

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



# ХАРЧОВА ХІМІЯ

тексти лекцій  
для студентів напрямку підготовки  
6.051701 "Харчові технології та інженерія"

Затверджено на засіданні  
кафедри харчових технологій, хімії,  
і безпеки життєдіяльності  
протокол № 10 від 25.06.13 р.

Чернігів ЧДТУ 2013

Харчова хімія. Тексти лекцій для студентів напряму підготовки 6.051701 "Харчові технології та інженерія" / Уклад.: Гуменюк О.Л. – Чернігів: ЧДТУ, 2013. – 244 с.

Укладачі: **Гуменюк Оксана Леонідівна**, кандидат хімічних наук, доцент

Відповідальний за випуск: **Сиза Ольга Іллівна**, завідувач кафедри харчових технологій, хімії та безпеки життєдіяльності, доктор технічних наук, професор

Рецензент: Буяльська Н.П., кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій, хімії та БЖД Чернігівського державного технологічного університету

## Зміст

Вступ .....	7
Тема 1. Хімія харчових речовин .....	8
1.1 Мета і завдання дисципліни .....	8
1.2. Основні проблеми харчування і роль дисципліни на сучасному етапі .....	9
1.3 Місце дисципліни в навчальному процесі. Зв'язок з іншими дисциплінами .....	11
1.4 Сучасний стан і перспективи розвитку науки про харчування .....	12
Контрольні питання .....	14
Тема 2. Нутрієнти харчових продуктів .....	14
2.1 Нутрієнти (харчові речовини) .....	14
2.2 Класифікація нутрієнтів .....	15
2.3 Харчова цінність і калорійність харчових продуктів .....	19
2.4 Значення в харчуванні людини окремих нутрієнтів .....	22
Контрольні питання .....	30
Тема 3. Вода .....	30
3.1 Вода в сировині і харчових продуктах, її вміст .....	30
3.2 Властивості води .....	31
3.3 Форма зв'язку води в харчових продуктах: вільна і зв'язана .....	35
3.4 Активність води в харчових продуктах: волога Залежність збереження і стабільності харчових продуктів від активності води .....	36
3.5 Роль льоду в забезпеченні стабільності харчових продуктів. ....	37
Контрольні питання .....	38
Тема 4. Білки: будова, властивості та функції. ....	39
4.1. Визначення та функції білків. Значення білків в харчуванні людини .....	39
4.2 Норми споживання білків. Білково-калорійна недостатність та її наслідки. Харчові алергії .....	41
4.3 Амінокислоти та їх деякі функції в організмі .....	45
4.4 Незамінні амінокислоти. Харчова та біологічна цінність білків .....	48
4.5 Будова пептидів та білків .....	52
4.6 Функціональні властивості білків .....	53
4.7 Перетворення білків у технологічному процесі .....	57
4.8 Білки харчової сировини .....	60
Білки зернових культур .....	60
Білки пшеничного зерна .....	62
Клейковина .....	64
Білки зерна жита .....	65
Білки ячменю і вівса .....	65
Білки кукурудзи .....	66
Білки зерна рису .....	66

Білки зерна гречки .....	66
Білки бобових культур .....	66
Білки олійних культур .....	68
Білки картоплі, овочів, плодів .....	69
Білки м'яса .....	71
Будова м'язової тканини м'яса .....	72
Характеристика білків м'яса .....	72
Зміна білків м'яса в ході технологічних процесів .....	74
Білки молока .....	75
Технологічні перетворення білків молока .....	77
Білки яєць .....	77
Технологічні перетворення білків яйця .....	80
Білки риби .....	80
Зміна ваги м'яса і риби під час теплової обробки .....	82
4.9 Нові форми білкової їжі .....	82
Контрольні питання .....	83
Тема 5. Ліпіди .....	85
5.1 Визначення ліпідів. Ліпіди в харчових продуктах .....	85
5.2 Класифікація ліпідів .....	86
Ацилгліцерини .....	87
Речовини, супутні гліцеридам .....	91
Фосфоліпіди .....	92
Стеарин .....	93
Воски .....	95
Харчові жири та їх класифікація та характеристика .....	95
Тваринні топлені жири .....	96
Маргарин .....	97
Жири кондитерські, хлібопекарські, кулінарні .....	97
5.3 Функції ліпідів в організмі людини .....	98
5.4 Харчова цінність жирів та норми споживання .....	99
5.5 Процеси переробки жирів і олій .....	103
Гідроліз тригліцеридів .....	103
Гідрогенізація тригліцеридів .....	104
Реакції переестерифікації ацилглицеринов .....	105
Властивості і перетворення гліцерофосфоліпідів .....	106
5.6 Біохімічні і фізико-хімічні зміни жирів в процесі переробки та зберігання .....	109
Гідролітичне розщеплення жирів .....	110
Окислювальні процеси в жирах .....	110

Псування жирів: згіркнення та осалювання .....	114
Термічне розкладання жирів.....	115
Зміна біологічної цінності жиру.....	115
Контрольні питання .....	116
Тема 6 – Вуглеводи.....	118
6.1 Класифікація і характеристика вуглеводів .....	118
Моносахариди .....	118
Полісахариди .....	119
6.2 Вуглеводи в харчових продуктах .....	123
6.3 Фізіологічне значення вуглеводів .....	125
Основні функції вуглеводів .....	125
Засвоювані вуглеводи.....	125
Незасвоювані вуглеводи.....	129
6.4 Функції вуглеводів в харчових продуктах .....	135
Гідрофільність .....	135
Зв'язування ароматичних речовин.....	135
Утворення харчового аромату за теплової обробки .....	136
Солодкість .....	137
6.5 Структурно-функціональні властивості окремих представників полісахаридів.....	137
Крохмаль.....	137
Клейстеризація крохмалю .....	138
В'язкість крохмального клейстеру .....	139
Модифіковані крохмалі .....	141
Целюлоза.....	143
Геміцелюлози .....	144
Пектинові речовини.....	144
6.6 Перетворення вуглеводів, що відбуваються за технологічної переробки сировини .....	146
Гідроліз ди- і полісахаридів .....	146
Неферментативний гідроліз крохмалю.....	146
Ферментативний гідроліз крохмалю .....	148
Ферментативний гідроліз некрохмалистих полісахаридів. ....	149
Реакції дегідратації і термічної деградації вуглеводів .....	150
Меланоїдиноутворення .....	150
Карамелізація.....	153
Процеси бродіння.....	154
Контрольні питання .....	156
Тема7. Мінеральні речовини.....	157
7.1 Роль мінеральних речовин в організмі людини .....	157

7.2 Макроелементи .....	159
7.3 Мікроелементи .....	166
Тема 8. Вітаміни .....	175
8.1 Значення вітамінів в харчуванні людини .....	175
8.2 Жиророзчинні вітаміни .....	176
8.3 Водорозчинні вітаміни .....	179
8.4 Вітаміноподібні сполуки .....	186
Контрольні питання .....	189
Тема 9. Органічні кислоти.....	190
9.1 Значення органічних кислот в харчуванні.....	190
9.2 Загальна характеристика харчових кислот.....	192
9.3 Хімічна природа і фізико-хімічні властивості найважливіших харчових кислот .....	194
9.4 Вплив харчових кислот на якість продуктів. Застосування кислот в харчовій технології. .....	196
Контрольні питання .....	199
Тема 10. Ферменти.....	200
10.1 Загальні відомості про ферменти .....	200
10.2 Класифікація та номенклатура ферментів.....	203
10.3 Характеристика основних класів ферментів .....	206
10.4 Ферментні препарати.....	230
10.5 Застосування ферментів в харчових технологіях .....	234
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	245

## Вступ

Тексти лекцій з дисципліни "Харчова хімія" призначені для студентів, що навчаються за напрямом підготовки "Харчові технології та інженерія".

У викладені матеріалу лекцій основна увага приділялася хімічному складу харчових систем (сировина, напівфабрикати, готова продукція), технологічному і біологічному значенню основних компонентів продуктів харчування, ролі води в харчових системах, харчовим добавкам і поліпшувачам, а також безпеці харчових продуктів.

Тексти лекцій складаються із 10 тем. В деякі із лекцій входить по дві теми, а такі теми, що містять велику кількість матеріалу (Білки, Вуглеводи) розраховані на декілька лекцій. Багато матеріалу, що міститься в даних текстах лекцій призначений для самостійного опрацювання студентами. Кожна тема закінчується контрольними питаннями, що дасть змогу більш глибоко зрозуміти і запам'ятати матеріал, засвоїти суть питань, які розкриваються в даній темі. Список рекомендованої літератури, що наведений в кінці Текстів лекцій дасть змогу отримати додаткову інформацію з питань, що вивчаються в курсі харчової хімії

Автор даних текстів лекцій намагалась під час викладення матеріалу врахувати роботи великої групи вчених, що створили основи харчових технологій, спираючись на знання фундаментальних наук – органічної хімії, біохімії та на нові досягнення біотехнології.

Матеріал, що міститься в текстах лекцій покликаний допомогти студентам розібратися в складних питаннях, що стосуються ролі основних харчових речовин в харчовій технології і харчуванні людини, в проблемах, які пов'язані з перетворенням макро- і мікронутрієнтів в технологічному процесі.

# Тема 1. Хімія харчових речовин

## План

- 1.1 Мета і завдання дисципліни
- 1.2 Основні проблеми харчування і роль дисципліни на сучасному етапі
- 1.3 Місце дисципліни в навчальному процесі. Зв'язок з іншими дисциплінами
- 1.4 Сучасний стан і перспективи розвитку науки про харчування

### 1.1 Мета і завдання дисципліни

**Метою** викладання навчальної дисципліни "Харчова хімія" є формування компетенцій, спрямованих на отримання теоретичних знань практичних навичок в галузі вивчення хімічного складу і властивостей продуктів харчування із рослинної та тваринної сировини.

**Основні завдання** дисципліни "Харчова хімія" включають вивчення:

- складу макро- і мікронутрієнтів продовольчої сировини і харчових продуктів;
- залежності форм зв'язку води і термінів збереження харчових продуктів;
- вмісту в харчових продуктах основних компонентів їжі (білків, ліпідів, вуглеводів) та потреба організму в них;
- вмісту в харчових продуктах і потреби організму в мінеральних речовинах, вітамінах, кислотах і інших нутрієнтах;
- джерел вмісту компонентів їжі;
- властивостей окремих нутрієнтів харчових продуктів;
- перетворень основних компонентів їжі (білків, ліпідів, вуглеводів) під час виробництва і зберігання продуктів харчування;
- властивостей неаліментарних речовин і шляхів зниження їх інгібувальної дії;
- гігієнічних вимог до якості і безпеки харчових продуктів;
- основ раціонального харчування;
- створення продуктів здорового (функціонального) харчування;
- впливи харчових чинників на функції органів травлення.

Вивчення курсу надає можливість студентам набути необхідного рівня теоретичної та практичної підготовки для використання у майбутній практичній діяльності знань щодо хімічної природи основних речовин, які входять до складу продовольчої сировини, а також ознайомитися з хімічними перетвореннями білків, вуглеводів, ліпідів, мінеральних речовин та вітамінів у процесі переробки сировини та виготовлення харчових продуктів, із роллю ферментів у цих процесах.

Вивчення курсу "Харчова хімія" дасть змогу підготувати майбутнього фахівця у галузі харчових технологій, який повинен володіти знаннями про хімічний склад харчової сировини, а також про хімічні та біохімічні перетворення, які відбуваються під час зберігання та переробки сировини, для вирішення основної задачі – забезпечення населення продукцією, що відповідає за складом потребам організму в харчових речовинах та захисних компонентах.



## 1.2. Основні проблеми харчування і роль дисципліни на сучасному етапі

Серед основних проблем, які стоять перед людством в наш час, можна виділити декілька головних:

- забезпечення населення продуктами харчування;
- забезпечення енергією;
- забезпечення сировиною, в тому числі водою;
- охорона навколишнього середовища, екологічна і радіаційна безпека жителів, сповільнення негативних наслідків інтенсивної виробничої діяльності і захист людини від результатів цієї негативної діяльності.

Одним з найважливіших завдань для будь-якої країни є забезпечення населення продуктами харчування. Харчування впливає на організм людини з моменту її народження до найостаннішого дня життя. Інградієнти харчових продуктів, надходячи в організм людини з їжею і перетворюючись в ході метаболізму в результаті складних біохімічних перетворень на структурні елементи клітин, забезпечують її організм пластичним матеріалом і енергією, які є необхідними для фізіологічної і розумової діяльності, визначають здоров'я, активність і тривалість життя людини, її здатність до відтворення. Тому стан харчування, є одним з найважливіших чинників, що визначають здоров'я нації.

Продукти харчування повинні не тільки задовольняти потреби людини в основних харчових речовинах і енергії, але і виконувати профілактичні і лікувальні функції.

**Харчові продукти** – продукти вироблені з продовольчої сировини і які використовуються в їжу в натуральному або переробленому вигляді.

Харчові продукти поділяють на наступні класи:

- I – традиційні і нові продукти масового призначення;
- II – функціональні харчові продукти масового призначення;
- III – харчові продукти спеціального призначення (спецконтингент, контингент працюючих в екстремальних умовах і т.п.);
- IV – харчові продукти для дітей, вагітних жінок, матерів, що годують груддю;
- V – продукти лікувального харчування.

I клас натуральних продуктів складають продукти в тому вигляді, в якому їх створила природа. До нього відносяться також технологічно оброблені, головним чином, термічно оброблені продукти.

До II класу збагачених продуктів відносяться ті, до яких в процесі технологічної обробки додають компоненти, які підвищують рівень тих чи інших харчових речовин з метою покращення їхнього хімічного складу. Оскільки збагачені харчові продукти використовуються у попередженні або лікуванні харчової недостатності первинного та вторинного походження і, отже, у ліквідації порушень обміну і функцій організму, то їх називають ще функціональними.

До III класу відноситься велика група спеціалізованих продуктів.

До IV класу відноситься велика група продуктів дитячого харчування

(для дітей різного віку), зокрема дитячі адаптовані молочні суміші та ін., а також харчові продукти для вагітних жінок, та матерів що годують груддю.

Нині реально існує дві категорії продовольчих проблем:

1 – необхідність виробництва стільки продовольства, скільки вимагається, щоб забезпечити кожного достатньою кількістю повноцінної їжі;

2 – створення умов, що гарантують, що кожен дійсно отримує досить їжі.

*Перша категорія проблем* пов'язана з соціальними, політичними і економічними особливостями конкретної країни і має технічні рішення.

Перспективи збільшення світових запасів продовольства мають наступні напрями:

– підвищення ефективності сільського господарства для збільшення запасів традиційних продуктів харчування (молочних, м'ясних та ін.);

– зменшення втрат під час технологічної переробки і підвищення її ефективності;

– зменшення втрат під час зберігання сировини і готових продуктів (зберігання в регульованому газовому середовищі, консервація, зберігання за знижених температур і т. п.);

– підвищення ефективності використання сировини, у тому числі малоцінного, створення мало- і безвідходних технологій, що дозволяють використати усі корисні властивості сировини;

– розвиток нових шляхів отримання харчових продуктів (мікробний синтез білку, органічний синтез і т.п.);

– скорочення харчового трофічного ланцюга (від грец. Τροφή – живлення), тобто виключення із загального циклу виробництва окремих стадій (наприклад: безпосереднє споживання в їжу рослинних білків замість тваринних).

*Друга категорія* продовольчих проблем є складнішою, але фахівці вважають, що вихід зі світових продовольчих криз полягає саме в справедливому розподілі продуктів харчування. Це пропонує відправку продовольства в райони, де його не вистачає, зниження коливань цін, зміна розподілу доходів.

Тільки реалізація цих програм дозволить повністю задовольнити потребу кожної людини в їжі.

У більшості населення України, за даними Інституту харчування, виявлені порушення повноцінного харчування, зумовлені як недостатнім споживанням харчових речовин, так і порушенням харчового статусу населення України, в першу чергу нестачею вітамінів, макро- і мікроелементів, повноцінних білків, і нераціональним їх співвідношенням. До найважливіших порушень харчового статусу населення України можна віднести наступні:

– дефіцит повноцінних (тваринних) білків;

– надмірне споживання вуглеводів;

– надмірне споживання тваринних жирів;

– дефіцит поліненасичених жирних кислот;

– дефіцит вітамінів (аскорбінової кислоти, рибофлавіну (B<sub>2</sub>), тіаміну,

фолієвої кислоти, ретинолу (А) і (β-каротину, токоферолу й інших);

- дефіцит мінеральних речовин (кальцію, заліза);
- дефіцит мікроелементів (селену, цинку, йоду, фтору);
- дефіцит харчових волокон.

Негативний вплив робить споживання неякісних, фальсифікованих і небезпечних для здоров'я людини продуктів. На усунення цих недоліків і направлений Закон України "Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини" Закон України "Про захист прав споживачів"; та інші.

Технічний прогрес в харчовій промисловості багато в чому визначається демографічними змінами (чисельність населення, збільшення частки людей похилого віку та хворих людей), соціальними змінами, змінами умов життя і праці (зростання чисельності міського населення, змінами характеру праці, соціальним розшаруванням суспільства). Він пов'язаний з досягненнями медицини, фундаментальних наук (фізика, хімія, мікробіологія), новими технологічними можливостями, погіршенням екологічної ситуації, жорсткої конкуренції на ринку продуктів харчування. Все це вимагає не тільки корінного вдосконалення технології отримання традиційних продуктів, але і створення нового покоління харчових продуктів, що відповідають можливостям і реаліям сьогодення. Це продукти зі збалансованим складом, низькою калорійністю, зі зниженим вмістом цукру і жиру і підвищеним – корисних для здоров'я інгредієнтів, функціонального і лікувального призначення, з подовженим терміном зберігання, швидкого приготування і, звичайно, цілком безпечних для людини.

### **1.3 Місце дисципліни в навчальному процесі. Зв'язок з іншими дисциплінами**

Історично вивчення хімії харчових речовин почалося ще в середині ХІХ ст., коли вони розглядались як природні органічні сполуки, що входять до складу харчової сировини і готових продуктів. Тому харчова хімія є досить молодою наукою. Вона є самостійним розділом хімічної науки, значення якого, враховуючи роль харчування в житті суспільства, є надзвичайно великим.

Для повного опанування дисципліни харчової хімії необхідні знання із класичних хімічних курсів (загальної, неорганічної, аналітичної, органічної, фізичної хімії та біохімії), а також знання законів фізики. Харчова хімія знаходиться на стику хімії, біології і медицини. Вона тісно пов'язана з біохімією, фізіологією харчування, ботанікою, зоологією, молекулярною біологією та іншими науками.

Харчова хімія є необхідною для більш глибокого розуміння теоретичних основ харчових технологій, що в свою чергу, є підґрунтям для підготовки високоякісних та компетентних фахівців.

**Харчова хімія** – наука про хімічний склад харчових систем (сировини, напівфабрикатів, готових до вживання харчових продуктів), їх зміни та перетворень в ході технологічного процесу під впливом різних факторів (фізичних, хімічних, біохімічних і т.д.) та загальні закономірності цих перетворень.

Харчова хімія вивчає також методи виділення, фракціонування, очищення харчових речовин (білків, вуглеводів, ліпідів і т. д.), їх каталітичної модифікації. Вона передбачає як розробку нових принципів і методів аналізу харчових систем, так і встановлення будови окремих компонентів, їх функцій і взаємозв'язку з іншими компонентами. Окрім цього, харчова хімія приділяє особливу увагу аналізу шкідливих і сторонніх речовин в сировині, напівфабрикатах і готових продуктах.

Невід'ємною частиною харчової хімії є розділи, присвячені харчовим і біологічно активним добавкам, забруднювачам харчової сировини і продуктів.

Харчова хімія ґрунтується на досягненнях фундаментальних дисциплін і тісно взаємодіє з біотехнологією, мікробіологією, широко використовує в своїй практиці різноманітні методи дослідження. Всі перераховані вище основні напрями, що входять до галузі харчової хімії і які спрямовані на створення сучасних технологій продуктів харчування, наведені на схемі рисунку 1.1.

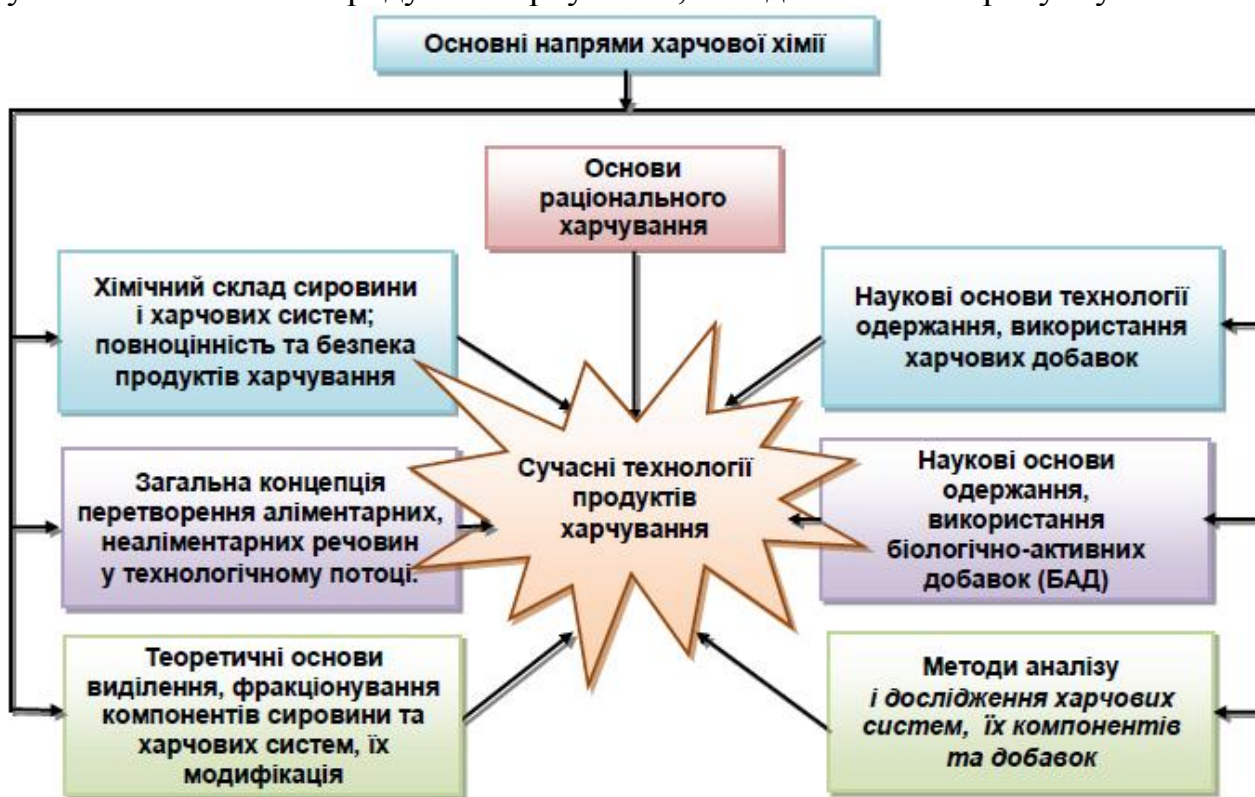


Рисунок 1.1 – Схема основних напрямків харчової хімії.

#### 1.4 Сучасний стан і перспективи розвитку науки про харчування

*Перший* напрям харчової хімії присвячений вивченню хімічного складу харчових систем (сировина, напівпродукти, готові продукти), їх повноцінності і екологічній безпеці. Вагомим успіхом у цій галузі є створення таблиць хімічного складу харчової сировини і готових продуктів.

Разом з вивченням вмісту основних макро- і мікронутрієнтів, вивчаються також харчові речовини, які організм людини не здатний синтезувати – *незамінні фактори харчування*, до яких відносять:

- незамінні амінокислоти;
- поліненасичені жирні кислоти (співвідношення між окремими

кислотами);

– вітаміни; харчові волокна.

Велика увага приділяється також вивченню вмісту сторонніх речовин (шкідливі речовини), що потрапляють в продукти харчування за ланцюгом:

*поле → сировина → переробка сировини → харчові продукти.*

Спектр шкідливих речовин, що потрапляють в харчові продукти є дуже широким: важкі метали, пестициди, антибіотики і багато інших, а також джерела радіаційного ураження сировини і готових продуктів. Цим небажаним для організму людини стороннім речовинам приділяється особлива увага, так само як і неаліментарним речовинам, що спеціально вносяться в продукти (харчові добавки), їх безпеці.

*Другий* напрям харчової хімії присвячений перетворенням макро- і мікронутрієнтів, харчових і біологічно активних добавок, а також сторонніх речовин в технологічному потоці.

Харчова хімія базується на знаннях про склад, структуру і властивості хімічних компонентів харчових систем, а також на теорії про множинність і неоднозначність хімічних перетворень, що відбуваються під впливом різних чинників (фізичних, хімічних, біохімічних і т. д.), під час зберігання і переробки сировини в харчові продукти. Вона вивчає вплив особливостей будови компонентів на їх взаємодію між собою, характер виникаючих зв'язків, механізми утворення стійких сполук і комплексів. Вплив на ці перетворення основних технологічних факторів і вміння управляти цими процесами – один з найбільш важливих напрямів сучасної харчової хімії.

Досліджується також вплив на сировину та харчові об'єкти таких методів обробки як температура, надвисокі частоти, інфрачервоне та ультрафіолетове опромінення, ультразвукова обробка, ферментативні препарати і т. д.

*Третій* напрям харчової хімії – розробка теоретичних основ виділення, фракціонування і модифікації компонентів харчової сировини. Ці прийоми широко використовуються в харчовій технології. Вона включає виділення сахарози і крохмалю з цукро- і крохмаловмісної сировини, ліпідів – з олійної сировини, рослинного білку – з сої й інших джерел.

Наступні два напрями харчової хімії присвячені розробці наукових основ технології отримання і застосування харчових (ХД) і біологічно активних добавок (БАД).

*Харчові добавки* можуть бути визначені як група природних або синтетичних речовин, що не вживаються зазвичай як харчові продукти або основні компоненти їжі, що спеціально вводяться в сировину, напівпродукти або готові харчові продукти з метою вдосконалення технології, збереження природних якостей харчових продуктів, поліпшення їх органолептичних властивостей і стабільності в процесі зберігання.

*Біологічно активні добавки* – природні (ідентичні природним) біологічно активні речовини, призначені для вживання одночасно з їжею або введення до складу харчових продуктів. Харчова хімія приділяє ХД та БАД особливу увагу: одночасно з пошуком і розробкою технології отримання ХД і БАД проводяться

глибокі медичні дослідження щодо їх безпеки, технології їх введення в продукти харчування. Внесення біологічно активних добавок повинне узгоджуватися з вимогами медицини.

Найважливіший розділ харчової хімії – розробка методів аналізу і дослідження харчових систем, їх компонентів, харчових і біологічно активних добавок, шкідливих речовин. Це один з дуже важливих розділів харчової хімії, в якому вона тісно взаємодіє з аналітичною, фізичною хімією та іншими галузями знань. По суті, розвиток цього напрямку харчової хімії (ефективність і надійність методів дослідження, їх трудомісткість і т. д.) багато в чому визначає результати досліджень і отримані результати з усіх попередніх напрямів, а також безпека продуктів харчування.

Харчова хімія – дисципліна, значення якої все зростає. Знання основ харчової хімії дасть можливість технологам вирішити одне з найважливіших питань сучасності – забезпечення населення якісними продуктами харчування.

### **Контрольні питання**

1. Розкажіть про основні положення державної політики в галузі здорового харчування. Приведіть класифікацію сучасних продуктів харчування.
2. Дайте визначення дисципліни "Харчова хімія". Які питання вона вивчає? Визначте її місце і роль в створенні сучасних продуктів харчування.
3. Розкажіть про основні розділи харчової хімії.

## **Тема 2. Нутрієнти харчових продуктів**

### **План**

- 2.1 Нутрієнти (харчові речовини)
- 2.2 Класифікація нутрієнтів
- 2.3 Значення в харчуванні людини окремих нутрієнтів
- 2.4 Харчова цінність і калорійність харчових продуктів

### **2.1 Нутрієнти (харчові речовини)**

*Нутрієнти* – складові частини натуральних харчових продуктів, які організм використовує для побудови, оновлення та нормального функціонування органів, тканин і клітин, а також як джерело енергії для виконання роботи і забезпечення життєдіяльності організму в період спокою

*До нутрієнтів відносяться* білки, жири, вуглеводи, мінеральні речовини, вітаміни і вода. Серед нутрієнтів виділяють замінні і незамінні харчові речовини.

*Незамінні (есенціальні) харчові речовини* – речовини, які не утворюються в організмі або утворюються в недостатній кількості: білки, деякі жирні кислоти, вітаміни, мінеральні речовини і вода.

*До замінних харчових речовин відносяться* жири і вуглеводи. Надходження з їжею незамінних харчових речовин є обов'язковим. А надходження замінних харчових речовин є необхідним, так як за їх нестачі на їх утворення в організмі витрачаються інші харчові речовини, порушуються

обмінні процеси.

Харчові волокна, що складаються з клітковини, пектинів і інших речовин, майже не засвоюються організмом, проте вони потрібні для нормальної діяльності органів травлення і всього організму. Тому харчові волокна є необхідною складовою частиною харчування. Тривалий час харчові речовини поділяли на дві групи: *макронутрієнти* (білки, жири, вуглеводи) і *мікронутрієнти* (вітаміни, макро- та мікроелементи і т.д.). Саме ці класи нутрієнтів багато років були предметом досліджень нутріціологів і дієтологів, які займалися питаннями раціонального та лікувально-профілактичного харчування. Останнім часом встановлено факт існування невідомих раніше факторів їжі, так званих *мінорних нехарчових біологічно активних компонентів*, які покращують якість життя і знижують ризик розвитку багатьох захворювань. Ці дані дозволили обґрунтувати необхідність значного розширення переліку якщо не есенціальних, то, принаймні, бажаних факторів їжі – біофлавоноїдів, індолів, фітостеролів, ізотіоціанатів тощо. Основним джерелом таких речовин є рослинна їжа – культивовані та дикі рослини.

## 2.2 Класифікація нутрієнтів

Харчові речовини класифікують (рисунок 2.1) на: *нутрієнти*; *нехарчові речовини (неаліментарні)* – біологічно активні добавки (БАД)); *баластні речовини (харчові волокна)*; *ферменти*; *антихарчові речовини*; *контамінанти*; *канцерогенні речовини*; *харчові добавки*.

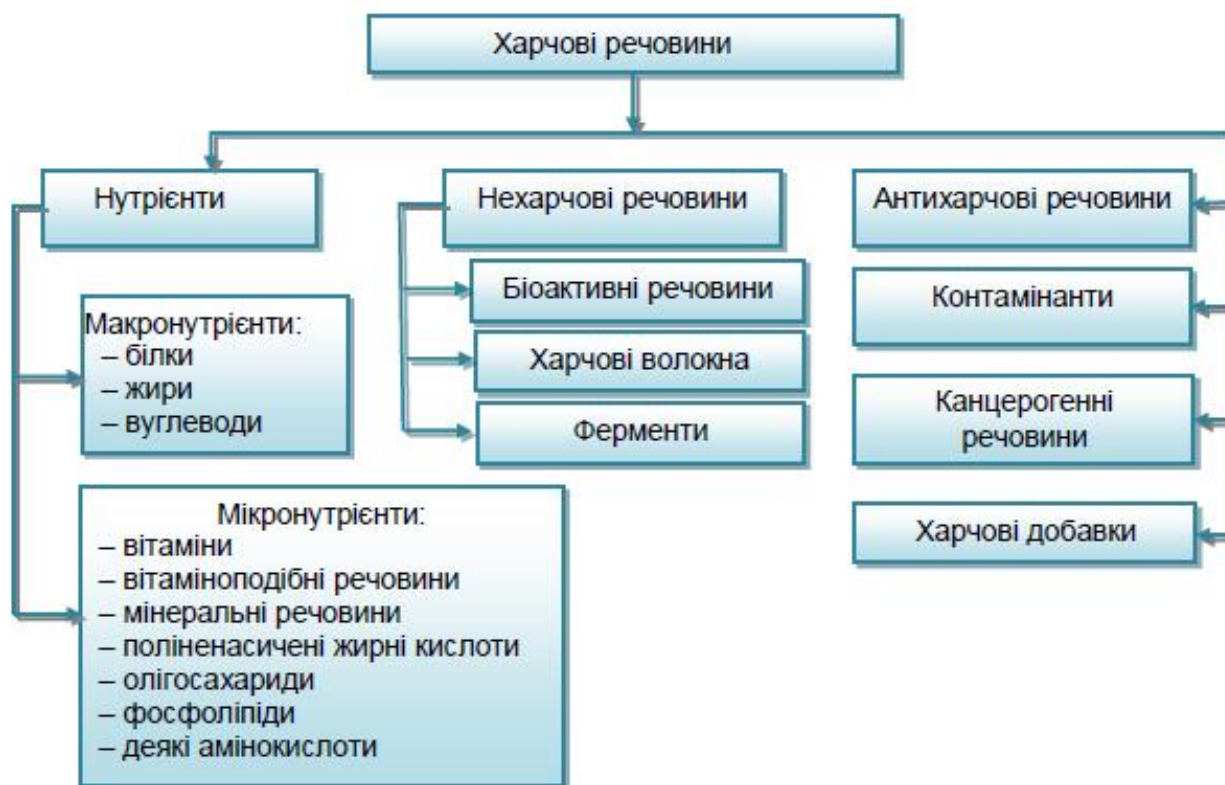


Рисунок 2.1 – Класифікація харчових речовин

Серед нутрієнтів виділяють макро- і мікронутрієнти.

*Макронутрієнти* або основні харчові речовини – білки, жири й вуглеводи, необхідні в десятках грамів, під час асиміляції виділяють енергію



для виконання всіх функцій організму. Менша їх кількість бере участь у процесах побудови клітин, тканин, для синтезу ферментів та інших фізіологічно активних сполук.

**Мікронутрієнти**, або так звані мінорні фізіологічно активні речовини, необхідні організму в малих кількостях; вони беруть участь у засвоєнні енергії, регуляції функцій і здійсненні процесів росту й розвитку організму. До мікронутрієнтів належать окремі амінокислоти харчового походження, участь яких у регуляції функцій органів і систем доведена численними дослідженнями; есенціальні жирні кислоти, вітаміни та провітаміни, мінеральні речовини, харчові волокна, а також різні органічні сполуки, характерні для натуральної продовольчої сировини рослинного і тваринного походження.

Представники кожного класу мають характеризуються певним хімічним складом, особливостями фізіологічної дії та рівнем вмісту в харчових продуктах.

Вивченням поживних речовин та інших компонентів, що містяться у продовольчій сировині та продуктах харчування, їх дії та взаємодії, ролі у підтримці здоров'я або виникненні захворювань, процесів споживання продуктів харчування; дослідженням мотивів вибору їжі людиною і впливу цього вибору на її здоров'я займається наука – нутріціологія.

**Нутріціологія** (пізньолат. nutritio – харчування, пожива + logos – слово) – один з напрямків науки про харчування людини і тварин, яка вирішує питання дослідження харчових речовин і компонентів, що містяться в продуктах харчування, правила, закони їх взаємодії, вплив на організм.

По відношенню до людини основне завдання нутріціології – забезпечення раціонального харчування, здатного впливати на регуляцію обмінних процесів і нормалізувати функції окремих органів і систем. Об'єктом нутріціології є джерела надходження поживних речовин та біологічно-активних речовин (БАР): продовольча сировина для виробництва харчових продуктів з природним складом нутрієнтів, натуральні продукти зі зміненим хімічним складом, нутрицевтики, еубіотики і парафармацевтики, необхідні для корекції стану та функцій організму здорової, хворої людини або людини у стані передхвороби.

Дефіцит поживних речовин і біологічно активних компонентів у раціоні знижує резистентність організму до шкідливого впливу довкілля (мальадаптація, від лат. malus – поганий), спричиняє імунодефіцитні стани, порушує функції систем антиоксидантного захисту, підвищує ризик розвитку поширених захворювань та перехід їх у хронічну форму (хвороби цивілізації), знижує якість життя та ефективність лікувальних заходів. До хвороб цивілізації, які виникають, лікуються або гальмуються за допомогою зміни харчування, належать метаболічний синдром, повнота, ожиріння, серцево-судинні та стресозумовлені захворювання, новоутворення, катаракта, діабет, карієс, жовчно- та сечокам'яна хвороба, остеопороз, алергія, артрит, недокрів'я, безпліддя, алкоголізм, дисбіоз тощо.

Одним із способів ліквідації дефіцитних станів і підвищення



резистентності організму до несприятливих факторів довкілля є систематичне вживання продуктів харчування, збагачених комплексом біологічно активних добавок з широким спектром терапевтичної дії.

В здоровому харчуванні населення провідна роль відводиться створенню нових, збалансованих за складом продуктів, збагачених функціональними компонентами. Продукти харчування з такими компонентами, щоденне вживання яких сприяє збереженню і покращенню здоров'я, прийнято називати *функціональними*.

Серед добавок до функціональних продуктів розрізняють нутрицевтики і парафармацевтики.

**Нутрицевтики** – ідентичні природним хімічні речовини тваринного, рослинного, синтетичного або біотехнологічного походження одержані у промислових масштабах та призначені для вживання одночасно з їжею або введення у склад харчових продуктів, а також звичайні компоненти їжі (жирні олії з великим вмістом поліненасичених жирних кислот, інулін, харчові волокна, фітоестрогени тощо). Мета вживання нутрицевтиків – ліквідація дефіциту есенціальних харчових речовин, підвищення імунітету та резистентності організму, спрямована зміна метаболізму речовин, зв'язування та виведення ксенобіотиків і, як наслідок, профілактика хвороб цивілізації. Для нутрицевтиків існують вищі добові норми вживання: вміст вітамінів А, D, В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, ніацину, фолієвої кислоти, пантотенової кислоти тощо.

**Парафармацевтики** (ПФ) – добавки до їжі, які застосовують з метою регуляції функціональної активності клітин, окремих органів і систем у фізіологічних межах, у т.ч. нервової системи та мікробіоценозу ШКТ; для одержання ефектів імуномодуляції та адаптації до змінених або екстремальних умов життя, покращання стану онкологічних хворих. До складу ПФ входять:

1) мінорні кількості органічних кислот (янтарної, гідроксилімонної та ін.);

2) біогенні аміни, олігопептиди (напр. пептиди, які забезпечують специфічні міжмолекулярні взаємодії з промоуторними ділянками генів, присутні як фрагменти в складі таких поліпептидів, як інтерлейкіни, цитостатин, тиреоглобулін та ін.), лектини;

3) олігосахариди;

4) фенольні сполуки із специфічним біологічним впливом на різноманітні функції окремих метаболічних систем та організму в цілому (гідрохінон, арбутин, гідроксикоричні кислоти, оксикумарини та ін.);

5) різні групи флавоноїдів (флавоноли та їх глікозиди – кемпферол, кверцетин, рутин та інші, флаволи – лютеолін, апігенін тощо, флавонони – нарингенін, гесперидин та інші дигідрофлавоноли, проантоціанідини, катехіни тощо), фізіологічні функції яких різноманітні та важливі для зниження ризику розвитку багатьох поширених захворювань;

6) індол-3-карбіноли, найважливішою функцією яких є регуляція активності ферментів першої та другої фаз метаболізму ксенобіотиків і протекторна роль по відношенню до деяких форм онкологічної патології;

7) БАР харчових рослин, тварин, одноклітинних мікроорганізмів: бета-ситостерини, ізофлавоїни, ізотіоціанати, хлорофіл, гіперіцин, глюкозаміни, хітозан, хондріотинсульфат, а також усі властиві рослинам вторинні метаболіти: глікозиди, терпеноїди, стероїди, алкалоїди тощо. Переважна більшість з них була об'єктом дослідження лише у фармації і вважалася ЛП (вітаміни, адаптогени, імуностимулятори та ін.).

**Біотиками** називають хімічні речовини зовнішнього походження, які входять до біотичних структур і систем організму й не тільки беруть участь у фізіологічних процесах, але й нормалізують їх, підвищують опірність організму до дії шкідливих агентів і, як правило, виступають у ролі біологічних каталізаторів. До біотиків можуть бути віднесені мікроелементи, вітаміни, а в певних випадках і деякі макроелементи (напр., Ферум, Кальцій, Сульфур).

**Еубіотики** – живі або висушені бактеріальні культури кишкових симбіонтів, таких як біфідо- та лактобактерії, пивні та пекарські дріжджі, а також їх комбінація з рослинними компонентами. Розрізняють пробіотики, пребіотики та синбіотики.

**Пробіотики** – засоби, що відновлюють мікробіоценози. За визначенням ВООЗ це живі мікроорганізми, застосовані в адекватних кількостях для оздоровлення людини. На Всесвітньому гастроентерологічному конгресі (Монреаль, 2005) пробіотики визначено як препарати, здатних здійснювати біологічний вплив на організм хазяїна завдяки регуляторним та тригерним (пусковим) властивостям. Пробіотики вживають з метою підтримки і регулювання фізіологічної рівноваги нормальної мікрофлори кишечника і усунення її дефіциту. Загально визнана провідна роль анаеробних мікроорганізмів (біфідо- і лактобактерій, архебактерій, еукаріотичних організмів) у підтримці здоров'я людини. В експериментах на тваринах продемонстровано вплив мікробіоти ШКТ практично на всі фізіологічні, метаболічні, молекулярно-генетичні та поведінкові процеси, функції та реакції. Цьому питанню присвячена велика кількість наукової літератури.

**Пребіотики** – вуглеводи, які не розщеплюються у верхніх відділах ШКТ, та інші продукти, що є джерелом харчування для нормальної мікрофлори кишечника. До пребіотиків належать фруктозо- і галактозоолігосахариди, інулін, лактулоза, лак тіол, харчові волокна тощо. Пребіотики стимулюють відновлення симбіотичної мікрофлори травного тракту і займають певну нішу в терапії й профілактиці дисбіотичних порушень.

**Синбіотики та метабіотики** – лікувально-профілактичні препарати, які містять пробіотики разом з пребіотиками або мікробними метаболітами, тобто пробіотичні мікроорганізми разом з субстратом для їх розмноження. Сучасними засобами, які використовуються для формування, збереження та корекції мікробіоти людини, є метаболіти симбіотичних мікроорганізмів, структурні компоненти клітин симбіотичних бактерій, мікроекологічна інженерія. Дозу еубіотиків визначає лікар в залежності від характеру захворювання і виду терапії. Неадекватне їх застосування може викликати серйозні порушення стану людини.

Для есенціальних поживних речовин, що не виробляються у самому організмі, установлюють мінімальну потребу так, щоб не виникали явища недостатності. Регламентується вміст фізіологічно активних речовин та БАР: для нутрієнтів (нутрицевтиків) він не повинен перевищувати рекомендовану добову потреб, а у складі ПФ – бути не більше за терапевтичну дозу.

### **2.3 Харчова цінність і калорійність харчових продуктів**

**Харчова цінність** – поняття, що відбиває всю повноту корисних властивостей харчового продукту, включаючи ступінь забезпечення фізіологічних потреб людини в основних харчових речовинах, енергію і органолептичні властивості. Характеризується хімічним складом харчового продукту з урахуванням його споживання в загальноприйнятій кількості.

Усі речовини, що входять до складу харчових продуктів та їжі, поділяють на дві групи: органічні і мінеральні (вода, макро- і мікроелементи). Серед них є речовини, що визначають харчову, у тому числі енергетичну і біологічну, цінність, структури, що беруть участь у формуванні, смаку, аромату і кольору харчових продуктів.

Харчова цінність визначається не лише вмістом біологічно активних харчових речовин (нутриєнтів), але й їх співвідношенням, засвоюваністю і доброякісністю.

Терміни "енергетична" і "біологічна" цінність є вужчими поняттями харчової цінності.

**Енергетична цінність** характеризує ту частку енергії, яка може вивільнитися з харчових продуктів в процесі біологічного окиснення і використовуватися для забезпечення фізіологічних функцій організму. Їжа є єдиним джерелом енергії для людини.

Кількість енергії, що виділяється в процесі засвоєння організмом харчових продуктів, називається калорійністю. В результаті окиснення одного грама жиру організм отримує 37,7 кДж (9 ккал); одного грама білку 16,7 кДж (4 ккал); одного грама вуглеводів 15,7 кДж (3,75 ккал). Це калорійність бруто, тобто та, яка міститься в продукті і виділяється під час його згорання, або теоретична енергетична цінність. Але харчові речовини засвоюються організмом не повністю. Так, білки засвоюються на 94,5%, жири – на 94,0%; вуглеводи – на 95,6%. Тому слід теоретичну енергетичну цінність множити на коефіцієнт засвоюваності. Коефіцієнт засвоюваності сахарози дорівнює 1, тваринних жирів – 0,85 (за винятком вершкового масла), рослинних жирів – 0,95, білків, в залежності від їх природи – 0,85...0,95. Знаючи вміст в раціоні білків, жирів і вуглеводів і коефіцієнти їх засвоюваності, можна легко розрахувати фактичну енергетичну цінність.

Продукти, що входять в раціон харчування, повинні містити речовини, необхідні для отримання енергії, обміну речовин і побудови тканин. В залежності від характеру, трудової діяльності, віку, статі, стану здоров'я людини необхідно на добу 9218...16341 кДж (2200...3900 ккал).

Для організму важливо, які групи харчових речовин забезпечують калорійність живлення. Для нормальної життєдіяльності людини потрібне

певне співвідношення білків, жирів і вуглеводів, а також наявність вітамінів і мінеральних речовин.

Білки повинні складати, в середньому, 12%, жири 30...35% від загальної калорійності раціону, решта – вуглеводи.

Нині енергетична цінність загальнодоступного раціону, людини, що відповідає середнім енергетичним витратам, складає 8380...10500 кДж (2000...2500 ккал). До складу цього раціону входять головним чином продукти, піддані кулінарній обробці, консервації і зберіганню, а значить з низьким вмістом вітамінів й інших біологічно активних речовин. Як же забезпечити в цій кількості енергії необхідні організму нутрієнти? Цей показник дістав назву харчової густини раціону; характеризується кількістю незамінних харчових речовин в 4190 кДж (1000 ккал).

**Біологічна цінність харчових продуктів** визначається головним чином наявністю в них незамінних факторів харчування, що не синтезуються в організмі або синтезуються в обмеженій кількості і з малою швидкістю. До основних незамінних компонентів їжі відносяться 8...10 амінокислот, 3...5 поліненасичених жирних кислот, усі вітаміни і більшість мінеральних речовин, а також природні фізіологічні речовини високої біологічної активності: фосфоліпіди, білково-лецитинові і глюкопротеїнові комплекси.

Біологічна цінність харчових продуктів – загальніше поняття і характеризується біологічною цінністю білків, жирів, вуглеводів, вітамінів і мінеральних речовин.

**Біологічна цінність білку** характеризується ступенем відповідності його амінокислотного складу потребам організму в амінокислотах для синтезу білку, а також здатністю до перетравлювання.

Незважаючи на різноманіття білкових речовин в природі, в побудові організму людини бере участь 22 амінокислоти, з яких вісім (лейцин, ізолейцин, триптофан, валін, треонін, лізин, метіонін, фенілаланін) є незамінними, оскільки вони не синтезуються в організмі і повинні поступати ззовні з продуктами харчування. Крім того, амінокислоти гістидин і цистин є незамінними для організму грудних дітей.

Показник відповідності амінокислотного складу харчових білків і білків, що синтезуються, послужив основою для створення ряду методів визначення і порівняння біологічної цінності різних харчових білків.

Амінокислотний склад харчових продуктів порівнюють з амінокислотним складом ідеального (гіпотетичного) білку, прийнятого експертним комітетом ФАО-ВООЗ в 1973 р., шляхом визначення амінокислотного скору (АКС).

Одним з доступних способів розрахунку АКС є обчислення відношення вмісту незамінних амінокислот –  $AK_n$

$$AKC = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (2.1)$$

де  $m_1$ ,  $m_2$  – кількість незамінної амінокислоти в 1 г, відповідно, досліджуваного й ідеального білку.

У одному грамі ідеального білку міститься вісім АК<sub>н</sub> в наступній кількості, мг: ізoleyцину – 40; лейцину – 70; лізину – 55; метіоніну + цистину – 35; фенілаланіну + тирозину – 60; триптофану – 10; треоніну – 40; валіну – 50.

У ідеальному білку АКС кожної АК<sub>н</sub> приймається за 100%. Лімітуючою біологічну цінність АК<sub>н</sub> вважається та, АКС якої має значення менше 100%.

Не усі продукти харчування повноцінні за амінокислотним складом. Тваринні білки, тобто білки м'яса, молока, яєць, є найбільш близькими за своїм скором до ідеального, рослинні білки є дефіцитними з окремих АК<sub>н</sub>, частіше лізину, метіоніну, цистину.

Незбалансованість амінокислотного складу білків може призвести до порушення обміну речовин, уповільнення синтезу білку і росту організму. Надлишок одних АК<sub>н</sub> призводить до нестачі і поганої засвоюваності інших.

Істотне значення має збалансованість незамінних АК<sub>н</sub>, особливо співвідношення таких есенціальних АК<sub>н</sub>, як триптофан, метіонін і лізин. Оптимальне їх співвідношення 1: 2: 3,5 (4,0). Триптофан приймає участь в процесі відновлення тканин і міститься в м'ясі, горосі, квасолі. Метіонін попереджає ожиріння нирок, ураження легенів, сприяє утворенню інсуліну; міститься в м'ясі і зернових. Лізин нормалізує кровообіг, підтримує необхідний рівень гемоглобіну.

Проте досліди на тваринах показали, що розрахункові дані АКС не співпадають з експериментальними, які зазвичай є вищими, а проста відповідність амінокислотного складу харчових білків і білків, що синтезуються, дає тільки приблизне уявлення про біологічну цінність білків.

Деякі дослідники вважають, що біологічна цінність білків пов'язана також з особливостями будови білкових компонентів їжі, що впливають на розчинність продукту у воді, на драглеутворення, в'язкість, вологоутримуючу здатність й на інші молекулярні характеристики продукту. Одна з найважливіших характеристик харчової цінності – перетравлюваність їжі – істотно залежить від доступності білкових і інших біополімерних сполук до дії ферментів.

Під час застосування біологічних методів (на тваринах) для визначення біологічної цінності білків розраховують коефіцієнт ефективності білку (КЕБ), коефіцієнт чистої утилізації білку (ЧУБ), показник біологічної цінності білку (ПБЦ), коефіцієнт ретенції (затримки) азоту (КРА) та інші.

**Біологічна цінність жирів** визначається поліненасиченими жирними кислотами (ПНЖК), що входять до їх складу і які ще називаються вітаміном F. ПНЖК відносяться до незамінних факторів харчування, оскільки не утворюються в організмі і повинні надходити з їжею.

Разом з енергетичною функцією, ПНЖК сприяють прискоренню обміну холестерину в організмі, зниженню утворення ліпопротеїдів низької густини, відповідальних за атеросклероз, зменшенню синтезу тригліцеридів.

Для людини есенціальними жирними кислотами є ліолева C<sub>18:2</sub>, ліоленова C<sub>18:3</sub>. Ліолева кислота перетворюється в організмі в арахідонову C<sub>22:4</sub>, а ліоленова – в ейкозапентаєнову. Недостатнє надходження з їжею

лінолевої кислоти викликає в організмі порушення біосинтезу арахідонової кислоти, що входить у великій кількості в його структурні ліпіди, а також простагландинів. Арахідонова кислота складає 20...25% від усіх жирних кислот фосfolіпідів клітинних і субклітинних біомембран. ПНЖК, що утворюються з ліноленою кислотою (ейкозапентаєнова і докозагексаєнова), також постійно є присутніми в ліпідах мембран, але в значно меншій кількості (2...5%), ніж арахідонова кислота.

Важливо підкреслити, що методи визначення біологічної цінності жирів є інтегральними, оскільки вони не виявляють впливу кожної з кислот на метаболізм ліпідів. На відміну від білків нині не представляється можливим визначити біологічну цінність жирів на основі їх хімічного складу.

Для оцінки біологічної дії різних жирів на організм людини введено поняття коефіцієнта ефективності метаболізації жирних кислот (КЕМ). Він характеризує відношення кількості арахідонової кислоти до суми усіх інших поліненасичених кислот з 20 і 22 вуглецевими атомами.

Останні досягнення науки, що більш глибоко розкривають функції жирів в організмі людини, зумовили зміни норм їх споживання з їжею. Так, в порівнянні з колишніми рекомендаціями простежується тенденція до збільшення споживання жирів за незмінного або навіть зниженого споживання вуглеводів. Важливе значення має кількісна і якісна характеристики жирів. Остання істотно залежить від технології їх виробництва і зберігання.

**Біологічна цінність вуглеводів** визначається кількісним складом засвоюваних і незасвоюваних вуглеводів. Важлива роль відводиться засвоєним вуглеводам, що нормалізують обмінні процеси в організмі. Останніми роками велика увага приділяється харчовим волокнам – баластним речовинам, що відносяться до групи незасвоюваних вуглеводів (пектинові речовини, клітковина, геміцелюлоза).

**Біологічна цінність вітамінів** визначається їх участю в клітинному і тканинному обміні речовин, істотним впливом на функціональний стан багатьох фізіологічних систем, на реактивність організму і його захисні механізми.

**Біологічна цінність мінеральних речовин** визначається їх абсолютним вмістом і співвідношенням між собою в продуктах і специфічною дією на обмінні процеси.

## **2.4 Значення в харчуванні людини окремих нутрієнтів**

### **ПОЖИВНА ЦІННІСТЬ ТА БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ БІЛКІВ.**

**Білки** або протеїни (від *protos* – перший) – високомолекулярні сполуки, що складаються з амінокислот. Вони використовуються в організмі на:

- побудову нових та відновлення пошкоджених клітин і тканин;
- синтез ферментів, які забезпечують утворення потрібних сполук;
- створення осмотичного тиску та утримання води в клітинах і тканинах;
- переміщення інших поживних речовин;
- утворення енергії.

Усі білки поділяють на повноцінні й неповноцінні. Це залежить від

співвідношення у їхньому складі незамінних амінокислот, тобто наскільки співпадають відносні рівні окремих амінокислот у білках із їхнім вмістом в організмі людини, настільки такі білки є повноцінними. Незамінні амінокислоти – це амінокислоти, яких у достатній кількості не можуть утворити клітини людського організму, а замінні – це такі, потреба в яких може задовольнятися завдяки їх синтезу клітинами власних тканин.

Згідно норм ВООЗ потреба дорослої людини у білках становить 1,01 г на 1 кг маси тіла, але за стресових ситуацій потреба зростає на 10%, зокрема, під час важкої праці, вагітності для побудови тіла плоду, грудному вигодовуванні. Білки не відкладаються про запас, ті які надійшли понад потребу, використовуються як джерело енергії. Якщо недостатньо надходить білків із їжею, то використовуються білки крові, печінки, м'язової та сполучної тканин.

У сухій речовині зерна бобових культур міститься 20% білків (в окремих сортах сої до 35%), злаків – 10...12%, овочах та фруктах значно менше, тому що крім білків там багато небілкових азотвмісних речовин (до 50%). За рахунок білків мусить забезпечуватися 11...13% енергетичної потреби організму, 55% білків повинні бути тваринного походження.

Здатність білків до драглеутворення використовують у технології. Наприклад, клейковина пшениці має найбільшу вологозв'язуючу здатність, а іншим білкам термічною обробкою за зниження тиску надають таких властивостей (структуровані білки сої та інших культур містяться у продуктах швидкого приготування). Існують препарати висушеної чистої клітковини, що застосовують для кращого злипання борошна під час замісу тіста. Розтікання клейковини зумовлюють домішки сірковмісних препаратів, що є зокрема, у зародку, або з'являються після дії протеолітичних ферментів, які потрапляють у зерно, ушкоджене клопом-черепашкою.

#### ПОЖИВНА ЦІННІСТЬ ТА БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ЖИРІВ.

Жири або ліпіди. До них належать жирні кислоти, триацилгліцерини, фосфоліпіди, стерини. Раціон людини повинен містити 90...100 г жиру, у тому числі 30...35 г рослинної олії, потреба у поліненасичених жирних кислотах – 3...10 г, фосфатидах – 5 г.

Краще відбувається засвоєння тих жирів, які мають температуру плавлення меншу, ніж +37°C (у соняшникової олії – +21°C).

Оптимальне співвідношення між жирними кислотами – 10% поліненасичених, 30% ненасичених, 60% насичених.

У рослинних продуктах містяться фітостерини, зокрема, бета-ситостерол, який запобігає всмоктуванню холестерину у травному каналі, а також ергостерол, який є попередником вітаміну Д. Частка бета-ситостерину у пшениці 66%, у кукурудзі 86%, а ергостеролу менше 2%.

За рівнем поліненасичених жирних кислот жири поділяють на три групи: багаті на них – рослинні олії; із середнім вмістом – свиняче сало, пташиний жир; бідні на них – жир жуйних тварин, маргарини.

#### ПОЖИВНА ЦІННІСТЬ ТА БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ВУГЛЕВОДІВ.

Вони забезпечують 50...55% потреби людини у енергії, а в деяких

державках ще більше. Рекомендована норма споживання вуглеводів – 400...500 г на добу, у тому числі 350...400 г у вигляді полісахаридів.

У складі харчових продуктів міститься кілька груп вуглеводів:

– моносахариди (глюкоза, фруктоза), які розчинні та відразу всмоктуються організмом,

– ди- та трисахариди (сахароза, мальтоза, рафіноза), які розчинні, швидко розщеплюються ферментами та всмоктуються у кров,

– легкозасвоювані полісахариди (крохмаль, інулін), які нерозчинні у воді та поступово розщеплюються ферментами,

– важкозасвоювані полісахариди (клітковина, лігнін, пектинові речовини), які не розщеплюються ферментами травного каналу, але можуть використовуватись мікроорганізмами, і вже після цього всмоктуватись у кров.

Пентози (ксилоза, арабіноза) не засвоюються людиною, дріжджі їх не зброджують. Полімери пентоз є нерозчинними у воді, але розчиняються у водно-спиртових розчинах. Вони мають високу здатність до драглеутворення, зокрема, завдяки їм утворюється тісто з житнього борошна (у житі 2...7% слизових речовин).

Сахароза – основний цукор рослин, міститься у горосі та квасолі (4...7%), сої (4...15%), злакових (2...3%). Вона за температури понад +160°C карамелізується, тобто утворюються полімери коричневого кольору. Це явище використовується у кондитерському виробництві, але самі продукти карамелізації не засвоюються людиною через брак ферментів для їхнього розщеплення.

Крохмаль у зерні буває у вигляді зерен різного розміру та будови. Більші зерна легше набухають, але менші швидше розщеплюються та засвоюються.

За нагрівання водного розчину крохмалю він клейстеризується (пшеничний – за +62,5°C, житній – за +55°C). У кислому розчині (наприклад, 7,5% соляної кислоти протягом тижня) крохмаль частково декстринується, перетворюючись на розчинну форму.

Полімери із фруктози, зокрема, інулін, є менш поширеними. Фруктозани є у житі (до 1,5%), пшениці (до 0,3%), значно більше (понад 15%) у бульбах топінамбура, коренях цикорію.

Сира клітковина містить целюлозу, лігнін, геміцелюлозу. З неї людина засвоює до 6% енергії після перетворення мікроорганізмами на органічні кислоти. Якщо харчових волокон надходить понад 40 г, порушується засвоєння поживних речовин та виникають проноси.

Геміцелюлоза – сполуки, які нерозчинні у воді, але розчинні у лугах.

Побудовані вони з гексоз (маннани, галактани), пентоз (арабани, ксилани), або суміші їхніх похідних.

Фрукти та овочі вміщують велику кількість харчових волокон, які сповільнюють всмоктування цукру, запобігають перетворенню його на жири.

Засвоєння вуглеводів із різних продуктів складає 85...98%. Споживання у великій кількості рафінованого цукру є дуже шкідливим для людини. Щоденне споживання 50...70 г цукру зумовлює утворення 40...45 г резервного жиру, тому



нормою споживання на рік є не більше 6 кг цукру.

Органічні кислоти можуть виникати в результаті обміну вуглеводів, але деякі з них надходять із фруктами, ягодами та овочами – молочна, яблучна, лимонна, щавлева, винна, фітинова. Винна кислота не засвоюється, але і не шкідлива, а ось щавлева гальмує засвоєння кальцію, фітинова – також і інших мінеральних речовин.

Баластні речовини (клітковина, пектини) майже не перетравлюються в кишечнику людини, але вони зв'язують воду та токсичні сполуки, стимулюють перистальтику, сприяють нормальній роботі кишечнику та попереджають інтоксикацію.

Добова потреба кожної людини у клітковині та пектині становить 25...30 г.

Дуже багато пектинів у яблуках, буряках, цитрусових, спіруліні, а клітковини у овочах та фруктах.

### БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ВІТАМІНІВ.

**Вітаміни** (від *vita* – життя) – це органічні сполуки, які не утворюються взагалі або у недостатній кількості в організмі, тому людина повинна отримувати їх із їжею. Після перетворення у активні форми вітаміни стають частиною ферментів. Наслідком недостатнього надходження вітамінів із їжею є гіповітамінози, а надлишку – гіпервітамінози. В рослинах міститься багато речовин, які здатні є попередниками вітамінів, тому ці сполуки мають назву провітаміни, наприклад, каротини є попередниками ретинолу, ергостерини – кальциферолу.

Розрізняють групи жиророзчинних (А, Е, Д, К) і водорозчинних (С та група В) вітамінів.

Причини гіповітамінозів (за В.Б.Спіричевим):

1. Недостатнє надходження з їжею: малий уміст у раціоні, втрати під час переробки або зберігання продуктів, відмова від різноманітного харчування (особливості національної кухні, релігійні заборони тощо), голодування, наявність антивітамінів.

2. Пригнічення кишкової мікрофлори: захворювання травного каналу, вживання антимікробних препаратів.

3. Порушення засвоєння: порушення всмоктування під час захворювань органів травної системи, споживання вітамінів хвороботворними мікробами та паразитами, порушення обміну вітамінів унаслідок захворювання чи використання ліків.

4. Підвищена потреба: особливі фізіологічні стани (ріст, вагітність, лактація), особливі кліматичні умови, значні фізичні або емоційні навантаження, шкідливі умови праці, одужання після захворювань.

5. Спадкові порушення обміну речовин: утрата здатності засвоювати вітаміни або їхніх попередників, втрата здатності перетворювати вітаміни у активні форми, втрата здатності використовувати вітаміни.

Потреба у вітамінах залежить від багатьох факторів. Головні з них – це стать, вік, характер праці і фізичні навантаження, емоційний стан, загальний

стан організму. Значна кількість харчових продуктів містить добавки вітамінів або вітаміновмісних препаратів різного походження.

### **БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН.**

Мінеральні речовини (від *minera* – руда). Із 106 елементів періодичної системи Д.І.Менделєєва в організмі людини виявлено 86. Серед двадцяти п'яти необхідних для нормальної життєдіяльності елементів – вісімнадцять із них вважаються абсолютно необхідними, а сім – корисними. Професор В.Р.Вільямс назвав їх "металами" життя.

Мінеральні речовини поділяють на макроелементи (кальцій, фосфор, магній, калій, натрій, залізо, сірка), мікроелементи (цинк, кобальт, марганець, йод, фтор, бром, нікель, алюміній), ультрамікроелементи (торій, золото, срібло). Оптимальне співвідношення у раціоні кальцій:фосфор=1:1,5, кальцій:магній=1:0,5.

### **БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОКРЕМИХ КОМПОНЕНТІВ РОСЛИН**

Шкідливі речовини у рослинницькій продукції можуть бути або природними компонентами рослин або результатом антропогенного забруднення. Серед природних компонентів у складі рослин зустрічаються:

- антиаліментарні речовини, які не мають загальної токсичності, проте вибірково зменшують засвоєння окремих поживних речовин,
- токсичні речовини, які негативно позначаються на фізіологічних процесах тих людей, які їх спожили.

### **Біологічне значення ферментів, їхніх інгібіторів, антивітамінів**

Зерно містить ферменти, наявність та активність деяких із них може позначатись на якості одержаної продукції. Наприклад, це ферменти класу оксидаз (тирозиназа, аскорбатоксидаза, пероксидаза, ліпоксигеназа), гідролаз (естерази, тіоглікозидази, фосфатази, протеази, карбогідрази, амідази), ліази (декарбоксилази).

Тирозиназа спричиняє окиснення амінокислоти тирозину у меланіни, які надають темного кольору продуктам, наприклад, житньому борошну.

Аскорбатоксидаза овочів, ягід та фруктів перетворює аскорбінову кислоту на дегідроаскорбінову, яка значно легше руйнується киснем повітря у лужному середовищі. Найбільше цього ферменту у огірках (80 мг/год×г), кабачках (57 мг/год×г), капусті (18 мг/год×г), крім кольрабі, відсутній він у динях, цибулі. Активація ферменту відбувається за нарізання продуктів.

Пероксидаза за участю перекису водню викликає окислення сполук із ненасиченими зв'язками (терпенів, каротиноїдів, ненасичених жирних кислот).

Ліпоксигеназа зумовлює окислення киснем повітря ненасичених жирних кислот, зокрема, лінолеву та ліноленову, з утворенням гідроперекисних сполук. Ці сполуки надають гіркового присмаку та руйнують каротиноїди та флавоноїди, що позбавляє природного забарвлення продуктів.

Естерази розщеплюють складні ефіри спиртів та жирних кислот, зокрема, триацилгліцеролів. Під час зберігання ці ферменти спричиняють вивільнення жирних кислот, що збільшує кислотність та надає продуктам гіркового присмаку.

Тіоглікозидаза руйнує глюкозид синигрин із насіння чорної гірчиці, внаслідок чого вивільнюється сполуки алілового спирту, що мають подразнюючий ефект.

Фітаза відщеплює залишок фосфорної кислоти від фітину, що забезпечує засвоєння інозиту та кальцію й магнію. Фітаза злаків активна за рН=5...5,5 та температурі не вищій за +70°C.

Рослинні протеази використовують для попереднього розщеплення білків, зокрема, папаїн із соку динного дерева.

Рослинні карбогідррази – мальтаза, сахараза, амілаза. Амілаза особливо активно розщеплює крохмаль, що пройшов термічну обробку, з утворенням мальтози. Амілази рослин зберігають активність у середовищі з рН=5..6, але у випадку самонагрівання зерна (понад +50°C) втрачають активність. Якщо з такого зерна одержати борошно, то тісто з нього буде гіршим.

Уреаза, якої найбільше у сої, розщеплює сечовину до аміаку та вуглекислого газу, це залужує середовище та подразнює слизові оболонки травного каналу. Соевий шрот містить уреазу 0,1...0,2 одиниці (зміна рН відбувається за 30 хв.).

Декарбоксилази відщеплюють вуглекислий газ від органічних кислот та амінокислот, в результаті чого утворюються альдегіди та аміни, які мають виразну подразнюючу дію на травну систему.

У рослинах зустрічаються речовини, які здатні гальмувати активність окремих травних ферментів – протеолітичних (пепсину, трипсину, хімотрипсину, еластази) та амілолітичних (альфа-амілази).

Інгібітори протеаз, оскільки переважно їхня дія проявляється на активності трипсину, так і називаються – інгібітори трипсину, поділяють на два типи:

- 1) аргініновий тип – речовини пшениці, кукурудзи, жита, ячменю, картоплі, інгібітор Кунітца у сої (до 1,4% маси бобів), які гальмують трипсин,
- 2) лізиновий тип – овомукоїди яєць індички, качки, молозива, інгібітор Баумана-Бірка у сої (до 0,6% маси бобів), які гальмують трипсин та хімотрипсин.

Інгібітори інактивуються під час кип'ятіння протягом 3 годин або за 20 хв в автоклаві за +115°C.

Індолілоцтова кислота та ацетилпіридин – у зерні кукурудзи, зменшують перетворення триптофану на вітамін В<sub>5</sub>.

Рутиновмісні продукти (містять ортодифеноли, флавоноїди) руйнують вітамін В<sub>1</sub>.

Лінатин із насіння льону гальмує активність В<sub>6</sub>-залежних ферментів, також подібні до нього речовини є в істівних грибах.

Надлишок лейцину у сорго зумовлює зменшення засвоєння вітаміну РР.

Щавлева кислота ревеню (8 г/кг), щавлю (5 г/кг), шпинату (10 г/кг), портулаку (13 г/кг), столового буряка (2,7 г/кг), картоплі зв'язує кальцій, тим самим порушує його всмоктування із травного каналу.

Фітин або інозитолфосфорна кислота міститься у оболонках зерна злаків

та бобових, тому залишається у висівках до 4 г/кг. Вона зменшує засвоєння кальцію, магнію, марганцю, заліза, цинку, міді.

Сірковмісні речовини (глікозинолати) переважно знаходяться у капусті, гірчиці, ріпаку, редисі, сім'яній шкірці арахісу. За значного надходження вони погіршують засвоєння йоду, тому їх ще називають зобогенними.

В результаті дії ферментів естераз у травному каналі із глікозинолатів виникають ізотіоціанати (ефірні гірчичні олії), тіоціанати, нітрили.

Біогенних амінів багато міститься у помідорах, бананах, апельсинах, ананасах, надмірне споживання цих сполук зумовлює ознаки алергії.

### **Біологічне значення фітонцидів.**

Фітонциди – це речовини, які утворюються рослинами, гальмують ріст та розвиток мікроорганізмів. Їх виявляють у гірчиці, хроні, цибулі, часнику, інших ефіроолійних рослинах.

### **Біологічне значення пігментів.**

Пігменти рослин поділяються на три групи:

- 1) жиророзчинні – хлорофіли та каротиноїди;
- 2) нерозчинні у жирі – флавоноїди, антоціани;
- 3) такі, що виникають в результаті взаємодії безбарвних речовин – меланіни.

Хлорофіли надають зеленого кольору (вид А – синьо-зелений, вид В – жовто-зелений, їхнє співвідношення 3:1). Каротиноїди надають жовтого та оранжевого кольорів. Каротини (альфа, бета, гамма) є попередниками ретинолу. Ксантофіл та кріптоксантин є у жовтій кукурудзі та гречці.

Флавоноїди містять фенольні групи, надають жовтого кольору. Зустрічаються сильно окислені форми – флавоноли, та менш окислені – антоціани, які розчиняються у воді.

Антоціани – пігменти червоного, синього та фіолетового кольору, які розчинені у клітинному соку.

До пігментів належать такі речовини, як керационін (вишня), бетанін (буряк), лікопін (томати), флобафен (яблука, картопля), капсантин (червоний перець), флавоноли (мандарин, апельсин, ріпа, бруква).

### **Біологічне значення лектинів.**

Лектини або фітогемаглютиніни – це глікопротеїни зерна й трави бобових рослин та проростків, які посилюють проникненість стінок кишечника, а коли потрапляють до крові, то зумовлюють аглютинацію еритроцитів. За нагрівання вони втрачають свій шкідливий вплив. Найбільшу токсичність виявили у рицину з насіння рицини.

### **Біологічне значення дубильних речовин.**

Дубильні речовини – безазотисті органічні сполуки, які зумовлюють осадження та денатурацію білків. Танін в айві, груші, хурмі, чаї.

### **Біологічне значення фітотоксинів.**

*Ціаногенні глікозиди та амінокислоти.* Амигдалін – знаходиться у кісточках мигдалю, вишні, абрикосу, сливи, яблука, бульбах касави та маніюки, лінамарин – у насінні льону та бобах білої квасолі, дхурін – у зерні сорго, а у

бобах віки є амінокислота бета-ціано-аланін та глюкозид віцин, яка може стати джерелом синильної кислоти. Ця токсична сполука у кількості 50 мг викликає загибель людини, тому що гальмує окислювальне фосфорилування у мітохондріях клітин, припиняючи клітинне дихання.

*Глікоалкалоїди* – інгібітори ферменту холінестерази, містяться у помідорах та баклажанах. Але найчастіше отруєння зумовлюють соланін та чаконін, що містяться у позеленілій картоплі. Вони руйнуються в процесі термообробки. В результаті отруєння спостерігається збудження нервової системи, погіршення роботи серцево-судинної системи, виникають проноси.

*Нітрильні сполуки* – бета-оксаліламіно-аланін віки, сочевиці та чини зумовлюють появу захворювання латиризм, що пов'язане з демієлінізацією нервових волокон.

*Зобогенні речовини* – тіоціанати, ізотіоціанати та нітрили – це речовини, які погіршують засвоєння йоду людиною, викликаючи ознаки дефіциту йоду, за якого спостерігається розростання щитоподібної залози (утворення зобу). Такі речовини містяться у овочах – капусті, турнепсі, ріпаку, гірчиці, саме вони надають гіркоту листям та насінню цих рослин.

Активно діючі речовини лікарських та отруйних рослин можуть потрапляти до рослинницької продукції і викликати отруєння людей. Це буває у тих випадках, коли посіви культурних рослин бувають поряд із лікарськими та отруйними, що є бур'янами. Стандарти на зерно регламентують максимальний рівень домішки шкідливих рослин до продовольчого зерна.

*Agrostemma githago* або кукіль містить сапоніни – гітагін та агростемову кислоту, які викликають місцеве подразнення слизових оболонок, а після всмоктування у кров – руйнування еритроцитів.

*Coronilla varia* або в'язіль містить коронілін, який токсично впливає на серце та посилює моторику травного каналу.

*Centaurea picris* або гірчак повзучий містить глікозиди, які зумовлюють судоми та проноси.

*Heliotropium dasycarpum* або геліотроп містить алкалоїди – геліотрін та інші, що викликають блювоту, проноси, біль, а потім черевну водянку та збільшення печінки.

*Lolium temulentum* або плевели п'янки містить алкалоїд темулін, що ушкоджує головний та спинний мозок.

*Ricinus communis* або рицина містить алкалоїд ричинін, токсальбумін ричин, які зумовлюють подразнення слизової оболонки травного каналу, проноси, судоми, зниження тиску крові.

*Sophora alorocuroides* та *S. pachycarpa* або софора лисохвоста та софора товстоплідна (гірчак) містять алкалоїд пахікарпін, що знижує провідність гангліїв, тому виникає блювота, атонія кишечника, судоми, сповільнення серцебиття.

*Thermopsis lanceolata* або термопсис ланцетний (мишатник) чи п'яна трава містить алкалоїди цитизин та анагарин, які збуджують дихальний центр.

*Trichodesma incanum* або тріходесма сива містить алкалоїди тріходесмін

та інші, які зумовлюють зниження артеріального тиску, судоми, ушкодження головного мозку та червоного кісткового мозку, блювоту.

### Контрольні питання

1. Дайте визначення нутрієнтам та наведіть їх приклади.
2. Які харчові речовини відносяться до заміінних, а які – до незамінних? Наведіть приклади.
3. Як класифікують харчові речовини за Покровським А.А.?
4. Чим займається наука нутріціологія?
5. Що таке нутріцевтики і парафармацевтики? Яке їх значення?
6. Які речовини належать до еубіотиків? Як їх класифікують? Яке їх значення?
7. Що відображає поняття "харчова цінність продукту"?
8. Що таке енергетична цінність продукту, як вона визначається? Яка енергетична цінність білків, жирів і вуглеводів?
9. Що відображає поняття "біологічна цінність продукту"?
10. Якими показниками характеризується біологічна цінність білків, жирів і вуглеводів?
11. Яке біологічне значення ферментів, їх інгібіторів та антивітамінів? В яких продуктах вони містяться?
12. Яке значення фітонцидів, пігментів, дубильних речовин?
13. Що таке лектини? В яких продуктах містяться лектини? Як зменшити їх негативний вплив?
14. Що таке фітотоксини. в яких продуктах вони містяться і яке їх біологічне значення?

## Тема 3. Вода

### План

- 3.1 Вода в сировині і харчових продуктах, її вміст
- 3.2 Властивості води
- 3.3 Форма зв'язку води в харчових продуктах: вільна і зв'язана
- 3.4 Активність води в харчових продуктах: волога Залежність збереження і стабільності харчових продуктів від активності води
- 3.5 Роль льоду в забезпеченні стабільності харчових продуктів

### 3.1 Вода в сировині і харчових продуктах, її вміст

Вода є важливою складовою харчових продуктів. Вона є присутньою в різноманітних рослинних і тваринних продуктах як клітинний і позаклітинний компонент, розчинник, зумовлюючи їх консистенцію і структуру і впливаючи на зовнішній вигляд, смак і стійкість продукту під час зберігання. Завдяки фізичній взаємодії з білками, полісахаридами, ліпідами і солями, вода вносить значний вклад в текстуру їжі.

Вода, хоча і не є поживною речовиною, але відіграє надзвичайно важливу роль в організмі як:

- стабілізатор температури тіла;
- переносник нутрієнтів (поживних речовин) і травних відходів;
- компонент реакцій і реакційне середовище;

- стабілізатор конформації біополімерів;
- речовина, що полегшує динамічну поведінку макромолекул, включаючи каталітичні властивості.

Вода як найважливіший компонент харчових продуктів має наступне значення:

- є клітинним і позаклітинним компонентом в рослинних і тваринних продуктах;
- є диспергуючим середовищем і розчинником у великій різноманітності продуктів;
- зумовлює консистенцію і структуру продукту;
- впливає на його зовнішній вигляд і смак;
- впливає на стійкість продукту під час зберігання.

Завдяки тому, що багато видів харчових продуктів містять велику кількість вологи, потрібні ефективні способи для тривалого їх зберігання. Видалення вологи, істотно змінює біологічні речовини і природні властивості продукту. Вміст вологи в харчових продуктах знаходиться в широких межах.

Вода підтримує хімічні реакції, є прямим учасником в гідролітичних реакціях. Тому видалення вологи з харчових продуктів або зв'язування її збільшенням вмісту солі або цукру, гальмує багато реакцій й інгібує ріст мікроорганізмів. Таким чином, збільшується тривалість зберігання багатьох харчових продуктів. Завдяки фізичній взаємодії з білками, полісахаридами, ліпідами і солями, вода вносить значний вклад в текстуру їжі.

Таблиця 3.1 – Вміст вологи в харчових продуктах

Продукт	Вміст вологи	Продукт	Вміст вологи
М'ясо	65...75	Борошно	12...14
Молоко	87	Кава (зерна)	5
Фрукти, овочі	70...95	Сухе молоко	4
Хліб	35	Пиво, соки	87...90
Мед	20	Сир	37
Олія	16...18	Джем	28

### 3.2 Властивості води

#### ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ І ЛЬОДУ

Вода має молекулярну масу приблизно рівну 18,02 і може існувати в станах рідини, пари і льоду, що характеризуються наступними показниками фазових переходів:

Точка замерзання (плавлення) за 101,3 кПа, °С.....	0,00
Кипіння.....	100,00
Потрійна точка.....	
температура, °С.....	0,0099
тиск, Па (мм рт. ст.).....	610,4 (4,579)
Теплота, кДж/моль (ккал/моль).....	
плавлення за 0°С.....	6,01 (1,435)
Пароутворення за 100°С.....	40,63 (9,704)
Сублімації за 0°С.....	50,91 (12,16)

Як видно з цих даних для води характерні висока температура кипіння і плавлення, високі значення теплоти фазових переходів (плавлення, пароутворення, сублімації) в порівнянні з гідридами деяких елементів, розташованих близько до Оксигену в періодичній системі ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ ).

Воду виявляє незвичайна властивість розширюватися під час замерзання, внаслідок чого густина льоду нижча, ніж води за тієї ж температури, що нехарактерно для інших речовин під час переходу з рідкого стану в твердий. Серед інших аномалій води слід зазначити високе значення поверхневого натягу і діелектричної сталої та високу теплопровідність. Теплопровідність води вища, ніж інших рідин, а льоду – більше, ніж інших неметалічних твердих речовин. Слід також відмітити, що теплопровідність льоду за  $0^\circ\text{C}$  приблизно в чотири рази більше, ніж води за тієї ж температури, тобто лід проводить тепло значно швидше, ніж іммобілізована (нерухома) вода, що знаходиться в тканинах. Якщо врахувати, що теплопровідність льоду на порядок вище, ніж води, стає зрозумілим, чому тканини замерзають швидше, ніж відтають, якщо задається однакова різниця температур.

### БУДОВА МОЛЕКУЛИ І ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ. ВЗАЄМОДІЯ ВОДИ З РОЗЧИННИМИ РЕЧОВИНАМИ

Аномальні властивості води дають змогу зробити припущення про існування міцних сил між молекулами води.

Молекула води ( $\text{sp}^3$ -гібридація) має два частково негативних і два частково позитивних заряди в кутах тетраедра. Внаслідок цього, кожна молекула води, тетраедрично координована з чотирма іншими молекулами води завдяки водневим зв'язкам (рисунок 3.2):

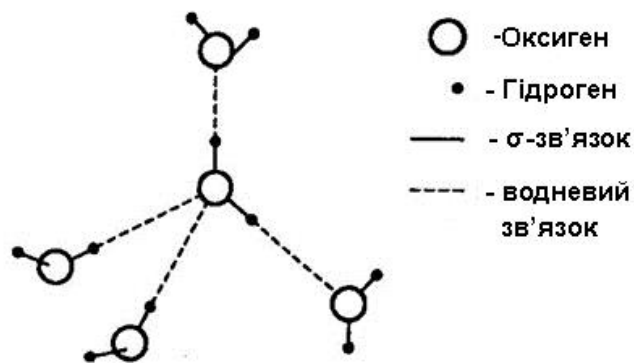


Рисунок 3.2 – Тетраедрична координація молекул води

Одночасна присутність в молекулі води двох донорів і двох акцепторів робить можливою асоціацію в тривимірну структуру, стабілізовану водневими зв'язками, що забезпечує велику силу взаємодії між молекулами. Ця структура пояснює особливі фізичні властивості води, незвичайні для малих молекул.

Здатність води утворювати тривимірні водневі зв'язки, для руйнування яких потрібна додаткова енергія, пояснює розглянуті вище незвичайні властивості води, наприклад високі значення теплоємності, точок плавлення і кипіння, поверхневого натягнення і теплот фазових переходів.

З хімічної точки зору вода є дуже реакційноздатною речовиною. Вона



взаємодіє з багатьма оксидами металів і неметалів, взаємодіє з активними металами і вступає в різні інші реакції найрізноманітнішого характеру.

Перетворення білків, ліпідів, вуглеводів за участю води мають важливе значення в харчових технологіях.

Окрім хімічних реакцій, в які вступає вода, за розчинення в ній речовин мають також місце взаємодії фізико-хімічного характеру.

У випадку додавання різних речовин до води змінюються властивості як самої речовини, так і води. Гідрофільні речовини взаємодіють з водою шляхом іон-дипольного або диполь-дипольного механізму, викликаючи зміни в структурі води, її рухливості, а також в структурі і реакційній здатності гідрофільних речовин. Гідрофобні групи доданих до води речовин взаємодіють з нею слабо, віддаючи перевагу неводному оточенню. Молекули біля гідрофобних груп стають більше впорядкованими, що призводить до зменшення ентропії. Щоб зменшити контакт з водою, гідрофобні групи агрегуються.

### **Взаємодія води з іонами та іонними групами**

Вода, що взаємодіє з іонами і іонними групами, є найбільш міцно зв'язаною в харчових продуктах. Нормальна структура чистої води (конфігурація тетраедра, що тримається на водневих зв'язках) порушується в результаті додавання дисоціюючих речовин. Для простих неорганічних іонів, які не мають донорних або акцепторних місць для утворення водневих зв'язків, зв'язок є просто полярним. Простий приклад – гідратовані іони хлориду натрію. Вода в мультишарі існує в структурно зруйнованому стані через конкуруючий вплив, з одного боку, моношару, з іншого – зовнішньої маси води.

Здатність іонів змінювати структуру води тісно пов'язана з силою електричного поля іона. Малі і (або) багатовалентні (головним чином, позитивні) іони, такі як  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{OH}^-$  мають сильне електричне поле і є утворювачами сітчастої структури. Біля кожного з цих іонів розташовані від 4 до 6 молекул води. Зв'язана вода є менш лабільною і має щільнішу структуру в порівнянні з чистою водою (рисунок 3.3).

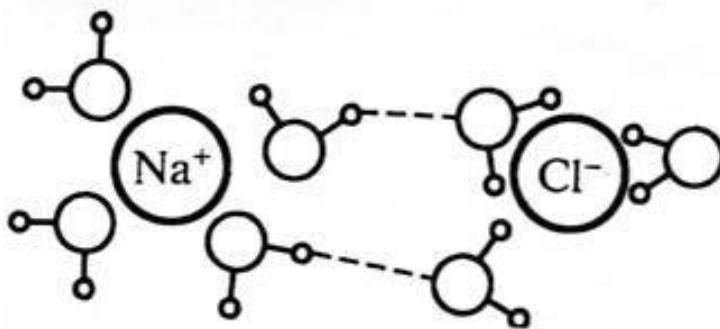


Рисунок 3.3 – Структура зв'язаної води

Великі і моновалентні іони (головним чином, негативно заряджені іони і великі позитивні іони), такі як  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{BrO}_3^-$ ,  $\text{IO}_3^-$  і  $\text{ClO}_4^-$ , мають відносно слабке електричне поле і є руйнівниками сітчастої структури, хоча для  $\text{K}^+$  цей ефект є дуже слабким.

Завдяки різній здатності іонів до гідратації, змінювати водну структуру,

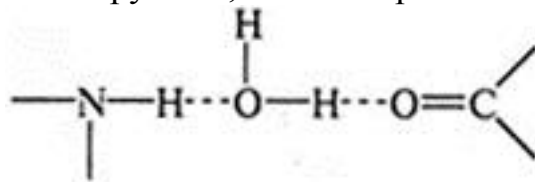
впливати на діелектричну сталу водного середовища і товщину подвійного електричного шару біля колоїдів, вони сильно впливають на суспендовані і інші розчинені речовини в середовищі. Тому, наприклад, конформація білків і стабільність колоїдів сильно залежать від виду і кількості присутніх іонів.

### **Взаємодія води з нейтральними групами, що мають здатність утворювати водневі зв'язки**

Водневі зв'язки вода-розчинена речовина є слабкішими, ніж у випадку вода-іон взаємодіях. Проте, вода, що зв'язана за допомогою водневих зв'язків з розчиненою речовиною, може бути класифікована як "органічно зв'язана" або "довколишня" і повинна проявляти знижену рухливість в порівнянні з водою в масі розчину (водної фази).

Можна чекати, що речовини, здатні до утворення водневих зв'язків, не підвищують або, принаймні, не руйнують нормальну структуру чистої води. Проте у ряді випадків відзначається орієнтація водневих зв'язків, відмінна від нормальної води.

Водневі зв'язки води утворюються з різними групами (гідроксил-, аміно-, карбоніл-, амід- або іміно-). Наприклад, вода утворює водневі зв'язки з двома видами функціональних груп білків. Ці зв'язки можуть бути як в одній макромолекулі між різними групами, так і між різними макромолекулами:



### **Взаємодія вода-неполярна речовина**

У системі вода-неполярна речовина важливі два аспекти структурних утворень: утворення клатратних гідратів і гідрофобні взаємодії у білках.

Клатратні гідрати є сполуками включення, тобто це сполуки, що мають молекулу-"хазяїна", яка утворюється за рахунок водневих зв'язків, і молекулу - "гостя". Утворення такого типу мають місце у біологічних матеріалах.

"Гості" в клатратних гідратах є низькомолекулярними сполуками, а "хазяїн" – сітка з 20...74 водних молекул.

Типові "гості" – низькомолекулярні вуглеводні, галогенвуглеводні, діоксид вуглецю, етиленоксид, етиловий спирт, коротколанцюгові первинні, вторинні і третинні аміни, алкіл-амоній. Взаємодія між водою і "гостем" часто зумовлена слабкими Ван-дер-ваальсовими силами, але може мати місце і електростатична взаємодія.

Клатратні гідрати мають важливе значення, оскільки впливають на конформацію, реакційноздатність і стабільність таких молекул, як білки.

Гідрофобні взаємодії у водному оточенні є також важливими, оскільки приблизно 40% загальних амінокислот у більшості білків мають неполярні групи. Неполярні групи інших компонентів, таких як спирти, жирні кислоти, вільні амінокислоти, також можуть брати участь в гідрофобних взаємодіях. Ці взаємодії є слабкими, за силою вони приблизно такі ж, як сили Ван-дер-Ваальса. Гідрофобні взаємодії важливі для четвертинної структури багатьох

білків, тому вода (і водна структура) відіграє важливу роль в конформації білку.

### 3.3 Форма зв'язку води в харчових продуктах: вільна і зв'язана

Загальна вологість продукту вказує на кількість води в ньому, але не характеризує її причетність до хімічних, біохімічних і мікробіологічних змін в продукті. У забезпеченні його стійкості під час зберігання важливу роль відіграє співвідношення вільної і зв'язаної води.

*Зв'язана вода* – це асоційована вода, міцно зв'язана з різними компонентами – білками, ліпідами і вуглеводами за рахунок хімічних і фізичних зв'язків. Така вода існує поблизу розчиненої речовини й інших неводних компонентів, має зменшену молекулярну рухливість та інші властивості, що відрізняються від усїєї маси води в тій же системі, і не замерзає за температури  $-40^{\circ}\text{C}$ .

*Вільна вода* – це вода, яка не зв'язана полімером і доступна для перебігу біохімічних, хімічних і мікробіологічних реакцій.

Наприклад, за вологості зерна 15...20% зв'язана вода складає 10...15%. За більшої вологості з'являється вільна вода, що сприяє посиленню біохімічних процесів (наприклад, проростанню зерна).

Плоди і овочі мають вологість 75...95%. В основному, це вільна вода, проте приблизно 5% води утримується клітинними колоїдами в міцно зв'язаному стані. Тому овочі і плоди легко висушити до 10...12%, але висушування до нижчої вологості вимагає застосування спеціальних методів.

Більша частина води в продукті може бути перетворена на лід за температури  $-5^{\circ}\text{C}$ , а вся – за температури  $-50^{\circ}\text{C}$  і нижче. Проте певна частка міцно зв'язаної води не замерзає навіть за температури  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Зрозуміло, що на видалення вільної і зв'язаної води затрати енергії будуть різні.

*Вільна вода* слабо зв'язана з сухими речовинами, легко видалається з продукту під час висушування ( $t \sim 100^{\circ}\text{C}$ ), віджимання, пресування, замерзає за  $0^{\circ}\text{C}$ . Різновидом вільної води є *гігроскопічна*, поглинена продуктами з повітря. Продукти, що мають здатність поглинати або віддавати воду, називаються *гігроскопічними* (цукор, цукристи кондитерські вироби, крупа, борошно, крохмаль, сушені плоди й овочі).

*Зв'язана вода* міцно утримується сухими речовинами і погано видалається навіть випаровуванням ( $t > 300^{\circ}\text{C}$ ). Зв'язана вода знаходиться в мікрокапілярах, адсорбується внутрішньоклітинними системами і утримується колоїдами білків і вуглеводів. До зв'язаної води відноситься також *кристалізаційна* вода. Наприклад, вода, що входить до складу кристалів лимонної кислоти і глюкози ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Таку воду можна видалити з продукту в результаті термічного розкладання деяких речовин за підвищених температур. Зв'язана вода має інший показник заломлення, має нижчу температуру замерзання, густину, не засвоюється мікроорганізмами і позитивно впливає на збереження продукту.

Вода зв'язана може переходити у воду вільну і навпаки. Наприклад, під час розмерзання м'яса, риби, свіжих плодів і овочів частина зв'язаної води переходить у вільну, що призводить до псування продуктів під дією

мікроорганізмів. Під час замішування тіста, варіння макаронних виробів вільна вода поглинається білками і перетворюється на зв'язану колоїдними системами воду.

Поділ на зв'язану і незв'язану воду є умовним, так як майже вся вода, що міститься в харчовому продукті знаходиться у зв'язаній формі, але утримується тканинами з різною силою. Так, за класифікацією П.А. Ребіндера (для колоїдних капілярно-пористих тіл), в основу якої покладена природа та енергія хімічного зв'язку форми зв'язку вологи з сухими речовинами поділяються на три групи: хімічна, фізико-хімічна і фізико-механічна.

1. *Хімічна форма зв'язку* – молекули води входять до складу речовин в точному кількісному співвідношенні. Для видалення її потрібно інтенсивну обробку теплом, що призводить до руйнування структури матеріалу(зв'язана вода).

2. *Фізико-хімічна форма зв'язку* – адсорбційна й осмотична. Адсорбційно-зв'язана вода утримується силами Ван-дер-Ваальса поверхневих молекул колоїдних речовин (білків і вуглеводів) на межі поділу тверде тіло-вода. Наприклад, в зернових культурах за їх вологості менше 14% вода знаходиться в зв'язаному стані. З підвищенням вологості 14,5-15,5% з'являється вільна вода. Подальше поглинання води зумовлюється силами осмосу і дифузії. Така вода називається осмотично поглиненою або структурною. Вона не так міцно зв'язана, характеризує стадію набрякання (вільна вода).

3. *Фізико-механічна форма зв'язку* характерна для води, що заповнює капіляри, великі пори і порожнини в тілах. Капілярами вода утримується з більшою силою (зв'язана вода). Волога, що утримується силами зчеплення, зв'язана з матеріалом найслабкіше і може бути видалена механічним шляхом (вільна вода).

### **3.4 Активність води в харчових продуктах: волога Залежність збереження і стабільності харчових продуктів від активності води**

Стан води в харчових продуктах, її причетність до хімічних та біологічних змін характеризується таким показником як *активність води*.

*Активність води*  $a_w$  – це відношення тиску пари води над продуктом ( $P_w$ ) до тиску пари води над чистою водою ( $P_0$ ) за тієї ж температури:

$$a_w = \frac{P_w}{P_0} = \frac{\text{ВВП}}{100}, \quad (3.1)$$

де – ВВП відносна вологість продукту в стані рівноваги, коли продукт не сприймає вологу і не віддає її в атмосферу.

Показник активності води (таблиця 3.2) краще характеризує вплив вологи на псування продукту ніж просто значення вмісту вологи. За величиною  $a_w$  розрізняють:

- продукти з високою вологістю  $a_w = 1,0 \dots 0,9$ ;
- продукти з проміжною активністю  $a_w = 0,9 \dots 0,6$ ;
- продукти з низькою активністю  $a_w = 0,6 \dots 0,0$ .

Таблиця 3.2 – Активність води ( $a_w$ ) в харчових продуктах

Продукт	Вологість, %	$a_w$	Продукт	Вологість, %	$a_w$
Фрукти	90...95	0,97	Борошно	16...19	0,80
Яйця	70...80	0,97	Мед	10...15	0,75
М'ясо	60...70	0,97	Карамель	7...8	0,65
Сир	40	0,92-0,96	Печиво	6...9	0,60
Джем	30...35	0,82-0,94	Шоколад	5...7	0,40
Хліб	40...50	0,95	Цукор	0...0,15	0,10
Кекс	20...28	0,83			

Вода в продуктах харчування її вміст та активність є найважливішими чинниками, що впливають на стійкість продуктів під час зберігання. Так, в продуктах з *низькою вологістю* можуть відбуватися процеси окиснення жирів, неферментативне потемніння, втрата водорозчинних речовин, ферментативне псування; *в продуктах з проміжною вологістю* – ті ж процеси, а також процеси за участі мікроорганізмів; *в продуктах з високою вологістю* – вирішальна роль належить процесам за участі мікроорганізмів.

Більшість бактерій розмножується за  $a_w = 0,85...0,95$ ; плісняв – за  $a_w = 0,6...0,8$ ; дріжджів –  $a_w = 0,8...0,9$ .

Активність води має велике значення і для текстури продуктів. Наприклад, в сухих продуктах (сухе молоко, крекери і т.п.) максимальне значення  $a_w$  повинно бути  $0,35...0,5$ . Для продуктів з м'якою текстурою, що не повинні хрумтіти значення  $a_w$  мають бути більшими.

В країнах Євросоюзу показник активності води є обов'язковим під час проведення експертизи цілого ряду харчових продуктів.

### 3.5 Роль льоду в забезпеченні стабільності харчових продуктів.

Заморожування є найбільш поширеним способом консервації (збереження) багатьох харчових продуктів. Необхідний ефект від заморожування досягається в більшій мірі від дії низької температури, ніж від утворення льоду. Утворення льоду в клітинних структурах харчових продуктів і гелях має два важливі наслідки:

- а) неводні компоненти концентруються в незамерзаючій фазі і (незамерзаюча фаза існує в харчових продуктах за усіх температур зберігання);
- б) уся вода, що перетворюється на лід, збільшується на 9% в об'ємі.

Під час заморожування вода переходить в кристали льоду різного, але досить високого ступеня чистоти. Усі неводні компоненти через це концентруються в зменшеній кількості незамерзлої води. Завдяки цьому ефекту, незамерзла фаза істотно змінює такі властивості, як рН, кислотність, іонна сила, в'язкість, точка замерзання, поверхневий натяг, окиснювально-відновний потенціал. Структура води і взаємодія "вода-розчинена речовина" також можуть сильно змінюватися.

Ці зміни можуть збільшити швидкості реакцій. Таким чином, заморожування має два протилежні впливи на швидкість реакцій: низька температура як така її зменшуватиме, а концентрація компонентів в

незамерзлій воді – іноді збільшувати.

Чинник можливості збільшення швидкості різних реакцій в заморожених продуктах необхідно враховувати під час їх зберігання, оскільки цей чинник впливатиме на якість продукту (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Приклади збільшення швидкості ферментативних реакцій під час заморожування

Тип реакції	Зразок	Температура, за якої швидк. реакції зростала, °С
Втрата глікогену і (чи) акумуляція молочної кислоти	Риба, яловичина, олія, птах	-2,5 до -6
Деградація високоенергетичних фосфатів	Те ж	-2 до -8
Гідроліз фосфоліпідів	Тріска	-4
Окиснення L- аскорбінової кислоти	Суниця	-6

Численними дослідженнями показано, що істотне зниження швидкості реакцій (більш ніж в 2 рази) має місце під час зберігання харчових продуктів в умовах досить низької температури (-18°C).

### Контрольні питання

1. Охарактеризуйте фізичні властивості води і льоду.
2. Яка будова молекул води?
3. Охарактеризуйте взаємодію води з іонами і іонними групами.
4. Як взаємодіє вода з нейтральними групами, здатними утворювати водневі зв'язки?
5. Як відбувається взаємодія води з неполярною речовиною?
6. Що таке вільна і зв'язана волога?
7. Дайте визначення "активності води"
8. Охарактеризуйте зв'язок між стабільністю харчових продуктів і активністю води
9. Які технологічні прийоми використовують для зниження активності води?
10. Поясніть можливість збільшення швидкості різних реакцій в заморожених продуктах.

## Тема 4. Білки: будова, властивості та функції

### План

- 4.1 Визначення та функції білків. Значення білків в харчуванні людини
- 4.2 Норми споживання білків. Білково-калорійна недостатність та її наслідки. Харчові алергії
- 4.3 Амінокислоти та їх деякі функції в організмі
- 4.4 Незамінні амінокислоти. Харчова та біологічна цінність білків
- 4.5 Будова пептидів та білків
- 4.6 Функціональні властивості білків
- 4.7 Перетворення білків у технологічному процесі
- 4.8 Білки харчової сировини
- 4.9 Нові форми білкової їжі

### 4.1. Визначення та функції білків. Значення білків в харчуванні людини

Білки або протеїни – високомолекулярні азотовмісні сполуки, молекули яких побудовані із залишків  $\alpha$ -амінокислот.

Термін "протеїн", введений Берцеліусом в 1838 р. в перекладі з грецької означає "первинний", що відображає головуючу роль білків в природі.

У природі існує  $10^{10} \dots 10^{12}$  різних білків, що становлять основу  $1,2 \cdot 10^{12}$  видів живих організмів, починаючи від вірусів і закінчуючи людиною. Вони кількісно переважають над іншими макромолекулами, є присутніми в живій клітині і складають приблизно 20% маси людського тіла, більше 50% сухої маси клітини.

Величезна різноманітність білків зумовлена здатністю двадцяти протеїногенних  $\alpha$ -амінокислот взаємодіяти одна з одною з утворенням полімерних молекул.

Виняткова властивість білків – самоорганізація структур, тобто здатність до самодовільного створення визначеної, властивої тільки даному білку просторової структури.

За хімічною будовою білки – це біополімери, які складаються із залишків амінокислот, з'єднаних пептидними зв'язками. Для хімічного складу білків характерний постійний середній вміст нітрогену – приблизно 16%.

Білки належать до незамінних, есенціальних речовин, без яких неможливе життя, ріст та розвиток організму. Це зумовлено фізіолого-гігієнічними функціями, які виконують білки харчового раціону в організмі людини.

### БІОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ БІЛКІВ

1) **каталітична** полягає в тому, що білки (ферменти) прискорюють біохімічні реакції в процесі обміну речовин;

2) **структурна** – білки у тварин утворюють рогові покриви, є основою сполучення між клітинами (на структурний білок сполучної тканини колаген припадає третина всіх білків організму за масою);

3) **рухова**, яку виконують скорочувальні білки, які у всіх живих організмів побудовані і функціонують за спільним принципом, наприклад, актин і міозин у м'язовому волокні;

4) **транспортна** – перенесення по крові гормонів, газів (гемоглобін і міоглобін), заліза, залишків жирних кислот (альбумін крові), та ін.; активний транспорт багатьох речовин через клітинну мембрану;

5) **регуляторна** – регулювання швидкості біохімічних процесів (гормони гіпофізу, підшлункової залози, які є білками або похідними амінокислот); нейроолігопептиди забезпечують в головному мозку складні психічні і фізіологічні явища (пептид страху, пам'яті тощо); білки є регуляторами зчитування спадкової інформації з ДНК; рецепторами мембран, які забезпечують трансформацію і передачу в клітину інформації (гормонального сигналу);

б) **захисна** функція білків полягає у синтезі антитіл у відповідь на появу чужорідних молекул (антитіла зв'язують і знешкоджують їх); одним із білків, що виконує таку функцію є білок інтерферон, що знешкоджує чужорідну нуклеїнову кислоту; токсини (наприклад ботулізму);

7) **енергетична** – білки можуть бути джерелом енергії для людини, так в результаті повного окиснення 1 г білка виділяється біля 17 кДж енергії, проте білки не відкладаються про запас – надмірна кількість білків, що надійшла до організму, витрачається для отримання енергії; крім того, під час розщеплення білків вивільняється токсичний продукт – аміак, на детоксикацію якого витрачається енергія. Половина з амінокислот, які утворюють білки, в організмі людини не синтезується і повинна надходити з їжею, тому використання білків як джерела енергії є для організму вимушеним, пов'язаним із незбалансованим вмістом в їжі амінокислот, необхідних для побудови білків;

8) **інформаційна** функція білків полягає в тому, що через білки відбувається передача генетичної інформації з покоління в покоління.

## ЗНАЧЕННЯ БІЛКІВ В ХАРЧУВАННІ ЛЮДИНИ

Білки неможливо замінити іншими речовинами, їх роль в організмі людини є надзвичайно важливою і необхідність білків для організму людини пояснюється наступним:

– **білок потрібний для росту і розвитку**, так як він є основним будівельним матеріалом для утворення нових клітин;

– **білок управляє обміном речовин** (метаболізмом): за фізичного навантаження в м'язовій тканині спочатку відбувається процес розпаду речовин – катаболізм (дисиміляція), під час якого вивільняється енергія, а потім – зворотний процес – анаболізм (асиміляція), за якого енергія запасється;

– **білки справляють сильну динамічну дію на метаболізм**: після їди швидкість метаболізму зростає, так наприклад, якщо їжа багата вуглеводами, метаболізм прискорюється на 4%, якщо білками – на 30%;

– **білки регулюють водний баланс в організмі** (завдяки своїй гідрофільності – здатності притягувати воду): у здорових людей білки у поєднанні з деякими мінеральними речовинами регулюють вміст води в різних ділянках тіла; нестача білків в їжі позначається на його вмісті в крові – вона



збіднюється білками, в результаті чого вода із крові переходить в міжклітинний простір і в такому випадку вода не видаляється нирками, що призводить до виникнення набряків;

– білки підсилюють імунну систему, синтезуючи антитіла, які борються з інфекцією, ліквідовуючи загрозу захворювання.

#### **4.2 Норми споживання білків. Білково-калорійна недостатність та її наслідки. Харчові алергії**

##### **НОРМИ СПОЖИВАННЯ БІЛКУ**

Найважливішим питанням нутриціології є питання про потребу в білках. Вважають, що денний синтез білка в організмі дорослої людини становить 500 г. Інтенсивність оновлення білків у різних тканинах є неоднаковою. Вважають, що у середньому за 3 тижні оновлюється 50% білків. Синтезуються білки в організмі людини з амінокислот, що утворюються за рахунок дисиміляції білків харчового раціону і під час дисиміляції власних білків. У тканинах існує фонд вільних амінокислот, який поповнюється як за рахунок амінокислот білків їжі, так і за рахунок дисиміляції власних білків. За рахунок реутилізації амінокислот, що утворюються внаслідок обміну білків, синтезується 2/3...3/4 власних білків організму. Відповідно, харчовий раціон повинен забезпечити надходження такої кількості амінокислот, щоб забезпечити синтез 1/3...1/4 власних білків. Наукове обґрунтування цієї кількості білка відбувається за азотистим балансом. Якщо людина знаходиться на безбілковому харчовому раціоні, то втрата азоту з сечею, калом та потом становить 85 мг на 1 кг маси тіла. Коли азот перерахувати на білок ( $85\text{мг} \times 6,25$ ), то це буде становити 0,5 г білка на 1 кг маси тіла. Таким чином, для підтримання рівноваги між процесами синтезу та деструкції білків необхідно, щоб з харчовим раціоном надходило на 1 кг маси тіла 0,5 г білків. Але за такого рівня білка у харчовому раціоні процеси синтезу та деструкції білків не завжди врівноважені.

Для вивчення потреби організму у білках вимірюють їх баланс, тобто зіставляють кількість протеїнів, що надійшли до організму, і продуктів їх розпаду, що виділилися.

У здорової дорослої людини за повноцінного раціону харчування існує **азотиста рівновага**.

Молодий організм, який росте, характеризується **позитивним балансом** білків – азоту виводиться з організму менше, ніж надходить, оскільки переважають пластичні процеси.

Коли кількість білка у харчовому раціоні є недостатньою, то спостерігається **від'ємний азотистий баланс**. Це свідчить про те, що витрата тканинних білків перевищує надходження незамінних амінокислот з білками харчового раціону. Від'ємний азотистий баланс може виникати за нестачі білків в раціоні, а також у старих людей.

Таким чином, враховуючи можливості виникнення з тих чи інших причин від'ємного азотистого балансу, під час розрахунку норм споживання білку на мінімальну потребу (0,5 г білка на 1 кг маси тіла) роблять поправки: 10% на

стрес (0,55 г), 40% на важку працю (0,77 г), 30% на найгіршу засвоюваність (1 г). Потреба у білках залежить також від статі, віку, характеру трудової діяльності, кліматичних умов, національних особливостей харчування.

Продовольча комісія ВООЗ рекомендувала встановити оптимальний рівень потреби у білку для чоловіків та жінок 1 г на 1кг маси тіла (в середньому, 60...110 г/добу для дорослих людей). Це є середнє число необхідної потреби людини. Однак коли місцеві раціони базуються на грубій, волокнистій їжі, згідно з рекомендаціями, необхідно збільшити вміст білка у харчовому раціоні відносно зменшення рівня його перетравлювання та засвоєння (на 10...15%).

Рекомендовані норми споживання білка в різних країнах є різними. Рекомендовані норми споживання білків в нашій країні є такими: 72...120 г білків на добу для чоловіків і 60...90 г – для жінок, у тому числі білків тваринного походження 43...65 і 43...49 г відповідно. Нижня межа для осіб, чия робота не пов'язана з фізичною працею, верхня – для осіб, що відчувають сильні навантаження.

Потреба у білках збільшується до 110...120 г для осіб, що перенесли важкі інфекції, хірургічні втручання, що мають захворювання органів травлення, дихання, а у високобілковій дієті, наприклад, у діабетиків, його кількість може досягати 135...140 г.

Білки обмежуються до 20...40 г/добу під час захворювань, пов'язаних з нирковою недостатністю та деяких інших.

Враховуючи вікові категорії, норми споживання білків складають:

для немовлят.....	3 г/кг	для молоді до 18...1.....	1,5 г/кг
для дітей 4...6 років.....	2 г/кг	для дорослих.....	0,9 г/кг
для дітей 10...12 років...	1,5 г/кг	для вагітних жінок і людей старших 60 років..	1,5 г/кг

Літнім людям потрібно білків більше, оскільки у них гірше відбуваються процеси травлення і засвоюваності білків.

Порушення норм надходження білків має негативні наслідки (рисунок 4.1).

**Надмірний вміст білків** призводить до:

- збільшення утворення аміаку в тканинах;
- накопичення токсичних продуктів в товстому кишечнику, оскільки посилюються неконтрольовані організмом процеси гниття;
- підвищення навантаження на печінку, в якій відбувається знешкодження, і на нирки, через які продукти виводяться з організму;
- надмірне збудження нервової системи, гіповітаміноз А і В<sub>6</sub>.

Тривале споживання білків понад 3 г на 1кг маси тіла призводить до розвитку подагри, що пов'язано з утворенням значної кількості сечовини та сечової кислоти, солі якої відкладаються у суглобах.

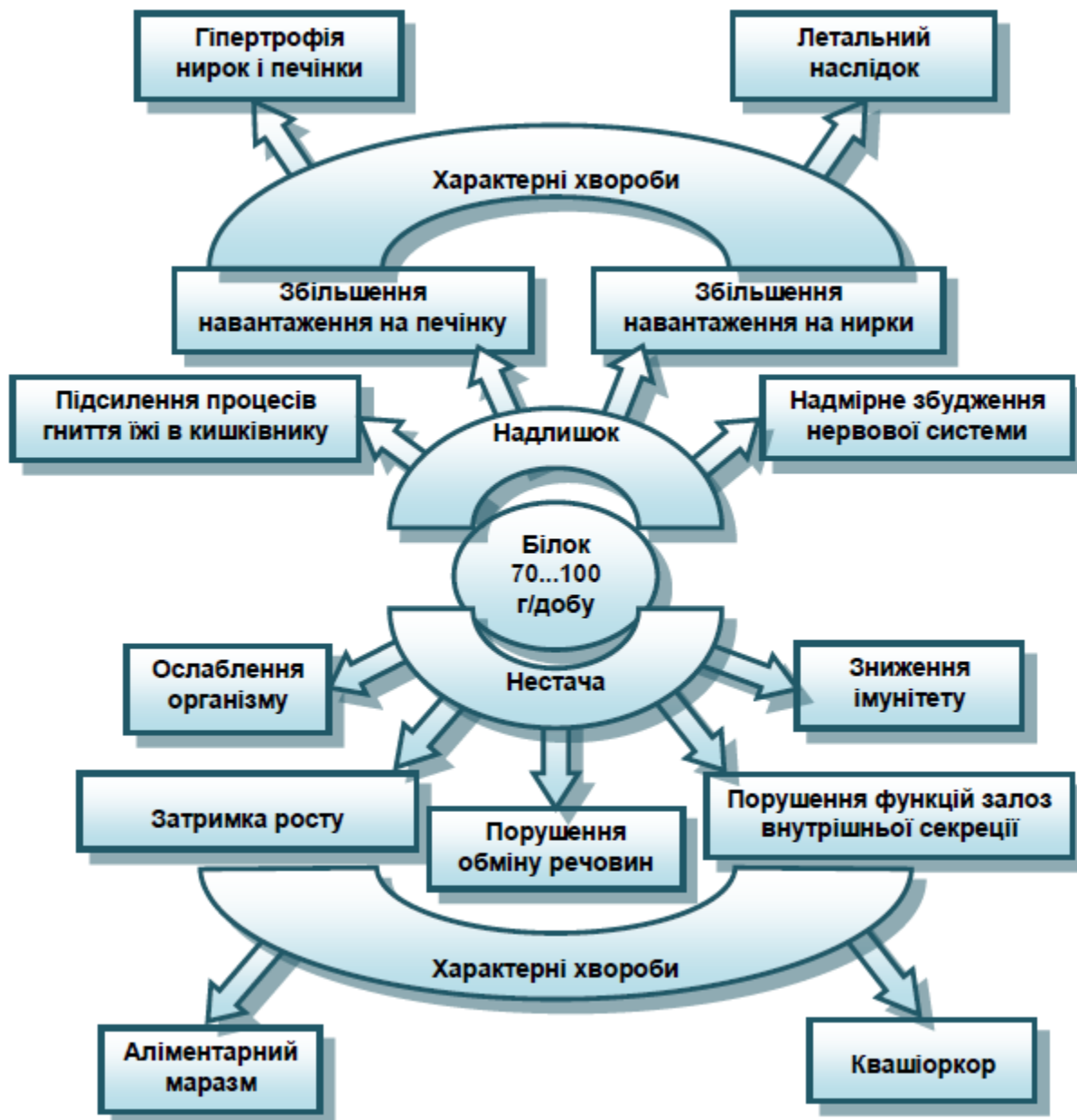


Рисунок 4.1 Наслідки порушення норм надходження білків до організму

**За нестачі білків** відбуваються наступні зміни:

- пригнічується функція лімфоцитів, що забезпечують імунітет на клітинному рівні;
- знижується активність лейкоцитів, в результаті чого знижується стійкість до бактерійних інфекцій;
- полегшується процес формування злоякісних пухлин.

Якщо в період розвитку і росу діти відчувають нестачу у білках, то в пізнішому віці, навіть за найкращого живлення, ці втрати є непоправними. У таких дітей сповільнюється ріст і розумовий розвиток, порушується кісткоутворення, обмін вітамінів, знижується опір організму до інфекцій.

У країнах Стародавнього Сходу, як відмічають джерела, існувала своєрідна страта: засуджених до смерті годували тільки відвареним м'ясом і

вони помирали від самоотруєння на 28...30 день, тобто набагато раніше, ніж за повного голодування.

### БІЛКОВО-КАЛОРІЙНА НЕДОСТАТНІСТЬ ТА ЇЇ НАСЛІДКИ

Деякі регіони Землі відчувають гостру нестачу білків. Білково-калорійна недостатність найбільш негативно впливає на розвиток дитячого організму, який потребує підвищеного надходження пластичного матеріалу для нормального розвитку.

Білкова недостатність різного ступеня можлива у вегетаріанців, що споживають тільки рослинну їжу обмеженого асортименту, під час вагітності, внаслідок нераціонального (жиро-вуглеводного) харчування дітей та підлітків за рахунок кондитерських виробів. Дефіцит білка у харчуванні відзначається у більшості хворих на алкоголізм. Крім того, білкова недостатність організму може бути спричинена різними захворюваннями, бути неаліментарного походження. Порушення перетравлювання та всмоктування білків можливе у разі хвороб органів травлення, зокрема кишок. Збільшується використання білка, що веде до білкової недостатності, у разі туберкульозу, багатьох інфекційних захворювань, важких травм, великих опіків, злякисних новоутворень, хвороб нирок (нефротичний синдром), масивної крововтрати. До білкової недостатності можуть призвести неправильно складені за вмістом та якістю білка малобілкові дієти, що застосовують у разі хвороб нирок та печінки.

Білкова недостатність поділяється на чисто білкову недостатність та білково-енергетичну недостатність (БЕН).

*Чисто білкова недостатність* найчастіше проявляється під час переведення дітей на натуральну їжу у вигляді синдрому дистрофії під назвою квашіоркор.

*Квашіоркор* – стан, для якого характерні набряки, низька маса тіла, пігментація шкіри. Він вражає, передусім, немовлят і дітей перших років життя. Недостатнє надходження білків з їжею призводить до зниження синтезу клітинних білків і травних ферментів. В результаті організм дитини втрачає здатність перетравлювати і засвоювати навіть те недостатнє надходження білків, яке він отримує з їжею.

Квашіоркор супроводжується порушенням фізичного і розумового розвитку. Причому останнє носить безповоротний характер. Дефекти розумового розвитку, пов'язані з недостатнім білковим харчуванням у віці до 3...5 років, в подальшому неможливо виправити навіть за найсприятливіших умов. Звідси й виходить непорушна вимога щодо повноцінного білкового харчування для дитячого організму.

*Білково-енергетична недостатність* проявляється у вигляді аліментарної дистрофії чи аліментарного маразму.

Симптомами *аліментарного маразму* є низька для даного віку маса тіла, зникнення підшкірного жирового шару, загальне виснаження мускулатури. Найчастіше спостерігається у немовлят і дітей молодшого віку.

Ранні симптоми БЕН: прогресуюча кволість, зниження працездатності, швидка фізична та психічна втомлюваність, відчуття мерзлякуватості та голоду. Найхарактернішою ознакою БЕН є втрата маси тіла. Спочатку худне обличчя, з'являються зморшки, що надає обличчю старечого вигляду. Шкіра через втрату жирового шару суха, зморшкувата. Волосся тьмяне, ламке, випадає.

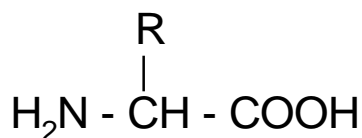
### ХАРЧОВІ АЛЕРГІЇ

Негативну роль відіграють в житті людини харчові алергії, які пов'язані з несприйнятливістю організму до певних видів білкової їжі (молоко, яйця, горіхи, білки деяких злаків). Термін "алергія" походить від грецьких слів "алос" – інший та "ергон" – дія. За нормального травлення білки розщеплюються в шлунково-кишковому тракті до амінокислот, які не є алергенами та не викликають відповідної імунної захисної реакції. Якщо в кров'яне русло потрапить без попереднього розкладу через епітелій кишечника незначна кількість білків, то в організмі підтримується ніби тренінг імунної системи для захисту від чужорідних компонентів. Під час значного надходження в кров'яне русло алергенів виникає гостра реакція, яка проявляється у вигляді свербіжу, шкіряних висипів та кишково-шлункових розладів. Найбільш ефективним способом боротьби з харчовою алергією є вилучення алергену із дієти.

### 4.3 Амінокислоти та їх деякі функції в організмі

До складу білків входять  $\alpha$ -амінокислоти, тобто такі, в яких аміногрупа розташована біля другого атома С. Між аміно- і карбоксильною групами знаходиться тільки один  $\alpha$ -С атом. В процесах обміну речовин утворюються і інші види амінокислот. Наприклад,  $\gamma$ -аміномасляна кислота (ГАМК) – є медіатором центральної нервової системи. Амінокислоти, що входять до складу білків, а їх більше 20, називаються протеїногенними. Серед амінокислот розрізняють незамінні амінокислоти – це амінокислоти, які необхідні для росту та нормального розвитку організму і не синтезуються в ньому, а засвоюються готовими з їжі. До них належать: валін, лейцин, ізолейцин, лізин, фенілаланін, метіонін, триптофан, треонін, гістидин і аргінін.

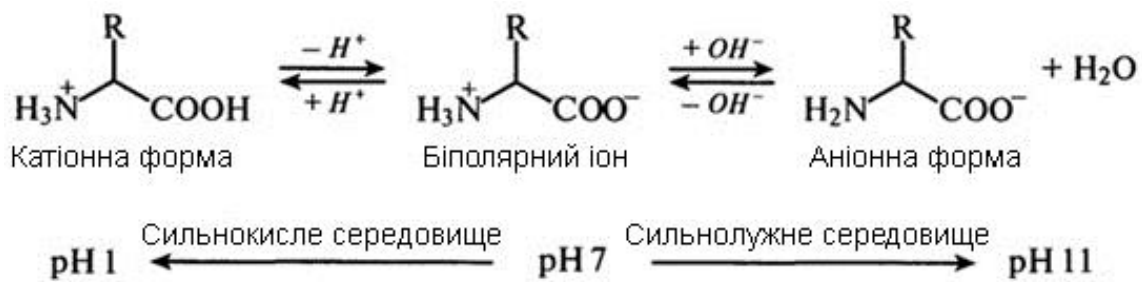
Загальну формулу  $\alpha$ -амінокислоти можна зобразити так:



де R- вуглеводневий радикал. Радикал може бути аліфатичний або циклічний, містити різні функціональні групи. Одна із двадцяти  $\alpha$ -амінокислот (пролін) є не аміно-, а імінокислотою, тому що її атом Нітрогену входить до складу циклу.

Для пояснення і розуміння властивостей амінокислот варто пам'ятати наступне:

1. Амінокислоти в твердому або розчиненому стані, завжди знаходяться у формі біполярних іонів (цвіттер-іонів), положення рівноваги яких залежить від рН середовища:



Перебування амінокислот у вигляді іонів зумовлює розчинність у воді і нерозчинність в неполярних рідинах. Більшість амінокислот є розчинними у воді, але у амінокислот із гідрофобними групами (ізолейцин, лейцин, тирозин) розчинність є відносно невисокою. В організмі іонний стан амінокислот визначається їх всмоктуваністю в шлунково-кишковому тракті після гідролітичного розщеплення білків і транспорту до різних органів і тканин. Здатність до іонізації в кислому або лужному середовищі лежить в основі розділення амінокислот за допомогою іонообмінної хроматографії і електрофорезу.

2. Більшість природних  $\alpha$ -амінокислот відносяться до L-стереохімічного ряду, однак в деяких пептидах (антибіотики грамїцидин, актиноміцин) зустрічаються амінокислоти D-ряду. Останні, як правило, не засвоюються організмом людини. Амінокислоти D- і L-рядів значно відрізняються за смаком. Так, D-глутамінова кислота не має смаку, а L-глутамінова кислота має смак м'яса (її отримують із клейковини пшениці і використовують як смакову добавку до харчових концентратів). Солодкий смак мають й інші амінокислоти L-ряду: валін, треонін, пролін, серин (використовуються як замітники цукру в харчуванні діабетиків).

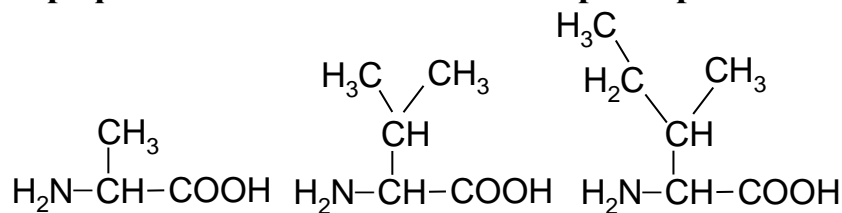
3. Амінокислоти відрізняються одна від одної структурою бічних ланцюгів, від яких залежать хімічні, фізичні властивості і фізіологічні функції білків в організмі (рисунок 4.2).



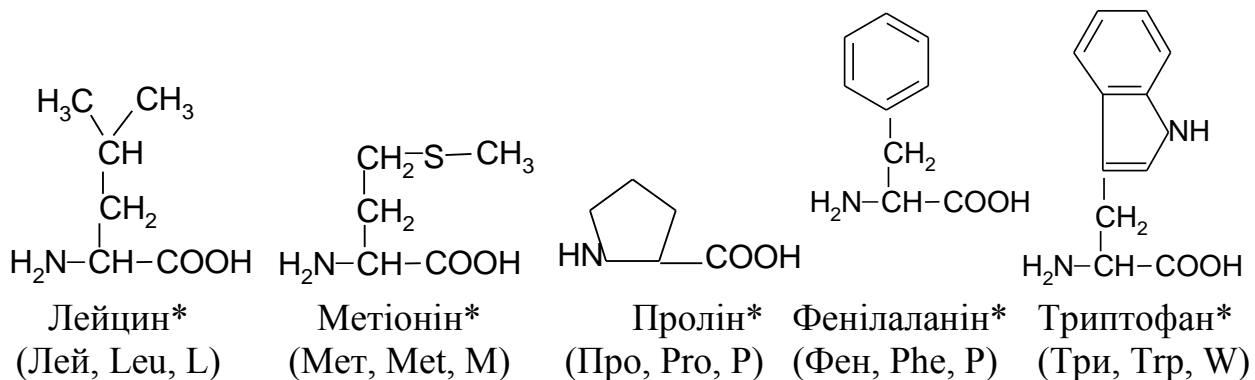
Рисунок 4.2 – Класифікація амінокислот за полярністю радикалу

Амінокислоти з гідрофобними бічними групами в більшій мірі локалізовані всередині білкових макромолекул, тоді як амінокислоти з полярними боковими групами розташовуються на їх поверхні. У складі полярних  $\alpha$ -амінокислот є функціональні групи, що здатні до іонізації (іоногенні) і такі, що нездатні переходити в іонний стан (неіоногенні). Кислі і основні іоногенні групи радикалів, як правило, розташовуються на поверхні молекул білків і приймають участь в іонних (електростатичних) взаємодіях. В якості полярних неіоногенних груп в молекулах білків виступають гідроксильні групи серину, треоніну й амідні групи глутаміну (Глн) і аспарагіну (Асп). Ці групи можуть розташовуватись як на поверхні, так і всередині білкової молекули, і приймати участь в утворенні водневих зв'язків з іншими полярними угрупованнями.

### Гідрофобні амінокислоти з неполярним радикалом

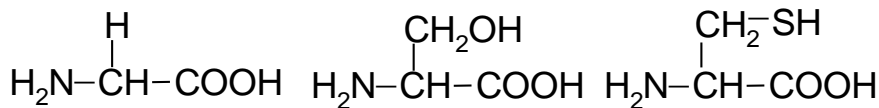


Аланін\* (Ала, Ala, A)    Валін\* (Вал, Val, V)    Ізолейцин\* (Ілей, Ile, I)

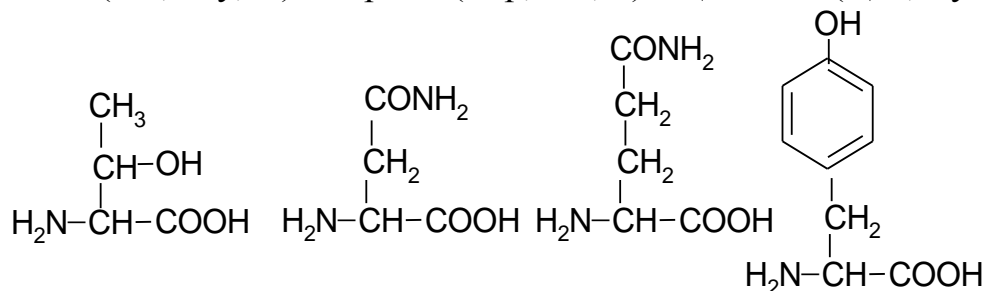


Лейцин\* (Лей, Leu, L)    Метіонін\* (Мет, Met, M)    Пролін\* (Про, Pro, P)    Фенілаланін\* (Фен, Phe, P)    Триптофан\* (Три, Trp, W)

### Гідрофільні амінокислоти з неіоногенним (полярним незарядженим) радикалом

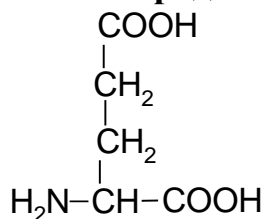
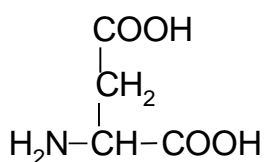


Гліцин\* (Глі, Gly, G)    Серин\* (Сер, Ser, S)    Цистеїн\* (Цис, Cys, C)



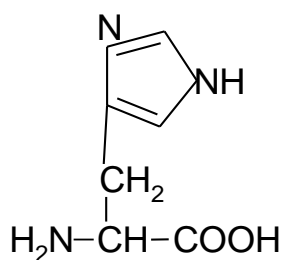
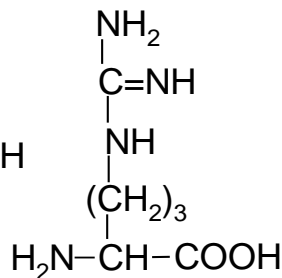
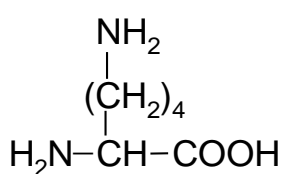
Треонін\* (Тре, Thr, T)    Аспарагін\* (Асп, Asn, N)    Глутамін\* (Глн, Gln, Q)    Тирозин\* (Тир, Tyr, Y)

### Гідрофільні амінокислоти з іоногенним радикалом – кислі



Аспарагінова кислота\* (Асп, Asp, D)    Глутамінова кислота\* (Глу, Glu, E)

### Гідрофільні амінокислоти з іоногенним радикалом – лужні



Лізин\* (Ліз, Lys, K)    Аргінін\* (Арг, Arg, R)    Гістидин\* (Гіс, His, H)

Примітка.\* Подані тривіальні назви амінокислот є найбільш вживаними (в дужках подаються скорочені українська і англійська назви і міжнародний символ).

### 4.4 Незамінні амінокислоти. Харчова та біологічна цінність білків

Безпечний рівень споживання білків залежить не тільки від їх кількості у харчовому раціоні, але і від якості. За якістю усі білки поділяються на повноцінні та неповноцінні.

Біологічну цінність білків визначає:

- наявність в них незамінних амінокислот, їх співвідношення із замінними (незамінних амінокислот 10);
- перетравлюваність ферментами в травній системі

Відомо біля 80 амінокислот, 25 з них найчастіше зустрічаються у білках продуктів харчування та у тканинних білках. Більшість амінокислот синтезується організмом людини. Деякі амінокислоти не синтезуються, забезпечення ними організму людини відбувається за рахунок реутилізації та надходження з їжею. Ці амінокислоти набули назви *незамінних, або есенціальних*. До *незамінних амінокислот належать: валін, лізин, лейцин, ізолейцин, метіонін, треонін, триптофан та фенілаланін*. Для дитячого організму незамінними амінокислотами є також *аргінін та гістидин*.

**Біологічно цінні білки** містять усі незамінні амінокислоти в кількостях, необхідних для нормального розвитку організму людини.

Біологічна цінність білків тваринного походження вища, ніж рослинних білків. Білки, що містяться в рослинах, не містять деяких незамінних амінокислот або утримують їх в недостатній кількості. Найчастіше в невеликих кількостях містяться лізин, тренін, триптофан, тому рослинні білки відносяться до неповноцінних.



Так наприклад, підраховали, що для отримання кількості незамінних амінокислот, яка міститься в 28 г курячого м'яса необхідно з'їсти 453 г картоплі.

Прийнято вважати, що "еталонний" за своїм амінокислотним складом білок міститься в яйцях, а також в материнському молоці.

Амінокислотний склад тваринних білків близький до амінокислотного складу білків людини. Вони містять достатню кількість незамінних амінокислот і, тому, є повноцінними в харчовому відношенні білками.

### Показники біологічної цінності білків

У 1973 році спільним рішенням Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) і Всесвітньої продовольчої організації (FAO) введений *показник біологічної цінності харчових білків – амінокислотний скор*.

**Амінокислотний скор** – відсотковий вміст кожної з амінокислот по відношенню до її вмісту у білку, прийнятому за стандарт (ідеальний білок).

Амінокислотний скор розраховують за формулою:

$$\text{Амінокислотний скор} = \frac{\text{мг амінокислоти в 1г білка}}{\text{мг амінокислоти в 1г еталона}} \quad (4.1)$$

Амінокислотний склад еталонного білку є збалансованим і ідеально відповідає потребам організму людини в кожній незамінній кислоті, через це його ще називають "ідеальним". В 1973 р. в доповіді FAO і ВООЗ були опубліковані дані щодо вмісту кожної амінокислоти в еталонному білку. В 1985 р. вони були уточнені в зв'язку з накопиченням знань про оптимальний раціон людини (таблиця 4.1).

Амінокислота, скор якої має найнижче значення, називається першою лімітуючою амінокислотою. Значення скору цієї амінокислоти визначає біологічну цінність і ступінь засвоюваності білків. Наочно показник біологічної цінності можна зобразити у вигляді найнижчої дошки діжки Лібіха на прикладі білків пшениці (рисунок 4.3). Повна ємкість діжки відповідає "ідеальному" білку, а висота дошки лізину – біологічній цінності пшеничного білку.

Таблиця 4.1 – Рекомендований склад і добова потреба людини в незамінних амінокислотах (мг/г білку)

Незамінні амінокислоти	FAO/WHO (1985 г.)				FAO/WHO (1973 г.)
	Діти 2...5 років	Діти 10...12 років	Підлітки	Дорослі	Еталонний білок
	мг/кг маси тіла				мг/г білку
Ізолейцин	28	28	13	10	40
Лейцин	66	44	19	14	70
Лізин	58	44	16	12	55
Метіонін + цистин	25	22	17	13	35
Фенілаланін + тирозин	63	22	19	14	60
Треонін	34	28	9	7	40
Триптофан	11	9	5	3,5	10
Валін	35	25	13	10	50

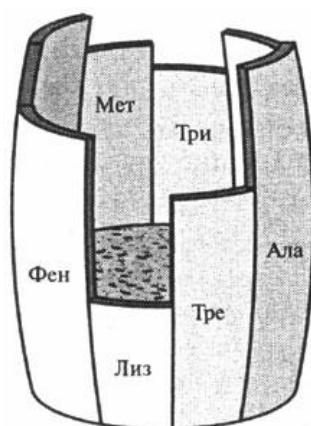


Рисунок 4.3 – Діжка Лібіха

Зазвичай скор розраховують для трьох найбільш дефіцитних кислот: лізину, триптофану і суми сульфурвмісних амінокислот.

У курячих яйцях і жіночому молоці скор усіх незамінних амінокислот близький до 100%.

Іншим методом визначення біологічної цінності білків є визначення **індексу незамінних амінокислот (ІНАК)**.

Метод є модернізацією методу хімічного скору і дозволяє враховувати кількість усіх незамінних кислот.

$$\text{ІНАК} = \sqrt[n]{\frac{\text{Ліз}_б}{\text{Ліз}_е} \times \frac{\text{Три}_б}{\text{Три}_е} \times \frac{\text{Гіс}_б}{\text{Гіс}_е}} \quad (4.2)$$

де  $n$  – число амінокислот;  $б$  – вміст амінокислоти у досліджуваному білку;  $е$  – вміст амінокислоти в еталонному білку.

Окрім хімічних методів на практиці широко застосовуються біологічні методи з використанням тварин і мікроорганізмів. Основними показниками оцінки в таких випадках є приріст (ріст тварин) за певний період часу, витрата білку й енергії на одиницю приросту, коефіцієнт перетравлюваності і відкладення азоту в тілі, доступність амінокислот.

Так, один із біологічних методів визначення біологічної цінності білків передбачає визначення коефіцієнта ефективності білка (КЕБ).

**Коефіцієнт ефективності білка** – показник, що визначається відношенням приросту тварин (у г) до кількості споживаного білку (у г).

Для порівняння використовують контрольну групу тварин із стандартним білком – казеїном – в кількості, що забезпечує в раціоні 10% білка.

Біологічна цінність білків залежить **від ступеня їх засвоєння і перетравлюваності**. Ступінь перетравлюваності залежить від структурних особливостей, активності ферментів, глибини гідролізу в шлунково-кишковому тракті, виду попередньої обробки в процесі приготування їжі.

Перетравлюваність білків тваринного походження вища, ніж рослинних білків. В середньому білки їжі засвоюються на 92%. Засвоюваність білків тварин складає 97%, а рослинних 83...85%.

В порядку зменшення швидкості засвоєння білків в шлунково-кишковому тракті людини, харчові продукти розташовуються таким чином:

**Риба → молочні продукти → м'ясо → хліб → круп'яні продукти**

Нижча засвоюваність рослинних білків пояснюється наступним:

– значним вмістом баластних речовин в продуктах рослинного походження, які посилюють перистальтику кишечника, що сприяє швидшому виведенню амінокислот, які не всмокталися, з організму;

– рослинна їжа містить значну кількість клітковини (целюлоза). Клітковина, що входить до складу клітинних оболонок, погіршує проникнення травних ферментів всередину клітин, екранує білки.

На ступінь засвоюваності організмом харчових речовин, у тому числі білків значний вплив має і ступінь кулінарної обробки продуктів. Теплова обробка (розварювання), подрібнення, протирання прискорює перетравлювання білків, особливо рослинних, але нагрівання вище 100°C – утруднює.

У харчовому раціоні необхідно комбінувати білки різного походження так, щоб вони доповнювали один одного за амінокислотним складом. Так, на частку тваринного білка повинно припадати 55%, а на частку рослинного – 45%.

Добре доповнюють один одного за амінокислотним складом білки пшениці і молока, гречки і молока, корисне поєднання бобових з крупами і овочами. Білки пшениці є неповноцінними за амінокислотним складом. У них бракує лізину і тріоніну. Але ці амінокислоти в надмірній кількості містяться в казеїні молока. І навпаки, деяка нестача в казеїні молока сульфурвмісних амінокислот поповнюється їх підвищеним вмістом у білках пшениці.

Проте біологічна цінність білків є досить мінливою, навіть у випадку використання одного продукту. Вона залежить від:

- умов виробництва;
- методів кулінарної обробки;
- умов і термінів зберігання;
- наявності токсичних речовин;
- вплив на засвоєння і використання білків інших компонентів їжі, що містяться в неоднаковій кількості (вітаміни, мінеральні речовини, гормони та ін.).

За нестачі в їжі вуглеводів і жирів вимоги до білку зростають, оскільки вони починають виконувати енергетичну функцію. З іншого боку, за надлишку білків в харчуванні виникає небезпека накопичення жирів.

### **Вміст білків в харчових продуктах**

За вмістом білка продукти поділяються наступним чином:

- із значним вмістом (> 15%) – твердий сир (26%), м'який сир (18%), кролятина (21%), птиця (18...21%), яловичина (19...20%), квасоля (22%);

– великим вмістом (10...15%) – свинина (15%), ковбаси (10...12%), яйця (13%);

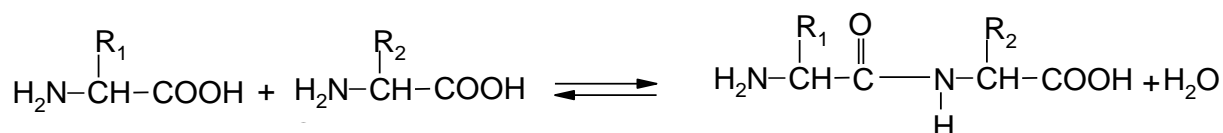
– помірним вмістом (5...10%) – хлібобулочні вироби (8%), крупи (7...10%).

Варто зазначити, що 4,184 кДж, що одержані за рахунок тваринних білків є у 15...20 разів дорожчими ніж 4,184 кДж, які одержані за рахунок вуглеводів. Але малозабезпечені верстви населення використовують у харчовому раціоні переважно вуглеводні продукти. Тому існує "білкова" проблема – забезпечення населення з низьким рівнем доходів достатньою кількістю білка, який мав би допустиму біологічну цінність та доступну вартість. Новими білковими речовинами вважають, наприклад білки, які отримують із мікроорганізмів. У поживному середовищі з вмістом вуглеводів як джерелом енергії та з неорганічним нітратом, як постачальником азоту, мікроорганізми розмножуються у ферментаційній діжці. Таким чином виробляється багата білком біомаса. За іншими способами виготовлення як джерело енергії використовують нафту (дріжджі та бактерії) або світло (водорості з фотосинтезом). Проте до цього часу не вдалось із отриманої біомаси виготовити прийнятні кінцеві продукти. Інші способи отримання білка зводяться до його виділення із уже існуючого тваринного сировинного матеріалу. Так, із виду раків *Euphausia superba* (криль) виділяють м'ясо. Крильова маса містить 12...17% протеїну-сирцю. Її можна використовувати для паст, як наповнювач ковбаси або для супів. *Сурімі* – це виготовлена із морської риби біла протеїнова маса – основа без смаку та запаху. Її потім переробляють із додаванням смакових речовин.

#### 4.5 Будова пептидів та білків

До складу білків входить в основному 20 різних альфа-амінокислот, які сполучені між собою у певній послідовності. У молекулі білка розрізняють такі типи зв'язків: пептидний, дисульфідний, водневий, йонний та гідрофобну взаємодію.

*Пептидний зв'язок* – це зв'язок, який утворений карбоксильною групою однієї амінокислоти з  $\alpha$ -амінною групою іншої кислоти:

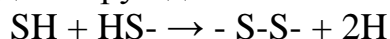


Утворена сполука називається пептидом. В результаті сполучення двох амінокислот утворюється дипептид, трьох – трипептид, а багатьох – поліпептид. Пептидний зв'язок є міцним, він піддається гідролізу тільки за тривалого кип'ятіння в кислому або лужному середовищі.

Наявність пептидного зв'язку визначають біуретовою реакцією, характерною для амідів, зокрема, для біурету. Першим біуретову реакцію пептидів вивчав О. Я. Данилевський. Суть її полягає у взаємодії пептидної групи з йонами міді (II) в лужному середовищі з утворенням розчинного

комплексу фіолетового кольору. Ця реакція дуже чутлива і використовується як для якісного, так і для кількісного визначення пептидів.

*Дисульфідний зв'язок* – зв'язок, який утворюється внаслідок відщеплення атомів Гідрогену від сульфідних груп двох амінокислотних залишків цистеїну:



Дисульфідні зв'язки мають велике значення у формуванні третинної структури білків. Вони є нестійкими до дії водню.

У білків розрізняють чотири рівні структурної організації – первинну, вторинну, третинну й четвертинну (рисуюнок 4.4).



Рисуюнок 4.4 – Структурна організація білкової молекули

*Первинна* – певна послідовність залишків альфа α-амінокислот у поліпептидних ланцюгах молекул білка.

*Вторинна* – просторова конфігурація поліпептидного ланцюга, найпоширенішою є права α-спіраль і β-структура або складчастий лист. Вторинну структуру визначає первинна.

*Третинна* – розташування поліпептидного ланцюга в просторі (глобулярна або фібрилярна структури).

*Четвертинна* структура характерна для тих білків, молекули яких складаються з двох, чотирьох, і більше поліпептидних ланцюгів. Ця структура відображає характер взаємного розташування поліпептидних ланцюгів в просторі. Четвертинну структуру мають білки, які виконують складні біологічні функції і активність яких залежить від дії регулюючих факторів.

#### 4.6 Функціональні властивості білків

Під *функціональними властивостями* розуміють фізико-хімічні характеристики білків, що визначають їх поведінку в процесі переробки в

харчові продукти і що забезпечують певну структуру, технологічні і споживчі властивості.

До найбільш важливих функціональних властивостей білків відносяться розчинність, водозв'язуюча і жирозв'язуюча здатність, здатність стабілізувати дисперсні системи (емульсії, піни, суспензії), утворювати гелі, плівкоутворююча здатність, адгезійні і реологічні властивості<sup>1</sup> (в'язкість, еластичність), здатність до прядіння і текстурування.

**Розчинність** є первинним показником оцінки функціональних властивостей білків і характеризується *коефіцієнтом розчинного азоту* (КРА) і *коефіцієнтом дисперсності білка* (КДБ). У першому випадку визначають кількість азоту, в другому – кількість білка, що перейшов в розчин (у відсотках від загального вмісту його в продукті).

Розчинність найбільшою мірою залежить від присутності нековалентних взаємодій: гідрофобних, електростатичних і водневих зв'язків.

Чим нижчою є відносна гідрофобність білків (тобто нижчою є взаємодія між глобулами і вищою є сила відштовхування), тим вище взаємодія їх з молекулами розчинника, отже вище розчинність.

Внесок електростатичних сил в розчинність білків залежить від рН середовища і присутності солей. За рН, що відповідає *ізоелектричній точці білка* (ІЕТ – стан білкової молекули, коли позитивні і негативні заряди в ній врівноважені), білки мають найменшу розчинність, оскільки сумарний заряд на їх молекулах дорівнює нулю і частинки позбавлені здатності відштовхуватися за рахунок електростатичних взаємодій з молекулами розчинника. У кислому або лужному середовищі, навпаки, забезпечується взаємодія протилежно заряджених іонів розчинника ( $H^+$  або  $OH^-$  відповідно) з поверхнями білкових частинок, заряджених позитивно в кислому середовищі і негативно в лужному, а значить і перехід білків в розчин. У кислому середовищі білок має позитивний заряд на аміногрупах внаслідок пригнічення дисоціації карбоксильних ( $-COOH$ ) груп, в лужному – негативний заряд у карбоксильних груп за рахунок пригнічення дисоціації ( $-NH_2$ ) груп.

Залежність розчинності білків від концентрації солей носить нелінійний характер. Під час додавання невеликих кількостей солей розчинність збільшується, оскільки іони перешкоджають електростатичній взаємодії бічних груп білку між собою. Високі концентрації солей, що знижують гідратацію поліпептидних ланцюгів, навпаки, посилюють гідрофобні білок-білкові взаємодії і призводять до випадання білку в осад (*висолювання*).

Відмінності в розчинності білків харчової сировини лежать в основі технологічних процесів виділення ізолятів і концентратів і мають безпосереднє відношення до якості багатьох харчових продуктів. Важливе значення розчинність білків має для підвищення якості харчових продуктів, у виробництві яких передбачений їх гідроліз (автоліз) і денатурація (початкові технологічні стадії, висушування і зберігання). Втрата розчинності, як правило,

---

<sup>1</sup> Реологічні властивості (від слова "реологія" – наука про деформації і текучість речовини) – пружність, еластичність, розтяжність та ін.

супроводжується зміною і інших важливих функціональних властивостей, що значною мірою відбивається на якості продуктів і ступеня перетравлюваності білку в шлунково-кишковому тракті.

**Водозв'язуюча здатність** характеризується адсорбцією води за участю гідрофільних залишків амінокислот, **жиров'язуюча здатність** – адсорбцією жиру за рахунок гідрофобних залишків. За невисокої вологості гідрофільні групи, взаємодіючи з молекулами води, утворюють мономолекулярний шар, за високої – навколо глобул білку формується багатшарова структура з одночасним проникненням води в западини і виступи. Загальна кількість води і жиру на поверхні досягає 0,2...0,4 г на 1 г білків.

Здатність білків утримувати жир і воду залежить не лише від особливостей амінокислотного складу і структури, але і від фракційного складу, способу обробки, рН середовища, температури і присутності вуглеводів, ліпідів і інших білків.

Висока здатність білків утримувати воду в харчових продуктах (м'ясних, хлібобулочних і т.д.) підвищує вихід останніх, подовжує терміни зберігання і покращує текстуру. Денатуровані білки мають знижену водозв'язуючу здатність, і їх застосування негативно позначається на якості хліба. Висока жиротримуюча здатність білків забезпечує ніжну і однорідну текстуру виробів, виключає відділення жиру, зморщування виробів, зменшує втрати під час варіння і смаження.

**Жироемульгувальна і піноутворююча** здатність білків широко використовується в практиці отримання жирових емульсій і пінів.

Емульгуючі властивості білків оцінюють за їх емульгуючою здатністю, емульгуючою місткістю, стабільності емульсій і т. д.

Піни (дисперсні системи з газоподібною фазою і рідким або твердим середовищем) отримують механічним розподілом повітря в розчині білку шляхом збивання або за рахунок скипання води, зниження тиску, забезпечення хімічних або мікробіологічних процесів у білкововмісних харчових системах. Так, білки клейковини утворюють піну в хлібному тісті під дією діоксиду вуглецю в процесі бродіння, а в кондитерському – за рахунок хімічних розпушувачів в результаті виділення аміаку і діоксиду вуглецю. Піноутворювальні властивості білків характеризуються піноутворювальною здатністю і стабільністю піни. Перший показник вимірюється об'ємом піни, віднесеним до маси білку, другий – періодом її напіврозпаду, тобто часом, необхідним для руйнування половини об'єму піни. Обидва показники залежать від рН середовища, концентрації білка, солей, температури, присутності ліпідів, сахарози, харчових волокон, фракційного складу і будови білків.

На основі жироемульгуючих властивостей рослинні і тваринні білки застосовуються у виробництві хлібобулочних, борошняних кондитерських виробів, низькокалорійних маргаринів, майонезу, паст, м'ясних продуктів, а піноутворюючі властивості є основою виробництва збитих кондитерських виробів (бісквітів, десертів, кремів і т.д.).



**Гелеутворюючі властивості білків** характеризуються здатністю їх колоїдного розчину із вільнодиспергованого стану переходити у зв'язанодисперсний.

Білок як гелеутворювач повинен утворювати гелі в широкому діапазоні рН, іонної сили, за мінімальної концентрації і з необхідними фізико-хімічними властивостями, такими як міцність, твердість, еластичність, температура розм'якшення і плавлення, ступінь набрякання, здатність до синерезису (відділення дисперсійного середовища зі скороченням об'єму гелю), сорбція барвників і ароматичних речовин і т.д. До подібного роду "універсальних" гелеутворювачів відноситься желатин, що дозволяє в широких межах забезпечити регулювання хімічного складу і біологічну цінність харчових продуктів.

**В'язко-еластично-пружні властивості.** Відмітною властивістю деяких харчових білків є низький рівень полярності функціональних груп. Молекули води, оточуючи частинки білків, відштовхуються, а молекули білків, навпаки, агрегуються з утворенням комплексів з характерними для них реологічними властивостями (в'язкість, еластичність, пружність). Найбільш виражений комплекс таких властивостей мають білки пшеничної клейковини, що зумовлюють текстуру хліба і що створюють безперервну фазу у виробках з наповнювачами (зерно, висівки, родзинки). Пружність і еластичність білків залежить від глютенінової фракції білків.

Функціональні властивості білків визначаються їх структурою. Наприклад, в'язкість і гелеутворюючі властивості співвідносяться з розміром і формою молекул, а водозв'язуюча здатність, піноутворюючі і емульгуючі властивості корелюють з співвідношенням на поверхні полярних і гідрофобних груп. Усі чинники, які змінюють структуру білків, призводять і до регулювання (модифікації) їх властивостей.

Найширше використовуються фізико-хімічні і ферментативні методи для регулювання функціональних властивостей білків. До фізико-хімічних методів відносяться переведення білків перед висушуванням в розчин кислот, лугів, основ – з метою зміни заряду або йонного складу, теплова денатурація і т.д. В результаті чого у білків покращуються функціональні властивості: підвищується розчинність, гелеутворююча, жироемульгуюча здатність, здатність до текстурування і прядіння.

Функціональні властивості білків покращуються і за рахунок обробки їх речовинами ліпідної (лецитин, стеароїл-2-лактилат натрію або кальцію, моно- і діацилгліцерини), вуглеводної (пектини, альгінати, карагінани, камедь) або іншої природи (полівалентні метали).

Реакційні групи білків взаємодіють з різними типами сполук з утворенням композитних формул. Останні підсилюють процеси водопоглинання, емульгування жиру, гелеутворення, структуризації і тим самим покращують якість готових виробів.

Ферментативна модифікація функціональних властивостей білків здійснюється з використанням ферментів рослинного, мікробного або



тваринного походження. Перевагою таких методів є м'які режими виділення білків, збереження біологічної цінності і можливість регулювання повноти проходження тієї або іншої реакції.

З ферментативних методів модифікації найбільше поширення отримав метод обмеженого ферментативного протеолізу. З його використанням для заміни яєчного альбуміну випускають піноутворюючі модифіковані білки: гідролізат ізоляту і гідролізат борошна.

За обмеженого протеолізу, наприклад, легуміну кормових бобів під впливом трипсину – ферменту травного тракту – розщеплюються пептидні зв'язки тільки  $\alpha$ -ланцюгів, тоді як  $\beta$ -ланцюги залишаються незайманими. В результаті чого покращуються емульгуючі і піноутворюючі властивості білків.

#### **4.7 Перетворення білків у технологічному процесі**

Будь-яка зміна умов середовища в ході технологічного процесу виробництва харчових продуктів впливає на нековалентні зв'язки молекулярної структури і призводить до руйнування четвертинної, третинної і вторинної структури білка.

#### **ДЕНАТУРАЦІЯ БІЛКІВ**

*Денатурація білків* – це порушення нативної просторової структури білкової молекули під впливом різних зовнішніх дій, що супроводжується зміною їх фізико-хімічних і біологічних властивостей. В результаті чого порушується вторинна і третинна структури білкової молекули, а первинна, як правило, зберігається.

Денатурація білків відбувається під час нагрівання і заморожування харчових продуктів під дією різних випромінювань, кислот, лугів, різких механічних дій і інших чинників.

В результаті денатурації білків відбуваються наступні основні зміни:

- різко знижується розчинність білків;
- втрачається біологічна активність, здатність до гідратації і видова специфічність;
- покращується атакувальність протеолітичними ферментами;
- підвищується реакційна здатність білків;
- відбувається агрегація білкових молекул;
- заряд білкової молекули дорівнює нулю.

Втрата білками біологічної активності в результаті теплової денатурації призводить до інактивації ферментів і відмирання мікроорганізмів.

В результаті втрати білками видової специфічності харчова цінність продукту не знижується.

#### **Теплова денатурація**

Під час теплової обробки білки зсідуються. Початкова стадія зсідання білків (денатурація) починається з нагрівання продукту до 40 °С. В результаті чого білки втрачають нативні (природні) властивості. За нагрівання продукту вище 70°С відбувається коагуляція білків. Вони втрачають властивість розчинятися й утримувати воду (набухати), в зв'язку з чим маса риби і м'яса після теплової обробки зменшується.

Білки, які містяться в продуктах у вигляді розчинів, зсідаються пластівцями. Це явище спостерігається під час варіння бульйонів з м'яса, риби. У воду переходить частина білка, який збирається на поверхні бульйону, утворюючи піну.

Білки, які містяться в продуктах у вигляді драглеподібної маси, під час нагрівання ущільнюються, виділяючи частину води (білки м'яса, риби), винятком є білки яєць, які під час зсідання не виділяють води. Чим вища температура продукту за теплової обробки, тим більше ущільнюються білки, тим більше води вони виділяють. Внаслідок цього знижується засвоюваність їх організмом людини. Тому продукти, в яких є білки, не слід переварювати.

Для більшості білків температура денатурації складає 45...60°C. Проте зустрічаються і термостабільні білки, наприклад,  $\alpha$ -лактоглобулін молока і  $\alpha$ -амілази деяких бактерій. Підвищена стійкість білків до нагрівання часто зумовлюється наявністю в їх складі великої кількості дисульфідних зв'язків. Проте ступінь денатуруючої дії температури на білки залежить і від їх вологості, реакції і сольового складу середовища, присутності небілкових сполук. Наприклад, температура денатурації білків сої і соняшнику істотно знижується у присутності кислот жирного ряду, в кислому і вологому середовищі, але підвищується у присутності сахарози і крохмалю.

Теплова денатурація білків є одним з основних фізико-хімічних процесів, що лежать в основі випічки хліба, печива, бісквітів, тістечок, сухарів, висушування макаронних виробів, отримання екструдатів і сухих сніданків, варіння, смаження овочів, риби, м'яса, консервації, пастеризації і стерилізації молока. Цей вид перетворень відноситься до корисних, оскільки він прискорює перетравлювання білків в шлунково-кишковому тракті людини (полегшуючи доступ до них протеолітичних ферментів) і зумовлює споживчі властивості харчових продуктів (текстуру, зовнішній вигляд, органолептичні властивості). У зв'язку з тим, що ступінь денатурації білків може бути різним (від незначної до повної зміни розташування пептидних ланцюгів з утворенням нових ковалентних - S- S- зв'язків), то і засвоюваність полімерів може не лише покращуватися, але і погіршуватися.

### ДЕСТРУКЦІЯ БІЛКІВ

Під час нагрівання харчових продуктів вище 100°C відбувається руйнування макромолекул денатурованих білків. На першому етапі змін від білкових молекул можуть відщеплюватись такі леткі продукти, як аміак, сірководень, діоксид вуглецю і інші сполуки. Накопичуючись в продукті і навколишньому середовищі ці речовини беруть участь в утворенні смаку і аромату готової їжі.

За температури від 60°C до 100°C з зі значною швидкістю відбувається взаємодія білків з відновлюючими цукрами, що супроводжується утворенням карбонільних сполук і темнокольорових продуктів – меланоїдинів (реакція Майяра). Суть реакцій меланоїдиноутворення полягає у взаємодії групи  $-NH_2$  амінокислот з глікозидними гідроксилами цукрів. Цукроамінні реакції є причиною не лише потемніння харчових продуктів, але і зменшення в них сухої

речовини і втрат незамінних амінокислот (лізину, треоніну). Меланоїдини знижують біологічну цінність виробів, оскільки знижується засвоюваність амінокислот через те, що цукроамінні комплекси не піддаються гідролізу ферментами травного тракту. До того ж кількість незамінних амінокислот зменшується. Це зменшення відбувається не лише за рахунок взаємодії їх з відновлювальними цукрами, але і за рахунок взаємодії між собою функціональних груп  $-NH_2$  і  $-COOH$  самого білку. Реакції проходять з утворенням внутрішніх ангідридів, циклічних амідів і  $\omega,\epsilon$ -ізопептидних зв'язків.

Серед продуктів термічного розкладу білків зустрічаються сполуки, що надають їм мутагенних властивостей. Термічно індуквані мутагени утворюються у білкововмісній їжі в процесі її обсмажування в олії, випічки, копчення в диму і висушуванні. Мутагени містяться у бульйонах, смаженій яловичині, свинині, свійській птиці, смажених яйцях, копченій і в'яленій рибі. Деякі з них викликають спадкові зміни ДНК, і їх дія на здоров'я людини може бути від незначної до летальної.

Найсильнішими мутагенними сполуками, що відомі нині є гетероциклічні ароматичні аміни (ГАА). Вони формуються в ході термічної обробки харчової сировини і напівфабрикатів головним чином тваринного походження, як правило, за температури вище  $150^\circ C$ . ГАА мають потужну мутагенну дію на мікроорганізми і виражений канцерогенний ефект, що було підтверджено в дослідках на тваринах. Є підстави вважати, що саме ГАА є відповідальними за певну частину онкологічних захворювань людини.

Найбільш важливими факторами формування мутагенних хімічних речовин є температура і тривалість процесу кулінарної обробки.

Мутагенна активність м'ясного фаршу, смаженого основним способом за температури  $200^\circ C$ , приблизно в 2 рази вище, ніж у такого ж зразка, але смаженого за  $150^\circ C$ .

Крім того, рівень мутагенів істотно збільшується у випадку тривалості процесу більш ніж 10 хв.

Дослідженнями підтверджено, що під час прогрівання суміші креатину (завжди є в м'ясі, рибі), гліцину (аланіну) і глюкози за  $130^\circ C$  мутагенна активність зростає. Вилучення хоч би одного компонента з цієї суміші призводить до повної втрати мутагенних властивостей.

Токсичні властивості білків за термічної обробки вище  $200^\circ C$  або за нижчих температур, але в лужному середовищі, можуть зумовлюватися не лише процесами деструкції, але і реакціями ізомеризації залишків амінокислот з L- в D-форму. Присутність D- ізомерів знижує засвоюваність білків.

У сильно лужних середовищах, особливо за високих температур, деякі залишки амінокислот зазнають ряд специфічних перетворень. Так, аргінін перетворюється на орнітин, цитрулін, сечовину і аміак, а цистеїн – в дегідроаланін з виділенням сірководню. Реакційноздатний дегідроаланін конденсується із залишками лізину, орнітину і цистеїну бічних ланцюгів і утворює міжмолекулярні поперечні зв'язки у білках. У реакцію конденсації можуть вступати залишки аргініну, гістидину, треоніну, серину, тирозину і

триптофану. Поживна цінність білків з новими поперечними зв'язками є нижчою, ніж у білків з нативною структурою, тому утворення їх в технологічних процесах виробництва харчових продуктах є небажаним явищем.

В процесі отримання ізолятів і концентратів білків сировину обробляють розчинами лугів. Чим вище значення рН, температура і час обробки, тим нижчим є вміст незамінних амінокислот у білку.

В результаті дії протеолітичних ферментів в ході технологічного процесу виробництва харчових продуктів білкові речовини так само зазнають ряду істотних змін. Так, на стадії солодовирощування у виробництві пива в ендоспермі ячменю спостерігається гідроліз глобуліну (едестин), альбуміну (лейкозин), проламіну (гордеїн) і глютеліну з накопиченням азотистих сполук з нижчою молекулярною масою (пептиди, амінокислоти). В результаті в зерні накопичується розчинна, коагулююча і амінна форми азоту, тоді як в зародковому листку і паростках зерна, навпаки, збільшується кількість білкового азоту за рахунок процесів синтезу.

#### **4.8 Білки харчової сировини**

##### **БІЛКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

Середній вміст білків в злаках складає від 7 до 17%. Найбільш білкововмісною серед злаків є пшениця, найменша кількість білку міститься в рисі і кукурудзі (7...9%).

Білки нерівномірно розподіляються між морфологічними частинами зерна. Вони накопичуються в дозріваючому зерні і служать для живлення зародка на початкових етапах проростання. Основна їх кількість припадає на ендосперм<sup>2</sup> (65...75%); на зародок до 22%, на алейроновий шар до 15,5%.

У ендоспермі білки розподілені також нерівномірно, концентрація їх знижується у міру просування до центру. Центральна частина ендосперму містить мало білку (7...9%). Розподіл білку по частинах зернівки залежить від виду культури, її сорту і ґрунтово-кліматичних умов вирощування. Біологічна цінність білків злаків різна. У таблиці 4.2 представлений вміст незамінних амінокислот в сумарних зернових білках.

Аналізуючи амінокислотний склад сумарних білків різних злакових культур з точки зору складу еталонного білку для харчування людей (ФАО, 1973) слід зазначити, що усі вони, за винятком гречки і вівса, є бідними на лізин (2,2...3,3%), а за винятком рису, гречки і сорго – на ізолейцин. Для білків пшениці, сорго, ячменю і жита характерна відносно невелика кількість метіоніну (1,6...1,7мг/100 г білку). Білки пшениці до того ж містять недостатню кількість треоніну (2,6%), а білки кукурудзи – триптофану (0,6%). Найбільш збалансованими за амінокислотним складом є овес і гречка.

Під час вивчення білків зернових культур використовують метод вилучення їх фракцій за розчинністю (альбуміни, глобуліни, проламіни і глютеліни), запропонований американським дослідником Т. Осборном.

---

<sup>2</sup> Запасні білки злаків і бобових культур локалізовані в ендоспермі, а в насінні олійних культур – у зародку.

Таблиця 4.2 – Вміст незамінних амінокислот в сумарних зернових білках і потреба в них людини (%)

Найменування	Пшениця	Жито	Ячмінь	Овес без плівки	Рис	Просо	Кукурудза	Сорго	Гречка	Потреба людини за даними ФАО	Молоко коров'яче
Лізин	2,6	3,8	3,2	4,2	3,5	2,2	2,5	2,5	6,3	4,2	6,6
Метіонін	1,7	1,7	1,7	2,5	2,9	2,4	2,1	1,6	1,5	2,2	2,4
Триптофан	1,3	1,6	1,2	1,9	1,3	1,4	0,6	0,9	2,2	1,4	1,4
Валін	4,6	5,3	5,4	5,3	6,5	4,8	4,4	5,2	4,8	4,2	6,9
Ізолейцин	3,4	3,5	3,5	3,9	4,6	3,9	2,7	5,6	4,7	4,2	6,6
Лейцин	6,9	7,5	7,2	7,4	8,0	9,6	11,2	12,7	6,3	4,8	9,9
Треонін	2,6	3,2	2,9	3,3	3,5	3,3	3,2	2,7	3,2	2,8	4,6
Фенілаланін	4,3	5,2	5,1	5,3	5,2	4,8	4,1	4,3	4,1	2,8	4,9
Сирий білок (% с. р.)	13,5	11,5	12,5	17,1	7,8	11,0	9,5	11,2	11,1	–	–

**Альбуміни розчиняються у воді.** З водних розчинів альбуміни осаджуються висолуванням за насиченні розчину солями (сульфатом амонію та ін.). Альбумінний комплекс зерна в основному складається з ферментів.

**Глобуліни розчиняються у водних розчинах різних солей** (застосовують зазвичай 5...10%-ний розчин NaCl). У чистій воді вони є нерозчинними. Для виділення глобулінів з сольового розчину застосовують діаліз за допомогою напівпроникних мембран або розбавляють великою кількістю води. Глобуліни складають велику частину насіння бобових культур.

**Проламіни** є найбільш характерними білками для зерна більшості злакових культур. Вони розчиняються в 60...80%-ному розчині етанолу. До проламінів відносять гліадин із зерна пшениці і жита (складова частина клейковини), гордеїн – ячменю, зеїн – кукурудзи, авенін – вівса.

**Глютеліни** розчиняються в розчинах лугів (0,1...0,2%). Вони є мало вивченими, оскільки їх важко виділити в чистому вигляді. Найбільш вивченим є глютелін зерна пшениці (складова частина клейковини), оризенін рису і глютелін кукурудзи.

Будь-яке виділення білка за допомогою розчинника порушує природну структуру білкової молекули, оскільки руйнує або змінює нековалентні зв'язки, тобто виділення білка з рослинного матеріалу завжди супроводжується початковою стадією денатурації.

У таблиці 4.3 наводиться відсотковий вміст білкових фракцій в зернових культурах.

Навіть екстракція білків водою пов'язана з порушенням гідрофобної взаємодії, відбувається перехід солей металів в розчин і іонна рівновага білкової молекули порушується. А під час виділення білків розчином луку відбувається розрив навіть дисульфідних зв'язків(-S-S-).

Таблиця 4.3 – Вміст білкових фракцій в зерні злакових

Культура	Азот фракцій (в % від білкового азоту)				
	Альбуміни	Глобуліни	Проламіни	Глютеліни	Склеропротейни
Пшениця м'яка	5,2	12,6	35,6	28,2	8,7
Жито	24,5	13,9	31,1	23,3	7,2
Ячмінь	6,4	7,5	41,6	26,6	17,9
Кукурудза	9,6	4,7	29,9	40,3	15,5
Овес	7,8	32,6	14,3	33,5	11,8
Гречка	21,7	42,6	U	12,3	23,3
Рис	11,2	4,8	4,4	63,2	16,4

Розділення протеїнів за розчинністю носить умовний характер. Сучасними методами встановлена гетерогенність кожної з названих білкових фракцій. Кожна з них складається з декількох, у багатьох випадках з багатьох десятків різних білків, що мають деякі загальні властивості.

До складу білків входять і так звані **склеропротейни** (нерозчинні білки), що містяться в оболонках і периферійних шарах зерна. Особливістю білків цієї фракції є міцне з'єднання з лігніно-полісахаридним комплексом. Склеропротейни виконують структурну функцію є мало доступними для травлення. Разом з білками в зерні міститься небілковий азот (0,7...12,9% від загального азоту), що включає вільні амінокислоти (50...60%), пептиди, нуклеотиди та ін. Кількість небілкового азоту змінюється в залежності від ступеня зрілості, вирівняності і проростання зерна.

Запасні білки зерна і насіння різних культур характеризується певним фракційним складом. Наприклад, запасні білки насіння соняшнику в основному складаються з глобулінів (солерозчинних) білків, ця фракція характерна також для бобових культур. Злакові культури містять в основному спирто- і лугорозчинні білки (проламіни і глютеліни).

### Білки пшеничного зерна

За даними Т. Осборна, в пшеничному зерні міститься:

- 4% проламінів,
- 4,4% глютелінів,
- 0,6% глобулінів,
- 2,4% альбуміну і інших водорозчинних речовин білкової природи.

Тобто сумарний вміст білка складає 11,4%.

У зерні пшениці найбільше *проламінів і глютелінів*, які утворюють клейковину. *Проламін пшениці називають гліадином*. Він краще всього розчиняється в 60%-ному етанолі. Його ізоелектрична точка відповідає рН 7,0.

Амінокислотний склад гліадину відрізняється малим вмістом незамінних амінокислот – *триптофану і лізину*. В той же час багато глютамінової кислоти (46,6%) і проліну(17,0%).

*Глютелін пшениці називають глютеніном* (від французького Gluten – клейковина). За амінокислотним складом він відрізняється від гліадину, але також містить багато глютамінової кислоти (42,1%).

У наш час встановлено, що гліадин і глютенін складаються з ряду білків, що розрізняються за молекулярною масою і амінокислотним складом. Так, гліадин був розділений на 4 основні фракції ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ), а кожна з цих фракцій була розділена на ряд індивідуальних білків з молекулярною масою від 30000 до 160000 Д<sup>3</sup>.

Більшість *гліадинових білків* побудована з одного поліпептидного ланцюга<sup>4</sup> з молекулярною масою 30...45 кД і внутрішньомолекулярними дисульфідними зв'язками (рисунок 4.5). У меншій кількості до складу гліадину входять білки з молекулярною масою 22; 25,6; 48,8; 57,3 кД, а також димери, побудовані з одностанцюгових молекул головного типу (36,5 і 44,2 кД).

*Глютенін пшениці* є більш гетерогенною білковою фракцією в порівнянні з гліадином. Він складається з багатьох компонентів з молекулярною масою від 50 до 3000 кД. Глютенін – це білок, побудований з багатьох поліпептидних ланцюгів, сполучених між собою дисульфідними зв'язками, причому на кожен поліпептидний ланцюг глютеніну припадає 2...3 дисульфідні зв'язки з сусідніми ланцюгами (рисунок 4.5).

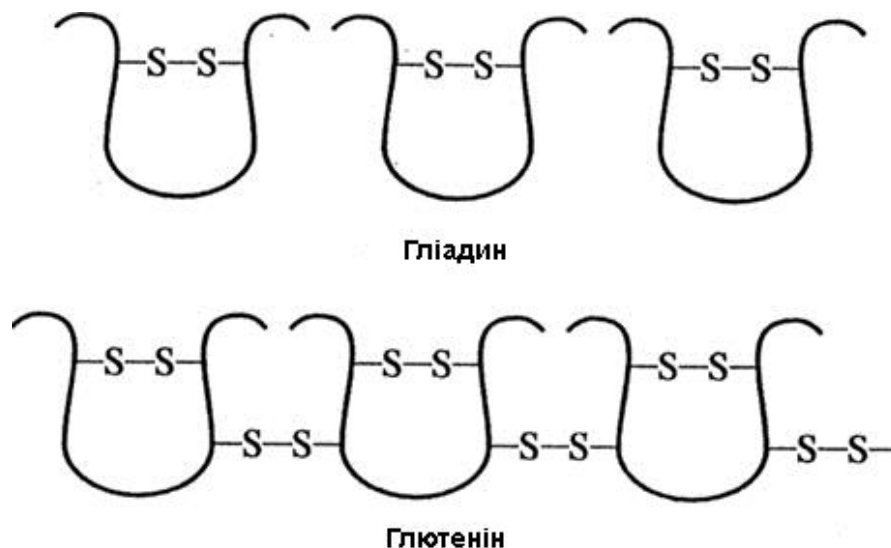


Рисунок 4.5 – Послідовність дисульфідних зв'язків в молекулі гліадину і глютеніну

Альбумін, що міститься в пшеничному зерні, був названий *лейкозином*. *Лейкозин* представляється собою комплекс різних білків з молекулярною масою 20000...25000 Д, причому, до складу цього комплексу входять білки-ферменти. Він міститься, головним чином у зародку. Цей білок легко денатурується і втрачає свою розчинність.

Якщо отримати водний екстракт з пшеничного зерна або зародка і додати до нього навіть трохи спирту або ацетону, то лейкозин випадає в осад і його вже не можна перевести знову у водний розчин. Легко денатурується під впливом нагрівання.

<sup>3</sup> Молекулярна маса – сума мас атомів, що входять до складу даної молекули, виражається в атомних одиницях маси (а.о.м.), яку також прийнято називати дальтон, Д (відповідно кД – кілодальтон).

<sup>4</sup> Поліпептиди – це пептиди з молекулярною масою до 10000, а пептиди з більшою молекулярною масою – білки.

За неправильного висушування зерно перегрівається під дією високих температур і втрачає схожість. Це викликано денатурацією лейкозину.

У зерні пшениці знайдений білок, який з'єднаний з ліпідами і тому екстрагується з борошна петролійним етером. Цей білок називається пуротіоніном, він містить близько 16% цистину. Складається з 2-х компонентів( $\alpha$ - і  $\beta$ -пуротіоніна) з молекулярною масою 12500 і 5000...7000 Д.

Подібні білки знайдені в зерні ячменю і названі гордотіоніном.

У зерні твердої пшениці виявлений водорозчинний білок, що містить 0,03% Купруму і який має коричневе забарвлення. Від нього залежить коричневий колір макаронів, які отримують з деяких партій твердої пшениці.

#### Клейковина

Клейковина була відкрита в пшеничному борошні італійським вченим Беккарі в 1745 р. Білки клейковини містяться також в зерні деяких сортів ячменю, пирію та ін. За даними Казакова Е.Д., деякі сорти пирію містять більше 65% сирої клейковини.

*Вміст клейковини в зерні і борошні пшениці є важливим показником якості.*

Сира клейковина містить 2/3 (66%) води і 1/3 сухої речовини, яка в основному складається з білків. Від кількості і реологічних властивостей клейковини залежить здатність пшеничного борошна давати під час випічки пишній хліб з пружним еластичним і пористим м'якушем.

Клейковина є складним білковим комплексом, що складається з 2-х фракцій – гліадинової і глютенінової в співвідношенні 1:1 (білки складають 80...85%, вуглеводи 10...15%, ліпіди 2...8%)

Окремо ці фракції властивостей клейковини не мають. Гліадин легко відділяється від глютеніну шляхом екстракції 60...70%-ним етанолом. Це вказує на те, що дві фракції сполучені нековалентними зв'язками.

Клейковина різної якості має однаковий амінокислотний склад і складається з одних і тих же білкових компонентів. Але міцність їх взаємного з'єднання є різною. У *міцній клейковині* "щільність упаковки" білкових елементів вища, ніж в слабкій.

У формуванні структури клейковини і її властивостей важливу роль відіграють дисульфідні (-S-S-) і водневі зв'язки. Встановлено, що гліадин має внутрішні -S-S- зв'язки, тобто складається з декількох поліпептидних ланцюгів, сполучених дисульфідними зв'язками. Таким чином, клейковина є єдиним олігомерним білком, що має тривимірну сітчасту структуру.

Міцність і одночасно рухливість структури молекули клейковини створюють специфічні реологічні властивості – пружність, еластичність, розтяжність та ін. Це пояснюється наявністю великої кількості нековалентних зв'язків, які легко розриваються і знову виникають за різних дій на білок.

Якість клейковини тісно пов'язана з кількістю дисульфідних зв'язків, що оцінюється співвідношенням числа -S-S-зв'язків до числа SH-груп.

В залежності від реологічних властивостей клейковини сорти пшениці поділяють на *тверді і м'які*.



У *твердої* пшениці клейковина міцна під час розтягування коротко рветься. Тісто виходить міцне, з високою пружністю, малорозтяжне. Такі властивості повинне мати тісто для виготовлення макаронних виробів, манної крупи.

У *м'якої* пшениці клейковина поєднує пружність з еластичністю і розтяжністю. Тісто має гарну газотримувальну здатність і під час випікання дає хліб пористої структури. Такі властивості потрібні для виробництва хлібобулочних виробів.

Група м'якої пшениці за властивостями клейковини поділяється на **сильні, середні і слабкі сорти**.

Борошно з пшениці *сильних* сортів дає пружне еластичне тісто, хліб добре зберігає форму, під час випікання дає пористу структуру м'якуша.

Тісто з борошна *дуже сильної* клейковини має обмежену здатність до розтягування і знижену газотримувальну здатність, тому хліб має знижений об'єм.

В результаті підмішування борошна з сильної пшениці до борошна з низькими хлібопекарськими властивостями, отримують борошно з гарними властивостями. Тому сорти сильної пшениці називають сортами-*поліпшувачами*.

Середня пшениця сама дає хліб гарної якості, але вона не зможе ефективно поліпшити слабку пшеницю.

Борошно з пшениці *слабких* сортів дає низький, розпливчатий хліб з поганою пористістю. Гарний хліб можна отримати, якщо тільки додавати сорту поліпшувачі.

У ендоспермі пшеничного зерна клейковина розподіляється нерівномірно. Найбільше клейковини злокалізовано в зовнішньому шарі ендосперму, меншого всього – у внутрішніх шарах. Тому борошно II гатунку міститиме більше клейковини.

### **Білки зерна жита**

У зерні жита міститься гліадин і глютенін, але за звичайних умов відмити клейковину не вдається. Це пояснюється тим, що білки жита відрізняються від пшеничних за амінокислотним складом, фізичними і хімічними властивостями. Наприклад, гліадин жита краще розчиняється у водноспиртових розчинах.

Під час екстракції білків жита водою, а потім слабким розчином кислоти з подальшою нейтралізацією лугом, отримують білкову масу, яка має властивості клейковини. Вона має еластичність і розтяжність. Але така клейковина значно слабкіша за пшеничну, оскільки містить менше дисульфідних і водневих зв'язків.

### **Білки ячменю і вівса**

Так як і у випадку пшениці зерно ячменю має невелику кількість альбуміну. Проламінів і глютелінів міститься приблизно в рівних кількостях. Проламін ячменю називається *гордеїн*.

Клейковина ячменю схожа на погану клейковину пшениці, що коротко рветься. Вона має сірий колір, погану розтяжність і гідратаційну здатність.

Ячмінь застосовують для випічки хліба і перепічок, там, де за природними умовами не можна вирощувати інші злаки. Хліб з ячмінного борошна має неприємний присмак, низьку якість, швидше черствішає.

У зерні вівса також є присутнім проламін, глютелін і деяка кількість альбуміну. Спирторозчинний білок вівса називається *авенін*, але переважає фракція глютелінів. За вмістом окремих амінокислот білки зерна вівса помітно відрізняються від пшениці і ячменю. У них міститься в 2 рази більше *лізину*, ніж у білках пшениці. Тому овес характеризується високою біологічною активністю.

### **Білки кукурудзи**

Найбільшу кількість білка містить зародок кукурудзяного зерна, на другому місці – його ендосперм. Кукурудзяне зерно містить, головним чином, два білки: проламін, який називають *зеїн і глютелін*. Глютелін складає приблизно 40% від усього білка, зеїн – приблизно стільки ж.

Зеїн відрізняється від інших білків амінокислотним складом – він практично не містить незамінних амінокислот – лізину і триптофану, тому є біологічно неповноцінним. Зеїн має промислове значення. У США він широко застосовується для виробництва особливих сортів паперу і пластичних мас.

### **Білки зерна рису**

Характеризуються відсутністю проламінів. Основна маса білка представлена глютеліном, який називається *оризеніном*. Його вміст складає 93% від загальної кількості білків. Оризенін має велику молекулярну масу (до 2 млн) і складається з субодиниць двох типів, сполучених дисульфідним зв'язком.

У складі білків рису міститься усі незамінні амінокислоти, що зумовлює його біологічну цінність. Першою лімітуючою амінокислотою є лізин, другою – треонін. За амінокислотним складом рис наближається до білків гречки.

### **Білки зерна гречки**

Фракційний склад білків зерна гречки характеризується майже повною відсутністю проламінів. Переважають глобуліни, на другому місці – водорозчинні білки. Білки гречки відрізняються високим вмістом незамінних амінокислот. За лізином зерно гречки перевершує пшеницю, жито, рис і наближається до соєвих бобів. За вмістом валіну може бути прирівняним до молока, за лейцином – до яловичини, а за фенілаланіном – до молока і яловичини. За вмістом триптофану зерно гречки не поступається продуктам тваринного походження. Таким чином, білки зерна гречки є добре збалансованими за вмістом незамінних амінокислот. Виняток становлять ізолейцин і особливо сірковмісні амінокислоти, яких недостатньо у білках гречки.

## **БІЛКИ БОБОВИХ КУЛЬТУР**

Насіння бобових відрізняється високим вмістом білка (20...40%) і його гарним амінокислотним складом. Вміст білків в насінні бобових, за даними різних авторів, змінюється в межах, наведених в таблиці 4.4. Розподіл білків за фракціями наведений в таблиці 4.5.

Таблиця 4.4 – Вміст білків в насінні бобових, %

Найменування	Коливання	Середній вміст	Найменування	Коливання	Середній вміст
Горох	20,4–35,7	27,8	Кормові боби	26,4–31,2	29,2
Квасоля	17,0–32,1	24,3	Чина	23,1–34,7	28,7
Сочевиця	21,3–36,0	30,4	Нут	18,5–29,7	24,5
Соя	27,0–50,0	39,0	Віка ярова	22,3–37,8	33,7

Таблиця 4.5 – Середній розподіл насіння бобового за фракціями, %

Найменування	Альбумін	Глобуліни	Глютеніни
Горох	9,6	85,7	4,8
Сочевиця	8,1	85,9	6,0
Віка	10,1	83,6	6,3
Нут	12,2	79,8	7,9

Проламінова фракція у білках насіння бобових відсутня. Основна фракція – глобуліни. Найменша кількість припадає на частку глютелінів. Альбуміну трохи більше, ніж глютелінів. У насінні бобових знайдені окремі, характерні для тієї або іншої культури білки – в насінні гороху водорозчинний легумелін і два глобуліни (легумін і віцилін), в насінні квасолі – глобулін фазеолін, в насінні сої – глобулін гліцинін.

Незважаючи на кількісні розбіжності, амінокислотний склад насіння бобових має багато спільного, аспарагінова і особливо глютамінова кислоти містяться в найбільшій кількості, в найменшій – цистин, метіонін і триптофан. Білки насіння бобових є бідними на сірковмісні амінокислоти. Але в насінні бобових у значних кількостях міститься багато незамінних амінокислот.

Оскільки насіння бобових є бідними на сірковмісні амінокислоти (метіонін + цистин), які в надмірній кількості містяться у білках злакових, то в харчовому відношенні білки бобових добре доповнюють білки злаків.

Для повного засвоєння білку бобових культур живим організмом потрібна їх попередня обробка. Сире зерно містить лише 15...20% засвоюваного білку. Глобулінова фракція білків квасолі стійка до деяких протеолітичних ферментів. Завдяки високому вмісту білків, багатих незамінними амінокислотами, насіння бобових культур є одним з найважливіших джерел білка.

Серед бобових культур в якості джерела харчового біологічно цінного білка найбільше значення має насіння сої. З нього виготовляють соєве борошно (знежирене, напівжирне і незнежирене), концентрати й ізоляти. Проте поживна цінність білків сої, що не пройшла термічну обробку, є дуже низькою. Це пов'язано з високим вмістом у бобах сої інгібіторів протеаз різного типу.

Разом з білками, що мають поживну цінність, до складу не тільки сої але й інших бобових культур входять антиаліментарні сполуки, що мають також білкову природу. Вони знижують поживну цінність білкових продуктів і харчових виробів. До таких сполук відносяться інгібітори протеаз шлунково-кишкового тракту і лектини (білки глікопротеїнової природи).

Інгібітори протеаз шлунково-кишкового тракту пригнічують активність травних ферментів, наприклад, *інгібітор Кунітца* та *інгібітор Баумана-Бирк* (інгібітори трипсину і хімотрипсину). Ці інгібітори є білковими молекулами з молекулярними масами 21,5 і 8 кД, відповідно. У насінні сої міститься не менше п'яти інгібіторів трипсину у кількості 5...10% від загального вмісту білку.

**Лектини** (від лат. – "вибирати") – це глікопротеїни рослинного походження, що зв'язані з одним або декількома специфічними цукрами. Свою назву дістали за специфічною здатністю викликати вибірккову аглютинацію<sup>5</sup> еритроцитів крові. На частку лектинів у бобових культурах припадає від 2 до 10% загального білку.

Аглютинація відбувається шляхом взаємодії лектинів з вуглеводними компонентами поверхні клітин. Деякі лектини мають дуже високу вибірккову здатність і взаємодіють тільки з еритроцитами певної групи крові (використовуються для визначення групи крові). Лектини здатні аглютинувати ракові клітини.

Високий вміст лектинів в насінні деяких бобових робить їх токсичними. Причому токсичність може бути вибірковою, для певної групи людей. Дієтологи рекомендують обережно відноситися до додавання борошна з сирих соєвих бобів під час виробництва продуктів харчування.

Відсутність високої активності лектинів, як і інгібіторів ферментів, у білкових продуктах з бобових є однією з санітарно-гігієнічних вимог, що передбачаються сертифікацією для використання їх в хлібопеченні, кондитерській і інших галузях промисловості з метою підвищення харчової цінності виробів. Зниження активності лектинів досягається нагріванням за температури 80°C.

В бобових, крупах, борошні білки знаходяться у вигляді сухих гелів. Під час замочування круп, бобових, а також під час замішування тіста білки набухають. Під час варіння зернобобових і випіканні тіста білки денатурують і зсідуються, в результаті чого гелі ущільнюються і виділяється значна кількість вологи, яка в них міститься. Але рідина не виходить в навколишнє середовище, як у випадку теплової обробки м'яса або риби, а залишається в продуктах, оскільки вона зразу поглинається крохмалем на його клейстеризацію.

#### БІЛКИ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Більшість олійних культур за вмістом білків не поступаються бобовим культурам. Середній вміст білкових речовин в насінні окремих олійних культур змінюється від 16 до 28% (таблиця 4.6).

Білки насіння олійних є сумішшю близьких за своїми властивостями білків. В білках насіння олійних культур міститься 10...30% альбумінів і до 90% глобулінів. Білки алейронових зерен (алеїрини) представлені в основному глобулінами (80...97%) і незначною кількістю альбумінів і глютелінів (1...2%). Проламіни практично відсутні.

*Таблиця 4.6 – Середній вміст білків в насінні олійних культур, % сухої речовини*

<sup>5</sup> *Аглютинація* (від латинського "приклеювання") – агрегація, склеювання, частинок, клітин, спор.

Найменування		Білки	Найменування		Білки
Соняшник	сім'янка	15,7	Рицина		19,4
			Бавовник		20,5
	ядро(без плодової оболонки)	23,7	Коноплі		21,8
Льон	сім'янка	24,9			
	зародок(ядро)	21,6	Рапс	озимий	25,0
	ендосперм	30,8		яровий	28,5

Досить висока біологічна цінність білків олійних культур дозволяє розглядати їх як цінне джерело покриття дефіциту білкових речовин.

Білки насіння найважливіших олійних культур характеризуються високим вмістом і різноманітністю незамінних амінокислот (таблиця 4.7). Тому робляться спроби налагодити отримання з олійної сировини концентрованих форм білку і створення на їх основі нових форм білкової їжі. Особливістю амінокислотного складу білків насіння соняшнику, арахісу, рапсу, кунжуту і бавовнику є високий вміст тирозину і фенілаланіну, а у деяких культур – лізину (рапс), сірковмісних амінокислот (кунжут, соняшник, рапс) і треоніну (рапс, соняшник). Найбільш цінними у біологічному відношенні є білки рапсу, соняшнику і кунжуту(таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 – Склад незамінних амінокислот насіння найважливіших олійних культур

Незамінні амінокислоти	Насіння, мг на 1 г білку				
	Соняшник	Арахіс	Рапс	Кунжут	Бавовник
Валін	52	50	52	46	45
Ізолейцин	37	36	40	40	35
Лейцин	67	70	74	69	57
Лізін	38	37	60	28	41
Треонін	47	30	42	40	39
Метіонін + Цистин	42	25	51	45	25
Фенілаланін + Тирозин	80	95	86	83	83
Триптофан	17	11	18	15	10

Для збагачення харчових сумішей бажано використовувати виділені білкові ізоляти. Більшість рослинних білкових харчових сумішей готують тільки з борошна або концентратів. Найбільш легкий і дешевий спосіб – використання білкового борошна, отриманого зі знежиреного олійного насіння. Проте насіння деяких олійних культур містить отруйні речовини, що є серйозною перешкодою для використання отриманих із них білкових ізолятів (як і самого насіння) в харчових продуктах і в кормах для худоби. Насіння бавовнику містить токсичну сполуку госсипол, насіння рицини – високотоксичні білки лектини, здатні аглютинувати клітини.

#### БІЛКИ КАРТОПЛІ, ОВОЧІВ, ПЛОДІВ

Відносно низький вміст азотистих речовин в картоплі (приблизно 2%),

овочах (1,0...2,0%) і плодах (0,4...1,0%) свідчить про те, що дані види харчової рослинної сировини не мають великого значення в забезпеченні білком продуктів харчування (таблиця 4.8).

Таблиця – 4.8 – Вміст білку в овочах і плодах (в % на суху масу)

Капуста білокачанна	Морква	Цибуля	Баклажани	Буряк	Огірки	Кавун	Абрикос	Яблука
1,8	1,3	1,4	1,2	1,5	0,8	0,7	0,9	0,4

Найбільшим вмістом запасних білків характеризується зелений горошок – в середньому 5,0%, в овочевій квасолі вміст білку складає 4,0%, в шпинаті – 2,9%, в цвітній капусті – 2,5%, в картоплі – 2,0%, томатах – 0,6%. Ще менше білків у більшості плодів, хоча деякі плоди містять білків не менше, ніж в овочі. Так, в маслині міститься в середньому 7% білків, ожині – 2%, бананах – 1,5%.

Картопля, незважаючи на невисокий вміст білку, як джерело азотистих речовин має більш суттєве значення через значне її споживання, яке в середньому складає 330 г в день, таким чином з даним видом продукту задовольняється 6...8% загальної добової потреби людини в білку. Кількість білкового азоту в бульбах картоплі в 1,5...2,5 рази більше, ніж небілкового, тоді як в овочах і плодах, навпаки – менше 50% (наприклад, в капусті 40%, винограді 7%). Небілковий азот картоплі представлений аміним і нітратним азотом з аміаком, які від загального азоту в бульбах складають 18...31 і 10...15% відповідно. Сорти картоплі в більшій мірі відрізняються вмістом небілкового азоту, ніж білкового, і перш за все за кількістю вільних амінокислот. Середи них переважають аланін, лізин, гістидин, глютамінова кислота і фенілаланін.

Білки картоплі є біологічно цінними, так як містять всі незамінні амінокислоти. Білок *туберин* містить усі амінокислоти, у тому числі і незамінні. Туберин за вмістом незамінних амінокислот, за виключення триптофану, перевершує білок пшениці, наближаючись за складом до білку сої і яєчного білку. В порівнянні з білком курячого яйця біологічна цінність білків картоплі складає 85%, а в порівнянні з ідеальним білком – 70%. Першими лімітуючими амінокислотами білків картоплі є метіонін і цистеїн, другою – лейцин. Усі білки картоплі можуть бути розділені на 2 основних фракції: глобуліни (солерозчинні) і водорозчинний альбуміни, в співвідношенні 7:3.

Серед овочевих культур великим вмістом білку відрізняються зелений горошок (28,3...31,9%) і цукрова кукурудза (10,4...14,9% в перерахунку на суху масу). Основну частку білків зеленого горошку складають глобуліни (віцилін і легулін), кукурудзи – спирторозчинний зеїн. Крім того, білки зеленого горошку відрізняються високим вмістом альбуміну, який в 2...3 рази вищий, ніж в зрілому горосі гладкозернових сортів. У молочно-восковій стадії стиглості білки горошку містять в 2,5...3 рази менше глютелінів, ніж за повної стиглості.

В порівнянні із зерновою кукурудзою овочева кукурудза містить значно більше альбуміну, глобуліну і менше розчинних білків. Вміст зеїну складає 21,1...37,2% від загального білку, що значно менше, ніж в кукурудзі інших

ботанічних груп (41...58%). Щодо амінокислотного складу, то значну частку амінокислот горошку складає лейцин з ізолейцином (15,4% від загальної кількості), фенілаланін (7,1%), валін з метіоніном (5,2%), аргінін (10,5%) і треонін (5,2%). Для білків цукрової кукурудзи характерний високий вміст лейцину і ізолейцину – 15,1%, аргініну – 12,4%, глютамінової кислоти – 17,3%, аланіну, гліцину, серину – 9,0%, гістидину – 4,2%, лізину – 1,1%. Високий вміст в зеленому горошку і цукровій кукурудзі лізину і аргініну пояснюється підвищеною кількістю альбуміну, а в кукурудзі – зниженим вмістом неповноцінного зеїну.

За різних температурних обробок білки обох культур поведуться по-різному. Нагрівання зеленого горошку впродовж 1 хв. у воді за 98...100°C зменшує розчинність глобулінів на 80%, альбумінів – на 24% і збільшує кількість лугорозчинної фракції (на 61%). Заморожування за температури 30...196°C істотно не впливає на розчинність і компонентний склад білків.

Азотисті речовини овочів, фруктів і ягід мають суттєве значення для формування споживчих і органолептичних властивостей цих продуктів (смаку, аромату, кольору і консистенції), стійкості їх під час зберігання і збереженні вітамінів. Так, вільні амінокислоти беруть участь в реакціях, пов'язаних з утворенням аромату (реакції Майяра); нітрати, навпаки, в надмірній кількості погіршують стійкість під час зберігання, а дія, наприклад, пектолітичних ферментів в кінці дозрівання плодів зумовлює їх розм'якшення. Деякі із азотистих речовин виконують функції протеаз і амілаз. Ферменти у складі азотовмісних речовин овочів, фруктів і ягід утворюють незначну їх частину, проте, їх роль у дозріванні і зберіганні рослинної сировини величезна. Збереження овочів і фруктів в основному залежить від активності ферментів, що беруть участь в диханні.

У бульбах картоплі, насінні японської редиски, коренях турнепсу, зеленому горошку, томатах містяться білки-інгібітори тваринних протеїназ, в першу чергу трипсину і хімотрипсину. За вмістом інгібіторів соковита рослинна сировина займає третє місце після бобових і злакових. Інгібітор хімотрипсину картоплі відноситься до "аргінінового" типу, тобто в ділянці, яка вступає у взаємодію з активним центром ферменту, міститься аргінін. Окрім інгібіторів трипсину і хімотрипсину в картоплі виявлені поліпептиди, що діють як інгібітори карбоксипептидази А і Б.

### БІЛКИ М'ЯСА

М'ясні продукти є одним з основних джерел повноцінного білку. Вміст білку в них коливається в межах 11...22%. Білки м'язової тканини добре збалансовані за амінокислотним складом, в них немає нестачі незамінних амінокислот. Білки сполучної тканини і хрящів є неповноцінними.

За своїми біологічними властивостями білки м'яса є неоднаковими. Найбільшу цінність мають білки м'язової тканини. Вона є сукупністю м'язових волокон і сполучних оболонки, що кількісно переважають.

## Будова м'язової тканини м'яса

М'язова тканина м'яса складається з м'язових волокон. Довжина їх сягає 10 – 2 см, а товщина – 0,1...0,15 мм. Поверхня м'язового волокна вкрита оболонкою – сарколемою (саркос – м'ясо, лема – шкіра), яка складається з фібрилярного білка колагену і ліпідів (жирів). В середині волокна знаходиться саркоплазма (плазма – рідина). Це розчин мінеральних речовин, водорозчинних білків, вітамінів і інших речовин. Водорозчинні білки саркоплазми – міоген, міоглобін, міоальбумін, глобулін та ін. У рідкій саркоплазмі знаходиться драглеподібні нитки – міофібрили, які складаються з солерозчинних білків міозину, актину, актоміозину (рисунок 4.6).

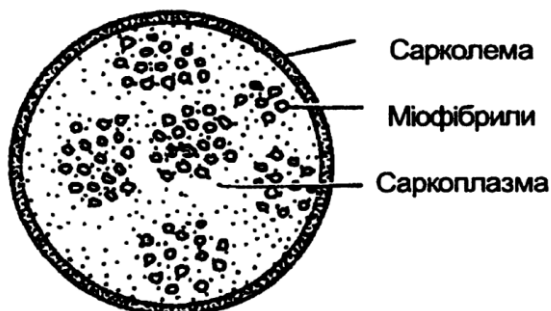


Рисунок 4.6 – Схема будови м'язового волокна

Окремі м'язові волокна з'єднуються в первинні пучки, а декілька первинних пучків з допомогою ніжної сполучної тканини – ендомізії (ендо – внутрішній) з'єднуються у вторинні пучки. Вторинні пучки з допомогою товстішої сполучної тканини – перемізії (проміжний) утворюють м'яз, який зверху покритий ще грубішою сполучною тканиною – епімізієм (зовнішній). Внутрішня сполучна тканина (ендомізій) складається із тонких колагенових волокон. Проміжна сполучна тканина (перемізій) складається із колагенових і еластинових волокон (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Будова м'язової тканини

## Характеристика білків м'яса

На частку білків в м'язовій тканині припадає приблизно 80% сухого залишку або 16,5...20,9% маси тканини.

Головними м'язовими білками є міозин і актин, функція яких полягає у забезпеченні механізму м'язового скорочення і розслаблення за у часті АТФ.

**Міозин** за масою складає 55% м'язового білка і представляє собою гексамір, який включає фібрилярну частину (дві переплетені спіралі з молекулярною масою 200 кД, які закінчуються глобулярними "головками"),



важкі ланцюги і дві пари легких ланцюгів (молекулярна маса 15...27 кД). Міозин має АТФ-гідролізуючу активність і здатність зв'язуватись з нерозчинним F-актином.

**Актин** – на частку цього білка припадає 15% від усіх білків м'язової тканини; існує в 2-х формах – у вигляді глобулярного актину (G-актин – мономерний глобулярний білок з молекулярною масою 43 кД, на частку якого припадає 25% від загальної маси м'язового білку) і фібрилярного актину (F-актин).

**Міоглобін** – водорозчинний білок, хромопротеїн, простетичною групою в якому є гем, його структура представлена одним поліпептидним ланцюгом, що складається з 153 амінокислотних залишків; вміст міоглобіну в м'язовій тканині приблизно 1% від суми усіх білків тканини.

Міозин і актин відіграють основну роль у фізіологічному акті м'язового скорочення. Функція міоглобіну полягає в передачі кисню, що доставляється гемоглобіном, ферментативним системам клітин.

В м'язових клітинах міститься глобулярний водорозчинний пігментохромопротеїд міоглобін, в якому простетичною групою є гем-циклічний тетрапірол, присутністю якого пояснюється червоний колір цього білку. Вміст міоглобіну в м'язовій тканині становить приблизно 1%. Біологічна функція міоглобіну полягає не в транспортуванні кисню, як у випадку гемоглобіну, а в його запасі. В умовах кисневого голодування (наприклад, за фізичного навантаження) кисень вивільняється із комплексу з міоглобіном і надходить в мітохондрії м'язових клітин, де здійснюється синтез АТФ.

Міоглобін, що не є зв'язаним з киснем, називають дезоксиміоглобіном (Mb), оксигемований Mb називають оксиміоглобіном (MbO<sub>2</sub>). Колір м'ясопродуктів залежить від вмісту міоглобіну, стану гему і белкової частини макроглобули. Окиснення Fe<sup>2+</sup> в міоглобіні до Fe<sup>3+</sup> призводить до зміни кольору пігменту від яскраво-червоного до темно-коричневого, так як метміоглобін (MetMb), що утворюється втрачає здатність зв'язувати молекулярний кисень. Теплова денатурація глобіну також призводить до втрати здатності гемового пігменту зв'язувати кисень і погіршує колір виробів.

Кисень міоглобіну може замінюватись такими лігандами, як оксид азоту, оксид вуглецю та ін., тому дану властивість білка м'язової тканини м'яса використовують для отримання інтенсивного кольору м'ясопродуктів. Нітрит (NO), що застосовується з цією метою, вступаючи і реакцію з міоглобіном, утворює нітрозоміоглобін, що переходить за нагрівання в стійкий пігмент червоного кольору нітрозоміохромоген.

**Міоген** складається із комплексу міогенів А, В, С і становить приблизно 20% від усіх білкових волокон. Він розчиняється у воді, утворюючи гомогенні розчини з невеликою в'язкістю. Температура денатурації вільного від солей міогену – 55...60°C. З часом міоген переходить у нерозчинний стан.

До білків сполучної тканини відносяться **колаген** і **еластин** – головні фібрилярні білки сполучної тканини.

**Колаген** є найбільш поширеним з усіх білків, що виявлені у хребетних. У людини 1/3 усіх білків складає колаген. Фібрили колагену складається з трьох навитих один на одного поліпептидних ланцюгів, кожен з яких утворює ламану спіраль особливого типу. З колагену формуються волокна, що складають основу сполучної тканини. Міцність таких волокон можна порівняти з міцністю сталевого дроту. Колаген містить близько 35% залишків гліцину і приблизно 11% залишків аланіну – незвично великі кількості цих амінокислот.

Ще характернішою відмітною ознакою колагену є високий вміст проліну і оксипроліну, на частку яких в сумі доводиться 21%.

За часткового гідролізу колаген перетворюється на желатин – розчинну і перетравлювану суміш поліпептидів, що використовується для приготування желе. В ході цього перетворення відбувається гідроліз деяких ковалентних зв'язків колагену.

**Еластин** – специфічний білок еластичної сполучної тканини. Подібно до колагену, еластин багатий гліцином і аланіном, в той же час він містить велику кількість залишків лізину і мало проліну. Він існує у вигляді мережі поперечно-зв'язаних поліпептидних ланцюгів, завдяки чому має велику пружність.

Якість м'яса значною мірою залежить від вмісту в ньому сполучної тканини – чим більше сполучної тканини, тим нижчою є біологічна і харчова цінність. Вміст оксипроліну часто використовують як показник вмісту сполучної тканини, а відношення *триптофан : оксипролін* – як показник якості м'яса, чим він вищий, тим якість краща.

Нині існують і інші показники якості тваринного білку, засновані на їх біологічних властивостях. Наприклад, коефіцієнт використання білку – процентне відношення засвоєного білку до білку, прийнятого як еталон.

Для підвищення виходу придатного для виробництва напівфабрикатів м'яса, частини яловичої туші з високим вмістом сполучної тканини піддають ферментативному гідролізу. З цією метою найчастіше використовують препарати протеолітичних ферментів, папаїн, що містять, або суміш папаїну з мікробними протеїназами, що дозволяє підвищити вихід придатного для виробництва напівфабрикатів м'яса з 15...17% до 40...43%.

### **Зміна білків м'яса в ході технологічних процесів**

Білки сарколеми є дуже стійкими, і навіть під час довгого нагрівання за температури 120°C структура їх не змінюється. Тому після теплової обробки м'язові волокна зберігаються, і розварене м'ясо можна подрібнити на пучки або окремі м'язові волокна. Білки саркоплазми, які знаходяться в розчиненому стані, денатурують і утворюють щільний гель (студень), оскільки концентрація їх велика. Цей процес починається вже за температури 30...35°C, а за температури 65°C денатурує близько 90% всіх розчинних білків саркоплазми. Однак навіть за нагрівання м'яса до 95...100°C не відбувається повної денатурації білків і деяка частина їх зберігає властивість розчинятися. Білки міофібрил, які мають вигляд гелю, під час нагрівання ущільнюються і від утвореного студня відокремлюється значна частина води разом з розчиненими в ній поживними речовинами. Частина цієї води переходить в простір між

волокна, тому діаметр м'язових волокон зменшується, вони стають щільнішими і міцнішими. Під час варіння м'яса і птиці, поки ще продукти не прогрілись, частина водорозчинних білків (міоген) переходить у воду. За подальшого нагрівання вони згортаються і спливають на поверхню бульйону у вигляді піни.

Якщо воду, в якій вариться м'ясо або птиця, посолити перш ніж продукти прогріються, то в розчин перейде більше білків за рахунок глобулінів (солерозчинних) і кількість піни збільшиться. Тому під час варіння м'яса воду солять після того, як м'ясо прогріється. Одночасно із змінами білків м'язової тканини змінюються також білки сполучної тканини. Ендомізій складається з волокон фібрилярного білка – колагену. У всіх частинах туші ендомізій має однакові властивості. Перемізій складається не тільки з волокон колагену, а й з волокон іншого фібрилярного білка – еластину. Перемізій в окремих частинах туші не однаковий і його властивості визначають кулінарне використання частин м'яса. За нагрівання м'яса в процесі кулінарної обробки еластинові волокна змінюються мало. Колагенові волокна за температури близько 60°C зварюються, скорочуються майже на половину своєї початкової довжини. В результаті зварювання колагену шматки м'яса під час смаження або варіння деформуються, м'ясний сік разом з розчиненими білками, екстрактивними речовинами і мінеральними солями виходить в навколишнє середовище. Це призводить до зменшення маси напівфабрикатів. Щоб шматки м'яса, особливо під час смаження, не деформувалися, їх відбивають, роблять надрізи, перетинаючи сполучну тканину. Одночасно проходить набухання колагенових волокон. За подальшого нагрівання розриваються водневі зв'язки між окремими амінокислотними ланцюжками. Нерозчинений колаген перетворюється в більш просту розчинну речовину – глютин. Кулінарна готовність м'ясних виробів зумовлена ступенем розкладу колагену і розм'якшенням тканин. Швидкість розкладу колагену залежить від кількох причин. Чим грубіша сполучна тканина, тим повільніше розкладається колаген. Розклад колагенових волокон супроводжується поглинанням значної кількості вологи. Тому для смаження придатні тільки ті частини туші, в яких перемізій є достатньо ніжним і значна частина колагену встигає перетворитися в глютин за час, коли основна частина вологи ще не випарувалася. У більшості частин м'яса великої рогатої худоби перемізій є настільки міцним, що таке м'ясо є непридатним для смаження і його можна використати тільки для варіння і тушкування. Швидкість переходу колагену в глютин залежить від температури: чим вона вища, тим цей процес відбувається скоріше. Особливо швидко він проходить за температури 100°C. Значно швидше переходить колаген в глютин в присутності кислот. На цьому базується маринування м'яса перед смаженням і застосування кислих соусів для тушіння м'яса. Розчини, в яких є більше 1% желатину, під час охолодження утворюють студні (гелі).

#### БІЛКИ МОЛОКА

До складу молока входить більше 100 різних компонентів. Деякі з основних компонентів молока (казеїн, лактоза) ні в яких інших природних продуктах не зустрічаються.

Молоко – це гетерогенна система, в якій дисперсної фази є емульговані жирові глобули і колоїдні міцели казеїну, а дисперсним середовищем – розчин білків, лактози, солей і вітамінів. Загальний вміст білку у молоці коливається від 2,9 до 3,5%. Серед них виділяють дві основні групи: казеїни і сироваткові білки (таблиця 4.9). В молоці міститься більше 20 ферментів, а також гормони і білки у складі оболонки жирових кульок.

Таблиця 4.9 – Склад і молекулярні характеристики білкових компонентів молока

Компоненти	Вміст		Молекулярна маса, кД	ІЕТ
	в % від загальних білків	в г/л		
Казеїн:	78...85	...		
$\alpha_{s1}$ -казеїн	43...54	12...15	23,0	4,4...4,8
$\alpha_{s2}$ -казеїн		3...4	25,0	-
$\beta$ -казеїн	25...35	9...11	24,0	4,8...5,1
$\chi$ -казеїн	8...15	2...4	19,0	5,4...5,8
Білки сироватки	15...25	6...8		
$\beta$ -лактоглобулін	7...12	3,6	18,3	5,1
$\alpha$ -лактоальбумін	2...5	1,7	14,2	4,2...4,5
імуноглобуліни	1,5...2,5	0,6	150...1000	5,5...8,3
альбумін сироватки крові	0,7...1,3	0,4	69,0	4,7...4,9

Основними білками молока є казеїн і сироваткові білки:  $\alpha$ -лактоальбумін,  $\beta$ -лактоглобулін, імуноглобуліни.

Вміст  *$\alpha$ -лактоальбуміну* складає 0,1%. Молекулярна маса 36 кД.  $\alpha$ -Лактальбумін необхідний для синтезу лактози в молоці із галактози і глюкози.

Інший основний білок молока –  *$\beta$ -лактоглобулін*. Він має високу термостабільність (витримує нагрівання до 100°C), стійкий в кислому середовищі шлунку до дії пепсину, тому розщеплюється тільки в кишечнику трипсином і хімотрипсином, має антибактеріальні властивості. У жіночому молоці не міститься.

*Імуноглобуліни* виконують захисну функцію, лактоферин і лізоцим (фермент) є носіями антибактеріальних властивостей. Лактоферин і  $\beta$ -лактоглобулін виконують транспортну функцію, переносячи в кишечник мікро- і макроелементи, вітаміни і ліпіди.

*Казеїн* – основний білок молока (2,7%) є фосфопротеїном; він містить велику кількість фосфоросеринових залишків, які утворюються в результаті ферментативного фосфорилування гідроксильних груп серину. Їх функція полягає у зв'язуванні іонів кальцію.

Казеїн є присутнім в молоці у вигляді свого попередника казеїногена (80% білків коров'ячого молока). Містить повний набір незамінних амінокислот, особливо багатий метіоніном, лізином, триптофаном.

Під дією протеолітичних ферментів шлунку в за присутності іонів кальцію казеїноген перетворюється на казеїн, який випадає в осад (ферментативне перетворення молока в сирну масу). Осад казеїну довше затримується в шлунку і повніше засвоюється.

### Технологічні перетворення білків молока

В молоці знаходяться основні три білки: казеїн (2,5...3%), лактоальбумін (0,5...1%) і лактоглобулін (0,1%). Найбільше в молоці казеїну, який належить до групи фосфоровмісних білків і має виражений кислотний характер. У молоці він знаходиться у вигляді кальцієвої солі. Всі білки мають вигляд золю. За підвищення кислотності молочна кислота, яка виробляється молочнокислими бактеріями, відокремлює кальцій від солей казеїну, підвищує кислотність молока і утворює драглеподібну масу – гель, який під час кип'ятіння згортається. За подальшого нагрівання він ущільнюється і виділяється вода (одержання сиру). Нагрівання молока призводить до денатурації його білків. Денатурований альбумін зсідається у вигляді пластівців на дні посуду. Цей процес починається за 60°C. Протягом 30 хв. за даної температури осідає близько 1% альбуміну, а за годину – до 5%. За швидкого нагрівання молока початок випадання пластівців починається за 75°C. Денатурація казеїну проявляється у появі плівки на поверхні молока і починається вже за температури 40...50°C.

### БІЛКИ ЯЄЦЬ

Яйця різних птахів за своїм хімічним складом відрізняються не дуже і містять значну кількість повноцінного білка, збалансованого за амінокислотним складом (таблиця 4.10).

Білок яйця – це концентрований колоїдний розчин протеїну у воді. Зовнішній (підшкарлуповий шар білку є рідким, середній – щільний і внутрішній – рідкий. Яечний білок добре розчиняється у воді з утворенням в'язкої рідини. Під час збивання водного розчину білка утворюється стійка піна. В таблиці 4.11 наведені основні протеїни яєчного білка.

Головним компонентом яєчного білка є яечний альбумін – *овоальбумін*. Він є повноцінним білком, який у звареному стані засвоюється на 97,6%. Це глікофосфопротеїд (2% манози і 1,2% глюкози). Овоальбумін містить чотири тиольні і одну дисульфідну групу. Під час зберігання яєць з нативного білка (температура коагуляції 84,5°C) формується більш термостабільний S-овоальбумін (температура коагуляції 92,5°C). Вміст S-овоальбуміну збільшується від 5% в свіжих яйцях до 81% в яйцях, які зберігалися протягом шести місяців на холоді. У розчинах овоальбумін є нестійким до механічних впливів. В результаті струшування швидко денатурує і коагулює, це міжфазова коагуляція, яка відбувається через розкриття і агрегацію молекул білку.

*Овомукоїд* – білок яйця, що за хімічним складом є глікопротеїдом, чутливий до тепла. Він містить різні вуглеводи: галактозу – 1...1,5%; манозу – 4,3...4,7%; глюкозу – 12,5...15,4%. У кислому середовищі овомукоїд проявляє високу стійкість до теплового впливу, а в лужному середовищі (рН = 9,0) швидко денатурує за 80°C.

Таблиця 4.10 – Амінокислотний склад яйця (в % від загального вмісту білка)

Амінокислота	Яйце (в цілому)	Білок	Жовток
Аланін	0,71	0,65	0,82
Аргінін	0,84	0,63	1,13
Аспарагинова кислота	1,2	0,85	1,37
Валін	0,95	0,84	1,12
Гістидин	0,31	0,23	0,37
Гліцин	0,45	0,40	0,57
Глутамінова кислота	1,58	1,52	1,95
Ізолейцин	0,85	0,70	1,00
Лейцин	1,13	0,95	1,37
Лізін	0,68	0,65	1,07
Метіонін	0,40	0,42	0,42
Пролін	0,54	0,41	0,72
Серин	0,92	0,75	1,31
Теонін	0,51	0,48	0,83
Тирозин	0,55	0,45	0,76
Триптофан	0,21	0,16	0,24
Цистеїн	0,30	0,26	0,27
Фенілаланін	0,75	0,69	0,72

Таблиця 4.11 – Основні протеїни курячого яйця

Білок	% від загальної кількості білку
Овоальбумін	54
Кональбумін	12
Овомукоїд	11
Овомуцин	3,5
Лізоцим (овоглобулін G1)	3,4
Овоглобулін G2	4
Овоглобулін G3	4
Флавопротеїн	0,8
Овоглікопротеїн	1,0
Овомакроглобулін	0,5
Овоінгібітор	1,5
Авідін	0,05
Цістатин	0,05

**Лізоцим** є широко розповсюдженим білком і зустрічається не тільки в білках яйця, але в багатьох тканинах тварин, латексі, ексудатах різних рослин і в деяких грибах. Лізоцим є ферментом яєчного білку, який має бактерицидні властивості і здатний розчиняти оболонки бактеріальних клітин. Інактивація ферменту залежить від рН середовища і температури. Під час теплової обробки за температури 63°C протягом 10 хв. лізоцим інактивується. Цей білок є гарним піноутворювачем.

**Овомуцин** – білок яйця, що за хімічним складом є глікопротеїдом з вмістом вуглеводів приблизно 20%. В розчині він є дуже стійким до тепла. Комплекс лізоциму і овомуцину під час зберігання яєць сприяє розрідженню білка за рН = 9,0. Активність лізоциму зменшується на 20% через 45 днів зберігання за температури  $\pm 2^\circ\text{C}$  в результаті утворення в розчині комплексу овомуцин-лізоцим.

**Авідін** є глікопротеїдом, який містить приблизно 10% вуглеводів. Його амінокислотна послідовність збігається з послідовністю лізоциму на 12%. Авідін здатний утворювати біологічно неактивний комплекс з біотином (вітамін Н). Авідин курячого яйця виконує антибактеріальну роль.

**Цистатин** курячого яйця є інгібітором і пригнічує ендопептидази цистеїну (фіцин, папаїн)

Під час зберігання яєць протягом певного часу у білках виявляють продукти їх ферментативного розпаду. У незапліднених яйцях з'являються вільні амінокислоти, пурини, молочна і лимонна кислоти та ін.

Сирий білок містить значну кількість ферментів, що мають антитрипсинову дію. Тому сирий білок гірше перетравлюється (82%). В результаті інактивації цих ферментів засвоюваність білків значно зростає. Оптимальна засвоюваність (96...98%) яєчних білків досягається під час нагрівання їх до 70°C.

Кількість білку у жовтку є не такою великою (18%), але жовток включає більш повноцінний білок. Температура денатурації білків жовтка 65°C.

Білкові речовини в жовтку представлені переважно ліпопротеїдами, які містять від 17% до 38% зв'язаних ліпідів. Приблизно 70% від загальної кількості білка припадає на ліповітеліни; 24% – на ліветин; 9% - на фосвітин.

**Ліповітелін** є повноцінним білком, який містить найсприятливіше для людини співвідношення незамінних амінокислот, тому добре засвоюється організмом. Крім того ліповітелін має оптимальну кількість органічного фосфору. Він представлений  $\alpha$ - і  $\beta$ -ліповітелінами. Ліпідна частина цих білків складається з фосфоліпідів.

**Ліветин і фосвітин** є ліпопротеїдами низької густини, вміст ліпідів у яких складає 80...89%. Приблизно 70...77% ліпідної частини становлять нейтральні жири і 26% – фосфоліпіди.

**Ліветин** – це білкова фракція з добре розчинних у воді білків. Вони є повноцінними й містять значно менше фосфору в порівнянні з ліповітеліном.

**Фосвітин** є білком, о багатий на фосфор, він містить також і Ферум. Це є повноцінний білок, який розчиняється в розчинах солей помірної концентрації.

Жовток містить значно менше ферментів у порівнянні з білком яйця. Яєчний жовток, у випадку його вживання, стимулює секреторну діяльність шлунку і добре перетравлюється.

### **Технологічні перетворення білків яйця**

Фосфоропротеїни жовтка – вітелін, лівотин і фосвітин – містять різну кількість фосфору і є добрими емульгаторами, що дозволяє використовувати їх під час виготовлення майонезу. Яйця містять також білки, які є антиферментами і гальмують харчове травлення. Під час теплової обробки антиферменти руйнуються й яйця засвоюються краще. І білок і жовток – концентровані золі. Під час нагрівання білки яєць денатурують, а потім зсідаються. Зсідання яєчного білка починається за температури 50...55°C. Спочатку з'являється поступове помутніння, за 65°C білок густішає і за 75°C перетворюється в непрозору білу драглеподібну масу ніжної консистенції. За температури 80°C утворюється гель, що зберігає форму, за подальшого нагрівання він стає все більш щільним. Жовток починає густішати за вищої температури (70°C). Ціле розмішане яйце густішає за тієї самої температури, що і жовток. Для деяких кулінарних виробів (омлетів) яйце розводять водою або молоком. Розведене яйце дає під час зсідання гель більш ніжної консистенції, ніж натуральне. Додавання цукру до яєць підвищує температуру зсідання.

### **БІЛКИ РИБИ**

Білки м'язової тканини риб мало чим відрізняються від білків м'яса теплокровних тварин. Так само, як і білки м'яса тварин, вони складаються з нерозчинних глобулінів (іхтулін риб – аналог міозину – білка м'яса тварин), розчинних у воді альбумінів та деякої кількості складних фосфоровмісних білків – нуклеопротеїдів. У саркоплазмі міститься 20...30% загального білка м'язової тканини. У скорочувальному апараті 65...75% білку, в сполучній тканині кісткових риб – 3%, а у хрящових, таких як акули і скати – до 10%.

Сполучнотканинні білки зовсім не містять еластину і складаються в основному з колагену, який швидко перетворюється під час нагрівання за температури 45°C в глютин, желатин. Перетворення колагену в глютин супроводжується різким зниженням міцності тканин, в результаті чого риба, що була піддана тепловій обробці, легко розжовується. У м'язовій тканині риб кількість сполучної тканини становить 0,6...3,5%, з чого можна зробити висновок, що м'ясо риб містить приблизно в 5 разів менше сполучної тканини, ніж м'ясо теплокровних тварин. Ці два фактори роблять рибне м'ясо більш ніжним, ніж м'ясо ссавців.

Пігменти зосереджені в темних м'язах. Наприклад, в темних м'язах скумбрії міститься 3,9 г/кг міоглобіну, 5,8 г/кг гемоглобіну і 0,13 г/кг цитохрому С. Світлі м'язи містять тільки міоглобін і гемоглобін в кількості приблизно 0,1 г/кг.

Білки риби містять всі незамінні амінокислоти в добре збалансованих відношеннях. Амінокислотний склад білків риби відрізняється від амінокислотного складу білків м'яса. Так, у білок м'яса риби містить більше



лізину, аланіну, цистеїну і аспаргінової кислоти, решта замінних і незамінних амінокислот у ньому міститься менше, ніж у білку м'яса тварин.

Високий вміст таких кислот як лізин і аргінін, які є ростовими факторами, дозволяє віднести рибу до продуктів, які є абсолютно необхідними в дитячому харчуванні. До переваг білків риби можна віднести високий вміст в них метіоніну і цистеїну, кількість яких сумарно перевищує їх вміст у такому визнаному джерелі цистеїну і метіоніну як сир. Тому м'ясо риби відносять до продуктів, які мають виражені ліпотропні властивості. Ліпотропними називаються речовини, які попереджають ожиріння печінки та приймають участь у нормалізації жирового і пов'язаного з ним холестеринового обміну.

В основі будови м'язової тканини риби також лежать м'язові волокна. Окремі волокна з'єднуються перемізієм у зигзагоподібні міокоми. Міокоми за допомогою горизонтальних і вертикальних прошарків (септ) утворюють тіло риби. Септи – це прошарки сполучної тканини між окремими м'язами (рисунок 4.8).

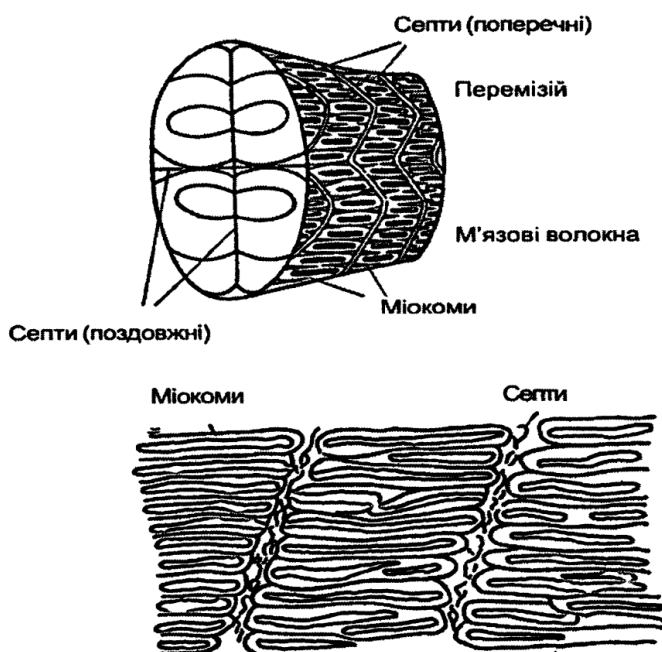


Рисунок 4.8 – Будова тканини риби.

Будову м'язової тканини добре видно у звареної риби, в якій після розм'якшення сполучної тканини добре розділяються міокоми. В м'язових волокнах тканини риб немає білка міоглобіну. Більшість білків риби повноцінні і легко засвоюються організмом. Білки м'язової тканини риби змінюються так само, як білки м'яса, але процес згортання білків риби закінчується за температури 75°C. Сполучна тканина риби майже повністю складається із колагену і не має еластину.

Зварювання колагенових волокон шкіри риби викликає деформацію шматків під час теплової обробки. Тому під час виготовлення рибних напівфабрикатів шкіру в декількох місцях перерізають. Зварювання колагенових волокон риби відбувається за нижчої температури (40°C), ніж у м'яса.

## **Зміна ваги м'яса і риби під час теплової обробки**

Денатурація білків призводить до зміни їх колоїдного стану – згортання. Білки переходять у розчин, згортаються й утворюють піну. Під час варіння м'яса і риби ущільнюється білковий гель міофібрил, що призводить до зменшення ваги і об'єму продукту. Кількість води, яка виділяється м'ясом і рибою, залежить від ряду причин: величини шматків, умов нагрівання та ін. Із м'яса і риби переходять в навколишнє середовище разом з водою розчинені білки, мінеральні солі, екстрактивні речовини. Виділення води під час згортання білків м'яса проходить більш інтенсивно за 45...75°C, але продовжується до 100°C. У риб цей процес закінчується за 75°C. Зменшення ваги продукту зумовлюється також витоппленням із нього жиру.

Екстрактивні речовини м'яса і риби зумовлюють смак і сокогінну дію бульйонів, тому важливим є режим варіння, за якого найбільша кількість цих речовин переходить в розчин. Є два основні прийоми варіння м'яса для одержання бульйонів і для других відварних страв. Для бульйону м'ясо заливають холодною водою, нагрівають до кипіння і варять за слабого кипіння. В цьому випадку в розчин переходить більше екстрактивних речовин. Для других страв м'ясо закладають у гарячу воду, доводять до кипіння і варять за температури 85...90°C. В такому випадку білки утримують більше вологи, менше екстрактивних речовин і білків переходить у розчин. М'ясо стає більш ніжним, соковитим, смачним. Втрати сухих речовин м'яса в середньому становлять 1,5...3% від ваги м'яса. Кількість речовин, що переходить у розчин, залежить від величини шматків, виду м'яса, частин туші. Під час смаження втрачається значно менше поживних речовин, ніж під час варіння, оскільки частина води випаровується з поверхні, а розчинені в ній речовини залишаються і частина з них переходить у м'ясний сік. Вироби, поміщені для смаження в добре розігрітий жир, втрачають менше поживних речовин, менше з них виходить соку і вони стають більш соковитими.

### **4.9 Нові форми білкової їжі**

Основним напрямом науково-технічного прогресу в галузі виробництва продовольства є інтенсифікація процесів приготування їжі з одночасним наданням їй комплексу властивостей, що відповідають вимогам науки про здорове харчування. Нові харчові виробництва в якості пріоритетних включають технології отримання білкових продуктів.

Об'єктивними причинами створення принципово нових технологій отримання білкових компонентів їжі наступні:

- зростання чисельності населення;
- усвідомлення того, що ресурси планети не є безмежними;
- необхідність випуску харчових продуктів із складом, що відповідає сучасному способу життя.

До потенційних сировинних джерел відносять:

- зернобобові (соя, горох, сочевиця та ін.);
- хлібні і круп'яні культури (пшениця, жито, овес та ін.);
- олійні (соняшник, льон, рапс та ін.);

- вегетативна маса рослин (люцерна, конюшина та ін.);
- продукти переробки фруктів і ягід (кісточки абрикос, сливи і т.п.);
- кедрові й інші горіхи.

Традиційною для виробництва білкових продуктів є соя і пшениця.

Характерною особливістю нових харчових технологій є застосування комплексної переробки продовольчої сировини, що дозволяє використати величезні потенційні ресурси білку і інших нутрієнтів.

Нові продукти харчування, що отримуються на основі грубих білкових фракцій продовольчої сировини, прийнято в науковій літературі називати *новими формами їжі*, а також текстурованими, структурованими і штучними харчовими продуктами.

Основними завданнями технології виробництва харчового білку є:

- вилучення його з сировини з максимальним виходом за мінімальних витрат і втрат інших цінних компонентів;
- мінімальні зміни функціональних властивостей білку або спрямована зміна у бажаний бік;
- збереження біологічної, харчової цінності білку;
- необхідний ступінь відділення і дезактивація небажаних домішок.
- харчові білки виготовляють у вигляді *трьох основних типів* продуктів, які відрізняються за вмістом білку і його фракційним складом.

Перший тип – **крупна і борошно** – містить 50% білку (знежирене борошно бобів, сої, інших культур). Різні види борошна розрізняють за вмістом жиру, розміром частинок, ступенем теплової обробки.

Другий тип – **концентрати**, зі вмістом білку 70...75% на суху речовину.

Третій тип – **ізоляти** – найбільш дорогий і стандартний тип білкових продуктів, вміст 90% білка і більше.

Концентрати і ізоляти білку практично повністю використовуються в харчових цілях.

Усі три основні типи харчових білків (чи білкових продуктів) виготовляються у вигляді широкого набору модифікацій, які розрізняються за функціональними властивостями.

Широке застосування в харчовій промисловості отримали білкові продукти з соєвих бобів (знежирене соєве борошно, соєві концентрати, соєве молоко і тому подібне, ізоляти – соєвий сир), що мають високі функціональні властивості.

Для інших рослинних білків ще недостатньо розроблені технології отримання білкових продуктів, придатних в їжу.

### **Контрольні питання**

1. Які функції білків в організмі?
2. Яка потреба людського організму у білку і від чого вона залежить?
3. Які наслідки недостатнього споживання білку?
4. Які наслідки надмірного споживання білку?
5. У чому полягає фізіологічна роль амінокислот в організмі?
6. Яка фізіологічна роль амінокислоти триптофану?

7. Які структурні особливості пептидів?
8. Від чого залежить біологічна цінність білків?
9. Що таке амінокислотний скор і як він розраховується?
10. Що таке ІНАК і як його розраховують? Що таке КЕБ?
11. Назвіть найважливіші функціональні властивості білків.
12. Що таке денатурація білку? Які зміни відбуваються під час денатурації білків?
13. Назвіть основні процеси, що відбуваються в процесі деструкції білків?
14. Які сполуки, що утворюються в процесі термічної обробки продуктів, вважаються сильними мутагенами?
15. Які головні попередники в утворенні ГАА (гетероциклічні ароматичні аміни)?
16. Порівняйте біологічну цінність білкових фракцій злаків.
17. Охарактеризуйте склад і властивості білків клейковини пшениці.
18. Охарактеризуйте інгібітори трипсину, що містяться в насінні сої.
19. Що таке лектини?
20. Охарактеризуйте білки насіння олійних культур.
21. Який вміст білків в овочах і плодах? Назвіть найбільш білковисті овочі.
22. Які інгібітори ферментів знайдені у бульбах картоплі?
23. Охарактеризуйте склад і властивості білків м'яса.
24. Які зміни відбуваються з білками м'яса в ході технологічного процесу?
25. Охарактеризуйте склад і властивості білків молока.
26. Охарактеризуйте склад і властивості білків яєць.
27. Як впливає теплова обробка на білки яєць?
28. Охарактеризуйте склад і властивості білків риби.
29. В чому перевага м'яса риби над м'ясом тварин?
30. Які соєві білкові продукти представлені на сучасному ринку?
31. Що є соєвими білковими концентратами? Соєві білкові ізоляти?
32. Яке призначення текстурованих соєвих білкових продуктів?

## Тема 5. Ліпіди

### План

- 5.1 Визначення ліпідів. Ліпіди в харчових продуктах
- 5.2 Класифікація та характеристика ліпідів
- 5.3 Функції ліпідів в організмі людини
- 5.4 Харчова цінність жирів та норми споживання
- 5.5 Процеси переробки жирів і олій
- 5.6 Біохімічні і фізико-хімічні зміни жирів в процесі переробки та зберігання

### 5.1 Визначення ліпідів. Ліпіди в харчових продуктах

**Ліпіди** (від грец. *lipos* – жир) – жироподібні речовини, що входять до складу всіх живих клітин. Визначення поняття ліпідів є неоднозначним. Інколи до ліпідів відносять будь-які природні речовини, що вилучаються із організмів, тканин або клітин такими неполярними органічними розчинниками, як хлороформ, діетиловий етер або бензол. В деяких випадках під ліпідами розуміють похідні жирних кислот і близькі до них сполуки або як будь-які природні амфифільні речовини (їх молекули містять як гідрофільні, так і гідрофобні групи). Ні одне із цих визначень не є вичерпним.

Тому найбільш прийнятним можна вважати наступне визначення ліпідів:

**Ліпіди** – це група органічних сполук, що хімічним складом є похідними жирних кислот, спиртів, альдегідів, побудованих за допомогою етерного, естерного, фосфороетерного та глікозидного зв'язків, спільними властивостями яких є нерозчинність у воді та здатність розчинятися в органічних розчинниках.

Ліпіди широко розповсюджені в природі. У рослинах ліпіди накопичуються головним чином в насінні і плодах – до 50% і більше, у вегетативних частинах рослин – не більше 5%. Нижче наведений вміст ліпідів (%) в різних культурах.

Соняшник (сім'янка)	30–58	Пшениця (зернівка)	2,7
Бавовник (насіння)	20–29	Жито (зернівка)	2,5
Соя (насіння)	15–25	Кукурудза (зернівка)	5,6
Льон (насіння)	30–48	Рис (зернівка)	2,9
Арахіс (ядро)	50–61	Овес (зернівка)	7,2
Оливки (м'якоть)	28–50	Просо (зернівка)	4,5
Конопля (насіння)	32–38	Гречка	3,8
Тунг (ядро плоду)	48–66	Кавун (насіння)	14–45
Рапс (насіння)	45–48	Какао (боби)	49–57
Гірчиця(насіння)	25–49	Кокосова пальма (копра)	65–72
Горіх лісовий (насіння)	35–59	Кедр (ядро горіху)	26–28

У тварин і риб ліпіди концентруються в підшкірних тканинах і в тканинах, що оточують важливі органи (серце, нирки), а так само в мозковій і нервовій тканинах. Вміст ліпідів в тушці риб (осетрів) може досягати 20...25%, оселедця – 10%, у туш наземних тварин їх вміст сильно коливається:

Риба (осетрові).....	20...25%	Молоко оленя.....	17...18%
Оселедець.....	10%	Молоко кози.....	5,0%
Свинина.....	33%	Молоко корови.....	3,5...4%
Яловичина.....	9,8%	Деякі види мікроорганізмів....	60%
Поросятина.....	3%		

Вміст ліпідів в рослинах залежить від генетичних особливостей, сорту,

місця і умов зростання, у тварин від виду, корму і т. д.

У організмі людини за нормальної ваги жирова тканина складає:

- у чоловіків 10...15%;
- у жінок 15...25% від маси тіла.

Один кілограм жирової тканини містить приблизно 800 г жиру, решта – вода, білок й інші речовини.

У людей, що страждають на ожиріння, жирова тканина складає 50% і є більшою від маси тіла.

## 5.2 Класифікація ліпідів

Класифікацію ліпідів можна представити у вигляді схеми, наведеної на рисунку 5.1.

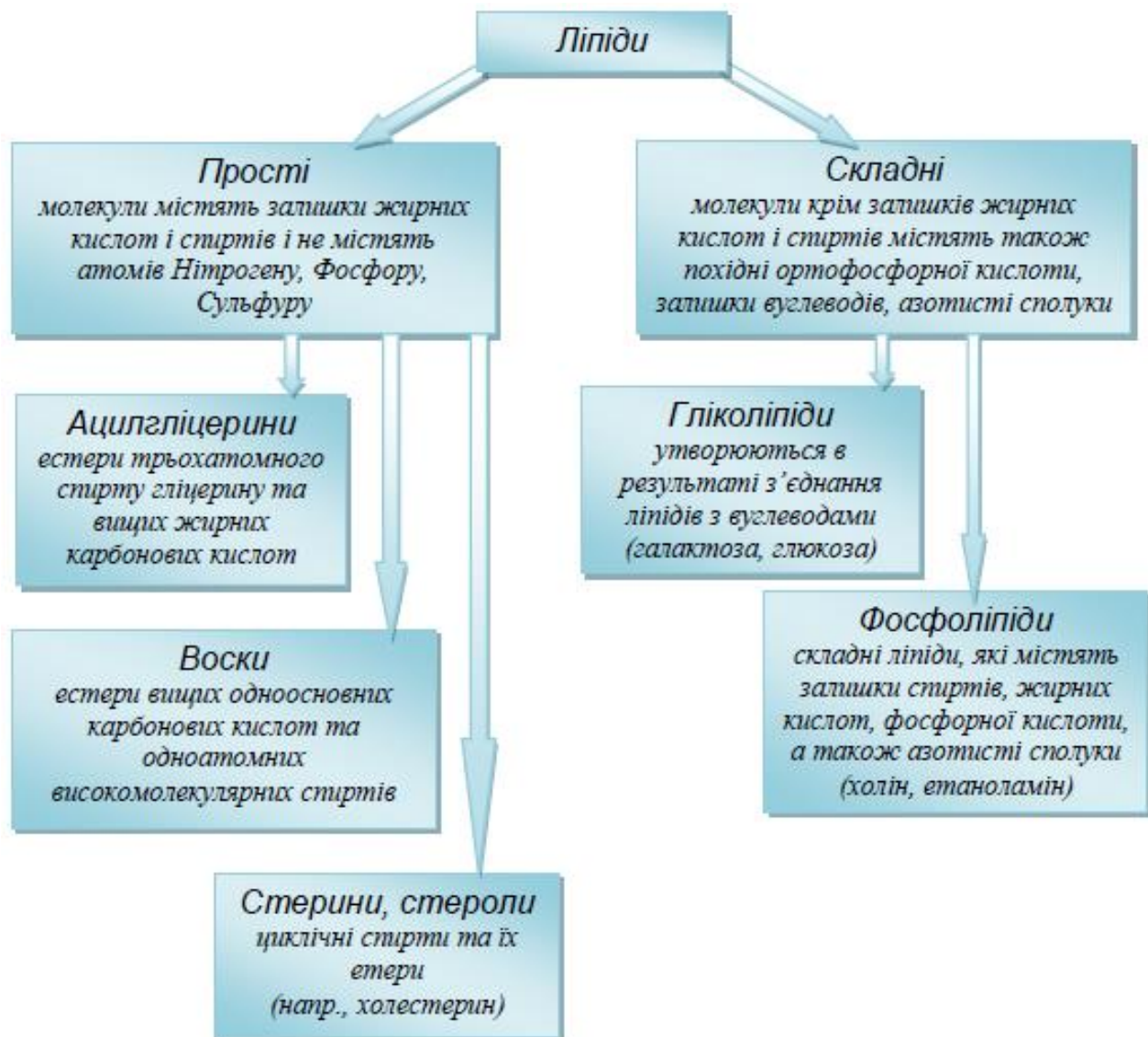


Рисунок 5.1 – Класифікація ліпідів

До простих ліпідів відносяться сполуки ліпіди, що не містять атомів Нітрогену, Сульфуру, Фосфору. Найбільш важливою і поширеною групою простих нейтральних ліпідів є група ацилгліцеринів. Серед гліцеридів (або

ацилгліцеринів) розрізняють моно-, ди-, тригліцериди. Моно- і дігліцериди у природі трапляються досить рідко.

### АЦИЛГЛІЦЕРИНИ

*Ацилгліцерини (або гліцериди) – це естери гліцерину і вищих карбонових кислот.* Вони складають основну масу ліпідів (іноді до 95%) і, по суті, саме їх називають жирами або оліями. Тріацилгліцерини (ТАГ) або тригліцериди, молекули яких містять однакові залишки жирних кислот, називаються *простими*, а ті, які містять різні залишки – *змішаними*. Природні жири і олії містять, головним чином, змішані ТАГ.

Харчові жири відносяться до класу ліпідів, що є групою сполук тваринного, рослинного або мікробного походження. Вони є практично нерозчинними у воді і добре розчинними в неполярних органічних розчинниках. Жири, що добуваються з рослинної сировини, називають рослинними жирними оліями, а жири наземних тварин – тваринними жирами. Особливу групу складають жири морських ссавців і риб.

Чисті ацилгліцерини – безбарвні речовини без смаку і запаху. Забарвлення, запах і смак природних жирів визначаються наявністю в них специфічних домішок, характерних для кожного виду жиру. Температури плавлення і застигання ацилгліцеринів не співпадають, що зумовлюється наявністю декількох кристалічних модифікацій.

До складу молекули тригліцеридів харчових жирів входять: гліцерин (близько 10%) і жирні кислоти з різною довжиною вуглецевого ланцюга та різним ступенем насиченості атомів вуглецю (насичені й ненасичені жирні кислоти). Жирні кислоти, які входять до складу ліпідів, містять, переважно, парну кількість атомів карбону, найчастіше – 16 або 18 (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Основні карбонові кислоти, що входять до складу природних олій і жирів

Кислота	Формула	Символ*
Насичені кислоти		
Лауринова	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COOH}$	$\text{C}_{12}^0$
Міристинова	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{COOH}$	$\text{C}_{14}^0$
Пальмітинова	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$	$\text{C}_{16}^0$
Стеаринова	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$	$\text{C}_{18}^0$
Ненасичені кислоти		
Олеїнова	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	$\text{C}_{18}^1$ -9-цис
Ерукова	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{COOH}$	$\text{C}_{22}^1$ -13-цис
Лінолева	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	$\text{C}_{18}^2$ -9-цис
Ліноленова	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH})_3-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	$\text{C}_{18}^3$ -9-цис, 12-цис, 15-цис
Арахідонова	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-(\text{CH}=\text{CH})_4-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH}$	$\text{C}_{20}^4$ -5-цис, 8-цис
Оксикислоти		
Рициноленова	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	$\text{C}_{18}^1$ -9-цис, 12-ол

\*Примітка. У символ входять число атомів вуглецю і кількість подвійних зв'язків між вуглецевими атомами в молекулі кислоти, номер першого ненасиченого атома вуглецю і конфігурація.

Жирні кислоти, в основному, і визначають властивості жиру. Чим більше в жирах поліненасичених жирних кислот, тим вони є більш біологічно активними. Найпоширенішими жирними кислотами є пальмітинова, олеїнова, лінолева.

Кожний вид жиру має тригліцериди, до складу яких входить певний набір жирних кислот. Тому різні види олій, тваринних топлених жирів мають постійні, притаманні тільки їм фізико-хімічні (температура топлення, твердість, здатність до окиснення), органолептичні показники (смак, запах, консистенція), біологічну цінність та засвоюваність. Тобто жирокислотний склад тригліцеридів вирішальним чином впливає на властивості жирів.

Так, до складу ацилгліцеринів тваринних жирів (яловичий, баранячий, свинячий, курячий, молочний) входять в основному жирні кислоти, що містять 16...18 вуглецевих атомів (пальмітинова, стеаринова, олеїнова, лінолева, ліноленова). У меншій кількості у складі ацилгліцеринів представлені жирні кислоти, що містять від 2 до 14 або від 20 до 22 вуглецевих атомів. Ці одноосновні кислоти можуть бути насиченими і ненасиченими. У тваринних жирах міститься більше насичених кислот, в рослинних (ненасичених (олеїнової С 18:1, лінолевої С 18:2, ліноленової С 18:3, арахідонової С 20:4). Важливе біологічне значення мають ненасичені жирні кислоти з 18 вуглецевими атомами.

**Насичені жирні кислоти** містяться в коров'ячому маслі (*масляна, капронова*), тваринному жирі (*пальмітинова, стеаринова, міристинова*), риб'ячому жирі і земляних горіхах (*арахінова*), рапсовій олії (*бегенова*).

Насичені жирні кислоти використовуються в основному як енергетичний матеріал. Вони є твердими за консистенцією за температури 18°C, мають високу температуру плавлення (44...75°C). Насичені жирні кислоти в найбільших кількостях містяться в тваринних жирах, що визначає високу температуру плавлення цих жирів і їх твердий стан. Вони містяться в м'ясі тварин і субпродуктах.

Високий вміст тваринних жирів в раціоні є небажаним, оскільки за надлишку насичених жирних кислот порушується обмін ліпідів, підвищується рівень холестерину в крові, збільшується ризик розвитку атеросклерозу, ожиріння, жовчнокам'яної хвороби.

**Ненасичені жирні кислоти** мають різний ступінь *ненасиченості* (кількість подвійних зв'язків між атомами вуглецю) і відповідно поділяються на *мононенасичені* (містять один ненасичений зв'язок, наприклад, олеїнова) і *поліненасичені* (декілька подвійних зв'язків), їх класифікація наведена на рисунку 5.2. Лінолева кислота має два ненасичені зв'язки, ліноленова – три, арахідонова – чотири. Кожна з перелічених кислот має різну здатність приєднувати кисень (окиснюватись).

Ненасичені жирні кислоти мають низьку температуру плавлення й є рідкими за консистенцією, легше засвоюються організмом людини, ніж насичені жирні кислоти.



Радикали ненасичених жирних кислот є хімічно активними. За місцем кратних зв'язків вони вступають в реакції приєднання, окиснення, полімеризації. Тому їх можна якісно виявити за допомогою бромної води (реакція приєднання), знебарвлення розчину перманганату калію (реакція окиснення).



Рисунок 5.2 – Класифікація ненасичених жирних кислот

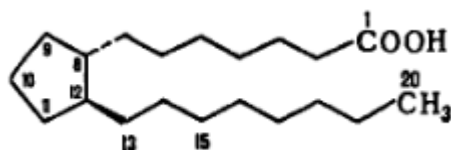
Прості ненасичені жирні кислоти містяться в риб'ячому жирі (*ерукова, гадолеїнова*), олії, жирі, горіхах (*олеїнова*), а також в молочному жирі (*пальмітолеїнова*). Поліненасичені жирні кислоти містяться в олії насіння, риб'ячому жирі (*лінолева, ліноленова, арахідонова, клупонодонова*). Поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК): *лінолева, ліноленова* – відносяться до незамінних форм харчування, оскільки в організмі вони не синтезуються і тому повинні надходити з їжею. Ці кислоти за своїми біологічними властивостями відносяться до життєво необхідних речовин і називаються "Вітамін F".

*Лінолева кислота* перетворюється в організмі в арахідонову, а *ліноленова* – ейкозапентаєнову. Недостатнє надходження з їжею лінолевої кислоти викликає в організмі порушення біосинтезу арахідонової кислоти.

*Арахідонова кислота* передуює утворенню речовин, що беруть участь в регуляції багатьох процесів життєдіяльності тромбоцитів й інших елементів, але особливо простагландинів<sup>6</sup>, які мають велике значення як речовини найвищої біологічної активності.

ПНЖК, що утворюються з *ліноленової* кислоти (*ейкозапентаєнова* і *докозагексаєнова*), також постійно присутні в мембранних ліпідах, але в значно

<sup>6</sup> Простагландини – біологічно активні ліпіди, похідні гіпотетичної простанової кислоти і відрізняються положенням замісників і подвійних зв'язків в циклопентановому кільці і бічних ланцюгах:



Простагландини мають гормоноподібну дію, у зв'язку з чим дістали назву "гормонів тканин", так як вони синтезуються безпосередньо з фосfolіпідів мембран. Синтез простагландинів залежить від забезпеченості організму цими кислотами.

менших кількостях, ніж арахідонова кислота. ПНЖК беруть участь в утворенні ліпідів, разом з якими входять до складу клітинних мембран. Впливають на структуру шкіри і волосся, знижують артеріальний тиск, сприяють профілактиці артриту, знижують рівень холестерину і тригліцеридів, зменшують ризик тромбоутворення; справляють позитивну дію у випадку захворювань серцево-судинної системи, кандидозі, екземі, псоріазі; є необхідними для нормального розвитку і функціонування мозку.

Встановлений зв'язок ненасичених жирних кислот з обміном холестерину. Вони сприяють швидкому перетворенню холестерину у фолієві кислоти і виведенню їх з організму, справляють нормалізуючу дію на стінки кровоносних судин, підвищують їх еластичність і знижують проникність. Виявлена залежність зв'язку ненасичених жирних кислот і обміну вітамінів групи В. За їх дефіциту знижується інтенсивність росту і стійкість до несприятливих зовнішніх і внутрішніх факторів, пригнічується репродуктивна функція, нестача ненасичених жирних кислот негативно впливає на скорочувальну здатність міокарду, викликає ураження шкіри, сприяє розвитку атеросклерозу. Вживання ПНЖК стимулює систему імунологічного захисту організму, благотворно впливає на зовнішній вигляд шкірних покривів, сприяє швидшому лікуванню запальних захворювань шлунку, виразкової хвороби шлунку і дванадцятипалої кишки, сприяє оздоровленню і поліпшенню функції капілярів. ПНЖК є ефективними у лікуванні цукрового діабету і бронхіальної астми. Особливо багато ПНЖК в рослинних оліях.

За біохімічною класифікацією ліолева кислота і продукти її перетворення об'єднуються в родину  $\omega$ -6- (за положенням першого подвійного зв'язку в молекулі жирної кислоти, рахуючи від метильного (першого в ланцюзі) атома вуглецю).

Продукти перетворення іншої незамінної жирної кислоти – ліолевої – відрізняються від представників жирних кислот родини  $\omega$ -6 тим, що у них перший подвійний зв'язок від метильного атома вуглецю займає положення 3. Тому ліолева кислота та її продукти перетворення утворюють родину  $\omega$ -3. Жирні кислоти однієї родини в живих організмах не перетворюються в іншу.

На підставі сучасних уявлень про фізіологічну роль ПНЖК різних родин виник самостійний напрям в сучасній дієтології, практичним наслідком якого стало визнання необхідності нормування і забезпечення постійного надходження з їжею ПНЖК родини  $\omega$ -3. Вважається необхідним забезпечення енергоцінності раціону за рахунок ліолевої кислоти від 0,2 до 0,8%, тоді як ліолева кислота (родина  $\omega$ -6) повинна складати 4...8% енергоцінності. Отже, потреба в ліолевій кислоті оцінюється в 1/8...1/10 потреб в ліолевій. Встановлено, що з усіх видів рослинних олій тільки соєва має співвідношення цих двох кислот, близьке до рекомендованого.

Ліпіди морських риб і безхребетних містять головним чином дві кислоти родини  $\omega$ -3: ейкозапентаєнову і докозагексаєнову. Такий тип ліпідів дістав назву "морського". Застосування ПНЖК родини  $\omega$ -3 в клініці є ефективним методом профілактики атеросклерозу і ішемічної хвороби серця (ІХС). У

хворих, що перенесли інфаркт міокарду, збільшення вмісту в їжі ліноленої жирної кислоти у вигляді виготовленого з риб'ячого жиру маргарину впродовж 5 років знизило смертність від ІХС на 50%.

Багато ненасичених жирних кислот міститься в риб'ячому жирі, у свіжій рибі, у волоських горіхах, насінні гарбуза, оливках, в льняній, рапсовій олії, примулі вечірній, мигдалі.

Вміст арахідонової кислоти в харчових продуктах незначний і складає, %: в мозку – 0,5; яйцях – 0,1; свинячій печінці – 0,3; серце – 0,2. Організми морських тварин, особливо риб, таких як атерина каспійська, тріска, сайра, біломорський і атлантичний оселедець, палтус, антарктичний планктонний рачок, голом'янка велика, різні види акул, характеризуються високим вмістом поліненасичених жирних кислот ліпідної фракції. В морських організмах є ліпідні фракції з дуже високими кількостями ПНЖК з 5-ма і 6-ма подвійними зв'язками. Вміст докозагексаєнової кислоти в жирі акули досягає 30%. Загалом, в ліпідах морських організмів вміст вищих поліненасичених жирних кислот з 4 зв'язками досягає 10%, з 5 – 30% і з 6 – 40%.

Чим більше в жирах ненасичених кислот, особливо з 3, 4, 5 подвійними зв'язками, тим жир швидше окиснюється, тобто гіркне, осалюється. Тому під час зберігання жирів потрібно стежити, щоб вони не контактували з повітрям, залізом, міддю, цинком. Також необхідно дотримуватись встановлених нормативно-технічною документацією температурних режимів та термінів зберігання жирів.

Олії в порівнянні з тваринними плавленими жирами вважаються біологічно ціннішими, оскільки в них більший вміст ненасичених жирних кислот, у т.ч. незамінних поліненасичених. Але незважаючи на безперечну користь жирів для організму, існує небезпека його перевантаження жиромісними продуктами харчування, оскільки надлишок у харчуванні поліненасичених кислот призводить до виникнення захворювань нирок і печінки. Надлишок у харчуванні насичених кислот призводить до порушення обміну жирів, збільшення рівня холестерину в крові, жовчнокам'яної хвороби, ожиріння.

Оптимальною в біологічному плані формулою збалансованості насичених і ненасичених жирних кислот (молекула ідеального жиру), є співвідношення 30%:70%. До жирів, які за жирнокислотним складом є наближеними до ідеальної формули, належать оливкова, арахісова олія, свинячий топлений жир.

#### РЕЧОВИНИ, СУПУТНІ ГЛІЦЕРИДАМ

*Ліпоїдні речовини у складі жирів.* Кількість і вміст речовин, супутніх гліцеридам (ліпоїдних речовин) є непостійними і залежать від якості жирової сировини, технології отримання та ступеню рафінації жирів.

У рослинних оліях на частку ліпоїдних речовин припадає 3...4% маси, в тваринних – у декілька разів менше. Виняток – жири морських тварин та риб, в яких вміст ліпоїдних речовин сягає десятків відсотків. До речовин, супутніх гліцеридам, належать фосфоліпіди, стерини, вільні жирні кислоти, барвникові речовини, вітаміни, воски.

*Вільні жирні кислоти* в ідеалі не повинні міститись у жирах. Їх наявність свідчить про те, що виготовлення тваринних жирів та їх зберігання відбувалися з порушенням технологічних режимів. Показник, який кількісно характеризує наявність в жирах вільних жирних кислот – кислотне число. Воно нормується стандартами на всі види жирів і від нього залежать сорти тваринних топлених жирів.

*Барвникові речовини* містяться здебільшого у рослинних жирах, тваринні жири їх майже не містять. Ці речовини легко руйнуються, окиснюючись під дією світла. Найбільш відомі барвникові речовини – це каротиноїди, хлорофіл, госіпол.

*Вітаміни жирів* представлені групою жиророзчинних вітамінів А, Д, Е, К.

### ФОСФОЛІПІДИ

Найважливішими представниками складних ліпідів є фосфоліпідів. Молекули фосфоліпідів побудовані із залишків спиртів (гліцерину, сфіногозину), жирних кислот, фосфорної кислоти ( $H_3PO_4$ ), а також містять азотисту основу (найчастіше холін  $(HO-CH_2-CH_2-(CH_3)_3N^+OH)$  або етаноламін  $(HO-CH_2-CH_2-NH_2)$ ), залишки амінокислот і деяких інших сполук.

Фосфоліпідів є основним компонентом біомембран клітинних структур, вони відіграють істотну роль в проникності клітинних оболонок і внутрішньоклітинному обміні. Найбільш важливими з фосфоліпідів є фосфатидилхолін, або лецитин, проявляє ліпотропну дію, перешкоджаючи ожирінню печінки і кращому засвоєнню жирів.

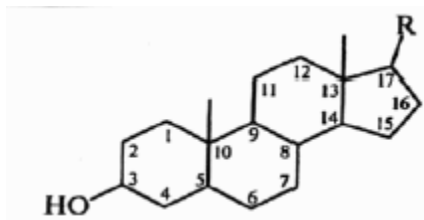
Нестача фосфатидів в раціоні призводить до накопичення жиру в печінці, до її ожиріння, а потім і до цирозу. Добова потреба у фосфатидів здорової дорослої людини становить 5...10 г.

Лецитин зустрічається в усіх тканинах рослинного і тваринного походження в насінні олійних рослин його кількість може досягати 1...1,5%, в деяких тканинах тваринного організму – 6...10%. Лецитином багаті ячні жовтки, ікра, мозок, печінка. Джерелом лецитину є, також нерафіновані рослинні олії, у тому числі і жири обліпих, а також молочні. У жирах вершків і сметани лецитину більше, ніж у вершковому маслі. У яловичому, свинячому, баранячому жирах лецитину майже немає. Джерелом фосфатидів також можуть служити бобові (соя, горох), насіння соняшнику, горіхи, особливо кедрові.

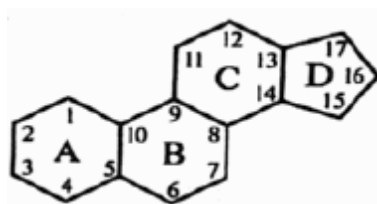
Під час оцінки харчових жирів найвище цінуються жири, що містять лецитин. Для промислових цілей лецитин і кефалін (фосфатидилетаноламіни) отримують з соєвих бобів. Вони використовуються у виробництві шоколаду, маргарину і як антиоксиданти в жирах.

## СТЕАРИН

*Стерини* – це аліциклічні речовини, що входять до групи стероїдів, і є одноатомними високомолекулярними спиртами (стероли) або їх естерами (стериди), містяться в тканинах рослин і тварин:



Стерини мають у своїй основі структуру циклопентанпергідрофенантрону (ЦППФ):



В молекулі стеринів в положення 3 знаходиться гідроксильна група, і в положенні 17 – розгалужений вуглеводневий радикал. Стерини є нерозчинними у воді, але добре розчинними у жирах.

За походженням розрізняють:

- зоостерини – стерини тваринного походження (холестерин);
- фітостерини – стерини рослинного походження (ситостерин, стигмастерин);
- мікостерини – стерини грибного походження.

Стерини мають кристалічну будову, форма кристалів зоостеринів й фітостеринів різняться, що дозволяє ідентифікувати природу жиру (встановити його походження).

Вміст стеринів в різних культурах є незначним, так в бавовниковій олії – 1,6% від маси олії; соєвій – 0,35%, рапсовій – 0,30; льняній – 0,40; арахісовій – 0,25.

Стерини та їх похідні, незважаючи на їх невисокий вміст відіграють важливу роль в житті живих організмів: у вигляді складних комплексних сполук з білками вони входять до складу протоплазми і мембран, регулюють обмін речовин в клітині.

З тваринних стеринів важливе значення має холестерин. Він є нормальним структурним компонентом усіх клітин і тканин. У ссавців він служить попередником ряду найважливіших активних речовин: гормонів, деяких вітамінів (вітаміну Д, частина якого утворюється під впливом ультрафіолетових променів з того ж холестерину), жовчних кислот. Холестерин є попередником гормонів, що відносяться до групи стероїдних гормонів, у тому числі жіночих статевих гормонів прогестерону, естрадіолу і чоловічого статевих гормону тестостерону.

Вміст холестерину в продуктах харчування наведений в таблиці 5.2.

Нормальний вміст холестерину в крові становить 1,9...2,1 г/л. Підвищення його рівня до 2,6 г/л є дуже небезпечним – у людини виникає і розвивається атеросклероз, ускладненими наслідками якого є інфаркти, інсульти.

Нестача холестерину в крові (менше 1,5 г/л) викликає ураження наднирників, розростання щитовидної залози. Явна нестача холестерину виявляється у випадку цирозу, інфекційному гепатиті та інших захворюваннях печінки. Близько 80% холестерину утворюється в організмі у печінці та інших органах з насичених жирних кислот. Решта 20% надходить з їжею. Але відповідними дослідженнями встановлено чіткий зв'язок – чим більше холестерину надходить з їжею, тим меншу його кількість синтезує печінка й навпаки.

Таблиця 5.2 – Вміст холестерину в продуктах

Продукт	Вміст, мг/100 г	Продукт	Вміст, мг/100 г
Мозок	2300	Масло вершкове	240
Ячний жовток	1480	М'ясо тварин і свійської птиці	70
Цілісне яйце	515		
Нирки	375	Риба	55
Ікра зерниста	більше 300	Сир	90
Печінка	300	Сир жирний	75

Склад харчових жирів, що входять до раціону людини може помітно впливати на рівень холестерину в організмі. Якщо в раціоні багато рослинних жирів (олій), то вміст холестерину знижується, якщо споживаються значною мірою тваринні жири, то концентрація холестерину в крові підвищується.

Чистий холестерин – перлинчасті пластинки, жирні на дотик. Він нерозчинний у воді, малорозчинний в органічних розчинниках. Температура плавлення холестерину становить 149°C.

В процесі варіння м'яса і риби втрачається до 20% холестерину. Звичайний добовий раціон – 500 мг холестерину. Відомо, що його високий рівень в крові є чинником ризику виникнення атеросклерозу, тому у випадках відповідних захворювань рекомендується обмежити споживання харчових продуктів з високим вмістом холестерину. У країнах, де споживають найменшу кількість тваринних жирів (більшість країн Африки, Індія, Японія), вміст холестерину в крові жителів є набагато нижчим, ніж в США, Англії, Фінляндії. Відомо, що зменшення вмісту холестерину в крові на 1% призводить до зменшення ризику розвитку серцево-судинних захворювань на 2%. Холестерин потрібний для синтезу вітаміну D, жовчних кислот, гормонів статевих залоз і кори надниркових залоз, а також регуляції проникності мембран клітин.

З фітостеринів, рослинних продуктів харчування, що містяться в жирі, найбільш активним вважається  $\beta$ -ситостерин. Він є антагоністом холестерину, затримує його всмоктування в кишечник.  $\beta$ -Ситостерин у великих кількостях міститься в рослинних оліях, особливо його багато в соєвій олії.  $\beta$ -Ситостерин

зустрічається і в м'якуші плодів грейпфрута (як в незв'язаній формі, так і у вигляді глюкозиду), в насінні грейпфрута він є присутнім лише у вільній формі. Він служить перешкодою для абсорбції холестерину, тим самим запобігає підвищенню рівня холестерину в крові. Споживання в їжу продуктів, що містять фітостерин, знижує рівень холестерину в крові.

### ВОСКИ

*Воски* – це складні ефіри високомолекулярних карбонових кислот та одноосновних високомолекулярних спиртів (цетиловий, міристиловий, карнаубіловий і т.д.). За природою всі воски є хімічно інертними. Розрізняють рослинні та тваринні, тверді та м'які воски. Рослинний віск є складною сумішшю органічних сполу з великою масою, він вкриває листя та стебла рослин, зменшуючи випаровування води. Прикладом рослинного воску є карнаубський віск із восконосної пальми карнауби.

*Воски* тваринного походження:

– бджолиний;

– овечий: виділяється на шкіру та вовну овець і складає 5...10% від маси вовни, його видаляють розчинниками й отримують технічний *ланолін*, а *очищений* використовують як сировину для медичних і косметичних мазей, кремів тощо;

– жир кашалотів (*спермацетовий жир*) на 75% складається з воскоподібної речовини, з нього вилучають віск спермацет, який також є основою для виготовлення окремих видів медичних і косметичних мазей, кремів, а також мила.

Крім восків тваринного і рослинного походження виділяють віск викопного походження (озокерит), який не має жодного відношення до харчової промисловості.

### ХАРЧОВІ ЖИРИ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА

Харчовими жирами називають групу харчових продуктів – рослинні олії, тваринні топлєні жири, маргарин, вершкове масло, жири для кулінарії, кондитерської та хлібопекарної промисловості.

Жири класифікують за походженням та консистенцією за 18°C.

За походженням: рослинні; тваринні; комбіновані.

За консистенцією:

– тваринні жири поділяють на рідкі – жири морських тварин та риб; тверді – вершкове масло, баранячий, яловичий, свинячий жири та жир сільськогосподарської птиці;

– рослинні жири поділяють на рідкі – соняшникова, оливкова, льняна, кукурудзяна олії; тверді – какао-масло, кокосова олія, пальмоядра та пальмова олії (отримують з ядер плодів африканської та американської олійних пальм, відповідно, пресуванням та екстракцією);

– комбіновані жири поділяють на тверді – маргарин, кулінарні та кондитерські жири, рослинне сало; рідкі – хлібопекарний жир.

В залежності від призначення і використання перевагу надають або рідким, або твердим жирам. Тверді за кімнатної температури жири є більш

цінної сировиною у харчових виробництвах.

Тваринні жири поділяють на дві групи: жири наземних тварин та жири морських тварин і риб.

До складу жирів наземних тварин входять тригліцериди насичених жирних кислот (40...60% від загального вмісту жирних кислот), ненасичених кислот, а також (найчастіше) поліненасичена олеїнова кислота.

Жиринокислотний склад жирів морських тварин і риб є іншим – у ньому цілком переважають поліненасичені жирні кислоти (до 70...80%), які є важливими біологічно-активними речовинами.

### **Тваринні топлені жири**

До групи "жирів тваринних топлених" належать жири наземних тварин. Найбільш широко використовують яловичий, свинячий, баранячий жири.

Сировиною для виробництва тваринних топлених жирів є жирова тканина (жир-сирець) та кістки великої рогатої худоби, свиней, овець, сільськогосподарської птиці. Якість жиру-сирцю залежить від вгодованості та віку тварини. Вихід жиру-сирцю коливається у межах 0,4-7% живої маси тварини.

Жир-сирець поділяють на дві групи:

– I група – підшкірний, навколонишковий, навколосерцевий, обрізки свіжого сала тощо (з цієї групи витоплюється більше жиру в/с);

– II група – жир шлунку, кишковий, жирові обрізки тощо.

Витоплення здійснюється на спеціальному обладнанні мокрим і сухим способами. *Мокрий спосіб* – сировина постійно контактує з водою або паром, внаслідок чого утворюються жир топлений, бульйон, шквара. Під час *сухого способу витоплювання* сировина контактує з нагрітою поверхнею апарату, внаслідок чого утворюються жир і шквара. Для одержання жиру з кісток, сировину сортують, промивають, подрібнюють і витоплюють з неї жир під впливом пари, тиску, струму високої частоти і т.п.

Одержані тваринні топлені жири відокремлюють від шквари, бульйону, вільних жирних кислот та ін. домішок відстоюванням, фільтруванням, сепаруванням, нейтралізацією. Деколи для збереження харчової цінності жирів і підвищення стійкості до зберігання, їх обробляють антиокислювачами.

На якість готового жиру впливає температура його витоплювання. Так, жири вищого сорту отримують за температури 65...70°C. Друга фаза витоплювання за температури 75...95°C дає жир I сорту. Залишковий жир зі шквари витоплюють в автоклавах за температури майже 120°C та тиску 0,20-0,22 МПа. Так отримують жири низької якості: збірний або технічний.

За біологічною цінністю тваринні топлені жири поступаються оліям. Це зумовлено меншим вмістом: поліненасичених жирних кислот; вітаміну Е; вітаміну А; відсутністю фосфоліпідів (лецитин); меншою засвоюваністю (73...65%, проти 95...98%-ної засвоюваності олій).

Серед тваринних топлених жирів найвищу біологічну цінність має свинячий жир, оскільки він містить більше незамінної лінолевої кислоти, вітаміну Е, має найнижчу температуру топлення й засвоюється на 96%.



Свинячий жир – єдиний з усіх тваринних жирів є наближеним до "ідеальної формули жирів", збалансованість жирнокислотного складу у якій складає 70%:30% ненасичених та насичених кислот, відповідно. Найгірше засвоюється яловичий (84%) та баранячий (73%) жири. Температура плавлення яловичого жиру – 40...51°C, баранячого – 44...45°C.

### **Маргарин**

Маргарин (франц. – "перлина") – спеціально виготовлений харчовий жир, подібний до вершкового масла за смаком, кольором, ароматом, консистенцією, структурою. Маргарин є високодисперсною емульсією жиру у водній фазі. Вміст жиру у маргарині сягає 82%, вологи – не більше 17%, вуглеводів – 1%, білка – 0,3%, засвоюваність 94...97%.

Маргарин широко використовують у хлібопекарському та кондитерському виробництві, а також безпосередньо в їжу як замітник вершкового масла. В маргарині жирокислотний склад і природні біологічно-активні речовини моделюються: маргарин збалансовують за жирно-кислотним складом, збагачують біологічно-активними речовинами, вітамінами А, Е, К, - каротином, фосфоліпідами.

Основною складовою частиною маргарину є саломас, отриманий в результаті гідрогенізації олії або переетерифікації жирів. Крім саломасу до рецептури маргарину входять: рідкі рослинні олії (соняшникова, кукурудзяна, соєва); переетерифіковані жири; тваринні жири (яловичий, свинячий, вершкове масло); молочні продукти (у т.ч. сухі, кисломолочні); сіль, цукор, лимонна кислота; барвники (найчастіше –  $\beta$ -каротин); емульгатори, ароматизатори.

В залежності від використання маргарини поділяють на такі групи: бутербродні брускові; бутербродні м'які поліпшеної якості; столові; для промислової переробки та громадського харчування.

Маргарини для промислової переробки у роздрібно-торгівельну мережу не надходять, до них належать: маргарин для хлібопекарської промисловості; маргарин для кондитерської промисловості (кондитерський вершковий); маргарин кондитерський для листового тіста; маргарин безмолочний вищого та І-го сортів.

Серед фізико-хімічних показників якості маргаринів, які нормуються є наступні: масові частки жиру (60...82%), кухонної солі (0,2...0,7%), вологи та летких речовин (17...40%), кислотність (1,5...2,5), температуру топлення (27...35°C). Обмежують кількість консервантів (бензойної кислоти – 0,1%; аскорбінової кислоти – 0,06%), важких металів та контролюють мікробіологічні показники (коліформи БГКП, сальмонели, дріжджі, плісняві гриби тощо).

### **Жири кондитерські, хлібопекарські, кулінарні**

Жири цієї групи – це безводна (без водно-молочної фази) суміш саломасу з рафінованими оліями, тваринними топленими, переетерифікованими жирами.

В залежності від призначення ці жири можуть містити такі добавки, як фосфатидний концентрат, барвники, ароматизатори, антиоксиданти, вітаміни.

Жири даної групи отримують так само як і маргарин, але без ретельного

емульгування – тому, що продукція являє собою, в основному, жирові суміші.

*Кулінарні жири*, на відміну від маргарину, містять менше води (до 0,3%), більше жирів (99,7%), менше біологічно-активних речовин (вітамінів, ненасичених жирних кислот). Температура плавлення цих жирів перебуває у межах 26...36°C, засвоюваність – 96,5%. Використовують їх для смаження продуктів основним способом і у фритюрі.

*Кондитерські жири*:

– жир твердий кондитерський – переетерифікований жир з високою температурою плавлення – до 45°C; цей жир використовують для виготовлення жирової глазури;

– жир кондитерський для вафельних і прохолоджувальних начинок – містить 20...40% кокосової або пальмової олії і саломасу малої твердості; має пластичну консистенцію;

– жир кондитерський для цукерок і харчових концентратів з температурою плавлення 35...37°C; має тверду консистенцію.

*Жир рідкий для хлібопекарської промисловості* – виготовляють з суміші олії і саломасу (87:13%) або тільки з переетерифікованого рослинного жиру.

Фізико-хімічні показники кондитерських жирів, що нормуються: масові частки жиру (не менше 99,7%), води та летких речовин (не більше 0,3%), кислотне число (0,4...0,8%), температура топлення (26...36°C). Нормується також вміст антиоксидантів (якщо вони додаються) та пестицидів.

### 5.3 Функції ліпідів в організмі людини

Ліпіди в організмі людини виконують різноманітні функції які представлені на схемі рисунку 5.3.



Рисунок 5.3 – Основні функції ліпідів в людському організмі

До основних функцій ліпідів відносяться:

– *енергетична*: жири є основним джерелом енергії; в результаті згорання 1 г тригліцеридів (головного компонента ліпідів) виділяється 38,9 кДж (9,0 ккал), що в 2 рази більше, ніж у випадку згорання білків або вуглеводів;

енергетичні витрати людини забезпечуються за рахунок жирів приблизно на 33%;

– **структурна**: жири, що входять до складу клітинних мембран – так звані, структурні жири, беруть участь у пластичних процесах організму – будові та оновленні всіх його тканин;

– **резервна**: резервні жири, що відкладаються у спеціальних жирових клітинах є "запасним джерелом енергії" й використовуються організмом за нестачі їжі або під час захворювань;

– **транспортна**: ліпопротеїни – сполуки ліпідів з білками – виконують транспортну функцію – переносять жиророзчинні вітаміни А, D, Е і К в організмі;

– **синтезуюча**: жири є постачальниками біологічно-активних речовин: незамінних поліненасичених кислот, різних форм вітаміну А (рїбофлавіну), вітаміну Д (кальціферолу), вітаміну Е (токоферолу), фосфолїпїдів, стеринів; Ліпїди є джерелом синтезу стероїдних гормонів, які багато в чому забезпечують пристосування організму до різних стресових ситуацій;

– **терморегуляторна**: підшкірна жирова тканина оберігає організм людини від надмірної тепловіддачі (терморегуляторна функція); жири внутрішніх органів є своєрідними амортизаторами для них, сприяють закрїпленню в певному положенні таких внутрішніх органів, як нирки, кишечник, і оберігають їх від зміщення під час струсів.

Крім того, складові жирів сприяють виділенню жовчі, накопиченню білків в організмі;

#### **5.4 Харчова цінність жирів та норми споживання**

В організм людини з продуктами харчування жири надходять, так званими, "*видимими*" (олія, вершкове масло, сало тощо) та "*прихованими*" (риба, м'ясо, молоко, яйця). Доросла людина повинна споживати приблизно 32 кг жиру на рік, половина якого має припадати на "видимий".

Рослинні жири і олії є обов'язковим компонентом їжі, джерелом енергетичного і пластичного матеріалу, постачальником необхідних для нього речовин, тобто вони є незамінними факторами харчування, що визначають його біологічну цінність. Рекомендований вміст жиру в раціоні людини (за калорійністю) складає 30...33%; для населення південних зон – 27..28%, північних – 38...40% або 90...107 г на добу, в тому числі безпосередньо у вигляді жирів 45...50 г.

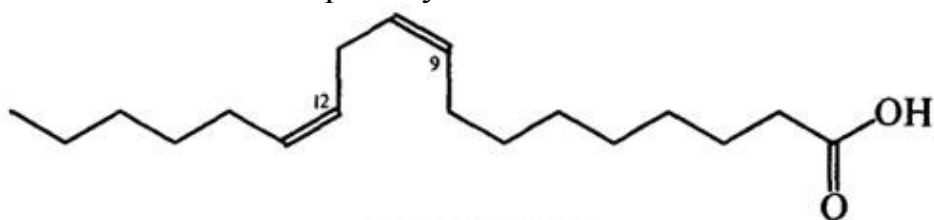
У складі харчових продуктів розрізняють видимі жири (рослинні олії, тваринні жири, вершкове масло, маргарин, кулінарні жири) і невидимі жири (жир в м'ясі і м'ясопродуктах, рибі, молоці і молочних продуктах, крупі, хлібобулочних і кондитерських виробках). Це, звичайно, є умовним поділом, але він широко застосовується в нутріціології.

Найбільш важливими джерелами жирів в харчуванні є: рослинні олії (в рафінованих оліях 99,7...99,8% жиру), вершкове масло (61,5...82,5% ліпідів), маргарин (до 82,0% жиру), комбіновані жири (50...72% жиру), кулінарні жири (99% жиру), молочні продукти (3,5...30% жиру), деякі види кондитерських

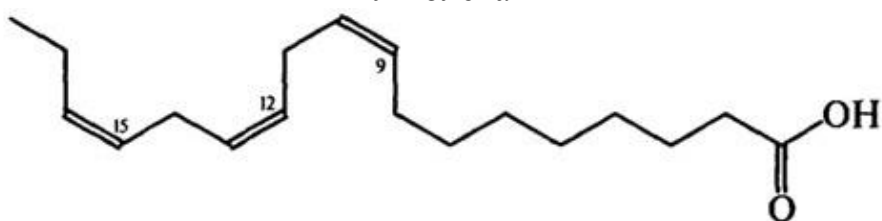
виробів – шоколад (35...40%), окремі сорти цукерок (до 35%), печиво (10...11%); крупи – гречана (3,3%), вівсяна (6,1%); сири (25...50%), продукти із свинини, ковбасні вироби (10...23% жирів). Частина цих продуктів є джерелом рослинних олій, інші – тваринних жирів.

В харчуванні людини має значення не тільки кількість але й хімічних склад вживаних жирів, особливо вміст поліненасичених жирних кислот з певним положенням подвійних зв'язків і цис-конфігурацією (лінолевої  $C^{2}_{18}$ ;  $\alpha$ - і  $\gamma$ -ліноленової  $C^{3}_{18}$ ; олеїнової  $C^{1}_{18}$ ; арахідонової  $C^{4}_{20}$ ; поліненасичених жирних кислот з 5...6-ма подвійними зв'язками родини омега-3).

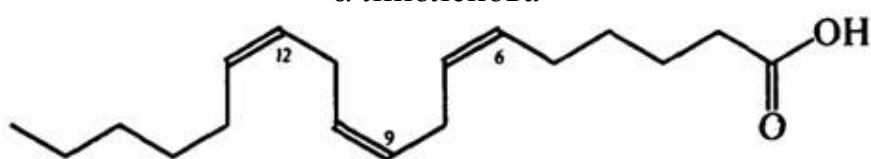
Лінолева і ліноленова кислоти не синтезуються в організмі людини, арахідонова – синтезується із лінолевої кислоти за участі вітаміну  $B_6$ . Тому вони отримали назву "незамінних або "есенціальних" кислот. Ліноленова кислота утворює інші поліненасичені жирні кислоти. До складу поліненасичених жирних кислот родини омега-3 входять:  $\alpha$ -ліноленова, ейкозапентаєнова, докозагексаєнова кислоти. Лінолева,  $\gamma$ -ліноленова, арахідонова кислоти входять в родину омега-6.



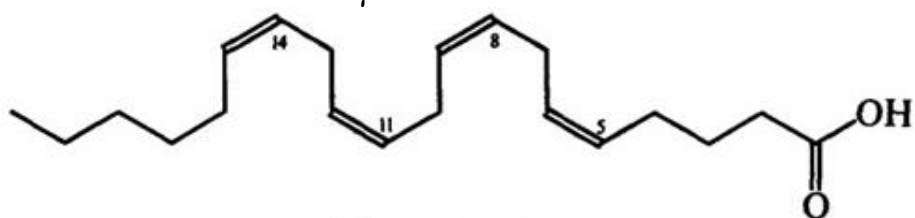
лінолева



$\alpha$ -ліноленова



$\gamma$ -ліноленова



арахідонова

Британський фонд харчування визначив ідеальне співвідношення в раціоні харчування людини між ПНЖК родини  $\omega$ -6 і ПНЖК  $\omega$ -3 у кількості 6:1, тоді як, за іншими даними, це співвідношення повинно складати для здорової людини – 10:1, для лікувального харчування – від 3:1 до 5:1. На цьому

співвідношенні заснована відома рекомендація істотного збільшення споживання жирної риби.

Більше 50 років назад була доведена необхідність присутності ряду цих структурних компонентів ліпідів для нормального функціонування і розвитку нашого організму. Вони приймають участь в побудові клітинних мембран, в синтезі простагландинів, які приймають участь в регулюванні обміну речовин в клітинах, кров'яного тиску, агрегації тромбоцитів, сприяють виведенню із організму надлишкової кількості холестерину, попереджуючи і послаблюючи атеросклероз, підвищують еластичність стінок кровоносних судин. Але ці функції виконують тільки цис-ізомери ненасичених кислот.

За відсутності "есенціальних" кислот зупиняється ріст організму і виникають важкі хвороби. Біологічна активність вказаних кислот є неоднаковою. Найбільшу активність має арахідонова кислота, високу – лінолева, активність ліноленової кислоти є значно (в 8...10 раз) нижчою за активність лінолевої.

Серед продуктів харчування найбільш багатими поліненасиченими кислотами є рослинні олії, особливо кукурудзяна, соняшникова, соєва. Вміст в них лінолевої кислоти досягає 50...60%, значно менше її в маргарині – до 20%, вкрай мало в тваринних жирах (в яловичому жирі – 0,6%). Арахідонова кислота в продуктах харчування міститься в незначній кількості, а в рослинних оліях її практично немає. В найбільшій кількості арахідонова кислота міститься в яйцях – 0,5, субпродуктах 0,2...0,3, мозку – 0,5%.

Вважається, що добова потреба в лінолевій кислоті повинна складати 6...10 г, мінімальна – 2...6 г, а її сумарний вміст в жирах харчового раціону – не менше 4% від загальної калорійності. Отже, склад жирних кислот ліпідів в харчових продуктах, призначених для харчування молодого, здорового організму, повинен бути збалансованим: 10...20% – поліненасичених, 50...60% – мононенасичених і 30% насичених, частина яких повинна бути з середньою довжиною ланцюга.. Це забезпечується використанням в раціоні 1/3 рослинних і 2/3 тваринних жирів. Для людей похилого віку і хворих серцево-судинними захворюваннями вміст лінолевої кислоти повинен складати приблизно 40%, відношення поліненасичених і насичених кислот – наближатись до 2:1, відношення лінолевої і ліноленової кислот – 10:1.

За сучасними уявленнями найбільш доцільним є використання в кожне окреме приймання їжі жири, що мають збалансований склад, а не вживати жирові продукти різного складу протягом доби.

Нестача або надлишок жирів є практично однаково небезпечними для організму людини (рисунок 5.4.). За низького вмісту жиру в раціоні, особливо у людей з порушеним обміном речовин, спочатку з'являється сухість і гнійничкові захворювання шкіри, потім настає випадання волосся і порушення травлення, знижується опірність організму до інфекцій, порушується обмін вітамінів.

Тривале обмеження жирів у харчуванні або систематичне використання жирів зі зниженим вмістом необхідних компонентів, в тому числі і вершкового

масла призводить до відхилень у фізіологічному стані організму: порушується діяльність нервової системи, знижується стійкість організму до інфекцій, скорочується тривалість життя.

Але і надмірне споживання жирів є небажаним, воно призводить до ожиріння, серцево-судинним захворюванням, передчасного старіння, атеросклерозу, розвитку жовчнокам'яної хвороби, виникненню злоякісних новоутворень у молочних, статевих залозах, прямій кишці тощо.

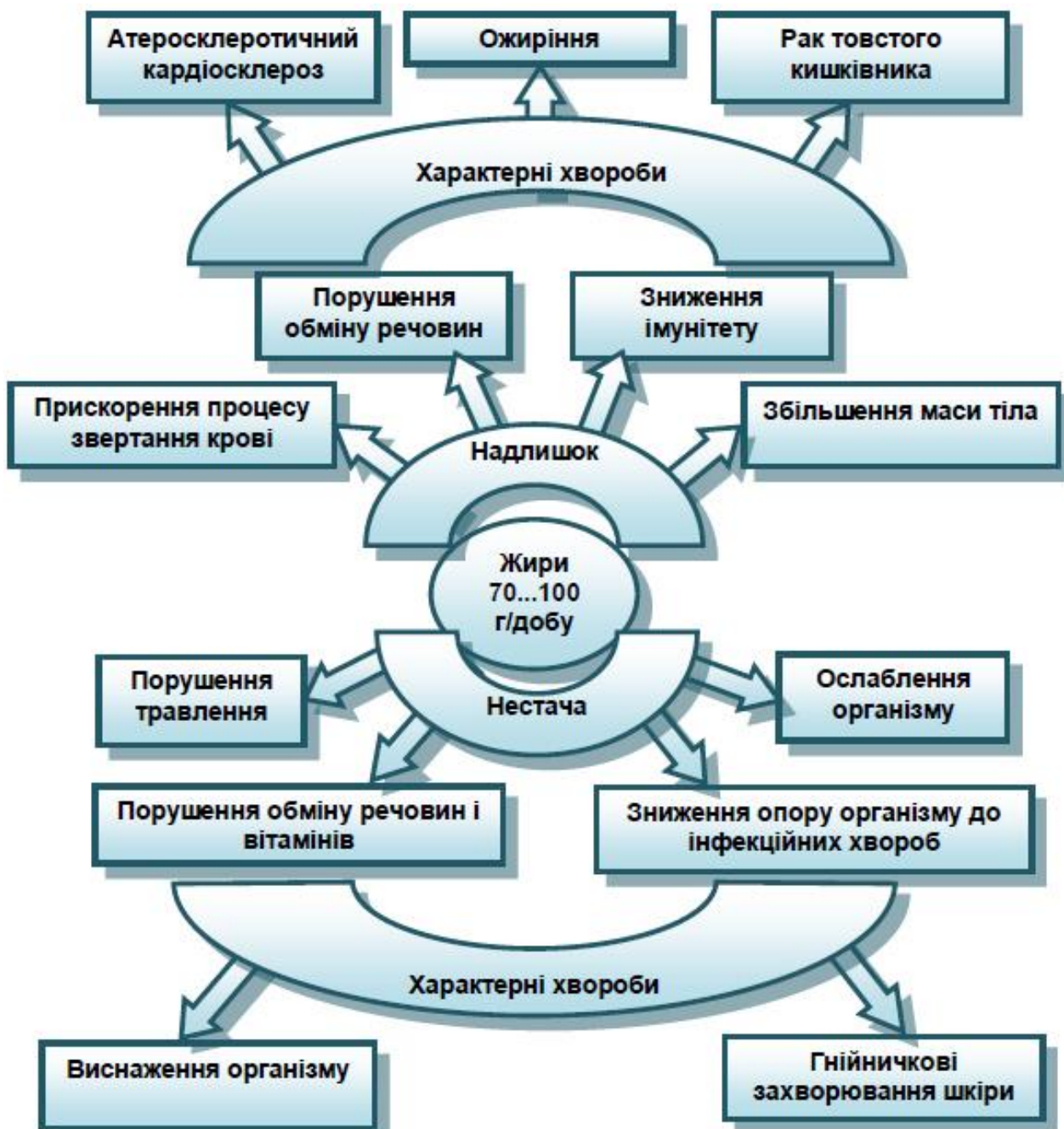


Рисунок 5.4 – Наслідки надлишку або нестачі жирів в харчовому раціоні

Так, за надмірного споживання жирів відбувається їх накопичення в крові, печінці і інших тканинах і органах. Кров стає в'язкою, підвищується її здатність до зсідання, що призводить до закупорки кровоносних судин, виникає атеросклероз. Надлишок жиру призводить також до ожиріння – одного з поширених захворювань у багатьох розвинених країнах, де споживання жирів

на душу населення збільшується або висока частка жиру в традиційних раціонах харчування.

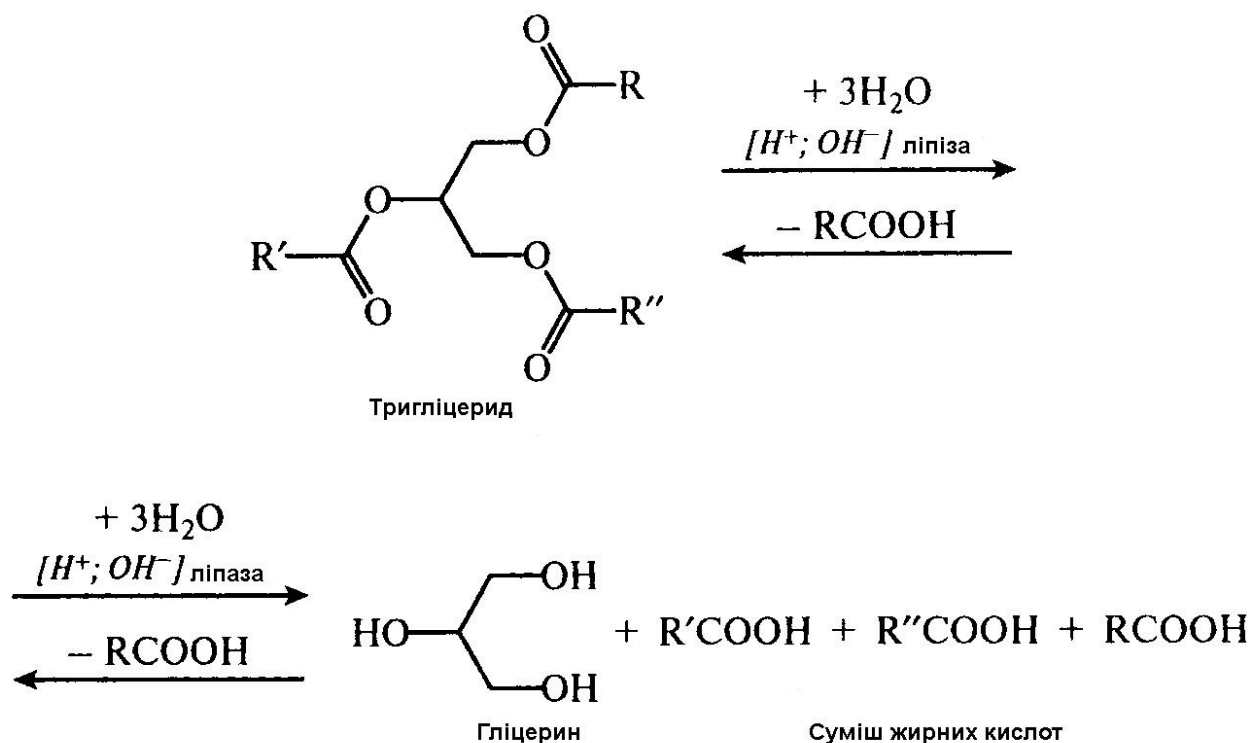
Деякі вчені висловлюють думку, що існує прямий зв'язок між раком товстого кишечника і споживанням жирної їжі. Високий вміст жиру в їжі призводить до збільшення концентрації жовчних кислот, що надходять з жовчю в кишечник. Жовчні кислоти і деякі інші складові частини жовчі, а також продукти розпаду тваринних білків справляють на кишкову стінку або канцерогенний вплив безпосередньо, або під дією кишкової мікрофлори перетворюються на продукти, що мають канцерогенний ефект. Аналогічно цьому випадку, за надлишку ПНЖК, що надходять за рахунок рослинних олій або риб'ячих жирів, утворюється багато окиснювальних продуктів їх обміну – вільних радикалів, – які отруюють печінку і нирки, знижують їх імунітет і також діють канцерогенно.

## 5.5 Процеси переробки жирів і олій

### ГІДРОЛІЗ ТРИГЛІЦЕРИДІВ

Під впливом лугів, кислот, ферменту ліпази тригліцеридів гідролізуються з утворенням ди-, а потім моногліцеридів і, врешті, жирних кислот і гліцерину.

Результати гідролізу можна представити такою схемою:



За присутності кислотних каталізаторів (сульфокислоти,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) процес проводять за  $100^\circ\text{C}$  в надлишку води. За присутності каталізаторів розщеплення проводять за температури  $220\text{...}225^\circ\text{C}$  під тиском  $2\text{...}2.5$  МПа ("безреактивне" розщеплення). Гідроліз концентрованими водними розчинами гідроксиду натрію (омилення) є основою процесу отримання (варіння) мила. На швидкість гідролізу тригліцеридів впливають будова і положення ацилів, температура, каталізатори. Зі зростанням довжини вуглецевого ланцюга, збільшенням



ненасиченості ацилів (за тієї ж довжини вуглецевого радикалу) швидкість гідролізу знижується. Гідроліз тригліцеридів під дією ліпази проходить ступінчасто. В даному випадку спостерігається певна селективність: на першій стадії утворюються 1,2-дигліцериди, на другій – 2-моногліцериди. Швидкість гідролізу моногліцеридів є вищою, ніж тригліцеридів; дигліцериди займають проміжне положення.

Гідроліз тригліцеридів широко застосовується в техніці для отримання жирних кислот, гліцерину, моно- і дигліцеридів.

### ГІДРОГЕНІЗАЦІЯ ТРИГЛІЦЕРИДІВ

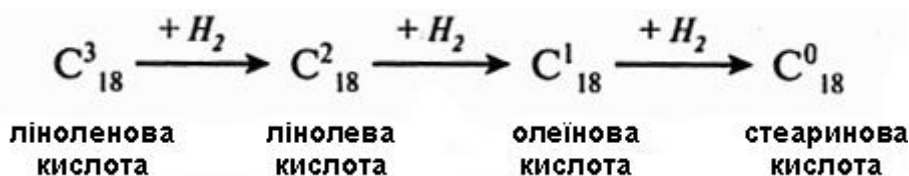
Технологію гідрогенізації<sup>7</sup> жирів було розроблено у 1902...1903 роках, з 1908 року організовано промислове виробництво гідрогенізованих жирів. Процес гідрогенізації проводиться на спеціальному обладнанні у відповідних технологічних умовах.

Гідрогенізацію олій і жирів молекулярним воднем в промисловості проводять за температур 180...240°C у присутності нікельованих або мідно-нікелевих каталізаторів, за тиску, що як правило, є близьким до атмосферного. Завдання гідрогенізації олій і жирів – цілеспрямована зміна жирно-кислотного складу початкового жиру в результаті часткового або повного приєднання водню до залишків ненасичених жирних кислот, що входять до складу тригліцеридів соняшникової, бавовняної, соєвої, рапсової й інших рідких рослинних олій.

Основна хімічна реакція, що відбувається під час гідрогенізації – приєднання водню до подвійних зв'язків залишків ненасичених жирних кислот:



Підбираючи відповідні умови реакції, вдається здійснювати цей процес селективно (вибірково), гідрогенізуючи спочатку, в основному, ацили ліноленової кислоти, потім лінолевої до олеїнової, а вже потім залишки олеїнової (якщо це необхідно) до стеаринової кислоти, і отримати продукт зі заздалегідь заданими властивостями, так званім саломасом:

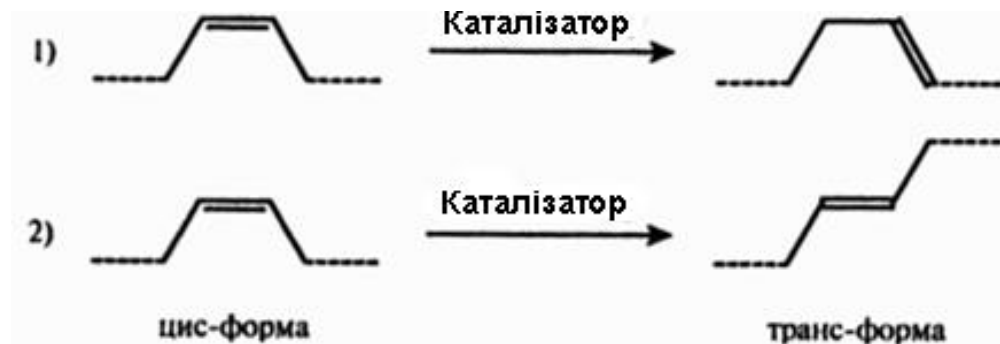


Селективність (вибірковість) гідрогенізації пояснюється більшою

<sup>7</sup> Якщо описувати коротко, то суть процесу гідрогенізації полягає у наступному: до нагрітої до 160°C олії додають каталізатори і під тиском крізь неї пропускають водень. Водень приєднується до радикалів жирних кислот за місцем подвійних зв'язків. Процес гідрогенізації триває 3...4 години, після чого одержаний саломас охолоджують, видаляють з нього каталізатори, знову охолоджують і подають у сховище.



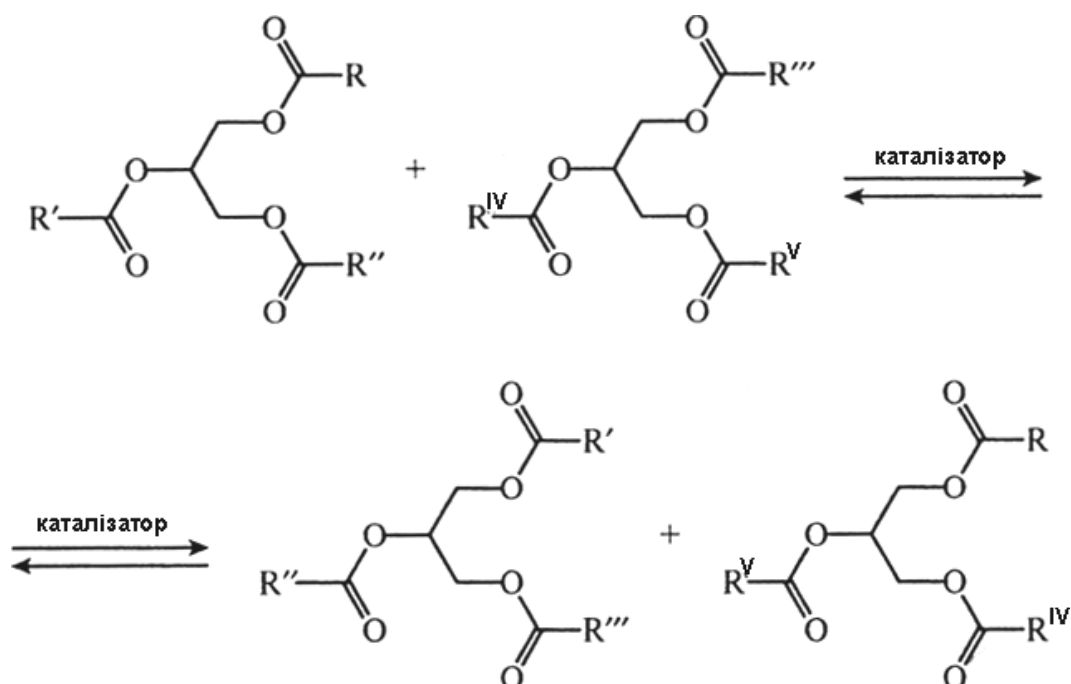
швидкістю гідрогенізації ацилів більш ненасичених кислот. Гідрогенізація олій і жирів є гетерогенним процесом, що відбувається на межі розділу фаз: суміш тригліцеридів – каталізатор. Паралельно з приєднанням водню до подвійних зв'язків (гідрогенізація) на поверхні каталізатора відбувається зміщення C=C- зв'язку (структурна ізомеризація, 1) і геометрична ізомеризація (цис-транс-ізомеризація, 2).



На відміну від гідрогенізації, реакції ізомеризації (1, 2), що проходять на поверхні каталізатора, не вимагають витрати водню. Переважне проходження реакцій (селективність) по одному з можливих напрямів визначається властивостями каталізатора і умовами проведення процесу. В процесі гідрогенізації може проходити і часткова переетерифікація. Транс-ізомери жирних кислот, що утворюються, не метаболізуються в організмі людини і за відомостями ряду авторів мають канцерогенні властивості.

#### РЕАКЦІЇ ПЕРЕЕТЕРИФІКАЦІЇ АЦИЛГЛІЦЕРИНОВ

Велике практичне значення має група реакцій, за яких відбувається обмін ацильних груп (ацильна міграція), що призводить до утворення нових тригліцеридів. Тригліцериди за температури 80...90°C у присутності каталізаторів (метилат і етилат натрію, натрій і калій, алюмосилікати) здатні обмінюватися ацилами (переетерифікація). Ацильна міграція відбувається як усередині молекули тригліцеридів (внутрішньомолекулярна переетерифікація), так і між різними молекулами тригліцеридів (міжмолекулярна переетерифікація).



Під час переестерифікації за участю хімічних каталізаторів склад жирних кислот жиру не змінюється, відбувається їх статистичний розподіл в суміші тригліцеридів, що призводить до зміни фізико-хімічних властивостей жирових сумішей в результаті зміни молекулярного складу. Збільшення числа тригліцеридних компонентів в жирі призводить до зниження температури плавлення і твердості жиру, підвищення його пластичності.

Швидкість переестерифікації залежить від тригліцеридного і жирнокислотного складу жиру, кількості і активності каталізатора, температури.

Переестерифікація високоплавких тваринних і рослинних жирів з рідкими рослинними оліями дозволяє отримати харчові пластичні жири з високим вмістом лінолевої кислоти за відсутності транс-ізомерів жирних кислот. Готові переестерифіковані жири, призначені в якості компонентів маргаринової продукції, мають наступні показники: температура плавлення 25...35°C; твердість (за 15°C) 30...130 г/м; масова частка твердих тригліцеридів (за 20°C) 6...20%. Переестерифіковані жири спеціального призначення застосовуються в хлібопеченні, у виробництві аналогів молочного жиру, кондитерського жиру, комбінованих жирів і т.д.

#### ВЛАСТИВОСТІ І ПЕРЕТВОРЕННЯ ГЛІЦЕРОФОСФОЛІПІДІВ

У молекулі фосфоліпідів є замісники двох типів: гідрофільні і гідрофобні. Гідрофільними (полярними) угрупованнями є залишки фосфорної кислоти і азотистої основи ("голова"), а гідрофобними (неполярними) – вуглеводневі радикали ("хвости"). Просторова структура фосфоліпідів представлена на рисунку 5.5.

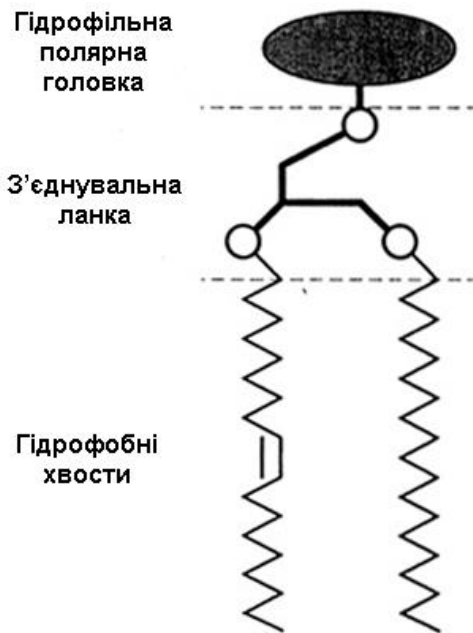


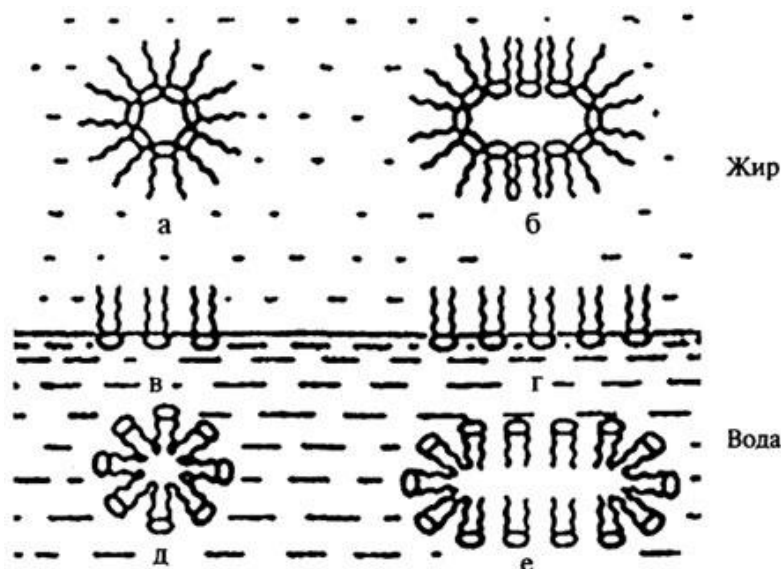
Рисунок 5.5 – Просторова структура фосфоліпідів

Переважає більшість фосфоліпідів мають у своєму складі залишки однієї насиченої (зазвичай в положенні 1) і однієї ненасиченої (у положенні 2) кислоти.

Таким чином, молекули більшості фосфоліпідів побудовані за загальним принципом: з одного боку – гідрофобні ліпофільні вуглеводневі залишки, які відрізняються низькою спорідненістю до води – "гідрофобні хвости", з іншого – гідрофільні групи – "полярні головки".

Побудовані таким чином амфіфільні (що мають подвійну спорідненість) молекули ліпідів легко орієнтуються. Гідрофобні хвости намагаються потрапити в жирову фазу, гідрофільні групи створюють межу розділу між водою і гідрофобною фазою.

У оліях фосфоліпіди в залежності від концентрації можуть бути присутніми у вигляді груп асоційованих молекул – міцел. За низької концентрації виходять сферичні міцели (рисунок 5.6), в яких полярні частини молекул утворюють зовнішній шар, а гідрофобні – внутрішній; за підвищеної концентрації міцели групуються в довгі циліндри. За подальшого зростання концентрації утворюється сферичний тип рідкокристалічної структури – ламелярна (шарувата), що складається з бімолекулярних шарів ліпідів, розділених шарами води. Подальше об'єднання міцел призводить до випадання їх у вигляді осаду (фосфатидна емульсія).



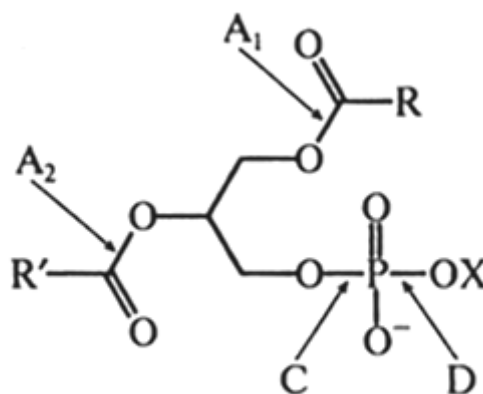
сферичні (а) і пластинчасті (б) міцели фосфоліпідів в жиру; орієнтація окремих молекул (в) і моношару фосфоліпідів (г) на межі поділу фаз жир (олія) – вода; сферичні (д) і пластинчасті (е) міцели фосфоліпідів у воді

Рисунок 5.6 - Структура міцел фосфоліпідів в жировій і водній фазах й орієнтація фосфоліпідів на поверхні поділу фаз.

Гліцерофосфоліпіди – безбарвні речовини, без запаху, добре розчинні в рідких вуглеводнях та їх галогенпохідних, окремі групи розрізняються розчинністю в спиртах, ацетоні. Вони існують в декількох полімерних формах і плавляться в дві стадії. Мають оптичну активність. Виділені з природних об'єктів фосфоліпіди – аморфні речовини, а перекристалізовані з органічних розчинників – мають кристалічну структуру.

Хімічні перетворення гліцерофосфоліпідів зумовлені характером і будовою структурних компонентів і видами хімічних зв'язків. Для них характерні реакції гідролізу кислотами і лугами. Існує декілька видів гідролаз (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C, D), що розрізняються характером дії на субстрат. Вони виявлені в природних об'єктах.

Принципова схема дії фосфоліпаз на фосфоліпіди:



A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, C, D - фосфоліпази

Полярні групи молекул фосфоліпідів взаємодіють з полярними групами молекул білків, вуглеводів, диполями води.

Деяка частина фосфоліпідів не виділяється з олій або виділяється тільки

за допомогою спеціальних прийомів гідратації олій (фосфоліпіди, що не гідратуються). За сучасними уявленнями – це комплексні сполук фосфоліпідів з іонами металів ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  і  $\text{Fe}^{3+}$ ; останні є каталізаторами процесів окиснення), а також сполук зі стеролами і аліфатичними спиртами.

В результаті ензимічної і хімічної модифікації в промисловості отримують різні види похідних фосфоліпідів (лецитинів): гідролізовані лецитини, гідроксильовані, ацильовані різними гідрофільно-ліпофільними характеристиками. Вони знайшли широке застосування в харчовій промисловості.

### 5.6 Біохімічні і фізико-хімічні зміни жирів в процесі переробки та зберігання

В процесі переробки і зберігання жировмісних продуктів або виділених з них жирів відбуваються різноманітні перетворення їх під впливом біологічних, фізичних і хімічних чинників.

В результаті цих перетворень змінюється хімічний склад, погіршуються органолептичні показники і харчова цінність жирів, що може призвести до їх псування.

Незалежно від технологічних режимів переробки і зберігання, а також виду жиру в них проходять однотипні зміни, що зводяться до гідролізу і окиснення. Ці процеси відбуваються за схемою, представленою на рисунку 5.7.

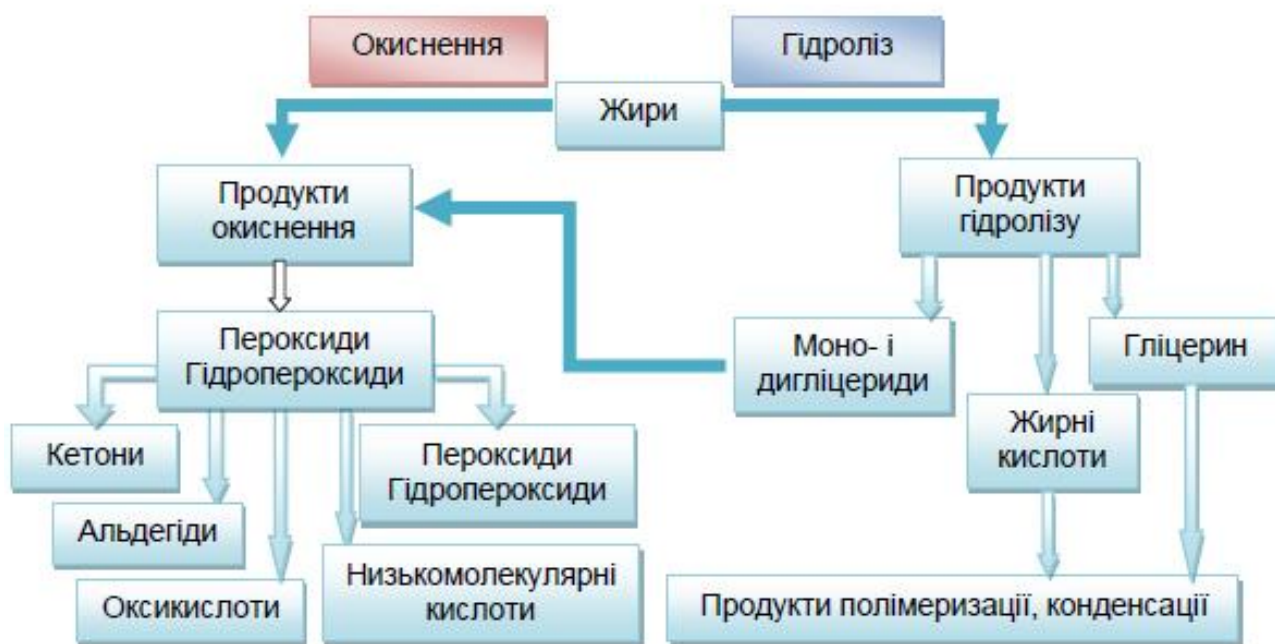


Рисунок 5.7 – Схема перетворення жирів

Переважає в жирі гідролітичного або окиснювального процесу залежить від температури, наявності кисню, світла, води, тривалості нагрівання, присутності речовин, що прискорюють або уповільнюють ці процеси. Тому основні способи теплової обробки жировмісних продуктів і жирів (варіння, смаження) розрізняються за ступенем і характером дії на жир. Під час варіння

переважають гідролітичні процеси, а в процесі смаження – окиснювальні. У будь-якому випадку якість жиру оцінюють за кислотним, пероксидним, ацетиловим числами, вмістом альдегідів, кетонів та інших сполук.

### **Гідролітичне розщеплення жирів**

*Гідролітичне розщеплення жирів* відбувається за обов'язкової участі води і може бути як *ферментативним*, так і *неферментативним*. У тканинних жирах, жирі-сирці (внутрішній жир), жирі м'яса, плодів і овочів, жирі сирокочених продуктів і т.п. під впливом тканинних ліпаз спостерігається гідроліз ацилгліцеринів, що супроводжується накопиченням жирних кислот і, як наслідок, підвищенням кислотного числа. Швидкість і глибина гідролізу жиру залежать від температури: процес ферментативного каталізу значно прискорюється за температури вище 20°C; зниження температури уповільнює процес гідролізу, але навіть за -40°C ферментативна активність ліпаз проявляється, але в слабкій мірі.

За несприятливих умов (волога, підвищена температура) може статися *гідролітичне псування жирів*, спричинене не лише дією ферментів, але і інших чинників: кислот, лугів, оксидів металів й інших неорганічних каталізаторів, а також ферментів мікроорганізмів.

Утворення в жирі за гідролітичного розпаду невеликої кількості високомолекулярних жирних кислот не викликає змін смаку і запаху продукту. Але якщо у складі тригліцеридів (молочний жир) є низькомолекулярні кислоти, то під час гідролізу можуть з'явитися капронова і масляна кислоти, що характеризуються неприємним запахом і специфічним смаком, які різко погіршують органолептичні властивості продукту.

У топлених жирах *автолітичного (ферментативного)* розщеплення жирів не спостерігається, оскільки в процесі витопплення за температури близько 60°C ліпаза, що міститься в жировій тканині, інактивується. Гідролітичне псування топленого жиру відбувається за наявності вологи, в результаті обсіменіння мікрофлорою, неповній денатурації білків під час витопплення жиру з жирової тканини або під впливом каталізаторів.

### **Окислювальні процеси в жирах**

В процесі переробки і зберігання жирів можливе погіршення їх якості в результаті окиснювальних процесів, глибина і швидкість яких залежать від природних властивостей жиру, температури, наявності кисню і світла. Ці чинники можуть викликати *окислювальне псування жирів*.

Розрізняють *автоокиснення* і *термічне* окиснення жирів. *Автоокиснення жирів* проходить за низьких температур у присутності газоподібного кисню. *Термічне окиснення* відбувається за температури 140°C...200°C. Між термічним і автоокисненням є багато спільного, проте склад продуктів, що утворюються, дещо відрізняється.

Продукти, що утворюються за автоокиснення і термоокиснення поділяються на три групи:

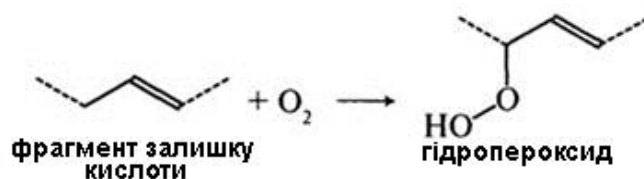
1) продукти окиснювальної деструкції жирних кислот, в результаті якої утворюються речовини з укороченим ланцюгом;

2) продукти ізомеризації, а також окиснені ацилгліцерини, які містять ту ж кількість вуглецевих атомів, що і початкові ацилгліцерини, але відрізняються від останніх наявністю у вуглеводневих частинах молекул жирних кислот нових функціональних груп, що містять Оксиген.

3) продукти окиснення, що містять полімеризовані або конденсовані жирні кислоти, в яких можуть знаходитися і нові функціональні групи, що мають у своєму складі Оксиген.

Крім того, продукти окиснення поділяють на термостійкі і нетермостійкі.

Жири і олії, особливо ті, що містять радикали ненасичених жирних кислот, окиснюються киснем повітря. Першими продуктами окиснення є різноманітні за будовою гідропероксиди. Вони отримали назву первинних продуктів окиснення.



Переважає окиснюється група  $-\text{CH}_2-$ , яка з'єднана з подвійним зв'язком ( $\alpha$ -положення), а з найбільшою швидкістю – розташовані між двома подвійними зв'язками.

За глибокого окиснення жирів можливе утворення циклічних пероксидів та епоксидних сполук:



Вміст пероксидних сполук в жирі оцінюють за величиною пероксидного числа. Це досить чутливий показник, і за його значенням роблять висновок про початок і глибину окиснення жиру. У свіжому жирі пероксидів немає. На початкових стадіях окиснення впродовж деякого часу хімічні і органолептичні показники жиру майже не змінюються. Цей період, що має різну тривалість, називається індукційним. Після індукційного періоду жир починає псуватися. Виявити це можна за збільшенням пероксидного числа і зміною органолептичних властивостей жиру.

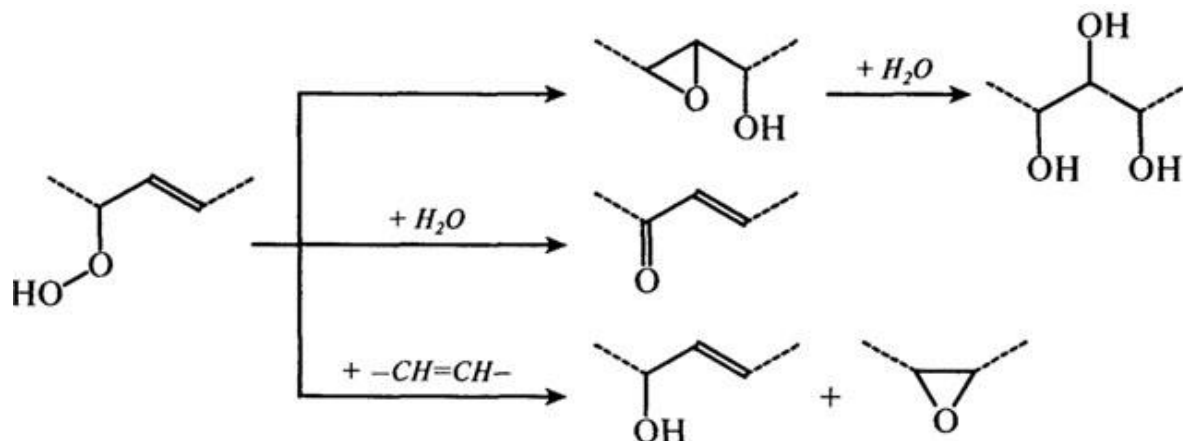
Наявність індукційного періоду пояснюється тим, що на початку процесу молекул з підвищеною кінетичною енергією (збуджених або вільних радикалів) дуже мало. Зумовлено це також вмістом в жирі природних антиокисників: каротиноїдів, токоферолів, лецитинів, які активніше взаємодіють з вільними радикалами і з киснем повітря і тим самим перешкоджають окисненню жирів. Тривалість індукційного періоду залежить від концентрації антиокисників, природи жиру і умов переробки і зберігання. Тваринні жири, у складі яких менше ненасичених жирних кислот, є стійкішими, ніж рослинні.

Процес автоокиснення жирів значно прискорюється за наявності вологи, світла і каталізаторів. Такими каталізаторами можуть бути легкоокиснювальні метали (оксиди або солі Феруму, Купруму, Плюмбуму, Стануму), а також

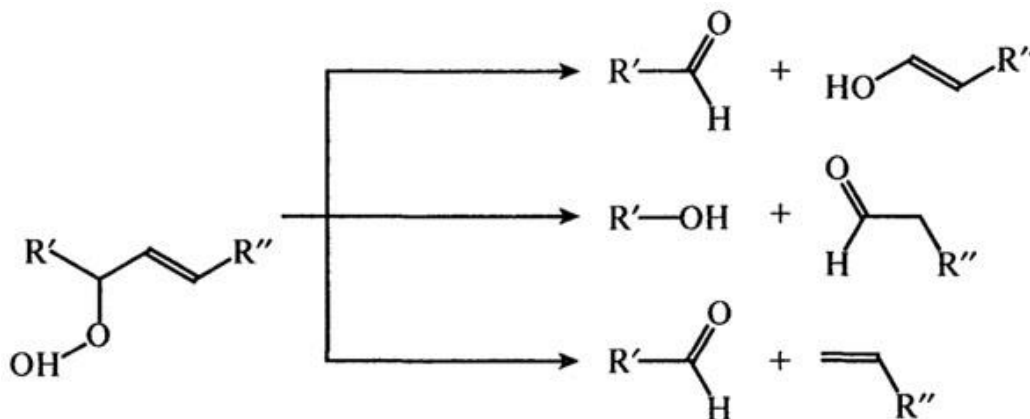
органічні сполуки, що містять Ферум, білки, гемоглобін, цитохроми й інші.

Каталітична дія металів пов'язана з їх здатністю легко приєднувати або віддавати електрони, що призводить до утворення вільних радикалів з гідропероксидів жирних кислот. Активними каталізаторами є ферменти, головним чином ферменти мікроорганізмів. Тому забруднення жирів, особливо бактеріальне обсіменіння, прискорює процес окислення жирів.

Пероксиди і гідропероксиди є нестійкими сполуками тому відбувається їх розпад з утворенням вільних радикалів, наприклад,  $R-O-O-H \longrightarrow RO\cdot + \cdot OH$  й інших.



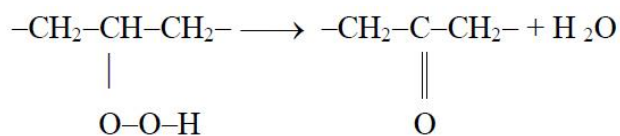
В результаті їх подальших складних перетворень утворюються вторинні продукти окиснення: окси- і епоксисполуки, спирти, альдегіди, кетони, кислоти та їх похідні з вуглеводневим ланцюгом різної довжини. Утворення вторинних продуктів окиснення може супроводжуватись розривом вуглеводневого радикалу:



Під час окиснення жирів виявлений ряд альдегідів, що є продуктами розпаду ланцюга жирних кислот: ноніловий, азолаїновий, гептиловий, малоновий. Подальше перетворення низькомолекулярних альдегідів призводить до появи низькомолекулярних спиртів, жирних кислот і до нового розгалуження окислювального ланцюга.

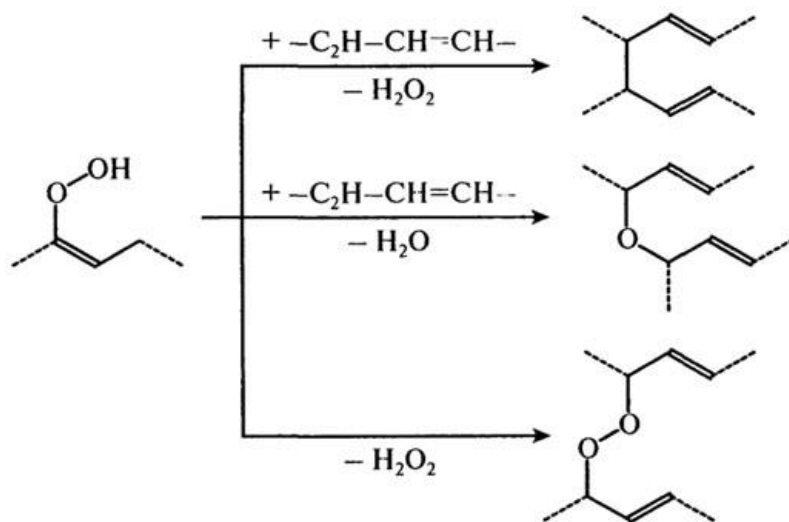
Кетони, як і альдегіди, утворюються окислювальним шляхом в результаті подальших перетворень пероксидів, наприклад, в результаті їх дегідратації:





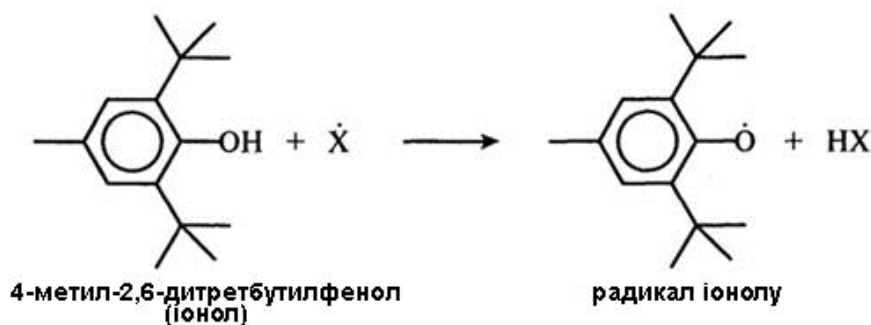
Припускають, що за присутності ферментів мікроорганізмів кетони можуть утворюватися за типом β-окиснення, тобто за участю води.

Окиснення тригліцеридів киснем повітря – автокаталітичний процес, що відбувається за ланцюговим шляхом з виродженим розгалуженням. Продукти, що утворились, здатні до полімеризації і поліконденсації:



Напрямок і глибина окиснення олій і жирів залежать в першу чергу, від їх тригліцеридного складу: зі збільшенням ступеня ненасиченості жирних кислот, що входять до складу тригліцеридів швидкість їх окиснення зростає. В ряду етерів олеїнової ( $\text{C}^{18}$ ) лінолевої ( $\text{C}^{18}$ ) і ліноленової ( $\text{C}^{18}$ ) кислот відношення швидкості окиснення 1:27:77. Тригліцериди насичених кислот киснем повітря за звичайних умов практично не окиснюються. Крім того, на швидкість окиснення впливає присутність вологи, металів змінної валентності.

Великий вплив на швидкість окиснення мають антиокисники (інгібітори) – речовини, додавання яких призводить до обриву ланцюга окиснення. Активні радикали, які ініціюють процес окиснення, утворюють стабільні радикали, які не приймають участі в цьому процесі:



Серед антиоксидантів найбільше значення мають сполуки фенольної природи: іонол, пропілгалати. Із природних антиокисників найбільше значення належить токоферолам, сезамолу (кунжутне масло), госиполу (бавовняна олія).

В результаті введення антиоксидантів в кількості 0,01% стійкість жирів

до окиснення зростає в 10...15 раз.

Активність і тривалість дії антиоксидантів зростає за присутності синергістів (от грец. *synergo's* – той, що діє разом). Дія синергістів може бути зумовлена рядом причин, головна з них – здатність дезактивувати іони металів змінної валентності (Pb, Cu, Co, Mn, Fe і т. д.), які відіграють роль каталізаторів окиснення. Активними синергістами є комплекси (окси- і амінокислоти, похідні фосфорної кислоти та ін.). Застосування в якості комплексонів знайшли лимона і аскорбінова кислоти. Синергістами є фосфоліпіди.

Швидкість окиснення жирів зменшується за пониження вмісту кисню в навколишньому середовищі. На цьому заснований спосіб зберігання олій і жирів в середовищі зі знизеним вмістом кисню (наприклад, в середовищі з підвищеним вмістом азоту). Окиснення жирів прискорюється з підвищенням температури зберігання і під впливом світлової енергії. Іони перехідних металів – Феруму, Купруму, Мангану та інших – можуть бути як каталізаторами, так й інгібіторами процесу автоокиснення жирів

### **Псування жирів: згіркнення та осалювання**

За окиснення жирів втрачається природне забарвлення; специфічний смак і запах продукту; з'являється сторонній, іноді неприємний присмак, аромат; втрачається біологічна цінність.

Первинні продукти окислення – пероксиди – органолептично не можна виявити, проте, за їх вмістом можна зробити висновок про глибину псування жиру, придатність його для тривалого зберігання і споживання.

Вторинні продукти окислення погіршують органолептичні показники жиру. Розрізняють два основні види псування жиру – згіркнення і осалювання.

*Згіркнення* відбувається в результаті накопичення в жирах низькомолекулярних продуктів: альдегідів, кетонів, низькомолекулярних жирних кислот. В цьому випадку жир набуває згіркого смаку і різкого, неприємного запаху. Згіркнення жирів може відбуватися внаслідок хімічних і біохімічних процесів.

В процесі *хімічного згіркнення*, що відбувається в жирах під дією кисню повітря, накопичуються вільні жирні кислоти, іноді низькомолекулярні, не властиві цьому жиру, збільшується пероксидне число, утворюються леткі карбонільні сполуки (альдегіди і кетони). Саме ці сполуки надають запах згіркlostі жиру.

В процесі *біохімічного згіркнення*, що відбувається за участі ферментів плісняви, утворюються кетокислоти і метилалкілкетони в результаті  $\beta$ -окиснення вільних жирних кислот, що утворюються під час гідролізу під впливом ліпаз. В результаті чого з кислот утворюється кетон, що містить на один атом вуглецю менше, ніж в початковій кислоті: з капронової – метилпропілкетон, каприновою – метилгептилкетон, лауриноюю – метилнонілкетон і т.д. Кетонне згіркнення іноді називають "духмяним згіркненням" у зв'язку зі своєрідним запахом продуктів окиснювального псування.

*Осалування жирів* супроводжується зникненням забарвлення, ущільненням жиру і появою сальної консистенції в результаті окислювальних змін жиру. Під час осалування утворюється значна кількість окисполук в результаті розпаду на світлі первинних органічних пероксидів і появи вільних радикалів  $\cdot\text{OH}$  і  $\text{HO}_2\cdot$  за фотохімічної дії на жир. Радикали, що виникають взаємодіють з молекулами жирних кислот з утворенням оксикислот. Кількість їх визначають за ацетиловим числом, яке зростає зі збільшенням кількості оксигруп.

Оксикислоти, що утворилися, залучаються до процесу полімеризації, внаслідок чого утворюються високомолекулярні сполуки і жир набуває характерної сальної мазеподібної консистенції. Жир, що засалився, характеризується також специфічним неприємним запахом і смаком.

Зміна забарвлення жирів пов'язана з руйнуванням каротиноїдів, яке настає до початку окиснювальних змін. Жир, що знебарвлюється, інколи набуває зеленуватого забарвлення, змінюється його спектр поглинання. Ці зміни каротиноїдів дозволяють виявити окиснювальні зміни жирів на ранніх стадіях. Відбувається також і розпад токоферолів.

Найбільш інтенсивно окиснювальне псування відбувається за тривалого нагрівання жирів за високих температур  $180^\circ\text{C}$ ... $300^\circ\text{C}$ . Таке нагрівання супроводжується зниженням вмісту ненасичених жирних кислот і накопиченням пероксидів, карбонільних сполук, летких кислот і продуктів сополімеризації.

### **Термічне розкладання жирів**

За температури понад  $200^\circ\text{C}$  може статися термічне розкладання жиру з виділенням диму (піроліз). Температура, за якої починається виділення диму, називається температурою (або точкою) димоутворення, або піролізу. На величину цієї температури впливає природа жиру, вміст вільних жирних кислот, матеріал і розмір посуду, наявність металів й інші чинники. Наприклад, збільшення у свинячому жирі вмісту вільних жирних кислот з 0,02 до 0,81% зменшує температуру піролізу з 221 до  $150^\circ\text{C}$ . Залізо і мідь каталізують піроліз жиру.

Продукти піролізу погіршують колір жиру під час смаження харчових продуктів. Потемніння жиру відбувається за рахунок забруднення його речовинами пірогенетичного розпаду, дрібних частинок, що утворюються в процесі обвуглювання, реакцій меланоїдиноутворення і карамелізації, а також накопичення темнозабарвлених продуктів окислення самого жиру.

Зміна запаху жиру за тривалого смаження продуктів викликана утворенням акролеїну. Карбонільні сполуки, що утворюються під час смаження, містять 3, 5, 7 атомів вуглецю, погіршують запах і смак жиру, а ті, що містять 4, 6, 10, 12 атомів вуглецю надають жиру приємний запах смаженого.

### **Зміна біологічної цінності жиру**

В результаті окиснення змінюються не лише органолептичні властивості жиру, але і знижується його харчова, у тому числі біологічна цінність. Це

пов'язано з окисненням життєво необхідних ненасичених жирних кислот, а також з руйнуванням каротиноїдів, токоферолів, фосфатів і інших біологічно активних речовин. Крім того, первинні продукти окиснення, пероксиди справляють токсичну дію на організм. В той же час пероксиди в процесі різноманітних реакцій утворюють речовини, що містять карбоніли, а також полімерні сполуки, які погіршують засвоюваність жиру, знижуючи його біологічну цінність, а іноді мають канцерогенні властивості. Накопичення таких продуктів специфічного складу і будови відбувається найбільш інтенсивно за тривалого нагрівання жиру за високих температур – вище 180°C.

Для запобігання окиснювальним процесам в жирах необхідно зменшити або виключити контакт жиру передусім з киснем повітря. Без доступу кисню навіть тривале нагрівання за 180°C...190°C не викликає помітних окислювальних змін жиру. Збільшенню контакту з повітрям сприяє нагрівання жиру тонким шаром, смаження продуктів пористої структури, сильне спінювання і перемішування жиру.

Для стабілізації фритюрних жирів застосовують кремнійорганічні рідини (поліметилсилоксани). Ці сполуки, утворюючи на поверхні жиру тонку плівку і пригнічуючи його спінювання, утруднюють взаємодію жиру з киснем.

Жир доцільно зберігати в герметичній тарі, у вакуумній упаковці або в атмосфері інертного газу за від'ємних температур. У жирах не повинно бути легкоокиснювальних металів (міді, заліза, марганцю), їх солей або органічних похідних сполук свинцю, олова і інших металів. Для уповільнення окислювальних процесів в жирах застосовують антиоксиданти.

### **Контрольні питання**

1. Назвіть функції ліпідів в організмі.
2. Назвіть найбільш важливі ПНЖК. Які їх функції в організмі людини?
3. Чому потрібне збільшення споживання жирної риби?
4. Яка роль арахідонової кислоти в організмі людини? Яка жирна кислота є попередником арахідонової кислоти в організмі?
5. Яка позитивна і негативна роль холестерину в організмі людини?
6. Яка роль лецитину (фосфатидилхоліну) в харчуванні? З чого отримують лецитин і кефалін? Під час виробництва яких продуктів використовують лецитин і кефалін?
7. Які норми споживання рослинних олій і тваринних жирів?
8. Назвіть основні небезпеки нестачі і надлишку споживання жирів?
9. Охарактеризуйте процеси промислового гідролізу тригліцеридів. З якою метою проводиться гідроліз жирів?
10. У чому полягає основна реакція, що відбувається під час гідрогенізації жирів?
11. Які види ізомеризації можливі в процесі гідрогенізації тригліцеридів?
12. У чому полягає процес переетерифікації тригліцеридів?
13. Де використовують переетерифіковані жири?
14. Які основні хімічні і біохімічні перетворення відбуваються в процесі переробки і зберігання жирів?

15. У чому полягає процес автоокиснення жирів? Назвіть основні продукти окиснення жирів.
16. У чому полягає окиснювальне псування жирів?
17. Чим зумовлено згіркнення жирів?
18. У чому проявляється осалювання жирів і яка його причина?

## Тема 6 – Вуглеводи

### План

- 6.1 Класифікація і характеристика вуглеводів
- 6.2 Вуглеводи в харчових продуктах
- 6.3 Фізіологічне значення вуглеводів
- 6.4 Функції вуглеводів в харчових продуктах
- 6.5 Структурно-функціональні властивості окремих представників полісахаридів
- 6.6 Перетворення вуглеводів під час переробки та зберігання сировини

### 6.1 Класифікація і характеристика вуглеводів

Вуглеводи – це складні органічні речовини, що є полігідроксиальдегідами або полігідроксикетонами або утворюють ці речовини в результаті гідролізу.

Вуглеводи поділяють на три основні групи: моносахариди, олігосахариди і полісахариди (рисунок 6.1).

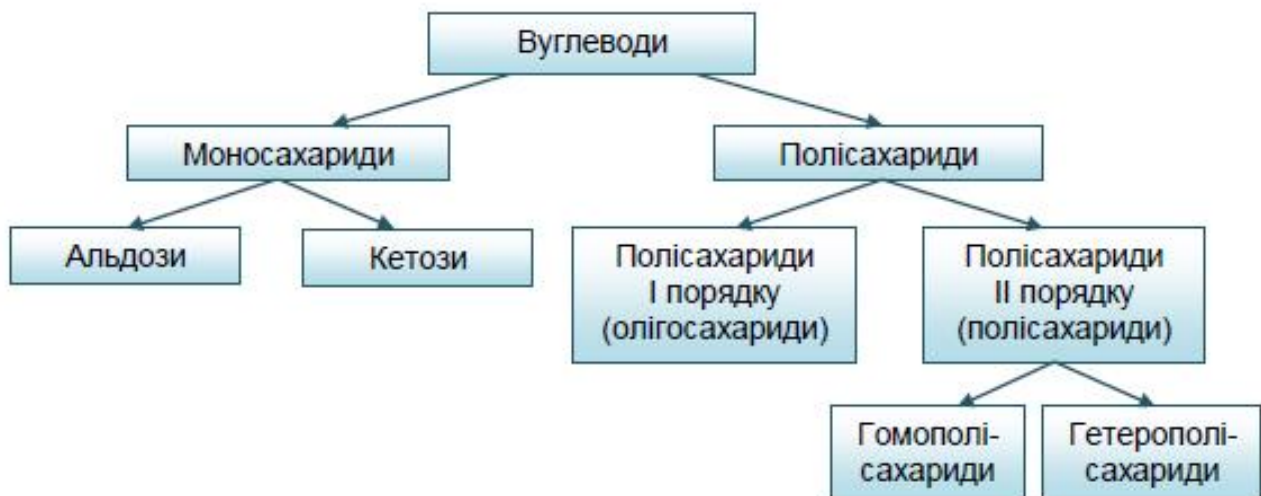


Рисунок 6.1 – Класифікація вуглеводів

### МОНОСАХАРИДИ

Моносахариди зазвичай містять від 3 до 9 атомів вуглецю, причому найбільш поширеними є пентози і гексози. За функціональними групами вони поділяться на альдози і кетози.

Моносахариди знаходяться зазвичай в таутомерній рівновазі зі своєю циклічною формою. Таутомерні циклічні форми цукрів є внутрішніми напівацеталами. В результаті циклізації з'являється новий асиметричний атом вуглецю, який називають глікозидним (або аномерним). Ізомери відносно аномерного центру називаються  $\alpha$ - і  $\beta$ -аномерами.

Серед моносахаридів широко відомі глюкоза, фруктоза, галактоза, арабіноза, ксилоза і D-рибоза.

*Глюкоза* (виноградний цукор) у вільному стані міститься в ягодах і фруктах (у винограді до 8%; у сливі, черешні – 5...6%; у меді – 36%). З молекул глюкози побудовані крохмаль, глікоген, мальтоза; глюкоза є складовою частиною сахарози, лактози.

*Фруктоза* (плодовий цукор) міститься в чистому вигляді у бджолиному меді (до 37%), винограді (7,7%), яблуках (5,5%); є складовою частиною сахарози.

*Галактоза* – складова частина молочного цукру (лактози), яка міститься в молоці ссавців, рослинних тканинах, насінні.

*Арабіноза* міститься в хвойних рослинах, у буряковому жомі, входить до складу пектинових речовини, слизу, гуми (камедь), геміцелюлози.

*Ксилоза* (деревний цукор) міститься у бавовняному лущинні, кукурудзяних початках. Ксилоза входить до складу пентозанів. З'єднуючись з фосфором, ксилоза переходить в активні сполуки, що відіграють важливу роль у взаємоперетвореннях цукрів.

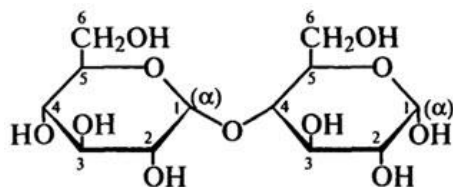
Серед моносахаридів особливе місце займає D-рибоза – універсальний компонент головних біологічно активних молекул, відповідальних за передачу спадкової інформації, – рибонуклеїнової (РНК) і дезоксирибонуклеїнової (ДНК) кислот; входить і до складу АТФ і АДФ, за допомогою яких у будь-якому живому організмі запасується і переноситься хімічна енергія. Заміна в АТФ одного з фосфатних залишків на піридиновий фрагмент призводить до утворення ще одного важливого агента НАДФ (нікотидіамідаленіндинуклеотидфосфат) – речовини, що бере безпосередню участь в перебігу життєво важливих окиснювально-відновних процесів.

#### ПОЛІСАХАРИДИ

*Олігосахариди* – це полісахариди 1-го порядку, молекули яких містять від 2 до 10 залишків моносахаридів, з'єднаних глікозидними зв'язками. Відповідно до цього розрізняють дисахариди, трисахариди і т. д.

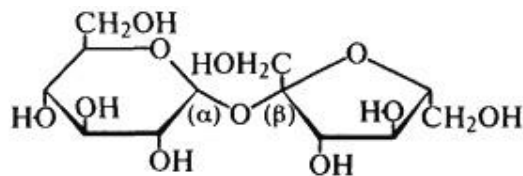
*Дисахариди* – складні цукри, кожна молекула яких в результаті гідролізу розпадається на дві молекули моносахаридів. Дисахариди, разом з полісахаридами, є одним з основних джерел вуглеводів в їжі людини і тварин. За будовою дисахариди є глікозидами, в яких дві молекули моносахаридів з'єднані глікозидним зв'язком.

До дисахаридів належать мальтоза, сахароза і лактоза. Мальтоза –  $\alpha$ -глюкопіранозил-(1,4)- $\alpha$ -глюкопіраноза, утворюється як проміжний продукт в результаті дії амілаз на крохмаль (або глікоген).



мальтоза

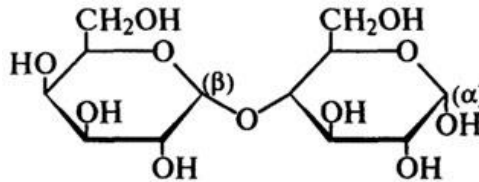
Сахароза – звичайний харчовий цукор. Молекула сахарози складається з одного залишку  $\alpha$ -D-глюкози і одного залишку  $\beta$ -D-фруктози.



сахароза

На відміну від більшості дисахаридів, сахароза не має вільного напівацетального гідроксилу і не має відновних властивостей.

Дисахарид *лактоза* міститься тільки в молоці і складається з  $\beta$ -D-галактози і D-глюкози.



лактоза

Серед природних трисахаридів найбільш відомою є рафіноза, що містить залишки фруктози, глюкози і галактози. Вона знаходиться в значних кількостях в цукровому буряку і у багатьох інших рослинах, зокрема у бобових. Переважно олігосахариди присутні в рослинних тканинах.

*Полісахариди II-го порядку* за загальними принципами будови поділяються на дві групи: гомополісахариди (складаються з однакових моносахаридних ланок) і гетерополісахариди (складаються із моносахаридних ланок різних типів).

За функціональним призначенням полісахариди поділяють на структурні і резервні. Важливим структурним полісахаридом є целюлоза, а головними резервними полісахаридами є глікоген і крохмаль (у тварин і рослин відповідно).

*Крохмаль* є комплексом двох гомополісахаридів: лінійного – амілози і розгалуженого – амілопектину, загальна формула яких  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Як правило, вміст амілози в крохмалі складає 10...30%, амілопектину 70...90%. Полісахариди крохмалю побудовані із залишків глюкози, з'єднаних в амілозі і в лінійних ланцюгах амілопектину  $\alpha$ -1,4-зв'язками, а в точках галуження амілопектину міжланцюговими  $\alpha$ -1,6-зв'язками. Крохмаль є головною складовою частиною їжі людини. Хліб, картопля, крупи, овочі – головний енергетичний ресурс її організму.

*Глікоген* – полісахарид, що міститься в тканинах тварин, близький за своєю будовою до амілопектину. Молекула глікогену, як і молекула амілопектину, побудована з сильно розгалужених ланцюжків (розгалуження через кожні 3...4 ланки) із загальною кількістю глюкозидних залишків 5...50 тис. (з молекулярною масою 1...10 млн).

*Целюлоза* (або клітковина) – найбільш поширений рослинний гомополісахарид. Вона виконує роль опорного матеріалу рослин, з неї будується твердий скелет стебел, листя. У чистому вигляді вона відома у вигляді вати і фільтрувального паперу (письмовий й усі інші види паперу проклеюються). Деревина наполовину складається з клітковини і, крім того,



містить зв'язаний з нею лігнін – високомолекулярну речовину фенольного характеру. Целюлоза є полімером, що містить 600...900 залишків глюкози (середня молекулярна маса 1...1,5 млн.).

У молекулі целюлози залишки глюкози з'єднані  $\beta$ -(1,4)-глікозидними зв'язками, що визначає лінійну структуру полімеру. Целюлоза не розщеплюється звичайними ферментами шлунково-кишкового тракту ссавців, а тільки під дією ферменту целюлази, що виділяється з кишкової флори травоядних, розпадається на целодекстрини (олігоцелсахариди) і целобіозу.

*Декстрини* – гомополісахариди, побудовані із залишків D-глюкози з домінуючим типом  $\alpha$ -(1,6)-глікозидного зв'язку; бічні розгалуження приєднуються до центрального ланцюга в положеннях 3 і 4. Декстран утворюється з сахарози під дією специфічного ферменту декстрансахарази, що виробляється бактеріями. В залежності від вживаного штаму бактерій синтезуються декстрини різного ступеня розгалуженості. Декстрини використовують для отримання молекулярних сит – сефадексів різних марок.

*Пентозани* – целюлозоподібні полісахариди, побудовані з ксилози, арабінози й інших пентоз. Особливо багаті пентозанами шкаралупа горіхів, соняшників, кукурудзяні початки, солома, жито.

*Інулін* – високомолекулярний вуглевод, розчинний у воді, осаджується з водних розчинів під час додавання спирту. В результаті гідролізу за допомогою кислот утворює фруктофуранозу і невелику кількість глюкостірозу. Міститься у великій кількості у бульбах земляної груші і жоржини, в коренях кульбаби, коксагізу і цикорію, в артишоках, в коренях, листі і стеблах каучуконосної рослини гваюли (*Parthenium argentatum*). У цих рослинах інулін замінює крохмаль. Фермент який гідролізує інулін з утворенням фруктози – інулаза – міститься у рослинах, пліснявих грибах і дріжджах.

*Слиз і гумі (камедь)* – група колоїдних полісахаридів, до яких належать розчинні у воді вуглеводи, що утворюють надзвичайно в'язкі і клейкі розчини. Типовими представниками цієї групи є гумі, що виділяються у вигляді напливів вишневими, сливовими або мигдалевими деревами в місцях ушкодження гілок і стволів. Слиз міститься у великій кількості в льняному насінні і в зерні жита. Саме їх вмістом пояснюється висока в'язкість відвару з льняного насіння або ж водяної бовтанки житнього борошна.

Вишневий клей складається із залишків галактози, манози, арабінози, п-глікуронової кислоти і незначної кількості ксилози. Слиз житнього зерна майже на 90% складається з пентозанів. Цей слиз надзвичайно сильно набрякає у воді і дає дуже в'язкі розчини.

*Камеді* мають такі цінні властивості, як підвищена в'язкість, клейкість, здатність до набрякання і т. д. Камедь (гуміарабінотрагакант) застосовується в якості зв'язуючих речовин і загусників, служить емульгатором, основою для косметичних і фармацевтичних кремів і паст, стабілізатором в харчовій промисловості.

*Пектинові речовини* – полісахариди, основою яких є полігалактуронова (пектова) кислота. Вони входять до складу рослинних клітин і виконують

важливі фізіологічні функції – регулюють водний баланс, приймають участь в утворенні скелету рослини.

*Пектинові речовини*, що містяться в рослинних соках і плодах, є гетерополісахаридами, побудованими із залишків галактуранової кислоти, з'єднаних  $\alpha$ -(1,4)-глікозидними зв'язками. Карбоксильні групи галактуранової кислоти різною мірою естерифіковані метиловим спиртом.

В рослинах пектинові речовини містяться у формі водорозчинного *пектину*, *протопектину*, а також у формі кальцієвих і магнієвих солей *пектинової кислоти*. Розчинна форма пектинових речовин – вільний пектин – знаходиться в клітинному соку рослин.

*Протопектин* – нерозчинна у воді похідна пектинових речовин (молекулярна маса 20...30 тис), в якій молекули пектину хімічно з'єднані з іншими компонентами клітинної стінки – целюлозою, арабаном, галактаном, геміцелюлозою, структурним білком.

Під час гідролізу протопектину утворюється розчинний пектин. В рослинних тканинах під час дозрівання соковитих плодів пектинові речовини розщеплюються пектолітичними ферментами і протопектин переходить в розчинний пектин, а всі форми пектину розпадаються аж до вільної галактуранової кислоти.

*Пектинові кислоти* – це полігалактуранові кислоти, в незначній мірі естерифіковані залишками метанолу;

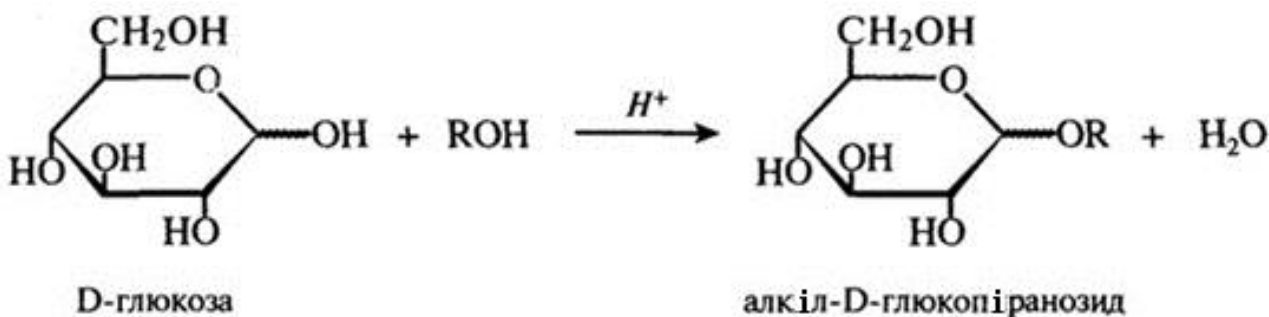
*Пектин* – це майже повністю естерифікована пектинова кислота. Пектини є розчинними у воді, утворюють колоїдні розчини.

Характерною властивістю пектинових речовин є їх гелеутворююча здатність, тобто здатність утворювати желе за певного співвідношення пектину, органічних кислот, цукру. Ця властивість широко використовується в кондитерській промисловості у виробництві мармеладу, пастили, зефіру. В нашій країні пектин отримують із відходів виробництва цукру із цукрового буряка – жому та із яблучних вижимок.

До *геміцелюлоз* відносяться різноманітні за хімічною структурою гетерополісахариди рослин: глюкоманани, галактоманани і ксилани, що містять у бічних ланцюгах арабінозу, глюкозу і т. д. У рослинах геміцелюлози, як правило, супроводжують целюлозу і лігнін, причому ксилани і глюкоманани міцно адсорбуються на поверхні целюлози.

Геміцелюлози, що виділяються з різних рослин, відрізняються за структурою. У деревах і насінні вони представлені лінійними глюкомананами, що містять залишки  $\beta$ -D-манози і  $\beta$ -D-глюкози, сполучених  $\beta$ -(1,4)-глікозидними зв'язками. У травах і деревині виявлені геміцелюлози, ланцюги яких побудовані із залишків ксилопіраноз, з'єднаних  $\beta$ -(1,4)-глікозидними зв'язками, причому в основному ланцюзі є різні розгалуження.

*Глікозиди* – продукти, що утворюються в результаті реакції естерифікації в кислому середовищі:



Тільки дуже незначна кількість глікозидів зустрічається в харчуванні людини. Але їх значення пов'язано з фізіологічною функцією – деякі глікозиди є сильними піноутворювачами і стабілізаторами, флавоноїдні глікозиди можуть надавати гіркою смаку і (або) певного аромату і кольору харчовому продукту. S-глікозиди зустрічаються в природі в насінні гірчиці і коренях хрину. Вони називаються глікозинолатами. Аліл-глікозинолат, найбільш відомий з класу S-глікозидів, називається синігрин. Він надає певного аромату їжі, але є роботи, в яких автори вважають, що S-глікозиди і продукти їх розпаду можуть бути віднесені до харчових токсикантів.

*Левоглюкозан* – глікозид, невелика кількість якого утворюється в умовах піролізу в процесі обжарювання і випічки борошняних виробів і нагріванні цукрів, цукрових сиропів за високої температури. Великі кількості цієї речовини в їжі є небажаними через гіркий смак.

*Ціаногенні глікозиди* – це сполуки, в результаті їх природної деградації утворюється синільна кислота; вони досить широко представлені в природі (насіння гіркою мигдалю, маніок, сорго, кісточка персиків, абрикосів та ін.). Ціанід, що утворюється в результаті деградації цих глікозидів, зазвичай детоксикується перетворюючись в тіоціанат. Ця реакція включає  $\text{CN}^-$ -йон,  $\text{SO}_3^-$ -йон і фермент S-трансферазу. Проте, за великої кількості глікозиду шлях детоксикації пригнічується і може з'явитися токсичність. Відомі випадки отруєння людей в результаті вживання маніоки, гіркою мигдалю; отруєння великої рогатої худоби – в результаті споживання недозрілого проса або сорго.

## 6.2 Вуглеводи в харчових продуктах

Вуглеводи складають 3/4 сухої маси рослин і водоростей, вони містяться в зернових, фруктах, овочах і в інших продуктах.

Головними засвоюваними вуглеводами в харчуванні людини є крохмаль і сахароза. Крохмаль є головним енергетичним ресурсом людського організму. Джерела крохмалю – зернові, бобові, картопля. На частку крохмалю припадає приблизно 80% від усіх вуглеводів, що споживає людина.

Моносахариди і олігосахариди (у тому числі сахароза) містяться в зернових культурах у відносно невеликих кількостях (таблицю 6.1 і 6.2). Сахароза зазвичай потрапляє в людський організм з продуктами, в які вона додається (кондитерські вироби, напої, морозиво та ін.). Зважаючи на те, що сахароза значною мірою сприяє зростанню глюкози в крові, варто зазначити, що продукти з високим вмістом цукру (в першу чергу кондитерські вироби) є найменш цінними з усіх вуглеводних продуктів.

Таблиця 6.1 – Вуглеводи зерна і продуктів його переробки (у %)

Продукт	Крохмаль	Цукри	Клітковина, геміцелюлоза та ін.	Всього
Пшениця	52...55	2...3	8...14	60...70
Борошно пшеничне	67...68	1,7...1,8	0,1...0,2	73...74
Макарони	62...69	1,7...4,6	0,1...0,2	72...75
Рис	55	3	4...10	63...64
Гречка	63...64	2	1...2	67...68
Кукурудза	57	2,5...3	6...10	67...70

Таблиця 6.2 – Цукри жита і пшениці (у %)

Цукри	Пшениця	Жито
Глюкоза	0,01...0,09	0,05
Фруктоза	0,02...0,09	0,06
Сахароза	0,19...0,57	0,41
Мальтоза	0,06...0,15	0,14
Інші олігосахариди	0,67...1,26	2,03

Зараз є вже доведеним той факт, що необхідно збільшувати в раціоні кількість харчових волокон, джерелом яких є житні і пшеничні висівки, овочі, фрукти. Хліб з цілісного зерна, з точки зору вмісту харчових волокон, набагато цінніший, ніж хліб з борошна вищих сортів, що не містять алейронового шару і зародка (таблиця 6.3).

Таблиця 6.3 – Хімічний склад продуктів помелу пшениці (у % на суху речовину)

Продукт	Клітковина	Пентозани	Крохмаль
Зерно	2,5	6,4	53,0
Борошно вищ. с.	0,1	1,6	80,1
Борошно I с.	0,2	1,8	77,8
Борошно II с.	0,5	3,4	72,5
Висівки	8,4	22,1	13,8

Вуглеводи плодів (таблиця 6.4) представлені в основному сахарозою, глюкозою і фруктозою, а також клітковиною і пектиновими речовинами (у чорній смородині – 1,1; у сливі – 0,9; у журавлині – 0,7; у шкірках цитрусових – 20...30; у шкірці яблук – 8...20% пектинових речовин).

Тваринні продукти містять значно менше засвоюваних вуглеводів, ніж рослинні. М'ясний і печінковий глікоген подібні за будовою до крохмального амілопектину і засвоюються так само як крохмаль.

Таблиця 6.4 – Вміст різних вуглеводів в плодах(у %)

Вид	Цукри			Пектинові речовини	Клітковина	Всього вуглеводів
	Сахароза	Глюкоза	Фруктоза			
Яблука*	3,0	3,8	8,1	1,1	0,6	11...17
Персики	6,3	5,1	4,4	0,6	1,0	17...18
Виноград	0,6...4,0	8...10	7...10	0,6	0,6	17...25
Лимони	0,9	0,6	0,6	1,1	0,5	3-4
Суниця	0,4	2,8	3,3	1,6	1,4	9...10

\* Вміст крохмалю – 0,2%.

### 6.3 Фізіологічне значення вуглеводів ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ ВУГЛЕВОДІВ

Вуглеводи є основною складовою частиною харчового раціону людини, оскільки їх споживають приблизно в 4 рази більше, ніж жирів і білків. Вони виконують в організмі багато різноманітних функцій але головна з них – енергетична (рисунок 6.2). Упродовж життя людина в середньому споживає близько 14 т вуглеводів, у тому числі більше 2,5 т моно- і дисахарідів. За рахунок вуглеводів забезпечується близько 60% добового енергоспоживання, тоді як за рахунок білків і жирів разом узятих – тільки 40%



Рисунок 6.2 – Основні функції вуглеводів в людському організмі

Середня потреба у вуглеводах складає 350...500 г/добу. У випадку збільшення фізичного навантаження частка вуглеводів повинна зростати.

Вуглеводи потрібні для біосинтезу нуклеїнових кислот, замінних амінокислот, як складова структурна частина клітин. Вони входять до складу гормонів, ферментів і секретів слизових залоз.

Регуляторна функція вуглеводів різноманітна. Вони протидіють накопиченню кетонівих тіл під час окиснення жирів, регулюють обмін вуглеводів і діяльність центральної нервової системи. Важливу роль відіграють вуглеводи, виконуючи захисні функції. Так, глюкуронова кислота, з'єднуючись з деякими токсичними речовинами, утворює розчинні у воді нетоксичні складні ефіри, що легко видаляються з організму.

#### ЗАСВОЮВАНІ ВУГЛЕВОДИ

За харчовою цінністю вуглеводи поділять на *засвоювані* і *незасвоювані*. Засвоювані вуглеводи перетравлюються і метаболізуються в організмі людини.

До них відносяться *глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза, мальтоза, α-глюканові полісахариди – крохмаль, декстрини і глікоген*. Незасвоювані вуглеводи не розщеплюються ферментами, що секретуються в травному тракті людини. До незасвоюваних вуглеводів відносяться рафінозні олігосахариди і не-α-глюконові полісахариди – *целюлоза, геміцелюлоза, пектинові речовини, лігнін, камедь і слиз*.

Відомо більше 200 різних природних моносахаридів, проте тільки деякі з них використовуються в харчуванні людини. Найбільшу поживну цінність мають альдоза (глюкоза, галактоза, маноза, ксилоза), а також кетоза (фруктоза). Споживання глюкози і фруктози – двох найбільш поширених в природі моносахаридів – досягає 20% загального споживання вуглеводів. З кишківника вуглеводи всмоктуються в кров тільки у вигляді глюкози і фруктози. Глюкоза в якості поживного матеріалу в організмі людини використовується в основному нервовими клітинами, мозковою речовиною нирок і еритроцитами.

Депонується глюкоза у вигляді глікогену печінки (100 г) і м'язів (250 г). У організмі постійний рівень концентрації глюкози в крові підтримується за допомогою гормонів підшлункової залози – інсуліну і глюкагону.

*Фруктоза* є менш поширеною, ніж глюкоза, і так само швидко окиснюється. Фруктоза має найбільшу солодкість з усіх відомих цукрів. Потрапляючи в організм, велика її частина швидко засвоюється тканинами без інсуліну, інша, менша, перетворюється на глюкозу. Те, що фруктоза здатна засвоюватися без інсуліну, робить її незамінною в живленні хворих діабетом. Основними харчовими джерелами глюкози і фруктози є мед, солодкі овочі і фрукти. У насінних переважає фруктоза, а в кісточкових (абрикоси, персики, сливи) – глюкоза. Кількість фруктози і глюкози в ягодах приблизно однаково (таблиця 6.4).

У сучасних умовах доцільно задовольняти потребу у вуглеводах, використовуючи нерафіновані продукти, а також продукти, що містять фруктозу (мед, деякі плоди й овочі), оскільки фруктоза, як вказувалося вище, повільніше засвоюється, обмін її практично не пов'язаний з інсуліном і вона не викликає гіперглікемії (збільшення вмісту глюкози в крові). Висока солодкість фруктози дозволяє використати менші її кількості в порівнянні з сахарозою і глюкозою для досягнення солодкості продуктів і напоїв і знизити таким чином загальне споживання цукрів. Основні харчові дисахариди в живленні людини – сахароза і лактоза. Цукор, основним компонентом якого є сахароза, виконує в організмі роль енергоносія.

За останні 150 років споживання цукру нестримно збільшилося – в набагато більшій мірі, ніж вважає це корисним медицина. В Україні його реальне споживання досягло 70...100 г на добу. В інших країнах ще вище: в Англії – 130 г, а серед підлітків – 156 г на добу.

За цукром закріпилася назва "біла смерть". У літературі з дієтології з'явилося поняття "цукроголик". Річ у тому, що цукор є рафінованим продуктом, що призводить до недоотримання людиною сотень, а можливо, і тисяч різноманітних біологічно-активних речовин, які засвоювали наші предки

з їжею впродовж мільйонів років. Під час попадання в кишечник сахароза швидко розпадається на глюкозу і фруктозу і всмоктується в кров. У крові помітно підвищується концентрація глюкози. Це своєрідний удар по підшлунковій залозі, від якої вимагається поставляти організму достатню кількість гормону інсуліну, щоб відрегулювати вміст глюкози в крові. Подібні різкі коливання рівня глюкози в крові вимагають від організму напруженої роботи, і навіть включення резервних регуляторних можливостей.

Найбільш частий і серйозний наслідок надмірного споживання рафінованого цукру – порушення обміну речовин, раніше усього обміну вуглеводів (рисунок 6.3).

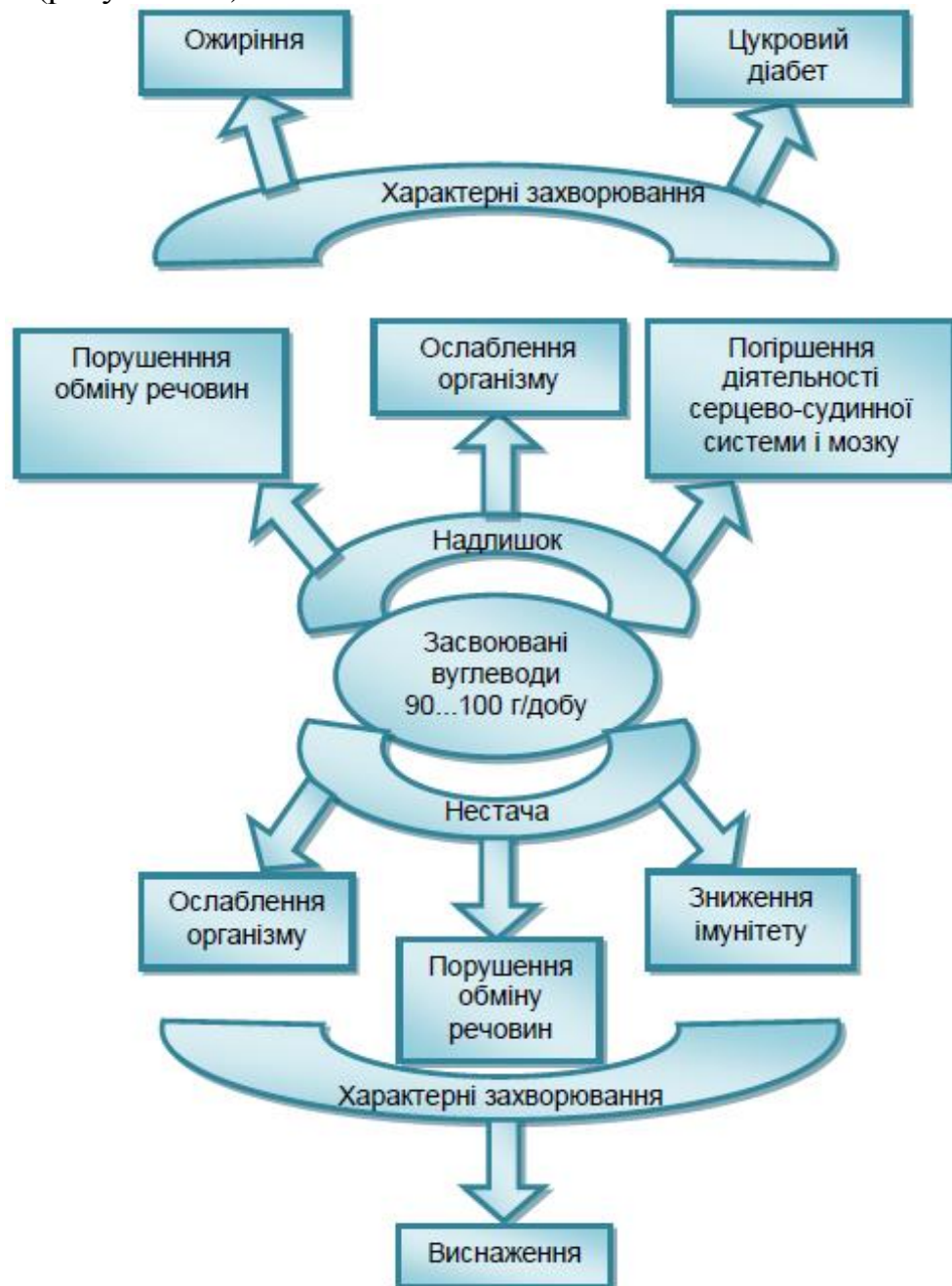


Рисунок 6.3 – Наслідки надлишку та нестачі засвоєваних вуглеводів

Невипадково цукровий діабет літніх людей називали "хворобою кондитерів". Задовго до появи діабету як захворювання у людей, споживаючих

багато цукру, знижується рівень цукру в крові (гіпоглікемія). Постійне надходження цукру в організм викликає підвищену активність ферментних систем, що утилізували його. Для підтримки необхідного рівня глюкози в крові цукру вимагається все більше і більше. У міру виснаження від надмірного навантаження ферментних механізмів переробки цукру гіпоглікемія переходить в гіперглікемію і діабет, які нерідко ускладнюються іншими порушеннями обміну речовин, що призводять до ожиріння, серцево-судинних захворювань.

За даними ВООЗ, споживання цукру в країнах з низькою смертністю від захворювань органів кровообігу коливається від 25 до 81 г на добу, в країнах з високою смертністю – від 87 до 136 г.

Проте неприпустимо цукор вважати шкідливим продуктом, шкідливо лише зловживання ним. В добовому раціоні харчування частка цукру від загальної кількості вуглеводів повинна складати 15...20%. Від такої кількості цукру організм не випробовуватиме зайвих навантажень.

*Лактоза* – найбільш важливий вуглевод в період грудного вигодовування і під час штучного вигодування маленьких дітей. Основним джерелом лактози в харчових продуктах є молоко (4,8-5,2%), вершки (3,7%), сметана і кефір (3,1-3,6%).

За відсутності або зменшенні ферменту лактази, що розщеплює лактозу до глюкози і галактози, настає непереносимість молока.

Велике значення для життєдіяльності організму мають олігосахариди, що містять більше двох моносахаридів. З причини складнішої хімічної структури ця група харчових компонентів значно повільніше піддається дії травних ферментів. Внаслідок цього велика їх частина переходить в товстий кишківник, де активно використовується як поживний субстрат представниками природної мікрофлори кишківника і особливо біфідобактеріями. У свою чергу це сприяє відновленню нормальних мікробних співвідношень і лужно-кислотного балансу в кишківнику, а також забезпечують організм цілим рядом вітамінів мікробного походження. З цієї причини ця група сполук відноситься до групи біфідогенних чинників і частково компенсує недолік харчових волокон.

Серед полісахаридів рослинних продуктів найбільше значення в живленні людини має крохмаль.

У організмі людини крохмаль сирих рослин поступово розпадається в травному тракті і починається його розпад вже у ротовій порожнині. З огляду на те, що процес гідролізу крохмалю в кишечнику відбувається поступово, прийом його з їжею не викликає такого різкого підйому цукру в крові і надмірного напруження інсуляторного апарату підшлункової залози, як глюкоза. Встановлено, що крохмаль знижує вміст холестерину в печінці і в сироватці крові, сприяє синтезу рибофлавіну кишковими бактеріями, який, входячи у ферменти сприяє перетворенню холестерину на жовчні кислоти і виведенню його з організму, що має велике значення для запобігання атеросклерозу. Крохмаль сприяє інтенсифікації обміну жирних кислот.

Найбільше крохмалю міститься в хлібопродуктах (40...73%), насінні бобових рослин (40...45%) і картоплі (15%).



У тваринних продуктах міститься відносно невелика кількість іншого засвоюваного полісахариду, близького за хімічною будовою до крохмалю, – глікогену (у печінці – 2...10%, в м'язовій тканині – 0,3...1,0%).

За нестачі вуглеводів в організмі з'являються слабкість, запаморочення, головний біль, відчуття голоду, сонливість, пітливість, тремтіння в руках.

### НЕЗАСВОЮВАНІ ВУГЛЕВОДИ

Основними незасвоюваними вуглеводами є так звані "харчові волокна" – суміш різних структурних полісахаридів рослинних клітин – целюлоза, геміцелюлоз і пектинових речовин, лігніну, а також неструктурних полісахаридів, що зустрічаються в натуральному виді в продуктах харчування – камеді, слизі, а також полісахаридів, що використовуються як харчові добавки.

Харчові волокна є стійкими до процесів травлення і адсорбції в тонкому кишечнику; вони частково або повністю можуть ферментуватися мікрофлорою товстого кишечника.

Харчові волокна класифікують за різними принципами. За будовою полімерів вони поділяються на:

- гомогенні (целюлоза, пектин, лігнін, альгінова кислота);
- гетерогенні (целюлозолігніни, геміцелюлозо-целюлозолігніни та ін.).

За видом сировини:

- харчові волокна з нижчих рослин (водоростей і грибів);
- харчові волокна з вищих рослин (злаків, трав, деревних).

За фізико-хімічними властивостями:

- розчинні у воді (пектин, камедь, слиз, розчинні фракції геміцелюлози);
- нерозчинні (целюлоза, лігнін, деякі геміцелюлози).

За методами виділення з сировини:

– неочищені волокна: у складі цілісного зерна і борошна з нього, нетрадиційні види борошна – вівсяна, горохова, пшоняна, вторинні продукти рослинної сировини;

- препарати волокон, виділені і очищені.

За ступенем мікробної ферментації в товстій кишці:

– такі, що майже (чи) повністю ферментуються: пектин, камедь, слиз, геміцелюлози, інουλін;

- такі, що частково ферментуються: целюлоза, геміцелюлози;

- неферментовані: лігнін.

За основними медико-біологічними ефектами:

– такі, що прискорюють і підвищують відчуття насичення, завдяки зв'язуванню води в шлунку – пектин, гуар та ін.

– такі, що інгібують евакуаторну функцію шлунку – в'язкі харчові волокна (гуар та ін.).

– такі, що стимулюють моторну функцію товстої кишки – аморфні харчові волокна (целюлоза та ін.).

– такі, що збільшують масу фекалій і, відповідно, частоту дефекації за рахунок утримування води в просвіті товстої кишки (харчові волокна пшениці, бобових) і зростання маси мікрофлори товстої кишки (харчові волокна капусти

та ін.).

– такі, що сорбують жовчні кислоти, холестерин, токсини і радіонукліди – гуар, целюлоза, пектин, лігнін.

– такі, що уповільнюють всмоктування вуглеводів – пектин, гуар.

– такі, що знижують рівень глюкози і інсуліну в крові – пектин,  $\beta$ -глюкани.

– такі, що чинять антиоксидантну дію – лігнін.

– такі, що мають пребіотичні властивості, сприяють нормалізації мікрофлори кишечника, – гуміарабік, інулін, полідекстроза.

*Целюлоза* – основний структурний компонент оболонки рослинної клітини. Основна її фізіологічна дія – здатність зв'язувати воду (до 0,4 г води на 1 г клітковини).

*Геміцелюлози* – полісахариди клітинної оболонки, що складаються з полімерів глюкози й інших гексоз. Вони здатні також утримувати воду і зв'язувати катіони.

*Пектинові речовини* входять до числа основних компонентів рослин і водоростей. Загальною ознакою пектинових речовин є основний ланцюг полігалактуронової кислоти. Однією з найважливіших властивостей пектинових речовин є комплексоутворювальна здатність, що ґрунтується на взаємодії молекули пектину з іонами важких металів і радіонуклідів. Це дає основу рекомендувати пектин для включення в раціон харчування осіб, що знаходяться в середовищі, забрудненому радіонуклідами, і що мають контакт з важкими металами. Профілактична норма пектину, затверджена ВООЗ, складає 2...4 г на добу; для осіб, працюючих в несприятливих умовах, складає 8...10 г на добу.

Пектин має лікувальні властивості і застосовується у випадку розладів травного тракту (гастроентерити, діарея), зменшує втрату води організмом, скорочує згортання крові, зв'язує багато отрут, уповільнює виділення з організму аскорбінової кислоти, інсуліну, антибіотиків, знижує вміст холестерину в крові, впливає на обмін жовчних кислот, має анафілактичну дію, зумовлює пролонговану дія багатьох лікарських речовин. Пектин зв'язує стронцій, кобальт, радіоактивні ізотопи. Велика частина пектинів не перетравлюється і не всмоктується організмом, а виводиться з нього разом з шкідливими речовинами. Пектини покращують травлення, знижують процеси гниття в кишечнику і виводять отруйні продукти обміну, що утворюються в самому організмі; сприяють виробленню в кишечнику вітамінів групи В, особливо В<sub>12</sub>, життєдіяльності і зростанню корисних мікроорганізмів в кишечнику, виведенню зайвої кількості холестерину.

Пектин яблук затримує розмноження грипозного вірусу "А", зменшує наслідки ртутного і свинцевого отруєння, сприяє виведенню свинцю з кісткової тканини. Пектин у відносно великих кількостях міститься в овочах (0,4...0,6%), фруктах (від 0,4% у вишнях до 1% в яблуках, але особливо багато в шкірці – від 1,5% в яблучній до 30% в цитрусовій) і ягодах (від 0,6% у винограді до 1...2% в чорній смородині), а також в суниці, журавлині, апельсинах, калині та ін.

У промислових масштабах пектин отримують з буряка, віджатих лимонів, яблук і інших продуктів. Він широко використовується в харчовій промисловості для виробництва джемів, зефіру, мармеладу, повидла.

У ламінарії є присутньою *альгінова кислота* – аналог пектинової кислоти. Вона складається із залишків D-мануронової і D-гулууронової кислот, з'єднаних β-глікозидними зв'язками. У водоростях альгінова кислота присутня у вигляді солей кальцію, магнію, натрію і т.д. і складає до 30% сухої маси водоростей.

*Альгінова кислота* є природним іонообмінником і має здатність селективно адсорбувати катіони важких металів і радіоізотопи. Застосування альгінової кислоти сприяє запобіганню відкладенню радіоактивного стронцію в організмі людини і тварин. Іонообмінні властивості альгінової кислоти залежать від співвідношення уронових кислот. Більший вміст L-гулууронової кислоти забезпечує велику адсорбційну здатність.

У зв'язку з цим ламінарія має велике значення для отримання харчової сировини. Перспективною сировиною для виробництва альгінату натрію є також відходи первинної обробки талому водорості, в яких локалізується альгінова кислота, збагачена L-гулууроновою кислотою.

*Лігніни* є безвуглеводними речовинами клітинної оболонки, що складаються з полімерів ароматичних спиртів. Лігніни в людському організмі здатні зв'язувати солі жовчної кислоти і інші органічні речовини, а також уповільнювати або порушувати абсорбцію харчових речовин в товстому кишечнику.

*Камедь* – гетерополісахариди, що складаються із залишків галактози, манози, арабінози, рамнози, глюкуронової або галактуронової кислоти. Найчастіше зустрічаються на плодівих деревах – вишні, абрикосі та ін. Вони складаються з гетерополісахаридів з обов'язковою участю уронових кислот, карбонільні групи яких з'єднані з йонами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  і  $\text{Mg}^{2+}$ . За розчинністю у воді поділяються на 3 групи: арабінові, добре розчинні у воді (абрикосова і аравійська камеді); басоринові, погано розчинні у воді, але сильно в ній набрякають (трагакантова камедь), і церазинові, погано розчинні і такі, що погано набрякають у воді (вишнева, сливова камедь). Камедь виникає в результаті витікання соків з ушкоджених рослин. Вони без смаку або мають слабкий солодкуватий смак. Спочатку м'які і в'язкі, на повітрі вони поступово тверднуть, перетворюючись на аморфну масу різноманітної форми і величини. Рідше камедь виникає на коренях, плодах, насінні.

Завдяки високій емульгуючій та обволікаючій здатності камеді сприятливо впливають на шлунково-кишковий тракт.

*Глюкоманан* – представник нейтральних камедей (полісахаридів, здатних до набрякання). Нейтральна камедь використовується в харчовій промисловості в якості загусників, а в дієтотерапії – як джерело незасвоєваних харчових волокон, що збільшують об'єм їжі, посилюють відчуття ситості. Глюкоманан отримують з бульб конжака (*Amorphophallus konjak*) – родини Ароїдних, що традиційно вживається в їжу жителями Японії.

*Гуарова камедь* – гелеутворююча клітковина з соку індійської акації –

здатна знижувати рівень холестерину в крові, а також уповільнювати всмоктування цукру з шлунково-кишкового тракту.

*Демоноропс* (*Daemonorops drako*) – камедь, що отримується з фруктів різних видів *Daemonorops* родини *Palmae*. Застосовується в якості кровоспинного і болезаспокійливого засобу.

*Слиз* – суміші полісахаридів – пентозанів і гексозанів, що здатні утворювати у воді густі слизові розчини. Зустрічаються в насінні льону, подорожника, коренях алтея, бульбах зозулинця, квітках липи, листі мати-й-мачухи. Слиз також знаходиться у внутрішньому шарі бобів, горіхів і насіння. З хімічної точки зору вони мало відрізняються від камеді, характеризуються тим, що у їхньому складі переважають пентозани. Вони добре і повністю розчиняються у воді, під час кислотного гідролізу розщеплюються, утворюючи галактозу, ксилозу, арабінозу, рамнозу, манозу, глюкозу і галактуронову кислоту. Слиз сприятливо діє на шлунково-кишковий тракт, у випадках подразнення верхніх дихальних шляхів та рефлекторно виникаючому кашлі. Багато слизу міститься у вівсяній, рисовій і перловій крупі, толокні, що дозволяє їх використовувати у випадку захворювань шлунково-кишкового тракту. Деякі види слизу мають послаблювальну дію, знижують рівень холестерину в крові, зменшують відчуття голоду. Вони широко використовуються в харчовій промисловості у виробництві сиру, супів, морозива, приправ.

У водоростях містяться полісахариди – *карагенін*, *ламінарин* і *фуколдин*. Будучи структурними або запасними поліозами водоростей, вони є присутніми практично в усіх водоростях, складаючи іноді десятки відсотків від їх маси. Установлено, що ті з них, які містять естерозв'язану сірчану кислоту, подовжують час згортання крові і мають антиліпемічний ефект, інші – здатністю зв'язувати вибірково радіоактивний стронцій (ця властивість особливо виражена у низькомолекулярних фракцій альгінової кислоти), запобігаючи його всмоктуванню і накопиченню в організмі. Окремі полісахариди ( $\lambda$ -фракції карагеніну і продукти їх переробки) знижують секреторну діяльність шлунково-кишкового тракту, зменшують протеолітичну функцію пепсину, попереджаючи розвиток пептичних виразок шлунку і дванадцятипалої кишки.

До харчових волокон відносять пребіотики, що вибірково стимулюють зростання і/або активність захисної мікрофлори кишечника людини і що покращують тим самим його здоров'я. Одним з пребіотиків є *инулін* – високомолекулярний фруктозан. Це полісахарид, що складається з 34...35 залишків фруктози, зв'язаних  $\beta$ -глікозидним зв'язком. Він, як і крохмаль, є резервним вуглеводом, розчиняється у воді, осідає з водних розчинів за додавання спирту. Міститься у великих кількостях у бульбах земляної груші і жоржини, в коренях кульбаби, коксагізу і цикорію, в артишоках, в коренях, листі і стеблах каучуконосної рослини гваюли.

*Инулін* стимулює зростання і активність біфідо- і лактобактерій; підвищує всмоктування кальцію в товстій кишці, тим самим знижуючи ризик остеопорозу; впливає на метаболізм ліпідів; знижує ризик розвитку цукрового

діабету; має антиканцерогенну дію; зменшує ризик атеросклеротичних змін в серцево-судинній системі.

Таким чином, харчові волокна – один з компонентів комплексної профілактики порушень жирового обміну, атеросклерозу, цукрового діабету, жовчнокам'яної хвороби. Останніми роками з'явилися дані, що свідчать про те, що нестача харчових волокон викликає розвиток сечокам'яної хвороби, виразкової хвороби шлунку і дванадцятипалої кишки, подагри, карієсу і навіть варикозного розширення вен (рисунок 6.4).

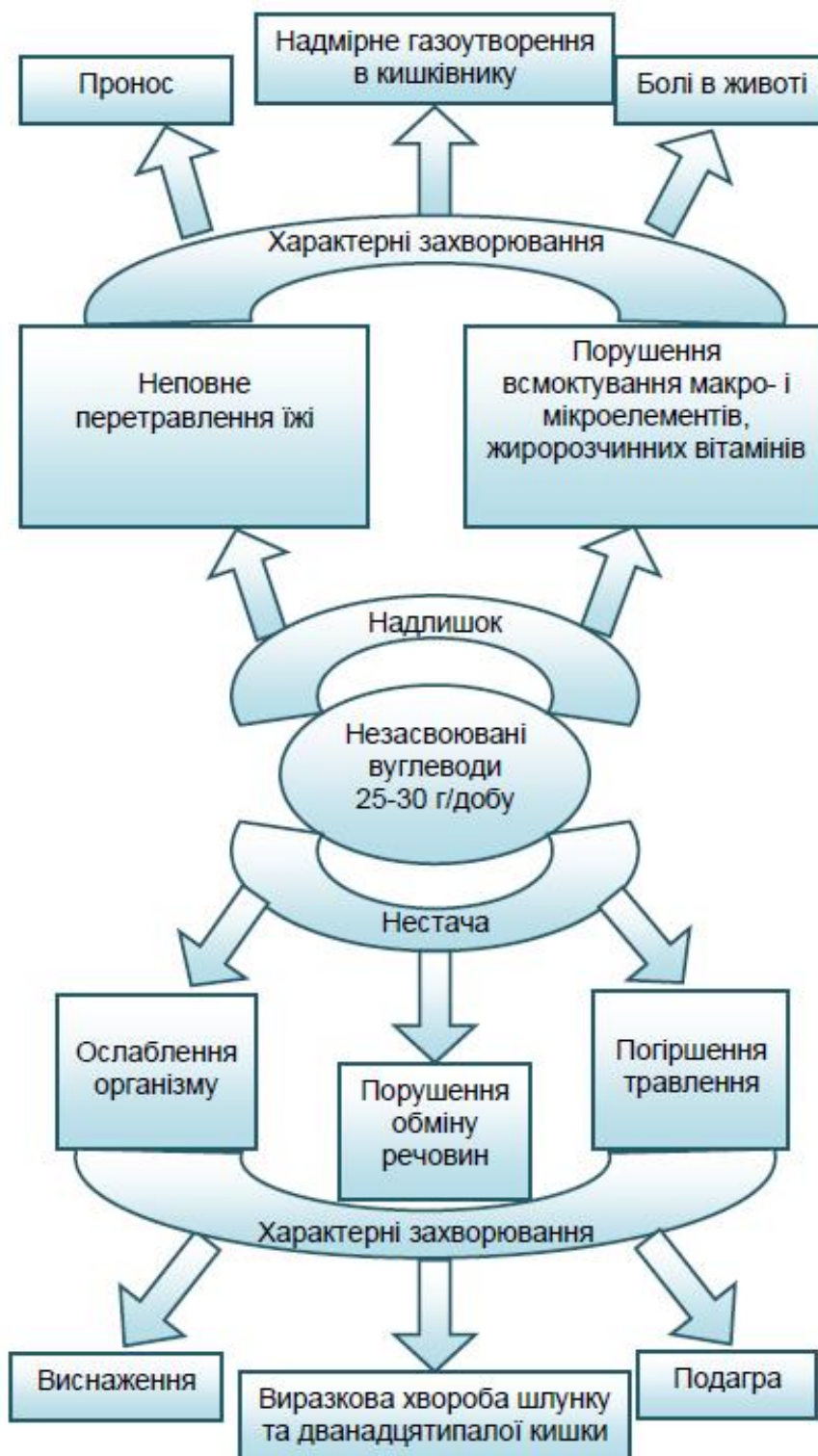


Рисунок 6.4 – Основні небезпеки нестачі і надлишку незасвоєваних вуглеводів.

Відомий німецький хімік, один з творців агрохімії, іноземний член-кореспондент Петербурзької академії Юстус Лібіх, ще в своїх знаменитих "Листах про хімію" (1861 р.) вказував, що "відділення висівок від борошна є розкіш і для живлення швидше шкідливою, ніж корисною". Пройшло більше століття, і під цей висновок підведена чітка наукова основа (таблиця 6.3).

Добова норма харчових волокон для дорослої людини – 25...30 г.

До продуктів з найбільш високим вмістом харчових волокон відносяться пшеничні і житні висівки, хліб з борошна грубого помелу, білково-висівковий хліб, сухофрукти (особливо чорнослив, урюк, курага), буряк, морква, крупи (ячна, гречана, перлова, вівсяна), окремі фрукти, ягоди, овочі (таблиця 6.5).

Таблиця 6.5 – Вміст незасвоюваних вуглеводів в харчових продуктах

Продукти	Вміст полісахаридів, г/100 г		
	Клітковина	Геміцелюлоза	Пектин
Хліб житній	1,10	6,4	-
Хліб пшеничний з борошна 2-гого сорту	0,40	4,1	-
Батони	0,15	3,4	-
Сухарі вершкові	0,11	3,5	-
Макаронні вироби	0,10	5,1	-
Баклажани	1,30	0,1	0,4
Капуста	1,00	0,5	0,6
Картопля	1,00	0,3	0,5
Лук ріпчастий	0,70	0,2	0,4
Морква	1,20	0,3	0,6
Огірки	0,70	0,1	0,4
Абрикоси	0,80	0,3	0,7
Вишня	0,50	0,1	0,4
Груша	0,60	0,2	0,6
Персики	0,90	0,2	0,7
Сливи	0,50	0,2	0,9
Черешня	0,30	0,2	0,4
Яблука	0,80	0,4	1,0
Апельсини	1,40	0,2	0,6
Лимони	1,30	0,1	0,5
Мандарини	0,60	0,1	0,4
Виноград	0,60	0,6	0,6
Полуниця	4,00	0,2	0,7
Журавлина	2,00	0,3	0,7
Агрус	2,00	0,2	0,7
Малина	5,10	0,1	0,6
Обліпіха	4,70	0,1	0,4
Смородина чорна	3,00	0,1	1,1
Соя	4,30	6,3	-
Крупа гречана	1,10	-	-
Крупа пшенична	0,70	3,9	-
Крупа рисова	0,40	-	-
Горох	5,70	4,4	0,3
Квасоля	3,80	3,9	0,2

Харчові волокна впливають на функцію товстого кишечника. Вони стимулюють перистальтику, посилюють виділення жовчі. Харчові волокна здатні затримувати в кишечнику воду, що має особливе значення в профілактиці запорів, геморою. Вони здатні адсорбувати продукти обміну мікроорганізмів, жовчні кислоти, солі важких металів, що поступили в кишечник. Ця одна з найважливіших властивостей харчових волокон, особливо пектинових речовин, сприяючі профілактиці раку кишечника, зменшенню інтоксикації організму як власними отрутами кишечника (індол, скатол, аміак), так і тими, що надійшли ззовні.

В той же час надмірне споживання харчових волокон є швидше шкідливим, ніж корисним. Воно може призвести до неповного перетравлення їжі, порушення всмоктування в кишечнику макро- і мікроелементів, а також жиророзчинних вітамінів. Надмірне споживання харчових волокон викликає проноси, дискомфорт від надмірного утворення газів в кишечнику, болі в животі.

У харчовому раціоні до 70...75% вуглеводів повинно припадає на частку крохмалю, близько 10% – на частку харчових волокон і 15...20% – на частку простих цукрів. Порушення фізіологічної потреби у вуглеводах має несприятливу дію на організм людини.

#### **6.4 Функції вуглеводів в харчових продуктах**

##### **ГІДРОФІЛЬНІСТЬ**

*Гідрофільність* – одна з найважливіших властивостей вуглеводів, що використовуються в отриманні харчових продуктів. Гідрофільність зумовлена наявністю численних ОН-груп. Вони взаємодіють з молекулою води за допомогою водневого зв'язку, призводячи таким чином до сольватації і/або до розчинення цукрів і багатьох їх полімерів. Ефект зв'язування води значною мірою залежить від структури цукру. Наприклад, фруктоза є значно більш гігроскопічною, ніж D-глюкоза, хоча вони мають і однакове число гідроксильних груп. За 100%-вої рівноважної відносної вологості повітря сахароза і мальтоза зв'язують однакову кількість води, в той же час лактоза є набагато менш гігроскопічною. Форми гідратів, що мають міцну кристалічну структуру, у меншій мірі здатні абсорбувати вологу.

Слід зазначити, що неочищені цукор або цукрові сиропи в більшій мірі здатні абсорбувати воду, ніж очищені цукри. Причина цього явища полягає в тому, що домішки перешкоджають утворенню водневих зв'язків між молекулами цукру, і ОН-групи цукрів стають доступнішими для зв'язування води за допомогою водневих зв'язків. Здатність зв'язувати воду і контролювати активність води ( $a_w$ ) в харчових продуктах – одна з найбільш важливих властивостей вуглеводів.

##### **ЗВ'ЯЗУВАННЯ АРОМАТИЧНИХ РЕЧОВИН**

Для багатьох харчових продуктів, під час отримання яких використовуються різні види висушування, вуглеводи є важливим компонентом, що сприяє збереженню кольору і летких ароматичних речовин. Суть цього процесу полягає в заміні взаємодії цукор-вода на взаємодію цукор-

ароматична речовина:

**Цукор-вода + ароматична речовина → цукор-ароматична речовина + вода**

*Леткі ароматичні речовини* – це численна група карбонільних сполук (альдегіди, кетони), похідні карбонових кислот та ін.

Здатність до зв'язування ароматичних речовин у дисахаридів виражена в більшій мірі, ніж у моносахаридів. Дуже добрими фіксаторами аромату є циклодекстрини (декстрин Шардінгера, рисунок 6.5), які утворюються під час дії на крохмаль амілази *Bacillus macerans*.

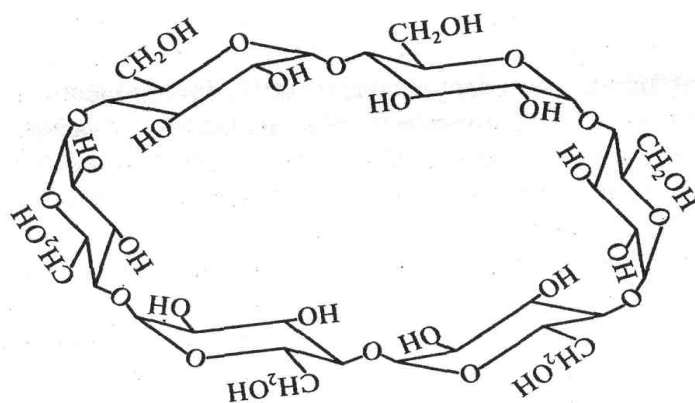


Рисунок 6.5 – Декстрин Шардінгера

Ефективними фіксаторами аромату і барвникових речовин є великі вуглеводні молекули, наприклад, гуміарабік. Утворюючи плівку навколо цих речовин, він перешкоджає абсорбції вологи і втраті її за рахунок випаровування і хімічного окиснення. В харчовій промисловості для фіксації харчових ароматів використовують мікрокапсулювання сумішей гуміарабіку і желатину.

#### УТВОРЕННЯ ХАРЧОВОГО АРОМАТУ ЗА ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ

Продукти термічного розкладання цукрів включають піранові і фуранові сполуки, а також фуранони, лактони, етери. Наявність тих або інших ароматичних сполук надає кожному продукту властивого йому аромату.

За перебігу цукор-амінної реакції також утворюються ароматичні речовини – імідазоли, піразини, піроли та ін. Наприклад, під час взаємодії D-глюкози з амінокислотами за 100°C може продукуватися карамелевий аромат (якщо використовується амінокислота – гліцин), аромат житнього хліба (D-глюкоза + валін), шоколаду (D-глюкоза + глютамін). Крім того, утворення тих чи інших ароматичних речовин залежить від температури. Наприклад, під час реакції D-глюкози з валіном за 100°C – відчувається аромат житнього хліба, а за 180°C – аромат шоколаду; з проліном – за 100°C – запах смаженого білку, а за 180°C – аромат, притаманний пекарним виробам. Гістидин під час реакції з D-глюкозою (100°C) не дає ніякого аромату, а за 180°C – запах паленого цукру. Аромат, що утворюється за реакції D-глюкози з сульфурвмісними амінокислотами, відрізняється від того, що утворюється в результаті взаємодії D-глюкози з нессульфурвмісними амінокислотами. Так, під час взаємодії D-глюкози з метіоніном утворюються продукти, що мають запах картоплі, з цистеїном і цистином – запах смаженого м'яса. Ці особливості необхідно враховувати під час виробництва харчових продуктів, і у ряді випадків, з точки зору споживчих властивостей,



кількість летких ароматичних компонентів повинно обмежуватися.

### СОЛОДКІСТЬ

Відчуття солодкості у роті під час споживання низькомолекулярних вуглеводів характеризує ще одну важливу їх функцію в харчових продуктах. У таблиці 6.6 наведена характеристика відносної солодкості різних вуглеводів в порівнянні з сахарозою (солодкість якої приймається за 100).

Таблиця 6.6 – Відносна солодкість (ВС) різних вуглеводів і деяких штучних підсолоджувачів

Цукор	ВС	Цукор або підсолоджувач	ВС
Сахароза	100	$\alpha$ - D- лактоза	16
$\beta$ - D- фруктоза	180	$\beta$ - D- лактоза	32
$\alpha$ - D- глюкоза	74	Ксилоза	40
$\beta$ - D - глюкоза	82	Сорбіт	63
$\alpha$ - D- галактоза	32	Ксиліт	90
$\beta$ - D- галактоза	21	Цикламат	500
$\alpha$ - D- маноза	32	Аспартам	180
$\beta$ - D- маноза	Гірка	Сахарин	500

### 6.5 Структурно-функціональні властивості окремих представників полісахаридів

Полісахариди, присутні в харчових продуктах, виконують важливу функцію, яка полягає в забезпеченні їх якості і текстури: твердості, крихкості, густини, загущення, в'язкості, клейкості, гелеутворюючої здатності, відчуття у роті. Саме завдяки полісахаридам утворюється структура харчового продукту – м'яка або крихка, набрякла або желеподібна.

Усі розчинні полісахариди дають в'язкі розчини через великий розмір їх молекул. Серед натуральних харчових полісахаридів найменш в'язкими є розчини гуміарабіку. В'язкість залежить від розміру молекули, форми і заряду. Якщо молекула має заряд за рахунок йонізації присутніх в ній карбоксильних груп, то ефект впливу заряду може бути дуже великим в усіх випадках, окрім дуже кислих розчинів. В'язкість залежить від присутності поліелектролітів (впливають на конфігурацію і розмір молекули) і природи присутніх сторонніх речовин (можуть спричиняти гальмівну дію на витікання полімеру).

Все, що змушує нерозчинні лінійні молекули перетворюватись на більш витягнуті, призводить до збільшення в'язкості, і, відповідно, якщо в результаті якої-небудь дії молекули стають менш лінійними, тобто компактнішими або згорнутими, в'язкість розчину зменшується.

### КРОХМАЛЬ

*Крохмаль* – рослинний полісахарид зі складною будовою. Він складається з амілози і амілопектину; їх співвідношення різне в різних крохмалях (амілози 13...30%; амілопектину 70...85%). Амілоза і амілопектин (таблиця 6.7) в рослинах формуються у вигляді крохмальних зерен, структура яких до кінця не з'ясована.

Таблиця 6.7 – Властивості амілози і амілопектину

Властивості	Амілоза	Амілопектин
Молекулярна маса	50 тис....2 млн.	Від 1 до декількох млн.
Здатність до ретроградції	Висока	Низька
Продукти дії β-амілази	Мальтоза	Мальтоза; β-насичений декстрин
Продукти дії глюкоамілази	D- глюкоза	D- глюкоза
Форма молекули	Лінійна	Розгалужена

Крохмаль є важливим компонентом харчових продуктів що виконує роль загусника і зв'язуючого агента. У одних випадках він є присутнім в сировині, яка переробляється в харчові продукти (наприклад, хлібобулочні вироби). У інших – його додають для надання продукту тих чи інших властивостей – він широко використовується у виробництві пудингів, концентратів супів, киселів, соусів, салатних приправ, начинок, майонезу; один з компонентів крохмалю – амілоза використовується для харчових оболонок і покриттів.

До основних фізико-хімічних властивостей крохмалю, що мають велике значення для харчових продуктів відносяться здатність крохмалю до клейстеризації, в'язкість клейстеризованих розчинів та їх здатність утворювати желе.

Неушкоджені крохмальні зерна є нерозчинними у воді, але можуть оборотно вбирати вологу і легко набрякають. Збільшення діаметру зерен під час набрякання залежить від виду крохмалю. Наприклад, для звичайного кукурудзяного крохмалю – 9,1%, для воскоподібного – 22,7%.

### Клейстеризація крохмалю

Здатність до клейстероутворення зумовлена наявністю в крохмалі амілопектину. *Клейстеризація крохмалю* проявляється в процесі його нагрівання у воді і проходить три фази:

– у першій фазі нагрівання вода повільно і оборотно поглинається зернами крохмалю, причому відбувається їх обмежене набрякання;

– друга фаза характеризується тим, що зерна швидко набрякають, у багато разів збільшуючись, поглинаючи велику кількість вологи і швидко втрачаючи свою кристалічну структуру; в'язкість крохмальної суспензії швидко зростає, і невелика кількість крохмалю розчиняється у воді;

– у третій фазі набрякання, що відбувається за підвищених температур, зерна стають майже безформними мішечками, з яких вимилася найбільш розчинна частина крохмалю.

Як правило, великі крохмальні зерна клейстеризуються за нижчої температури, ніж дрібні. Температуру, що відповідає руйнуванню внутрішньої структури крохмальних зерен, називають *температурою клейстеризації*. Вона залежить від джерела одержання крохмалю (таблиця 6.8).

*В'язкість крохмального клейстеру* має дуже важливе практичне значення. В'язкість амілопектинової фракції вища, ніж амілозної, внаслідок розгалуженої будови молекули амілопектину (внутрішнє тертя, у розчинів з такими об'ємистими молекулами більше).

Криві в'язкості, отримані на ротаційному віскозиметрі, показують, що спочатку збільшення температури призводить до крутого підйому в'язкості, що пов'язано з набряканням крохмальних зерен. Потім набряклі крохмальні зерна розриваються і дезінтегрують, викликаючи падіння в'язкості (рисунок 6.6). Нахил кривих сильно відрізняється для різних крохмалів.

Таблиця 6.8 – Залежність температури клейстеризації крохмалю від джерела одержання

Джерело	Вміст амілози, %	Температура клейстеризації, °С
Кукурудза	28	62 – 70
Картопля	23	58 – 66
Тапіока	–	52 – 64
Пшениця	26	53 – 65
Рис	18	61 – 78
Жито	–	57 – 70
Ячмінь	22	56 – 62
Овес	27	56 – 62
Сорго	25	69 – 75
Горох	35	57 – 70
Квасоля	24	64 – 67
Воскоподібна кукурудза	1	63 – 72

### В'язкість крохмального клейстеру

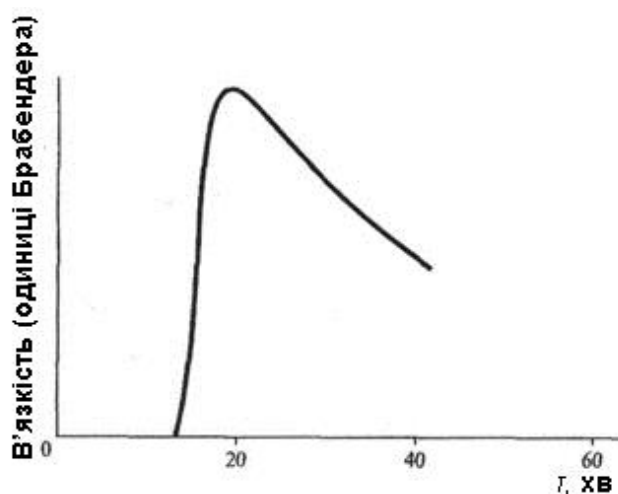


Рисунок 6.6 – Зміна в'язкості в процесі клейстеризації крохмальної суспензії.

Харчові кулінарні вироби, що отримуються з крохмалю (соуси, підливки, киселі й ін.), повинні мати необхідну в'язкість. Чим більшу в'язкість має клейстер, що містить певну кількість крохмалю, тим менше його потрібно витратити для отримання продуктів з необхідною в'язкістю. Картопляний крохмаль дає клейстер зі значно більшою (в середньому) в'язкістю, ніж кукурудзяний. Для отримання клейстеру з однаковою в'язкістю треба брати різні кількості того або іншого крохмалю.

Клейстеризація крохмалю, в'язкість крохмальних розчинів, характеристика крохмальних гелів залежать не лише від температури, але і від виду і кількості інших присутніх компонентів. На це необхідно зважати, оскільки в процесі

виробництва харчових продуктів крохмалі знаходиться у присутності таких речовин, як цукор, білки, жири, харчові кислоти і вода.

Так, високий вміст цукру зменшує швидкість клейстеризації крохмалю, знижує пік в'язкості. Встановлено, що дисахариди зменшують силу крохмальних гелів, відіграючи роль пластифікатора і втручаючись в утворення зон зв'язування.

На клейстеризацію крохмалю під час виробництва харчових продуктів впливають і ліпіди – тригліцериди (жири, олії), моно- і дигліцериди. Жири, які можуть утворювати комплекси з амілозою, гальмують набрякання крохмальних зерен. Внаслідок цього у білому хлібі, в якому мало жиру, 96% крохмалю зазвичай є повністю клейстеризованими. У виробництві випічки клейстеризації крохмалю значно перешкоджають два чинники: великі концентрації жиру і низька активність води  $a_w$ .

Моногліцериди жирних кислот ( $C_{16}...C_{18}$ ) призводять до збільшення температури клейстеризації, збільшення температури, що відповідає піку в'язкості, зменшенню сили гелю. Це пов'язано з тим, що компоненти жирних кислот в моноацилгліцериди можуть утворювати сполуки включення з амілозою, а, можливо, і з довгими зовнішніми ланцюгами амілопектину.

У багатьох продуктах, де використовується крохмаль в якості загусника, є присутніми і кислоти. За низьких рН (салатні приправи, фруктові начинки) має місце значне зниження піку в'язкості крохмального клейстеру і швидке зниження в'язкості за нагрівання. За низьких рН має місце інтенсивний гідроліз з утворенням незагусаючого декстрину. Тому для уникнення кислотного розрідження, в кислих продуктах в якості загусника використовують модифіковані поперечно-зшиті крохмалі.

*Желеутворююча* здатність крохмалю проявляється за достатнього вмісту крохмалю в клейстері, а утворення і властивості желе з них залежать, в основному, від амілозної фракції. Відомо, що желе утворюються в тих випадках, коли молекули мають будову ланцюга (лінійну).

Утворення желе використовується, наприклад, у виготовленні киселів, запіканок, цукерок, ковбас та ін.

Властивості крохмальних желе залежать від концентрації крохмалю, тривалості вистоювання й інших чинників. Міцність желе швидко зростає з часом їхнього зберігання і вистоювання, найшвидше це відбувається у концентрованих желе.

Желе з крохмалів різних видів за своїми властивостями не є однаковими.

Желе, що змінили первинну міцність під час зберігання, після вторинного нагрівання набувають її знову, тобто явище структуроутворення є оборотним за нагрівання, причому у рисових і пшеничних крохмалів спостерігається повна оборотність, а у картопляних – обмежена.

У крохмальних желе, особливо з картопляного крохмалю, з часом спостерігається *синерезис*, що проявляється в тому, що в результаті ущільнення структури гелю виділяється вільна вода на поверхні.

У молекулі крохмалю є багато вільних гідроксильних груп, які здатні

вступати в хімічні реакції з багатьма сполуками і утворювати етери й різні похідні. На цьому засновано отримання різних модифікованих його похідних.

### **Модифіковані крохмалі**

*Модифіковані, або змінені, крохмалі*, що мають нові властивості, знаходять все більше і різноманітніше застосування в різних галузях харчової промисловості.

Модифіковані крохмалі – це крохмалі, властивості яких змінені в результаті спеціальної обробки. Крохмаль з іншими властивостями отримують впливаючи на нього різними фізичними, хімічними і біологічними реагентами, що цілеспрямовано змінюють такі його властивості, як розчинність, в'язкість, прозорість, стабільність клейстеру й інші фізико-хімічні параметри. Модифіковані крохмалі мають, як правило, такий же зовнішній вигляд, як і звичайний (нативний) крохмаль.

Основними перетвореннями, які зазнають крохмалі під час модифікації є наступні:

1) розщеплення (деполімеризація) полісахаридних компонентів крохмалю зі збереженням або без збереження зернистої структури;

2) збільшення кількості наявних або поява нових функціональних груп, перебудова структури полісахаридних ланцюгів в результаті трансгліколізування.

3) втрата зернами крохмалю первинної структури і набуття ними після дегідратації нової структури;

4) взаємодія гідроксильних груп крохмалю з різними хімічними речовинами з утворенням етерних зв'язків і приєднанням їх залишків;

5) одночасна полімеризація блоків часткового гідролізу крохмалю й інших мономерів (сополімеризація) з утворенням нових сполук.

Модифіковані крохмалі можуть бути отримані шляхом одного з вказаних перетворень або в результаті двох і більше перетворень, що відбуваються одночасно або послідовно.

*Крохмалі, що набрякають*, отримують повною або частковою клейстеризацією нативного або модифікованого крохмалю у воді за нагрівання з подальшим висушуванням клейстеру і подрібненням. Клейстеризацію здійснюють наступним чином: крохмальну суспензію поміщають між двома горизонтальними циліндрами, що обертаються протилежно і які нагріваються паром, після чого отриманий клейстер висушують у вигляді тонкої плівки і подрібнюють в порошок. Отримані таким чином крохмалі здатні набрякати в холодній воді, повністю або частково переходити в розчинний стан. Крохмалі, що набрякають, вводять в сухі суміші морозива, пудингів, кремів й інших виробів швидкого приготування.

*Крохмаль, модифікований кислотою*, отримують шляхом оброблення крохмальної суспензії соляною або сірчаною кислотою за температури 25...55°C, тривалість обробки залежить від показників в'язкості, яку хочуть отримати і може складати 6...24 год. В ході цього процесу у зернах послаблюються міжмолекулярні зв'язки і відбувається часткове розщеплення

глікозидних зв'язків. Молекули амілопектину стають менш розгалуженими, внаслідок чого крохмаль дає прозоріше желе. Цей крохмаль є практично нерозчинним в холодній воді, але добре розчинний в киплячій воді. Для модифікованого кислотою крохмалю, в порівнянні з нативним, характерна нижча в'язкість гарячого клейстеру, зменшення сили гелю, збільшення температури клейстеризації. Такі крохмалі широко застосовують в харчовій промисловості: кукурудзяний і пшеничний – для приготування цукерок, рахат-лукуму й інших кондитерських виробів; картопляний – для пудингових сумішей.

*Естерифіковані крохмалі.* Відомо, що крохмаль може бути підданий естерифікації, так як його мономер містить три вільні гідроксили. У харчовій промисловості частіше застосовують крохмалефосфати – естери крохмалю і фосфорної кислоти. Їх використовують як загусники, стабілізатори, емульгатори, що не мають запаху і смаку.

*Монофосфати* отримують за нагрівання крохмалю з водорозчинними фосфатами, солями орто-, піро- або метафосфорної кислоти впродовж 1...6 год за підвищеної температури (зазвичай 50...60°C). В порівнянні зі звичайним крохмалем цей крохмаль має нижчу температуру клейстеризації, набрякає в холодній воді, має знижену здатність до ретроградації. Характеристика фосфатних зернових крохмалів в принципі подібна до картопляного крохмалю, який теж містить фосфатні групи. Монофосфатний крохмаль застосовують в заморожених продуктах в якості загусника, завдяки його винятковій стабільності під час заморожування-відтавання. Заздалегідь клейстеризований фосфатний крохмаль диспергує в холодній воді, завдяки чому може успішно використовуватися в інстант-десертних порошкоподібних продуктах і в морозиві.

На відміну від монофосфатного крохмалю, в дифосфатному крохмалі фосфат естерифікується з двома гідроксильними групами, часто з двох сусідніх крохмальних ланцюгів. Таким чином, утворюється хімічний міст між сусідніми ланцюгами, і такі крохмалі відносять до впоперек-зшитих крохмалів. Наявність ковалентного зв'язку між двома крохмальними ланцюгами оберігає крохмальні зерна від набухання, дає велику стабільність за нагрівання і можливого гідролізу.

Впоперек-зшиті крохмалі можуть бути отримані реакцією крохмалю (R-OH) з бі- та поліфункціональними агентами, такими як триметафосфат натрію, оксихлорид фосфору, змішані ангідриди оцтової та дикарбонової (наприклад, адіпіновою) кислоти.

Найбільш значна зміна у властивостях впоперек-зшитого крохмалю – висока стабільність за підвищених температур, низьких значеннях рН, механічних діях, зниження здатності до ретроградації, стабільність під час заморожування-відтавання; в процесі зберігання клейстеру впоперек-зшитих крохмалів не спостерігається синерезис. Завдяки цим властивостям впоперек-зшиті крохмалі застосовують в дитячому харчуванні, салатних приправах, фруктових начинках, в кремах.

*Ацетати крохмалю* низького ступеня заміщення отримують шляхом обробки зерен крохмалю оцтовою кислотою або, прийнятніше, оцтовим ангідридом у присутності каталізатора (як правило за pH 7...11; t=25°C). Розчини ацетатів крохмалю є дуже стабільними, оскільки наявність ацетилгруп перешкоджає асоціації двох амілозних молекул і довгих бічних ланцюгів амілопектину. Ацетати крохмалю в порівнянні зі звичайним кукурудзяним крохмалем мають знижену температуру клейстеризації, знижену здатність до ретроградації, утворюють прозорий і стабільний клейстер. Завдяки цим якостям ацетати крохмалю застосовують в заморожених продуктах, пекарних виробках, інстант-порошках і т. д.

*Окислені крохмалі* виробляють із застосуванням перманганату, гіпохлориту, пероксидів, йодної кислоти. Окисники призводять до гідролітичного розщеплювання глікозидних зв'язків, окиснення спиртових груп в карбонільні і карбоксильні. Крохмаль окиснюють у водних суспензіях і напівсухій. Окиснені крохмалі, в порівнянні з початковим, здатні давати менш в'язкий, але прозоріший і стабільніший клейстер. Їх застосовують в якості заміників агару, агароїда у виробництві желейних кондитерських виробів, для стабілізації морозива та ін. Діальдегідний крохмаль, отриманий під дією йодної кислоти (зі ступенем окиснення до 2%), використовують в хлібопеченні, він зміцнює клейковину борошна.

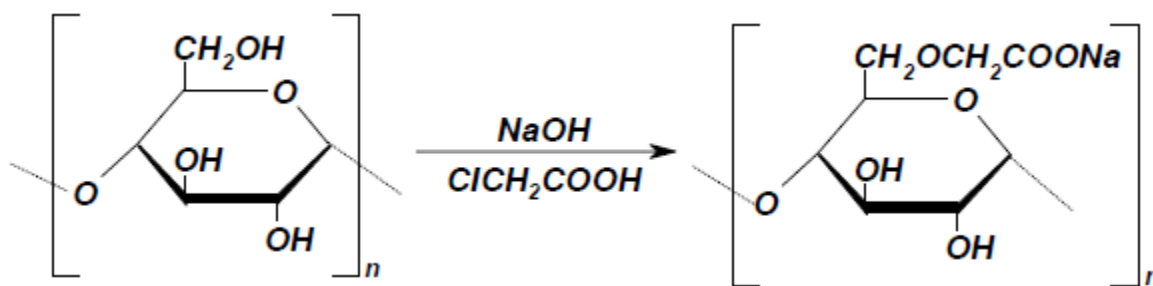
## ЦЕЛЮЛОЗА

Целюлоза – моноглюкан, що складається з лінійних ланцюгів β-D -(1,4)-глюкопіранозних одиниць. Виняткова лінійність целюлози дає можливість молекулам асоціювати, що має місце в деревах і інших рослинах. Целюлоза має аморфні і кристалічні ділянки, і саме аморфні зони піддаються дії розчинників і хімічних реагентів.

У виробництві харчових продуктів знаходить застосування мікрокристалічна целюлоза, для отримання якої використовують кислотний гідроліз целюлози. В цьому випадку аморфні ділянки гідролізовані кислотою, негідролізованими залишаються тільки невеликі кислотостійкі ділянки. Цей продукт використовується як наповнювач і компонент реології в низькокалорійних харчових продуктах.

Жорсткіша хімічна модифікація целюлози використовується для приготування харчових загусників на целюлозній основі.

Найширше використовується натрієва сіль карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ). Її отримують обробкою целюлози лугом і хлороцтовою кислотою :



Завдяки властивостям реологій і відсутності токсичності і засвоюваності

Na-КМЦ знаходить широке застосування в харчових продуктах. Вона виконує роль загусника в начинках, пудингах, м'яких сирах, фруктових желе. Її здатність утримувати вологу робить її корисною в пекарних виробках, морозиві і різних заморожених десертах, де вона інгібує зростання кристалів. Вона уповільнює зростання кристалів цукру в кондитерських виробках, глазури і сиропам, що має важливе значення за тривалого зберігання виробів. Вона сприяє стабілізації емульсій в соусах і салатних приправах, використовується у виробництві низькокалорійних продуктів. У низькокалорійних напоях, насичених CO<sub>2</sub>, вона сприяє збереженню діоксиду вуглецю.

Шляхом алкілування можуть бути отримані інші похідні целюлози з гарними властивостями набрякання, і підвищеною розчинністю. Завдяки цьому вони також перспективні для застосування в харчових продуктах. Найбільший інтерес з цих продуктів представляє метилцелюлоза. Метилцелюлозу отримують дією метилхлориду на целюлозу в лужному середовищі. Регулюючи умови проведення реакції можна отримувати продукти з різною здатністю до набрякання, і розчинністю.

У харчових продуктах метилцелюлоза може виконувати функції вологоутримуючого агента (наприклад, в пекарних виробках), інгібітору синерезису (заморожені продукти), пом'якшувача і стабілізатора емульсій (соуси, салатні приправи). Вона може бути наповнювачем для низькобілкових харчових продуктів, сприятливо впливає на текстуру і структуру виробів. Крім того її використовують у виробництві продуктів в їстівних оболонках.

### ГЕМІЦЕЛЮЛОЗИ

Відомо, що клітинні стінки рослин є комплексною матрицею, що складається з целюлози, лігніну і геміцелюлоз. Геміцелюлози – клас полісахаридів, що не засвоюються людським організмом.

Основна геміцелюлоза в харчових продуктах – ксилан. Цей полімер складається в основному з β-D-(1,4)-ксилопіранозильних одиниць, часто містить β-L-арабінофуранозильні бічні ланцюги від третьої позиції декількох D-ксилозних кілець. Інші типові складові – метильні етери D-глюкуронової кислоти, D- і L-галактоза, ацетилові етерні групи.

Присутність геміцелюлоз в пекарних виробках має важливе значення завдяки здатності зв'язувати воду. У приготуванні пшеничного тіста вони покращують якість замісу, зменшують енергію перемішування, приймають участь у формуванні структури тіста, зокрема у формуванні клейковини, що у результаті сприяє отриманню гарного об'єму хліба. Геміцелюлози гальмують черствіння хліба.

Друга важлива функція геміцелюлоз в харчових продуктах полягає в тому, що вони, як харчові волокна, утворюють частину неперетравлюваного комплексу, що надзвичайно важливо для перистальтики кишечника.

### ПЕКТИНОВІ РЕЧОВИНИ

У рослинній клітині пектин виконує функцію агента, що структурує, в центральному шарі клітинної стінки. Крім того, завдяки своїй сильній здатності до набрякання і свого колоїдного характеру пектин регулює водний обмін



рослин. Назва "пектин" походить від грецького слова "пектос", що означає "жельований", "застиглий".

Завдяки прекрасним желуючим властивостям пектин широко застосовується у виробництві харчових продуктів – кондитерських виробів, желе, джемів. Пектин має детоксикуючі властивості, тобто здатний зв'язувати токсичні елементи і радіонукліди і виводити їх з людського організму(таблиця 6.9).

Таблиця 6.9 – Зв'язування різних елементів(у % від доданого компонента)

Елемент	Пектин яблучного порошку	Низькометоксильований яблучний пектин
Свинець	50	80
Мідь	15	45
Цезій	45	75
Лантан	45	75
Цирконій	30	60
Нікель	50	80

Важливою властивістю пектину, що зумовлює його застосування в харчових продуктах, є желеутворення. Утворення гелів зумовлене асоціацією пектинових ланцюгів з утворенням тривимірної просторової структури, коли дві або більше ділянки ланцюга зближуються одна з одною з регулярною частотою. Є різні види асоціацій, які визначаються ступенем етерифікації.

Нормальні пектини (ступінь етерифікації 50%), як правило, краще всього утворюють гелі за концентрації 1%, хоча концентрація може варіюватися залежно від виду пектину.

Желювання високоетерифікованих пектинів викликається двома чинниками:

- додаванням цукру, який викликає дегідратацію пектинових молекул, сприяючи тим самим їх зближенню;
- зниженням рН середовища, що пригнічує дисоціацію вільних карбоксильних груп, знижуючи тим самим електростатичне відштовхування ланцюгів.

Низькоетерифіковані пектини можуть утворювати гелі за відсутності цукрів, але вимагають присутності бівалентних катіонів (наприклад  $\text{Ca}^{2+}$ ). Додаток іонів кальцію призводить до утворення кальцієвих містків, що сполучають молекули пектину. Низькоетерифікований пектин є менш чутливим до рН, ніж стандартні пектинові гелі – для нормальних пектинів ділянка рН 2,7...3,5, оптимум – 3,2. Гелі цього типу використовують у безцукрових або низькоцукрових дієтичних кремах і желе. Хоча желеутворення низькоетерифікованого пектину і не вимагає цукру, додавання 10...20% сахарози дає можливість поліпшити структуру гелю, оскільки без цукру (чи інших пластифікаторів) ці гелі мають тенденцію бути крихкими і менш еластичними, ніж гелі зі звичайного пектину. Окрім відмічених вище чинників на желеутворюючі властивості пектину впливають також молекулярна маса – з

її збільшенням зростає сила гелю.

## **6.6 Перетворення вуглеводів, що відбуваються за технологічної переробки сировини**

Під час переробки і зберіганні харчової сировини і продуктів вуглеводи зазнають складних і різноманітних перетворень, в залежності від складу вуглеводного комплексу, температури і рН середовища, вологості, наявності ферментів, присутності в продуктах інших компонентів, що взаємодіють з вуглеводами (білків, ліпідів, органічних кислот та ін.).

Основними процесами, що відбуваються у вуглеводах за різних видів технологічної обробки і зберігання харчових продуктів, є наступні:

- кислотний і ферментативний гідроліз ди- і полісахаридів;
- реакції дегідратації вуглеводів;
- меланоїдиноутворення;
- карамелізація.

### **ГІДРОЛІЗ ДИ- І ПОЛІСАХАРИДІВ**

Гідроліз ди- і полісахаридів – найбільш поширений процес, що відбувається в харчових продуктах за теплової і холодильної обробки, а також під час зберігання картоплі, плодів і овочів в замороженому і охолодженому стані.

В процесі нагрівання дисахариди (сахароза, мальтоза, лактоза) під дією кислот або у присутності ферментів розпадаються на моносахариди. Сахароза у водних розчинах під впливом кислот приєднує молекулу води і гідролізується на рівну кількість глюкози і фруктози, що обертають площину поляризації вліво, а не управо, як сахароза. Таке перетворення називається інверсією, а еквімолекулярна суміш глюкози і фруктози (*інвертним* цукром, який має солодший смак, ніж сахароза).

Полісахариди за нагрівання під дією кислот або у присутності ферментів також піддаються гідролізу з утворенням низькомолекулярних сполук, що беруть участь в обмінних процесах.

З високомолекулярних полісахаридів істотним змінам піддаються крохмаль і пектинові речовини.

### **Неферментативний гідроліз крохмалю**

*Кислотний гідроліз крохмалю.* Під час гідролізу крохмалю під дією кислот спочатку має місце послаблення і розрив асоціативних зв'язків між макромолекулами амілози і амілопектину. Це супроводжується порушенням структури крохмальних зерен і утворенням гомогенної маси. Далі відбувається розрив  $\alpha$ -D-(1,4)- і  $\alpha$ -D-(1,6)-зв'язків з приєднанням за місцем розриву молекули води. В процесі гідролізу наростає число вільних альдегідних груп, зменшується ступінь полімеризації. У міру проходження гідролізу і наростання редуруючих (відновних) речовин вміст декстрину<sup>8</sup> зменшується, глюкози –

---

<sup>8</sup> *Декстрини* – це полісахариди різної молекулярної маси – проміжні продукти кислотного або ферментативного гідролізу крохмалю. Вони розчинні у воді, оптично активні: обертають площину поляризації вправо. Декстрини, які отримують на перших стадіях гідролізу крохмалю, мало чим від нього відрізняються за розмірами молекули і властивостями. В міру

збільшується, концентрація мальтози, три- і тетрацукрів спочатку збільшується, потім їх кількість знижується. Разом з основним процесом – гідролізом крохмалю – відбуваються побічні реакції реверсії і розкладання глюкози.

Найбільш вивченими реакціями, що відбуваються під дією кислоти на крохмаль, є реакції, наведені на схемі рисунку 6.7.

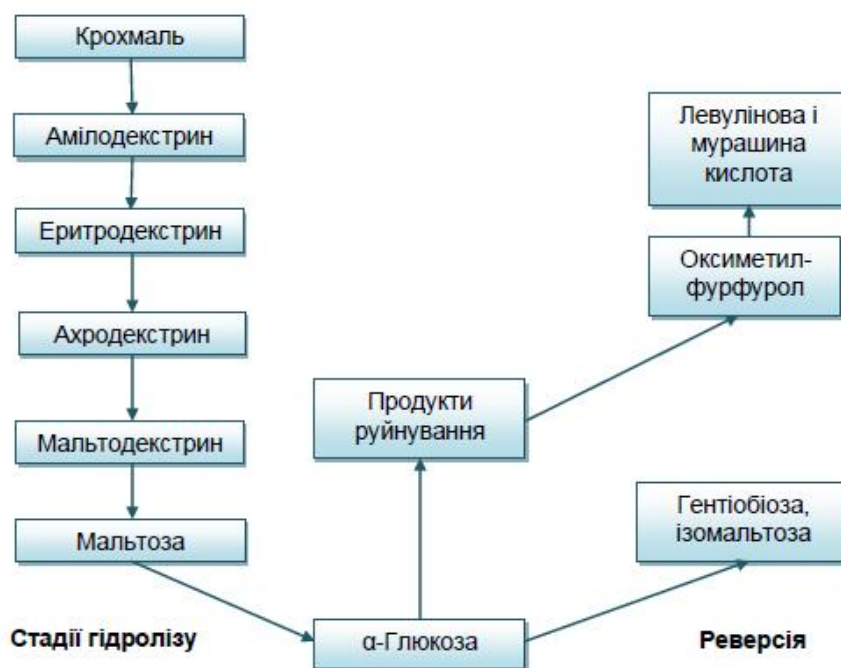


Рисунок 6.7 – Процеси, що відбуваються за кислотного гідролізу крохмалю

подальшого гідролізу молекулярна маса декстринів зменшується, збільшується їхня здатність відновлювати Фелінгову рідину.

*Амілодекстрини* – білі порошки, розчинні в 25% етиловому спирті, осаджуються 40% етанолом. З розчином йоду утворюють комплексні сполуки синьо-фіолетового кольору.

*Еритродекстрини* – розчинні в 55% етанолі, осаджуються в 65%; з розчином йоду утворюють комплексні сполуки червоно-бурого кольору.

*Ахродекстрини* розчинні в 70% етанолі, з розчином йоду комплексних сполук не утворюють.

*Мальтодекстрини* не осаджуються спиртом, комплексних сполук з розчином йоду не утворюють.

Декстрини впливають як на технологічні процеси виробництва харчових продуктів, так і на їх якість. Наприклад, для підвищення в'язкості розчинів в кондитерській промисловості використовують низькозацукрену карамельну патоку, що містить до 55...60% декстринів, які виконують роль антикристалізаторів сахарози і сприяють отриманню карамельної маси високої якості.

У виробництві цукру декстрини відіграють негативну роль, так як гальмують кристалізацію сахарози, підвищують її втрати з патокою.

В хлібопекарному виробництві підвищений вміст декстринів в пшеничному борошні або тісті призводить до різкого зниження якості готових продуктів: хліб виходить з липким, глевким м'якушем. Вміст декстринів в крохмалевмісних продуктах є важливим показником, що характеризує глибину пошкодження нативної структури крохмалю в процесі переробки сировини: в борошномельній промисловості – ступінь механічного пошкодження крохмалю в процесі розмелу зерна; в круп'яній і комбікормовій – ступінь деструкції крохмалю в процесі гідротермічної обробки зерна; в крохмалопатоковій – глибину гідролізу крохмалю.

Реверсія глюкози – процес, що є зворотнім процесу полімеризації, з утворенням в основному інших дисахаридів – гентіобіоза, ізомальтози та ін., а також трисахаридів і складніших олігосахаридів.

У гідролізаті крохмалю, в залежності від інтенсивності кислотного гідролізу і вмісту вільної води, продукти реверсії можуть складати до 5% і більше.

Реакція реверсії глюкози є оборотною, тому продукти реакції схильні знову гідролізу і дають знову глюкозу. У зв'язку з цим рівновага в розчинах, що містять глюкозу і продукти її реверсії, настає за порівняно малих концентрацій продуктів реверсії. В патоці – продукті неповного гідролізу крохмалю – кількість ревертоз є порівняно меншою, ніж в продуктах повного гідролізу крохмалю.

В той же час відбувається і безповоротна інтрамолекулярна дегідратація глюкози як вторинна реакція в кислому середовищі з утворенням оксиметилфурфуролу, з якого потім утворюється левулінова і мурашина кислоти. За звичайних умов гідролізу крохмалю реакції цього типу займають незначне місце, а продуктів цих реакцій утворюється до 1%.

Оксиметилфурфурол – нестійка сполука, з якої можуть утворюватися, окрім вказаних вище, й інші сполуки. Його присутність пов'язана з появою барвникових речовин: під час полімеризації оксиметилфурфуролу утворюються барвникові речовини жовто-коричневого кольору.

Продукти розкладання глюкози, що накопичуються в патоці погіршують її склад, колір, підвищують гігроскопічність. Домішки, що присутні в крохмалі, сприяють перебігу й інших побічних реакцій з утворенням темних барвникових сполук.

Кислотний гідроліз довгий час був головним в отриманні глюкози з крохмалю. Цей спосіб має ряд істотних недоліків, які пов'язані з використанням високих концентрацій кислот і високої температури, що призводить до утворення продуктів термічної деградації і дегідратації вуглеводів й реакції трансглікозлювання.

### **Ферментативний гідроліз крохмалю**

Крохмаль гідролізується під дією амілолітичних ферментів. До групи амілолітичних ферментів відносяться  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілаза, глюкоамілаза й деякі інші ферменти. Амілази бувають двох типів: ендо- і екзоамілази.

Представником ендоамілаз є  $\alpha$ -амілаза, що здатна до розриву внутрішньомолекулярних зв'язків у високополімерних ланцюгах субстрату. Глюкоамілаза і  $\beta$ -амілаза є екзоамілазами, тобто ферментами, що атакують субстрат з нередукуючого кінця.

Основні компоненти крохмалю можуть бути гідролізовані ферментативним шляхом двома способами. Амілоза може бути гідролізована ферментом  $\alpha$ -амілазою ( $\alpha$ -1,4-глюкан-4-глюканогідролаза) з розривом  $\alpha$ -1,4-св'язи амілозних ланцюгів і з утворенням глюкози і мальтози. Крім того, амілоза може бути гідролізована ферментом  $\beta$ -амілазою ( $\alpha$ -1,4-глюканмальтогідролаза) до декстрину і мальтози. Декстрин – це полісахарид з проміжною довжиною

ланцюга, що утворюються в результаті дії амілаз.

Схему гідролізу крохмалю  $\alpha$ -амілазою можна представити так:

**крохмаль**  $\xrightarrow{\alpha\text{-амілаза}}$   **$\alpha$ -декстрини(багато)+мальтоза(мало)+глюкоза(мало)**

$\beta$ -Амілаза ( $\alpha$ -1,4-глюканмальтогідролаза) є екзоамілазою, що проявляє спорідненість до передостаннього  $\alpha$ -(1,4)-зв'язку з нередукуючого кінця лінійної ділянки амілози або амілопектину. На відміну від  $\alpha$ -амілази,  $\beta$ -амілаза практично не гідролізує нативний крохмаль; клейстеризований крохмаль гідролізується до мальтози в  $\beta$ -конфігурації. Схему можна записати таким чином:

**крохмаль (глікоген)**  $\xrightarrow{\beta\text{-амілаза}}$  **мальтоза (54...58) +  $\beta$ -декстрин (42...46%)**

Амілопектин також гідролізується  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілазами до залишкового декстрину – кінцевого продукту гідролізу, що є великою, сильно розгалуженою "серцевиною" полісахариду. Це пов'язано з тим, що  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілази не здатні розщеплювати  $\alpha$ -1,6-св'язи, наявні в точках галуження амілопектину.

$\alpha$ -1,6-Зв'язки, що знаходяться в точках галуження, гідролізуються особливими ферментами:  $\alpha$ -1,6-глюкозидами. За спільної дії  $\alpha$ -амілази і  $\alpha$ -1,6-глюкозидази амілопектин може бути повністю розщеплений до мальтози і глюкози. Кінцеві продукти гідролізу (мальтоза і глюкоза) можуть утворюватися за нагрівання крохмалюмісних продуктів в кислому середовищі.

Глюкоамілаза  $\alpha$ -(1,4)-глюканглюкогідролаза є екзоферментом, що каталізує послідовне відщеплення кінцевих залишків  $\alpha$ -D-глюкози з нередукуючого кінця крохмального ланцюга. Багато глюкоамілаз мають здатність так само швидко, як і  $\alpha$ -1,4-зв'язок, гідролізувати  $\alpha$ -1,6-глюкозидні зв'язки. Але це відбувається тільки у тому випадку, коли за  $\alpha$ -1,6-зв'язком розташований  $\alpha$ -1,4-зв'язок, тому декстран ними не гідролізується. Відмітною особливістю глюкоамілаз є здатність в десятки разів швидше гідролізувати високополімеризований субстрат, ніж оліго- і дисахариди.

Ферментативний гідроліз крохмалю використовується у багатьох харчових технологіях як один з необхідних процесів, що забезпечують якість кінцевого продукту – в хлібопеченні (процес тістоприготування і випічки хліба), виробництві пива (отримання пивного суслу, сушка солоду), квасу (отримання квасних хлібців), спирту (підготовка сировини для бродіння), різних цукристих крохмалопродуктів (глюкози, патоки, цукрових сиропів).

### **Ферментативний гідроліз некрохмалистих полісахаридів.**

Цей гідроліз має місце під дією ферментів целюлітичного, геміцелюлазного і пектолітичного комплексу. Використовується в харчовій технології для повнішої переробки сировини і поліпшення якості продукції. Наприклад, гідроліз некрохмалистих полісахаридів (пентозанів та ін.) під час вирощуванні солоду має значення в подальшому для утворення барвникових і ароматичних продуктів (в процесі висушування солоду і створенні певних органолептичних властивостей пива). У виробництві соків і у виноробстві – для освітлення, збільшення виходу соку, поліпшення умов фільтрації.

Гідроліз целюлози відбувається під дією комплексу целюлітичних ферментів.

Геміцелюлози разом з пектиновими речовинами утворюють основну речовину клітинних оболонок рослин. Гідроліз геміцелюлоз має місце під дією

великого комплексу геміцелюлазних ферментів. Ця група полісахаридів, різнорідна за будовою, молекулярною масою і складом, під час гідролізу дає досить різноманітний набір сполук: глюкозу, фруктозу, манозу, галактозу, ксилозу, арабінозу, глюкуронову і галактуронову кислоти.

Гідроліз пектинових речовин має місце під дією пектолітичних ферментів.

Пектинестераза гідролізує естерні зв'язки в пектиновій кислоті і пектині і відщеплює метиловий спирт.

Полігалактураназа здійснює гідролітичне розщеплення  $\alpha$ -1,4-глікозидних зв'язків в ланцюзі пектинових речовин і за своєю дією на пектинові речовини поділяється на ендо- і екзоферменти.

Протопектиназа – це фермент, що діє на протопектин.

### **Реакції дегідратації і термічної деградації вуглеводів**

Під час переробки харчової сировини в харчові продукти реакції дегідратації і термічної деградації вуглеводів займають важливе місце. Вони каталізуються кислотами і лугами, і багато з них відбуваються за типом  $\beta$ -елімінації. Пентози, як головний продукт дегідратації, дають фурфурол, гексози – оксиметилфурфурол й інші продукти, такі як 2-гідроксиацетилфуран, ізомальтол і мальтол. Фрагментація вуглецевих ланцюгів цих продуктів дегідратації призводить до утворення левулінової, мурашиної, молочної, оцтової кислот і ряду інших сполук. Деякі з продуктів, що утворюються, мають певний запах і тому можуть надавати харчовому продукту бажаний або, навпаки, небажаний аромат. Ці реакції вимагають високої температури. Фурфурол і оксиметилфурфурол утворюються за теплової обробки фруктових соків. Токсичність цих продуктів вивчалася на щурах, і було відмічено, що фурфурол є більш токсичним ніж оксиметилфурфурол.

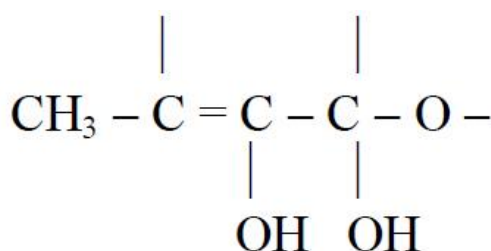
### **МЕЛАНОЇДИНОУТВОРЕННЯ**

Під меланоїдиноутворенням (МУ) розуміють взаємодію відновлюючих цукрів (моносахариди і дисахариди), таких, що містяться в продукті і таких, що утворюються під час гідролізу більш складних вуглеводів з амінокислотами, пептидами і білками.

В результаті чого утворюються темнозabarвлені продукти (меланоїдини – від грецького "меланос" – темний). Це реакція Майяра, від імені вченого, який в 1912 р. вперше описав цей процес.

Меланоїдиноутворення – окислювально-відновний процес, який є сукупністю послідовних і паралельних реакцій.

Загальною для структурних сполук, що утворюються в результаті реакції Майяра, є група



Сполуки, що містять цю групу, виявлені в обсмажених харчових

продуктах (хліб, кава, какао, солод), в яких під впливом високих температур відбувається неферментативне потемніння.

Продуктами потемніння є піразани, що містяться в мільйонних частках в продуктах, які піддавалися обсмажуванню.

У формуванні аромату, кольору і смаку готового продукту беруть участь карбонільні сполуки (фурфурол, оксиметилфурфурол, ацетальдегід, ізовалер'яновий альдегід, діацетил та ін.), що утворюються під час реакції МУ.

Продукти реакції меланоїдиноутворення по різному впливають на органолептичні властивості готових виробів: помітно покращують зовнішній вигляд смаженого або тушкованого м'яса, котлет, але погіршують смак, колір і запах м'ясних екстрактів, бульйонних кубиків й інших концентратів.

Реакція МУ часто проходить під час випіканні хліба, висушуванні фруктів і овочів, отриманні сухого молока, упарюванні цукрового сиропу, у виробництві солоду. Утворення смачної, хрусткої, золотисто-коричневої скоринки хліба, його смак і аромат багато в чому пов'язані з МУ.

В процесі отримання вина, виготовлення коньяку і шампанського утворюються продукти МУ, які впливають на колір, смак і аромат. За дуже тривалої витримки вина відбуваються глибокі зміни продуктів, що беруть участь в реакції МУ, що призводить до зміни первинних властивостей вина.

Потемніння фруктових соків в процесі зберігання, зміна зовнішнього вигляду, смаку і запаху готових м'ясних продуктів також пов'язані з реакцією МУ.

За меланоїдиноутворення знижується харчова цінність одержуваних продуктів в результаті сполучення білків, вітамінів, амінокислот в комплексні сполуки. Чим вищою є інтенсивність утворення коричневого забарвлення, тим нижчою є харчова цінність білкових продуктів. В результаті чого втрачається 20...50% вільних амінокислот; зі збільшенням температури і тривалості нагрівання ці втрати зростають. Втрати амінокислот і цукрів найбільш значні під час обсмажування м'яса.

Швидкість і глибина процесу МУ залежать від складу взаємодіючих продуктів, співвідношення окремих компонентів, рН середовища, температури і вологості

*Вплив рН:* найбільш сприятливим для реакції Майяра є середовище зі значенням рН 7,8...9,2, за рН 6 спостерігається невелике потемніння, в сильноокислому середовищі меланоїдиноутворення є незначним.

*Вплив вологості:* за дуже низького і за дуже високого вмісту вологи ( $a_w = 0$  або  $a_w = 1$ ) не спостерігається потемніння, максимальне ж потемніння має місце за проміжного вологовмісту.

*Вплив температури:* з підвищенням температури швидкість реакції МУ зростає. За невисоких температур реакції МУ проходять повільно, за 100°C і вище – прискорюються. Підвищення температури на 10°C призводить до збільшення швидкості в 2...3 рази.

*Вплив іонів металів:* за присутності іонів Купруму ( $Cu^{2+}$ ) і Феруму ( $Fe^{3+} > Fe^{2+}$ ) інтенсивності потемніння зростає, тобто реакція МУ прискорюється,

йони Натрію ( $\text{Na}^+$ ) на швидкість реакції МУ не впливають.

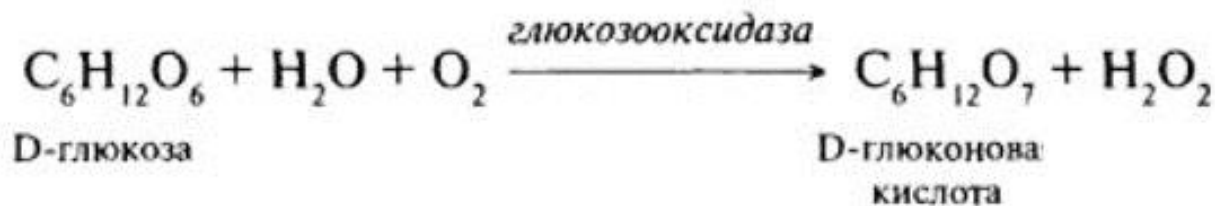
*Вплив структури цукру.* Спостерігається зменшення здатності утворювати коричневі пігменти в рядах:

- D-ксилоза > L-арабіноза (пентози);
- D-галактоза > D-маноза > D-глюкоза > D-фруктоза (гексози);
- мальтоза > гексози > лактоза > сахароза (дисахарози).

Ступінь утворення пігментів прямо пропорційна кількості відкритих ланцюгів (вільний карбоніл) цукру в розчині.

*Вплив характеру амінокислоти:* чим далі розташована аміногрупа від карбоксильної, тим активнішою є ця амінокислота в реакції Майяра. Таким чином,  $\gamma$ -аміномасляна кислота вступає в реакцію краще, ніж  $\alpha$ -аміномасляна, а лізин (за рахунок додаткової  $\epsilon$ -аміногрупи) – краще, ніж ізолейцин.

Якщо утворення коричневих пігментів для харчових продуктів є небажаним, можна інгібувати реакції, наприклад, значним зниженням вологості (для сухих продуктів), зниженням концентрації цукру (розведенням), рН і температури (для рідких продуктів). Можна видалити один з компонентів субстрату (зазвичай, цукор). Наприклад, в отриманні яечного порошку, щоб не допустити появи запаху, перед висушуванням додають глюкозооксидазу, що призводить до руйнування D-глюкози і утворення D-глюконової кислоти:



Для запобігання потемнінню риби, що містить значні кількості рибози, додають бактерії *Lactobacillus pentoaceticum*, що мають, D-рибозну оксидазну активність.

Щоб затримати небажані зміни, використовують сполуки, що легко з'єднуються з карбонільними сполуками, наприклад, пероксид водню, сірчисту кислоту. В хімічному інгібуванні реакції Майяра крім  $\text{H}_2\text{SO}_3$  і  $\text{H}_2\text{O}_2$ , використовують також  $\text{NaHSO}_3$  та  $\text{SO}_2$ . Використання сульфур(IV)оксиду захищає від потемніння, але не оберігає продукти від втрати амінокислот (наприклад, лізину).

Таким чином, МУ, з одного боку, знижує харчову цінність готового продукту внаслідок втрати цінних поживних речовин, з іншою – покращує органолептичні показники готових виробів, тож стосовно реакції Майяра можна зробити такі основні висновки:

- утворення меланоїдинових пігментів може бути бажаним або небажаним, так само як і розвиток запаху – в залежності від виду продукту;
- процес МУ може супроводжуватись втратою незамінних амінокислот тобто втратою поживної цінності продукту;
- деякі продукти реакції Майяра можуть бути мутагенними (в реакції D-глюкози і D-фруктози з L-лізином або L-глутаміновою кислотою);



– продукти реакцій карамелізації і МУ, утворення ароматичних компонентів, що супроводжують ці реакції, мають велике значення у багатьох харчових виробництвах для отримання продуктів з гарним кольором і характерним ароматом (хлібопечення, виробництво безалкогольних напоїв і пива, кондитерських виробів та ін.); у інших випадках (наприклад, під час кислотного способу отримання глюкози) утворення таких продуктів характеризується як недолік, оскільки погіршує якість отримуваних сиропів і призводить до певної втрати важливих компонентів сировини, що переробляється;

– проміжні продукти реакції Майяра мають антиокиснювальну активність;

– під час реакції Майяра, в результаті якої скорочується вміст амінокислот, утворюються продукти, які утрудняють засвоєння білків.

### КАРАМЕЛІЗАЦІЯ

У харчовій промисловості особливе значення має карамелізація сахарози, глюкози і фруктози. Нагрівання моно- і дисахарів за температури 100°C і вище призводить до зміни їх хімічного складу, кольору, збільшення вмісту зредукованих речовин. Глибина цих процесів залежить від складу цукрів, їх концентрації, рН середовища, температури і тривалості нагрівання, присутності домішок. Особливо чутливою до нагрівання є фруктоза, її карамелізація проходить в 6...7 разів швидше, ніж глюкози. Сахароза за нагрівання в ході технологічного процесу в слабкокислому або нейтральному середовищі піддається частковій інверсії з утворенням глюкози і фруктози. Ці моносахариди піддаються подальшим перетворенням. Наприклад, від молекули глюкози можуть відщепитися молекули води (дегідратація), а продукти, що утворилися, з'єднатися один з одним або з молекулою сахарози. У випадку відщеплення двох молекул води від сахарози утворюється *карамелан* (C<sub>12</sub>H<sub>18</sub>O<sub>9</sub>) – розчинна у воді сполука жовтого кольору, у разі відщеплення трьох молекул – *карамелен* (C<sub>36</sub>H<sub>50</sub>O<sub>25</sub>) – сполука, що має яскраво-коричневий колір, потім за подальшої дегідратації – *карамелін* – важкорозчинна у воді сполука. За подальшої дегідратації утворюється оксиметилфурфурол, за подальших перетворень якого руйнується вуглецевий скелет і накопичуються продукти деструкції – мурашина і левулінова кислоти (рисунки 6.8).

Ступінь полімеризації продуктів, що утворилися, може бути різною. Якщо концентрація вуглеводів невисока – 10...30%, то легше відбувається утворення оксиметилфурфуролу, за підвищених концентрацій – 70...80% активніше проходять процеси конденсації.

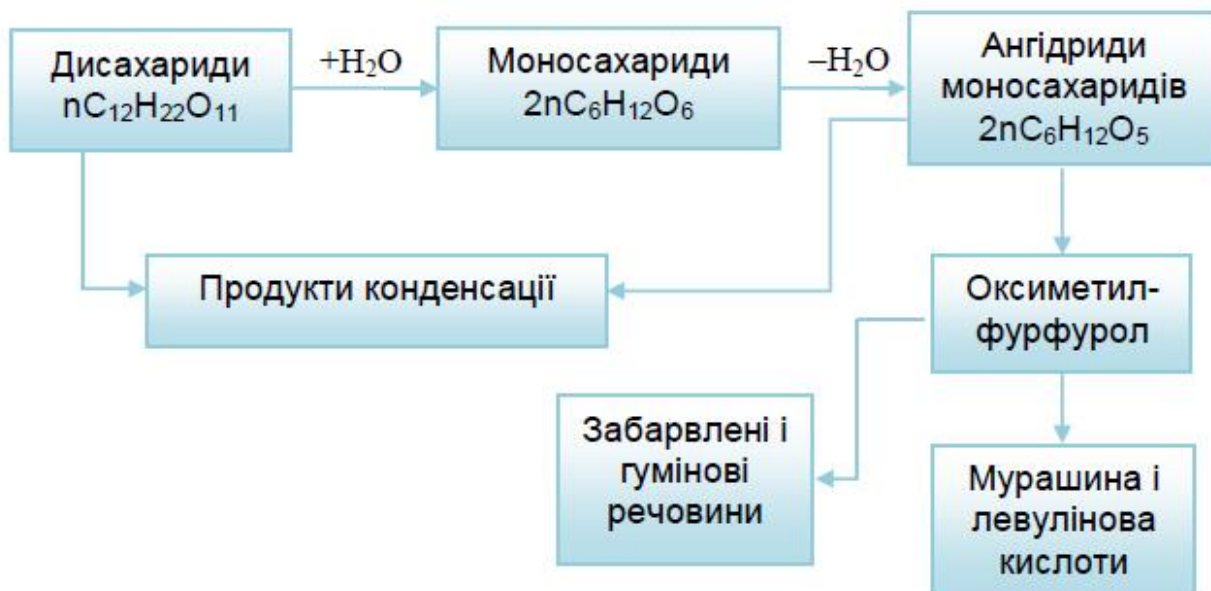


Рисунок 6.8 – Схема перетворення цукрів за нагрівання

У виготовленні кондитерських виробів, наприклад карамелі, температурним впливам піддаються висококонцентровані розчини цукрів (до 80%), тому основними продуктами карамелізації є ангідриди і продукти їх конденсації.

### ПРОЦЕСИ БРОДІННЯ

**Бродіння** – це процес розщеплення моносахаридів в результаті дії мікроорганізмів. Бродіння за участі вуглеводів використовується у ряді харчових технологій: у приготуванні тіста для хліба, у виробництві пива, квасу, спирту, вина й інших продуктів. Розрізняють спиртове, молочнокисле, маслянокисле і лимоннокисле бродіння (рисунок 6.9).

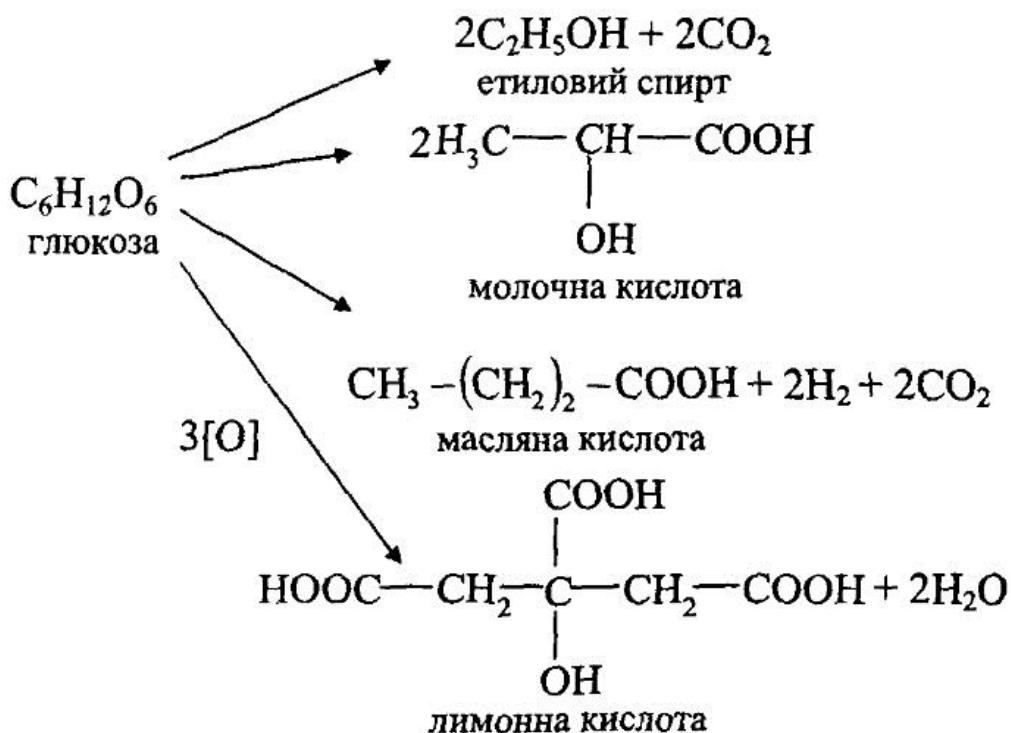


Рисунок 6.9 – Типи бродіння вуглеводів

*Спиртове бродіння* відбувається завдяки життєдіяльності ряду мікроорганізмів. Найбільш типовими організмами спиртового бродіння є дріжджі роду *Saccharomyces*. Сумарно спиртове бродіння може бути виражене наступним рівнянням:

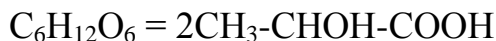


Це сумарне рівняння не відображає того факту, що зазвичай, окрім головних продуктів бродіння – етилового спирту і вуглекислого газу, завжди в незначній кількості утворюються деякі інші речовини, наприклад, янтарна, лимонна кислота, а також суміш амілового, ізоамілового, бутилового й інших спиртів, оцтова кислота, дикетони, оцтовий альдегід, гліцерин і ряд інших сполук, від наявності незначних кількостей яких залежить специфічний аромат вина, пива та інших спиртних напоїв.

Різні цукру зброджуються дріжджами з різною швидкістю. Найлегше піддаються зброджуванню глюкоза і фруктоза, повільніше – маноза, ще повільніше – галактоза; пентози дріжджами не зброджуються. З дисахаридів гарним субстратом спиртового бродіння є сахароза і мальтоза. Проте обидва цукри зброджуються лише після попереднього їх гідролізу на складові моносахариди ферментами  $\alpha$ -глікозидазою і  $\beta$ -фруктофуранозідазою дріжджів.

У присутності кисню спиртове бродіння припиняється і дріжджі отримують енергію, необхідну для їх розвитку і життєдіяльності, шляхом кисневого дихання. Таким чином дріжджі витрачають цукор значно економніше, ніж в анаеробних умовах. Припинення бродіння під впливом кисню дістало назву "ефект Пастера".

У випадку *молочнокислого бродіння* з однієї молекули гексози утворюються дві молекули молочної кислоти:



Молочнокисле бродіння відіграє дуже велику роль у виробництві молочнокислих продуктів (кислого молока, ацидофіліну, кефіру, кумису), у виготовленні квасу, хлібних заквасок і "рідких дріжджів" для хлібопечення, під час квашення капусти, огірків, під час силосування кормів.

Усі мікроорганізми, що спричиняють молочнокисле бродіння, поділяються на дві великі групи:

– I група – гомоферментативні молочнокислими бактеріями – мікроорганізми, подібні *Streptococcus lactis*, що є істинними анаеробами і які зброджують гексози в точній відповідності з наведеним вище сумарним рівнянням молочнокислого бродіння. Їх називають.

– II група – гетероферментативні молочнокислі бактерії – це бактерії, які, окрім молочної кислоти, утворюють значні кількості інших продуктів, зокрема, оцтової кислоти і етилового спирту. Характерним представником другої групи молочнокислих бактерій є мікроб *Bacterium lactis aerogenes*, що утворює молочну, оцтову кислоти, етиловий спирт, вуглекислий газ, водень і метан. Зокрема, помітний вміст молочної і оцтової кислот в житньому тісті (і житньому хлібі) пояснюється тим, що під час його бродіння, разом зі спиртовим бродінням, відбувається також молочнокисле бродіння, в результаті

чого накопичується як молочна, так і оцтова кислоти.

*Маслянокисле бродіння* – це бродіння в результаті якого утворюється масляна кислота. Цей процес відбувається за тривалого зберігання харчових продуктів. Масляна кислота має гіркий присмак. Накопичення цієї кислоти у складі продуктів погіршує їх смакові якості.

*Лимоннокисле бродіння* – бродіння, яке відбувається під дією пліснявих грибків. Промислове одержання лимонної кислоти відбувається шляхом зброджування грибком *Aspergillus niger*.

### **Контрольні питання**

1. Що таке харчові волокна? Дайте сучасну класифікацію харчових волокон.
2. Назвіть основні функції моносахаридів і олігосахаридів в харчових продуктах.
3. Назвіть основні фізико-хімічні властивості крохмалю.
4. Охарактеризуйте процес клейстеризації крохмалю. Які речовини роблять вплив на цей процес?
5. Як впливає значення рН на в'язкість крохмального клейстеру?
6. Що таке крохмалі, що набрякають? Яке їх використання?
7. Де використовується крохмаль, модифікований кислотою? Які його властивості?
8. Охарактеризуйте етерифіковані крохмалі.
9. Що таке поперечний - зшиті крохмалі? Яке їх використання?
10. Як виробляють окислені крохмалі? Які їх властивості і використання?
11. Які похідні целюлози використовуються в харчовій промисловості і для яких цілей?
12. Охарактеризуйте процес гелеутворення різних пектинів.
13. Охарактеризуйте процес кислотного гідролізу крохмалю. Які його недоліки?
14. Які ферменти беруть участь в процесі ферментативного гідролізу крохмалю? Яке його використання?
15. Охарактеризуйте процеси ферментативного гідролізу целюлози, геміцелюлоз, пектинових речовин. Які ферменти беруть участь в цих процесах?
16. Які продукти утворюються під час дегідратації пентоз? Гексоз?
17. Охарактеризуйте активність амінокислот і цукрів в реакції Майяра.
18. Які умови перебігу процесу меланоїдиноутворення?
19. Що таке карамелізація цукрів? Які процеси відбуваються під час карамелізації?
20. Під час отримання яких харчових продуктів використовується процес карамелізації?

## Тема 7. Мінеральні речовини

### План

- 7.1 Роль мінеральних речовин в організмі людини
- 7.2 Макроелементи
- 7.3 Мікроелементи
- 7.4 Вплив технологічної обробки на мінеральний склад харчових продуктів

### 7.1 Роль мінеральних речовин в організмі людини

У раціональному харчуванні мінеральні речовини так само є незамінними, як і білки, ліпіди, вуглеводи і вітаміни. За нестачі або надлишку мінеральних речовин в організмі людини виникають специфічні порушення, що призводять до захворювань. Мінеральні речовини виконують пластичну функцію в процесах життєдіяльності людини і в побудові кісткової тканини.

Мінеральні речовини складають відносно значну частину людського тіла (приблизно 3 кг золи). У кістках вони представлені у вигляді кристалів, в м'яких тканинах – у вигляді істинного або колоїдного розчину в сполученні головним чином з білками.

Мінеральні речовини потрапляють в організм людини з харчовими продуктами і водою. Концентрація мінеральних речовин в організмі є неоднаковою. Якщо вміст одних хімічних елементів в тканинах людини вимірюється грамами, то концентрація більшості інших елементів в тканинах організму складає 1:100000 і нижче. Хімічні елементи, вміст яких обчислюється в організмі людини грамами, прийнято називати макроелементами, а елементи, що зустрічаються в дуже малих концентраціях – мікроелементами (таблиця 7.1):

– **макроелементи** – Натрій, Калій, Кальцій, Фосфор, Магній, Хлор, Сульфур;

– **мікроелементи** – Ферум, Купрум, Манган, Цинк, Йод, Хром, Кобальт, Флуор, Молібден, Нікель, Стронцій, Кремній, Селен і Ванадій.

Таблиця 7.1 – Мінеральний склад тіла дорослої людини вагою 70 кг

Елемент	г	%	Елемент	г	%	Елемент	г
Кальцій	1510	2,2	Натрій	105	0,15	Манган	сліди
Фосфор	840	1,2	Магній	70	0,1	Кобальт	сліди
Калій	245	0,35	Ферум	3,5	0,005	Хром	сліди
Сульфур	105	0,15	Цинк	1,75	0,0025	Молібден	сліди
Хлор	105	0,15	Купрум	0,07	0,00011		

З віком вміст мінеральних речовин в тканинах організму людини значно змінюється. В період інтенсивного росту і розвитку організму відбувається значне збільшення вмісту мікроелементів, яке поступово сповільнюється або припиняється до 17...20 років.

У мікрокількостях вони стимулюють біохімічні процеси, але у великих кількостях можуть чинити токсичну дію на організм, тому вміст деяких неорганічних сполук в харчових продуктах регламентується медико-біологічними вимогами і санітарними нормами якості. Звичайний вміст

мінеральних речовин в харчових продуктах знаходиться на рівні 0,5...0,7% істивної частини. В процесі складного перетворення в організмі людини продуктів, багатих на Ca, Mg, Na або K, можуть утворитися *лужні сполуки*. До джерел лужноутворюючих елементів відносяться плоди, овочі, бобові, молоко і молочні продукти. Інші продукти, такі як м'ясо, риба, яйця, хліб, крупа, макарони, в процесі перетворень в організмі людини дають кислі сполуки.

Мікроелементи з урахуванням виконуваних ними функцій в організмі поділяють на есенціальні, умовно есенціальні, умовно токсичні і токсичні.

До *есенціальних мікроелементів* відносяться: Ферум, Кобальт, Купрум, Манган, Хром, Селен, Молібден, Йод, Цинк.

*Умовно есенціальні* мікроелементи: Бор, Бром, Флуор, Літій, Нікель, Кремній, Ванадій.

*Умовно токсичні і токсичні*: Алюміній, Кадмій, Плюмбум, Гідраргірум, Берилій, Арсен.

У організм людини мікроелементи надходять з водою, тваринною і рослинною їжею, рідше – з вдихуванням повітрям і через шкіру. У розвитку нестачі або надлишку вмісту мікроелементів в організмі людини важливу роль відіграють природні і промислові чинники, можливість засвоюваності мікроелементів організмом.

Тому мікроелементи поділяють на наступні групи:

- 1) природні – їх кількість зумовлена вмістом мікроелементів в довкіллі;
- 2) промислові – переважно бувають в надлишку, вміст зумовлений шкідливими умовами виробництва;
- 3) ятрогенні – виникають як наслідок помилок медичних працівників;
- 4) ендогенні – спадкові або вроджені порушення засвоюваності або підвищеної здатності до накопичення одного або декількох мікроелементів.

Нестача або надлишок в харчуванні будь-яких мінеральних речовин призводить до порушень обміну білків, жирів, вуглеводів, що в свою чергу, призводить до розвитку ряду захворювань. Так, наприклад, нестача:

Ca – уповільнення росту

Mg – м'язові судоми

Fe – порушення імунної системи,

Zn – ушкодження шкіри, уповільнення росту, статевого дозрівання

Cu – слабкість артерій, порушення діяльності печінки, вторинна анемія

Mn – безпліддя, погіршення росту скелета

Mo – уповільнення клітинного росту, схильність до карієсу

Co – злаякісна анемія

Ni – частіші депресії, дерматити

Cr – симптоми діабету

Si – порушення зростання скелета

F – карієс зубів

J – порушення роботи щитовидної залози, уповільнення метаболізму

Se – слабкість серцевого м'яза

До найбільш дефіцитних в харчуванні сучасної людини відносять Ca, Fe, до надмірних – Na і F.

До причин порушення обміну мінеральних речовин, навіть за їх достатньої кількості в їжі, відносяться:

- незбалансоване харчування;
- застосування методів кулінарної обробки харчових продуктів, що зумовлюють втрати мінеральних речовин (наприклад, розморожування в гарячій воді м'яса, риби; видалення відвару овочів і фруктів);
- відсутність своєчасної корекції складу раціону у випадку зміни в потребі організму в мінеральних речовинах, зв'язаної з фізіологічними причинами (у людей, працюючих за підвищеної температури, збільшена потреба в K, Na, Cl та ін.);
- порушення процесу всмоктування мінеральних речовин в шлунково-кишковому тракті або підвищення втрат рідини (крововтрати).

## **7.2 Макроелементи**

### **КАЛЬЦІЙ**

Загальна кількість Кальцію в організмі складає приблизно 25 маси тіла, причому 99% Кальцію міститься в кістковій тканині, дентині і емалі зубів.

Кальцій виконує в організмі різноманітні функції:

- пластичні і структурні, входячи до складу основного мінерального компоненту кісткової тканини – оксиапатиту, мікрокристали якого утворюють жорстку структуру кісткової тканини;
- надає стабільності клітинним мембранам, утворюючи зв'язки між негативно зарядженими групами фосфоліпідів, структурних білків і глікопротеїдів;
- приймає участь в здійсненні міжклітинних зв'язків, що забезпечують злипання клітин під час тканиноутворення (процес адгезії);
- необхідний для нормальної збудливості нервової тканини і скоротливості м'язових волокон;
- є активатором ряду ферментів і гормонів, найважливішим компонентом системи згортання крові;
- приймає участь в регуляції проникності клітинних мембран, справляє дію, протилежну Натрію, сприяє виведенню з організму солей важких металів і радіонуклідів, проявляє антиоксидантний ефект, має антиалергічну дію.

Кальцій відноситься до важко засвоюваних елементів. У складі харчових продуктів Кальцій знаходиться у вигляді погано розчинних або абсолютно нерозчинних у воді сполук. Тільки дія на них жовчних кислот, що супроводжується утворенням комплексних сполук, дозволяє перевести Кальцій в засвоюваний стан. В результаті попадання в організм людини з їжею всмоктується приблизно 10...40% Кальцію. Всмоктування Кальцію в основному відбувається у верхньому відділі тонкого кишечника у вигляді одноосновних солей фосфорної кислоти.

Оптимальне співвідношення Кальцію і Магнію в продуктах 1:0,6, в хлібі, м'ясі і картоплі відношення Кальцію до Магнію в середньому 1:2, в молоці –

1:0,1, в сирі – 1:0,15, трісці – 1:0,6, у багатьох овочах і фруктах – 1:4,5. Оптимальним для засвоєння Кальцію його співвідношення до Фосфору має бути 1:1,5 для дорослих (за деякими даними 1:1), для дітей – 1,25:1, для грудних дітей – 1,5:1. Всмоктування Кальцію зменшується за вмісту в раціоні великої кількості жирів, фітинових кислот (злакові культури), щавлевої кислоти (щавель, шпинат).

Недостатнє надходження Кальцію в організм і навіть незначне зниження його рівня в крові призводить до посилення виділення гормонів паращитовидних залоз (паратгормону). Це посилює виділення Кальцію з кісток в кров, викликаючи демінералізацію кісток, розрідження кісткової тканини (остеопороз). У дітей в такому випадку порушується формування кісткової тканини, що проявляється недорозвиненням скелету, рахітом. У літніх людей дефіцит Кальцію і пов'язаний з ним остеопороз зумовлений згасанням функцій залоз травного тракту, порушенням функцій залоз внутрішньої секреції і часто недостатнім його вмістом в раціоні харчування.

Рекомендована норма споживання Кальцію складає (мг/доба) для дорослих – 800, осіб передпохилого і похилого віку – 1000, вагітних жінок – 300 додатково до норми. Добова потреба для дітей і підлітків (мг): 1...3 роки – 800, 4...6 років – 900, 11...13 років і 14...17 років – 1200. Вміст Кальцію в деяких продуктах харчування наведений в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Вміст Кальцію в продуктах харчування

Продукт	мг/100 г
Хліб житній	29
Хліб пшеничний	50
Крупа гречана	39
Крупа вівсяна	69
Капуста свіжа	106
Молоко	90...180
Цільномолочні продукти (кефір, сметана, сир та ін.)	85...150
Тверді сири	850...1100
Плавлені сири	430...760
Олія	13...18
Жовток курячого яйця	137
Яловичина першої категорії	10



## ФОСФОР

Обмін його тісно пов'язаний з обміном Кальцію. У організмі людини масою 70 кг міститься 700 г Фосфору. Біологічна роль фосфатів надзвичайно велика: вони є структурними елементами кісткової тканини, забезпечують проходження обмінних процесів, приймаючи участь в перенесенні енергії (АТФ, АДФ, гуанінфосфати, креатинфосфати); за участю фосфорної кислоти в організмі здійснюється обмін вуглеводів. Фосфор приймає участь в синтезі білку, входячи до складу таких компонентів, як РНК і ДНК. У складі фосфоліпідів і фосфопротеїнів є присутніми в мембранах клітин. За участю Фосфору здійснюються найважливіші реакції – реакції фосфорилування. Так, наприклад, фосфорилування деяких вітамінів – тіаміну, піридоксину – призводить до утворення коферментів, активних форм, що забезпечують участь в подальших реакціях. Фосфат є компонентом буферної системи крові, інших біологічних рідин, забезпечує підтримку кислотно-лужної рівноваги, забезпечує регуляцію обмінних процесів (через цАМФ), проведення нервового імпульсу і м'язового скорочення. Неорганічний Фосфор виконує структурні функції: входить до складу кісткової тканини, мембранних структур клітини, емалі і дентину зубів.

У організм людини Фосфор надходить з рослинною і тваринною їжею у вигляді фосфоліпідів, фосфопротеїнів і фосфатів. Всмоктування елемента відбувається за участю ферменту лужної фосфатази, а її активність підвищує вітамін D. Відмічено, що з рослинних продуктів Фосфор всмоктується гірше, ніж з тваринних – відповідно до 40 і 70%.

Найбільша кількість елемента знаходиться в молочних продуктах, особливо в сирах, а також в яйцях і яєчних продуктах. М'ясо і риба є важливими джерелами елемента, великі кількості якого містять також ікра, шпроти і деякі інші рибні консерви. Високим вмістом елемента відрізняються бобові (квасоля, горох), але в них він є менш доступним. Найбільш багатими на солі Фосфору є хрін, капуста качанна, цибуля ріпчаста, морква, буряк. Концентрація Фосфору в деяких продуктах наведена в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Вміст Фосфору в продуктах харчування

Продукт	мг/100 г	Продукт	мг/100 г
Хліб	≈200	Жовток яйця	524
Вівсяна, перлова, ячна крупи	320..350	Квасоля	≈480
Риба свіжа	≈250	Горох	≈330
Яловичина	≈180	Молоко	90...180
Молоко коров'яче згущене	235	Плавлений сир	430...760
Сир твердий	500...600	Олія	13...18
Сир	192	Молочні продукти (кефір, сметана)	85...150

## МАГНІЙ

В організмі дорослої людини міститься приблизно 25 г Магнію, головним чином в кістках у вигляді фосфатів і бікарбонату. Фізіологічні функції Магнію є різноманітними. Магній є структурним компонентом широкого кола ферментів (приблизно 300), у тому числі АТФ-залежних ферментів.

Магній входить до складу металопротеїдів – складних білків, що містять у своєму складі метали. Він належить до активаторів, що підвищують активність ферментів, що посилюють їх дію. Активує такі ферменти, як ацетилтрансфераза, гексокіназа, аміноацил-т-РНК-синтетаза, ацетил-КоА-синтетаза.

Біосинтез білків відбувається за безпосередньої участі іонів Магнію, який необхідний для реакції активування амінокислот.

Завершальний етап аеробного розпаду вуглеводів і ліпідів за посередництва циклу трикарбонових і дикарбонових кислот здійснюється за активної участі іонів Магнію, які активують частину ферментів циклу Кребса.

Магній має кардіопротекторну дію, сприятливо впливає на серце у разі порушення ритму, ішемічної хвороби серця (ІХС), у тому числі у випадку інфаркту міокарду, покращує кисневе забезпечення міокарду, обмежуючи зону ураження. Одночасно Магній проявляє судинорозширювальну дію і сприяє зниженню артеріального тиску. Активно приймає участь в процесах нервового збудження, водного, вуглеводного і фосфорного обміну, оберігає організм від захворювання ішемією, стенокардією і інфарктом, не допускаючи спазмів кровоносних судин і судом м'язів. Знижує вміст холестерину в крові і тканинах, попереджає утворення каменів в нирках.

Магній є антистресовим макроелементом, справляє нормалізуючу дію на стан нервової системи і її вищих відділів (особливо у поєднанні з вітаміном В<sub>6</sub>) за нервової напруги, депресій, неврозів.

За нестачі елемента можливий розвиток найрізноманітніших зовнішніх проявів: від раптових запаморочень, втрати рівноваги, мерехтливих цяток перед очима до сіпання повік, м'язових спазмів, поколювання і здерев'яніння м'язів, випадіння волосся і підвищеної ламкості нігтів. Спочатку відзначається швидка втомлюваність, часті головні болі, труднощі з концентрацією уваги, підвищення чутливості до змін погоди, що часто викликає різні болі зубів, ясен, суглобів. Потім посилюється серцебиття, з'являються перебої в роботі серця, що часто супроводжуються сильним пронизливим болем в грудній клітці. Розвиваються безсоння, гострі спазматичні болі в шлунку, відчуття тяжкості в тілі. Можливі порушення нормальної роботи нервової та серцево-судинної системи, ниркова недостатність.

Надлишок Магнію в їжі не призводить до негативного впливу на здоровий організм. Проте за хвороб печінки можливі явища загальмованості, сонливості, артеріальної гіпотонії, уповільнення пульсу.

Добова потреба в Магнії складає (мг) для дорослої людини – 400, вагітних і жінок-годувальниць – 50 (додатково до норми); дітей і підлітків: 1...3 роки – 150; 4...6 років – 200; 7...10 років – 250; інші групи – 300.

Майже половина добової потреби в Магнії задовольняється за рахунок хліба, круп'яних виробів, какао, горіхів (таблиця 7.4)

Таблиця 7.4 - Вміст Магнію в харчових продуктах

Найменування	Вміст, мг/100 г	Найменування	Вміст, мг/100 г
Пшеничні висівки	490	Часник	36
Пророщена пшениця	336	Ізюм	35
Мигдаль	270	Зелений горошок	35
Горіхи кеш'ю	267	Картопля з шкіркою	34
Пивні дріжджі	231	Краби	34
Гречка	229	Банани	33
Фундук	184	Батат	31
Арахіс	175	Ожина	30
Просо	162	Буряк	25
Зерна пшениці	160	Броколі	24
Горіхи пекана	142	Цвітна капуста	24
Волоські горіхи	131	Морква	23
Зерна жита	115	Селера	22
Тофу	111	Яловичина	21
Сушені кокоси	90	Курчата	19
Соеві боби	88	Томати	14
Сушені абрикоси	62	Капуста білокачанна	13

## КАЛІЙ

Калій – внутрішньоклітинний елемент, що регулює кислотно-лужну рівновагу крові. Вважають, що Калій має захисні властивості проти небажаної дії надлишку Натрію і нормалізує тиск крові. Елемент відіграє важливу роль у внутрішньоклітинному обміні, в регуляції водно-солевого обміну, осмотичного тиску, кислотно-лужного балансу в організмі. Він є необхідним для нормальної діяльності м'язів, зокрема серця, приймаючи участь в проведенні нервових імпульсів до м'язів. Однією з найважливіших його властивостей є виведення з організму води і Натрію. Він також активує ряд ферментів і приймає участь в найважливіших обмінних реакціях. Калій активує такі ферменти, як ацетилтрансфераза, гексокіназа, аміноацетилтрансфераза. У ферментативних системах, де Калій виступає як активатор, Натрій є інгібітором. Іони Калію відіграють істотну роль в регулюванні функцій організму. Серцевий м'яз реагує на підвищення вмісту Калію зменшенням збудливості і провідності.

Калій приймає участь в процесі проведення нервових імпульсів і передачі їх на іннервовані органи. Він є необхідним також для скорочення скелетних м'язів, покращує скорочення м'язів за м'язової дистрофії, міастенії, приймає участь в процесах, що забезпечують проведення нервових імпульсів, корегує лужний баланс крові і тканинних рідин, приймає участь в реакціях обміну речовин, наприклад в перетворенні глюкози на глікоген, приймає участь в

регуляції ритму серця, регулює концентрацію шлункового соку.

Добова потреба дорослої людини складає 2500...5000 мг, яка може задовольнятися звичайним раціоном. Особливо зростає його споживання за розумового і фізичного навантаження організму, підвищеному споживанні кухонної солі, а також за різних травм, розладах шлунку і блювоті. У організмі людини має бути адекватне співвідношення солей Калію і Натрію. Найбільше Калію в організм надходить з рослинними продуктами (таблиця 7.5).

Таблиця 7.5 – Вміст Калію в продуктах харчування

Продукт	мг/100 г	Продукт	мг/100 г
Горох	870	Томат	290
Шпинат	774	Редис	255
Горіхи волоські	664	Яблука	278
Квасоля	1100	Виноград	255
Гриби	440...460	Молочні продукти	≈ 145
Капуста білокачанна, кольрабі, брюссельська	185.. 375	Яйце куряче	140
Картопля	570	Борошно пшеничне	122
Персики	363	Сир жирний	112
Буряк	288	Хліб	208
Морква	234		

У рослинних продуктах, на відміну від тваринних, Калію у багато разів більше, ніж Натрію. У картоплі співвідношення Натрію до Калію 1:20, в яблуках 1:10, а в яловичині 1:5, в молоці 1:3. Тому в "калієві" дієти за гіпертонічної хвороби, недостатності кровообігу і хворобах нирок з набряками включають в основному рослинні продукти. Калій добре всмоктується з кишечника, а його надлишок швидко виводиться з організму разом з сечею. Найбільш багатими на Калій є білокачанна капуста, квасоля, бульби картоплі, редька, редис, цибуля, морква, буряк, селера, зелень кропу і петрушки, плоди томатів і чорної смородини.

## НАТРІЙ

Натрій – важливий міжклітинний і внутрішньоклітинний елемент, що приймає участь в створенні необхідної буферності крові (постійного значення рН крові), регуляції кров'яного тиску, водного обміну.

Добова потреба в іонах Натрію складає 4...6 г, що відповідає приблизно 10 г кухонної солі.

У випадку збільшення кількості кухонної солі в організмі збільшується об'єм тканинної рідини і плазми крові, в результаті чого підвищується артеріальний тиск. Основним регулятором сталої концентрації натрій хлориду в крові і тканинній рідині є нирки. Виділення солі нирками регулюється альдостероном – гормоном кори надниркових залоз.

Надмірний прийом кухонної солі з їжею викликає перевантаження регуляторних механізмів, що і призводить до стійкого підвищення артеріального тиску. Встановлений прямий зв'язок між надмірним

споживанням Натрію і гіпертонією. Отже, для профілактики гіпертонічної хвороби і попередження інфаркту міокарду потрібне свідоме обмеження споживання кухонної солі.

Основне надходження Натрію в організм відбувається за рахунок кухонної солі. Натуральні харчові продукти містять відносно мало Натрію (одиниці і десятки мг на 100 г). Вміст Натрію в продуктах харчування наведений в таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 – Вміст Натрію в харчових продуктах

Найменування	Вміст, мг/100 г	Найменування	Вміст, мг/100 г
Зелені оливки	2400	Морква	47
Соління, кріп	1428	Йогурт	47
Зрілі оливки	828	Петрушка	45
Квашена капуста	747	Артишок	43
Пресований сир	229	Сушений інжир	34
Омари	210	Сочевиця	30
Пахта	130	Ізюм	27
Селера	126	Червонокочанна капуста	26
Яйця	122	Часник	19
Тріска	110	Біла квасоля	19
Шпинат	71	Броколі	15
Баранина	70	Гриби	15
Свинина	65	Цвітна капуста	13
Курчата	64	Цибуля	10
Яловичина	60	Огірки	6
Буряк	60	Арахіс	5
Насіння кунжуту	60	Томати	3
Молоко незбиране	50	Баклажани	2
Ріпа	49		

### СУЛЬФУР

Роль Сульфуру в обміні речовин визначається її участю в структурі сірковмісних амінокислот (метіоніну, цистину), деяких гормонів і вітамінів. Вона приймає участь в енергетичному метаболізмі і реакціях детоксикації. Необхідна концентрація Сульфуру забезпечує нормальну проходження синтезу інсуліну – важливого гормону, що регулює вуглеводний обмін, функцію і структуру сполучної тканини і що зберігає структуру суглобових поверхонь. Сульфур входить до складу гемоглобіну, міститься в усіх тканинах організму, потрібна для синтезу колаген-білку, що визначає структуру шкіри.

Сульфур має здатність захищати організм від небезпечної дії радіації, забруднень довкілля, уповільнює процеси старіння організму.

Добова потреба – 1 г, яка компенсується звичайним раціоном.

Найбільш багатими на Сульфур є цибуля ріпчаста, різні види капусти, бруква, хрін, гірчиця, горох, боби, женьшень.

### ХЛОР

Фізіологічне значення і біологічна роль хлору полягає в його участі, як регулятора осмотичного тиску в клітинах і тканинах, в нормалізації водного

обміну.

Добова потреба – приблизно 2 г, яка з надлишком задовольняється звичайним раціоном, що містить 7...10 г хлору. Основна його кількість припадає на кухонну сіль (до 90 %). Вважають, що нешкідливий рівень споживання хлору знаходиться на межі 5...7 г.

### 7.3 Мікроелементи

#### ФЕРУМ

Ферум – широко розповсюджений в природі елемент. В організмі людини міститься від 3 до 5 г Феруму. З цієї кількості 70...80% припадає на Ферум гемоглобіну. Ферум виявлений у складі більш ніж 70 різних за своїми функціями ферментів.

Ферумвмісні біомолекули виконують чотири основні функції:

- транспорт електронів (цитохроми, ферумсульфурпротеїди);
- транспорт і депонування кисню (міоглобін, гемоглобін, еритрокруорин, гімеритрин, хлорокруорин);
- участь у формуванні активних центрів окиснювально-відновних ферментів (оксидази, гідроксилази, супероксиддисмутази та ін.);
- транспорт і депонування Феруму (сидерофіліни, і серед них найбільш вивченим є трансферин, гемосидерин, феритин, сидерохроми).

Ферум входить до складу гемоглобіну і міоглобіну, ферменту каталази та ін., завдяки яким він приймає участь в кровотворенні, тканинному диханні і виконує інші функції. Ферум входить до складу гемопротеїд-цитохрому Р-450, що приймає участь в знешкодженні сторонніх речовин, що потрапляють в організм людини. Інший фермент, що містить Ферум, – тиреопероксидаза – приймає участь в синтезі гормонів щитовидної залози. Ферум ферменту мієлопероксидази приймає участь в процесах фагоцитозу і лізису мікроорганізмів, тобто в підтримці імунітету.

Ферум засвоюється в шлунку і кишечнику, але переважно в дванадцятипалій кишці, причому двовалентний Ферум засвоюється набагато краще за тривалентний, що міститься в харчових продуктах. Відновники, такі як аскорбінова і лимонна кислоти, тваринний білок, деякі органічні кислоти, перетворюють тривалентний Ферум на двовалентне і тим самим підвищують його адсорбцію. Сприяють його всмоктуванню деякі прості вуглеводи – лактоза, фруктоза, сорбіт, а також амінокислоти – гістидин, цистеїн і лізин. У продуктах є речовини, які пригноблюють всмоктування Феруму: фітин, клітковина висівок, соєвий білок, фосфати, деякі компоненти чаю і кави.

Ферум з тваринної їжі засвоюється у декілька разів краще (до 30%), ніж з рослинної (до 10%). Так, за даними ВООЗ, аліментарні ферумдефіцитні стани широко розповсюджені серед усіх верств населення країн, що розвиваються, де переважає рослинне харчування. У економічно ж розвинених країнах (Англія, Франція, Швеція та ін.) виявляється тільки прихований дефіцит Феруму.

Добова потреба дорослої людини в Ферумі складає в середньому 10...18 мг.

Нестача Феруму є найбільш частою причиною прояву анемії. За даними

ВООЗ, 80% усіх аліментарних анемії складають ферумдефіцитні. Дефіцит Феруму, або гіпосидероз, досі залишається широко розповсюдженою патологією, на яку страждає кожен п'ятий житель нашої планети. В випадку гіпосидерозу знижується концентрація гемоглобіну, вміст еритроцитів в крові, активність ферумвмісних ферментів. Причиною захворювання є недостатньо збалансоване харчування. Нормалізація гемоглобіну настає зазвичай через 3...4 тижні з початку лікування. Вміст Феруму в деяких харчових продуктах наведений в таблиці 7.7.

Таблиця 7.7 – Вміст Феруму в харчових продуктах

Найменування	Вміст, мг/100 г	Найменування	Вміст, мг/100 г
Пивні дріжджі	17,3	Сочевиця	2,1
Пшеничні висівки	14,1	Арахіс	2,1
Насіння гарбуза	11,2	Баранина	1,9
Насіння кабачка	11,2	Тофу	1,9
Пророщена пшениця	9,4	Зелений горошок	1,9
Яловича печінка	8,8	Курчата	1,8
Насіння соняшнику	7,1	Лосось	1,5
Просо	6,8	Броколі	1,1
Петрушка	6,2	Смородина	1,1
Їстівні молюски	6,1	Цвітна капуста	1,1
Ізюм	3,5	Ожина	0,9
Артишок	3,4	Червонокочанна капуста	0,8
Фініки	3,0	Гарбуз	0,8
Свинина	2,9	Гриби	0,8
Горіхи пекану	2,4	Банани	0,7
Яйця	2,3	Буряк	0,7

Зустрічаються також і стани організму, пов'язані з надмірним вмістом Феруму в організмі, – сидероз, або гіперсидероз. Екзогенний (зумовлений зовнішніми причинами) сидероз нерідко спостерігається у шахтарів, що приймають участь в розробці червоних залізних руд, і у електрозварювальників. Ендогенний (через внутрішні причини) сидероз найчастіше виникає в результаті підвищеного руйнування гемоглобіну в організмі. До ранніх симптомів сидерозу відноситься збільшення печінки, що потім викликає цукровий діабет і прогресуюче потемніння шкіри.

#### КУПРУМ

Купрум – один з найважливіших незамінних мікроелементів. Купрум приймає участь в процесах утворення крові, білковому і вуглеводному обміні, окиснювально-відновних реакціях організму. Вона входить до складу окиснювально-відновних ферментів (аскорбатоксидази, поліфенолоксидази), активізує дію вітамінів групи В. Добова потреба – 2 мг.

Джерела Купруму – печінка, особливо яловича, м'ясо, риба, бобові, горіхи, вівсяна і гречана крупи. Купрум, що потрапляє в організм, засвоюється

лише на 30%, а решта його кількості виводиться через шлунково-кишковий тракт.

## ЦИНК

Цинк виявлений в усіх органах і тканинах, де його кількість коливається в широких межах. Скелетні м'язи є найбільш багатими на Цинк.

Нині Цинк знайдений у більше, ніж в 200 металоферментах, що приймають участь в найрізноманітніших метаболічних процесах, включаючи синтез і розпад вуглеводів, жирів, білків і нуклеїнових кислот. Алкогольдегідрогеназа, присутня в печінці й інших органах, окиснює етанол, інші первинні і вторинні спирти, стероїди, а також вітамін А.

Цинку належить важлива роль в синтезі білку і нуклеїнових кислот. Він є присутнім в усіх вивчених нині нуклеотидилтрансферазах, а його відкриття в зворотних транскриптазах уперше дозволило встановити тісний взаємозв'язок з процесами канцерогенезу. Цинк є необхідним для стабілізації структури ДНК, РНК і рибосом.

Цинк виконує різноманітні функції в організмі: приймає участь в процесах дихання, білкового і нуклеїнового обміну, формуванні імунітету. Він є необхідним для синтезу колагену, регулює смакову і нюхову чутливість, захищає печінку від хімічного ураження, необхідний для формування кісток, приймає участь в процесі запобігання формуванню вільних радикалів, сприяє регенерації еритроцитів і гемоглобіну, забезпечує реалізацію біологічної дії вітамінів А і фолієвої кислоти (кровотворення). Цинк відіграє важливу роль в реалізації гормональних функцій в організмі. Він безпосередньо впливає на продукування і функціонування інсуліну, й тим самим на увесь спектр інсулінозалежних процесів. У чоловіків приймає участь в синтезі тестостерону і функціонуванні статевих залоз, в силу чого простежується зв'язок між рівнем Цинку в організмі і потенцією. Як інгібітор 5- $\alpha$ -редуктази, Цинк регулює рівень метаболіту тестостерона-дигідротестостерона, надлишок якого зумовлює гіперплазію простати. Цинк є необхідним фактором і для жіночого організму, оскільки входить в структуру рецепторів для естрогену, регулюючи таким чином усі естрогенозалежні процеси. Він є важливим для функціонування тимусу і нормального стану імунної системи організму. Як компонент білку, що переносить ретинол, Цинк разом з вітаміном А і вітаміном С перешкоджає виникненню імунодефіцитів, стимулює синтез антитіл і має противірусну дію. Він підвищує стійкість до стресів і простудних захворювань, має антивірусні і антитоксичні властивості.

Добова потреба в Цинку складає 10...15 мг.

Надлишок Цинку викликає серйозні фізіологічні порушення в організмі.

Варто пам'ятати, що харчові продукти, особливо кислі і жирові, не можна обробляти в цинковому посуді, оскільки Цинк може переходити в продукти і, накопичуючись у великих кількостях, викликати отруєння людей. Виключення складає тільки холодна питна вода.

Основним джерелом Цинку для людей є продукти тваринного походження: печінка, яловичина, яйця.



## Вміст Цинку в харчових продуктах наведений в таблиці 7.8.

Таблиця 7.8 – Вміст Цинку в харчових продуктах.

Найменування	Вміст, мг/100 г	Найменування	Вміст, мг/100 г
Свіжі устриці	148,7	Зелений горошок	1,6
Імбирний корінь	6,8	Креветки	1,5
Біфштекс	5,6	Ріпа	1,2
Баранина	5,3	Петрушка	0,9
Горіхи пекана	4,5	Картопля	0,9
Горох	4,2	Часник	0,6
Яловича печінка	3,9	Морква	0,5
Ячний жовток	3,5	Хліб з цілісного зерна	0,5
Зерна пшениці	3,2	Незбиране коров'яче молоко	0,4
Зерна іржі	3,2	Свинина	0,4
Овес	3,2	Кукурудза	0,4
Арахіс	3,2	Виноградний сік	0,3
Мигдаль	3,1	Маслинова олія	0,3
Волоські горіхи	3,0	Цвітна капуста	0,3
Сардини	2,9	Шпинат	0,2
М'ясо курчат	2,6	Капуста білокачанна	0,2
Гречка	2,5	Сочевиця	0,2

## ЙОД

Йод відноситься до найважливіших есенціальних мікроелементів, які постійно містяться в живих організмах і є незамінними. Цей мікроелемент є необхідним для синтезу гормонів щитовидної залози, без яких неможливе нормальне функціонування людського організму. У організмі дорослої людини міститься 20...50 мг Йоду і приблизно 1/3 його припадає на частку щитовидної залози, яка є найважливішим органом внутрішньої секреції, що виробляє тиреоїдні гормони, і саме вони примушують дихати тканини нашого тіла, регулюють усі види обміну речовин і діяльність кожного органу, включаючи головний мозок. Йод знаходиться і в інших органах, в крові він циркулює у формі йодиду і в зв'язаному з білками стані.

Нестача Йоду в їжі призводить перебудови функцій щитовидної залози і формується зоб. Встановлено, що йододефіцитні захворювання (ЙДЗ) – одні з найбільш поширених неінфекційних захворювань людини.

Дефіцит Йоду збільшує частоту вродженого гіпотиреозу, призводить до безповоротних порушень мозку плода і новонароджених, призводить до розумової відсталості (кретинізму, олігофренії).

На думку експертів ВООЗ, нестача Йоду є найпоширенішою формою розумової відсталості, яку можна попередити. Дослідженнями, виконаними останніми роками в розвинених країнах світу, встановлено, що середні

показники розумового розвитку в регіонах з вираженим йодним дефіцитом є на 15...20% нижчими, ніж за його відсутності.

Йододефіцитним захворювання можна запобігти шляхом проведення масової йодної профілактики за допомогою фармацевтичних таблетованих препаратів, біологічно-активних добавок (БАД) різних форм, а також харчових продуктів багатих йодом або збагачених ним.

Добова потреба людини в йоді – 0,10 – 0,15 мг.

Для регулювання вмісту йоду в їжі в продукти харчування, у воду і в кухонну сіль вводять йод. Найбільш ефективним способом попередження дефіцитних станів і оптимізації забезпеченості організму йодом є використання для приготування і досоловання їжі йодованої солі зі вмістом йодиду 25...55 мкг/г.

Слід зазначити, що кількість йоду в одних і тих же продуктах значно коливається в залежності від концентрації мікроелементу в ґрунті і у воді. Високий вміст йоду спостерігається в морських водоростях (ламінарії) – 160...800 мг/100 г сухої маси, морській рибі і морепродуктах – 300...3000 мкг/100 г. Йод міститься (в середньому, мкг/100 г) і в таких харчових продуктах, як: яйця (60), молоко (45), цибуля (44), щавель (39), капуста білокачанна (37), морква, печінка яловича (35), картопля (32), квасоля (24), хліб житній, баклажани (14), огірки (11), хліб пшеничний, горох(10), риба річкова (9).

## СЕЛЕН

В ході еволюції для підтримки нормальної життєдіяльності в організмі людини сформувалися і функціонують три основні системи – антиоксидантна, імунна і детоксикаційна. Одним з мікроелементів, який приймає участь в роботі усіх цих систем, є Селен.

Цей мікроелемент приймає активну участь в цілому ряді метаболічних реакцій. Селен є необхідним для нормальної роботи щитовидної залози, оскільки він – один з мікроелементів, що підтримують її життєдіяльність. Адже саме ця залоза приймає участь у більшості обмінних реакцій. Збої в роботі щитовидної залози призводять до порушення росту і розвитку організму, кретинізму і інших захворювань. Тому нестача Селену в організмі призводить до таких серйозних хвороб, як анемія, діабет, інфаркт міокарду, рак.

Основна біологічно активна форма Селену в організмі – селеноцистеїн. Селеновмісні протеїни – це групи ферментів, що приймають участь в утворенні ферментативної ланки антиоксидантного захисту. До них відносять глутатіонпероксидази, що служать каталізаторами у відновленні пероксиду водню і органічних пероксидів, що запобігає процесу окиснювального руйнування біомембран в організмі. Ці ферменти відіграють важливу бар'єрну роль у випадку надходження агресивних пероксидних сполук разом з компонентами їжі. Активна робота глутатіонпероксидаз підтримується саме за рахунок Селену.

Окиснювальне руйнування біомембран – це процес, який призводить до порушення структурної і функціональної цілісності мембран клітин, сприяє

підвищенню проникності і зниженню стійкості клітинних структур до ушкоджень. Особливо страждає за нестачі Селену серцево-судинна система, що проявляється прогресуючим атеросклерозом і слабкістю серцевого м'язу.

Селен в якості активного центру виступає і в таких селеноцистеїнових ферментах, як дейодинази. Вони приймають активну участь в нормалізації роботи щитовидної залози. Їх основне завдання полягає в трансформації тетраїодтріоніну в активний тиреогормон трийодтрионін. Тут якраз і проявляється необхідність дотримання балансу спільної присутності в організмі Йоду і Селену. Тільки за таких умов стає можливою ефективна діяльність щитовидної залози.

У ряді країн успішно реалізуються національні програми з ліквідації селенодефіциту людини. Наприклад у Фінляндії, починаючи з 1981 р., Селен є обов'язковою складовою мінеральних добрив, що вносяться під зернові і кормові культури. Такий підхід дозволив досягти збільшення тривалості життя фінів на 15 – 18 років. У інших країнах – США, Англії, Франції, Голландії – Селеном збагачують корми тварин.

ВООЗ рекомендує споживати 50 мкг Селену на добу. Згідно з міжнародними рекомендаціями, добова лікувально-профілактична доза селеновмісних препаратів для дорослої людини складає 100 мкг.

Доза Селену 1 мг на добу для людського організму є токсичною.

Основними харчовими джерелами Селену для людини є продукти моря – риба (особливо оселедець), краби, омари, лангусти, креветки і кальмари; субпродукти – свинячі і яловичі нирки, печінка і серце; яйця.

З продуктів рослинного походження багаті Селеном пшеничні висівки, пророслі зерна пшениці, зерна кукурудзи, томати, дріжджі, гриби і часник. Дріжджі, особливо пивні, вважаються найкращим джерелом Селену не лише тому, що в них його багато, але і тому, що він знаходиться в легко засвоюваній і біологічно активній формі.

## ФЛУОР

Майже 99% усього Флуору в організмі знаходиться в твердих тканинах. Флуор має високу спорідненість до білкової матриці емалі і включається в емаль зубного зачатка ще до початку його мінералізації. Флуор виявляє виражену вибірковість до твердих тканин і приймає участь в їх мінералізації. Елемент відіграє істотну роль не лише в початкових стадіях мінералізації твердих тканин, але і здатний попереджати їх демінералізацію.

За нестачі надходження Флуору в організм у дітей і дорослих розвивається карієс зубів. Відмічена пряма кореляція між низьким вмістом Флуору в раціоні і частотою виникнення карієсу зубів.

За надлишку Флуору розвивається флюороз зубів і кісток скелета. Так, на зубах з'являються плями білого, жовтого або коричневого кольору. Зуби стають більш крихкими і більш ламкими, спостерігається їх підвищена стиранність.

Флуорид-іон, що надходить з їжею, всмоктується в шлунку і тонкій кишці, причому швидкість і ступінь цього процесу визначається величиною дози, типом сполук Флуору, якісним і кількісним складом їжі. Засвоєння

відбувається за принципом простої дифузії.

Потреба організму у Флуорі – 0,5...1,0 мг на добу.

Основним джерелом Флуору є такі харчові продукти, як риба (особливо тріска і сом), баранина, телятина, вівсяна каша, хліб грубого помелу, печінка, горіхи, чай. У місцевостях, в яких ґрунти і води збагнені Флуором, його додають у воду, воду флуорують.

### МАНГАН

Манган входить до складу багатьох ферментів, відіграє важливу роль в процесах росту, кровотворення, утворення кісткової тканини.

Добова потреба в Мангані – 5...10 мг. У рослинних харчових продуктах Мангану міститься більше, ніж в тваринах.

Нестача Мангану часто фіксують у випадку різних форм анемії. Нестача Мангану в їжі може призвести до розвитку остеопорозу, причому прийом Кальцію посилює цей дефіцит, оскільки утруднює його засвоєння в організмі.

Основними джерелами Мангану є, мкг/100 г: фундук – 4200, чорна смородина – 1300, капуста білокачанна – 300, картопля – 170, риба і рибопродукти – 100...120.

### КОБАЛЬТ

Кобальт є надзвичайно важливим в організмі для кровотворення, поліпшення обміну речовин.

До теперішнього часу учені сперечаються щодо ролі Кобальту в розвитку онкологічних захворювань. З одного боку в крові онкологічних хворих вміст Кобальту є підвищеним в 1,5...2,5 рази в порівнянні з нормою. З іншого – встановлена гальмівна дія Кобальту на ріст деяких різновидів пухлинних клітин. Цей аспект дії цього мікроелемента ще до кінця не вивчений і вимагає подальших досліджень.

Добова потреба в Кобальті складає 0,1 – 0,2 мг.

Після відкриття фізіологічного значення солей Кобальту, коли їх стали широко використовувати як стимулятори кровотворення, була встановлена також їх токсичність.

Надлишок Кобальту в добовому харчовому раціоні призводить до кардіопатії з вираженою серцевою недостатністю. У робітників, що контактують з Кобальтом, спостерігаються кашель, диспептичні розлади, порушення нюху, хронічні риніти, ларингіт, фарингіти. За тривалого контакту можуть розвинути хронічний бронхіт, пневмонія, пневмосклероз.

За достатнього вмісту в їжі овочів і фруктів організм людини, як правило, не відчуває нестачі або надлишку Кобальту.

Основними харчовими джерелами Кобальту для людини є: капуста, картопля, цибуля, часник, салат, морква, груші, абрикоси, виноград, смородина, суниця.

### ХРОМ

Хром посилює дію інсуліну в усіх метаболічних процесах, регульованих цим гормоном.

Добова потреба в хромі коливається в межах 50...200 мкг.

За нестачі Хрому у людини відзначається зниження толерантності до глюкози, підвищення концентрації інсуліну в крові.

Найбільш значимими харчовими джерела Хрому є: чорний перець, теляча печінка, пророслі зерна пшениці, пивні дріжджі, хліб з борошна грубого помелу. Особливо важливо, що Хром в цих продуктах міститься у біологічно активній і легко засвоюваній формі.

#### МОЛІБДЕН

Молібден входить до складу ряду ферментів (сульфітооксидаза, альдегідрогідрогеназа, ксантинооксидаза, нітратредуктаза).

Ксантинооксидаза є важливим ферментом обміну пуринів, що каталізує реакцію, яка завершує утворення сечової кислоти в організмі.

Сульфітооксидаза перетворює сульфит на сульфат і строго специфічна до свого субстрату.

Молібден відіграє важливу роль в організмі, оскільки приймає участь в процесі детоксикації, активує фермент, що запобігає утворенню канцерогенних нітрозамінів. Сприяє затриманню в організмі Флуору і таким чином перешкоджає розвитку карієсу.

За надмірного надходженні в організм може розвинутиися "молібденова подагра".

Добова потреба в Молібдені складає 0,1...0,5 мг

Нестача Молібдену призводить до затримки росту, деформації кісток, анемії.

Основними харчовими джерелами Молібдену для людини є продукти рослинного походження (зернові і бобові культури), а також яловича печінка і нирки.

#### ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ.

Під час переробки харчової сировини, як правило, відбувається зниження вмісту мінеральних речовин (окрім додавання харчової солі). У рослинних продуктах вони втрачаються з відходами. Так, вміст ряду макро- і особливо мікроелементів в процесі отримання крупи і борошна після обробки зерна знижується, оскільки в оболонках, що видаляються, і зародках цих компонентів знаходиться більше, ніж в цілому зерні. Порівняльний аналіз мінерального складу в пшеничному борошні вищого ґатунку і в борошні з цільнозмеленого зерна наведений в таблиці 7.9.

Наприклад, в середньому, в зерні пшениці і жита зольних елементів міститься приблизно 1,7%, у борошні ж, в залежності від сорту від 0,5 (у вищому сорті) до 1,5% (в обойному). В результаті очищення овочів і картоплі втрачається від 10 до 30% мінеральних речовин. Якщо їх піддають тепловій кулінарній обробці, то в залежності від технології (варіння, обсмажування, тушкування) втрачається ще від 5 до 30%.

М'ясні, рибні продукти і птиця в основному втрачають такі макроелементи, як Кальцій і Фосфор, під час відділення м'якоті від кісток.

Таблиця 7.9. – Вміст мікро- і макроелементів в пшениці

Елемент	Цільнозернова	Високоочищена
Ca	41	16
P	372	87
Fe	3,3	0,8
K	370	95
Mg	60	16
Zn	3,50	0,07
Cu	1,00	0,32
Mo	0,14	0,02
Mn	3,2	0,83
Cr	0,014	0,002

За теплової кулінарної обробки (варіння, смаження, тушкування) м'ясо втрачає від 5 до 50% мінеральних речовин. Проте якщо обробку здійснювати у присутності кісток, що містять багато Кальцію, то можливе збільшення вмісту Кальцію в кулінарних оброблених м'ясних продуктах на 20%.

У технологічному процесі за рахунок недостатньо якісного устаткування може переходити в кінцевий продукт деяка кількість мікроелементів. Так, у виготовленні хліба під час приготування тіста в результаті його контакту з устаткуванням вміст Феруму може збільшуватися на 30%. Цей процес є небажаним, оскільки разом із Ферумом в продукт можуть переходити і токсичні елементи, що містяться у вигляді домішок в металі. Під час зберігання консервів у бляшаних збірних (тобто спаяних) банках з неякісно виконаним припоєм або у випадку порушення захисного лакового шару в продукт можуть переходити такі високотоксичні елементи як Плюмбум, Кадмій, а також Станум.

Слід врахувати, що ряд металів, таких як Ферум і Купрум, навіть в невеликих концентраціях можуть викликати небажане окиснення продуктів. Їх каталітична окислювальна здатність особливо яскраво проявляється відносно жирів і жирових продуктів. Так, наприклад, за концентрації Феруму вище 1,5 мг/кг і Купруму 0,4 мг/кг у випадку тривалого зберігання вершкового масла і маргарину ці метали призводять до згіркнення продуктів.

У випадку зберігання напоїв у присутності Феруму вище 5 мг/л і Купруму 1 мг/л часто спостерігається помутніння напоїв.

## Тема 8. Вітаміни

### План

- 8.1 Значення вітамінів в харчуванні людини
- 8.2 Жиророзчинні вітаміни
- 8.3 Водорозчинні вітаміни
- 8.4 Вітаміноподібні сполуки
- 8.5 Перетворення вітамінів в ході технологічних процесів та під час зберігання сировини та продуктів

### 8.1 Значення вітамінів в харчуванні людини

**Вітаміни** – низькомолекулярні органічні сполуки різноманітної хімічної природи, що не синтезуються (чи такі, що синтезуються в недостатній кількості) в організмі людини і більшість тварин, що надходять з їжею і необхідні для каталітичної активності ферментів, які визначають біохімічні і фізіологічні процеси в живому організмі. Вітаміни відносяться до незамінних мікрокомпонентів їжі, на відміну від макрокомпонентів – білків, ліпідів і вуглеводів.

Вітаміни поділяють на водо- і жиророзчинні:

- **водорозчинні вітаміни:** вітамін С, вітаміни групи В, РР і вітамін Н.
- **жиророзчинні** – вітаміни А, D, Е і К.

Виділяють також групу вітаміноподібних сполук, до яких відносять біофлавоноїди (вітамін Р), холін, інозит, вітамін U, карнітин, оротову (вітамін В<sub>13</sub>), пангамову (вітамін В<sub>15</sub>) і параамінобензойну кислоти, вітамін F.

Потреба людини у вітамінах залежить від її віку, стану здоров'я, характеру діяльності, пори року, вмісту в їжі основних макрокомпонентів харчування.

Розрізняють три ступеня забезпеченості організму вітамінами :

- *авітаміноз* – коли вітаміни відсутні повністю;
- *гіповітаміноз* – нестача вітамінів, іноді відсутність якого-небудь одного або декількох вітамінів;
- *гіпервітаміноз* – надмірний їх вміст.

Частіше ми зустрічаємося з гіповітамінозом, особливо в зимовий і весняний періоди.

Авітамінози є причиною серйозних захворювань, часто з летальним наслідком. Абсолютна потреба у вітамінах привела до сучасної вітамінної терапії в мегадозах.

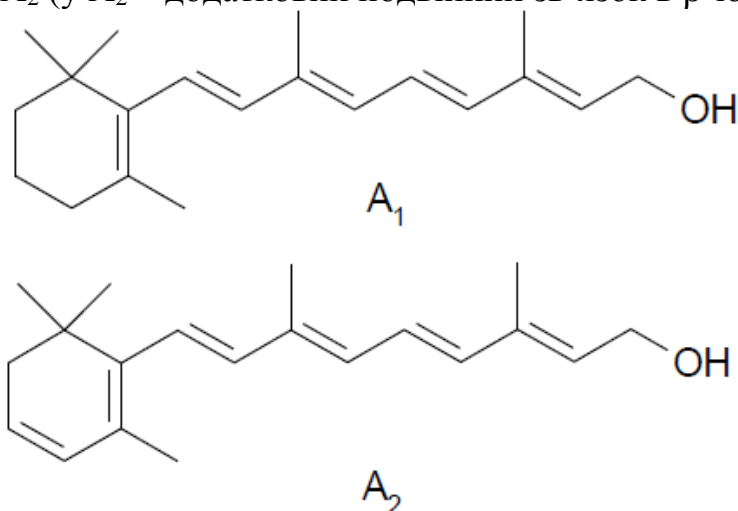
Потенційна токсичність надлишку в організмі жиророзчинних і водорозчинних вітамінів є різною. Жиророзчинні вітаміни здатні накопичуватися в жировій тканині організму. Їх підвищена кількість в результаті надмірного споживання окремих продуктів або додаткового прийому вітамінних препаратів може призвести до появи симптомів токсичної дії. Підвищений прийом водорозчинних вітамінів призводить тільки до виділення їх надлишків з організму – в організмі вони не накопичуються. Проте за великого передозування і водорозчинні вітаміни можуть бути небезпечними для організму. Особливо це відноситься до ніацину, за надлишку якого

можливе ураження печінки, і вітаміну В<sub>6</sub> – його передозування супроводжується порушенням функцій нервової системи. Норми споживання вітамінів наведені в нормативних документах, розроблених національними органами, що займаються питаннями харчування.

## 8.2 Жиророзчинні вітаміни

### РЕТИНОЛ (ВІТАМІН А, АНТИКСЕРОФТАЛМІЧНИЙ, АНТИІНФЕКЦІЙНИЙ, ВІТАМІН РОСТУ)

Зустрічається в якості чотирьох індивідуальних представників: ретинол, ретинілацетат, ретиналь, ретиноева кислота. Ретинол в хімічному відношенні – ненасичений одноатомний спирт, що складається з  $\beta$ -іонового кільця і бічного ланцюга з двох залишків ізопрену, що мають первинну спиртову групу. Він має два вітамери А<sub>1</sub> і А<sub>2</sub> (у А<sub>2</sub> – додатковий подвійний зв'язок в  $\beta$ -іоновому кільці).



Вітамін А є необхідним для нормального зору, ріст, клітинної диференціації, відтворення і цілісності імунної системи.

Виявлений вітамін тільки в продуктах тваринного походження, особливо багато його в печінці морських тварин і риб. У риб'ячому жирі вітаміну А, мкг% – 15, печінці тріски – 4, у вершковому маслі – 0,5, молоці – 0,025.

Попередниками вітаміну А є каротиноїди. До них відносять  $\alpha$ - і  $\beta$ -каротини, лікопін, лютеїн, криптоксантин і багато інших. З 500 відомих каротиноїдів приблизно 50 можуть перетворюватися в організмі у вітамін А, серед них найбільш важливим є  $\beta$ -каротин. З нього в організмі утворюється дві молекули ретинолу.  $\beta$ -Каротин локалізований в зелених частинах рослин, в плодах і овочах, що мають помаранчевий колір, у водоростях, грибах і бактеріях. Основним джерелом криптоксантину і лікопіну є томати і кукурудза.

Добова потреба у вітаміні А (різні форми) для дорослої людини складає 1000 мкг, вона може задовольнятися за рахунок  $\beta$ -каротину, який перетворюється в ретинол. Добова потреба в  $\beta$ -каротині є в 2 рази вищою, ніж у вітаміні А. Потреба у вітаміні А зростає під час роботи, пов'язаної з напругою органа зору (водії всіх видів транспорту, комп'ютерники і т.д.)

Потреба у вітаміні зростає також під час вагітності, годування грудьми, захворюваннях кишечника, підшлункової залози, печінки і жовчовивідних шляхів.



У випадку гіповітамінозу А з'являється сухість шкіри і слизових оболонок, розвивається "куряча сліпота" (різке погіршення зору у сутінках), сповільнюється ріст кісток і зубів, знижується опірність організму до інфекцій. Крім того, А-вітамінна нестача призводить до розвитку пухлин. Під час вивчення особливостей харчування людини виявлений зворотний зв'язок між вмістом в раціоні ретинолу і  $\beta$ -каротину і захворюваністю раком.

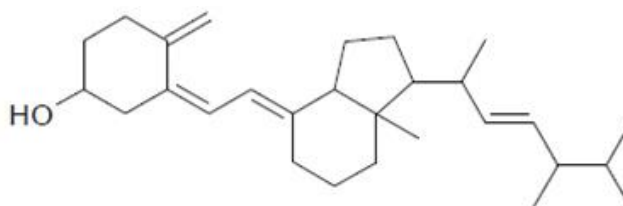
Ознаками гіпервітамінозу А є головний біль, блювота, облісіння, пересихання слизових оболонок, порушення в кістковій тканині і ушкодження в печінці. Як правило, ці ознаки проявляються тільки після тривалого прийому доз ретинолу, що перевищують 15 мг для дорослих і 6 мг для дітей на добу.

Ретинол легко окислюється і руйнується під дією світла на повітрі. В результаті кулінарної обробки руйнується до 30% вітаміну А.

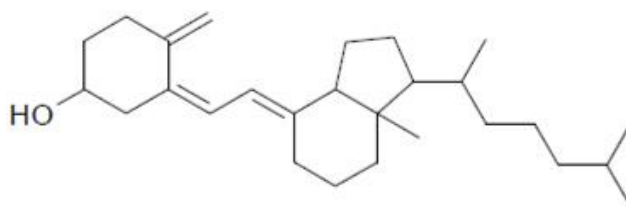
### КАЛЬЦИФЕРОЛИ (ВІТАМІНИ ГРУПИ D)

Під цим терміном вітаміни групи D мають на увазі декілька сполук, що відносяться до стеринів; найбільш активними серед яких є ергокальциферол ( $D_2$ ) і холекальциферол ( $D_3$ ). Перший є продуктом рослинного, другого – тваринного походження.

Вітамін D регулює вміст Кальцію і неорганічного Фосфору в крові, приймає участь в мінералізації кісток і зубів. Цим і пояснюється його друга назва: кальциферол. Хронічний дефіцит його призводить до розвитку рахіту у дітей і розрідження кісток – остеопорозу – у дорослих (наслідок чого – часті переломи кісток).



D<sub>1</sub>



D<sub>2</sub>

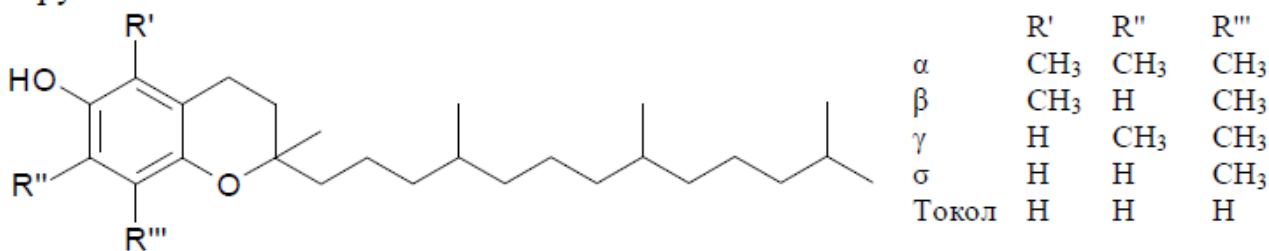
Кальциферол міститься в продуктах тваринного походження (мкг%): риб'ячому жирі – 125; печінці тріски – 100; яловичій печінці – 2,5; яйцях – 2,2; молоці – 0,05; вершковому маслі – 1,3...1,5. Потреба в цьому вітаміні у дорослої людини складає 2,5 мкг, вона може задовольнятися за рахунок його утворення в шкірі під впливом ультрафіолетових променів з провітамінів, наприклад 7-дегідрохолестерину. Потреба у вітаміні D підвищується за малої сонячної інсоляції (взимку), а також під час робіт під землею (шахтарі). У дітей добова потреба в цьому вітаміні є вищою, ніж у дорослих, і у випадку гіпо- або авітамінозу необхідним є його підвищене надходження з їжею або зі

спеціальними препаратами. За надлишку вітаміну D у дітей і дорослих (гіпервітаміноз) розвивається вітамінна інтоксикація. Вітамін D не руйнується в процесі кулінарної обробки, дуже чутливий до світла, дії кисню, іонів металів.

### ТОКОФЕРОЛИ (ВІТАМІН Е, АНТИСТЕРИЛЬНИЙ, ВІТАМІН РОЗМНОЖЕННЯ)

Вітамін Е має найбільшу біологічну активність серед сполук цієї групи,  $\alpha$ -токоферол в чистому вигляді уперше був виділений в 1936 р. із зародків пшениці. Відомі ще декілька представників цієї групи (токофероли, метилтоколи), які мають меншу кількість метильних груп в ароматичному ядрі і їх аналоги, – токотрієноли – з ненасиченим бічним ланцюгом.

Вітамін Е сприяє уповільненню окиснювальних процесів, стимулює м'язову діяльність, перешкоджає окисненню вітаміну А. Потреба у вітаміні Е підвищена у людей, що мешкають на забрудненій радіонуклідами територіях. Вітамін Е, маючи антиоксидантну дію, обмежує негативний вплив радіонуклідів, що потрапили в тканини організму. Він є найважливішим метаболітом, необхідним для нормального розвитку і життєдіяльності чоловічої і жіночої статевих систем, впливає на репродуктивні функції; посилює імунітет; допомагає внутрішньому і зовнішньому рубцюванню тканин після хірургічного втручання.



Фізіологічна потреба в Токоферолі складає в середньому для дорослих 12...15 мг/добу, для дітей – 3...15 мг, проте залежить від характеру і кількості жирів в раціоні. Людина отримує з їжею приблизно 20...30 мг токоферолів, в кишечнику всмоктується 50% токоферолів. Поширені токофероли в рослинних об'єктах, в першу чергу в оліях: соєвій – 115, бавовняній – 99, соняшниковій – 42 мг%. В хлібі міститься 2...4, в крупах – 2...15 мг%. Вітамін Е відносно стійкий за нагрівання, руйнується під впливом ультрафіолетових променів, кисню.

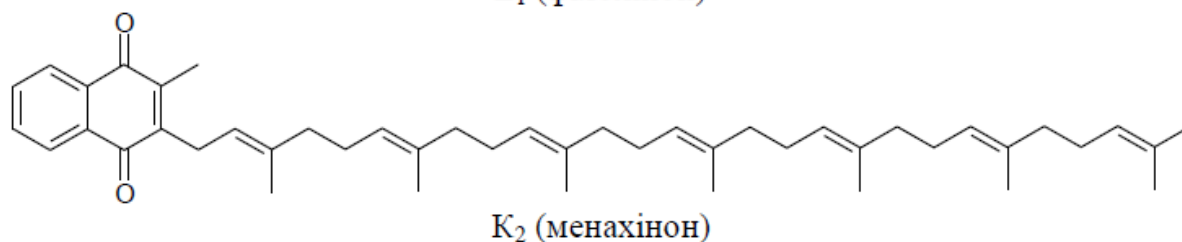
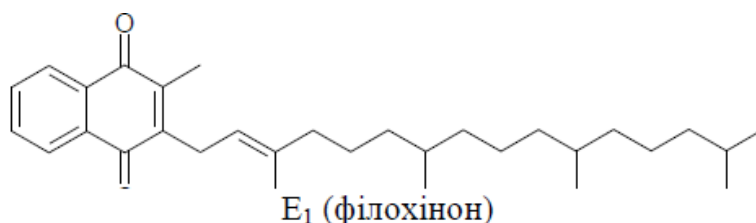
### ФІЛОХІНОН (ВІТАМІН К, АНТИГЕМОРАГІЧНИЙ)

Вітамін К приймає участь в процесах згортання крові. Він є необхідним для синтезу в печінці функціонально активних форм білку – протромбіну, який необхідний для утворення кров'яного згустку.

За хімічною природою вітамін К є хіноном з бічним ізопреноїдним ланцюгом.

Існує два види вітамінів групи К – філохінон і менахінон.

Філохінони та їх похідні містяться в зелених частинах рослин і потрапляють в організм з їжею, менахінони утворюються в результаті діяльності мікрофлори кишечника або під час метаболізму нафтохінонів в тканинах організму.



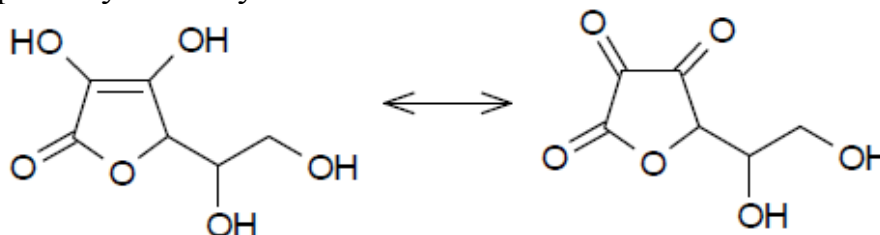
Потреба дорослої людини у вітаміні К складає 0,2...0,3 мг/доба в залежності від віку.

Нестача вітаміну К призводить до уповільнення здатності крові до згущення. Основні його джерела – кріп, шпинат, капуста. Вітамін К є стійким до підвищених температур, руйнується на світлі, в лужному середовищі.

### 8.3 Водорозчинні вітаміни

#### L-АСКОРБІНОВА КИСЛОТА (ВІТАМІН С, АНТИЦИНГОТНИЙ)

Уперше виділений з лимона. У хімічному відношенні є  $\gamma$ -лактон 2,3-дегідро-4-гулонової кислоти, легко переходить в окиснену форму – L-дегідроаскорбінову кислоту.



L-аскорбінова кислота

L-дегідроаскорбінова кислота

Вітамін С приймає участь у багатьох біохімічних окиснювально-відновних процесах в організмі, чинить антиоксидантну дію і сприяє регенерації і загоєнню тканин, підтримує стійкість організму до різних видів стресів; забезпечує нормальний імунологічний і гематологічний статус.

Усю необхідну кількість вітаміну С людина отримує з їжею. Основні його джерела – овочі, фрукти, ягоди: у свіжій шипшині 300 – 20 000 мг%, чорній смородині 200 – 500 мг%, капусті 50 – 70 мг%, молодій картоплі 20 – 30 мг%. Вітамін С є вкрай нестійким, легко руйнується киснем повітря у присутності слідів Феруму і Купруму, стійкіший в кислому середовищі, ніж у лужному, є мало чутливим до світла. В силу нестійкості його вміст в овочах і плодах під час їх зберігання швидко знижується. Виключення – свіжа і квашена капуста. За теплової обробки їжі руйнується на 25...60%.

Добова потреба у вітаміні С складає 50...100 мг в залежності від фізичної активності.

Відсутність вітаміну С призводить до хвороби, що називається цингою, – одне з перших відомих захворювань, пов'язаних з дефіцитом вітамінів. До відкриття причини її виникнення цинга вважалася загадковим смертельним

захворюванням, цілком оповитим таємницею.

Нині відомо, що вітамін С є необхідним для синтезу колагену – білку, що формує основну тканину, яка утримує зуби в яснах, сприяє регенерації шкіри, забезпечує міцність кісток і зв'язує один з одним органи. Від колагену залежить структура капілярів і правильне утворення сполучної тканини.

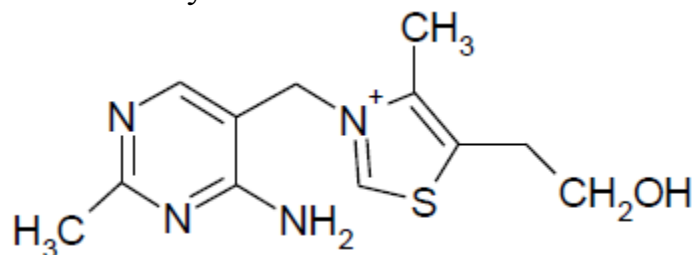
У разі припинення надходження вітаміну С в організм починається випадання зубів, утворюються підшкірні гематоми, з'являється крихкість кісток. Відмовляють нирки і легені, настає смерть.

Гіповітаміноз спостерігається в зимово-весняний період. За нестачі вітаміну С спостерігається сонливість, втомлюваність, знижується опірність організму до простудних захворювань.

Вітамін С використовується для збагачення соків, водорозчинних напоїв, сухих сніданків, молока, в якості хлібопекарського поліпшувача, для збереження кольору м'ясних продуктів спільно з нітратами і нітритом.

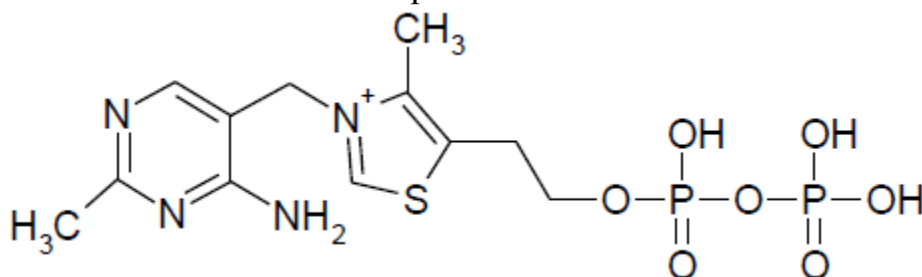
#### ТІАМІН (ВІТАМІН В<sub>1</sub>, АНТИНЕВРИТНИЙ)

Тіамін приймає участь в регулюванні вуглеводного обміну, а також в реакціях енергетичного обміну.



Нестача його призводить до порушень в роботі нервової, серцево-судинної, травної системи, поліневриту (бері-бері). Формою вітаміну В<sub>1</sub>, що діє в організмі, є його тіаміндифосфат (ТДФ, кокарбоксилаза).

Кокарбоксилаза – простетична група ряду ферментів, біологічна функція яких – декарбоксилювання піровиноградної кислоти (СН<sub>3</sub>СОСООН) і розщеплення С – С-зв'язків α-кетоспиртів і α-кетокислот.

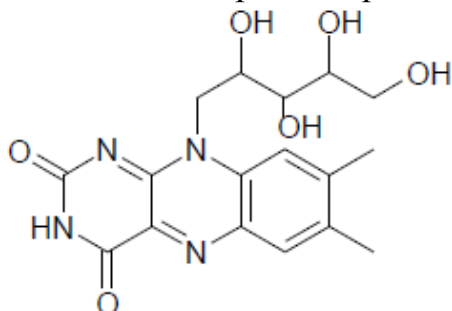


Основні джерела вітаміну В<sub>1</sub> – продукти із зерна: пшеничний і житній хліб, хліб з борошна грубого помелу, деякі крупи (у вівсяній – 0,5 мг%, ядриці – 0,4 мг%), бобові (у горосі – 0,8 мг%, квасоля – 0,5 мг%), свинина – 0,5-0,6 мг%, шрот соєвий – 2,2 мг%. Вітамін В<sub>1</sub> міститься в периферійних частинах зерна, і під час помелі переходить у висівки. Для збільшення вмісту тіаміну на борошномельних заводах проводять збагачення борошна вищого і I сорту синтетичним тіаміном.

Добова потреба в тіаміні у здорової людини – 1,4...2,4 мг.

## РИБОФЛАВІН (ВІТАМІН В<sub>2</sub>, АНТИСЕБОРЕЙНИЙ)

Вітамін В<sub>2</sub> входить до складу ферментів, що регулюють окиснювально-відновні реакції в організмі. Він покращує стан шкіри, нервової системи, слизових оболонок, функцію печінки і кровотворення.



Рибофлавін – складова частина коферментів, що каталізують транспорт електронів в окисно-відновних реакціях тваринного і рослинного світу.

Рибофлавін синить специфічну дію на функції слизових оболонок травного тракту, особливо ротової порожнини і язика. Цей вітамін є необхідним для забезпечення кольорового зору, процесів кровотворення і ряду інших фізіологічних функцій.

Рибофлавін широко розповсюджений в природі. Він синтезується більшістю вищих рослин, дріжджів і нижчих грибів, а також деякими бактеріями.

Рекомендована норма споживання рибофлавіну складає 1,5...3,0 мг/добу.

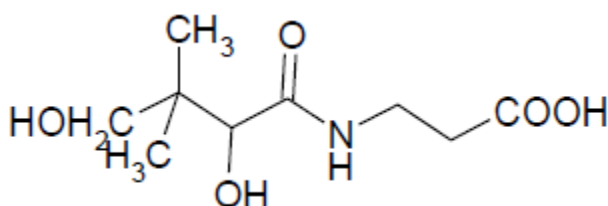
Джерела вітаміну В<sub>2</sub> (вміст, мг%) є молоко – 0,15, сир – 0,3, твердий сир – 0,4; яйця – 0,4; у хліб – 0,1; ядриця – 0,2; м'ясо – 0,1...0,2; печінка – 2,2; бобові – 0,15; овочі і фрукти – 0,01...0,06.

За нестачі рибофлавіну виникають захворювання шкіри (себорея, псоріаз), запалення слизової оболонки ротової порожнини, з'являються тріщини в кутках рота, розвиваються захворювання кровоносної системи і шлунково-кишкового тракту.

Вітамін В<sub>2</sub> є стійким до підвищених температур, окиснення, не руйнується в кислому середовищі, є нестійким до дії відновників в лужному середовищі, руйнується під дією світла.

## ПАНТОТЕНОВА КИСЛОТА (ВІТАМІН В<sub>3</sub>)

Пантотенова кислота (від грец. – "всюдисущий") входить в якості кофермента А (коензим А, КоА) до складу ферментів біологічного ацилування, приймає участь у біосинтезі і окисненні жирних кислот, ліпідів, синтезі холестерину, стероїдних гормонів. Вона приймає участь у синтезі ацетилхоліну, чинить регулюючий вплив на функції нервової системи, залоз внутрішньої секреції, рухову активність кишківника, сприяє знезараженню промислової отрути, що потрапила до організму.

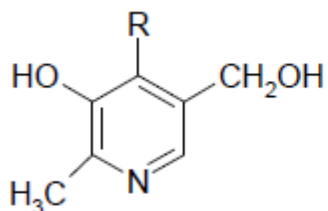


Відсутність пантотенової кислоти в організмі призводить до млявості, дерматиту, випадіння волосся, оніміння пальців ніг. Ознаки гіповітамінозу у людини спостерігаються рідко, так як кишкова паличка синтезує В<sub>3</sub>. Пантотенова кислота широко розповсюджена в природі. Основними джерелами (мг%) є: печінка і нирки – 2,5...9; гречка – 2,6; рис – 1,7...2,1; овес – 2,5; яйця – 1,4...2,7. Кулінарна обробка не призводить до значного руйнування пантотенової кислоти, але до 30% її може переходити у воду за варіння. Чутлива до дії кислот, основ.

Потреба в пантотеновій кислоті 5,0...10 мг на добу.

#### ПРИДОКСИН (ВІТАМІН В<sub>6</sub>, АДЕРМІН)

Існує в трьох різних хімічних формах: піридоксин, піридоксоль, піридоксаль, піридоксамін. Приймає участь в синтезі і перетвореннях аміно- і жирних кислот в якості коферменту піридоксальфосфату (ПАЛФ) в піридоксальних ферментах азотистого обміну. Необхідний для нормальної діяльності нервової системи, органів кровотворення, печінки.



Піридоксин: R=CH<sub>2</sub>OH

Піридоксаль: R=CHO

Піридоксамін: R – CH<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>

Вітамін В<sub>6</sub> широко розповсюджений в природі. Основними його джерелами для людини (мг%) є: м'ясні продукти – 0,3...0,4; риба – 0,1...0,2; соя і квасоля – 0,9; крупи (ядриця) – 0,4; пшоно – 0,52; картопля – 0,3.

Добова потреба у вітаміні В<sub>6</sub> – 2,0...3,0 мг.

Гіповітаміноз В<sub>6</sub> супроводжується вираженими порушеннями з боку центральної нервової системи (дратівливість, сонливість, поліневрити), ушкодженням шкірних покривів і слизових оболонок. У ряді випадків, особливо у дітей, нестача цього вітаміну призводить до розвитку анемії.

Піридоксаль є токсичним в дозах, що істотно перевищують фізіологічну потребу. За високих дозувань можуть розвиватися симптоми оніміння, аж до зниження чутливості.

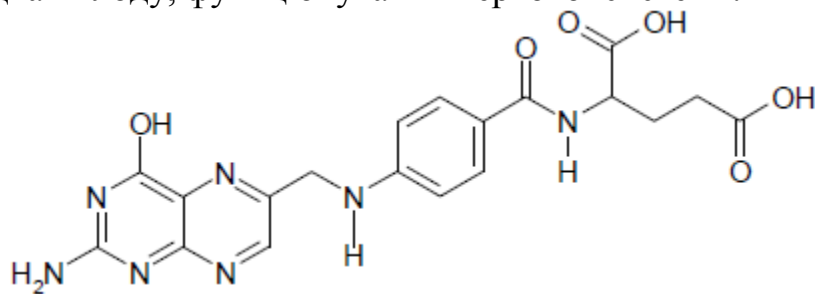
Вітамін В<sub>6</sub> є стійким до підвищених температур, кислот, руйнується на світлі і в лужних середовищах. Деяка кількість вітаміну В<sub>6</sub> потрапляє в організм в результаті діяльності кишкової мікрофлори. Вітамін В<sub>6</sub> у вигляді піридоксину гідрохлориду використовується для збагачення борошна, виробів із зерна, молочних продуктів, продуктів лікувально-профілактичного і дитячого харчування.

#### ФОЛІЄВА КИСЛОТА (ВІТАМІН В<sub>9</sub>, ФОЛАЦИН)

Під назвою фолацин виступають два вітаміни: власне фолієва кислота і тетрагідрофолієва кислота. Назва пішла від латів. Folium – лист. Приймає участь в процесах кровотворення, перенесенні одновуглецевих радикалів, синтезі аміно- і нуклеїнових кислот, холіну, пуринових і піримідинових основ в якості коферменту тетрагідрофолієвої кислоти (ТГФК) відповідних ферментів. Фолієва кислота потрібна для ділення клітин, росту органів, нормального



розвитку зародка і плоду, функціонування нервової системи.



Фолієва кислота широко розповсюджена в природі. Багато її (мкг%) в зелені і овочах (петрушка – 110, салат – 48, квасоля – 3, шпинат – 80), в печінці – 240, нирках – 56, хлібі – 16-27, сири – 35-40; мало в молоці – 5 мкг%. В значних кількостях вона виробляється мікрофлорою кишечника.

Потреба дорослої людини у вітамін В<sub>9</sub> – 200 мкг в добу.

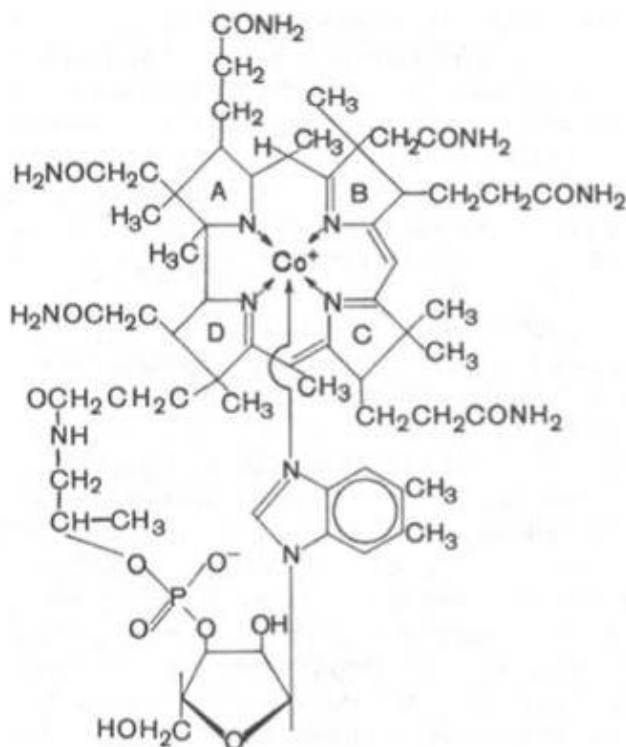
Нестача фолієвої кислоти супроводжується розвитком захворювань крові і шлунково-кишкового тракту.

Фолієва кислота застосовується для боротьби з хворобами кровотворної системи (злякисні анемії, променеві захворювання, лейкоз, гастроентероколіти).

Фолієва кислота руйнується під час термообробки, дії світла. За пастеризації молока втрачається 75% фолієвої кислоти. Легко руйнується в овочах під час їх переробки (до 90%). Проте в м'ясопродуктах і яйцях вона є стійкою. Під час кулінарної обробки м'яса її втрати є невеликими.

#### ЦИАНКОБАЛАМІН (ВІТАМІН В<sub>12</sub>, АНТИАНЕМІЧНИЙ)

Вітамін В<sub>12</sub> (ціанкобаламін, оксикобаламін, антианемічний вітамін) є найбільш складною хімічною сполукою серед вітамінів.



Вітамін В<sub>12</sub>

В результаті заміни групи -C≡N на групу -ОН в молекулі ціанкобаламіну

утворюється гідроксикобаламін, який останнім часом вважається істинним вітаміном В<sub>12</sub>. У організмі людини кобаламіни перетворюються на кобаламід – кофермент В<sub>12</sub>. Приймає участь в процесах кровотворення, перетворення амінокислот, біосинтезі (спільно з фолієвою кислотою) нуклеїнових кислот.

Вітамін В<sub>12</sub> синтезується виключно мікроорганізмами. Гарними продуцентами цього вітаміну є актиноміцети, пропіоновокислі і метаноутворюючі бактерії. Зелені рослини кобаламін не синтезують на відміну від інших вітамінів групи В. Основним джерелом вітаміну В<sub>12</sub> є продукти тваринного походження. Нестача його спостерігається у людей, що живляться тільки рослинною їжею. Найбільше вітаміну В<sub>12</sub> міститься в печінці, нирках, серці; менше – в м'ясі, твердих сирах, сирі, сметані, вершках, кефірі.

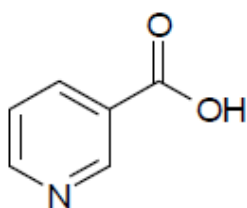
Добова потреба в ньому дорослої людини – 2...5 мкг.

Нестача в організмі вітаміну В<sub>12</sub> викликає важку форму злоякісної анемії, порушення обміну білків, жирів і вуглеводів, зниження апетиту, слабкість, болі в ділянці шлунку, параліч.

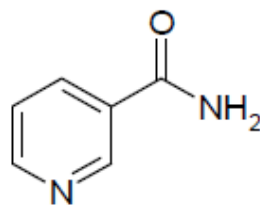
Вітамін застосовують у лікуванні анемії, для нормалізації функцій кровотворення, в неврології (поліневрит, радикуліт). Руйнується за тривалої дії світлових променів, в кислому і лужному середовищі; є термостабільним.

#### НІАЦИН (ВІТАМІН РР, АНТИПЕЛАРГІЧНИЙ)

Під назвою ніацин мають на увазі дві речовини, що мають практично однакову вітамінну активність: ніотинова кислота і її амід (нікотинамід).



Ніотинова кислота



Нікотинамід

Ніацин є коферментом нікотинамідаденіндинуклеотид (НАД) і нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат (НАДФ) великої групи НАД- і НАДФ-залежних ферментів дегідрогенази, що приймають участь в окислювально-відновних реакціях, які відбуваються в клітинах і які забезпечують клітинне дихання. Цей вітамін чинить регулюючий вплив на органи травлення, забезпечує нормальний обмін речовин в шкірі, покращує функції печінки (знешкоджуючу і глікогенотворюючу). Ніацин чинить специфічну дію на психічну діяльність, позитивно впливає на обмін холестеролу і утворення еритроцитів.

За нестачі вітаміну РР в організмі спостерігається млявість, швидка втомлюваність, безсоння, серцебиття, знижена опірність до інфекційних захворювань. Ніацин сприяє засвоєнню рослинного білку, тому він є важливим для осіб, що не вживають тваринні білки. Він приймає участь у вуглеводному обміні, сприяє діяльності шлунково-кишкового тракту.

За значної нестачі розвивається пелагра – важке захворювання, що характеризується ураженням шлунково-кишкового тракту, шкіри і центральної нервової системи. Назва "пелагра" походить від італійського слова, що означає



грубу шорстку шкіру, що є однією з ознак цієї хвороби. Вона розвивається у випадку харчування кукурудзою, білки якої є бідними на триптофан, із якого в організмі утворюється ніацин (1 мг ніацину утворюється з 60 мг триптофану).

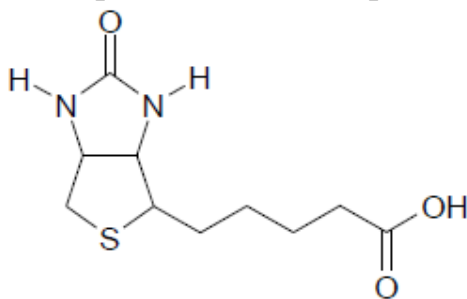
Джерела вітаміну РР – м'ясні продукти (особливо печінка і нирки): яловичина містить його – 4,7 мг%; свинина – 2,6; баранина – 3,8; субпродукти – 3,0...12,0. Багата ніацином і риба: 0,7 – 4,0 мг%. Молоко і молочні продукти, яйця є бідними на вітамін РР, але з урахуванням значного вмісту триптофану, вони є задовільними його джерелами. У ряді злакових і отримуваних з них продуктів вітамін РР знаходиться в зв'язаній формі і практично не засвоюється організмом. Вміст ніацину в овочах і бобових є незначним. Під час помелу зерна втрачається до 80% ніацину. Ніацин використовують для збагачення кукурудзяних і вівсяних пластівців, борошна.

Добова потреба в ніацині – 15...25 мг.

Вітамін РР добре зберігається в продуктах харчування, не руйнується під дією світла, кисню повітря, в лужних і кислих розчинах. Кулінарна обробка не призводить до значних втрат ніацину, проте частина його (до 25%) може переходити у воду в процесі варіння м'яса і овочів.

#### БІОТИН (ВІТАМІН Н)

Вітамін Н (від йому. Haut – шкіра) входить до складу ферментів, що каталізують оборотні реакції карбоксилювання-декарбоксилювання, приймаючи участь у біосинтезі ліпідів, амінокислот, вуглеводів, нуклеїнових кислот. Біотин є необхідним для нормальних функцій шкіри, нервової системи; він приймає участь в обміні жирних кислот і стеринів.



Потреба у біотині задовольняється за рахунок продуктів харчування і його біосинтезу мікрофлорою кишечника. Біотин міститься у більшості харчових продуктів. Основні джерела біотину (мкг%): печінка і нирки – 80...140, яйця – 28. У молоці, м'ясі – до 3 мкг%. З рослинних продуктів багатими на біотин є продукти переробки зерна (мкг%): пшеничний хліб – 4,8; вівсяна крупа – 20; соя – 60; горох – 20.

Добова потреба у біотині складає 150 мкг.

За нестачі біотину спостерігається лущення шкіри, випадання волосся, ламкість нігтів. Іноді запалення шкіри за гіповітамінозу супроводжується підвищеною функцією сальних залоз (себорея).

Нестача біотину розвивається за вживання великої кількості сирих яєчних білків, в яких міститься білок авідин, що зв'язує цей вітамін, перешкоджаючи його всмоктуванню в кишечнику. Вилучення з харчування сирих яєчних білків і включення в раціон багатих біотином продуктів може бути достатнім для

одужання.

В процесі кулінарної обробки продуктів харчування біотин практично не руйнується. Використовується як стимулятор росту хлібопекарських дріжджів.

#### 8.4 Вітаміноподібні сполуки

Вітаміноподібні сполуки відносяться до біологічно активних сполук, що виконують різні і різноманітні функції в організмі. Їх можна розділити на декілька груп (таблиця 8.1).

Орієнтовні величини потреби людини в цих харчових речовинах наведені в таблиці 8.2.

Таблиця 8.1 – Вітаміноподібні сполуки

Технологічна функція	Найменування сполуки
Незамінні харчові речовини з пластичною функцією	Холін; інозит (міоінозит, мезоінозит)
Біологічно активні речовини, що синтезуються в організмі людини	Ліпоева кислота; оротова кислота; карнітин
Фармакологічно активні речовини їжі	Біофлавоноїди; метилметіонінсульфоній (вітамін U); пангамова кислота (вітамін B <sub>15</sub> )
Фактори росту мікроорганізмів	Параамінобензойна кислота

Таблиця 8.2 – Орієнтовна добова потреба людини у вітаміноподібних сполуках, споживання яких офіційними нормами не регламентується.

Вітаміноподібні сполуки	Добова потреба
Вітамін P (біофлавоноїди)	30...50 мг
Вітамін B <sub>4</sub> (холін)	150...1000 мг
Вітамін B <sub>8</sub> (інозит)	500...1500 мг
Вітамін N (ліпоева кислота)	0,5...2 мг
Вітамін B <sub>15</sub> (пангамова кислота)	150...300 мг
Вітамін B <sub>13</sub> (оротова кислота)	0,5...1,5 до 3 г
Вітамін B <sub>10</sub> (ПАБК)	Не встановлена
Вітамін B <sub>11</sub> (карнітин)	Не встановлена
Вітамін U (S метилметіонінсульфоній)	Не встановлена

**Вітамін P** посилює біологічний ефект вітаміну C, зменшує проникність капілярів, має антиаритмічний, антигіпертензивний, антиоксидантні та інші властивості. Термін "вітамін P" об'єднує групу біологічно активних сполук рослинного походження, що називаються біофлавоноїдами.

Біофлавоноїди є одним з основних компонентів продуктів рослинного походження. Відомо приблизно 5000 природних флавоноїдів. P-вітамінні властивості проявляють флавонони (гесперидин, еріодиктинол), флавоноли (рутин, кверцетин, кверцитрин, ізокверцитрин, мірицетин), халкони, дигідрохалкони, катехіни, антосіанини, лейкоантоціани, кумарини, бензофенони і галова кислота.

Біофлавоноїди – це група речовин, здатних укріплювати, підтримувати еластичність стінок капілярів, знижувати їх проникність. Речовини з P-

вітамінною дією приймають участь в тканинному диханні, економлять витрати в тканинах аскорбінової кислоти.

Основними джерелами біофлавоноїдів є (мг/100 г): чорноплідна горобина – 4000, чорна смородина – 1500, шипшина – 680, лимони і апельсини – 500, петрушка – 157, салат – 139 й інші овочі.

Нестача вітаміну Р призводить до підвищення проникності стінок капілярів і появи точкових крововиливів на шкірі, особливо у волосяних мішечків. Р-гіповітаміноз, як правило, поєднується із С-вітамінною нестачею, тому для профілактики Р-гіповітамінозу рекомендуються ті ж заходи, що і для попередження гіповітамінозу аскорбінової кислоти

**Холін** приймає участь в основних обмінних процесах, передусім в обміні жирів. Холін є необхідним для біосинтезу лецитину, попереджує жирове переродження печінки, тобто належить до ліпотропних речовин. Із холіну утворюється медіатор нервової системи – ацетилхолін, який є необхідним для передавання нервових імпульсів. Є дані про кровотворне значення холіну, його позитивний вплив на процеси росту і опірність організму інфекціям.

Холін – це сильна основа, добре розчинна у воді.

Джерелом холіну є (мг/100 г): печінка – 630...635, нирки – 310...325, сир – 155...230, нерафіновані рослинні олії – 120...124, бобові – 50...60, сир – 45...48, деякі овочі – капуста, шпинат та ін.

Добова потреба в холіні у дорослої людини складає 250...600 мг. Вона зростає у разі важкої фізичної праці, в умовах підвищеної температури повітря.

Нестача холіну часто супроводжує білкову нестачу, викликає жирове переродження печінки, що призводить до загибелі частини клітин і розвитку цирозу. Дефіцит холіну також може призвести до збільшення вмісту холестерину в організмі, гіпертонії і діабету.

**Вітамін В<sub>13</sub>** (оротова кислота) чинить стимулюючий вплив на білковий обмін (на синтез білків) і процеси росту, сприятливо впливає на функціональний стан печінки.

Основними харчовими продуктами, що містять вітамін В<sub>13</sub>, є дріжджі, печінка, молоко і молочні продукти.

Нестача оротової кислоти призводить до порушення білкового обміну, синтезу метіоніну, обміну фолацину і перетворень пантотенової кислоти.

Роль оротової кислоти в обміні речовин зумовила області її використання в медицині. Так, вона застосовується у лікуванні гематологічних захворювань, гепатитів і подагри. Здатність оротової кислоти стимулювати синтез білку використовується у вигодовуванні недоношених немовлят.

**Вітамін В<sub>15</sub> (пангамова кислота)** уперше виділений в 1951 р. Кребсом з ядер кісточок абрикос, потім з паростків рису і рисових висівок.

Пангамова кислота широко розповсюджена в харчових продуктах, у зв'язку з чим і дістала свою назву (від грец. "пан" – усюди, "гамі" – насіння).

Найважливіше фізіологічне значення пангамової кислоти полягає в її ліпотропних властивостях і функції донатора рухливих метильних груп для біосинтезу нуклеїнових кислот, фосфоліпідів, креатину і інших важливих

компонентів.

Пангамова кислота покращує тканинне дихання, підвищує використання кисню в тканинах і приймає участь в окислювальних процесах, стимулюючи їх, у зв'язку з чим використовується у випадку гострих і хронічних інтоксикацій.

**Параамінобензойна кислота (ПАБК)** приймає участь в синтезі фолієвої кислоти. Вона оберігає від інтоксикації препаратами трьох- і п'ятивалентного Арсену і Стибію, а також від отруень борною кислотою, бісмутом і ртуттю.

Параамінобензойна кислота досить широко розповсюджена в природі.

Добова потреба в ПАБК не встановлена. За деякими даними складає 2...4 мг. За збалансованого харчування ця потреба задовольняється повністю за рахунок природного вмісту ПАБК в харчових продуктах раціону.

Прояви авітамінозу і токсичності ПАБК не встановлені.

**Інозит** разом з параамінобензойною і пантотеновою кислотою вважається "вітаміном юності". Як і холін, він допомагає підтримувати в здоровому стані печінку, знижує вміст холестерину в крові, запобігає крихкості стінок кровоносних судин. Особливо активна ліпотропна дія інозиту проявляється у присутності вітаміну Е. Є дані про участь інозиту в регуляції моторної функції шлунку і кишечника.

Випадків інозит-авітамінозу у людини встановлено не було.

Гіповітаміноз інозиту викликає пілороспазм і призводить до зниження рухливості шлунку і кишечника.

Інозит міститься в м'ясі, серці, яйцях, зернових продуктах, зеленому горосі, цитрусових, капусті.

Дорослій людини на добу необхідно 1,0...1,5 інозиту.

**Карнітин** є необхідним для нормальної функції м'язів і підтримки оптимального фізіологічного стану. Карнітин є необхідним для перенесення жирних кислот в мітохондрії, де відбувається вивільнення із них енергії. За нестачі карнітину невикористані жирні кислоти накопичуються в цитоплазмі і виникає дефіцит енергії, який найбільш є відчутним для м'яза серця і скелетної мускулатури.

У організмі людини карнітин не синтезується, і потреба в ньому забезпечується за рахунок їжі.

Основними джерелами надходження карнітину в людському організмі є м'ясо і м'ясопродукти.

Добова потреба в карнітині не встановлена. Підраховано, що з оптимальним раціоном організм людини отримує 250...300 мг карнітину на добу.

**Вітамін U (S-метилметіонінсульфоній)** – речовина, що сприяє загоєнню виразки шлунку і дванадцятипалої кишки, виявлено уперше в соку капусти Чінеєм в 1948...1950 рр. Надалі встановлена протигістамінна і антисклеротична дія вітаміну U, має також ліпотропну дію.

Вітамін U руйнується за теплової обробки тим більше, чим вона є довшою.

Потреба у вітаміні U не встановлена.

Вміст вітаміну U в харчових продуктах наведений в таблиці 8.3.

Таблиця – 8.3 – Вміст вітаміну U в харчових продуктах

Найменування	Вміст, мг/100 г	Найменування	Вміст, мг/100 г
Капуста білокачанна	16,4...20,7	Томати зрілі	1,0
Буряк червоний	14,6	Кукурудза молочна	1,7
Капуста кольрабі	12,9	Листя салату	0,36
Зелень петрушки	6,4	Картопля	0,17
Паростки пророслого гороху	5,0	Морква	0,12

**Ліпоева кислота** у вигляді коферменту приймає участь в окислювальному декарбоксілюванні піровиноградної,  $\alpha$ -кетоглутарової й інших  $\alpha$ -кетокислот, приймає участь в утворенні ацетилкоферменту А.

Ліпоева кислота широко розповсюджена в природі, але в основному в зв'язаній формі. До харчових джерел відносяться м'ясо і субпродукти, молочні вироби і хлібопекарські дріжджі.

Нестача ліпоевої кислоти у людини не виявлена.

### Контрольні питання

1. Які хімічні елементи називають макроелементами? Назвіть їх.
2. Які хімічні елементи називають мікроелементами?
3. Назвіть есенціальні мікроелементи.
4. Назвіть умовно токсичні і токсичні елементи.
5. Які функції виконує Кальцій в організмі?
6. Які норми споживання Кальцію для дорослих і дітей?
7. Яка біологічна роль фосфатів в організмі?
8. Яка роль Магнію в організмі?
9. За рахунок яких продуктів задовольняється потреба в Магнії?
10. Яка фізіологічна роль Калію?
11. Назвіть функції ферумвмісних біомолекул в організмі.
12. Як найчастіше проявляється нестача Феруму?
13. Які продукти є гарними джерелами Купруму?
14. Які функції Цинку в організмі?
15. Як регулюють вміст Йоду в їжі?
16. У чому проявляється нестача надходження Йоду в організм?
17. Які функції Селену в організмі?
18. Назвіть водорозчинні вітаміни.
19. У чому проявляється гіповітаміноз А?
20. Які функції вітаміну Е в організмі?
21. Назвіть функції вітаміну С.
22. До складу яких ферментів входять вітаміни  $B_1$  і  $B_2$ ?
23. Як проявляється гіповітаміноз  $B_{12}$  і фолієвої кислоти?
24. До складу яких ферментів входить вітамін РР? Які його функції в організмі?
25. Назвіть вітаміноподібні сполуки.

## Тема 9. Органічні кислоти

### План

- 9.1 Значення органічних кислот в харчуванні
- 9.2 Загальна характеристика харчових кислот
- 9.3 Хімічна природа і фізико-хімічні властивості найважливіших харчових кислот
- 9.4 Вплив харчових кислот на якість продуктів. Застосування кислот в харчовій технології

### 9.1 Значення органічних кислот в харчуванні

Харчові кислоти – це група речовин органічної і неорганічної природи, різноманітна за своїми властивостями.

Назви і формули деяких кислот, що найбільш часто зустрічаються в харчових продуктах наведені в таблиці 9.1.

Основна функція харчових кислот, що входять до складу їжі, пов'язана з участю у процесах травлення.

До таких функцій органічних кислот належать:

- активація перистальтики кишечника;
- стимулювання секреції травних соків;
- вплив на формування певного складу мікрофлори шляхом зниження рН середовища;
- гальмування розвитку гнилісних процесів в товстому кишківнику.

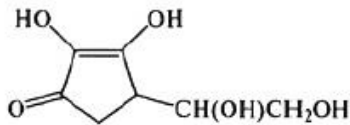
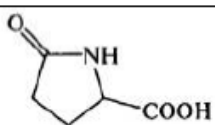
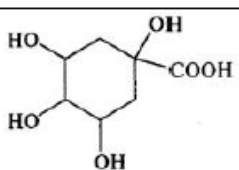
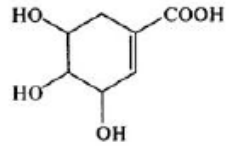
Органічні кислоти сприятливо впливають на процес травлення. Вони знижують рН середовища, сприяючи створенню певного складу мікрофлори, активно беруть участь в енергетичному обміні речовин (цикл Кребса), стимулюють соковиділення в шлунково-кишковому тракті, покращують травлення, активізують перистальтику кишечника, сприяючи зниженню ризику розвитку багатьох шлунково-кишкових й інших захворювань, забезпечуючи щоденний стул нормальної структури, гальмують розвиток гнилісних процесів в товстому кишечнику.

Призначення органічних кислот в харчуванні визначається також і їх енергетичною цінністю: яблучна кислота – 2,4 ккал/г, лимонна – 2,5 ккал/г, молочна – 3,6 ккал/г, а також активною участю в обміні речовин. Як правило, органічні кислоти не викликають додаткового кислотного навантаження в організмі, так як окиснюються з великою швидкістю.

Для різних органічних кислот з'ясовані і деякі інші ефекти впливу.

Окремі харчові кислоти, наприклад *лимонна*, попереджує утворення в організмі канцерогенних нітрозамінів, сприяє зниженню ризику виникнення і розвитку онкологічної патології. Лимонна кислота (відповідно, цитрат) сприяє також засвоєнню кальцію, чинить активуючу й інгібувальну дію на деякі ферменти.

Таблиця – 9.1 Назви і формули основних харчових кислот

Назва кислоти	Назва іонізованої форми кислоти	Формула
Аскорбінова	Аскорбат	
Аспаргінова	Аспартат	$\text{HOOC-CH}_2\text{-CH(NH}_2\text{)-COOH}$
Бензойна	Бензоат	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$
Винна	Тартрат	$\text{HOOC-CH(OH)-CH(OH)-COOH}$
Гліколева	Гліколат	$\text{HOCH}_2\text{-COOH}$
Гліцерінова	Гліцерат	$\text{HOCH}_2\text{-CH(OH)-COOH}$
Глутамінова	Глутамат	$\text{HOOC-(CH}_2\text{)}_2\text{-CH(NH}_2\text{)-COOH}$
Ізолімонна	Ізоцитрат	$\text{HOOC-CH(OH)-CH(COOH)-CH}_2\text{-COOH}$
$\alpha$ -Кетоглутарова	Кетоглутарат	$\text{HOOC-C(O)-(CH}_2\text{)}_2\text{-COOH}$
Лимонна	Цитрата	$(\text{HOOC-CH}_2\text{)}_2\text{-C(OH)-COOH}$
Молочна	Лактат	$\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$
Мурашина	Форміат	$\text{HCOOH}$
Піровиноградна	Піруват	$\text{CH}_3\text{-C(O)-COOH}$
Піроглутамінова	Піроглутамат	
Соляна	Хлорид	$\text{HCl}$
Сірчана	Сульфат	$\text{H}_2\text{SO}_4$
Оцтова	Ацетат	$\text{CH}_3\text{COOH}$
Фосфорна	Фосфат	$\text{H}_3\text{PO}_4$
Фумарова	Фумарат	<i>транс</i> - $\text{HOOC-CH=CH-COOH}$
Хінна	Хіннат	
Шикімова	Шикимат	
Щавелева	Оксалат	$\text{HCOO-COOH}$
Щавелеоцтова	Оксалоацетат	$\text{HOOC-C(O)-CH}_2\text{-COOH}$
Яблучна	Малат	$\text{HOOC-CH}_2\text{-CH(OH)-COOH}$
Янтарна	Сукцинат	$\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$

*Бензойна і саліцилова кислоти* (квіток ромашки, таволги, кори верби, чорної і червоної смородини) мають антисептичні властивості. Похідні кавової й інших оксикоричних кислот, що містяться в листках подорожника і мати-й-мачухи, пагонах артишоку й інших рослинах, мають жовчогінну і протизапальну дію. Уронові кислоти й їх похідні (пектини), що містяться в м'якоті плодів і ягід (яблук, айви, груш, абрикос, агрусу, малини, вишні, персика та ін.), мають детоксикаційні властивості і сприяють виведенню важких металів, холестерину організму людини.

*Галова кислота* міститься в листі чаю й інших рослинах, її похідні (пропілгалати та ін.) мають противірусну дію, а також використовуються як антиоксиданти в харчовій промисловості.

*Винна кислота (солі якої – тартрати)*, що у великих кількостях міститься в капусті, стримує перетворення вуглеводів на жири, запобігаючи тим самим ожирінню, атеросклерозу.

*Щавлева кислота* здатна у вигляді кальцієвої солі (оксалат кальцію) відкладатися в суглобах або формувати камені в сечовивідних шляхах. Тому зловживати рослинами, що містять високу кількість цієї органічної кислоти, не варто. Багато щавлевої кислоти міститься не лише в щавлі і шпинаті, але і в незрілому агрусі, листках кропиви.

## **9.2 Загальна характеристика харчових кислот**

Основними джерелами харчових кислот є рослинна сировина і продукти її переробки. Органічні харчові кислоти, містяться у більшості видів рослинних харчових об'єктів – ягодах, фруктах, овочах, у тому числі в коренеплодах, листяній зелені. Разом з цукрами й ароматичними сполуками вони формують смак й аромат плодів і, отже, продуктів їх переробки.

Загальне уявлення про різноманітність харчових кислот у складі рослинних об'єктів ілюструє таблиця 9.2.

Найбільш типовими у складі різних плодів і ягід є лимонна й яблучна кислоти. З числа інших кислот часто виявляється хінна, янтарна і щавлева. До розповсюджених відносяться також шикимова, гліколева, фумарова, гліцерінова і винна кислоти.

Концентрації окремих органічних кислот в різних плодах і ягодах є неоднаковою.

Цитрусові плоди містять переважно лимонну кислоту і невеликі кількості яблучної. Вміст останньої в апельсинах складає 10...25%, в мандаринах – до 20%, в грейпфрутах і лимонах – до 5% по відношенню до загальної кислотності. На відміну від плодів, в шкірці апельсинів міститься значна (приблизно 0,1%) кількість щавлевої кислоти.

Лимонна кислота виявляється основною також серед кислот плодів ананасу, де її вміст досягає 85%. На частку яблучної кислоти в цих плодах припадає приблизно 10%.

Домінуючою кислотою у складі насінних і кісточкових плодів є яблучна, вміст якої в їх кислотному спектрі коливається від 50 до 90%.



Таблиця 9.2 – Деякі харчові кислоти фруктів, ягід і овочів

Рослинний об'єкт	Основні кислоти
<b>Фрукти, ягоди</b>	
Абрикоси	Яблучна, лимонна
Авокадо	Винна
Айва	Яблучна (без лимонної)
Ананаси	Лимонна, яблучна
Апельсини	Лимонна, яблучна, щавлева
Апельсинова шкірка(цедра)	Яблучна, лимонна, щавлева
Банани	Яблучна, лимонна, винна, сліди оцтової і мурашиної
Виноград	Яблучна і винна(3:2), лимонна, щавлева
Вишня	Яблучна, лимонна, винна, янтарна, хінна, шикимова, гліцерінова, гліколева
Грейпфрут	Лимонна, винна, яблучна, щавлева
Груші	Яблучна, лимонна, винна, щавлева
Ожина	Ізолимонна, яблучна, молочно-ізолимонна, шикимова, хінна, сліди лимонної і щавлевої
Полуниця (суниця)	Лимонна, яблучна, шикимова, янтарна, гліцерінова, гліколева, аспарагінова
Журавлина	Лимонна, яблучна, бензойна
Агрус	Лимонна, яблучна, шикимова, хінна
Лайм	Лимонна, яблучна, винна, щавлева
Лимони	Лимонна, яблучна, винна, щавлева(без ізолимонної)
Персики	Яблучна, лимонна
Сливи	Яблучна, винна, щавлева
Смородина	Лимонна, винна, яблучна, янтарна
Фініки	Лимонна, яблучна, оцтова
Чорниця	Лимонна, яблучна, гліцерінова, лимоннояблучна, гліколева, янтарна, глюкуронова, галактуронова, хінна, глутамінова, аспарагінова.
Яблука	Яблучна, хінна, $\alpha$ -кетоглутарова, щавлевооцтова, лимонна, піровиноградна, фумарова, молочна, янтарна
<b>Овочі</b>	
Боби	Лимонна, яблучна, невеликі кількості янтарної і фумарової
Броколі	Яблучна і лимонна (3:2), щавлева, янтарна
Гриби	Кетостеаринова, фумарова, алантоїнова
Горох	Яблучна
Картопля	Яблучна, лимонна, щавлева, фосфорна, піроглутамінова
Морква	Яблучна, лимонна, ізолимонна, янтарна, фумарова
Помідори	Лимонна, яблучна, щавлева, янтарна, гліколева, винна, фосфорна, соляна, сірчана, фумарова, галактуронова
Ревінь	Яблучна, лимонна, щавлева

У кислих сортах яблук яблучна кислота складає понад 90% загальної кислотності, в черешні і вишні її концентрація досягає 85...90%, в сливах ( в залежності від сорту) – від 35 до 90%. У числі інших кислот в цих плодах – лимонна і хінна.

Більше 90% кислотності припадає на яблучну, лимонну і хінну кислоти в таких плодах як персики й абрикоси, причому співвідношення блокової і лимонної кислот може коливатися в широкому діапазоні, що в деяких випадках пов'язують зі зміною вмісту цих кислот в плодах в процесі дозрівання. Встановлено, наприклад, що під час дозрівання персиків кількість яблучної кислоти в них значно зростає, а лимонною зменшується.

На відміну від інших видів плодів, у винограді основною є винна кислот, частка якої складає 50...65% загальної кислотності. Залишок припадає на яблучну (25...30%) і лимонну (до 10%) кислоти. В процесі дозрівання винограду вміст яблучної кислоти знижується інтенсивніше, ніж винної.

У більшості видів ягід, за винятком винограду, агрусу, чорниці й ожини, переважає лимонна кислота. Наприклад, в суниці на її частку припадає 70...90%, в смородині – 85...90%. Вміст яблучної кислоти в цих ягодах – 10...15%. У ожині 65...85% складає ізолимонна кислота, а у складі агрусу – 45% яблучної і лимонної та 5...10% шикимової.

Деяка кількість кислот в плодах і ягодах може знаходитися у вигляді солей. Їх вміст, наприклад, в лимонах, складає до 3%, а в окремих видах груш – 20...30%.

На відміну від більшості органічних кислот у складі плодів і ягід, молочна кислота утворюється, очевидно, тільки мікробіологічним шляхом.

Кислотний спектр овочів представлений, переважно, тими ж органічними кислотами, співвідношення яких коливається в значних межах. Разом із вже відомими, у складі овочів виявляється янтарна, фумарова, піроглутамінова і деякі інші кислоти різної будови.

Відмітною особливістю томатів є присутність в них неорганічних кислот – фосфорної, сірчаної і соляної.

### **9.3 Хімічна природа і фізико-хімічні властивості найважливіших харчових кислот**

Склад і особливості хімічної будови харчових кислот є різними і залежать від специфіки харчового об'єкту, а також природи кислотоутворення.

В більшості рослинних об'єктів виявлені нелеткі моно- і трикарбонові кислоти, насичені і ненасичені, в тому числі гідрокси- і оксикислоти.

Продукти переробки плодів, наприклад, мезга, можуть містити леткі кислоти – мурашину і оцтову.

Кислий смак харчового продукту зумовлюють іони водню, що утворюються в результаті електролітичної дисоціації кислот і кислих солей, які в ньому містяться. Активність іонів водню (*активна кислотність*) характеризується показником рН (від'ємний логарифм концентрації іонів гідроксонію).

Кислотність молока і молочних продуктів формується як за рахунок

молочної кислоти, яка утворюється в результаті біохімічних перетворень лактози молока, так і за рахунок інших кислот і кислих солей, що містяться в молоці, а також за рахунок кислотних груп казеїну.

Середні дані про загальний вміст органічних кислот в овочах і плодах, а також про величину рН клітинного соку, що має великий вплив на смак плодів, представлені в таблиці.9.3.

Таблиця 9.3 – Середній вміст кислот (у перерахунку на переважуючу) в плодах і овочах та величина рН їх соку.

Вид плодів	Кислота, %	рН	Вид овочів	Кислота, %	рН
Яблука	0,9	3,4	Картопля	0,2	6,1
Груші	0,3	4,4	Капуста білокачанна	0,2	6,2
Вишня	1,7	3,5	Морква	0,1	6,4
Черешня	1,3	3,7	Буряк	0,1	6,3
Слива	1,9	3,5	Цибуля ріпчаста	0,1	5,9
Ткемалі (вид сливи)	2,8	2,4	Томати	0,5	4,5
Абрикоси	1,4	3,8	Огірки	0,1	6,9
Персики	0,6	4,0	Кавуни	0,2	—
Мандарини	0,45	—	Дині	0,1	—
Апельсини	1,41	—	Ревінь	1,2	3,8
Лимони	5,6	3,1	Щавель	1,3	3,7
Виноград	0,9	3,9	Шпинат	0,1	6,9

Практично усі харчові кислоти є слабкими й у водних розчинах дисоціюють мало (константи дисоціації наведені в таблиці 9.4). Крім того, в харчовій системі можуть знаходитися буферні речовини, у присутності яких активність іонів водню зберігатиметься приблизно постійною, так як вона пов'язана з рівновагою дисоціації слабких електролітів.

У зв'язку з цим, сумарна концентрація в харчовому продукті речовин, що мають кислотний характер, визначається показником потенційної, загальної або такої, титруючої (лугом) кислотності. Для різних продуктів ця величина виражається через різні показники. Наприклад, в соках визначають загальну кислотність в г на 1 л, в молоці – в градусах Тернера і т.д.

Таблиця 9.4 – Властивості основних харчових кислот

Кислота	Емпірична формула	Молекуляр на маса, г/моль	Температура плавлення, °С	Розчинність, г/100 мл (Т=25°С)	Константа дисоціації
Оцтова	$C_2H_4O_2$	60,05	-8,5	Змішується	$1,76 \cdot 10^{-5}$
Молочна	$C_3H_6O_3$	90,08	16,8	Добре розчинна	$1,37 \cdot 10^{-4}$
Лимонна	$C_6H_8O_6$	192,12	153 (безводна)	181,0	$K_1=7,1 \cdot 10^{-4}$ $K_2=1,68 \cdot 10^{-5}$ $K_3=6,4 \cdot 10^{-7}$
Яблучна	$C_4H_6O_5$	134,09	132	62,0	$K_1=3,9 \cdot 10^{-4}$ $K_2=7,8 \cdot 10^{-6}$
Винна	$C_4H_6O_6$	150,09	168-170	147,0	$K_1=1,04 \cdot 10^{-3}$ $K_2=4,55 \cdot 10^{-5}$
Янтарна	$C_4H_6O_4$	118,09	188	6,8	$K_1=6,5 \cdot 10^{-5}$ $K_2=2,3 \cdot 10^{-6}$
Фумарова	$C_4H_4O_4$	116,07	286	0,5 (Т=+20°С)	$K_1=9,3 \cdot 10^{-4}$ (Т=+18°С) $K_2=3,62 \cdot 10^{-5}$ (Т=+18°С)
Фосфорна	$H_3PO_4$	98,00	42,35	Добре розчинна в гарячій воді	$K_1=7,52 \cdot 10^{-3}$ $K_2=6,23 \cdot 10^{-8}$ $K_3=2,2 \cdot 10^{-13}$ (Т=+18°С)

#### 9.4 Вплив харчових кислот на якість продуктів. Застосування кислот в харчовій технології.

Харчові кислоти у складі продовольчої сировини і продуктів виконують різні функції, пов'язані з якістю харчових об'єктів.

У складі комплексу смакоароматичних речовин вони беруть участь у формуванні смаку і аромату – основних показників якості харчового продукту.

Головне смакове відчуття, від присутності кислот у складі продукту, – кислий смак, який в загальному випадку є пропорційним концентрації іонів гідроксонію ( $H_3O^+$ ), з урахуванням відмінностей в активності речовин, які викликають однакове смакове сприйняття. Наприклад, порогова концентрація (мінімальна концентрація смакової речовини, що сприймається органами чуття), що дозволяє відчути кислий смак, складає для лимонної кислоти 0,017%, для оцтової – 0,03%.

У разі органічних кислот на сприйняття кислого смаку має вплив і аніон молекули. В залежності від природи останнього можуть виникати комбіновані смакові відчуття, наприклад, лимонна кислота має кисло-солодкий смак, а пікринова – кисло-гіркий. Зміна смакових відчуттів відбувається і у присутності солей органічних кислот. Так, солі амонію надають продукту солоного смаку.

Природно, що наявність у складі продукту декількох органічних кислот у поєднанні із смаковими органічними речовинами інших класів зумовлюють формування оригінальних смакових відчуттів, часто властивих виключно одному, конкретному виду харчових продуктів.

Якість харчового продукту є інтегральною величиною, що включає, окрім органолептичних властивостей (смаку, кольору, аромату), показники, що характеризують його колоїдну, хімічну і мікробіологічну стабільність.

Формування якості продукту здійснюється на усіх етапах технологічного процесу його отримання. Багато технологічних показників, що забезпечують створення високоякісного продукту, залежить від активної кислотності (рН) харчової системи.

Загалом величина рН має вплив на наступні технологічні параметри:

- утворення компонентів смаку і аромату, характерних для конкретного виду продукту;

- колоїдну стабільність полідисперсної харчової системи (наприклад, колоїдний стан білків молока або комплексу білково-дубильних сполук в пиві);

- термічну стабільність харчової системи (наприклад, термостійкість білкових речовин молочних продуктів, що залежить від стану рівноваги між іонізованим і колоїдно розподіленим фосфатом кальцію);

- біологічну стійкість (наприклад, пива і соків);

- активність ферментів;

- умови росту корисної мікрофлори і її вплив на процеси дозрівання (наприклад, пива або сирів).

Можна виділити три основних мети додавання кислот в харчову систему:

- надання певних органолептичних властивостей (смаку, кольору, аромату), характерних для конкретного продукту;

- вплив на колоїдні властивості, що зумовлюють формування консистенції, властивої конкретному продукту;

- підвищення стабільності, що забезпечує збереження якості продукту впродовж певного часу.

У таблиці 9.4 були наведені властивості найважливіших харчових кислот, що використовуються для регулювання рН в харчових системах і які забезпечують їм фізичну стабільність. Харчові кислоти впливають на:

- стійкість дисперсних систем (емульсій і суспензій);

- зміну в'язкості у присутності загусника;

- формування структури гелю у присутності гелеутворювача;

- мікрофлору, що забезпечує біологічну стійкість продукту.

*Оцтова кислота (льодяна) E 460* є найбільш відомою харчовою кислотою і випускається у вигляді есенції, 70...80%, що містить, власне кислоти. У побуті використовують розбавлену водою оцтову есенцію, що дістала назву *столовий оцет*. Використання оцту для консервації харчових продуктів – один з найбільш старих способів консервації. В залежності від сировини, з якої отримують оцтову кислоту, розрізняють винний, фруктовий, яблучний, спиртовий оцет і синтетичну оцтову кислоту. Оцтову кислоту отримують шляхом оцтовокислого бродіння. Солі і етери цієї кислоти мають назву ацетати. Як харчові добавки використовуються ацетати калію і натрію (E461 і E462).

Разом з оцтовою кислотою і ацетатами, застосування знаходять діацетати натрію і калію. Ці речовини складаються з оцтової кислоти і ацетатів в

молярному співвідношенні 1:1. Оцтова кислота – безбарвна рідина, що змішується з водою в усіх відношеннях. Діацетат натрію – білий кристалічний порошок, розчинний у воді, з сильним запахом оцтової кислоти.

Оцтова кислота не має законодавчих обмежень; її дія заснована, головним чином, на зниженні рН консервованого продукту і проявляється за вмісту вище 0,5% і спрямована, головним чином, проти бактерій. Основна галузь використання оцтової кислоти – овочеві консерви і мариновані продукти. Застосовується в майонезі, соусах, під час маринування рибної продукції і овочів, ягід і фруктів. Оцтова кислота широко використовується також як смакова добавка.

*Молочна кислота* випускається в двох формах, що відрізняються концентрацією: 40%-ний розчин і концентрат, що містить не менше 70% кислоти. Отримують молочнокислим бродінням цукрів. Її солі і етери називаються лактатами. У вигляді харчової добавки E270 використовується у виробництві безалкогольних напоїв, карамелевих мас, кисломолочних продуктів. Молочна кислота має обмеження до застосування в продуктах дитячого харчування.

*Лимонна кислота* – продукт лимоннокислого бродіння цукрів. Має найбільш м'який смак в порівнянні з іншими харчовими кислотами. Солі і етери лимонної кислоти – цитрати. Застосовується в кондитерській промисловості, у виробництві безалкогольних напоїв і деяких видів рибних консервів (харчова добавка E330).

*Яблучна кислота* має менш кислий смак, ніж лимонна і винна. Для промислового використання цю кислоту отримують синтетичним шляхом з малеїнової кислоти, у зв'язку з чим критерії чистоти включають обмеження за вмістом в ній домішок токсичної малеїнової кислоти. Солі і етери яблучної кислоти називаються малатами. Яблучна кислота має хімічні властивості оксикислот. Під час нагрівання до 100°C перетворюється на ангідрид. Застосовується в кондитерському виробництві і в отриманні безалкогольних напоїв (харчова добавка E296).

*Винна кислота* є продуктом переробки відходів виноробства (винних дріжджів і винного каменю). Не чинить істотної подразливої дії на слизові оболонки шлунково-кишкового тракту і не піддається обмінним перетворенням в організмі людини. Основна частина (приблизно 80%) руйнується в кишечнику під дією бактерій. Солі і етери винної кислоти називаються тартратами. Застосовується в кондитерських виробках і у безалкогольних напоях (харчова добавка E334).

*Янтарна кислота* є побічним продуктом виробництва адіпінової кислоти. Відомий також спосіб її виділення з відходів бурштину. Має хімічні властивості, характерні для дикарбонових кислот, утворює солі і етери, які дістали назву сукцинати. За 235°C янтарна кислота відщеплює воду, перетворюючись на янтарний ангідрид. Використовується в харчовій промисловості для регулювання рН харчових систем (харчова добавка E363).

*Фумарова кислота* міститься у багатьох рослинах і грибах, утворюється під час бродіння вуглеводів у присутності *Aspergillus fumigatus*. Промисловий спосіб отримання заснований на ізомеризації maleїнової кислоти під дією HCl, що містить бром. Солі і етери називаються фумаратами. У харчовій промисловості фумарову кислоту використовують як замітник лимонної і винної кислот (харчова добавка E297). Має токсичність, у зв'язку з чим добове споживання з продуктами харчування лімітоване рівнем 6 мг на 1 кг маси тіла.

*Фосфорна кислота* і її солі – фосфати (калію, натрію і кальцію) широко використовуються в харчовій сировині і продуктах його переробки. У високих концентраціях фосфати містяться в молочних, м'ясних і рибних продуктах, в деяких видах злаків і горіхів. Фосфати (харчові добавки E 339...341) вводяться у безалкогольні напої і кондитерські вироби. Допустима добова доза, в перерахунку на фосфорну кислоту, відповідає 5...15 мг на 1 кг маси тіла (оскільки надмірна кількість її в організмі може стати причиною дисбалансу кальцію і фосфору).

### **Контрольні питання**

1. Яке значення органічних кислот в харчуванні?
2. Назвіть основні кислоти плодів і овочів.
3. З якою метою використовується оцтова, яблучна, винна і лимонна кислоти?
4. Де використовується молочна, фумарова і янтарна кислоти?
5. Які солі яких харчових кислот використовуються як харчові добавки?
6. Які цілі переслідують додаючи кислоти в харчову систему?
7. Назвіть галузі використання окремих харчових кислот.
8. Який вплив кислот на властивості дисперсних систем?

## Тема 10. Ферменти

### План

- 10.1 Загальні відомості про ферменти
- 10.2 Класифікація і номенклатура ферментів
- 10.3 Характеристика основних класів ферментів
- 10.4 Ферментативні препарати
- 10.5 Застосування ферментів в харчових технологіях

### 10.1 Загальні відомості про ферменти

Ферменти використовувалися упродовж віків у дубленні шкір, виготовленні сиру, у виробництві солоду для пивоваріння, в заквасках для хліба і т.д. У цих процесах ферменти застосовувалися у складі тваринних і рослинних тканин або цілих мікроорганізмів. Початок застосування промислових ферментів у вигляді частково очищених препаратів відноситься до кінця XIX століття.

Із понад 2000 відомих в наш час ферментів в промисловості використовується приблизно 30. Основна частина ферментів, що надходять на світовий ринок, припадає на частку гідролаз, з яких 60% складають пептидогідролази (в основному лужні і нейтральні протеази), що використовуються як детергенти у виробництві синтетичних миючих засобів, а 30% – глікозидази, що застосовуються у виробництві кондитерських виробів, фруктових і овочевих соків. Ферменти знаходять застосування в текстильній, шкіряній, целюлозно-паперовій, медичній, хімічній промисловості (таблиця 10.1).

Серед основних споживачів ферментів є харчова промисловість. Головне місце серед ензимів, які використовуються в харчовій промисловості займають глікоізомераза і глюкоамілаза, що застосовуються для приготування збагачених фруктозою кукурудзяних сиропів і становлять приблизно 50% ринку харчових ензиматичних препаратів.

Багато галузей промисловості – хлібопечення, виноробство, пивоваріння, виробництво спирту, сироваріння, виробництво органічних кислот, чаю, амінокислот, вітамінів, антибіотиків – засновано на використанні різних ферментативних процесів. У зв'язку з цим виникла і розвивається нова галузь промисловості – виробництво ферментних препаратів.

Ферменти властиві усім живим істотам, проте для їх виділення використовують ті природні продукти, в яких вміст необхідного ензиму складає не менше 1%. Для великомасштабного одержання ферментів придатні тільки деякі рослинні організми на певній фазі їх розвитку (пророслі зерно різних злаків і бобових, латекс і сік зеленої маси ряду рослин), а також окремі тканини і органи тварин (підшлункова залоза, слизова оболонка шлунково-кишкового тракту, сичуг великої рогатої худоби, насінники статевозрілих тварин).

**Ферменти** – біологічні каталізатори білкової природи. Вони значно підвищують швидкість хімічної реакції, яка за відсутності ферментів відбувається дуже повільно. Ферменти не витрачаються під час реакції, яку каталізують і не зазнають безповоротних змін.



Таблиця 10.1 – Застосування ферментів

Назва і шифр ферменту	Джерела ферментів	Хімічний і біотехнологічний процеси. Галузь використання
Амілази (КФ.3.2.1.1; КФ.3.2.1.2; КФ.3.2.1.3)	Бактерії, гриби ( <i>Bacillus</i> sp., <i>Aspergillus niger</i> , <i>A. oryzae</i> )	Гідроліз крохмалю до декстрину, мальтози і глюкози. Спиртова, пивоварна промисловість, хлібопечення, одержання патоки, глюкози
Глюкоізомерази (КФ.5.3.1.18)	Більше 80 видів мікроорганізмів ( <i>Bacillus</i> sp., <i>Streptomyces albus</i> , <i>S. griseus</i> )	Ізомеризація D-глюкози в D-фруктозу. Кондитерська, лікєро-горілчана, безалкогольна промисловість, хлібопечення
Гюкооксидаза (КФ.1.11.1.6) і каталаза (КФ.1.11.1.6)	<i>Pinicillium chrysogenum</i> , <i>P.casei</i> , <i>P.nigricans</i> , <i>P.notatum</i> , <i>P.vitale</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Corynebacterium</i> sp.)	Видалення кисню і глюкози (з яєчного порошку, м'ясних і інших продуктів). Виноробство, пивоваріння, консервна, сокова і безалкогольна промисловість
Ліпази (КФ.3.1.1.3)	Підшлункові залози тварин, насіння рослин, мікроорганізми ( <i>Candida</i> <i>lipolytica</i> , <i>Streptomyces</i> <i>flavogriseus</i> , <i>Aspergillus</i> ssp., <i>Saccharoyces lipolytica</i> )	Гідроліз жирів і олій. Харчова, легка, медична промисловість, сільське господарство, комунальне господарство, побутова хімія
Пектиназа (КФ.3.2.1.15)	Багато мікроорганізмів ( <i>Aspergillus</i> ssp., <i>Fusarium</i> ssp., <i>Pinicillium</i> ssp. та ін.)	Гідроліз галактуронана, освітлення вина і фруктових соків
Пептидгідролази (КФ.3.4)	Підшлункові залози і слизова оболонка шлунку тварин; плоди, втечі, відходи переробки деяких рослин (динне дерево, інжир, ананас), мікроорганізми ( <i>Bacillus</i> sp., <i>Aspergillus</i> ssp., <i>Pinicillium</i> ssp., <i>Streptomyces</i> ssp., <i>Pseudonas</i> ssp.)	Лізис білку. Отримання амінокислот, виробництво і отримання сиру, пом'якшення м'ясних і рибних виробів, виділка шкіри, активізація травлення. Пивоваріння, виноробство, хлібопечення, харчова промисловість, сільське господарство, медицина
Целюлази (КФ.3.2.1.4)	Мікроорганізми: <i>Clostridium</i> ssp., <i>Trichoderma reesei</i> , <i>T.</i> <i>viridae</i> , <i>Alternaria tenuis</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Fusarium</i> <i>culmorum</i>	Гідроліз целюлози до глюкози. Виробництво харчових і кормових білкових препаратів, етанолу, глюкозо- фруктозних спиртів. Спиртова, пивоварна, харчоконцентратна промисловість, хлібопечення, кормовиробництво
Фруктофурано- зидаза (КФ.3.2.1.26)	Мікроорганізми: <i>Aspergillus</i> ssp., <i>Pinicillium</i> ssp., <i>Fusarium</i> ssp., <i>Cercospora beticola</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>E. coil</i> , <i>Saccharoyces cerevisiae</i> , <i>Streptococcus mutans</i> .	Інверсія сахарози. кондитерська, лікєро- горілчана, безалкогольна промисловість, сировиробництво.

Ферментативна реакція складається з 2-х стадій: на першій стадії відбувається утворення фермент-субстратного комплексу, перехідному стану якого відповідає значно нижча енергія активації; на другій стадії цей комплекс розпадається на продукти реакції і вільний фермент, який може взаємодіяти з новою молекулою субстрату. Це можна виразити наступним рівнянням:



де  $E$  – фермент,  $S$  – субстрат,  $ES$  – фермент-субстратний комплекс,  $P$  – продукти реакції.

### ОСОБЛИВОСТІ ФЕРМЕНТІВ

Ферменти за своєю природою є білками, що мають третинну або четвертинну структуру, але мають ряд особливостей, які відрізняють їх від неорганічних каталізаторів, а саме:

1) ферменти мають велику силу каталітичної дії, вони в  $10^8 \dots 10^{20}$  разів підвищують швидкість каталізованих ними реакцій;

2) для ферментів характерна специфічність дії – вони каталізують чітко конкретні реакції; завдяки найтоншій специфічності ферментативного каталізу можлива чітка впорядкованість і найтісніший взаємозв'язок окремих ферментативних реакцій, що лежать в основі біологічного обміну речовин. В міру специфічності окремі ферменти досить сильно відрізняються між собою, тому виділяють наступні основні типи специфічності:

– абсолютна специфічність – фермент каталізує перетворення тільки одного субстрату (відомі також ферменти широкої субстратної специфічності, такі як ліпази, естерази, фосфатази);

– групова специфічність – фермент діє на групу споріднених субстратів, що мають певні структурні особливості; так,  $\alpha$ -амілаза гідролізує лінійні і розгалужені полімери  $\alpha$ -1,4-зв'язаної глюкози, хімотрипсин – пептидні зв'язки у білках, утворені залишками ароматичних амінокислот;

– специфічність по відношенню до певних типів реакцій – такі ферменти виявляють найменшу специфічність, вони діють незалежно від того, які групи є присутніми поблизу того зв'язку, на який спрямована дія ферменту;

– стереохімічна специфічність – фермент каталізує перетворення тільки однієї стереохімічної форми субстрату (перетворює тільки L- або тільки D-форму субстрату); стереоспецифічність проявляється також у відношенні цис- і транс-форми ізомерів);

3) ферменти характеризуються лабільністю: вони схильні до впливу різних чинників і можуть змінювати свою активність під дією рН, температури, присутності активаторів і інгібіторів та ін. Лабільність (або, іншими словами, мінливість) ферментів зумовлена їх білковою природою, складною просторовою конфігурацією (структурою).

Багато ферментів є двокомпонентними, тобто складаються з білкової частини – апофермента і зв'язаного з ним небілкового компонента – кофермента, що бере участь у дії ферменту в якості обов'язкового кофактора. В результаті ферментативних реакцій коферменти, як правило, не піддаються змінам, проте в ряду реакцій, що відбуваються послідовно кофермент може бути субстратом для окремих ферментів, хоча і регенерується під кінець в початковій формі.

Хімічна природа коферментів, їх функції у ферментативних реакціях і механізм дії є надзвичайно різноманітними. Так, наприклад, коферментами можуть виступати вітаміни та їх похідні.

Відповідно до хімічної будови коферменти поділяють на наступні групи:

- а) коферменти аліфатичного ряду (глутатіон, ліпоєва кислота);
- б) коферменти ароматичного ряду (коензим Q – убіхінон);
- в) коферменти – гетероциклічні сполуки (похідні вітамінів B<sub>6</sub>, B<sub>1</sub>, біотин – вітаміну H, похідні фолієвої кислоти);
- г) коферменти – нуклеотиди і нуклеозиди (коензим A, НАД/НАДФ, ФАД/ФАДФ).

### ОДИНИЦІ АКТИВНОСТІ ФЕРМЕНТІВ

Будь-який ферментний препарат передусім має бути охарактеризований за своєю ферментативною активністю. Комісія з ферментів Міжнародного Біохімічного Союзу рекомендує використати наступні поняття і вирази одиниць активності ферментів.

– Стандартна одиниця ферменту – це така кількість ферменту, яка каталізує перетворення одного мікромоля цього субстрату за одну хвилину за заданих умов. Стандартна одиниця ферменту позначається буквою E/O (від російського слова "єдиница"/від укр. "єдиниця") або буквою U (від англійського слова "unit").

– Питома активність – це число одиниць (E/O або U), віднесене до одного міліграма білку у ферментному препараті. Кількість білку в препараті ферменту може бути визначена будь-яким відомим методом визначення білку (метод Кьельдаля, метод Лоурі та ін.).

– Молекулярна активність – число молекул цього субстрату або еквівалентів груп задіяних груп, що перетворюються за одну хвилину однією молекулою ферменту за оптимальної концентрації субстрату. Це поняття відповідає числу оборотів, введених Варбургом. Число оборотів за Варбургом – це число молей перетвореного субстрату, що припадає на моль ферменту за хвилину. Для визначення молекулярної активності ферменту треба знати його молекулярну масу.

– Катав – каталітична активність, здатна здійснювати реакцію зі швидкістю рівну 1 моль/с в заданій системі виміру активності. Каталітична активність в 1 катав (кат) за практичного застосування виявляється занадто великою величиною, тому у більшості випадків каталітичні активності виражають в мікрокатавах (мккат), нанокатавах (нкат) або пікокатавах (пкат). Стандартна одиниця ферменту знаходиться з каталом в наступному співвідношенні: 1 E = 16,67 нкат.

### 10.2 Класифікація та номенклатура ферментів

Каталізована хімічна реакція є тією специфічною ознакою, за якою один фермент відрізняється від іншого. Тому класифікація і номенклатура ферментів ґрунтується на цьому принципі. Сучасна класифікація ферментів (шифр – КФ – класифікація ферментів або EC – Enzym Comission Code) розроблена спеціальною Комісією Міжнародного Біохімічного Союзу.

У основі класифікації лежать три положення:

1) усі ферменти поділять на 6 класів за типом каталізованої реакції;  
2) кожен фермент отримує систематичну назву, що включає назву субстрату, тип каталізованої реакції, і закінчення "аза"; крім того, Комісією були збережені і узаконені тривіальні назви. Таким чином, виникла подвійна система найменування ферментів;

3) кожному ферменту привласнюється чотиризначний шифр (код). Перше число вказує на клас ферментів, друге – підклас, третє – підпідклас, четверте – порядковий номер ферменту в підпідкласі.

Наприклад, алкогольдегідрогеназа (КФ.1.1.1.1): перша цифра – 1 – означає клас оксидоредуктази, друга цифра – 1 – підклас дегідрогенази (діє на СН–ОН-групу донорів), третя цифра – 1 – підпідклас анаеробна дегідрогеназа (акцептором служить НАД<sup>+</sup> або НАДФ<sup>+</sup>), четверта цифра – 1 – конкретний фермент алкогольдегідрогеназа.

Або  $\alpha$ -амілаза (КФ.3.2.1.1): перша цифра – 3 – клас гідролаз, друга цифра – 2 – підклас карбогідрази, третя цифра – 1 – підпідклас поліаз, четверта цифра – 1 – конкретний фермент  $\alpha$ -амілаза.

Сучасна міжнародна класифікація ферментів поділяє усі ферменти на 6 основних класів:

1 клас (КФ 1) – оксидоредуктази – ферменти, що каталізують окиснювально-відновні реакції (приєднання  $O_2$ , видалення і перенесення  $H_2$ , перенесення електролітів);

2 клас (КФ 2) – трансферази – ферменти перенесення; каталізують перенесення цілих атомних угруповань з однієї сполуки на іншу (наприклад, залишків моносахаридів, амінокислот, залишків фосфорної кислоти, метильних і амінів груп і т.д.);

3 клас (КФ 3) – гідролази – ферменти, що каталізують реакції гідролізу, тобто розщеплення складних органічних сполук на простіші за участю води.

4 клас (КФ 4) – ліази – ферменти, що каталізують реакції негідролітичного відщеплення яких-небудь груп від субстрату з утворенням подвійного зв'язку або приєднання угруповань за місцем розриву подвійного зв'язку (наприклад,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$  і т.д.);

5 клас (КФ 5) – ізомерази – ферменти, що каталізують реакції ізомеризації, тобто внутрішньомолекулярного перенесення хімічних угруповань і утворення ізомерних форм різних органічних сполук;

6 клас (КФ 6) – лігази (синетази) – ферменти, що каталізують реакції синтезу, пов'язані з розривом високоенергетичного зв'язку АТФ й інших нуклеозидтрифосфатів (в такому випадку можливе утворення С–С–; С–S–; С–O–; і С–N–зв'язків).

У таблиці. 10.2 наведені шифри, прийняті для різних ферментів, їх систематичні і тривіальні назви. У таблицю включені лише ферменти, що мають принципове значення під час зберігання, переробки сировини і у виробництві харчових продуктів. Надалі, в тексті де це можливо, застосовуватимуться тривіальні назви.

Таблиця 10.2 – Номенклатура ферментів, що мають значення в харчовій промисловості

Шифр	Систематична назва	Тривіальна назва
<b>Оксидоредуктаза</b>		
1.1.3.4	$\beta$ -D-глюкоза: O <sub>2</sub> -оксидоредуктаза	Глюкозооксидаза
1.11.1.6	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -оксидоредуктаза	Каталаза
1.14.18.1	Монофенол, дигідрооксифенилаланин: O <sub>2</sub> -оксидоредуктаза	Монофенолоксидаза, поліфенолоксидаза, тирозиназа, фенолаза
<b>Гідролази</b>		
3.1.1.3.	Триацилгліцерол-ацилгідролаза	Ліпаза, триацилгліцеролліпаза
3.1.1.11	Пектин-пектилгідролаза	Пектинестераза
3.2.1.1	1,4- $\alpha$ -D-глюкан глюканогідролаза	$\alpha$ -амілаза
3.2.1.2	1,4- $\alpha$ -D-глюкан мальтогідролаза	$\beta$ -амілаза
3.2.1.3	1,4- $\alpha$ -D-глюкан глюкогідролаза	$\gamma$ -амілаза, глюкоамілаза
3.2.1.4	1,4- $\beta$ -D-глюкан-4-глюкангідролаза	Целюлаза
3.2.1.15	Полі- $\alpha$ -1,4-галактуронід-гліканогідролаза	Полігалактуроназа
3.2.1.20	$\alpha$ - D-глюкозид глюкогідролаза	$\alpha$ -глікозидаза
3.2.1.21	D-глюкозид глюкогідролаза	$\beta$ -глікозидаза
3.2.1.23	$\beta$ -D-глюкозид галактогідролаза	Лактаза, $\beta$ -галактозидаза
3.4.23.1	–	Пепсин
3.4.23.4	–	Хімосин (ренін)
3.4.21.4	–	Трипсин
3.4.21.1	–	Хімотрипсин
3.4.22.5	–	Еластаза
3.4.21.1	–	Папаїн
3.4.21.6	–	Хімопапаїн
3.4.22.6	–	Фіцин
3.4.22.3	–	Бромелаїн
3.4.22.14	–	Субтилізін
3.4.23.6	–	Кисла протеїназа
3.4.24.3	–	Колагеназа
<b>Ізомерази</b>		
5.3.1.9	D-глюкозо-6-фосфат-кетозізомераза	Глюкозоізомераза, глюкозофосфат-ізомераза

### НОМЕНКЛАТУРА ФЕРМЕНТІВ

Назва у ферментів є досить складною і складається з декількох частин:

- 1) назва субстрату (тобто речовини, на яку діє фермент);
- 2) назва типу ферментативної реакції, що каталізує фермент;
- 3) назва продукту реакції та її учасників;
- 4) до назви ферменту додають закінчення -аза.

Наприклад, у печінці є фермент, що каталізує розщеплення глюкозо-6-фосфату на вільну глюкозу та фосфатну кислоту.

#### Глюкоза-6-фосфат-фосфогідролаза

В цій назві:

- 1) назва субстрату – глюкоза-6-фосфат;
- 2) назва продукту реакції – фосфорна кислота;
- 3) тип реакції – гідроліз;
- 4) додається закінчення -аза.

В практиці збереглися і другі назви ферментів, що називаються тривіальними: пепсин, амілаза, трипсин. До них відносяться гідролітичні ферменти шлунково-кишкового тракту.

### 10.3 Характеристика основних класів ферментів

#### ОКИСНЮВАЛЬНО-ВІДНОВНІ ФЕРМЕНТИ (ОКСИДОРЕДУКТАЗИ)

Під час процесів переробки рослинної сировини разом з гідролітичними використовуються і окисно-відновні ферменти. Оксидоредуктази застосовуються переважно на завершальних стадіях переробки рослинних субстратів з метою збереження харчових і смакових переваг харчових продуктів або модифікації органолептичних властивостей.

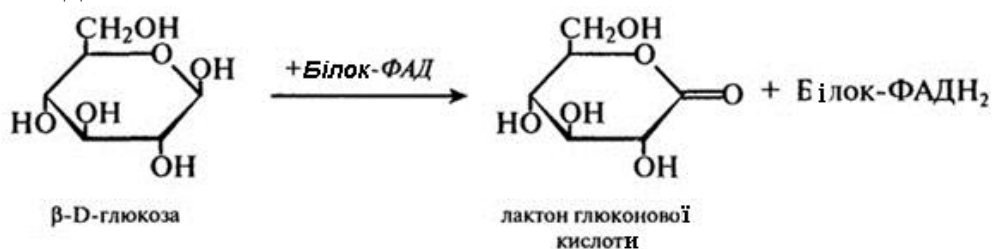
Варто пам'ятати, що представники усіх класів ферментів в тих або інших кількостях є присутніми в рослинній сировині, що переробляється, і ферментативна активність сировини неминуче впливає на хід технологічних процесів переробки. Цей вплив може бути як корисним, так і шкідливим. У другому випадку необхідно регулювати ферментативну активність в сировині шляхом його попередньої обробки або введення технологічно допустимих компонентів. Прикладами небажаних реакцій є окиснювальні перетворення органічних сполук в рослинній сировині, такі як потемніння подрібнених овочів і фруктів під дією тирозинази і дифенолоксидази, а також згіркнення жирів, спровоковане ліпоксигеназою.

**Глюкооксидаза (КФ. 1.1.3.4).** Фермент є флавопротеїдом, в якому білок сполучений з двома молекулами ФАД. Він окислює глюкозу з утворенням в кінцевому випадку гліуконової кислоти і має практично абсолютну специфічність по відношенню до глюкози. Сумарне рівняння має наступний вигляд:



Представлений вище процес насправді відбувається в декілька стадій:

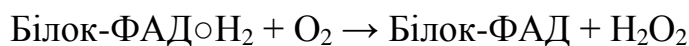
**1-я стадія:**



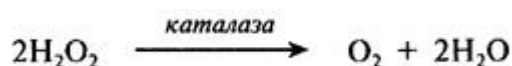
**2-я стадія:**



**3-я стадія:**



**4-я стадія:**



На першому етапі цієї реакції відбувається видалення двох атомів водню у першого вуглецевого атома глюкози. Таким чином утворюється відновлений флавіновий фермент і лактон глюконової кислоти. Далі відновлений фермент реагує з киснем повітря, і утворюється пероксид водню. Токсичний пероксид водню розщеплюється каталазою на кисень і воду, а  $\beta$ -О-глюконо- $\delta$ -лактон піддається спонтанному розщепленню з приєднанням води, внаслідок чого утворюється глюконова кислота.

У харчовій технології глюкозооксидазу використовують спільно з каталазою, оскільки необхідно розкласти пероксид водню, що утворюється на першій, ферментативній стадії окиснення глюкози глюкозооксилазою.

Високоочищені препарати глюкозооксидази отримують з цвілевих грибів роду *Aspergillus* і *Penicillium*. Вони мають приблизно однакову молекулярну масу  $\approx 150$  кД, ІЕТ – 4,2...4,3 і оптимум рН 5,6, стабільний в зоні рН 3...7, за температури до 50°C. Інгібітори – іони Гідраргіриму, Купруму, стабілізатори – іони Кальцію й амонію.

Останніми роками глюкозооксидаза отримала широке застосування. Завдяки винятковій специфічності препарати глюкозооксидази застосовуються як аналітичний засіб для кількісного визначення глюкози.

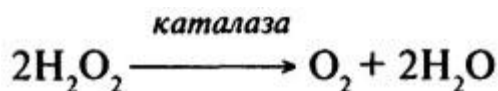
Окрім цього, препарати глюкозооксидази знайшли застосування в харчовій промисловості для таких випадків:

– для видалення слідів глюкози, що є необхідним під час обробки харчових продуктів, якість і аромат яких погіршуються через те, що в них містяться відновлюючі цукри; наприклад, в отриманні з яєць сухого яєчного порошку (мається на увазі реакція Майяра, так як глюкоза під час висушування і зберігання яєчного порошку, особливо за підвищеної температури, легко вступає в реакцію з групами амінів амінокислот і білків в наслідок чого порошок темніє, і утворюється ряд речовин з неприємним смаком і запахом);

– для видалення слідів кисню, що є необхідним під час обробки продуктів, в яких тривала присутність невеликих кількостей кисню призводить до зміни аромату і кольору (пиво, вино, фруктові соки, майонез). Внесення пакетиків, що містять суміш води, глюкози, ферменту і буферу, сприяє

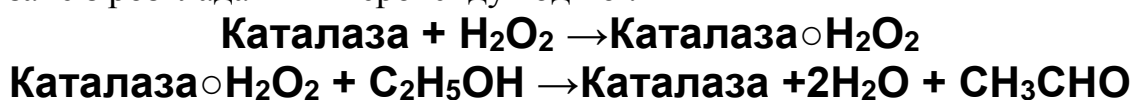
видаленню кисню з повітряного простору. В усіх подібних випадках у ферментну систему включають каталазу, яка розкладає  $\text{H}_2\text{O}_2$ , що утворюється під час реакції глюкози з киснем. Цей метод знайшов широке застосування в США для видалення кисню з банок з сухим молочним порошком.

**Каталаза (КФ.1.11.1.6)** – універсальний фермент органічного світу, що приймає участь в завершальних стадіях процесу окиснення. Він каталізує розкладання пероксиду водню відповідно до наступної реакції:



Таким чином, фермент окислює одну молекулу пероксиду водню до кисню з одночасним відновленням іншої молекули пероксиду водню до  $\text{H}_2\text{O}$ .

Фермент здатний також каталізувати окиснення спиртів в альдегіди, що пов'язане з розкладанням пероксиду водню :



Такий тип реакції характерний для середовищ з низьким вмістом пероксиду водню.

Каталаза відноситься до групи гемопротеїнових ферментів. Містить 0,009% Феруму у вигляді гемінового угруповання або 4 атоми на одну молекулу ферменту. Молекулярна маса ферментів, виділених з різних об'єктів (дріжджів, рослинних і тваринних тканин, мікроорганізмів) – в межах від 225 кД до 250 кД. Вони мають істотні відмінності в оптимумі рН (від 2 до 9), в термо- і рН-стабільності. Фермент інгібується ціанідом (оборотно), фенолами (оборотно лише в слабкій формі), лугом і сечовиною (безповоротно). Функцією каталази в живому організмі є захист клітини від згубної дії пероксиду водню.

У харчовій промисловості використовуються препарати каталази мікробного походження, що виділяються з грибів пеніцилів. Каталаза Pen.Vitale має широкий рН-оптимум – від 4 до 9, стабільна за температури до 650С.

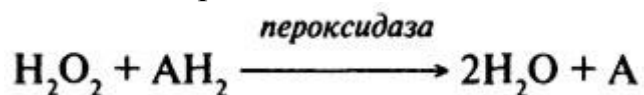
Каталаза знаходить своє застосування в харчовій промисловості в процесі видалення надлишку  $\text{H}_2\text{O}_2$  під час обробки молока в сироварінні, де остання використовується як консервант; а також спільно з глюкозооксидазою застосовується для видалення кисню і слідів глюкози.

Враховуючи пов'язаність дії глюкозооксидази і каталази, ці ферменти виділяють не лише як індивідуальні, але і у вигляді комплексних препаратів. Гриби пеніцили і аспергіли мають здатність продукувати значні кількості обох ферментів.

**Пероксидаза (КФ.1.11.1.7).** Пероксидаза каталізує окиснення органічних сполук за допомогою пероксиду водню і органічних пероксидів, що наприклад, утворюються з ненасичених жирних кислот, каротиноїдів. Фермент переносить кисень від молекули субстрату до пероксиду. Субстратами пероксидази служать різні сполуки – феноли (пірокатехін, пірогалол, гідрохінон, резорцин, гваякол), ароматичні кислоти (бензойна, саліцилова, галова), аскорбінова кислота, анілін, толуїдин, нітрит й інші сполуки.



Сумарно реакцію можна представити так:



Механізм реакції ґрунтується на утворенні комплексів фермент-донор і двох одновалентних ступенів окислення:



Більшість субстратів пероксидази – феноли. Під дією ферменту вони окиснюються до хінонів, які самі по собі є сильними окисниками. Хінони є схильними до полімеризації, в результаті чого утворюються темнозabarвлені сполуки.

Пероксидаза є присутньою в кожній рослинній клітині. Цей фермент приймає участь в циклах фотосинтезу і дихання, відіграє істотну роль в захисті рослин від інфекційних захворювань. Спостерігається позитивна кореляція між ступенем ушкодження рослини, концентрацією фенолів і активністю пероксидази. Тому під час переробки інфікованої рослинної сировини рівень окиснювальних процесів в цілому є вищим, ніж під час переробки неушкодженого матеріалу.

Пероксидаза – двокомпонентний фермент, що складається з білку глікопротеїну і гемінового компоненту (активний центр). Фермент містить один атом Феруму на молекулу, має молекулярну масу від 22 до 44 кДа, білкова частина на 43% є спіралізованою.

Пероксидаза представлена в рослинах набором ізоферментів, число їх у одного виду може складати від 3 до 42. З різних видів тютюну виділили 33 ізоферменти пероксидази. Наявність ізоферментів розширює межі функціонування пероксидази, вона проявляє активність в зоні рН 3...14. В результаті зміни зовнішніх умов і гомеостазу рослини змінюється ізоферментний склад пероксидази, що є механізмом пристосуванням.

Найбільш активна пероксидаза виділена з коренів хрину. Її молекулярна маса дорівнює приблизно 40 кД, ІЕТ – 7,2, стійка за рН від 4 до 12; оптимум рН для пероксидази хрину дорівнює 7; за рН від 6 до 8 зберігається 70% його активності.

Регуляція дії пероксидази здійснюється за допомогою іонів металів – Мангану, Цинку, Купруму, Кальцію та ін. Їх присутність впливає на співвідношення власне пероксидазної, оксидазної і оксигеназної активності.

Інгібіторами пероксидази є ціаніди і хелати. За допомогою хелатів, таких як ЕДТА, лимонної кислоти та її солей, можна запобігти окиснювальним реакціям, що відбуваються в рослинній сировині під дією пероксидази.

***o*-Дифенолоксидаза** (КФ.1.14.18.1). Цей фермент є відомим також і під іншими назвами: поліфенолоксидаза; тирозиназа; фенолаза; катехолаза. Він каталізує окиснення дифенолів, поліфенолу, монофенолів, дубильних речовин за допомогою кисню повітря.

Типова реакція, що каталізується о-дифенолоксидазою, має вигляд:



Найменш стійкими до окиснення є о-дифеноли, у яких гідроксильні групи розташовані біля сусідніх вуглецевих атомів.

Молекула ферменту має четвертинну структуру і молекулярну масу приблизно 34000 Д. о-дифенолоксидаза – купропротеїд. Вміст Купруму – 0,2%, або один атом Cu на одну молекулу ферменту. Зона оптимальної активності – між рН 5,0...7,0.

Дифенолоксидаза – універсальний рослинний фермент, присутній в усіх органах і тканинах. В залежності від того, з якого джерела виділений фермент, здатність його до окиснення різних фенолів є різною. Більше того, навіть в одному і тому ж об'єкті о-дифенолоксидаза може міститися у вигляді різних молекулярних форм (ізоформ), що відрізняються за здатністю до окиснення різних фенолів.

З дією цього ферменту пов'язано утворення темнозбарвлених сполук – меланінів в результаті окиснення киснем повітря амінокислоти – тирозину. Під дією дифенолоксидази рослинні феноли окиснюються спочатку в хінони, які, конденсуючись, перетворюються на меланіни. Колір меланінів залежить від їх молекулярної маси: чим більшою є молекулярна маса, тим темнішим є забарвлення, в міру збільшення молекулярної маси колір змінюється від рожевого до чорного. Потемніння зрізів картоплі, яблук, грибів, персиків й інших рослинних тканин в більшій мірі або повністю залежить від дії о-дифенолоксидази. У харчовій промисловості основний інтерес до цього ферменту зосереджений на запобіганні ферментативному потемнінню, яке має місце під час висушування плодів і овочів, а також у виробництві макаронних виробів з борошна з підвищеною активністю о-дифенолоксидази. Ця мета може бути досягнута наступними шляхами:

– теплова інактивація ферменту (баланширування), інактивація за допомогою підкислення (за рН<3 фермент є нестабільним);

– додавання інгібіторів (аскорбінова кислота,  $\text{NaHSO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ), за присутності яких відбувається відновлення о-хінонів у феноли і пригнічується процес конденсації хінонів;

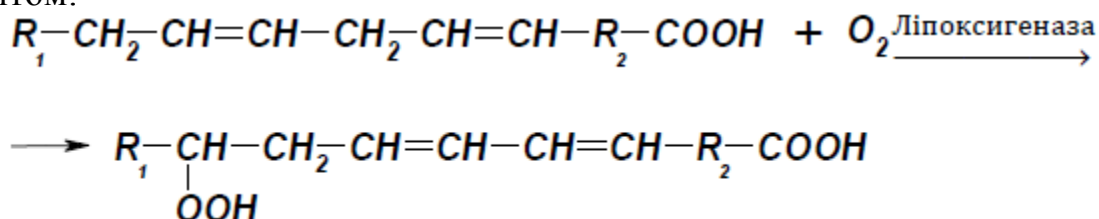
– зв'язуванням субстрату за допомогою метилування.

Гарні результати дає витримка матеріалу, що пройшов механічну обробку (очищення, різання), в слабких розчинах лимонної кислоти, яка має хелатну дію: зв'язує каталітично активні іони Купруму, що в свою чергу, інактивує дифенолоксидазу. Своєчасне занурення рослинного матеріалу у воду (а ще краще – в злегка підсолену воду) також є досить ефективним. Процеси окиснення розвиваються з часом, тож якщо матеріал негайно залити водою,

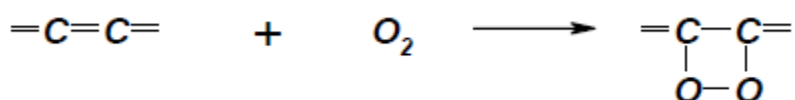
роз'єднавши тим самим з киснем повітря, можна запобігти потемнінню.

Позитивна роль ферменту проявляється в деяких ферментативних процесах: наприклад, під час ферментації чаю. Окислення дубильних речовин чаю під дією о-дифенолоксидази призводить до утворення темнозбарвлених і ароматичних сполук, які визначають колір і аромат чорного чаю.

**Ліпоксигеназа** (КФ.1.13.11.12) каталізує окиснення поліненасичених жирних кислот (лінолеву, ліноленову, арахідонову), та їх естерів киснем повітря з утворенням високотоксичних гідропероксидів. Ненасичені жирні кислоти перетворюються на гідропероксиди, таким чином змінюється положення подвійного зв'язку. Нижче наведена реакція, що каталізується цим ферментом:



Можливим є утворення і циклічних пероксидів за наступною схемою:



Проте основна кількість жирних кислот перетворюється на гідропероксиди, що мають сильні окиснювальні властивості, і саме на цьому засноване використання ліпоксигенази в харчовій промисловості.

Гідропероксиди жирних кислот – активні окиснювальні агенти, здатні окиснювати ненасичені жирні кислоти, каротиноїди, хлорофіл, амінокислоти, аскорбінову кислоту. Таким чином, дія ліпоксигенази ініціює цілий ряд різних окиснювальних реакцій в рослинній сировині.

Висока ліпоксигеназна активність знайдена в насінні, що перебуває в спокої таких культур як бобових, льону, в зародках злаків. У насінні соняшнику, рапсу, конопель, горіха активність ферменту є невеликою, вона зростає під час проростання насіння.

Ліпоксигеназа – залізовмісний глобулін. Молекулярна маса рослинних ліпоксигеназ – в межах 67...108 кД, оптимальний рН 6,2 ...7,5, температура 20...40°C.

Найбагатшим джерелом ферменту є борошно соєвих бобів. У зерні пшениці активність ліпоксигенази коливається в значних межах і є сортовою ознакою. Крім того, активність ліпоксигенази пов'язана з показником життєздатності зерна. Вона закономірно знижується зі зниженням схожості зерна і може бути біохімічним тестом життєздатності насіння. Значна частина ліпоксигенази пшениці є міцно зв'язаною з білками клейковини і звільняється під час обробки комплексу клейковини розчином відновленого глутатіону.

Ліпоксигеназі належить важлива роль в процесах дозрівання пшеничного борошна, пов'язаних з поліпшенням її хлібопекарських

властивостей, продукти окиснення жирних кислот, що утворюються під дією ферменту, здатні викликати зв'язане окиснення ряду інших компонентів борошна (пігментів, SH- груп білків клейковини, ферментів та ін.). Таким чином відбувається освітлення борошна, зміцнення клейковини, зниження активності протеолітичних ферментів і інші позитивні зміни.

Утворення гідропероксидів жирних кислот – початкова стадія їх деградації, в процесі якої утворюються леткі речовини, що створюють характерний запах згірклих олій, борошна, круп за їх тривалого зберігання.

Для запобігання негативним наслідкам дії ліпоксигенази в продуктах, що зберігаються, роблять різні заходи. Щоб уникнути згіркнення борошна під час помелу зерна відділяють фракцію зародків – найбільш багату ліпоксигеназою частину зерна. Під час розфасування рослинних олій і жировмісних продуктів за можливості виключають попадання кисню або використовують спеціальні пакувальні матеріали, на які нанесений фермент глюкозоксидаса, її субстрат глюкоза і буферні солі (система, що поглинає кисень в реакції окиснення глюкози в глюконову кислоту).

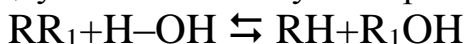
Широке застосування знайшли різні антиоксиданти – токоферолі, каротиноїди, янтарна і фумарова кислоти, флавоноїди (морин, кемпферол, мірицетин, кверцетин, дегідрокверцетин та ін.), аскорбінова кислота, рослинні екстракти, що містять комплекс різноманітних антиоксидантів.

#### ГІДРОЛІТИЧНІ ФЕРМЕНТИ

Гідролітичні ферменти є найважливішим класом ферментів, що використовуються у переробці харчової сировини. Основною продукцією ферментної промисловості є препарати гідролаз, таких як амілази, протеази, пектинази, целюлази. Гідролітичні ферменти використовуються переважно в початковій, найбільш трудомісткій стадії переробки органічної сировини, коли необхідно розщепити структурні або запасні полімери, фрагменти яких далі піддаються трансформації під дією ферментів інших класів.

Субстрати гідролітичних ферментів – полісахариди, білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти й інші природні сполуки, що містять "ангідридові" зв'язки – складають основну масу органічної матерії на планеті. Гідроліз – необхідна стадія кругообігу цих сполук в природі, тому гідролітичні реакції, як хімічні, так і ферментативні, відбуваються у великих масштабах в природних умовах.

Реакція гідролізу відбувається за наступним рівнянням:



В процесі ферментативного гідролізу відбувається утворення фермент-субстратного комплексу, який зазнає внутрішньомолекулярного перегрупування під впливом активного центру ферменту. Каталізований розрив ангідридового зв'язку субстрату призводить до виділення з фермент-субстратного комплексу одного з продуктів реакції. Другий продукт виділяється після перегрупувань, які пов'язані з приєднанням молекули води.

Клас гідролаз – третій клас в номенклатурі ферментів – включає 11 підкласів. Ферменти підкласу 3,1 розщеплюють естерні зв'язки; 3.2 – глікозидні зв'язки; 3.3 – естерні зв'язки; 3.4 – пептидні зв'язки; 3.5 – зв'язки C–N, відмінні

від пептидних; 3.6 – кислотноангідридні зв'язки; 3.7 – зв'язки C–C; 3.8 – галоїдалкілні зв'язки; 3.9 – зв'язки P–N; 3.10 – зв'язки S–N; 3.11 – зв'язки C–P.

Найбільше застосування в процесах промислового біокаталізу знайшли гідролази підкласів 3.1, 3.2 і 3.4.

### Естерази (КФ.3.1)

Цей підклас включає велике число ферментів (приблизно 150). Ферменти підкласу 3.1 розщеплюють естерні зв'язки. Для естераз характерна відносна групова субстратна специфічність, тобто здатність гідролізувати естерні зв'язки між радикалами різного типу. Естерази розщеплюють моно-, ди-, тригліцероли й інші сполуки, що містять естерний зв'язок. Швидкість розщеплення залежить від структури субстрату. Естерази поділяють на сім підкласів: ферменти, що діють на естери карбонових кислот (3.1.1); естерази тіолових естерів (3.1.2); гідролази фосфорних моноестерів або фосфатази (3.1.3); гідролази фосфорних діестерів (3.1.4); гідролази моноестерів олігофосфорних кислот (3.1.5); сульфатази (3.1.6); естерази моноестерів дифосфорних кислот (3.1.7).

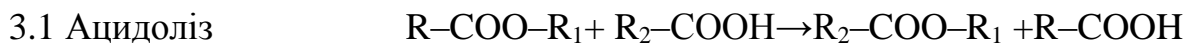
Найбільш важливими з точки зору участі в різних біохімічних процесах, що мають місце під час зберігання й переробки харчової сировини, є ферменти підкласу 3.1.1, що діють на естери карбонових кислот.

**Ліпаза (КФ.3.1.1.3)** або тріацилгліцерол-ліпаза широко розповсюджена в природі і відіграє важливу роль в процесах, що відбуваються під час переробки і зберігання харчових продуктів. До таких ліпаз належать: ліпази рослинного походження (ліпаза рицини, пшениці й інших злаків), тваринного (панкреатична ліпаза, ліпаза молока) і мікробного (бактерійні і грибні ліпази).

Ліпази є універсальними ферментами що використовуються для перетворення ліпідів. Субстратами ліпаз є гліцериди й інші естери. Ліпази більше за інших представників класу гідролаз мають здатність каталізувати різні типи реакцій, а саме, наступні типи:

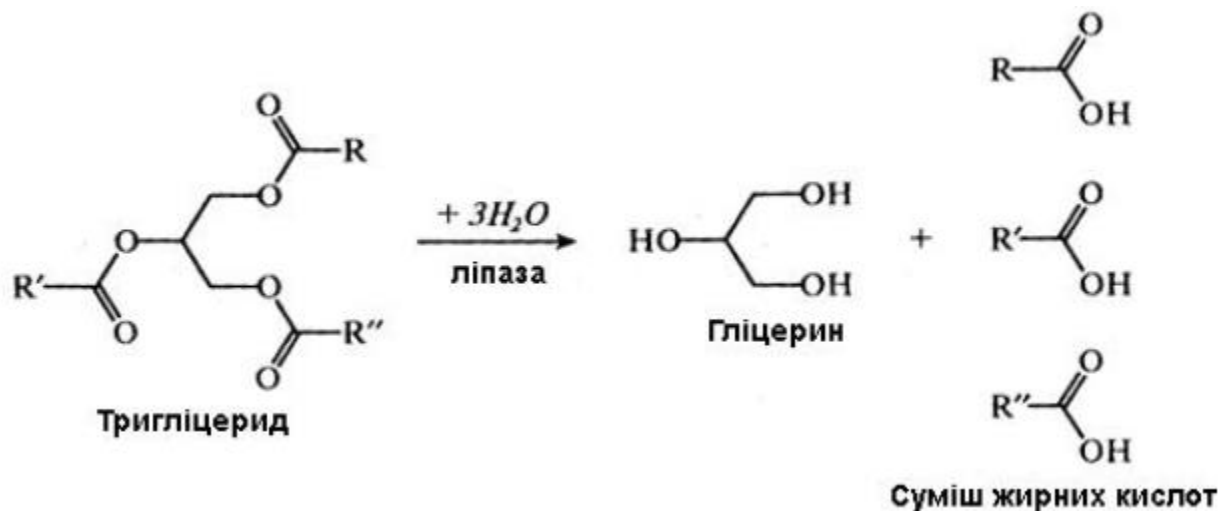


3 – Трансестерифікація



Гідролітичне розщеплення жирів ліпазами відбувається з помітною швидкістю в середовищах з концентрацією води не менше 1%. Реакція відбувається в гетерогенному середовищі на межі поділу фаз ліпід-вода, швидкість її залежить від ступеня дисперсності субстрату.

Зазвичай ліпази каталізують реакцію розщеплення тригліцеридів згідно з наведеним нижче сумарним рівнянням:



Ліпази проявляють специфічність відносно оптичних ізомерів естерів (стереоспецифічність), позиційну, гліцеридну і жирокислотну специфічність.

За позиційною специфічністю ліпази поділяють на дві групи: позиційно неспецифічні, які звільняють в процесі гідролізу тригліцеридів жирні кислоти з усіх трьох позицій, і 1,3-специфічні.

Більшість відомих ліпаз переважно гідролізують естерний зв'язок біля С<sub>1</sub> і С<sub>3</sub> гліцеролу.

За тривалого гідролізу гліцеридів 1,3-специфічні ліпази здатні відщепити жирні кислоти з усіх положень, оскільки 2-моногліцериди і 1,2-дигліцериди, як менш конформаційно стабільні, мимоволі ізомеризуються в 1-моногліцериди і 1,3-дигліцериди.

Жирнокислотна специфічність ліпаз виражається в перевазі до жирних кислот певної довжини ланцюга. В цілому ліпази легко відділяють жирні кислоти середньої довжини.

Гліцеридна специфічність виражена не в усіх ліпаз. Фермент з *Pen. cyclosporum* гідролізує моногліцериди і дигліцериди і практично не діє на тригліцериди.

Ліпази різного походження сильно відрізняються одна від одної за специфічністю дії, спорідненістю до різних субстратів, розчинністю, оптимуму рН й іншим властивостям. Так, наприклад, ліпаза насіння рицини є нерозчинною у воді, має оптимум рН 4,7...5,0; панкреатична ліпаза – розчинна, й оптимум рН її дії знаходиться в слаболужному середовищі. Ліпаза пшеничних зародків також відрізняється від ліпази рицини. Вона є розчинною у воді і має рН оптимум 8,0.

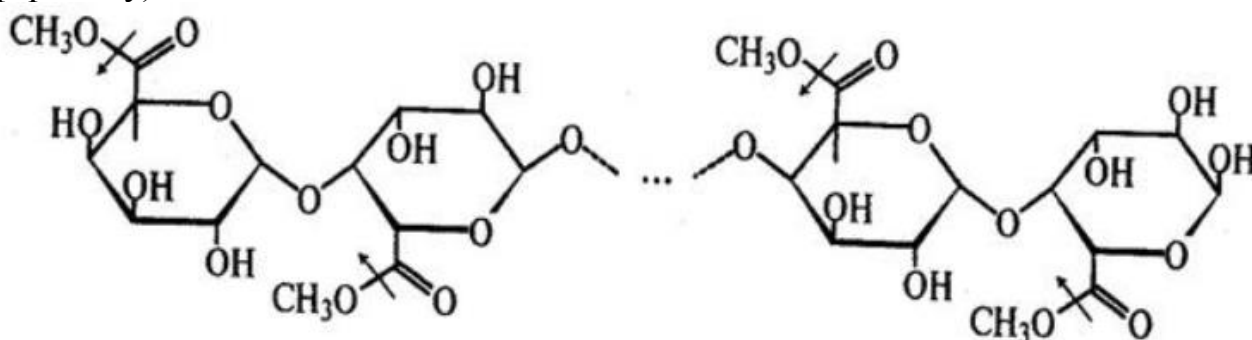
Для мікробних ліпаз-ферментів з молекулярною масою 30...55 кДа, оптимальна температура дії не перевищує 65°C, оптимальний рН більшості досліджених ліпаз знаходиться в слабокислій і нейтральній зоні. Бактерії роду *Pseudomonas* продукують лужні ліпази і ліпази з широкою зоною рН-оптимуму.

*Зернова ліпаза* приймає участь в процесі псування зернових продуктів під час зберігання. Особливо це стосується продуктів, що містять підвищену кількість жиру, наприклад, вівсяного борошна або крупи, пшона. Накопичення вільних жирних кислот під дією ліпази (зростання кислотного числа жиру) є

ознакою погіршення якості продукту. Вільні жирні кислоти, особливо ненасичені, легко піддаються окисненню під впливом різних факторів: ліпоксигенази, теплової обробки, кисню повітря, сонячного світла та ін. Таким чином, ліпази можуть ініціювати процес згіркнення й обмежувати терміни зберігання харчових продуктів.

**Пектинестерази, ПЕ (КФ.3.1.11)** каталізують гідроліз естерних зв'язків в молекулі розчинного пектину, а саме, відщеплення метильних груп від поліметилгалактуранової кислоти з утворенням метанолу і частково диметоксильованої полігалактуранової кислоти.

Процес відбувається згідно з наступною схемою (стрілками показана дія ферменту):



ПЕ деестерифікує пектини на 60...70%. Зі зниженням ступеня естерифікації субстратів зменшується спорідненість ферменту до них, і процес гідролізу не проходить до кінця. ПЕ переважно діє на великі молекули, метоксильовані олігоуроніди розщеплюються повільніше.

Пектинестерази синтезуються вищими рослинами, мікроскопічними грибами, дріжджами і бактеріями.

Пектинестерази проявляють максимальну активність в інтервалі рН 4,4...8,0, у деяких мікроскопічних грибів за рН 2,5. Оптимальна температура дії 30...40°C. Пектинестераза входить в комплекси пектолітичних ферментних препаратів мікробного походження.

Желююча здатність пектину залежить від ступеня метоксильовання або ступеня естерифікації, тому дія пектинестерази з відщеплення метоксильних груп призводить до зниження желюючої здатності і супроводжується падінням в'язкості. На цьому, очевидно, і ґрунтується застосування цього ферменту для освітлення плодкових соків і вина.

Зазвичай комплексні препарати пектолітичних ферментів, що використовуються з цією метою, отримують з різних цвілевих грибів, і передусім з *A.Niger*

### **Гідролази глікозидів або Глікозидази (КФ.3.2)**

Цей підклас включає приблизно ста ферментів з різною специфічністю дії, що здійснюють гідроліз оліго- і полісахаридів; деякі ферменти цього типу здатні здійснювати трансферазні реакції – переносити глікозидні залишки на оліго- і полісахариди, нарощувати полісахаридні ланцюжки.

Глікозидази є стереоспецифічними. Вони гідролізують глікозидні зв'язки певної просторової конфігурації ( $\alpha$  чи  $\beta$ ), але не обох одночасно. Прикладами

можуть служити  $\alpha$ -амілаза,  $\alpha$ -глюкозидаза, глюकोамілаза, що гідролізують виключно  $\alpha$ -глікозидні зв'язки, і  $\beta$ -глюканаза, целобіаза, лізоцим – гідролізують  $\beta$ -зв'язки.

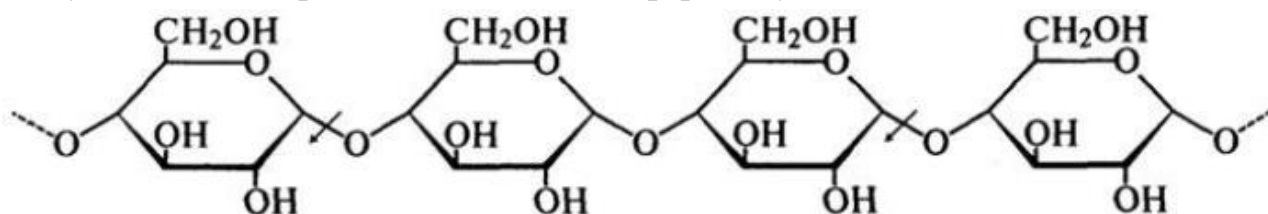
Менша вибірковість проявляється до різних видів  $\alpha$ - або  $\beta$ -глікозидних зв'язків. Так, глюकोамілаза розщеплює  $\alpha$ -1,4 і  $\alpha$ -1,6-зв'язки; глюканаза бацил –  $\beta$ -1,3 і  $\beta$ -1,4-зв'язки;

Глікозидази є специфічними відносно довжини ланцюга гідролізованих полімерних субстратів. Так, глюкоамілаза цвілевих грибів переважно гідролізує високомолекулярні полімери  $\alpha$ -1,4-зв'язаної глюкози, а аналогічний фермент –  $\alpha$ -глюкозидаза дріжджів каталізує гідроліз того ж зв'язку в олігосахаридах, але не в крохмалі.

Основною формою запасних вуглеводів в насінні і бульбах рослин є крохмаль. Ферментативні перетворення крохмалю лежать в основі багатьох харчових технологій.

Група ферментів, що гідролізують крохмаль (амілолітичних), включає:  $\alpha$ -амілазу,  $\beta$ -амілазу, глюкоамілазу,  $\alpha$ -глюкозидазу, ізоамілазу, пулуланазу.

**$\alpha$ -Амілаза** ( $\alpha$ -1,4-глюкан-4-глюканогідролаза, КФ.3.2.1.1) гідролізує  $\alpha$ -1,4-глікозидні зв'язки в крохмальних полісахаридах і глікогені, вона є ферментом ендотипу – гідролізує  $\alpha$ -1,4-глікозидні в середині молекули крохмалю, розриваючи зв'язок між першим атомом Карбону і Оксигеном, що з'єднує цей атом Карбону з сусідньою молекулою глюкози). Це наочно демонструє наступна схема (стрілками показана дія ферменту):



Швидкість з якою  $\alpha$ -амілази гідролізують глюкани з різним ступенем полімеризації знижується в міру зниження цього ступеня полімеризації. Амілоза – лінійна фракція крохмалю, гідролізується швидше, ніж амیلпектин, що має розгалужену структуру.

Швидкість гідролізу  $\alpha$ -амілазою залежить від виду і стану крохмалю (нативний або клейстеризований), а також від ефективності самих амілаз.

$\alpha$ -Амілази виявлені у тварин (у слині і підшлунковій залозі), в рослинах (проросле зерно пшениці, жита, ячменю), вони виробляються цвілевими грибами і бактеріями.

Багато амілаз містять кальцій (один атом на молекулу ферменту). Роль кальцію полягає в тому, що він стабілізує вторинну і третинну структури молекули  $\alpha$ -амілази, забезпечуючи таким чином її каталітичну активність і разом з тим оберігає від дії протеолітичних ферментів і теплової денатурації.

Велике практичне значення має вплив температури і рН на стабільність амілаз. Швидке руйнування зернової  $\alpha$ -амілази за рН 3,3...4,0, наприклад, дає можливість випікати житній хліб з борошна, яке містить надлишок  $\alpha$ -амілази, за низьких значень рН, щоб запобігти зайвому декстринюванню крохмалю і



утворенню клейких речовин в м'якуші хліба.

За термостабільністю  $\alpha$ -амілази різного походження, можна розташувати в наступному ряду в міру зниження їх стійкості до нагрівання: бактерійні амілази  $\rightarrow$  зернові амілази  $\rightarrow$  грибні амілази.

$\alpha$ -Амілаза належить до числа ферментів з досить високою термостабільністю. Мезофільні бактерії продукують фермент, стабільний за температури до  $80^{\circ}\text{C}$ , частіше не вище  $70^{\circ}\text{C}$ . Амілаза термофілів може мати вражаючу стабільність. Так  $\alpha$ -амілаза *V.licheniformis*, що випускається у вигляді комерційного препарату "Термаміл", у присутності  $1\text{ M CaCl}_2$  і  $31,5\%$  крохмалю не втрачає активності за  $90^{\circ}\text{C}$ , а за  $100^{\circ}\text{C}$  час напівінактивації складає більше 3 год.

В насінні рослин є присутніми два типи  $\alpha$ -амілази :  $\alpha$ -амілаза дозрівання і  $\alpha$ -амілаза проростання.

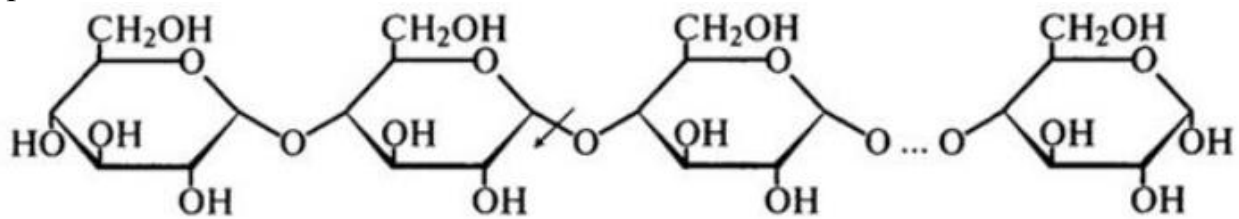
У дозріваючому зерні синтезується  $\alpha$ -амілаза дозрівання, яка потім переходить в латентну форму, локалізуючись на мембранах алейронового шару. Перший етап гідролізу крохмалю під час проростання здійснюється цією  $\alpha$ -амілазою. І тільки на наступному етапі в роботу включається фермент, що знову синтезується –  $\alpha$ -амілаза проростання. Її синтез в клітинах зародка і алейронового шару починається за вологості зерна вище  $28\%$ . Дві форми  $\alpha$ -амілази насіння злаків відрізняються за термостабільністю:  $\alpha$ -амілаза дозрівання за  $70^{\circ}\text{C}$  втрачає  $50\%$  своєї активності, тоді як  $\alpha$ -амілаза проростання за цієї температури тільки трохи знижує свою активність.

Потужним механізмом регуляції швидкості розщеплення крохмальних гранул є система білкових інгібіторів амілаз, широко представлених в рослинах. Інгібітори білкової природи вибірково взаємодіють з амілазами і утворюють неактивні комплекси "амілаза-інгібітор". Високу активність мають інгібітори амілаз картопляного соку. Із зерна пшениці виділений інгібітор з двома активними центрами (двоцентровий). Один активний центр має спорідненість до протеаз і здатний блокувати їх дію. Інший активний центр має спорідненість до амілаз. Таким чином, один інгібітор білкової природи здатний блокувати роботу як протеаз, так і амілаз. У надмолекулярному комплексі, що утворюється, інгібітор виконує своєрідну роль з'єднувальної ланки, пригнічуючи активність ферментів різного механізму дії.

Вдосконалення технології мікробних  $\alpha$ -амілаз відбувається в двох основних напрямках: створення препаратів високої термостабільності для гідролізу клейстеризованого крохмалю і препаратів, придатних для гідролізу сирого, неклейстеризованого крохмалю. Другий шлях дасть змогу перейти до низькотемпературного розщеплення крохмалю, що істотно скоротить енерговитрати і спростить апаратурне оформлення процесу гідролізу.

**$\beta$ -Амілаза** ( $\alpha$ -1,4-глюкан-мальтогідролаза, КФ.3.2.1.2) – фермент екзотипу, що каталізує послідовне відщеплення мальтози від нередукуючого кінця молекул амілози, амілопектину, амілодекстринів, розриваючи глікозидні зв'язки через один. Фермент розщеплює в крохмалі тільки  $\alpha$ -1,4-глікозидні зв'язки. Сирий крохмаль не гідролізує.

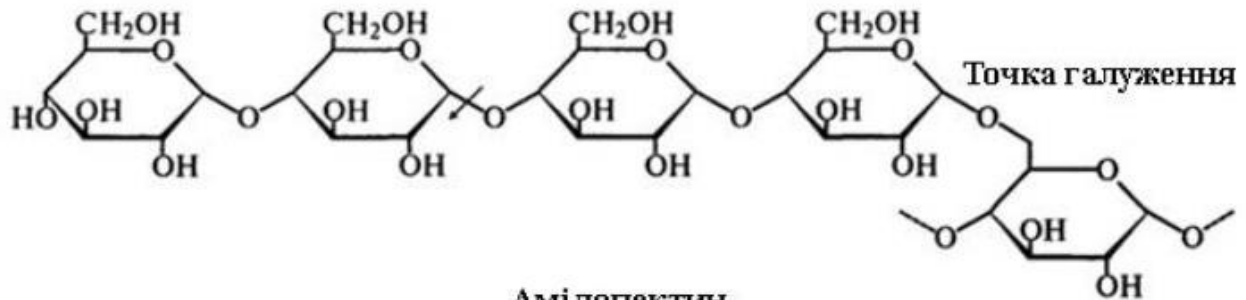
На наведеній нижче схемі дія  $\beta$ -амілази на амілозу і амілопектин показана стрілками.



Нередукуючий кінець

Амілоза

Редукуючий кінець



Амілопектин

Таким чином,  $\beta$ -амілаза послідовно відщеплює залишки мальтози від нередукуючого кінця до тих пір, доки не зустрінеться точка галуження зі зв'язком  $\alpha$ -1,6. Амілоза гідролізується до мальтози повністю, а в результаті дії  $\beta$ -амілази на амілопектин окрім мальтози залишається недоторканою велика, сильно розгалужена серцевина ("кінцевий декстрин"), так як фермент припиняє свою дію за 2...3 залишки глюкози від точок галуження. Нерозщеплені фрагменти амілопектину носять ще назву  $\beta$ -насичених декстринів. В результаті гідролізу крохмалю  $\beta$ -амілазою утворюється 54...58% мальтози і 42...46% насиченого декстрину. Мальтоза в результаті відщеплення переходить в  $\beta$ -форму, що пояснює назву ферменту.

$\beta$ -Амілазу продукують вищі рослини, мікроорганізми. Фермент міститься в непророслому зерні і солоді злакових культур. Солод злаків довгий час був єдиним джерелом  $\beta$ -амілази, що використовувався на практиці. Зернові  $\beta$ -амілази є найбільш активними за рН 4...6, стабільні за рН 4...8. Оптимальна температура дії 40...50°C, температура стабільності – не вище 60°C. Зернові  $\beta$ -амілази – сульфгідрильні ферменти, їх активність пригнічують важкі метали і окиснювальні агенти.

У зерні  $\beta$ -амілаза є присутньою в активній і латентній формі. В результаті проростання латентна форма активується під дією протеаз.

Багато бактерій, зокрема, бацили синтезують  $\beta$ -амілазу в значних кількостях. Фермент бацил активний за рН 6...7,5, оптимальна температура дії ферменту з різних культур коливається в межах 30...60°C. Бактерійна  $\beta$ -амілаза стабільна за рН 5...9 і температури не вище 55° С.

$\beta$ -Амілаза рідко використовується як індивідуальний фермент а частіше – в поєднанні з  $\alpha$ -амілазою. Комплекс цих ферментів дозволяє розщеплювати крохмаль на 94...96% до мальтози, окрім якої в гідролізаті є присутньою

невелика кількість глюкози і низькомолекулярний  $\alpha$ -1,6-декстрини.

**Глюкоамілаза** ( $\alpha$ -1,4-глюкан-глюкогідролаза, КФ.3.2.1.3). Глюкоамілаза ( $\gamma$ -амілаза) – екзо-фермент, що каталізує відщеплення  $\beta$ -глюкози від нередукуючого кінця амілози і амілопектину, розщеплюють як амілозу, так і амілопектин до глюкози. Глюкоамілаза розщеплює  $\alpha$ - 1,4,  $\alpha$ - 1,6 і  $\alpha$ -1,3-глікозидні зв'язки, з найбільшою швидкістю –  $\alpha$ -1,4.

Глюкоамілаза продукується різними видами цвілевих грибів роду *Aspergillus*: *A.oryzae*, *A.niger*, *A.awamori* і деякими іншими, наприклад, *Rhizopusdelamari* і *Rhizopus niveus*. Більшість глюкоамілаз – глікопротеїни, вміст вуглеводів – до 35%.

Різні глюкоамілази відрізняються одна від одної швидкістю гідролізу крохмалю, відношенням до температури і рН, і деякими іншими показниками. Грибні глюкоамілази – білки молекулярної маси від 48 до 112 кДа. Максимальна активність проявляється за рН 4,3...5,9 і температури 40...70° С

Глюкоамілази мукових грибів здатні гідролізувати крохмаль на 95...100%, фермент з пеніцилів аспергилів – на 88...95%. На використанні препаратів грибної глюкоамілази розроблений ферментативний метод одержання глюкози, який отримав широке розповсюдження в Японії.

**Інулаза** (КФ.3.2.1.7) здійснює ферментативний гідроліз інуліну та інших поліфруктонів по  $\beta$ -1,2-фруктозидним зв'язкам, починаючи з  $\beta$ -фруктозидного кінця полімеру. В результаті утворюється фруктоза і єдина молекула глюкози на одну молекулу інуліну. За повного гідролізу інуліну виходить 95% фруктози і 5% глюкози.

Інулін є полімером  $\beta$ -1,2-зв'язаної фруктози, у якого на нередукуючому кінці є один залишок глюкостірози, приєднаний 1,1-глікозидним зв'язком. Середнє число фруктозних залишків 30...40, молекулярна маса 5...6,5 кДа.

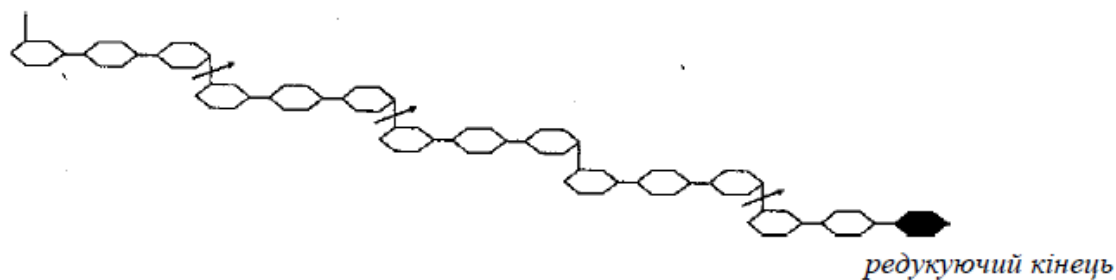
Інулін накопичується як запасний полісахарид у бульбах і коренях рослин, у тому числі у багатьох складноцвітих. Вміст інуліну в % до сухої маси складає: у бульбах топінамбура – 80, коренях цикорію – 75, жоржини – 72, дзвіночків – 45, кульбаби і берізки – 40. Промислове значення має топінамбур, який дає урожай 200...300 ц/га. Сира речовина бульб топінамбура містить приблизно 18% інуліну, що перевищує вміст сахарози в цукровому буряку (11%).

Інулаза міститься в тих же рослинах (топінамбур, цикорій), в яких є присутнім інулін. Активна інулаза продукується *Aspergillus awamori* ВКМ-808 за глибинного культивування. Препарат має високу стабільність до  $H^+$ -іонів і температури. Оптимум рН дії 4,5; оптимум температури – 65°С.

Отримані із інуліну фруктозні сиропи можуть використовуватись в кондитерській промисловості і дієтичному харчуванні.

**Пулулаза** (пулулан-6-глюканогідролаза, КФ.3.2.1.41) гідролізує  $\alpha$ -1,6-глікозидні зв'язки в пулулані, глікогені, амілопектині і граничному декстрині, що утворюються в результаті дії на амілопектин  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілаз. Гідроліз відбувається за ендо-типом, основний продукт розщеплення пулулану – мальтотріоза.

На наведеній нижче схемі дія пулуланази на пулулан показана стрілками:



*Дія пулуланази на пулулан*

Пулуланаза виділена з різних видів бактерій, переважно з бацил і з актиноміцетів. Фермент проявляє максимальну активність за рН 5...7, деякі штами бацил продукують лужну пулуланазу з оптимумом дії за рН 8,5...9. Оптимальна температура – 45...60° С. Стабільність пулуланази підвищується у присутності іонів Кальцію.

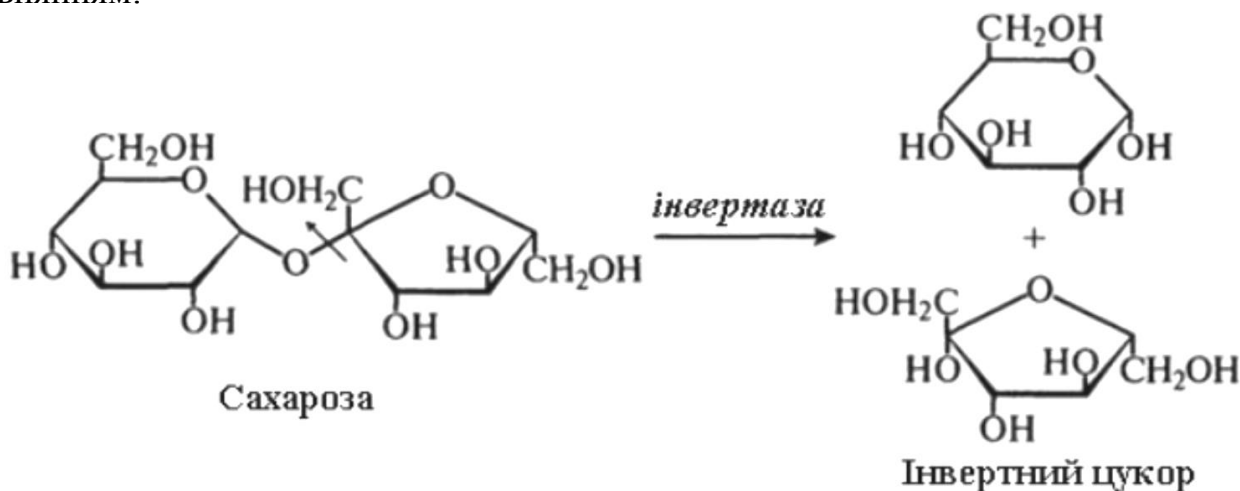
Пулуланаза разом з іншими амілолітичними ферментами застосовується в технології цукристих продуктів, що отримуються з крохмалю.

**Ізоамілаза** (глікоген-6-глюканогідролаза, КФ. 3.2.1.68) гідролізує α-1,6-глікозидні зв'язки в субстратах, що галузяться, за винятком пулулану. Слабо гідролізує α-насичені декстрин. Повністю розщеплює глікозидні зв'язки в точках галуження глікогену.

Ізоамілаза виділена з дріжджів, грибів, бактерій. Фермент найбільш активний за рН 3...6 і температури 25...50° С. Використовується у поєднанні з іншими амілазами під час отримання цукристих продуктів з крохмалю.

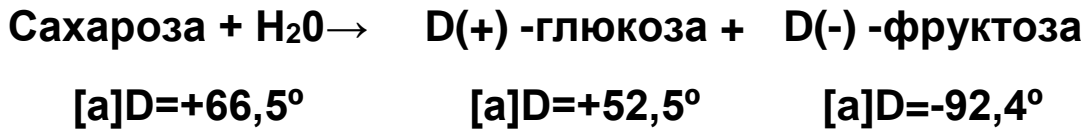
**β-Фруктофуранозідаза** (КФ. 3.2.1.26). Інші назви цього ферменту – інвертаза або сахараза.

Для промислового виробництва мають значення ферменти з *S.cerevisiae* і *S. carlsbergensis*. β-Фруктофуранозідазу виділяють з дріжджів шляхом автолізу. Цей фермент гідролізує сахарозу за β-фруктозидними зв'язками згідно з рівнянням:



В результаті дії ферменту на сахарозу виходить суміш еквімолярних кількостей α-глюкози і β-фруктози, що дістала назву «Інвертного цукру». Термін «інверсія» означає зміни, що відбуваються в здатності цукру обертати

площину поляризованого світла. Це можна виразити наступною схемою:



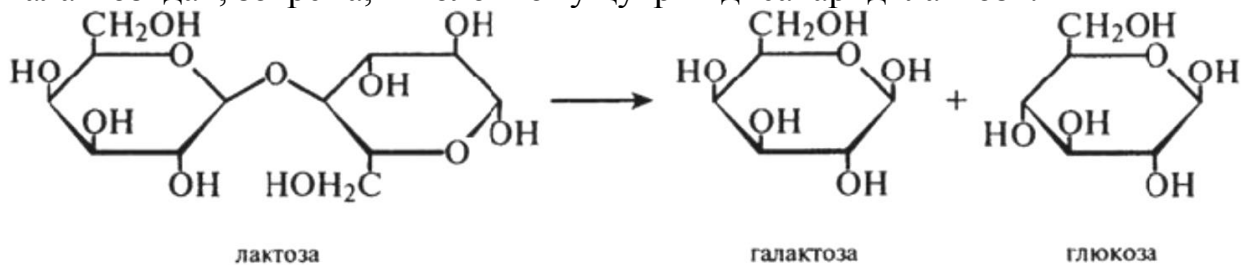
Інвертаза відщепляє кінцевий невідновлюючий  $\beta$ -1,2-связаний залишок фруктози не лише від сахарози, але і від інших олігосахаридів, частково гідролізує інулін. Під час гідролізу рафінози з однієї її молекули утворюється по одній молекулі лактози і фруктози.

Інвертазу виділяють з культур дріжджів і мікроскопічних грибів. Гриби продукують позаклітинну інвертазу. Активними продуцентами інвертази є гриби родів *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Humicola*, *Malbranchea*, *Thermomyces*. Деякі штами цих грибів осмофільні і сахарозотолерантні, вони здатні рости і розвиватися на середовищах з концентрацією сахарози 20...40%.

Інвертаза знаходить широке застосування в харчовій промисловості. Гідроліз концентрованих розчинів сахарози призводить до утворення солодших сиропів. Точка кипіння інвертованих сиропів вища, а точка замерзання нижча, т. до. за інверсії підвищується осмотичний тиск. Моносахариди, що утворилися в результаті дії інвертази, є більше розчинними, не так легко викристалізуються з висококонцентрованих сиропів.

Необхідність гідролізу(інверсії) сахарози виникає під час приготування концентрованих цукрових сиропів, морозива, начинки для цукерок.

**$\beta$ -Галактозидаза** Фермент, який часто називають лактазою, каталізує реакцію гідролітичного відщеплення нередукуючих залишків  $\beta$ -D-галактози в  $\beta$ -галактозидах, зокрема, в молочному цукрі – дисахариді лактози:



Ферментні препарати лактази, що використовуються в харчовій промисловості, отримують за допомогою різних продуцентів: мікроскопічних грибів (*A.oryzae*, *A.niger*), бактерій (*E.coli*, *Lactobacillus*), дріжджів (*S.fragilis*, *S.pseudotropicalis*). Усі вони мають різний температурний оптимум, який, проте, знаходиться в межах 37...50°C. Оптимум рН цих ферментів також помітно відрізняється: для бактерійних –  $\approx 7,0$ ; для грибних –  $\approx 5,0$ ; для дріжджової лактази –  $\approx 6,0$ .

Під час гідролізу лактози в незбираному молоці, знежиреному молоці або в концентратах молока оптимальну активність (за нейтрального рН цих субстратів) проявляє дріжджовий фермент; для сироватки і його концентратів – грибний. Причому в знежиреному молоці або сироватці лактоза гідролізується легша, ніж в цілісному, а пастеризовані субстрати гідролізуються легше, ніж непастеризовані.

$\beta$ -Галактозίδαза з *E.coli* була отримана в кристалічному стані, її молекулярна маса 850 кД. Вона інгібується деякими металами (Cu, Zn). Відновлюючі агенти (цистеїн, сульфід і сульфід натрію та ін.) активують фермент і здатні долати вплив інгібіторів-металів.

У деяких груп населення (виняток становлять жителі Північної Європи і деяких районів Африки) яскраво виражена непереносимість (інтолерантність) лактози, пов'язана з повним або частковим зникненням у дорослих людей лактазної активності в клітинах кишкового епітелію. У немовлят активність цього ферменту є дуже високою.

**Ендополігалактуроназа (КФ.3.2.1.15) і екзополігалактуроназа (КФ.3.2.1.67).** Ці два ферменти беруть участь в перетвореннях пектинових речовин разом з іншими пектолітичними ферментами рослинного і мікробного походження.

Ендополігалактуроназа (ендо-ПГ) – фермент, який гідролізує  $\alpha$ -1,4-связи в молекулі розчинного пектину (метоксильованої полігалактуронової кислоти), за нерегульованим, довільним механізмом. Зі зростанням ступеня естерифікації полігалактуронової кислоти ступінь і швидкість гідролізу падають, так як для прояву каталітичної активності ферменту потрібні вільні карбоксильні групи. Більшість вивчених ендополігалактуроназ мікроскопічних грибів мають молекулярну масу від 30 до 40 кД. Оптимальні значення рН – 3,8...5,5.

У гідролізі цього типу зв'язку бере участь і інший фермент – екзополігалактуроназа, який послідовно відщеплює молекулу галактуронової кислоти, починаючи з нередукуючого кінця. Ендополігалактуроназа синтезується як грибами, так і деякими видами бактерій. Вони відрізняються за своєю специфічністю до пектинів з різних джерел, кінцевими продуктами реакції, оптимуму рН і іншим властивостям.

Для промислового виробництва ферментних препаратів пектолітичних ферментів, які є комплексними, в якості продуцентів використовують в основному мікроскопічні (цвілеві) гриби, зокрема, гриби роду *Aspergillus*: *A.niger*, *A.wentii*, *A.oryzae*. Бактерійні ферменти в промислових масштабах не робляться.

Рослинні полігалактуронази є схожими на грибні полігалактуронази. Вони виявлені в широкому спектрі плодів і овочів: помідорах, авокадо, редисці, огірках, яблуках, грушах, цитрусових та ін. Усі вони проявляють активність за природних значень рН плодів.

Застосування препаратів пектолітичних ферментів в промисловості є досить широким. Вони використовуються у виробництві фруктових сокових концентратів і екстрактів, у освітленні соків і вин, у виробництві фруктових і овочевих пюре і нектарів.

**Целюлітичні ферменти.** Целюлоза є одним з природних полімерів, що найважче піддаються гідролізу. У організмі вищих тварин і людини не синтезуються ферменти, що гідролізують целюлозу. Біодеградацію целюлози здійснюють ферменти мікроорганізмів. Мікрофлора товстого кишечника

людини ферментує целюлозу овочів і фруктів повністю. Грубіша целюлоза, що наприклад, входить в препарати харчових волокон, розщеплюється на 0...70%.

У гідролізі целюлози приймають участь три основні види ферментів:

– енто- $\beta$ -1,4-глюканази (КФ.3.2.1.4), які каталізують неврегульоване розщеплення целюлозних молекул на великі фрагменти;

– енто- $\beta$ -1,4-глюканази, або целюлобіогідролази (КФ.3.2.1.91), в результаті дії яких від нередукуючого кінця целюлозних молекул або їх ферментів відщеплюється целобіоза;

– целобіози, або  $\beta$ -глюкозидази (КФ.3.2.1.21), які каталізують гідроліз целобіози і, з меншою швидкістю, – невеликих целоолігосахаридів, з утворенням глюкози.

Деякі мікроорганізми синтезують енто- $\beta$ -1,4-глюкозидазу (КФ.3.2.1.74), під дією якої від нередукуючого кінця целюлозних субстратів відщеплюється глюкоза.

Доведено, що різні ферменти, що гідролізують високовпорядковану целюлозу, діють в синергізмі (рисунок 10.1).

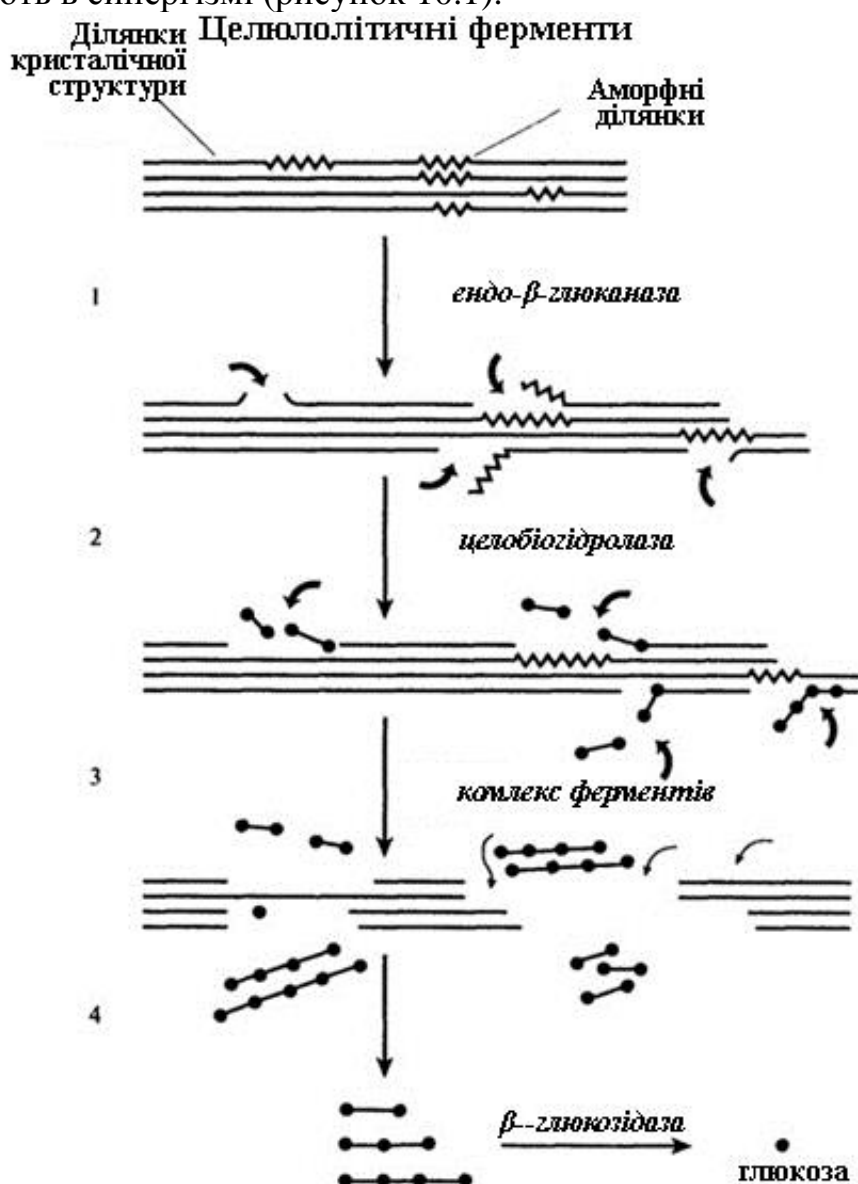


Рисунок 10.1 – Схема ферментативного гідролізу целюлози

Целюлазні комплекси мікроорганізмів і вищих базидіальних грибів включають до 20 ферментних білків, серед яких, як правило, є і ендо-, і екзо-ферменти.

Гідроліз целюлози асоційованими бактерійними целюлазами має місце в рубці жуйних тварин. У рубцевій рідині лише  $\approx 5\%$  целюлаз знаходяться у вільному стані, інша частина представлена асоціатами. У гідролізі целюлози приймають участь різні бактерії, що населяють рубець. За 6...8 год перебування в цьому відділі шлунку целюлоза розщеплюється на 40...50%.

Повнота гідролізу целюлози залежить від ряду факторів, серед яких наступні: ступінь кристалічності субстрату, величина його питомої поверхні, склад ферментативного комплексу, що використовується для гідролізу, і властивості його компонентів.

Нативна целюлоза має дуже міцну структуру і важко гідролізується. Існує обернена залежність швидкості гідролізу від відсотка кристалічності. Для збільшення доступності целюлози для дії ферментів її піддають подрібненню. Таким чином знижується розмір частинок, збільшується питома поверхня субстрату і частка аморфної частини. За сильної механічної дії може навіть знизитись і ступінь полімеризації целюлози. Швидкість гідролізу целюлози прямо пропорційна величині питомої поверхні, вона збільшується в міру зниження розміру частинок і ступеня полімеризації целюлози.

Для гідролізу целюлози використовуються комплексні ферментні препарати, що виділяються з культур мікроскопічних грибів і актиноміцетів і які проявляють ендоглюканазну, целобіогідролазну і целобіазну активність. Окремі компоненти целюлазних комплексів грибів і актиноміцетів проявляють найбільшу активність за рН від 3,7 до 5,5, а комплекси в цілому – за рН 4,5...5,5. Оптимальна температура дії окремих компонентів – від 45 до 80°C, комплексів – 50...60°C. Деякі вищі базидіоміцети синтезують целюлази з оптимумом за рН 3.

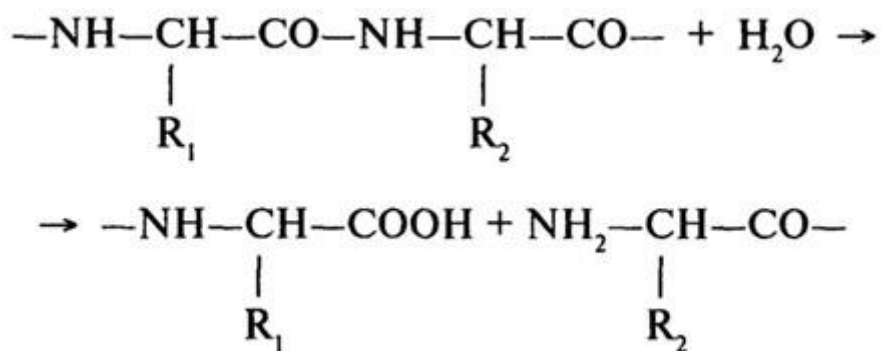
Застосування целюлітичних ферментів представляє великий інтерес, оскільки ферментативний гідроліз целюлозовмісних матеріалів (деревина, торф, сільськогосподарські і міські відходи) може забезпечити отримання різних біотехнологічних продуктів (глюкози, етанолу, ацетону, мікробної біомаси).

### **Протеази (пептидгідролази)**

Білок і пептиди розщеплюють ферменти, що об'єднані в підклас пептидгідролаз (КФ. 3.4.). Їх називають також протеазами, протеолітичними ферментами.

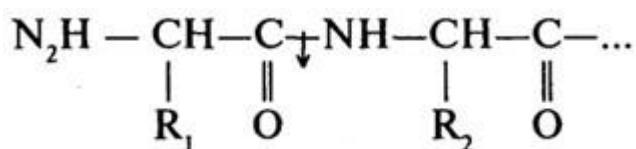
Основною реакцією, що каталізується протеолітичними ферментами, є гідроліз пептидного зв'язку в молекулах білків і пептидів :



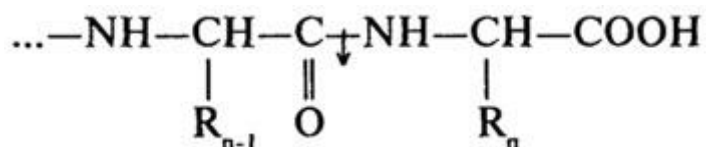


Протеази поділяють на ендо- і екзопептидази. Ферменти першої групи (ендопептидази) можуть гідролізувати глибинні пептидні зв'язки і розщеплювати молекулу білку на дрібніші фрагменти; ферменти другої групи (екзопептидази) не можуть гідролізувати пептидні зв'язки, що знаходяться в середині ланцюга, і діють або з карбоксильного, або з амінного кінця ланцюга, відщеплюючи послідовно одну за іншою кінцеві амінокислоти. У зв'язку з цим **екзопептидази** піділяють на амінопептидазу, карбоксипептидазу і дипептидазу.

*Амінопептидаза* (КФ.3.4.11) каталізує відщеплення N-кінцевих амінокислот:



*Карбоксипептидаза* (КФ.3.4.12) каталізує відщеплення C-кінцевих амінокислот.



*Дипептидаза* (КФ.3.4.13) гідролізує дипептиди.

Дипептидилпептидази (КФ. 3.4.14) і пептидилдипептидази (КФ.3.4.15) каталізують відщеплення дипептидов відповідно від N- кінця і від C-конца поліпептидного ланцюга.

В той же час ендопептидази (протеїнази) поділені на підгрупи, починаючи з підпідкласу 3.4.21, в першу чергу на основі каталітичного механізму (будови активного центру); особливості специфічності використовуються тільки для ідентифікації індивідуальних ферментів в межах підпідкласу:

- серинові протеїнази (КФ. 3.4.21), в активному центрі яких функціонує залишок серину і гістидину;
- тіолові (цистеїнові) протеїнази (КФ.3.4.22), містять в активному центрі SH- групу залишку цистеїну;
- кислі (карбоксильні) протеїнази (КФ.3.4.23), в активному центрі містять COOH-групу залишку аспарагінової кислоти;
- металопротеїнази (КФ.3.4.24), містять в активному центрі метал, необхідний для прояву їх каталітичної активності.

Група протеїназ, про механізм дії яких нічого невідомо, віднесена до підкласу 3.4.99.

Схема класифікації дана на рисунку 10.2



Рисунок 10.2 – Схема класифікації пептидгідролаз

Швидкість ферментативного гідролізу білкових сполук визначається наявністю в них пептидних зв'язків, специфічних для дії ферменту, а також просторовою структурою субстрату.

На доступність пептидних зв'язків гідролізу впливають вторинна, третинна і четвертинна структура білків. Білки можуть мати один або два типи впорядкованих вторинних структур ( $\alpha$ -спіральну і  $\beta$ -складчасту), що представлених в різних поєднаннях і охоплюють більш менш значну частину поліпептидного ланцюга. У впорядкованих структурах певні ділянки поліпептидного ланцюга екрановані і недоступні дії ферментів. Чим вище ступінь впорядкованості структури, тим менш білок схильний до протеолізу.

Третинна структура білку, його геометрична форма визначає співвідношення експонованої і екранованої частин молекули (тобто доступною і недоступною протеолізу).

Найменш доступні для протеолізу є молекули з найменшою питомою поверхнею, тобто що наближаються за формою до кулі.

Четвертинну структуру мають білкові молекули, що складаються з субодиниць. Останні можуть бути асоційовані за рахунок ковалентних, іонних і водневих зв'язків. Асоціація субодиниць знижує відносну величину експонованої частини молекули, збільшує її конформаційну стабільність за рахунок внутрішньомолекулярних взаємодій. Асоційовані молекули є менш доступними для дії ферментів, ніж дисоційовані.

Денатурація білків супроводжується розгортанням поліпептидного ланцюга, демаскуванням раніше екранованих груп. Знімаються обмеження доступності субстрату, що зумовлені вторинною, третинною четвертинною структурою. Денатуровані білки гідролізуються швидше і повніше ніж нативні.

## **Протеази, що мають технологічне значення**

**Рослинні протеази.** Папаїн (КФ.3.4.22.2) і хімопапаїн (КФ.3.4.22.6). Папаїн є найбільш вживаним у виробництві протеолітичним ферментом. Ферменти папаїн і хімопапаїн є істинними ферментами латексу плодів динного дерева (*Carica papaya*).

Ці ферменти відносяться до групи тіолових протеїназ, характерною особливістю яких є те, що вони активуються сульфгідрильними сполуками – відновленим глутатіоном, цистеїном.

Папаїн і хімопапаїн отримані в кристалічному стані; їх молекулярна маса 20,7 і 36,0 кД відповідно, а ІЕТ дорівнюють 8,75 для папаїну і 10,1 для хімопапаїну. Оптимальна зона рН для дії папаїну залежить від природи гідролізованого білку і може бути слабокислою, нейтральною або слаболужною. Папаїн має досить широку специфічність. Він переважно гідролізує другий пептидний зв'язок, що знаходиться за карбоксильною групою фенілаланіну.

Ферментні препарати на основі папаїну випускаються з різним ступенем очищення. Можливості їх використання великі: шкіряна промисловість (для видалення волосся і м'якшення шкіри); парфумерія (добавки в креми, лосьйони, зубні пастки); виробництво синтетичних миючих засобів (видалення забруднень білкової природи); медицина (лікування запальних процесів, опіків, тромбозів та ін.); харчова промисловість (виноробство, пивоваріння, виробництво спирту, хлібопечення, сироваріння та ін.).

**Фіцин (КФ.3.4.22.3) і бромелаїн (КФ.3.4.22.5).** Фіцин виділяють з молочного соку фікусових рослин, наприклад, інжиру (*Ficus carica*). Так само, як і папаїн, він відноситься до тіолових протеїназ. Ще один тіоловий фермент – бромелаїн – отримують зі свіжого соку ананасу (*Bromeliaceae*).

Обидва ці ферменти мають подібність з папаїном, проявляють найбільшу активність в нейтральній зоні рН, мають широку специфічність, переважно розщеплюють пептидні зв'язки, утворені позитивно зарядженими амінокислотами.

Використання бромелаїна і фіцину аналогічно використанню папаїну; ці ферменти застосовують також для видалення білкової муті в пиві і для м'якшення м'яса.

**Протеолітичні ферменти насіння рослин.** У насінні злакових і бобових культур міститься цілий комплекс протеолітичних ферментів, що беруть участь в розщеплюванні запасних білків до амінокислот в процесі проростання насіння. У насінні, що покоїться, стан білкового комплексу характеризується високою стабільністю і автоліз у водних суспензіях виражений слабо.

З насіння пшениці було виділено декілька типів протеолітичних ферментів, що відрізняються за оптимумом рН : кислі протеїнази з оптимумом рН 3,7...4,0; нейтральні протеїнази з оптимумом рН 6,5...7,0; лужні протеїнази з оптимумом рН > 8,0.

З трьох груп протеїназ найбільшої уваги технологів заслуговують нейтральні протеїнази. За активністю вони у декілька разів перевершують кислі

і в тісті здатні ефективно розщеплювати білки клейковини. Одна з особливостей нейтральних протеїназ полягає в тому, що вони не розчиняються у водних, сольових і буферних розчинах. Вони міцно зв'язані з білками комплексу клейковини і витягаються за часткового розчинення клейковини в лужному розчині. Таким чином, в дозрілому насінні пшениці нейтральні протеїнази і їх білкові інгібітори утворюють єдиний неактивний комплекс, з'єднаний з клейковиною. Співвідношення активності протеїназ і їх інгібіторів в дозрілому зерні визначає стабільність білкового комплексу, його стійкість в процесі тістоведення.

Нейтральні протеїнази інгібуються хлоридом натрію, фенольними сполуками, ароматичними амінокислотами, продуктами сахаро-аміної реакції (меланоїдинами). Хлорид натрію є обов'язковим компонентом рецептури, так як знижує активність нейтральних протеїназ і відповідно інтенсивність автолізу на 60...70%. В залежності від якості борошна і стану її комплексу клейковини технолог може варіювати час внесення солі і тим самим регулювати інтенсивність протеоліза. Під час переробки слабкого борошна необхідно якомога раніше вводити сіль, тоді як для борошна з надмірно міцною клейковиною бажано активізувати протеоліз, і сіль слід вносити на пізніших стадіях.

**Протеази тваринного походження.** Протеазам тваринного походження належить величезна роль в процесах травлення.

**Трипсин** (КФ. 3.4.21.4). Трипсин – серинова протеїназа, отримана в кристалічній формі. Молекулярна маса  $\approx 23,8$  кД. ІЕТ 10,6; оптимум рН дії знаходиться між 7,0...9,0 для білків і синтетичних субстратів. Трипсин проявляє високу специфічність до певних пептидних зв'язків. Він здійснює гідроліз пептидних зв'язків, утворених карбоксильними групами аргініну і лізину.

Високоочищений трипсин застосовується для медичних цілей. Це одна з головних протеаз підшлункової залози, яка у вигляді неочищеного панкреатину знаходить деяке застосування в харчовій промисловості у виробництва гідролізату.

**Хімотрипсин** (КФ. 3.4.21.1). Хімотрипсин – протеолітичний фермент, що секретується підшлунковою залозою в тонкий кишечник у вигляді неактивного попередника, що називається хімотрипсиногеном.

У активному центрі хімотрипсину міститься залишок гістидину (57), аспарагінової кислоти (102) і залишок серину (195). Молекулярна маса  $\approx 225$  кД. ІЕТ точка 8,3; оптимум рН в межах 7,0...9,0, що узгоджується з природними умовами його дії. Специфічність хімотрипсину полягає в тому, що він переважно гідролізує пептидні зв'язки, утворені ароматичними амінокислотами: тирозином, триптофаном, фенілаланіном.

Цей фермент не застосовується в харчовій промисловості сам по собі, але є складовою частиною комплексних препаратів панкреатину.

**Пепсин** (КФ. 3.4.23.1). Пепсин виробляється слизовою оболонкою шлунку у вигляді пепсиногену, який перетворюється на активний пепсин під дією HCl або аутокаталітичним шляхом розщеплення одного пептидного

зв'язку. Фермент отриманий в кристалічному виді, його молекулярна маса 35,0 кД, оптимум рН дії 1,8.

Пепсин є кислотою (карбоксильною) протеїназою. Його специфічність виражається в переважному гідролізі пептидних зв'язків, утворених групами амінів фенілаланіну і тирозину.

Пепсин має величезне значення як травний фермент, він входить до складу лікарських ферментних препаратів, тонізуючих засобів, жувальної гумки. У харчовій промисловості пепсин використовують для згортання казеїну молока і для розчинення білкової муті в пиві.

**Ренін** (КФ. 3.4.23.4). Цей фермент, що має багато подібності з пепсином, міститься в соку четвертого відділу шлунку телят. Ренін утворюється з попередника – прореніну. Його молекулярна маса  $\approx 40,0$  кД, ІЕТ  $\approx 4,5$ . Оптимум рН дії ферменту 3,7.

Ренін є потужною протеазою, що здійснює згортання молока; він є основним компонентом неочищених екстрактів і комплексних промислових препаратів, що використовуються для цієї мети.

Казеїн молока (78% усіх азотистих речовин молока) є фосфопротеїдом, що містить  $\approx 6-10\%$  вуглеводів. Він не осаджується іонами  $\text{Ca}^{+2}$ ; дія реніну призводить до утворення макроглікопептиду і пара-х-казеїну. Останній осаджується у присутності іонів  $\text{Ca}^{+2}$  і сприяє осадженню інших фракцій казеїну.

**Мікробні протеази.** Число мікроорганізмів, що продукують протеази, є надзвичайно великим. Мікробні протеази (грибні і бактерійні) знаходять широке застосування в різних галузях промисловості. Серед них є ферменти, що мають оптимум в нейтральній, кислотній і лужній зонах рН; деякі з них проявляють трипсиноподібну дію, інші є пепсиноподібними ферментами, треті – тіоловими, четверті мають пептидазну активність і т. д.

Найбільшого застосування знайшли лужна серинова протеаза з *Bacillus licheniformis*, яка використовується в миючих засобах; протеаза з *Mucor*, яка замінила телячі сичуги у виробництві сиру, а також грибна протеаза з *A. oryzae* (у комплексі з амілазою), що використовується в хлібопеченні.

Протеази – найбільш важливі промислові ферменти. Рівень споживання препаратів мікробних протеаз  $\approx 40\%$  від усіх використовуваних ферментів.

**Субтилізін Карлсберга** (КФ.3.4.21.14). Кристалічна форма цього ферменту уперше була отримана в 1952 р., і відтоді субтилізін є найбільш важливою промислово використовуваною мікробною протеазою. Він продукується *B. subtilis* і *B. licheniformis*.

Цей фермент складається з одного поліпептидного ланцюга (214 амінокислотних залишків), серед амінокислот відсутній цистеїн. Молекулярна маса ферменту – 27,3 кД, ІЕТ 9,4; оптимум рН 8,0...9,0. Фермент відрізняється високою рН-стабільністю в діапазоні від 5,0 до 11,0.

Субтилізін Карлсберга є сериновою протеїназою, має широку специфічність, прийнятніше гідролізує пептидні зв'язки, утворені ароматичними амінокислотами.

**Рениноподібні кислі протеази.** Найбільш важливими з практичної точки зору є кислі протеази, що використовуються у виробництві сирів, і які утворюються із культури *Mucor pusillus* і *Mucor mieher*.

**Нейтральні протеази аспергілових грибів.** З культури *A.oryzae* були виділені дві нейтральних металопротеїнази.

Протеази з різних штамів *A. oryzae* або з одних штамів, але що ростуть за різних умов, неоднаково впливають на процес хлібопечення навіть у тому випадку, якщо доза ферменту є стандартизованою. Це пояснюється тим, що промислові препарати містять різні кількості протеолітичних компонентів з *A.oryzae*, а також впливом різноманітних зовнішніх і внутрішніх чинників на протеоліз білків борошна.

#### **10.4 Ферментні препарати**

Під час переробки різних видів органічної сировини використовуються ферменти рослинного, мікробного і тваринного походження. Рослинні ферменти специфічні відносно своїх природних субстратів, що визначає високу ефективність їх дії на рослинну сировину. У мікробному світі можна знайти продуцента майже всіх ферментів, що приймають участь в кругообігу органічних речовин. Це пояснює широке застосування мікробних ферментів харчовій промисловості і кормовиробництві. З тваринної сировини отримують обмежений асортимент ферментних препаратів які, як дорожчі, застосовуються рідше за мікробних.

*Ферментні препарати* на відміну від ферментів містять окрім активного ферменту безліч баластних речовин, у тому числі і інших білків. Крім того, більшість ферментних препаратів є комплексними, тобто окрім основного ферменту, що має найбільшу активність, до його складу входять інші супутні ферменти. Проте існують препарати й індивідуальних ферментів.

Застосування ферментних препаратів в галузях харчової промисловості дозволяє інтенсифікувати технологічні процеси, покращувати якість готової продукції, збільшувати її вихід, а також заощадити цінну харчову сировину.

Ферментні препарати повинні задовольняти вимогам, що пред'являються конкретними технологіями не лише за типом каталізованої реакції, але і відносно умов їх дії : рН, температури, стабільності, присутності активаторів і інгібіторів, тобто тих чинників, які зумовлюють ефективність дії препарату в цьому середовищі і дозволяють правильно визначити технологічні режими його застосування.

В залежності від мети застосування до ферментних препаратів пред'являються певні вимоги не лише відносно складу ферментів і оптимальних умов їх дії, але і відносно ступеня очищення, вживаних наповнювачів, вартості і ряду інших параметрів.

Дуже важливим моментом є оцінка безпеки ферментних препаратів, і в першу чергу це стосується мікробних ферментних препаратів, які вимагають ретельного хімічного, мікробіологічного і токсикологічного контролю. Особливе місце займають ферментні препарати, що отримуються з генетично модифікованих мікроорганізмів. Основними ферментними препаратами,

отриманими методами генної інженерії і дозволеними до застосування в харчовій промисловості, є:  $\alpha$ -амилаза з *B.stearothermophilys*, експресована у *B.subtilis*;  $\alpha$ -амилаза з *B.megaterium*, експресована у *B. subtilis*; хімозин А, отриманий з штаму *E.coli* K-12, що містить ген телячого прохімозину А.

Нині у світі виробляється велика кількість ферментних препаратів для різних галузей харчової промисловості, що використовуються на різних стадіях технологічного процесу. Різні фірми випускають ферментні препарати під різними комерційними (торговими) назвами. Проте робота з пошуку нових продуцентів, створенню нових препаратів пролонгованої дії, очищенню ферментних препаратів, підвищенню їх стабільності і т. п. ведеться дуже інтенсивно.

### ПРОДУЦЕНТИ ТА ЇХ КУЛЬТИВУВАННЯ

До мікроорганізмів – продуцентів ферментів – пред'являються наступні вимоги: наявність високої ферментативної активності; переважний синтез ферменту або групи ферментів, що діють на певний субстрат; генетична стабільність за ознакою синтезу ферменту або ферментів; досить висока швидкість росту; здатність рости на середовищах з доступними і недорогими джерелами живлення.

Культивування продуцентів ферментів проводяться в умовах стерильності (глибинний процес) або максимально можливого наближення до них (твердофазний процес).

Ферментна промисловість випускає великий асортимент препаратів мікробного походження, продуцентами яких є представники різних таксономічних груп. Велика частина валової кількості ферментів, особливо гідролітичних, виробляється на основі культивування бацил (передусім *B. subtilis*), мікроскопічних грибів р.р. *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, а також актиноміцетів р.р. *Acuynomices*, *Streptomices*. Найчастіше використовують мезофільні штами аеробних мікроорганізмів.

Переважаючим способом культивування є глибинний, заснований на вирощуванні продуцентів в стерильних рідких середовищах з примусовою аерацією (для аеробних форм) і перемішуванням середовища, за автоматичного регулювання параметрів процесу, таких як температура, рН середовища, її редокс-потенціал, концентрація розчиненого кисню і ін.

Разом з глибинним застосовується твердофазний спосіб культивування, коли культури продуцентів вирощують на зволжених і простерилізованих твердих середовищах, таких як висівки, буряковий жом, подрібнену целюлозовмісну сировину, солодові паростки та ін. Твердофазне культивування складніше регулювати, ніж глибинний процес. Перевагою твердофазного процесу є те, що умови культивування максимально наближені до природних, в яких повністю реалізується біопотенціал мікроорганізмів.

Твердофазна культура добре аерується. У кінці ферментації отримують культуру у формі, зручній для виділення ферментних препаратів.

Глибинне культивування використовується як для аеробних, так і для анаеробних продуцентів, твердофазне – тільки для аеробних, саме для

мікроскопічних і вищих базидальних грибів.

## ОДЕРЖАННЯ ФЕРМЕНТНИХ ПРЕПАРАТІВ

Ферментна промисловість випускає препарати різного ступеня очищення. Багато видів вітчизняних ферментних препаратів мають назви і індекси. Назва ферментного препарату включає назву основного ферменту і назву мікроорганізму-продуцента, із закінченням "-ин". Наприклад: амілоризин – основний фермент – амілаза, продуцент *Aspergillus oryzae*; протосубтилін – основний фермент – протеаза, продуцент *Bacillus subtilis*. Окрім цього, в назві обов'язково відбивається спосіб культивування мікроорганізму : Г – глибинне; П – поверхневе, а також ступінь очищення – Х(2Х; 3Х; 10Х; 15Х; 20Х).

Індексом ГХ позначається неочищена культуральна рідина продуцента ферменту. Препарати ГХ використовуються переважно на місці вироблення. Так, в спиртовому виробництві застосовують культуральну рідину продуцентів амілолітичних і целюлітичних ферментів, що отримуються у ферментних цехах спиртзаводів.

У харчових виробництвах препарати ГХ придатні лише в технологічних процесах, де виключено попадання препарату в готовий продукт, наприклад, у виробництві спирту, де ферментні препарати видаляються з продукту в процесах відгону і ректифікації.

Препарати з індексом ГЗХ отримують шляхом розпилювального висушування концентрованої культуральної рідини. Концентрація проводиться методом вакуум-випарювання за температури, що не викликає інактивації ферментів (зазвичай не вище 30°C).

Препарати з індексом ГЗХ є неочищеними. Вони мають високий ступінь мікробного обсіменіння. Це обмежує сферу їх застосування. У харчовій промисловості препарати ГЗХ використовуються в тих же технологіях, що і ГХ. У сільському господарстві препарати ГЗХ широко застосовуються для обробки кормів з метою підвищення їх засвоюваності.

Індекс Г10Х мають препарати, отримані шляхом осадження органічними розчинниками з концентрованих фільтратів культуральної рідини. Перед фільтрацією культуральну рідину обробляють мінеральними або органічними коагулянтами, що дозволяє в процесі розділення фаз звільнити фільтрат від біомаси мікроорганізмів, баластних білків, полісахаридів, нуклеїнових кислот. Фільтрат концентрують вакуум-випарюванням, додаючи за необхідності стабілізуючі агенти.

Препарати Г10Х мають значно більш високу чистоту, ніж ГХ, ГЗХ. Сфера застосування препаратів Г10Х охоплює різні харчові виробництва, галузі легкої і хімічної промисловості.

Препарати з індексом Г20Х отримують із застосуванням ультрафільтрації – способу концентрації, заснованої на розділенні речовин з різною молекулярною масою за допомогою напівпроникних мембран з певним розміром пор. Ультрафільтрації піддають заздалегідь очищені ферментні розчини, вільні від клітин мікроорганізмів і зависі.

З ультраконцентратів отримують рідкі і сухі форми ферментних препаратів.



Рідкі форми стабілізують консервантами, наприклад, бензойною кислотою. Сухі форми отримують шляхом розпилювального висушування. Перед висушуванням в концентрат вносять стабілізатори і наповнювачі.

Препарати Г20Х застосовують у виробництві харчових продуктів і напоїв, в кормовиробництві, у складі лікарських засобів для лікування захворювань, пов'язаних з ферментною недостатністю.

Препарати з індексом Пх є висушеними культурами грибів – продуцентів ферментів, отриманими під час твердофазного культивування. Препарати Пх зберігають повний ферментативний комплекс продуцентів. Вони є неочищеними і мають високе мікробне обсіменіння. Застосовуються аналогічно препаратами ГЗх.

Препарати з індексами П10Х і П25Х отримують зі свіжих або висушених твердофазних культур грибів за наступною схемою: водна екстракція ферментів з культури гриба, відділення екстракту, осадження ферментів з екстракту етиловим або ізопропіловим спиртом, відділення ферментного осаду, суспендування осаду у воді, добавляння до суспензії стабілізаторів і наповнювачів, розпорошувальне висушування. Препарати П10х застосовуються аналогічно Г10Х, П25Х – аналогічно Г20Х.

Препарати з індексом П20Х отримують за схемою: екстракція ферментів з твердофазної культури, стерилізуюча фільтрація екстракту, ультрафільтрація, стандартизація і стабілізація ультраконцентрату розпилювальне висушування. Препарати застосовують аналогічно Г20Х.

Перераховані види ферментних препаратів відносяться до так званих розчинних, тобто до препаратів, активна частина яких розчиняється у водному середовищі. Після закінчення ферментативної обробки субстрату розчинний препарат залишається в реакційному середовищі і повторно не використовується.

Разом з розчинними випускають також іммобілізовані ферменти. Іммобілізація – це включення об'єкту в ізольовану фазу, яка відокремлена від фази вільного розчину, але здатна з нею обмінюватися молекулами (субстратів, ефекторів).

Іммобілізовані ферменти отримують шляхом з'єднання з носіями розчинних ферментів або клітин мікроорганізмів, що мають ферментативну активність. Найбільш поширені способи з'єднання – це сорбція на носії (наприклад, у ферментному препараті іммобілізованого папаїну носієм є нейлонове полотно), ковалентне з'єднання і включення в структуру гелів-носіїв.

Іммобілізація наближає умови функціонування ферментів до природних. У природі велика частина ферментів асоційована із структурами живих організмів або елементами довкілля, що важливо для прояву активності ферментів і їх стабільності.

Іммобілізовані ферменти мають ряд переваг перед розчинними під час проведення процесів промислового біокаталізу. Іммобілізовані ферменти можна вилучити з реакційного середовища, що дозволяє контролювати хід ферментативної реакції і багаторазово використовувати ферментні препарати. Каталітичний процес можна проводити безперервно, пропускаючи розчини

субстратів через реактори з іммобілізованими ферментами. Продукти реакції не забруднюються домішками ферментних препаратів. Іммобілізовані ферменти мають високу операційну стабільність, а їх каталітичні властивості можна модифікувати, змінюючи спосіб з'єднання і вид носія.

Застосування іммобілізованих ферментів дозволило вирішити задачу створення великих промислових біокаталітичних процесів, за допомогою яких роблять амінокислоти, органічні кислоти, органічні розчинники, метан, антибіотики, гормональні препарати, роблять очищення стічних вод і водою, біоконверсію органічних відходів.

## **10.5 Застосування ферментів в харчових технологіях ХЛІБОПЕЧЕННЯ**

Якість хліба визначається особливостями хімічного складу борошна і активністю її ферментного комплексу. Значний вплив мають також умови бродіння і випічки. Отримати хліб гарної якості можна тільки у тому випадку, якщо в процесі тістоведення гармонійно поєднуються швидкості мікробіологічних процесів і біохімічних перетворень. Ферментативний гідроліз високомолекулярних компонентів сировини – білків і вуглеводів – певною мірою сприяє інтенсифікації цих перетворень і, кінець кінцем, позитивно позначається на якості хліба.

Якщо раніше в якості джерела ферментів використали солод, то останніми роками все більших масштабів набуває застосування ферментних препаратів для регулювання біокаталітичних процесів, що відбуваються в приготуванні тіста і випічки хліба. Солод використовується в основному для приготування поживних середовищ (заварок) для рідких дріжджів, для активації пресованих дріжджів, а також у випічці спеціальних сортів хліба.

Ефективність використання тих або інших ферментних препаратів в хлібопеченні значною мірою залежить від якості борошна. Хлібопекарські властивості борошна, особливо якість клейковини і активність власних ферментів, визначають вимоги до ферментних препаратів.

Основним препаратом, широко впровадженим в хлібопекарську промисловість, є амілоризин П10Х. Препарат отримують з поверхневої культури *A. oryzae* осадженням етанолом. Він має амілолітичну і протеолітичну активність. Особливо важливе значення для хлібопекарської промисловості має ступінь обсіменіння препарату спорами *Bac. mesentericus* (картопляна паличка) і *Bac. subtilis* (сінна паличка). Істотна ознака ураження хліба картопляною паличкою – тягучий м'якуш і поява специфічного неприємного запаху і смаку. Тому на хлібозаводах під час вироблення хліба з використанням препарату амілоризину П10Х кожену партію препарату перевіряють на обсіменіння спорами *Bac. mesentericus*.

Отримати хліб з належною пористістю, об'ємом і забарвленням кірки можна тільки у тому випадку, якщо на всіх стадіях технологічного процесу досить цукрів, що забезпечують інтенсивність газоутворення. Незважаючи на присутність у борошні власних цукрів, хліб, отриманий за рахунок зброджування тільки власних цукрів борошна, не відповідатиме вимогам

стандарту. Під час газоутворення тільки за рахунок власних цукрів борошна максимум виділення діоксиду вуглецю припадає на перші 1...2 години бродіння. Між тим в процесі хлібопечення газоутворення в тісті повинне залишатися досить високим і на останній стадії (розстоювання і перші 10...15 хвилин випічки). За наявності у борошні активної  $\beta$ -амілази газоутворення в процесі бродіння тіста відбувається по зростаючій і максимум припадає на 4 години бродіння. Інакше для отримання додаткової кількості зброджуваних цукрів і інтенсифікації процесу бродіння потрібне застосування амілолітичних ферментних препаратів.

Проте значення цукрів, безумовно, не обмежується тільки процесом бродіння. Величезну роль цукру відіграють в утворенні забарвлених і ароматичних речовин хліба, приймаючи участь в реакції меланоїдиноутворення.

Виключно важливими для хлібопечення є і ті зміни, яких зазнає під час тістоведення і розстоювання білковий комплекс борошна. Саме білковий комплекс і його ферментативні зміни визначають собою фізичні властивості тіста. Від білкового комплексу залежить як поведінка тіста під час його замішування і розстоювання (зокрема, формоутримання), так і якість готового хліба, його об'єм, пористість, структура м'якуша.

Говорячи про протеолітичні ферменти, що впливають на білковий комплекс борошна, необхідно ще раз відмітити ендогенні протеази зерна пшениці, серед яких найбільше значення мають нейтральні протеїнази, що перевершують за своєю активністю кислі протеази в декілька разів і здатні в умовах тіста ефективно розщеплювати білки клейковини.

#### ВИРОБНИЦТВО КРОХМАЛЮ І КРАХМАЛОПРОДУКТІВ

Сучасна крахмало-паточна промисловість, використовуючи в основному традиційні джерела сировини – картоплю і кукурудзу, – виробляє великий асортимент продукції, що включає десятки найменувань, які використовуються в різних галузях промисловості. В першу чергу це галузі харчової промисловості (кондитерська, хлібопекарська, молочна, консервна, харчоконцентратна і т.д.), а також інші галузі (медична, текстильна, поліграфічна та ін.).

Основними продуктами крахмало-паточного виробництва є:

- сухий крохмаль;
- модифіковані крохмалі: розщеплені крохмалі (окиснені і такі, що набрякають); заміщені крохмалі (фосфатні, ацетильовані, сополімери крохмалю);
- декстрини;
- різні види крохмальних паток : карамелева, карамелева низькооцукрена, глюкозна високооцукрена, мальтоза;
- глюкоза (технічна, харчова, кристалічна);
- глюкозо-фруктозні сиропи.

**Застосування амілаз.** Ферментні препарати амілаз знайшли широке застосування в технологіях отримання різних паток і глюкози.

Першою технологічною операцією виробництва крохмального гідролізату є гідроліз крохмалю. Його проводять кислотним, кислотно-ферментативним або ферментативним способом. У усіх випадках процес гідролізу включає стадії клейстеризації крохмалю, розрідження крохмального клейстеру і його оцукрення.

Кисотно-ферментативним методом роблять розрідження крохмалю спочатку кислотою, для цього суспензію крохмалю підкисляють соляною кислотою до рН 1,8 ... 2,5, нагрівають до 140°C впродовж 5хв. Потім нейтралізують розчином кальцинованої соди до рН 6,0 ... 6,5 і охолоджують до 85°C, після чого додають ферментний препарат  $\alpha$ -амілази і ведуть гідроліз впродовж 30 хв.

З метою розрідження на цій стадії використовують ферментний препарат амілосубтилін Г10Х. Цей препарат випускається у вигляді порошку; містить в основному  $\alpha$ -амілазу і  $\beta$ -глюконазу. Оптимальні умови дії препарату: рН 6,2...6,8, температура – 85...87°C.

Оцукрення отриманого гідролізату також проводять з використанням ферментів. Для цієї мети найширше застосовують порошкоподібний препарат глюкавомарин Г20Х. Препарат містить в основному глюкоамілазу. Оптимальні умови дії препарату глюкоавомарину Г20Х : оптимум рН 4, 0...5,5; оптимум температури 56...58°C.

Ферментативний спосіб полягає в тому, 30...35%-ну крохмальну суспензію прогрівають до 55°C, доводять рН до 6,3...6,5, додають розчин ферментного препарату амілосубтиліну Г10Х і розчин кальцинованої соди в якості стабілізатора. Процес розрідження триває впродовж 1 години за температури 85...90°C і за безперервного перемішування. Далі стадія декстринізації і оцукрення проводиться з використанням препаратів амілосубтиліну Г10Х, амілоризину Г10Х і П10Х. Цей процес відбувається 2...3 години за температури від 53 до 85°C і рН 4,7...5,5.

Подальше оцукрення ведуть за 60°C і оптимальному рН, а тривалість оцукрення залежить від бажаного результату (необхідного ступеня оцукрення). Інактивацію ферменту і зупинку процесу гідролізу роблять нагріванням продукту до 80°C впродовж 20 хв.

Ферментний препарат амілоризин П10Х і ферментний препарат амілоризин Г10Х мають оптимальні умови дії: рН 4,8...5,3 і температуру 53...55°C.

**Застосування глюкозоізомерази.** Фермент глюкозоізомераза каталізує реакцію ізомеризації глюкози у фруктозу. У промисловості переважно використовуються препарати глюкозоізомерази, що продукуються мікроорганізмами, які відносяться до роду *Streptomyces*, а також до родів *Aerobacter* і *Lactobacillus*.

На реакції ферментативної ізомеризації заснована технологія отримання глюкозо-фруктозних сиропів з крохмалю. Для отримання глюкозо-фруктозних сиропів використовують гідролізат кукурудзяного крохмалю, отриманий за допомогою ферментативного гідролізу. Процес ізомеризації під дією

імобілізованого (закріпленого на носії) ферментного препарату глюкоізомерази триває впродовж 20...24 годин (до вмісту в гідролізаті 42% фруктози і 52% глюкози). В ході процесу необхідно контролювати і підтримувати оптимальні умови для роботи ферменту: температура 60°C, рН 7,0...8,5. Крім того для підвищення активності ферменту і його стабільності в субстрат додають іони магнію і кобальту (у вигляді розчинних солей), а також бісульфіт для попередження розвитку мікрофлори.

Отримані за допомогою ферментативної ізомеризації глюкозо-фруктозні сиропи мають більш високий ступінь солодкості, за своїми властивостями вони наближаються до інвертного цукру, завдяки чому широко застосовуються під час виробництва дитячого і дієтичного харчування, хлібобулочних виробів, безалкогольних напоїв, кондитерських виробів, морозива і т. д.

### КОНДИТЕРСЬКЕ ВИРОБНИЦТВО

Кондитерські вироби в залежності від виду сировини і типу технологічного процесу поділяють на дві групи: борошняні і цукристі. До борошняних виробів відносяться печиво, галети, крекери, вафлі, пряники, кекси, тістечка, рулети, торти; до цукристих – какао-порошок, шоколад, цукерки, карамель, мармелад, пастила, ірис, драже, халва.

Застосування ферментних препаратів в кондитерському виробництві зумовлене, з одного боку, видом і властивостями сировини, з іншої – технологічною необхідністю і доцільністю.

**Застосування протеаз і амілаз.** Комплексні ферментні препарати, що містять активні протеази і  $\alpha$ -амілазу (наприклад, амілоризин П10Х), застосовують у виробництві борошняних кондитерських виробів з метою прискорення процесу бродіння і коригування фізичних властивостей клейковини борошна, зміни властивостей реологій тіста, прискорення його "дозрівання".

У виробництві борошняних кондитерських виробів з використанням дріжджів, таких як галети, крекери, кекси, доцільним є застосування комплексних препаратів з переважанням протеолітичної дії, але які містять у своєму складі і  $\alpha$ -амілазу. Сукупну дію цих ферментів забезпечують дріжджі, що зброджуються цукрами і низькомолекулярними азотистими речовинами. Частина невикористаних під час бродіння цукрів і азотистих речовин вступає в реакцію меланоїдиноутворення, завдяки чому галети і крекери набувають інтенсивного забарвлення і приємного аромату.

У виробництві печива з використанням хімічних розпушувачів, коли багато зусиль спрямовується на розслаблення клейковини, упродовж тривалого технологічного процесу разом з механічною дією на білки клейковини доцільним є використання протеолітичних ферментних препаратів;  $\alpha$ -амілаза, яка є присутньою в якості супутнього ферменту як в грибних, так і бактерійних препаратах, не заважає їх використанню.

У разі застосування бактерійних протеолітичних препаратів (наприклад, протосубтиліну), що містять в якості супутнього ферменту  $\alpha$ -амілазу, у виробництві виробів подібних до крекерів, галет, печиву небезпеки зайвої

декстринізації не існує, так як фермент швидко інактивується за рахунок того, що ці тонкі вироби швидко прогриваються до високої температури. У виробленні кексів, а також бісквітного напівфабрикату, що випікаються в досить товстому шарі за невисокої температури, у разі потреби застосування комплексних бактерійних препаратів слід обережно підходити до їх дозування щоб уникнути псування м'якуша. Необхідно також враховувати, що посилена механічна дія на кондитерське тісто призводить до підвищення атакуємості ферментами полімерів борошна – крохмалю, білків, інших речовин, посилюючи тим самим кінцевий ефект гідролізу.

Для заварних пряників найбільше значення має протеоліз, але разом з потребою в регульованому розслабленні тіста важливим є і збереження свіжості (м'якості) продукту, тому доцільним є застосування комплексних ферментних препаратів з переважанням протеолітичної активності.

У виробництві бісквітного напівфабрикату потрібні комплексні ферментні препарати з помірною активністю протеолітичних ферментів і невисокою  $\alpha$ -амілазною (декстринууючою) здатністю. За такого поєднання забезпечується помірне розслаблення клейковини, що сприяє кращому підйому тіста під час випічки і утворенню тонкопористої повітряної структури готових виробів. Утворення декстрину, у свою чергу, сприяє збереженню їх свіжості.

Комплексні ферментні препарати, що містять протеази і  $\alpha$ -амілазу, використовуються для прискорення і полегшення обробки тіста у приготуванні листового напівфабрикату з метою поліпшення його еластичних властивостей і попередження усадки під час випічки. Крім того, застосування таких ферментних препаратів у виробництві вафель дозволяє оптимально знизити в'язкість вафельного тіста, сприяє отриманню тонких хрустких вафельних листів.

**Застосування інвертази.** Препарати інвертази, як вже відзначалося, отримують з дріжджів *S. cerevisiae* або *S. carlsbergensis* шляхом автолізу. Вони є суспензією спиртоосажденої інвертази в 25% -м, 50% -му розчині гліцерину або 70%-ному розчині сорбіту. Оптимум рН дії препарату 4,5...5,5, що цілком є прийнятним для його використання в різних технологіях виробництва цукристих виробів.

Інвертаза застосовується в кондитерській промисловості для виробництва відливних помадних корпусів цукерок, круглих помадних корпусів і рідких фруктових начинок, таких як вишневий лікер. У кожному випадку її застосування зумовлене необхідністю отримати напівм'яку або рідку консистенцію за високих концентрацій цукру(78%). Прискорення або уповільнення дії інвертази досягається шляхом зміни концентрації препарату, що вноситься, кількості води і температурного режиму. За високої температури інвертаза інактивується, і навіть за температури відливання (65°C) активність інвертази знижується на 12% впродовж 30 хв і на 24% впродовж 60хв. Деякі сорти цукерок, наприклад, цукерки з вишневим лікером, неможливо виготовити без інвертази. У разі виробництва помадної маси з кокосових горіхів застосування інвертази зумовлене і підвищеною вологоутримуючою здатністю

фруктози, що утворюється під дією цього ферменту.

**Застосування ліпази.** Молочні інгредієнти широко застосовуються у виробництві кондитерських виробів, вони в значній мірі зумовлюють їх аромат, смак і поживну цінність. У посиленні аромату молочного шоколаду, карамелі, іриса, вершкового крему разом з іншими компонентами беруть участь і вільні жирні кислоти, що утворюються під дією ліпаз. За низьких рівнів вільних жирних кислот аромат виробів посилюється, але нові аромати не утворюються; за середніх – з'являється аромат олії; за високих – аромат сиру. Подібні ароматичні речовини можуть бути отримані шляхом модифікації олій або жирів із застосуванням препаратів ліпаз різного походження (тваринних, рослинних, мікробних).

## ВИРОБНИЦТВО ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ СОКІВ, БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ І ВИН

Застосування ферментних препаратів у виробництві плодово-ягідних соків, вин і безалкогольних напоїв здійснюється з метою підвищення виходу соку, освітлення і стабілізації соків, безалкогольних напоїв і вин, запобігання окиснювальним процесам в соках і в продуктах, що виготовляються з них, а також для інверсії сахарози у виробництві безалкогольних напоїв і сиропів. В одних випадках необхідно мати набір ферментних препаратів, що містять певний комплекс ферментів, в інших – необхідними є препарати індивідуальних ферментів. Крім того, ферментні препарати повинні задовольняти вимогам, що пред'являються технологією отримання конкретного продукту, не лише за типом каталізованої реакції, але і відносно умов їх перебігу.

Відповідно до специфіки плодово-ягідної сировини і цілей застосування ферментні препарати можна розділити на шість груп:

1) препарати, призначені для отримання неосвітлених соків, збільшують вихід і що підвищують екстрактивність;

2) препарати, призначені для отримання освітлених соків, збільшують вихід, підвищують екстрактивність, і забезпечують повний гідроліз пектинових і білкових речовин;

3) препарати, що мацерують плодово-ягідну тканину, вихід, що підвищують, і гомогенність соків з м'якушем;

4) препарати, призначені для отримання освітлених плодово-ягідних виноматеріалів, збільшують вихід і підвищують екстрактивність виноматеріалів;

5) препарати, що сприяють запобіганню окиснювальним процесам і розвитку аеробних мікроорганізмів в соках, винах, безалкогольних напоях;

6) препарати, що каталізують інверсію цукрових сиропів у виробництві безалкогольних напоїв і товарних сиропів.

**Застосування пектолітичних ферментів.** Основний біохімічний процес, що відбувається в плодово-ягідній меззі і соку за їх обробки пектолітичними препаратами або за спільного застосування термічної і ферментативної обробки – гідроліз пектинових речовин. Але разом з цим відбуваються

перетворення білків, целюлози, геміцелюлози і інших компонентів сировини.

Тому ферментні препарати, що використовуються для отримання повністю освітленого соку з більшості плодів і ягід, повинні містити не лише пектолітичні ферменти, але і ферменти, що гідролізують інші колоїдні сполуки, які зумовлюють опалесценцію соків і нестабільність вин, що виготовляються з них, і безалкогольних напоїв.

З метою максимального витягання соку і полегшення його освітлення під час гідролізу пектинових речовин ягід і плодів необхідно враховувати властивості пектолітичних ферментів самої сировини і препаратів, що вносяться. В залежності від технологічних вимог і хімічного складу сировини слід застосовувати препарати з певним комплексом ферментів; мається на увазі як спектр ферментів (пектинестераза, ендо-, екзополігалактуроноза та ін., а також супутні ферменти), так і їх співвідношення. Крім того, необхідно шляхом підбору режиму обробки сировини створити оптимальні умови для дії ферментів.

Серед промислових продуцентів пектолітичних ферментів слід зазначити *A. niger*, *A. wentii*, *A. oryzae*, *A. foetidus*, *P. expansum*, *P. italicum*, *Rhizopus* spp.

**Застосування протеолітичних ферментів.** Деякі плодово-ягідні соки і провина важко освітлюються і часто каламутніють під час зберігання через наявність в них білкових сполук. Усунення білкового помутніння може бути здійснене за допомогою застосування термічної обробки і різних адсорбентів з подальшою фільтрацією. Усі ці методи збіднюють хімічний склад продукту, погіршують його якість, причому не завжди досягається позитивний результат. Для багатьох видів сировини величезну роль в процесі освітлення соків відіграють протеїнази, у зв'язку з чим наявність кислих протеїназ разом з ферментами пектолітичного комплексу є обов'язковим.

**Застосування мацерувальних ферментів.** У виробництві плодово-ягідних соків з м'якоттю роздрібнення плодової тканини здійснюється механічним шляхом. Більшість видів сировини перед механічним подрібненням піддаються термічній обробці. Термічна обробка сприяє кислотному гідролізу протопектину, внаслідок чого плодова тканина розм'якшується і легше піддається механічному подрібненню. Очевидно, що жорсткі режими обробки сировини погіршують органолептичні властивості і харчову цінність продукту. Тому соки з м'якоттю часто містять недостатньо тонко подрібнений м'якоть, яка є негомogeneous і розшаровується під час зберігання. З позиції усунення вказаних вище недоліків і отримання гомогенних соків з м'якоттю, що не піддаються розшаровуванню, доцільним є застосування мацерувальних ферментних препаратів, що розщеплюють протопектин, але які не знижують в'язкість соку.

Пектолітичні ферментні препарати, що використовуються для збільшення виходу і освітлення соків, є непридатними для виробництва соків з м'якоттю, так як основним ферментом в них є ендополігалактуроноза, що різко знижує в'язкість соку. Геміцелюлаза і целюлаза сприяють отриманню однорідної консистенції соків з м'якоттю.



**Застосування глюкозооксидази і каталази.** Ферментний препарат глюкозооксидаза (у якій в якості обов'язкового компонента є присутньою каталаза) застосовується з метою поліпшення якості і стабілізації плодово-ягідних соків, вин і безалкогольних напоїв за рахунок видалення кисню в результаті реакції окиснення глюкози. Таким чином, цей препарат сприяє запобіганню окиснювальним процесам і мікробіологічному псуванню під дією аеробних мікроорганізмів.

Препарат має чітку специфічність по відношенню до глюкози, його вносять після завершення технологічних процесів з метою стабілізації властивостей продукту, отриманого в процесі виробництва. Бажано, щоб препарати були термостабільними і не інактивувалися за температури 65...70°C впродовж 10...15 хв. Такі препарати можна було б застосовувати комплексно з легкими режимами пастеризації.

Ферментні препарати, що використовуються в плодово-ягідному виноробстві, повинні зберігати активність в умовах певного вмісту алкоголю (до 10...12%) і ефективно діяти за значень рН, зумовлених хімічним складом виноматеріалів.

**Застосування інвертази.** Препарати, що каталізують гідроліз сахарози у приготуванні цукрових сиропів, використовуваних у виробництві безалкогольних напоїв, повинні містити фермент інвертазу ( $\beta$ -фруктофуранозидазу), не повинні мати специфічного запаху, темного кольору, окислювальних або інших ферментів, здатних змінювати колір, аромат і смак продукту.

Необхідно, щоб препарати каталізували процес інверсії сахарози в досить широкому діапазоні рН (для чистого цукрового сиропу рН 6,0...6,5; для цукрового сиропу, виготовленого на фруктових соках, рН 2,5...4,5). Крім того, необхідно зважати на специфіку біохімічного складу сировини і особливості технологічного процесу виробництва соків і виноматеріалів.

Ферментні препарати, що використовуються під час переробки плодово-ягідної сировини, можуть справляти вплив на колір продукту. У зв'язку з цим плодово-ягідну сировину поділяють на дві групи: слабозабарвлені – яблука, айва, білі сорти слив і винограду та ін.; забарвлені в червоний колір, тобто що містять речовини групи антоціанів – кизил, чорниця, ожина, малина, суниця, червоні сорти винограду і слив і т.п.

У виробництві продуктів, що відносяться до першої групи – слабозабарвлених – варто застосовувати ферментні препарати, що не містять окиснювальних ферментів, які викликають потемніння продукту, а у ряді випадків – зниження органолептичних властивостей і харчової цінності, таких як поліфенолоксидаза, пероксидаза, каталаза, аскорбатоксидаза. Під час переробки сировини другої групи – забарвлених в червоний колір – неприпустимим є застосування препаратів, що містять ферменти, що руйнують антоціани.

Препарати, призначені для переробки шипшини, чорної смородини, цінність яких значною мірою зумовлюється наявністю в плодах аскорбінової

кислоти, не повинні містити ферменту аскорбатоксидази, так як окислення аскорбінової кислоти під дією цього ферменту знижує цінність отриманого продукту.

## СПИРТНІ НАПОЇ І ПИВОВАРІННЯ

Спиртні напої і пивоваріння. Виробництво спиртних напоїв з крохмалевмісної сировини практикується майже в усіх країнах світу. Основними видами сировини є картопля і жито в Європі, картопля і пшениця в Росії, кукурудза і жито в США, рис і батат на Сході, тапіока в тропічних країнах.

Крохмаль, як основний компонент сухих речовин сировини, з якої і утворюється спирт, безпосередньо дріжджами не зброджується. Тому його необхідно гідролізувати до зброджуваних цукрів, для цього необхідним є застосування ферментів.

Зерновий солод, який використовується здавна, як джерело амінолітичних ферментів, забезпечує досить глибоке оцукрення і виброджування тільки за три доби. Необхідно відмітити, що зерновий солод не лише виконує завдання гідролізу крохмалю до зброджуваних цукрів, але і є джерелом легкозасвоюваного азотистого живлення для дріжджів, так як в процесі солодовирощування під дією протеїназ, в ньому накопичується значна кількість амінокислот (до 32% від загального азоту). Активність протеїназ в процесі солодовирощування зростає приблизно в 40 разів. Зерновий солод має і цитолітичну активність, забезпечуючи певний ступінь гідролізу клітинних стінок рослинної сировини і тим самим покращуючи контакт крохмалю з амінолітичними ферментами.

Таким чином, зерновий солод, що використовується в спиртовому виробництві виконує три основні функції: здійснює гідроліз крохмалю до зброджуваних цукрів; є джерелом азотистого живлення для дріжджів і під час зацукрення крохмалистої сировини, частково руйнує клітинні стінки сировини.

Проте швидкість зцукрення крохмалю під час використання солоду залишається досить низькою, що утрудняє інтенсифікацію процесу бродіння. Застосування ферментних препаратів мікробного походження дає можливість значно підвищити концентрацію необхідних ферментів в середовищі і забезпечити глибокий гідроліз крохмалю за порівняно короткий період.

Окрім стадії зцукрення ферментні препарати, що мають сильну розріджуючу активність ( $\alpha$ -амілаза), застосовуються на стадії воднотеплової обробки сировини з метою пом'якшити режим розварювання, знизити в'язкість замісів і полегшити їх подальше транспортування.

Застосовуючи ферментні препарати на стадії приготування сусла для регенерації дріжджів необхідно забезпечити інтенсивний гідроліз білків з метою збагачення цінним азотистим живленням дріжджового сусла.

Таким чином, для спиртового виробництва, що переробляє крохмаловмісну сировину, потрібне застосування ферментних препаратів з амінолітичною, протеолітичною і цитологічною дією.

**Пивоваріння.** Під час виробництва пива за звичайною технологічною

схемою необхідні ферментні системи для підготовки зернової сировини і переведення екстрактних речовин в розчинний стан на стадії затирання утворюються в процесі солодовирощування.

Основними ферментами, що утворюються в процесі солодовирощування і мають найбільш суттєве значення в технології пивоваріння, є: амілолітичні ферменти, розріджуючі і оцукрюючі крохмаль; протеолітичні ферменти, що розщеплюють білок ячменю до пептидів різної молекулярної маси і вільних амінокислот; цитолітичні ферменти, що гідролізують некрохмальні полісахариди, які розчиняють клітинні стінки ендосперму зерна, завдяки чому полегшується доступ амілаз і протеаз до відповідних субстратів.

Кожен з перерахованих процесів повинен пройти з певною глибиною, щоб забезпечити нормальний перебіг фільтрації затору, бродіння сусла, освітлення і фільтрацію пива, а також створення певних фізико-хімічних властивостей (піноутворення, прозорість, стійкість під час зберігання) і смакових якостей готового продукту.

Застосування ферментативних препаратів мікробного походження (амілоризин ПХ, П10Х, амілосубтилін Г10Х, Г20Х, протосубтилін Г10Х, цитороземін ПХ) з метою заміни солоду несолодженим ячменем дозволяє інтенсифікувати процес, уникнути втрат цінних компонентів сировини на дихання і утворення проростка, в цілому підвищити рентабельність пивоварного виробництва.

#### **Ферменти, що використовуються для боротьби з холодною муттю.**

До утворення холодної муті в пляшковому пиві призводить зростання мікроорганізмів; такому біологічному помутнінню запобігає пастеризація пива або стерильна фільтрація під час заповнення пляшок в асептичних умовах. Небіологічне помутніння пива може відбуватися за його тривалого зберігання; цей процес прискорюється за дії світла, тепла, кисню, у присутності слідів заліза або міді, а також за одночасної дії цих факторів. Склад муті залежить від переважаючої дії того або іншого з цих факторів. Основними складовими холодної муті є: білки – 40...76%; танін – 17...55%; вуглеводи – 3...13%.

Холодна муть складається з дуже тонкого осаду, який утворюється під час витримки пива за температур нижчих 10°C. Для боротьби з холодною муттю можуть бути використані рослинні ферменти – папаїн, фіцин, бромелаїн, а також грибні (продуковані мікроскопічними грибами роду *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Amylomyces*) і бактерійні (продуковані *B.subtilis*) протеази. Але найширше для цієї мети застосовується лише папаїн або комплексні препарати, що включають папаїн і інші протеази, що пояснюється високою термостабільністю препаратів папаїну, які зберігають свою активність після пастеризації.

## Контрольні питання

1. Дайте визначення ферментам та охарактеризуйте їх значення в природі й народному господарстві
2. Класифікація та номенклатура ферментів.
3. Особливості ферментів. Одиниці активності ферментів.
4. Оксидоредуктази: характеристика, значення, застосування в харчовій промисловості.
5. Які процеси каталізує глюкооксидаза? Використання глюкооксидази в харчовій промисловості.
6. Дайте характеристику процесам за участі каталази. Значення каталази в органічному світі.
7. Які процеси каталізує пероксидаза. Значення пероксидази.
8. Яке значення о-дифенолооксидази? Які процеси вона каталізує?
9. Які ферменти належать до гідролітичних? Наведіть приклади. Яке їх значення?
10. Глікозидази: класифікація, характеристика окремих представників, використання в харчових технологіях.
11. Протеази: класифікація, характеристика окремих представників, використання в харчових технологіях.
12. Застосування ферментів в хлібопеченні.
13. Застосування ферментів у виробництві крохмалю та крохмалепродуктів.
14. Які ферменти і з якою метою використовуються у кондитерській промисловості?
15. Які ферменти використовуються у виробництві плодово-ягідних соків та вин? Яке їх значення?
16. Які ферменти використовуються у виробництві спиртних напоїв та пивоварінні?

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Голубев В.Н. Основы пищевой химии. – М.: МГЗИПП, 1997. – 222 с.
2. Донченко Л.В., Надтыка В.Д. Безопасность пищевого сырья и продуктов питания. – М.: Пищевая пром-сть, 1999. – 352 с.
3. Кнорре Д.Г., Мызина С.Д. Биологическая химия / Д.Г. Кнорре, С.Д. Мызина. – М.: Высш. шк., 2000. – 479 с.
4. Ластухін Ю.О. Хімія природних органічних сполук : навч. посіб. / Ю.О. Ластухін. – Л.: Нац. ун-т «Львів, політехніка»; Інтеллект-Захід, 2005. – 560 с.
5. Ленинджер А. Основы биохимии. – М.: Мир, 1985.
6. Мартинчик А.Н. и др. Физиология питания, санитария и гигиена / А.Н. Мартинчик и др. – М.: Мастерство; Высш.шк., 2000. – 192 с.
7. Павлоцкая Л.Ф., Дуденко Н.В., Эйдельман М.М. Физиология питания. – М.: Высш. шк., 1989. – 368 с.
8. Пасальський Б.К. Хімія харчових продуктів: Навчальний посібник. – К.: Київ. Держ.торг.-екон.ун-т, 2000. – 196 с.
9. Пищевая химия / Нечаев А.П., Траубенберг С.Г., Кочеткова А.А. и др. Под ред. А.П. Нечаева. Издание 2-е, перераб. и испр. – СПб.: ГИОРД, 2003. – 640 с.
10. Сегеда А.С. Аналітична хімія. Якісний аналіз: навч.-метод. посіб. / А.С. Сегеда. – К.: ЦУЛ, 2002. – 524 с.
11. Смоляр В.И. Рациональное питание. - Киев: Наук. думка, 1991. - 355с.
12. Технология пищевых производств /Под ред. Л.П. Ковальской. – М.: Колос, 1997. – 752 с.