

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

В. В. Євлаш, О. П. Прісс, М. Є. Сердюк, Л. Ф. Павлоцька, Л. А. Скуріхіна,  
Н. В. Дуденко, О. І. Сухаренко

# **БІОХІМІЯ ПЛОДІВ ТА ОВОЧІВ**

Навчальний посібник

Мелітополь

2019



УДК

ББК

В. В. Євлаш, О. П. Прісс, М. Є. Сердюк, Л. Ф. Павлоцька, Л. А.  
Скуріхіна, Н. В. Дуденко, О. І. Сухаренко

П 12 Біохімія плодів та овочів / В. В. Євлаш, О. П. Прісс, М. Є. Сердюк.,  
Л. Ф. Павлоцька, Л. А. Скуріхіна, Н. В. Дуденко, О. І. Сухаренко Навчальний  
посібник. – Мелітополь: , 2019. – 205с.: іл.

ISBN

Навчальний посібник складено відповідно до програми курсу «Біологічна хімія» і призначений для студентів технологічних факультетів закладів вищої освіти, які готують спеціалістів для харчової промисловості, аспірантів.

Засвоєння курсу «Біохімія плодів та овочів» важливе для вибору та реалізації напрямів виробництва продуктів харчування, їх зберігання, переробки, контролю якості.

Він буде корисним для фахівців, що працюють у галузі виробництва, переробки і зберігання плодів та овочів і допоможуть.

ISBN

В.В. Євлаш  
О.П. Прісс  
М.Є. Сердюк  
Л.Ф. Павлоцька  
Л. А. Скуріхіна  
Н.В. Дуденко  
О.І. Сухаренко

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>РОЗДІЛ 1.</b> Будова рослинних клітин і тканин.....	8
<b>РОЗДІЛ 2.</b> Вміст та функції води в плодах і овочах.....	22
<b>РОЗДІЛ 3.</b> Характеристика харчової цінності плодів та овочів.....	32
<b>РОЗДІЛ 4.</b> Амінокислоти та білки, обмін в рослинах.....	49
4.1 Амінокислоти, будова, властивості.....	49
4.1.1 Класифікація амінокислот.....	49
4.1.2 Біологічна роль окремих амінокислот.....	53
4.2 Білки, їх склад і властивості.....	54
4.2.1 Функції білків.....	54
4.2.2 Фізико-хімічні властивості білків.....	58
4.2.3 Класифікація білків.....	61
4.2.4 Біологічна цінність білків.....	63
<b>РОЗДІЛ 5.</b> Розпад та синтез білків у плодах та овочах.....	66
5.1 Шляхи обміну амінокислот.....	66
5.2 Біосинтез білка.....	72
<b>РОЗДІЛ 6.</b> Вуглеводи.....	77
6.1 Функції вуглеводів та класифікація.....	77
6.2 Загальна характеристика вуглеводів.....	78
6.2.1 Моносахариди.....	78
6.2.2 Олігосахариди.....	85
6.2.3 Полісахариди.....	88
<b>РОЗДІЛ 7.</b> Перетворення вуглеводів у рослинах.....	95
7.1 Синтез вуглеводів у рослинах.....	95
7.2 Фотосинтез.....	98
7.3 Біосинтез дихання.....	104
<b>РОЗДІЛ 8.</b> Органічні кислоти.....	118
8.1 Класифікація органічних кислот.....	118
8.2 Характеристика органічних кислот.....	121
<b>РОЗДІЛ 9.</b> Рослинні речовини вторинного походження.....	124
9.1 Характеристика окремих речовин вторинного походження.....	124
<b>РОЗДІЛ 10.</b> Ліпіди і споріднені їм сполуки.....	133
10.1 Біологічна роль та класифікація ліпідів і їхніх похідних.....	133
10.2 Властивості ліпідів.....	139
10.3 Розпад ліпідів.....	139
10.4 Біосинтез ліпідів.....	142
<b>РОЗДІЛ 11.</b> Вітаміни. Класифікація, номенклатура і властивості.....	145
11.1 Загальне поняття про вітаміни. Класифікація.....	145
11.2 Водорозчинні вітаміни.....	146
11.3 Жиророзчинні вітаміни.....	154

11.4 Вітаміноподібні сполуки.....	137
<b>РОЗДІЛ 12. Ферменти.....</b>	<b>162</b>
12.1 Загальне поняття про ферменти.....	162
12.2 Будова ферментів.....	163
12.3 Властивості ферментів.....	166
12.4 Загальні уявлення про механізм дії ферментів.....	169
12.5 Номенклатура і класифікація ферментів.....	172
12.6 Використання ферментів у харчовій промисловості.....	175
<b>РОЗДІЛ 13. Мінеральні речовини.....</b>	<b>182</b>
13.1 Роль мінеральних речовин у природі.....	182
13.2 Макроелементи.....	184
13.3 Мікроелементи.....	187
13.4 Зміни вмісту мінеральних речовин у рослинах в процесах обробки.....	189
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>192</b>
<b>СПИСОК ЛІТРАТУРИ.....</b>	<b>205</b>

## ВСТУП

*Біологічна хімія (біохімія)* – це наука, про молекулярну сутність життя. Вона вивчає хімічну природу речовин, які входять до складу живих організмів, їх перетворення, а також зв'язок цих перетворень з діяльністю клітин, органів, тканин і організму в цілому. З цього випливає, що біохімія займається з'ясуванням хімічних основ найважливіших біологічних процесів і загальних шляхів і принципів перетворень речовин і енергії, які лежать в основі різноманітних проявів життя. Таким чином, головним завданням біохімії є встановлення зв'язку між молекулярною структурою і біологічною функцією хімічних компонентів живих організмів.

Сучасна біохімія як самостійна наука сформувалася на межі XIX та XX століть. До цього часу питання, що розглядаються біохімією були включені до органічної хімії та фізіології. Причинами для виділення біохімії як окремої науки стали значні успіхи, досягнуті органічною хімією при вивченні численних природних сполук і фізіологією в області досліджень процесів, які протікають в тваринних і рослинних організмах. Стрімкий розвиток біохімії тісно пов'язаний також і з потребами практики – медицини, сільського господарства, харчової промисловості.

Залежно від об'єкту дослідження біохімія диференціюється на біохімію людини, біохімію тварин (зоохімія), біохімію рослин (фітохімія), біохімію мікроорганізмів і вірусів.

Незважаючи на біохімічну схожість усього живого, існують і кординальні відмінності як хімічного складу, так і обміну речовин у тваринних і рослинних організмах. Обмін речовин, або метаболізм, – це сукупність хімічних реакцій, що протікають в організмі і спрямованих на збереження і самовідтворення живих систем. Відомо, що рослини будують складні органічні речовини (вуглеводи, жири, білки) з таких простих, як вода, вуглекислий газ і мінеральні речовини, причому енергія, необхідна для цієї синтетичної діяльності, утворюється за рахунок поглинання сонячних променів у процесі фотосинтезу. Тваринні організми, навпаки, вимагають їжу, яка складається не тільки з води і мінеральних компонентів, але містить складні речовини органічної природи: білки, жири, вуглеводи. У тварин прояви життєдіяльності і синтез речовин забезпечуються за рахунок хімічної енергії, що звільняється при окисненні складних органічних сполук. Рослини, які не використовують для своєї життєдіяльності речовини органічної природи, називаються аутотрофними організмами; тварини вважаються гетеротрофними організмами. Серед мікроорганізмів зустрічаються як аутотрофи, так і гетеротрофи. Крім того, для мікроорганізмів характерною ознакою вважається наявність специфічних хімічних речовин і реакцій, які не зустрічаються в клітинах тварин і рослин.

У зв'язку з величезним обсягом фактичного матеріалу і різноманітністю теоретичних узагальнень, біохімія розділяється на три відділи, кожен з яких має

самостійне значення. Залежно від підходу до вивчення живої матерії біохімію ділять на статичну, динамічну і функціональну.

Статична біохімія (хімія природних сполук) займається дослідженням хімічного складу організмів. При цьому, в поняття хімічного складу включають як якісний склад (і будова) з'єднань, так і кількісний їх вміст в тих чи інших біологічних об'єктах.

Динамічна біохімія вивчає перетворення хімічних сполук і взаємопов'язаних з ними перетворень енергії в процесі життєдіяльності органічних форм (формування, зростання, дозрівання і зберігання плодів та овочів).

Функціональна біохімія з'ясовує зв'язки між будовою хімічних з'єднань і процесами їх видозміни, з одного боку, і функцією субклітинних частинок спеціалізованих клітин, тканин або органів, які включають у свій склад згадані речовини, – з іншого. Іншими словами, даний відділ вивчає хімічні процеси, що лежать в основі формування і функціональної діяльності живих організмів, в тому числі рослинних, а також біохімічні основи зміни цих функцій відповідно до умов середовища.

Залежно від напрямку досліджень сучасна біохімія розділяється на кілька самостійних розділів: загальна біохімія, біоорганічна хімія, біонеорганічна хімія, медична, ветеринарна, технічна, порівняльна, радіоційна, молекулярна, квантова, космічна біохімії.

Важливе практичне значення має технічна біохімія, що розробляє технологічні методи виробництва споживчих товарів у харчовій, фармацевтичній, текстильній, шкіряній і інших галузях промисловості. Дуже важливою є біохімія сільськогосподарських тварин, біохімія зерна і борошна, вітамінів, гормонів, м'язів, біонеорганічна хімія, біохімічна генетика, ензимологія, радіаційна і космічна біохімія. Однією з ведучих галузей є молекулярна біохімія, яка вивчає на молекулярному рівні механізм основних проявів життя (спадковість і мінливість). Квантова біохімія встановлює зв'язок між квантово-механічними параметрами й особливостями біоорганічних сполук, що беруть участь у передачі спадкоємних властивостей.

Розвиток таких дисциплін, як загальна фізіологія, фізіологія харчування, гігієна харчування, товарознавство харчових продуктів, технологія виробництва продуктів харчування в харчовій галузі неможливі без знань біохімії рослин. Вона тісно пов'язана з проблемою кількості продовольчих ресурсів, тому що на основі сучасних наукових досягнень біохімії в області генної інженерії підвищується врожайність сільськогосподарських культур, їх якість, боротьба з втратами сировини, тощо.

*Біохімія плодів та овочів* є однією з основних частин біохімії рослин. Вона вивчає хімічний склад і процеси, що лежать в основі життєдіяльності плодоовочевої сировини.

Плоди та овочі є функціональними органами однорічних, дворічних і багаторічних рослин. Вони представлені бульбами, коренеплодами, суцвіттями, соплодіями, зав'язями. Комплекс біохімічних процесів, які протікають у плодах і овочах після відділення від материнської рослини, визначається тими функціями,

які були закладені в них вегетуючою рослиною, і має біологічно запрограмований механізм продовження роду і час життя. Ці процеси визначають можливу тривалість збереження споживчих властивостей плодоовочевої сировини і терміни її зберігання. За даним принципом всі плоди і овочі ділять на чотири групи.

Перша група – *овочі, які є видозміненими вегетативними органами дворічних рослин* – бульбоплоди, коренеплоди, цибулини і головки.

Друга група – *генеративні органи однорічних (овочевих) і багаторічних (плодових) рослин* – плоди і плодові овочі.

Третя група – *ягоди, які мають дуже соковиту, ніжну м'якоть, тонку шкірочку.*

Четверта група – *зелені овочі* – салат, шпинат і інші.

Характерною особливістю перелічених груп рослинної продукції є високий вміст води, доля якої становить в середньому 75 – 90 %. Вода впливає на біохімічні процеси, які відбуваються у плодах та овочах, їхню якість, здатність до зберігання. Достатній вміст води в тканинах плодів та овочів сприяє нормальному, інтенсивному перебігу біохімічних і фізичних процесів. Нестача води призводить до порушення цих процесів, внаслідок чого вони в'януть і втрачають товарний вигляд.

Вмістом у плодах та овочах різноманітних поживних речовин визначається їх харчова цінність. За міжнародною термінологією поживні речовини поділяють на три класи. До першого класу «макронутрієнтів» належать: вуглеводи, білки, амінокислоти, жири, жирні кислоти, фосфоліпіди, холестерин, стероїди, макроелементи; до другого - «мікронутрієнтів» - вітаміни та мікроелементи; до третього - отруйні, баластні речовини, попередники синтезу біологічно активних речовин.

Плоди та овочі є джерелом енергетичних і пластичних речовин для організму людини. З них утворюються інші речовини - гормони та ферменти, які регулюють обмін речовин у тканинах.

*Біологічна цінність* продуктів харчування визначається вмістом у них 70 різноманітних, необхідних організму речовин. У плодах та овочах міститься близько 11 вітамінів і вітаміноподібних речовин, понад 60 мінеральних елементів, а також інших біологічно активних речовин, у тому числі й незамінних. Деякі з цих речовин є тільки у даній групі продуктів. Капустяні, бобові овочі, шпинат, картопля містять повноцінні білки, які мають важливі для організму людини незамінні амінокислоти.

Плоди та овочі містять мікроелементи, без яких неможлива нормальна життєдіяльність організму. Макро- і мікроелементи плодів та овочів входять до складу всіх тканин організму та різних речовин. Нестача мінеральних речовин призводить до порушень у функціонуванні систем організму, без них неможлива його нормальна життєдіяльність.

З'ясування суті біохімічного метаболізму плодів та овочів сприятиме подальшому підвищенню їх якості та біологічної цінності протягом зберігання та переробки.

Навчальний посібник складено відповідно до програм курсів «Біологічна хімія» і призначений для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр», зі

спеціальності 181 «Харчові технології» денної та заочної форми навчання. Навчальний посібник може стати в нагоді для студентів, які навчаються за навчальними планами підготовки «Магістр» відповідного фахового напрямку та аспірантам.

Засвоєння курсу «Біохімія плодів та овочів» важливе для вибору та реалізації напрямів виробництва продуктів харчування, їх зберігання, переробки, контролю якості.

У сучасній навчальній літературі таких профільованих видань з біохімії плодів та овочів, які б ураховували особливості та ступінь підготовки студентів, досягнутих під час вивчення органічної, фізичної та колоїдної хімії на попередніх курсах недостатньо.

Навчальний посібник підготовлено з метою надання допомоги студентам в закріпленні знань, отриманих ними за всі роки навчання, поєднанні теоретичних відомостей і практичних навичок в опануванні основних тем курсу з біохімії.

Навчальний посібник буде корисним для фахівців, що працюють у харчовій галузі виробництва, забезпечують виробництво різних видів харчової рослинної продукції, їх переробку, транспортування, зберігання.

Автори будуть вдячні за усі зауваження та поради.

При написанні навчального посібника була використана інформація дорадчої служби «Запорізький Інформаційно-консультаційний центр «Агро-Таврія», Таврійського державного агротехнологічного університету та матеріали діяльності «Українського проекту бізнес-розвитку плодоовочівництва».

Зміст навчального посібника, є точкою зору авторів не обов'язково відображає офіційну позицію Уряду Канади.



Український проект бізнес-розвитку плодоовочівництва (UHBDP) фінансується Міністерством міжнародних справ Канади, реалізується та співфінансується Менонітською Асоціацією Економічного Розвитку (MEDA). MEDA співпрацює з Ізраїльським агентством міжнародного співробітництва (MASHAV) та міжнародними сервісними компаніями з метою надання технічної підтримки.

Ukraine Horticulture Business Development Project (UHBDP) is funded by Global Affairs Canada (GAC), co-financed and implemented by Mennonite Economic Development Associates (MEDA). MEDA has partnered with Israel's Agency for International Development Cooperation (MASHAV) and international service providers to deliver technical assistance.



## РОЗДІЛ 1. БУДОВА РОСЛИННИХ КЛІТИН І ТКАНИН

Клітина – одна з форм організації живої матерії, що лежить в основі будови і розвитку рослин. За своєю будовою клітини рослин, тварин і людини, подібні між собою.

Розміри, форма і будова клітин, що входять до складу органів і тканин, різні. Вони залежать від стадії розвитку і функції клітин, їхньої видової приналежності і т.д. В основному діаметр клітин складає від 1 мікрона до декількох сантиметрів.

Клітини всіх живих організмів складаються з напіврідкої маси цитоплазми або протоплазми, в якій знаходяться субклітинні компоненти, органоїди або органели.

У середині щільного утворення знаходиться ядро, що плаває в «напіврідкій» цитоплазмі. Клітина оточена клітинною мембраною.

Клітина складається з багатьох елементів, сукупність яких має визначене значення не тільки для неї самої, але і для всього організму в цілому. Якщо якимось чином порушиться структура клітини, то змінюються її функції, вона втрачає свої властивості як організована одиниця і гине.

Вміст клітини являє собою дуже складну систему різноманітних компонентів. Схема будови клітини, отримана за допомогою електронного мікроскопа, представлена на рис. 1.1.

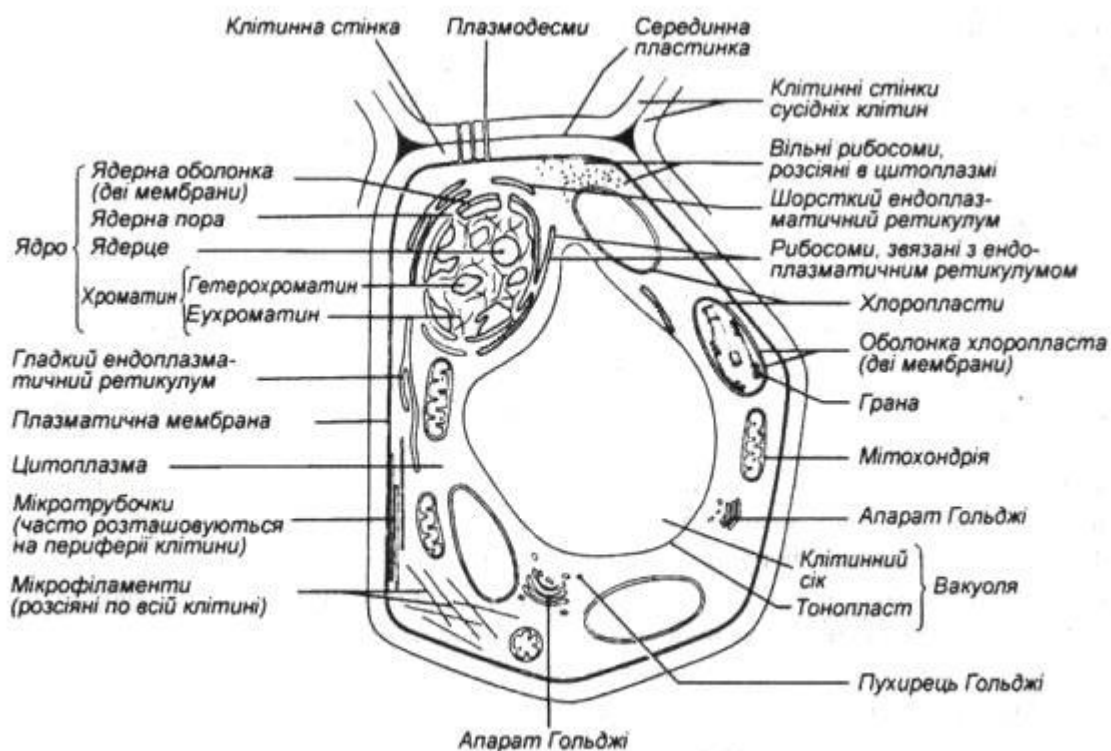


Рис. 1.1 - Схема будови клітини

Кожна рослинна клітина захищена *оболонкою*, яка є її опорою і надає клітині міцності. Окремі клітини з'єднуються між собою за допомогою міжклітинної речовини, яка називається *серединною пластинкою*. В її утворенні приймає участь *апарат Гольджі*, який є складним структурним комплексом, представлений тонкими плоскими мішечками, обмежених мембранами. Вони називаються *диктіосомами*. Апарат Гольджі – багатофункціональна органела клітини. Він упорядковує молекули і синтезує мембрани, які потім йдуть на утворення більшості мембранних структур клітини. У ньому також відбувається транспорт великих білкових молекул. З його участю утворюються різні секреторні речовини. З апаратом Гольджі пов'язане й регулювання рівня обводненості клітини. Він відіграє двояку роль: бере участь у синтезі вуглеводних компонентів глікопротеїдів і здійснює видалення синтезованих молекул із клітки.

Серединна пластинка складається в основному із *геміцелюлоз і пектинових речовин*, в синтезі яких також приймає участь апарат Гольджі. Ріст *первинної* стінки відбувається за рахунок занурення молекул целюлози, які синтезуються на зовнішній поверхні плазмолемі і аморфних пектинових речовин, що доставляється пухирцями Гольджі. *Вторинна* стінка утворюється накладанням зсередини на первинну стінку нових шарів. При цьому відбувається ріст стінки у товщину, а об'єм порожнини клітини зменшується. Вторинна стінка в основному складається з целюлози (до 90 %) і геміцелюлози. Пектинових речовин і води в ній значно менше, ніж у первинній стінці.

Зв'язок між клітинами здійснюється за допомогою *плазмодесми*. Вона являє собою тонкі протоплазматичні тяжі, які проходять через оболонку і з'єднують між собою сусідні клітини.

В клітинах, які мають добре розвинуту оболонку, зв'язок між клітинами здійснюється за допомогою *пор*. В процесі життєдіяльності, у зв'язку із специфічною функцією, хімічний склад стінки клітини може змінюватись, що сприяє зміні її фізичних властивостей. Часто у матриксі вторинної і первинної стінки і у серединній пластинці накопичується *лігнін*. Це призводить до втрати еластичності, підвищення міцності, зниження проникності. Такі стінки називаються *здереваьнілими*.

Стінки деяких клітин містять ліпіди – *віск, кутин, суберин*. Ці речовини не змішуються з матриксом стінки, а утворюють самостійні шари. Кутин і суберин відкладаються разом з воском у вигляді паралельних шарів, що чергуються, кутин – на зовнішній поверхні стінок, а суберин – на внутрішній. Завдяки ліпідам зменшується випаровування з поверхні клітин. Суберин непроникний для води і газів, тому після його відкладання протопласт відмирає і заповнюється повітрям.

При старінні тканин між клітинами утворюється вільний простір, який називається міжклітинниками. У дорослих, сформованих тканинах міжклітинники являють собою єдину розгалужену сітку, яка приймає участь в процесі газообміну клітин.

Всі клітинні органіди – ядро, мітохондрії і апарат Гольджі покриті мембранами.

**Цитоплазматична мембрана.** Внутрішнє середовище клітини відрізняється від зовнішнього. Природним бар'єром між ними служить клітинна мембрана, основна функція якої полягає в регуляції обміну речовин між клітиною і навколишнім середовищем.

*Цитоплазматична мембрана забезпечує сталість складу внутрішньоклітинного вмісту.* За своєю структурою мембрана являє собою грузлу ліпідну фазу (ліпідний шар) із зануреними в неї білками. Таку мембрану називають простою або елементарною. До елементарних мембран відносяться плазмалема, тонопласт вакуолі і мембрани ендоплазматичної сітки (рис. 1.2).

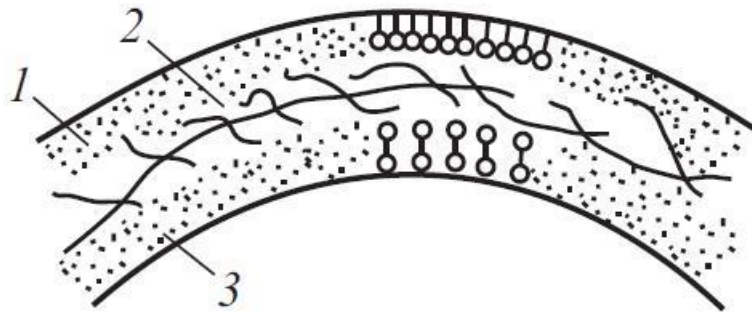


Рис. 1.2 – Структура цитоплазматичної мембрани: 1 - плазмалема; 2 - мезоплазма; 3 – тонопласт.

Поверхня інших цитоплазматичних структур вкрита подвійною мембраною, яка складається з двох рядів простих мембран. Ліпідний шар складається головним чином з фосфоліпідів, холестерину, гліколіпідів і є подвійним шаром молекул. При цьому довгі залишки жирних кислот одного і іншого шару ліпідних молекул звернені одна до одної й *утворюють рідку гідрофобну фазу*, а *гідрофільні групи* цих ліпідів (холін, фосфорна кислота, етаноламін і ін.) розташовані зовні. На відміну від клітинної оболонки, яка характеризується повною проникністю, *будова мембрани обумовлює її основну властивість – виборчу проникність*, тобто регулювання надходження в клітину необхідних поживних речовин і виведення з неї продуктів обміну. Така вибірковість забезпечує сталість внутрішнього складу клітини, підтримує потрібний осмотичний тиск, значення рН, тощо.

Білки, що входять до складу мембрани, розташовуються на периферії (периферичні) або пронизують усю її товщу (інтегральні).

*Функції мембранних білків різноманітні.* Деякі з них є ферментами, що виступають каталізаторами багатьох важливих реакцій, інші транспортують різні речовини (жирні кислоти, холестерин) через мембрану. Особлива група білків

утворює у мембрані «пори» для переносу іонів (водню, натрію, калію й ін). Поверхово розташовані білки і гідрофільні групи ліпідів, зв'язані з вуглеводами, утворюють ділянки, здатні «впізнавати» інші клітини або речовини. Такі ділянки називаються *рецепторами*. З'єднуючись зі специфічними рецепторами, речовини передають свої сигнали усередину клітини. Мембрани еластичні і мають здатність при ушкодженні мимовільно відновлювати свою цілісність.

Специфічною особливістю клітин рослин є наявність пластид. *Пластиди* – це невеликі гранули з подвійною мембраною, у яких відбувається синтез і накопичення органічних речовин. Залежно від забарвлення розрізняють три типи пластид: *хлоропласти*, *лейкопласти* і *хромoplastи*.

*Хлоропласти* містять зелений пігмент *хлорофіл*, що здатний переробляти енергію сонячного світла в хімічну, яка запасасться у виді хімічних зв'язків різних харчових речовин, що утворюються в процесі фотосинтезу, а також пігменти з групи каротиноїдів – *каротин* (оранжевий) і *ксантофіл* (жовтий).

*Лейкопласти* – безбарвні пластиди, не здатні до фотосинтезу, найчастіше утворюються в клітинах тканин і органів, на які не падає сонячне проміння – у коренях, бульбах, насінні. Основна функція лейкопластів це синтез і накопичення запасних поживних речовин. Лейкопласти, в яких накопичується крохмаль, називають *амілопластами*. В них з цукрів, які надходять із фотосинтезуючих органів, утворюються крохмальні зерна, різні за розмірами і формою – вторинний крохмаль. Запасний білок може відкладатися у вигляді кристалів або аморфних гранул, олія – у вигляді пластоглобул.

*Хромoplastи* містять різні пігменти, що обумовлюють фарбування плодів, овочів і квіток. *Хромoplastи* за розмірами менші, ніж хлоропласти і за формою дуже різноманітні. Вони найчастіше утворюються із хлоропластів і дуже рідко із лейкопластів (наприклад, в коренеплодах моркви).

**Мітохондрії** (від грецької *mitos* – нитка, *chondrion* – зернятко, крупинка) є великими органоїдами клітини, що за формою нагадують зерно квасолі. Їх кількість у кожній клітині варіює від 500 до 2000 шт і більше. Більше всього мітохондрій знаходиться в молодих клітинах, які розвиваються, з цим зв'язана найбільш висока активність проходження біохімічних процесів.

Мітохондрії оточені двома мембранами, утвореними білками і ліпідами різної природи. *Внутрішня мембрана* має безліч спрямованих усередину випинань – *крист*, які тим чисельніші, чим вище дихальна активність клітини. Внутрішній простір мітохондрій заповнює дрібнозерниста грузла речовина.

При старінні плодів проходить розклад мітохондрій і втрата їх ферментативної активності. У хімічному складі мітохондрій переважають білки (65%) і ліпіди (до 30%), вони містять багатий набір ферментів.

Для забезпечення структурної цілісності клітин і синтезу всіх необхідних речовин необхідна енергія. Запас клітинної енергії утворюється в хлоропластах шляхом перетворення сонячної енергії в хімічну. В мітохондріях ця енергія окиснюється і вивільняється для участі в різних процесах життєдіяльності, саме в

них відбувається розщеплення вуглеводів, жирів та інших органічних речовин при наявності кисню, протікають процеси дихання та синтез аденозинтрифосфату (АТФ). Їхня головна функція – вилучати енергію, що міститься в органічних речовинах, і накопичувати її у фосфатних зв'язках АТФ, який необхідний для здійснення різних процесів життєдіяльності. З мітохондрій АТФ транспортується по всій клітині, забезпечуючи її енергетичні потреби. Мітохондрії називають «силовими підстанціями» клітин, її енергетичними носіями (рис. 1.3).

Слід зазначити і ще одну особливість мітохондрій. У їх матриксі виявлені дезоксирибонуклеїнові кислоти (ДНК). Крім того, тут знаходяться рибосоми і ряд речовин, необхідних для синтезу мембранних білків.

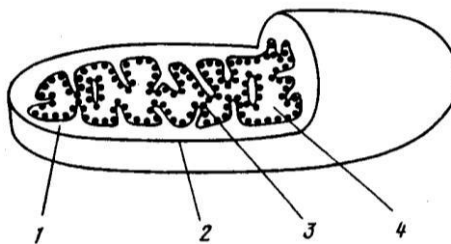


Рис. 1.3 – Розріз мітохондрій: 1 – внутрішня мембрана; 2 – зовнішня мембрана; 3 – криста; 4 – матрикс.

**Ядро** – головна внутрішньоклітинна органела клітки, що має сферичну форму діаметром близько 5 мікронів. Воно містить не менш 95 % усієї ДНК. Клітинне ядро є багатофункціональною частиною клітин.

Як місце збереження ДНК, ядро насамперед виконує генетичну функцію й одночасно шляхом синтезу інформаційної рибонуклеїнової кислоти (РНК), що надходить потім з ядра в цитоплазму, визначає спрямованість і характер синтезу білків у клітині. Ядро служить і загальним регулятором усього метаболізму клітини, тому клітини, позбавлені ядра, виявляються нежиттєздатними. В ядрі знаходяться *хромосоми*, які побудовані в основному із дезоксирибонуклеїнової кислоти (14%), сполученої з білком (73%) і рибонуклеїнової кислоти (12%). Хромосоми несуть в собі спадкові гени, в яких закріплені всі ознаки організму, що передаються по спадковості. ДНК разом з основними і кислими білками і невеликою кількістю РНК складає складний комплекс, називаний *хроматином*. У ядрі знаходяться усі ферменти, необхідні для біосинтезу ДНК і РНК. Він є носієм генетичної інформації (спадкоємних ознак) і контролює усі види метаболічної активності клітки.

Усередині ядра можна розрізнити ще одну або кілька сферичних структур малих розмірів. Це – *ядерця*. Вони на 80% складаються з білка і на 10-15% – з РНК. Основна функція ядерця – це синтез ядерних білків. Все ядро покрите подвійною мембраною, яка зв'язується каналцями з ендоплазматичною сіткою.

**Цитоплазма.** Внутрішній простір клітини заповнений цитоплазмою, у якій розташовані органоїди. Цитоплазма пронизана численними каналами, що називають ендоплазматичною мережею (ретикулумом).

*Ендоплазматичний ретикулум* є продовженням ядерної мембрани. Він являє собою мережу мембран, що утворюють трубочки і пухирці; через ендоплазматичну мережу здійснюється транспорт різних речовин із клітини в зовнішнє середовище і назад в клітину, у ньому протікають процеси синтезу і розпаду хімічних речовин.

*Розрізняють два типи ретикулула – гладкий і шорсткуватий.* «Шорсткість» останнього обумовлена розташованими на його поверхні численними дрібними частками сферичної форми – рибосомами.

За фізичними властивостями цитоплазма є багатофазною колоїдною системою, в якій дисперсним середовищем виступає вода. Цитоплазма характеризується великою водопоглинаючою здатністю (містить від 60 до 90% води). За умови значної втрати води колоїди цитоплазми переходять із стану золя в гель.

В'язкість цитоплазми клітини залежить від кількості колоїдних частинок, впливає на стійкість плодів та овочів стосовно низьких і високих температур. Чим вища в'язкість цитоплазми, тим краще плодоовочева сировина витримує низькі температури і є більш стійкою проти дії високих температур.

Колоїди цитоплазми клітин різних видів плодів та овочів перебувають у неоднаковій дисперсній фазі, що впливає на втрати ними води і термін зберігання. Якщо плоди та овочі зберігають за оптимальних умов (температура і відносна вологість повітря), то основна частина цитоплазми перебуває в стані гідрозолу. За несприятливих умов зберігання (низька відносна вологість повітря) плоди і овочі втрачають значну кількість води і гідрозоль переходить у гель.

Порушення колоїдної системи відбувається під дією температури, вищої за 60°C, під час підморожування, а також під дією токсичних речовин і високої електричної напруги.

Хімічний склад цитоплазми непостійний і складний. Вона містить білки, ліпіди, сполуки білків з іншими речовинами, нуклеїнові кислоти (здебільшого рибонуклеїнова кислота – РНК), які відіграють дуже важливу роль в обміні речовин цитоплазми.

Вибіркова проникність органоїдів клітини відіграє важливу роль під час консервування плодів з цукром і ферментативного консервування – соління, квашення.

Якщо концентрації розчинів солі і цукру вищі, ніж концентрація клітинного соку, то виникає різниця осмотичного тиску, внаслідок чого частина води переходить з клітини у міжклітинний простір (міжклітинники). Це зумовлює відставання цитоплазми від оболонки клітини, вона зменшується в об'ємі – виникає явище *плазмолізу*.

**Рибосоми** – дрібні щільні гранули невеликих розмірів, що складаються з білка і РНК, частка якої досягає 60%.

Вони складаються з двох частин (субодиниць) округлої форми, з'єднання яких можна представити у вигляді гриба або вісімки. Мембранної структури рибосоми не мають. Кожна клітина рослин містить кілька десятків тисяч рибосом, іноді вони поєднуються в групи – *полірибосоми*. Рибосоми розсіяні по всій клітині: в цитоплазмі, усередині ядра, хлоропластів і навіть усередині мітохондрій. Частина їх зв'язана з ендоплазматичною мережею, інші знаходяться у вільному стані в цитоплазматичному матриксі. *Рибосоми виконують найважливішу функцію – беруть участь у процесі синтезу білка.*

Важливі органоїди клітини – **лізосоми** (від грец. *lysis* – розчинення, *soma* – тіло). Ці структури являють собою обмежені мембраною тельця діаметром не більше 2 нм, що мають вигляд пухирців і містять протеолітичні ферменти, які каталізують розпад складних органічних речовин. Вони заповнені рідиною й обмежені тришаровою мембранною стінкою від цитоплазми. Неушкоджена лізосомна мембрана дуже міцна і стійка до дії ферментів. Лізосоми є одним із найважливіших центрів дисиміляції в клітині, вони здатні розщеплювати вже використані білки, жири, вуглеводи і їхні проміжні продукти.

**Пероксисоми** – це збірна назва для групи органел із різними функціями. Усі пероксисоми дуже дрібні і за будовою подібні до лізосом. У вмісті пероксисом переважають окисні ферменти, що регулюють окиснення ряду речовин, які пов'язують жировий обмін з вуглеводним. *Гліколісоми* забезпечують окиснення гліколієвої кислоти. Характерною рисою пероксисом є наявність у них ферменту *каталази*, що розщеплює перекис водню, який утворюється в процесі фотосинтезу.

*Сферосоми*. Також дуже дрібні кулясті органели, що містять ферменти, які беруть участь в обміні ліпідів.

**Інформосоми** є переносником інформаційної РНК із ядра в рибосоми.

Найбільшою за розмірами, але найменш оформленою є **вакуоля**, яка являє собою порожнину всередині протопласта, оточену тонопластом. Вакуоль виступає як депо клітини, що служить для постійного або тимчасового збереження деяких продуктів метаболізму, які не потрібні клітині. Вакуолі часто містять пігменти, що забарвлюють пелюстки квітів, коренеплоди овочів та інші частини рослин. Найбільш характерний для вакуолей пігмент *антоціан*, фарбування якого змінюється залежно від рН середовища.

*Вакуоль* – це головний регулятор осмотичних процесів у клітині, забезпечує тургорний стан клітин та виконує опорну функцію. Вміст вакуолі – це клітинний сік (від 38 до 90 % маси плодів та овочів), який є водним розчином мінеральних солей і органічних речовин. Осмотичний тиск у середині клітини залежить від концентрації цих речовин. При випаровуванні води з вакуолей концентрація соку збільшується і осмотичний тиск підвищується. У разі високого осмотичного тиску відбувається **плазмоліз цитоплазми**.

Під час консервування плодоовочевої сировини (сушіння, консервування з цукром, кислотами, сіллю) водночас із цитоплазмою зменшується розмір вакуолей і скорочується поверхня тонопласту - оболонки, що відділяє вакуолі від цитоплазми, тобто відбувається плазмоліз. Основне призначення вакуолей - накопичення розчинних органічних і неорганічних речовин. Тонопласт затримує також шкідливі для цитоплазми речовини, які утворилися внаслідок метаболізму.

Вакуолі займають найбільшу частину дорослих клітин. Молоді меристематичні клітини мають дуже мало вакуолей і вони є недостатньо розвиненими. Ось чому плоди на початковій стадії формування або недорозвинені містять дуже мало соку.

Плазмоліз може бути зворотним за умови надходження води в клітини. Для цього необхідно уникнути дії концентрованих розчинів. Клітина набуває початкового природного стану, оскільки від контакту з водою цитоплазма знову притягується до клітинної оболонки і стає пружною. Відбувається явище *тургору* клітини (рис. 1.4). За більш високої концентрації клітинного соку, ніж розчину, який оточує клітину, вода надходить у клітину та у вакуолю, яка збільшується в об'ємі, діє на цитоплазму і створює тургорний тиск. Цитоплазма тисне на протопласт і викликає тургорну напругу, яка збільшується пропорційно кількості води, що надійшла в клітину.

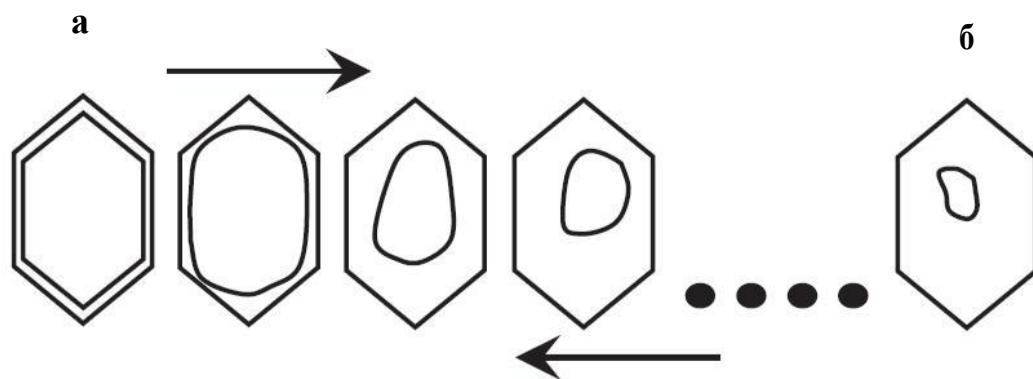


Рис. 1.4 – Тургор і плазмоліз рослинної клітини: а – клітина в стані тургору, б – клітина в стані повного плазмолізу.

Тургор клітини залежить від концентрації розчинених у соці речовин, які створюють осмотичний тиск. У клітинах стиглих плодів та овочів осмотичний тиск коливається в межах 5...10 атмосфер. У сік надходять цукри, які можуть знову брати участь у процесах обміну, і речовини вторинного обміну - органічні кислоти, феноли, флавоноли, антоціани, глікозиди, алкалоїди та інші, які виділяються зовні в обмеженій кількості.

Частковий плазмоліз виникає у разі незначного зів'янення плодів та овочів. Тургор клітин можна відновити, витримуючи плоди, овочі в атмосфері, насиченій



водяними парами, замочуванням, але лише тоді, коли відбулося незначне зневоднення клітини. Під час сильного зневоднення клітини гинуть.

Обмін речовин у клітині залежить як від зовнішніх умов, так і від здатності цитоплазми рухатися. Рух її буває струменевим (у молодих клітин) і обертальним (у більш старих клітин із центральною вакуолею). Під час руху цитоплазма захоплює з собою органоїди клітини і навіть ядро. Швидкість руху збільшується при нормальному функціонуванні клітини, і посилюється за високої температури, сильного освітлення, достатній кількості кисню. Цитоплазма рухається швидше під час росту та розмноження клітин плодів та овочів (проростання картоплі, моркви, буряків під час їхнього зберігання). І, навпаки, рух цитоплазми сповільнюється в об'єктах зберігання, які перебувають у стані спокою. З огляду на це дуже важливо дотримуватися рекомендованих оптимальних температур і відносної вологості повітря під час зберігання овочів, здатних проростати, а також застосовувати різні препарати, які затримують вихід їх зі стану спокою.

Температура зберігання повинна бути найнижчою (навіть близькою до кріоскопічної), але вищою від точки замерзання. Для кожного виду, сорту плодів та овочів встановлено точки замерзання. У підморожених плодів та овочів цитоплазма припиняє рух і клітини гинуть.

Оскільки за відсутності освітлення рух цитоплазми клітин сповільнюється, плодоовочеvu сировину слід зберігати у затемнених сховищах.

На інтенсивність руху цитоплазми клітин впливає підвищена (порівняно зі звичайним повітрям) концентрація вуглекислого газу. З урахуванням цього розроблено метод зберігання плодів та овочів у регульованому (РГС) і модифікованому (МГС) газових середовищах з підвищеною концентрацією вуглекислого газу і зменшеною – кисню.

Рух цитоплазми припиняється, і вона гине при температурі, вищій за 45 °С, за наявності спирту, ацетальдегіду та інших речовин антисептичної дії, а також за високої концентрації кислот (рН середовища, нижчого за 3,8). Це явище спостерігається під час консервування плодоовочевої сировини (сушіння, заморожування, квашення, соління, консервування з цукром, кислотами). Консерванти впливають як на рослинні клітини, так і на мікроорганізми.

Еластичність цитоплазми клітин зумовлена механічною стійкістю тканин усіх органел. Від еластичності залежить стійкість клітини проти зневоднення. Якщо цитоплазма клітини має більшу еластичність, вона краще витримує механічну дію, не руйнується і утримує вологу.

**Клітини організму складають комплекси, кожний із яких представляє ту чи іншу тканину.** В рослинах виділяють запасні, покривні, механічні, меристематичні, асиміляційні та інші тканини.

В плодах і овочах особливе місце займає *запасна* тканина, яка складається із паренхімних клітин, в яких містяться речовини, що складають їх поживну цінність. Тканини плодів і овочів розростаються саме за рахунок збільшення маси паренхімних клітин. *Покривні* тканини захищають паренхімні тканини плодів і

овочів від фітопатогенних мікроорганізмів. Вони представлені *епідермісом* і *перидермою*. *Епідерміс* покриває наземні органи плодів і овочів, хоча можливі і виключення. Так, покривною тканиною яблук є перидерма, а у часнику і цибулі покривною тканиною є епідерміс.

*Епідерміс* – це первинна тканина, яка складається із одного шару клітин та впродовж розвитку і потовщення органу замінюється вторинною тканиною *перидермою*.

*Перидерма* – це складний комплекс, що складається із *фелогену*, *фелеми* і *фелодерми*. На межі двох дочірніх клітин утворюється вузька клітина вторинної меристеми, яка являється пробковим камбієм і називається *фелогеном*. Всі решти клітин перидерми утворюється тільки за рахунок діяльності фелогену, який відкладає клітини на зразок собі, як на поверхні, так і в середині. Всі клітини, які відкладаються фелогеном на поверхню, називаються *фелемою*, а в середину – *фелодермою*.

На поверхні епідермісу розміщуються *продихи*, через які здійснюються процеси транспірації і газообміну. Продихи можуть замінюватися *сочевичками*, як, наприклад, в епідермісі яблук.

Однак, газообмін в плодах проходить не стільки через сочевички, як через епідерміс, а точніше через кутикулу. *Кутикула* являє собою безклітинну плівку. Хімічні речовини кутикули, що забезпечують її міцність – це віск і жироподібні компоненти. Кутикула прозора, оскільки має пропускати промені сонячного світла до внутрішніх структур листя, де інтенсивно протікають процеси фотосинтезу. В різних плодів кутикула відрізняється за структурою, товщиною і складом. Кутикула є бар'єром, через який проходять кисень, вуглекислий газ, вода і етилен, тому вона суттєво впливає на газовий режим плодів, а відповідно на їх лежкість.

До механічних тканин відносяться *коленхіма* і *склеренхіма*. *Коленхіма* є опорою для молодих органів рослин. Вона складається з живих паренхімних клітин з нерівномірно потовщеними целюлозними стінками (рис. 1.5).

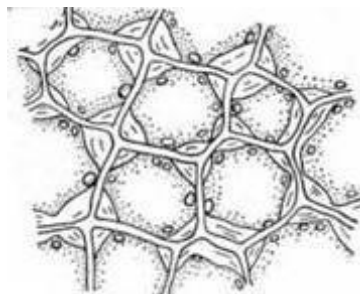


Рис.1.5 – Кутова коленхіма цукрового буряку.

*Склеренхіма* складається з прозенхімних клітин з рівномірно потовщеними стінками. Склеренхіма досить поширена механічна клітина вегетативних органів

наземних рослин. Склеренхімні клітини групуються в *волокна* і *склереїди* (*кам'янисті клітини*) (рис.1.6).

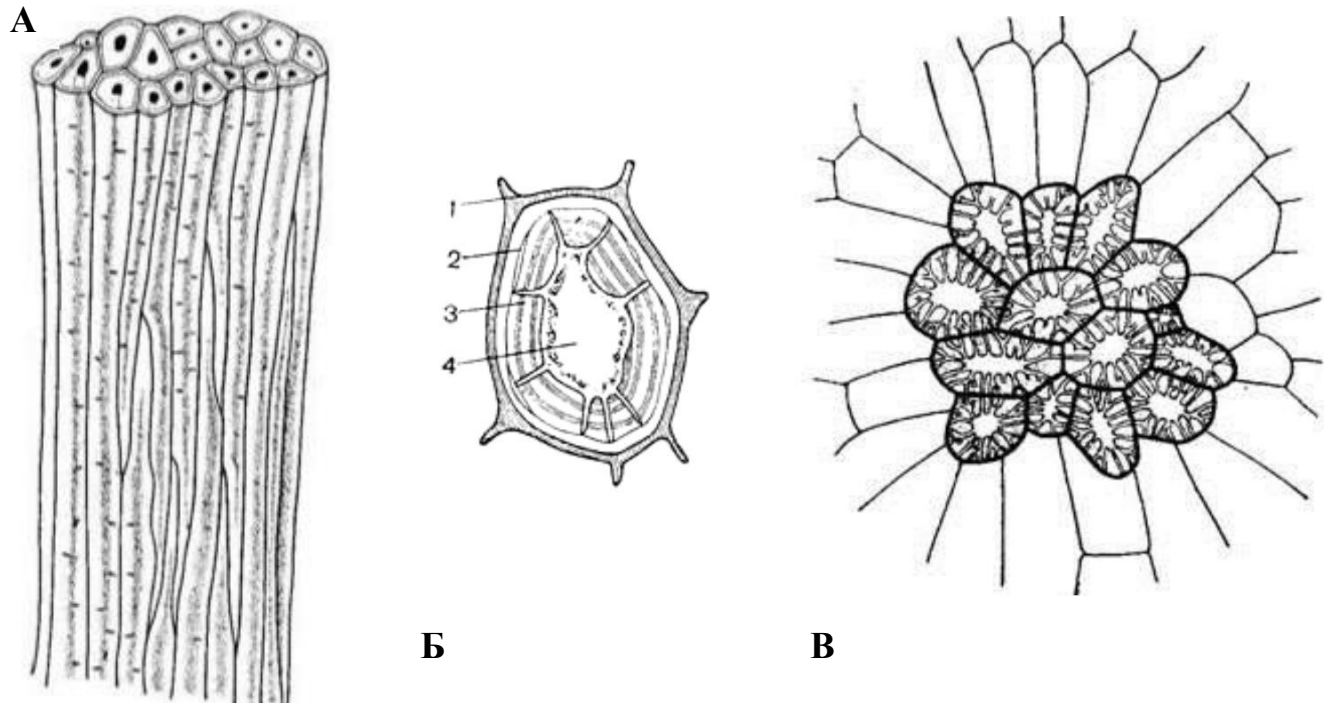


Рис. 1.6 – Склеренхіма: А – група луб'яних волокон; Б – лубяне волокно на поперечному розрізі: 1 – міжклітинна речовина, 2,3 – шари потовщення стінки і порові канали в них, 4 – порожнина клітини; В – склереїди.

*Склереїди* – це структурні елементи механічної тканини плодів, які надають їм твердість, і, навіть, жорсткість. Ступінь твердості залежать як від числа склереїд, так і від їх розташування. У великій кількості склереїди знаходяться в недозрілих плодах груші та айви. В плодах груші вони розташовані невеликими групами – конкреціями, що створює відчуття «зернистості» консистенції. Деякі автори вважають, що зниження твердості плодів груші пов'язані зі зниженням у процесі післязбирального дозрівання кількості склереїд. Проте, результатами останніх досліджень встановлено, що кількість склереїд при зберіганні плодів груші не зменшується, натомість змінюється їх будова. При цьому, протопласт залишається майже незмінним, а порові канали стають менш помітними, згладжуються, а інколи, і зовсім зникають (рис. 1.7).

*Провідна система рослин* представлена *ксилемою* і *флоемою*. Елементи ксилеми і флоеми – це довгі, витягнуті клітини рослин. Ксилема і флоема сполучені в судинно-волокнисті пучки, в них також знаходяться паренхімні клітини і механічні волокна.

Провідні елементи *ксилеми* – судини, мають здерев'янілу оболонку, по них пересуваються вода і мінеральні речовини.

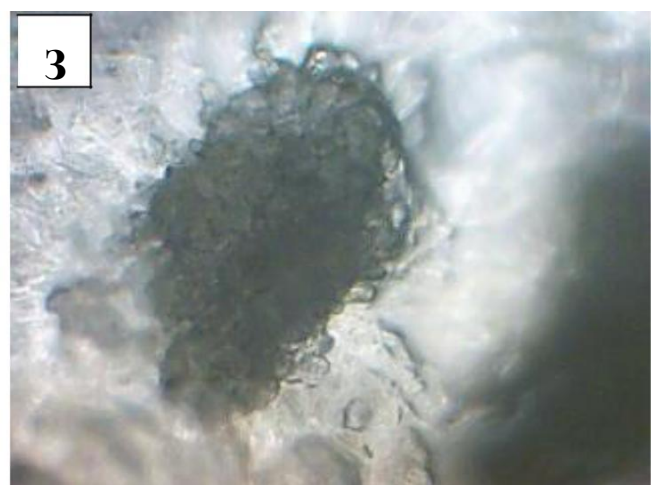
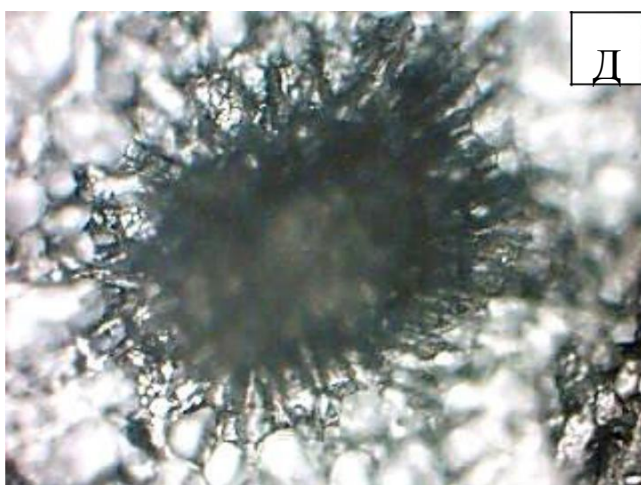
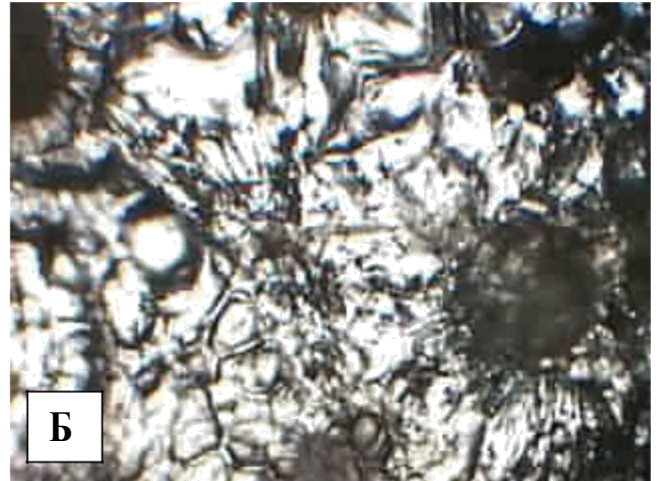
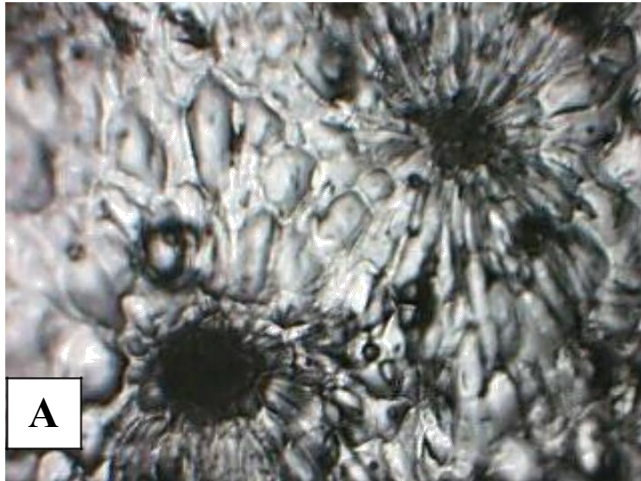


Рис. 1.7 – Склереїди у плодах груші: А, В, Д – при закладання плодів на зберігання, Б, Г, З – після досягання протягом тривалого зберігання.

*Флоема* складається із ситоподібних трубок, луб'яної паренхіми і луб'яних волокон. По флоемі пересуваються органічні речовини. Провідна система активно функціонує в період утворення органів. В період зберігання вона мало використовується і відновлюється знову при проростанні.

Рослини на відміну від тварин ростуть і утворюють нові органи протягом усього життя. Це зумовлено наявністю *меристематичних* тканин, які локалізовані в певних місцях рослини. Меристематичні тканини плодів і овочів мають різноманітне місце знаходження (рис.1.8). У коренеплодів новий пагін утворюється на верхівці, частина цих бруньок утворює на наступний рік листки, а друга частина – квітучу стрілку. В цибулині бруньки сховані під м'ясистими лусочками, а білокачанної капусти вони знаходяться в пазухах кожного листка. Меристематичні тканини плодів зосереджені в насінні.

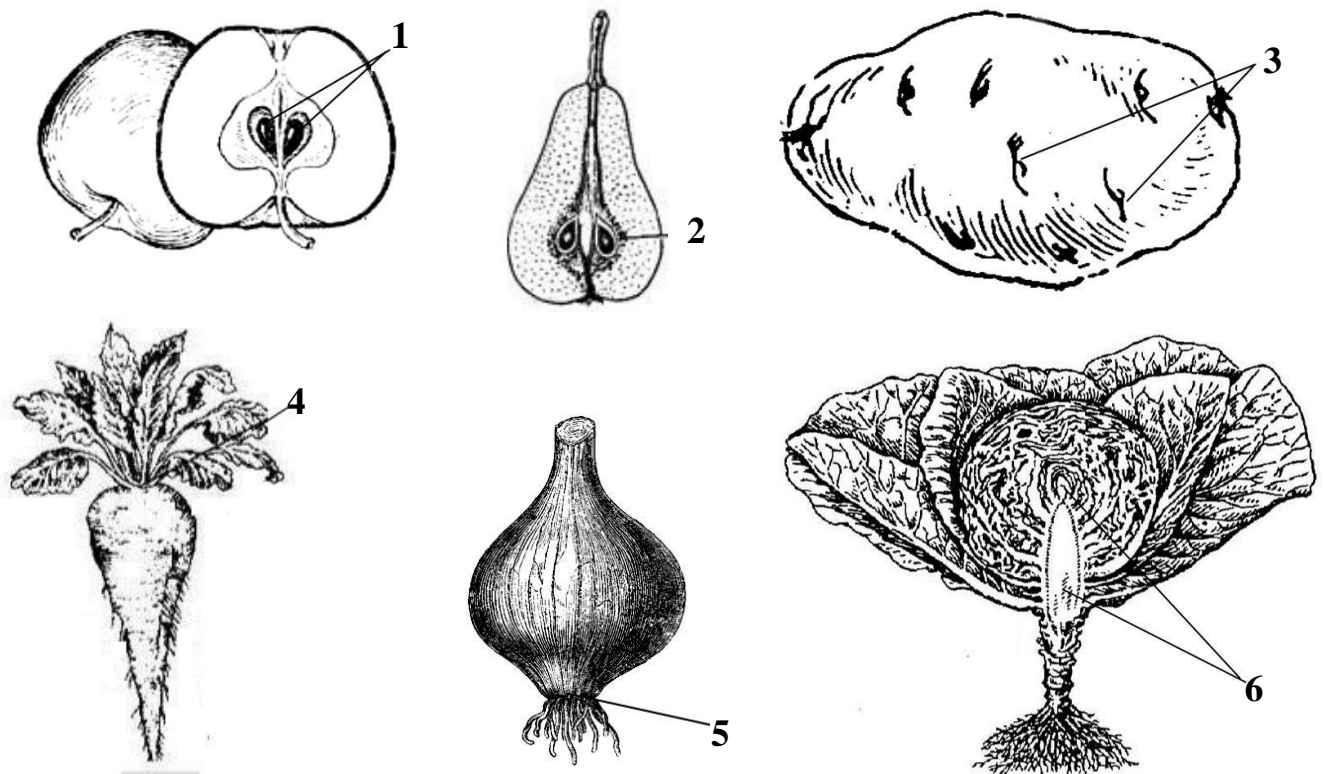


Рис. 1.8 – Точки росту ( меристематичні тканини) плодів та овочів: 1 – насіння яблука, 2 – насіння плодів груші, 3 – вічка (бруньки) картоплі, 4 – брунька головки моркви, 5 – пазухова брунька цибулі, 6 – верхівкова та пазухова бруньки капусти.

У місцях пошкодження природної перидерми плодоовочевої продукції утворюється *ранева меристема (перидерма)* (рис.1.9). Природна перидерма утворюється внаслідок розриву тканин епідермісу при розростанні бульб, а ранава - штучного механічного пошкодження.

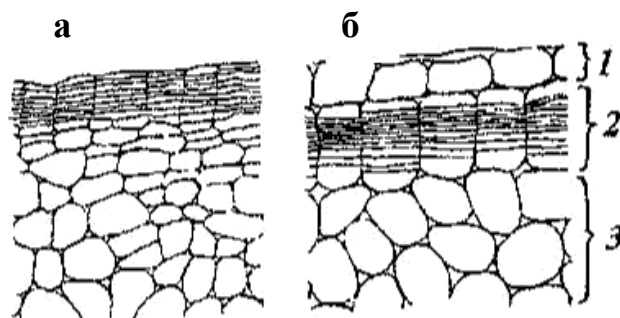


Рис. 1.9 – Будова природної та реневої перидерми: а – будова природної перидерми, б – будова реневої перидерми: 1 – відмерлий прошарок клітин і опробковіла тканина, 2 – ренева перидерма, 3 – паренхіма.

Початком утворення реневої перидерми вважається всихання пошкоджених і непошкоджених клітин реневої зони та прилеглих до неї ділянок. У моркви, буряка, картоплі підсихання супроводжується суберинізацією та відмиранням клітин реневої зони, причому товщина суберинізованого шару в моркви становить 3,8...29,9 мкм. У картоплі, окрім суберинізованої реневої зони та утворення реневої пробки, формується ренева перидерма, яка складається з 6...9 шарів перидермальних клітин. У моркви за високої температури лікувального періоду (вище 20°C) утворюється 1...2 шари. У інших плодів та овочів новоутворення реневої перидерми не доведено, а раневі процеси обумовлені тільки процесом усихання прилеглих клітин.

Вивчення складної структури клітини допомагає зрозуміти, як в умовах мікроскопічно малого простору створюються найбільш сприятливі умови для біохімічних реакцій, що протікають у конкретний момент у визначеній ділянці клітки. Будова клітини дозволяє розмежувати ферментативні процеси, що відбуваються в різних її частинах, і дає можливість одночасно протікати в ній величезній кількості реакцій.

#### *Контрольні запитання:*

1. Назвіть основні структури рослинної клітини і їх функції.
2. Опишіть будову цитоплазматичної мембрани і перелічте її функції.
3. Назвіть основні функції цитоплазми, її склад, будова.
4. Назвіть фактори, що впливають на колоїдну систему та властивості цитоплазми.
5. Надайте стислу характеристику вакуолям, охарактеризуйте взаємозв'язок між концентрацією розчинених у ній речовин і осмотичним тиском.
6. В чому сутність плазмолізу цитоплазми?
7. Опишіть особливості будови мітохондрій і їх роль в синтезі речовин.
8. Яка роль головної органели клітки – ядра?

## РОЗДІЛ 2. ВМІСТ ТА ФУНКЦІЇ ВОДИ В ПЛОДАХ І ОВОЧАХ

Вода найбільш розповсюджена сполука в живих організмах та найважливіша складова частина всіх клітин поряд з білками, вуглеводами, ліпідами, ферментами та вітамінами.

Вода – реакційно здатна сполука, вона дуже сильно відрізняється від більшості інших рідин складом і властивостями. Вода і продукти її дисоціації визначають структуру і біологічні властивості білків, нуклеїнових кислот, ліпідів та інших органічних речовин. Вона служить середовищем, в якому існують клітини і за допомогою якого підтримується зв'язок між ними.

Властивості води незвичайні та пов'язані, головним чином, з малим розміром молекул води, з їх полярністю (молекули води є диполями) та здатністю єднатися між собою водневими зв'язками та створювати так звані водяні кластери і клатрати (асоціати) (рис. 2.1 ).

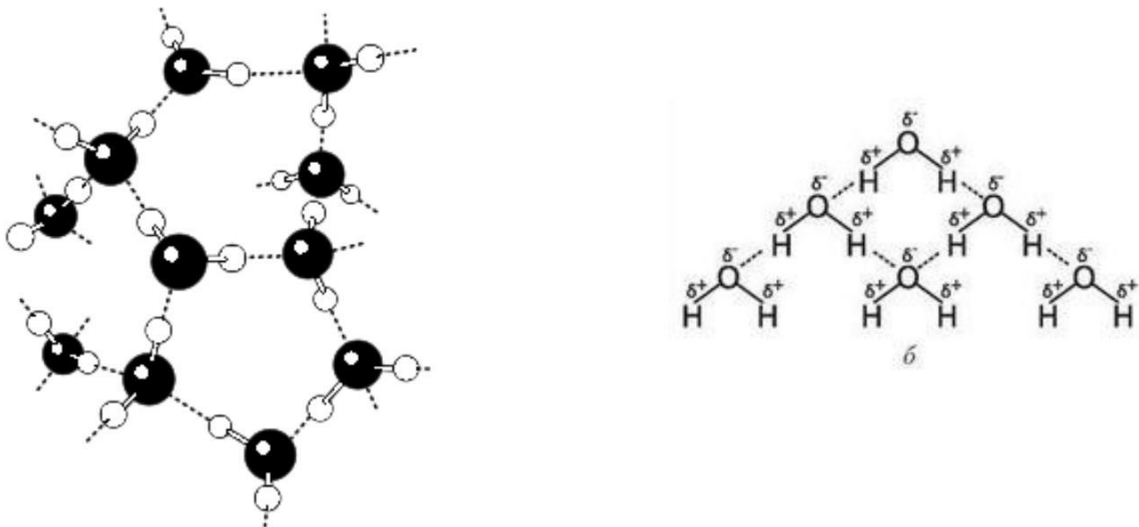


Рис. 2.1 – Модель асоційованих молекул води (а) і схема утворення водневих зв'язків між молекулами води (б)

Водневі зв'язки є слабшими, ніж звичайні для розчинів іонні, але в біохімічних процесах відіграють винятково важливу роль та визначають наступні фізичні і хімічні властивості води:

- молекули води здатні злипатися між собою (когезія) та з іншими речовинами (адгезія);
- великий поверхневий натяг обумовлений когезією, тобто тим, що молекули води зчеплені між собою за допомогою водневих зв'язків;
- відрізняється високим ступенем змочування, здатна підійматися високо вгору у тонких капілярах;
- універсальний розчинник. У воді розчиняється більше речовин, ніж у будь-якій іншій рідині;

- має високу теплопровідність, теплоємність і теплоту плавлення, що обумовлює великі теплові потоки, які відводяться холодильним обладнанням при охолодженні і заморожуванні харчових продуктів;
- має високу температуру кипіння ( 99,98 °С);
- випаровуючись, вода сприяє охолодженню тіл і поверхонь;
- має високу температуру замерзання. Температура початку фазового перетворення води продукту на лід називається кріоскопічною температурою, її величина залежить від виду та стану плодовоцевої сировини і в більшості випадків знаходиться в діапазоні температур від 0 до -2°С;
- максимальна густина зафіксована за температури 3,98 °С;
- при охолодженні від 4 до 0 °С вода розширюється, тобто об'єм льоду стає більше об'єму води, із якої він утворився;
- щільність льоду (0,92 г/см<sup>3</sup>) нижче густини рідкої води;
- температура замерзання води знижується при збільшенні тиску;
- вода відрізняється високою діелектричною сталою;
- вода є активним середовищем, в якому протікають усі біохімічні процеси в клітинах, вона бере участь у реакціях обміну;
- вода регулює спрямованість та інтенсивність осмотичних процесів.

Вода, не є поживною речовиною, але життєво необхідна як реагент і реакційне середовище в ряді хімічних перетворень, стабілізатор конформації біополімерів і як речовина, що полегшує динамічну поведінку макромолекул, включаючи прояв ними каталітичних властивостей.

Вода – важлива складова харчових продуктів. Вона присутня в рослинних продуктах як клітинний і позаклітинний компонент, диспергуюче середовище і розчинник, обумовлюючи їх консистенцію і структуру та впливаючи на зовнішній вигляд, смак і стійкість продукту при зберіганні. Завдяки взаємодії з білками, полісахаридами, ліпідами і солями, вода вносить значний внесок у текстуру їжі. Вміст вологи в харчових продуктах змінюється в широких межах.

Тканини плодів й овочів містять дуже велику кількість води – від 80 до 98 %, що у кількісному відношенні є основною частиною тіла рослини, особливо багато її в молодих органах, які знаходяться у стадії росту. За вмістом води різні види плодів і овочів значно відрізняються (табл. 2.1). Так, вміст води у картоплі в залежності від сорту, району вирощування, ґрунтів і вегетаційного періоду складає 67...83 %, а в огірках 95...98%. Виключення становлять горіхоплідні й фініки – 2...20 %.

Отже, вода присутня в плодовоцевої сировині як клітинний і позаклітинний компонент, як диспергуюче середовище та розчинник, обумовлює консистенцію і структуру плодів та овочів, і впливає на зовнішній вигляд, смак і стійкість продуктів при зберіганні. Для кожного виду і сорту існує характерний мінімум



Таблиця 2.1

## Середній вміст води у плодах, ягодах, овочах, горіхах та грибах %

Вид продукту	Вміст води	Вид продукту	Вміст води	Вид продукту	Вміст води
Абрикос	86,2	Смородина чорна	83,3	Помідор (томат)	92,0
Авокадо	72,0	Фейхоа	83,3	Ревінь (зелень)	91,5
Агрус	84,7	Фініки	20,0	Редис	93,0
Айва	84,0	Хурма	81,5	Редька чорна	88,0
Алича	89,0	Черешня	85,7	Ріпа	89,5
Ананас	85,3	Чорниця	86,0	Салат листовий	94,0
Аронія	80,5	Шипшина	60,0	Буряк	86,0
Апельсин	86,8	Яблука	86,3	Сельдерей (зелень)	94,0
Банан	74,0	Базилік (зелень)	92,1	Сельдерей (корін.)	87,7
Брусниця	86,0	Баклажани	91,0	Спаржа (зелень)	92,7
Виноград	80,5	Брюква	87,8	Топінамбур	79,0
Вишня	84,4	Імбир (коріння)	78,9	Гарбуз	91,8
Лохина	87,7	Кабачки	93,0	Кріп (зелень)	85,5
Горобина	81,1	Капуста білоголова	90,4	Хрон (коріння)	77,0
Гранат	81,0	Капуста брокколі	89,3	Часник	60,0
Грейпфрут	88,8	Капуста брюсельська	86,0	Шпинат (зелень)	91,6
Груші	85,0	Капуста кольрабі	86,2	Щавель (зелень)	92,0
Дуріан	65,0	Капуста червоноголова	91,0	Диня	90,0
Ожина	88,0	Капуста пекінська	94,4	Кавун	92,6
Суниця	87,4	Капуста савойська	90,0	Арахіс	7,9
Інжир	83,0	Капуста цвітна	90,0	Волоський горіх	3,8
Ківі	83,8	Картопля	78,6	Кедровий горіх	2,3
Журавлина	88,9	Кінза (зелень)	92,2	Кешью	5,3
Лимон	87,8	Крес-салат (зелень)	89,4	Кунжут	9,0
Малина	84,7	Листя кульбаби	85,6	Мигдаль	4,0
Манго	83,5	Цибуля зелена (перо)	93,0	Насіння соняшнику	8,0
Мандарин	88,0	Цибуля порей	88,0	Фісташки	4,4
Морошка	83,3	Цибуля ріпчаста	86,0	Фундук	5,4
Нектарин	87,6	Морква	88,0	Арахіс	7,9
Обліпиха	83,0	Морська капуста	88,0	Гриб глива	89,2
Папайя	88,0	Огірок	96,5	Гриби білі	89,4
Персик	86,1	Папороть	88,7	Гриби лисички	88,5
Помело	89,1	Пастернак (коріння)	83,0	Гриби опята	90,0
Слива	86,3	Перець солодкий	91,0	Гриби сиріжки	90,0
Порічка біла	85,4	Петрушка (зелень)	85,0	Гриби печериці	91,0
Порічка червона	85,0	Петрушка (коріння)	83,0	Гриби шиїтаке	89,7

вмісту води, який доводить його тканини до стану тургору, за якого осмотичний тиск в клітинах досягає декількох сот кПа. Тургорний стан клітин плодів і овочів безпосередньо пов'язано з товарною якістю продукції. При зниженні тургору тільки на 5...7 % (в зеленних культурах на 2...3 %) втрачається один з найважливіших показників товарної якості – соковитість (свіжість).

Вода, яка міститься в плодах і овочах нерівномірно розподілена по тканинах. У покривних тканинах (шкірочці) її менше, ніж в паренхімі (м'якоті). Прикладом можуть бути цитрусові плоди, у яких шкірка становить 20...40% їх маси. В шкірці мандаринів середня кількість води 74,7%, в м'якоті - 87,2%.

Вміст води у фініках та горіхах не перевищує 20%, тому процеси метаболізму в них призупинені. Для того, щоб вони активізувалися, вміст води має суттєво зрости.

Загальна вологість продукту вказує на кількість вологи в ньому, але не характеризує її причетність до хімічних і біологічних перетворень. Багато видів плодів та овочів містять велику кількість вологи, і це негативно позначається на їх стабільності в процесі зберігання. Видалення вологи, або зв'язування її осмотичноактивними речовинами, гальмує окисні реакції та інгібує ріст мікроорганізмів. Видалення вологи шляхом висушування або заморожування суттєво впливає на хімічний склад і природні властивості продукту.

Отже, у забезпеченні стійкості плодоовочевої сировини при зберіганні важливу роль відіграє наявність доступної вологи для перетворень, тобто співвідношення вільної та зв'язаної вологи.

Більша частина води в свіжих плодах і овочах знаходиться у вільній, рухомій формі. *Вільна волога* – це волога, яка не пов'язана полімерними компонентами і доступна для протікання біохімічних, хімічних і мікробіологічних реакцій. Вона замерзає при 0 °С.

На частку зв'язаної вологи припадає незначна кількість – не більше 5 %. *Зв'язана волога* – це асоційована вода, яка міцно пов'язана з різними компонентами – білками, ліпідами та вуглеводами за рахунок хімічних і фізичних зв'язків.

З цієї причини порівняно легко висушити плоди і овочі до вологості від 10 до 12%. Подальше зниження вмісту води на кожен відсоток (особливо після 5 %), є достатньо складним завданням, яке може бути вирішено лише за допомогою спеціальних методів сушіння. Аналогічний процес видалення вологи спостерігається і при заморожуванні плодів і овочів, коли велика частина води перетворюється на лід при температурі близько – 5 °С, а для повного заморожування продукту потрібно знизити температуру до – 40 °С і навіть нижче – 50 °С.

*Зв'язана волога* характеризується наступними фізико-хімічними властивостями:

- слабо, або зовсім не розчиняє речовини, які розчиняються у вільній воді;

- має питому теплоємність нижче звичайної, вона приблизно дорівнює теплоємності льоду;
- замерзає при низьких негативних температурах;
- володіє підвищеною щільністю в порівнянні з вільною вологою;
- на відміну від чистої води не електропровідна, тому, що не містить розчинних речовин.

За своїми властивостями зв'язана волога наближається до пружного твердого тіла.

Між різними видами вологи існує динамічна рівновага, одна її форма може переходити в іншу. Дійсний вміст зв'язаної вологи змінюється залежно від виду продукту.

Низькомолекулярні вуглеводи, що накопичуються в клітинному соці та органелах плодоовочевої продукції, володіють здатністю добре зв'язувати вологу. З природним підвищенням їх вмісту, а також під час консервування, при додаванні розчинних речовин, таких, як цукор та сіль, посилюється зв'язок вологи в харчовому продукті.

Відомі наступні форми зв'язку вологи з речовинами і структурними елементами харчового продукту:

- фізико-механічна (волога змочування, волога в макро- і мікро-капілярах);
- фізико-хімічна (волога набрякання, адсорбційна);
- хімічна (іонна і молекулярна).

У плодоовочевій сировині переважають перші дві форми зв'язку, хімічний зв'язок зустрічається рідко.

*Фізико-механічний зв'язок* обумовлений утриманням вологи в проміжках структури – *іммобілізаційна* вода, у мікро- і макрокапілярах і прилипанням її до поверхні часток або продукту (змочування). Вона вилучається з матеріалу випарюванням або механічним способом (віджим, центрифугування, тощо), при цьому основна маса води знаходиться у вільному стані і не змінює своїх властивостей.

*Волога змочування* – волога у вигляді дрібних крапель утримується силами поверхневого натягу на поверхні розрізу тканин продуктів. Вода досить легко видається з продукту, тому що слабозв'язана із субстратом.

*Капілярна волога* заповнює пори і капіляри. Її кількість залежить від ступеня капілярності сировини, матеріалу. При нарізанні плодів, овочів може відбуватися часткова втрата плодового та овочевого соку, який має високу харчову цінність. Капілярна волога впливає на об'єм і соковитість продукту; чим вище капілярний тиск, тим міцніше капілярна волога, пов'язана з матеріалом. Капілярний тиск, в свою чергу, визначається розміром капілярів; чим менше діаметр капіляра (мікрокапіляр), тим він вище і тим міцніше утримується вода.

Навіть при однаковій формі зв'язку вологи її міцність і вплив на властивості тканин неоднакові.

При видаленні вологи висушуванням, перетворенням вологи в лід в процесі заморожування також зменшується кількість слабозв'язаної води. Підвищення осмотичного тиску знижує парціальний тиск водяної пари і активність води зменшується. На цих ефектах ґрунтуються традиційні способи консервування продуктів.

Існує *адсорбційна* і *осмотична* форми вологи.

*Адсорбційна волога* – найбільш міцно зв'язана волога, яка утримується за рахунок сил адсорбції, головним чином, білками. Диполі води фіксуються гідрофільними центрами білків. Число заряджених груп білку залежить від ряду факторів і може зменшуватися навіть до нуля (ізоелектрична точка).

*Осмотична волога* утримується в незруйнованих клітинах за рахунок різниці осмотичного тиску з обох боків клітинних оболонок (напівпроникних мембран) і в клітинних мембранах. В міжклітинних просторах, як і в тканинах з неклітинною структурою, роль напівпроникної перетинки виконує каркас білкових гелів, у вічках якого міститься вода.

Причини зв'язування вологи в складних системах різні. Найбільш міцно зв'язаною є так звана *органічно зв'язана волога*. Вона являє собою дуже малу частину води у високовологих харчових продуктах і знаходиться, наприклад, в щільних областях білка або у складі хімічних гідратів. Іншою, вельми міцно пов'язаною водою є *прилегла волога*, що представляє собою *моношар* при більшості гідрофільних груп неводного компонента. Вода, асоційована таким чином з іонами і іонними групами, є найбільш міцно зв'язаним типом прилеглої води. До моношару примикає *багатошарова вода* (вода полімолекулярної адсорбції), що утворює декілька шарів за прилеглою водою.

У харчових продуктах є також вода, що утримується макромолекулярною матрицею, наприклад, гелі пектину і крохмалю. Рослинні тканини при невеликій кількості органічного матеріалу можуть фізично утримувати великі кількості води. Ця вода не виділяється з харчового продукту навіть при великому механічному зусиллі. З іншого боку, в технологічних процесах обробки вона веде себе майже як чиста вода. Її можна видалити при висушуванні або перетворити на лід при заморожуванні, тобто, властивості цієї води, як вільної, дещо обмежені, але її молекули поведуться подібно водним молекулам в розбавлених сольових розчинах. Саме ця вода становить головну частину води в клітинах і зміна її кількості суттєво впливає на якість харчових продуктів. Вода, що взаємодіє з іонами і іонними групами в харчових продуктах, є найбільш міцно зв'язаною.

Існує взаємозв'язок між вологовмістом харчових продуктів і їх збереженням (або псуванням). Тому основним методом подовження термінів зберігання харчових продуктів завжди було зменшення вмісту вологи шляхом концентрування.

Однак різні харчові продукти з одним і тим же вмістом вологи псуються по-різному. Було встановлено, що при цьому має значення, наскільки вода асоційована з неводними компонентами, тобто вода, яка сильніше зв'язана, менше

здатна підтримати процеси, що лежать в основі псування харчових продуктів, такі як ріст мікроорганізмів і гідролітичні хімічні реакції.

Щоб врахувати ці фактори, було введено термін «активність води». Цей термін характеризує вплив вологи на псування продукту. Водна активність добре корелює зі швидкістю багатьох руйнівних реакцій, вона може бути вимірною і використана для оцінки стану води в харчових продуктах і її причетності до хімічних і біологічних змін. *Активність води* – це відношення тиску парів води над даним продуктом до тиску парів над чистою водою при тій же температурі.

Цей показник означає доступність води для фізичних, хімічних, фізико-хімічних і мікробіологічних процесів та дозволяє встановити взаємозв'язок між станом слабозв'язаної вологи в продукті і можливістю розвитку в ньому мікроорганізмів. Стабільність харчових продуктів і активність води тісно пов'язані. За величиною активності води виділяють: продукти з високою вологістю, з активністю води 0,95...1; продукти з проміжною вологістю, з активністю води 0,9...0,95; продукти з низькою вологістю, з активністю менше 0,9. Свіжа плодоовочева сировина має високу вологість та відноситься до першої групи.

У процесах псування, що протікають при високій вологості, мікроорганізмам належить вирішальна роль. У продуктах з проміжною вологістю можуть протікати різні процеси, в тому числі за участю мікроорганізмів. У продуктах з низькою вологістю можуть відбуватися неферментативне потемніння, втрата водорозчинних речовин (вітамінів), псування, викликане ферментами. Активність мікроорганізмів в таких продуктах пригнічена.

Ферментативні реакції можуть протікати при більш високому вмісті вологи, ніж волога моношару, тобто тоді, коли є вільна вода. Вона необхідна для перенесення субстрату. У ряді ферментативних реакцій вода сама грає роль субстрату.

В основному псування продуктів з проміжною вологістю викликають дріжджі і цвілі, рідше – бактерії. Дріжджі та цвілі викликають псування джемів, та сушених фруктів.

Ефективним засобом для попередження мікробіологічного псування і цілого ряду хімічних реакцій, що знижують якість харчових продуктів при зберіганні, є зниження активності води в харчових продуктах. З метою досягнення тієї чи іншої активності води в продукті можна застосовувати такі технологічні прийоми як:

– адсорбція – продукт висушують, а потім зволожують до певного рівня вологості;

– сушка за допомогою осмосу – харчові продукти занурюють у розчини, активність води в яких менше активності води харчових продуктів. Для цього використовують розчини цукрів або солі. У цьому випадку має місце два протипотока: з розчину в продукт дифундує розчинена речовина, а з продукту в розчин – вода.

Для досягнення необхідної активності води додають різні інгредієнти в продукт, оброблений одним із зазначених вище способів, і дають йому можливість

прийти в рівноважний стан, тому що один лише процес сушіння часто не дозволяє отримати потрібну консистенцію. Застосовуючи зволожувачі, можна збільшити вологість продукту. Потенційними зволожувачами для харчових продуктів є крохмаль, молочна кислота, цукри, гліцерин, тощо.

Крім впливу на хімічні реакції і зростання мікроорганізмів, активність води має значення і для текстури продуктів.

*Заморожування* є найбільш поширеним способом консервування багатьох харчових продуктів. Необхідний ефект при цьому досягається більше від впливу низької температури, ніж від утворення льоду. Утворення льоду в клітинних структурах харчових продуктів і гелях має два важливі наслідки:

- неводні компоненти концентруються в незамерзаючій фазі (незамерзаюча фаза існує в харчових продуктах при всіх температурах зберігання);
- уся вода, яка перетворюється на лід, збільшується приблизно на 9 % в об'ємі.

Під час заморожування вода переходить у кристали льоду різного, але досить високого ступеня чистоти. Всі неводні компоненти концентруються в зменшеній кількості незамерзлої води. Завдяки цьому ефекту, незамерзла фаза істотно змінює такі властивості, як рН, титруєма кислотність, іонна сила, в'язкість, точка замерзання, поверхневий натяг, окиснювально-відновний потенціал.

Ці зміни можуть збільшити швидкість реакцій, що відбуваються в продуктах. Заморожування має два протилежних впливи на швидкість реакцій: низька температура буде її зменшувати, а концентрування компонентів в незамерзлій воді – іноді збільшувати. Так, наприклад, при заморожуванні спостерігається збільшення швидкості реакцій неферментативного потемніння при кислотному гідролізі сахарози або в процесі окислення аскорбінової кислоти, токоферолу в смажених картопляних продуктах,  $\beta$ -каротину та вітаміну А в жирах.

*Вода* необхідна для хімічних, біохімічних реакцій і колоїдних процесів, що протікають у рослинних тканинах під час їхньої переробки. Крім води, природні втрати маси овочів зумовлені також витратами речовин на дихання.

Велика кількість води обумовлює високу рухливість й активність розчинених у ній речовин і впливає на хімічні і біохімічні процеси у клітині рослин, які можуть відбуватися лише у рідкому середовищі.

Достатній вміст води в тканинах овочів і плодів сприяє нормальному, інтенсивному перебігу фізичних процесів, впливає на їх якість та здатність до зберігання.

Відомо, що чим вища оводненість рослинних тканин, тим інтенсивніше відбуваються в них процеси життєдіяльності. У цьому зв'язку показовим є той факт, що чим молодше організм (і рослинний і тваринний), тим вищий в ньому вміст води.

*Діелектрична постійна* води досить висока (80,4 при 20 °С), тому вона як розчинник сприяє дисоціації речовин і, як наслідок, полегшує проходження

процесів життєдіяльності. В багатьох випадках вода безпосередньо бере участь у біохімічних реакціях, що відбуваються в живих клітинах, наприклад гідроліз, гідратація і окиснення, процеси синтезу. Маючи низьку в'язкість і, отже, високу рухомість, будучи універсальним розчинником для багатьох неорганічних солей і органічних речовин, вода сприяє міжклітинному і міжтканинному переміщенню речовин і виведенню їх з організму, стабілізації внутрішньотканинних процесів при зберіганні фруктів та овочів, зокрема під час їх охолодження.

Плодоовочева продукція при зберіганні являє собою теплоінерційну систему, завдяки чому досить надійно запобігає їхньому небезпечному переохолодженню. Крім того, при переохолодженні в період холодильного зберігання плодоовочева продукція здатна частину енергії дихання витратити на підтримку стабільної температури всередині тканини.

Вода з розчиненими в ній поживними і фізіологічно активними речовинами, надзвичайно важливими у харчуванні людини – вуглеводами, азотистими речовинами, вітамінами, мінеральними солями, органічними кислотами, ароматичними речовинами – являють собою *клітинний сік*. Завдяки тому, що в клітинному соку у розчиненому вигляді присутні багато корисних компонентів, засвоєння фруктів та овочів досить високе. У зв'язку з цим більшість видів плодоовочевої продукції використовують як дієтичні і навіть лікарські засоби. Вода в клітинному соку – основна частина загального її вмісту в овочах та фруктах. Вона німічно зв'язана з тканинами рослин і легко випаровується під час сушіння. Друга частина води (10-15 %) міститься в рослинах в колоїдному стані і випаровується важче. Її називають зв'язаною на відміну від води клітинного соку, яку називають вільною. Крім структурної води, яка входить до складу інших молекул, фрукти й овочі містять також сухі речовини в кількості 10-20 %.

Високий вміст вологи негативно позначається на стабільності плодоовочевої сировини в процесі зберігання в охолодженному стані. *Основна причина зменшення маси рослинної сировини – випаровування води*. При випаровуванні води послаблюється тургор клітин і відбувається зів'янення тканин, посилюються процеси розпаду, збільшуються витрати на дихання, порушується енергетичний баланс, знижується стійкість овочів і плодів до ураження мікроорганізмами.

У середньому 2/3 втрат маси овочів і плодів при зберіганні відбувається за рахунок випаровування води і 1/3 за рахунок втрати органічних речовин (за температури до 5°C), при більш високих температурах ці втрати збільшуються. Так, втрати маси бульб картоплі за температури 0°C за рахунок випаровування води втричі більші, ніж у результаті дихання, а при 130°C – у 1,3 рази. Морква за 6 місяців зберігання втрачає 7,3 % своєї ваги, частина якої йде на випаровування – 5,2 %, 2,1 % – на дихання.

Інтенсивність випаровування води залежить від вмісту її у плодах та овочах. За кількістю води та величиною природних втрат маси плодоовочевої сировини поділяється на три групи:

*Перша група* – продукти з великим вмістом води – 90...98%. Це зелені культури, бобові, томатні овочі, огірки, кабачки, патисони, суниця, смородина, малина та ін. Природні втрати води при їх зберіганні досягають 1,0...1,8% маси за місяць.

*Друга група* – овочі та плоди, в яких міститься 80...89 % води. Це капустяні, коренеплідні овочі, цибуля ріпчаста, кавуни, дині, зерняткові, кісточкові, цитрусові плоди, виноград. Природні втрати води при зберіганні досягають 0,6...1,2% маси за місяць.

*Третя група* – овочі та плоди, які містять 63-79% води. Це картопля, часник, горіхи. Природні втрати води при зберіганні досягають 0,5...0,8 % маси за місяць.

Функції організму рослин здійснюються тільки при достатньому вмісті в тканинах води. Так плоди, овочі при втраті води в кількості 5-7 % в'януть і втрачають свіжість.

Втрати води в окремі періоди зберігання неоднакові. У другій половині і в кінці зберігання водоутримувальна здатність колоїдів і тканин зменшується, тому втрати води збільшуються. У сховищах із штучним охолодженням встановлено такі норми втрат (%): для картоплі в грудні-березні - 0,5, у квітні-травні - 0,8; для буряків відповідно - 0,6 і 0,8-0,9; для капусти -1,0 і 1,3 -1,8.

*Теплова обробка.* В продуктах рослинного походження під час будь-якої теплової обробки відбувається зміна вмісту води. Величина втрат залежить від хімічного складу сировини і способу обробки.

В рослинних продуктах зміна вмісту води залежить від кількості і стану білків, вуглеводів (насамперед крохмали) і способу термічної обробки. Так, під час варіння картоплі втрати води складають від 3 до 5 %, а під час її смаження до 50-60 %.

Таким чином, вода у харчових продуктах при переробці і зберіганні може переходити з вільної у зв'язану і навпаки, що викликає зміну властивостей сировини і готової продукції. Наприклад, при випіканні хліба, варінні картоплі відбувається перетворення частини вільної вологи в адсорбційно зв'язану з колоїдними частками білків, крохмалю і інших речовин, а також зростає кількість осмотично утримуваної води. У соках із плодів, ягід, овочів змінюються форми зв'язку води у порівнянні з вихідною сировиною.

#### *Контрольні запитання:*

1. У чому полягає значення води в структурі плодів і овочів?
2. Які форми зв'язку води існують у плодах і овочах?
3. Надайте характеристику терміну «активність води».
4. Які основні групи плодів і овочів виділяють за кількістю води?
5. Наведіть фактори, що впливають на інтенсивність випаровування води і втрати маси плодів та овочів.



### РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ПЛОДІВ ТА ОВОЧІВ

Плоди і овочі відіграють важливу роль в життєдіяльності людини. Значення їх полягає в тому, що вони є основними постачальниками вітамінів, пектинових речовин, клітковини, а також мінеральних елементів лужного характеру, органічних кислот і вуглеводів, містять повноцінні білки, а також смакові речовини, що збуджують апетит. Харчові волокна, що входять до складу плодів й овочів поліпшують моторну функцію шлунково-кишкового тракту.

Правильно харчуватися – це оптимально поєднувати рослинну і тваринну їжу відповідно до віку, характеру праці, стану здоров'я. При споживанні м'яса, жирів, яєць, хлібу, сиру, в організмі утворюються кислі неорганічні сполуки. Для їх нейтралізації потрібні основні, чи лужні, солі, на які багаті овочі й картопля. Найбільше сполук, які нейтралізують кислоти, містяться в зелених овочах.

Енергетична цінність овочів становить від 10 ккал на 100 г продукту в огірках, до 80 ккал у картоплі, тобто в середньому значно нижче чим у зернобобових культурах.

Хімічний склад, а, отже, і харчова цінність плодів й овочів істотно залежать від їхнього сорту, ґрунтових і кліматичних умов вирощування, застосовуваних при вирощуванні добрив, пестицидів й інших хімікатів, ступеня зрілості на момент збирання, умов і строків зберігання.

Хімічний склад основних видів плодів і овочів наведено у табл.3.1, 3.2.

*Вуглеводи плодів і овочів представлені в основному моносахаридами і дисахаридами.* Із плодів найбільшою цукристістю (11-19%) характеризуються банани, ананаси, гранати, інжир, хурма, шовковиця; з баштанних – дині і кавуни – 8,5-9 %; з ягід – виноград і агрус – від 10 до 15 %. Аномально висока цукристість (68 %), за рахунок низького вмісту вологи, характерна для фініків.

У зерняткових плодах (яблуках, груші, айві) переважає фруктоза, мало глюкози і ще менше сахарози. У таких кісточкових, як слива, абрикос, персик, а також у бананах і ананасах більше сахарози. У плодах вишні і черешні, ягодах винограду глюкоза і фруктоза містяться приблизно в рівних співвідношеннях, а сахароза - в мінімальній кількості.

В овочах найбільша кількість цукрів (6,5-8 %) міститься у цибулі, капусті кольрабі, моркві, брукві, петрушці, пастернаку. Сахароза міститься в значних кількостях у цукровому буряку і цукровій тростині, цибулевих овочах, динях.

Рідкі форми цукрів – рафіноза, ксилоза, мальтоза зустрічаються у плодоовочевій продукції в невеликій кількості (до 0,5%).

В процесі зберігання плодів та овочів якісний склад вуглеводів змінюється. В яблуках та грушах, наприклад, у процесі їх дозрівання кількість крохмалю збільшується, а при зберіганні знижується. Це пов'язано з тим, що при дозріванні під час зберігання крохмаль переходить в цукор.

Таблиця 3.1

## Хімічний склад овочів та грибів

Назва сировини	Масова частка %, на сиру масу									Ефірні олії, мг %	Вітамін С, мг %
	Сухі речовини	Цукри	Крохмаль	Клітковина	Пектинові речовини	Білки та азотисті речовини	Ліпіди	Мінеральні речовини	Органічні кислоти		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Морква	11,5-12,0	3,5-6,5	0,2	0,5-3,5	0,6	1,8-3,9	0,1	1,0	0,22-0,25	-	5-10
Буряк столовий	13,5-14,0	7,5-9,0	0,1	0,7-0,9	1,1	1,3-4,5	0,1	1,0	0,06	-	5-12
Редиска	7,0	0,8-4,0	0,3	0,5-1,0	0,2	0,8-2,1	0,1	0,6	0,1	-	11-25
Редька	12,0	1,5-6,4	0,3	0,8-1,7	0,3	1,6-3,7	0,2	1,0	0,1	-	8-30
Петрушка коренеплідна	17,0	6,5-12	4,0	1,1-1,4	1,5	1,1-4,5	0,6	1,1	0,1	-	20-35
Селера коренеплідна	17,0	2,1-6,7	0,6	0,6-1,0	1,7	1,2-2,5	0,3	1,0	0,1	-	8-11
Цибуля ріпчаста сорти: - гостра;	15,0-20,0	12-15	0,1	0,6	0,4	1,4-2,8	-	1,0	0,22	18-100	7-10
- напівгостра;	13,0-18,0	8-12	0,1	0,7	0,4	1,0-2,0	-	1,0	0,22	15-40	6-11
- солодка	8,0-13,0	6-9	0,1	0,7	0,4	1,3-1,5	-	1,0	0,22	10-20	5-10
Цибуля зелена	7,0-9,0	1,5-3,5	сл.	0,9	0,6	1,3-3,0	-	1,0	0,2	5-21	13-30
Цибуля порей	10,0-13,0	6,5	сл.	1,5	0,5	2,0-2,8	-	1,2	0,1	15-20	15-35
Часник	20,0-30,0	2,8-3,2	2,0	0,8	-	5,5-6,5	-	1,5	0,1	40-140	8-10
Томати: - відкритого ґрунту;	6,5-8,0	3,5	0,3	0,5-0,8	0,3	1,1	0,2	0,7	0,5	-	25
- закритого ґрунту	5,4	2,9	0,3	0,3-0,5	0,3	0,6	0,2	0,7	0,5	-	20

Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Перець: - червоний солодкий; - зелений солодкий	9,0-10,0 8,0	5,2 4,0-5,2	0,1 0,1	1,4 1,4	0,4 0,4	1,3 1,3	сл. сл.	0,6 0,5	0,09 0,09	- -	250 150
Баклажани	9,0	4,2	0,9	1,3	0,4	1,2	0,1	0,5	0,2	-	5
Білоголова капуста	10,0	1,5-5,7	0,1	1,0	0,6	1,8	0,1	0,7	0,32	-	20-45
Червоноголова капуста	9,0	2,5-4,7	0,5	0,9-1,3	0,6	0,8	0,1	0,8	0,2	-	35-60
Цвітна капуста	10,0	2,0-4,2	0,5	0,9-1,3	0,5	2,0-3,0	0,3	0,8	0,1	-	30-70
Брюссельсь- ка капуста	14,0	2,5-5,5	0,5	1,0-1,2	0,6	4,8-6,5	-	1,3	0,3	-	100-120
Кольрабі	15,0	7,4	0,5	1,0-1,7	0,6	1,4-2,8	-	1,2	0,1	-	40-50
Салат	4,6-7,9	0,4-1,7	0,6	0,8	-	1,5	0,2	1,0	0,1	-	10-35
Шпинат	7,6-9,2	2,0-2,2	сл.	0,5	-	2,9	0,3	1,8	0,1	-	37-55
Щавель	5,0-11,0	3,0	сл.	1,0	-	1,5	сл.	1,4	0,7	-	30-43
Огірки відкри- того ґрунту	2,5-5	0,8-2,5	0,1	0,1-0,7	0,4	0,8	0,1	0,5	0,1	-	10
Огірки закри- того ґрунту	1,8-3	0,7-2,0	0,1	0,1-0,3	0,4	0,8	0,1	0,5	0,1	-	7
Кабачки	4,9-7,0	0,6-4,9	-	0,1-0,3	0,3	0,6	0,3	0,4	0,1	-	15
Патисони	4,1-8,0	0,6-4,1	сл.	0,1-1,3	0,3	0,6	0,1	0,7	0,1	-	23
Гарбузи	4,0-9,5	1,0-4,0	0,2	0,1-1,2	0,3	1,0	0,1	0,6	0,1	-	8
Кавуни	8,7-11,0	8,7	0,1	0,5	0,5	0,7	0,2	0,6	0,12	-	7
Дині	9,0-12,0	9,0	0,1	0,6	0,4	0,6	-	0,6	0,12	-	20
Білі гриби	11,5	1,1	-	2,3	-	3,7	1,7	0,9	-	-	30
Лисички	9	1,5	-	0,7	-	1,6	1,1	1,0	-	-	34
Маслюки	16,5	0,5	-	1,2	-	2,4	0,7	0,5	-	-	12
Опеньки	10	0,5	-	2,3	-	2,2	1,2	1,0	-	-	17
Печориці	9	0,1	-	0,9	-	4,3	1,0	0,9	-	-	7,0

Таблиця 3.2

## Хімічний склад плодів, ягід та горіхів

Назва сировини	Масова частка %, на сиру масу									Вітамін С, мг %
	Сухі речовини	Цукри	Крохмаль	Кліткови-на	Пектинові речовини	Білки та азотисті речовини	Ліпіди	Мінеральні речовини	Органічні кислоти	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Абрикоси	14,0	9,0	сл.	0,8	0,7-1,32	0,9	0,1	0,7	1,0	10,0
Айва	13,5	7,6	0,3	1,9	0,39-1,22	0,6	0,5	0,8	0,9	23,0
Алича	11,0	6,4	0,03-0,1	0,5	0,9-1,1	0,2	0,3	0,5	2,4	13,0
Ананас	15,0	10,2-14,0	0,05	0,4	0,5	0,4	0,2	0,7	0,7	20,0
Банани	26,0	19,0	2,0-7,0	0,8-2,6	0,6	1,5	0,1	0,9	0,7	10,0
Вишня	15,0	10,3	-	0,5	0,46-0,76	0,8	0,5	0,6	2,4	15,0
Горобина (садова)	19,0	8,5	0,1	3,2	0,8	1,4	0,1	0,8	2,2	70,0
Горобина (чорноплідна)	19,5	10,8	0,1	2,7	0,82	1,5	0,1	1,5	1,3	15,0
Гранат	20,8	11,2-12,0	-	2,7-4,0	0,3	0,9	0,6	0,5	1,9	4,0
Груша	8,0-27,0	6,0-16,0	0,5	0,6	0,01-1,34	0,4	0,3	0,7	0,51	9,0
Інжир	18,0	11,2-14,0	-	2,5	0,6	0,7	0,2	1,1	0,5	2,0
Кизил	15,0	9,0	-	1,5	0,3	1,0	0,1	0,8	2,0	25,0
Персики	14,0	9,5	0,1	0,9	0,6-1,26	0,9	0,1	0,6	0,61	10,0
Слива	10,0-31,0	10,0-20,0	0,03-0,1	0,5	0,9-1,4	0,8	0,3	0,5	1,3	10,0
Хурма	19,5	16,3	0,2	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6	0,1	15,0
Черешня	14,0	10,6	0,08	0,3	0,4-1,3	1,1	0,4	0,4	0,62	15,0
Шовковиця	17,3	12,0	0,05	1,6	0,2	0,7	0,1	0,9	1,2	10,0
Яблука літні	13,0	9,0	0,8	0,6	0,07-1,3	0,4	0,4	0,5	0,8	10,0
Яблука зимові	7,0-25,0	5,0-20,0	0,8	0,6	0,07-1,5	0,4	0,4	0,5	0,8	16,0
Апельсин	12,5	8,1	-	1,4	0,6	0,9	0,2	0,5	1,3	60,0
Грейпфрут	11,0	6,5	-	1,4	0,6	0,9	0,2	0,5	1,3	45,0

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Лимон	12,5	3,0	-	1,3	0,5	0,9	0,1	0,5	5,7	40,0
Мандарин	11,5	8,1	-	0,6	0,4	0,8	0,3	0,5	1,0	38,0
Брусниця	14,0	8,0	-	1,6	0,21-0,4	0,7	0,5	0,2	1,9	15,0
Виноград	19,8	15,0	0,05	0,6	0,6	0,6	0,2	0,5	0,84	6,0
Лохина	11,8	7,0	0,03	1,2	0,7	1,0	0,5	0,3	1,6	20,0
Ожина	12,0	4,4	0,04	2,0	0,5	2,0	0,5	0,7	2,0	15,0
Суниця (садова)	15,5	6,2	0,1	4,0	0,7-0,9	0,8	0,4	0,4	1,28	60,0
Журавлина	11,5	3,8	0,06	2,0	0,22-1,3	0,5	0,2	0,3	3,1	15,0
Агрис	17,0	9,1-10,0	0,04	2,0	0,7	0,7	0,2	0,6	1,9	30,0
Малина	18,0	8,3	0,04	5,1	0,1-0,7	0,8	0,3	0,5	1,9	25,0
Морошка	16,7	6,0	0,05	3,8	0,6	0,8	0,9	0,5	0,8	29,0
Обліпиха	17,0	5,0	0,1	4,7	0,4	0,9	2,5	0,5	2,0	200,0
Порічка біла	15,0	8,0	0,2	2,5	1,1	0,3	0,2	0,7	2,3	40,0
Порічка червона	15,0	7,3	0,2	2,5	0,44-0,68	0,6	0,2	0,5	2,0	25,0
Смородина чорна	15,0	6,7	0,6	3,0	0,68-1,67	1,0	0,2	0,9	2,5	200,0
Чорниця	13,5	8,0	0,1	3,0	0,42-0,69	1,1	0,6	0,9	2,3	10,0
Шипшина свіжа	60,0	10,0	0,5	4,0	0,5	1,6	0,7	2,2	2,3	650,0
Арахіс	90,0	4,2	5,7	6,1	-	26,3	45,2	2,6	-	5,34
Волоський горіх	95,6	3,0	4,9	1,5	-	15,6	65,2	2,0	-	2,8
Мигдаль солідкий	96,0	3,7	13,6	2,6	-	18,6	57,7	3,7	-	1,5
Соняшник (насіння)	98,0	3,4	7,6	3,2	-	20,7	52,9	2,9	-	1,4
Фундук	95,2	3,9	9,9	2,9	-	16,1	66,9	2,3	-	1,4

*Органічні кислоти*, що перебувають у вільному стані, є обов'язковою складовою частиною рослин. визначають смак овочів, плодів й ягід. Вони беруть активну участь у процесі дихання, грають важливу роль при зберіганні, підвищуючи їх збереженість.

Плоди і ягоди містять більше органічних кислот у вільному стані, ніж овочі. Найпоширенішими органічними кислотами є яблучна, лимонна і щавлева.

Залежно від виду плодів й овочів у них переважають наступні кислоти: *яблучна* – у плодах зерняткових і кісточкових плодів; *лимонна* – у цитрусових, журавлині, малині; *винна кислота* – в основному у винограді, а також у суниці, малині і ожині; *щавлева*, що є важливим демінералізуючим фактором – у щавлі, шпинаті, ревені, червоному буряку, у незначних кількостях у ягодах і плодах; *саліцилова кислота*, що має жарознижуючу властивість – у малині і суниці; *бензойна кислота* – у брусниці, журавлині; *буриштинова кислота* міститься головним чином у незрілих плодах, *сорбінова* є природним консервантом – у горобині.

В овочах переважає яблучна кислота, виключення становить картопля, у якій переважає лимонна кислота.

У більшості овочів вміст органічних кислот не перевищує 0,3 %, за винятком ревеню (1 %), томатів (0,8 %) і щавлю (0,7 %). Плоди та ягоди містять набагато більшу кількість органічних кислот (до 2,5 %). Високим вмістом їх відрізняються журавлина, червона і біла порічки, чорна смородина, терен, кизил, горобина, обліпіха, шипшина, ожина. Найбільша кількість органічних кислот (5,7 % лимонної кислоти) міститься у лимонах.

У процесі дозрівання і зберігання плодів вміст кислот у них знижується. При дозріванні брусниці та журавлини в них відбувається накопичення бензойної кислоти, що обумовлює високу збереженість цих ягід.

Вміст *білків* у більшості плодів і овочів невеликий, у плодах і ягодах він становить 0,2...1,5 %, а в овочах – 1...2 %. Найбільш багаті на білок горіхи – 28%, маслини – 7 %, часник – 6,5 %, брюссельська капуста – 5 %, зелень петрушки – 3,7%, капуста кольрабі, капуста цвітна, кріп, хрін, черемша, шпинат – 2,5 %. Вміст білка у картоплі трохи нижче – 1,5-2 %, однак з урахуванням обсягів її споживання, картопля є досить значним джерелом білка.

У процесі життєдіяльності клітин рослин виробляють комплекс речовин, що пригнічують розвиток мікро- і макроорганізмів. З точки зору фізіологічного впливу на організм людини найбільший інтерес становлять *фітонциди*, до складу яких входить комплекс сполук – глікозиди, терпеноїди, дубильні речовини та ін. Фітонциди це, як правило, летучі речовини, що мають антимікробну дію та підвищують імунітет організму.

Фітонциди цибулі, часнику, хрону, гірчиці, редьки, гіркою перцю, петрушки, селери, соку апельсинів, лимонів, томатів впливають на мікроорганізми (стафілокок, стрептокок, черевнотифозну паличку). Богаті на фітонциди томати, перець, листкова петрушка.

*Мінеральні речовини* плодів і овочів представлені переважно лужними сполуками, завдяки цьому вони сприяють підтримці кислотно-лужного балансу

внутрішніх рідин людського організму. До складу плодів і овочів входить більше 60 різних макро- і мікроелементів. Овочі в цілому більш багаті мінералами (до 2,5 %), найбільша їх кількість міститься у брюссельській капусті, капусті кольрабі, петрушці, пастернаку, кріпі, хроні, шпинаті, щавлі, цибульних овочах, картоплі. Вміст мінеральних речовин у плодах і ягодах трохи нижче, ніж у овочах. Найбільший їх вміст у інжирі, горобині, терені, фініках, шипшині.

Переважним елементом зольних речовин є калій, на його частку припадає більше половини всіх мінеральних речовин. Особливо багато калію в картоплі, шпинаті і пастернаку.

Овочі і плоди містять також велику кількість кальцію (салатно-шпинатні і капустяні овочі, зелена цибуля, петрушка, кріп), фосфору (зелений горошок, брюссельська капуста, петрушка, кріп, хрін, часник, шпинат, щавель, картопля) і заліза (шпинат, айва, алича, гранат, груша, інжир, хурма, яблука, чорниця, шипшина).

Такі мікроелементи, як *бор, літій, рубідій, титан, кремній, ванадій, стронцій, алюміній* практично містяться тільки у продуктах харчування рослинного походження.

Плоди й овочі є основним джерелом *вітамінів, провітамінів і вітаміноподібних речовин*.

У плодах і овочах знайдені всі вітаміни крім В<sub>12</sub> і D. Вони найбільш багаті вітамінами С, Р, В<sub>6</sub>, фолієвою кислотою, β-каротином, Е, К і вітаміноподібними речовинами В<sub>15</sub>, U. У незначній кількості в плодах і овочах містяться вітаміни А, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР, В<sub>12</sub>, D. Вони багаті на вітамін С, який забезпечує нормальний обмін вуглеводів і сприяє виведенню із організму токсичних речовин, стійкості до багатьох хвороб, зниженню стомлюваності. Багато в овочах містяться вітамінів групи В, що впливають на працездатність людини. Вітаміни С, РР (нікотинова кислота), А, Д є у зеленому горошку, кольоровій капусті і зелених овочах. У капусті є вітамін U, який запобігає розвитку виразкової хвороби шлунку та дванадцятипалої кишки.

Вміст *жирів* у плодах і овочах (за винятком горіхів) коливається від 0,3 до 2 %. У горіхах (волоських, лісових, кедрових) вміст жиру становить до 60 %. Значна кількість жирів міститься також в оливках і обліпсі.

*Фенольні речовини* (катехіни, лейко-антоциани, антоциани, флавоноїди), мають Р-вітамінну активність, у значній мірі визначають забарвлення, смак і аромат плодів і овочів, беручи участь у формуванні їх біологічної і фізіологічної цінності. Крім того, фенольні речовини мають антисептичні і антиоксидантні властивості. До фенолів належать дубильні речовини, які надають плодам і овочам в'язкий смак.

Фенольні речовини містяться, головним чином, у покривних тканинах і у вакуолях клітин. Великий вміст фенольних речовин (до 2,3 %) є характерним для терпких продуктів, таких як хурма, терен, айва, кизил.

Кожен вид плодів і овочів характеризується наявністю певного набору *пігментів*, які надають йому характерне забарвлення. Пігменти проявляють

антимікробну і антиоксидантну активність. Пігменти плодів і овочів можна розділити на три групи: *флавоноїди*, *каротиноїди* та *хлорофіл*.

*Флавоноїди* – водорозчинні пігменти представлені *антоціанами* і *флавоновими пігментами*.

*Антоціани* – барвники багатьох плодів і овочів, що забарвлюють їх у різні відтінки – від рожевого до фіолетового. У сливах і винограді антоціани містяться тільки в шкоринці, а в смородині, малині, вишні – як у шкоринці, так і у м'якоті плодів. Для різних видів плодоовочевої продукції характерним є переважний вміст одного з антоціанів:

- *цанідін* – сливи, червонокочанна капуста, яблука, картопля;
- *кераціанін* – вишня;
- *бетанін* – буряк.

*Флавонові пігменти* надають забарвлення від жовтого до жовтогарячого кольору.

*Хлорофіл* і *каротиноїди* належать до жиророзчинних пігментів. Хлорофіл надає рослинам зелені кольори, він входить до складу хлоропластів і хромопластів. Багато хлорофілу міститься в листових овочах, особливо у шпинаті, прямих овочах (петрушці і ін.) і в недоспілих плодах.

*Каротиноїди* надають забарвлення від жовтого до червоного. Каротиноїди стійкі до теплової обробки, однак окислюються киснем повітря і руйнуються під дією Уф-променів. Найпоширеніші з них:

– *каротин* (провітамін А) надає плодам і овочам помаранчово-жовте забарвлення. Цей пігмент у значній кількості є у моркві, гарбузі, абрикосах, персиках, обліпсі. Близький до каротину його ізомер лікопін, що має червоне забарвлення, разом з каротином надає томатам помаранчово-червоне забарвлення;

– *ксантофіл* сприяє утворенню жовтого забарвлення у яблуках, грушах, абрикосах, персиках, цитрусових і томатах;

– *лікопін* – пігмент червоно-жовтогарячих кольорів. Надає червоні кольори зрілим томатам. Підвищена кількість лікопіна міститься у кавунах. Лікопін має антиканцерогенні властивості;

– *капсантін* – жовтий пігмент, що входить до складу червоного перцю;

– *цитроксантін* – помаранчово-жовтий пігмент шкоринки цитрусових.

*Споживчі властивості* плодово-овочевої продукції зумовлені їхньою енергетичною, біологічною, фізіологічною, лікувально-профілактичною, органолептичною цінністю, структурно-механічними особливостями, якістю і нешкідливістю.

За рекомендаціями МОЗ України цільовий рівень споживання овочів дорослим населенням повинен становити понад 300 г на добу або 4-5 порцій, кожна з яких дорівнює 75 г. Плодів та ягід - 300 г на добу або дві порції по 150 г на день. Причому, 70...80% річної норми плодів і овочів необхідно споживати в свіжому і 20-30% в переробленому вигляді, що, загалом, становить 120 кг фруктів і 161 кг овочів на 1 людину за рік (табл. 3.3, 3.4).



Таблиця 3.3

## Річна норма споживання плодів та ягід на душу населення

Найменування овочів	Кількість, кг	% від загальної кількості
Всього плодів та ягід, у тому числі:	120	100
Абрикоси	4,0	3,3
Агрus	0,5	0,4
Алича	2,5	2,1
Брусниця	0,25	0,21
Вишня	5,0	4,2
Груші	11,0	9,2
Горіхи	3,0	2,5
Горобина	0,25	0,21
Малина	2,0	1,6
Ожина	0,25	0,21
Персики	4,0	3,3
Слива	9,0	7,5
Смородина	5,0	4,2
Суниця	5,0	4,2
Цитрусові	7,0	5,8
Черешня	6,0	5,0
Чорниця	0,25	0,21
Яблука	55,0	45,85

Таблиця 3.4

## Річна норма споживання овочів на душу населення

Найменування овочів	Кількість, кг	% від загальної кількості
Всього овочів, у тому числі:	161,0	100
Томати	39,0	24,2
Огірки	15,5	9,6
Часник, цибуля	10,5	6,5
Капуста білокачана	30,0	18,6
Капуста цвітна	6,6	4,1
Капуста брюс- сельська	5,0	3,1
Морква	15,5	9,6
Буряки	7,0	4,3
Редиска, редька	1,6	1,0
Перець солодкий	7,0	4,3
Баклажани, кабачки, патисони	6,6	4,1
Горох овочевий	3,3	2,0
Кукурудза цукрова	3,7	2,3
Шпинат, щавель	1,6	1,0
Салат	2,9	1,8
Інші овочі	5,7	3,5

Крім річних норм споживання плодів, ягід та овочів, розроблено добові норми споживання плодоовочевої продукції для різних категорій населення (табл. 3.5, 3.6).

Для вагітних жінок добові норми такі (г): картопля - 200, капуста - 100, буряк - 100, морква - 100, томати та інші овочі — 200, цибуля ріпчаста - 35, фрукти - 200.

Набір продуктів для матерів-годувальниць (г): картопля - 200, буряк, морква, капуста - по 100, томати та інші овочі - 200, цибуля ріпчаста - 35, фрукти - 300, сік яблучний - 200.

Таблиця 3.5

### Добові норми споживання свіжих плодів та овочів

Склад населення	Норми споживання, г		
	картопля	овочі	плоди
Діти до 1 року	27	72	166
від 1 до 3 років	130	140	240
від 4 до 7 років	200	200	260
від 8 до 10 років	300	325	260
від 11 років і старші	300	325	260
Службовці	300	325	240
Робітники фізичної праці із застосуванням механізації	300	325	240
Робітники з інтенсивною фізичною працею	300	400	240
Шахтарі	400	400	240

Таблиця 3.6

### Добові норми споживання фруктів та овочів студентами

Продукт	Норми споживання, г		
	чоловіки	жінки	на період виконання фізичної праці
Картопля	317	268	350
Овочі та баштанні культури	376	317	550
Фрукти	132	112	200
Сухофрукти	5	4	5
Фруктові консерви	-	-	40
Томатне пюре	-	-	25

Енергетична цінність плодів і овочів порівняно з іншими продуктами невелика. Окремі види овочів відрізняються калорійністю (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

**Калорійність та час перетравлювання овочей, плодів, ягід, горіхів та грибів**

Вид продукту	Калорійність, ккал	Час перетравлення, год	Вид продукту	Калорійність, ккал	Час перетравлення, год
1	2	3	4	5	6
Баклажани	24,0	3,3	Абрикоси	41,0	2,4
Бруква	34,0	3,1	Айва	40,0	3,4
Кабачки	23,0	2,3	Алича	27,0	2,5
Капуста білоголова	27,0	3,0	Ананас	49,0	2,1
Капуста квашена	19,0	4,1	Банани	89,0	3,0
Капуста брюссельська	43,0	4,0	Вишня	52,0	2,0
Капуста кольрабі	42,0	3,0	Гранат	52,0	2,3
Капуста червоноголова	24,0	3,4	Груші	42,0	2,3
Цвітна капуста	30,0	2,2	Інжир	49,0	2,2
Картопля	80,0	2,0	Кизил	44,0	3,3
Картопля молода	61,0	2,0	Персики	46,0	2,3
Картопля солодка (батат)	61,0	3,0	Горобина (садова)	43,0	3,0
Цибуля зелена (перо)	19,0	3,0	Горобина (чорноплідна)	52,0	3,0
Цибуля порей	33,0	2,3	Слива	43,0	2,4
Цибуля ріпчаста	41,0	3,1	Хурма	53,0	3,0
Морква червона	34,0	3,0	Черешня	50,0	2,0
Огірки ґрунтові	14,0	2,4	Шовковиця	52,0	2,4
Огірки солені	13,0	4,0	Яблука літні	45,0	2,4
Пастернак (корінь)	47,0	3,3	Яблука зимові	45,0	2,4
Патисони	19,0	3,1	Апельсин	40,0	2,0
Перець зелений солодкий	26,0	3,0	Грейпфрут	35,0	2,0
Перець червоний солодкий	27,0	3,0	Лимон	33,0	1,3
Петрушка (зелень)	49,0	3,0	Мандарин	40,0	2,0
Петрушка (корінь)	53,0	3,3	Брусниця	43,0	2,3

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6
Ревінь (черешки)	16,0	3,0	Виноград	65,0	1,4
Редис	21,0	3,1	Лохина	35,0	2,3
Редька	35,0	3,4	Ожина	31,0	2,3
Ріпа	27,0	4,0	Суниця (садова)	34,0	2,2
Салат	17,0	2,3	Журавлина	26,0	2,3
Буряк	42,0	3,0	Агрис	43,0	2,3
Селера (зелень)	30,0	3,1	Малина	42,0	1,5
Селера (корінь)	32,0	3,3	Морошка	28,0	2,3
Спаржа	21,0	3,0	Обліпіха	52,0	2,3
Томати (грунтові)	23,0	2,0	Порічка біла	38,0	2,3
Кріп	31,0	3,1	Порічка червона	39,0	2,3
Хрін	44,0	3,4	Смородина чорна	38,0	2,3
Черемша	36,0	3,1	Чорниця	44,0	2,3
Часник	46,0	2,4	Шипшина свіжа	51,0	3,3
Шпинат	22,0	3,0	Арахіс	551,0	3,1
Щавель	19,0	2,4	Волоські горіхи	648,0	3,0
Кавун	38,0	2,3	Мигдаль солодкий	645,0	2,3
Диня	38,0	2,4	Соняшник (насіння)	578,0	2,3
Гарбуз	25,0	3,1	Фундук	704,0	3,0
Боби зелені	60,0	2,4	Білі гриби	30,0	2,3
Горошок зелений свіжий	73,0	2,4	Лисички свіжі	20,0	2,3
Квасоля (стручок)	31,0	2,3	Маслюки свіжі	9,0	2,3
Соя	332,0	3,1	Опеньки	17,0	2,3
Квасоля (боби)	292,0	3,0	Підосичники свіжі	22,0	2,3
Сочевиця	284,0	3,0	Рижики свіжі	17,0	2,3
Кукурудза цукрова	245,0	2,4	Печериці свіжі	27,0	2,3

Найменшу калорійність мають зелені овочі: салат, шпинат, щавель – 17...22 ккал на 100 г їстівної частини. Цибуля зелена, капуста білокачана, квасоля стручкова – 19...31 ккал; баклажани, морква, капуста кольрабі, цибуля ріпчаста, редька – 24...42 ккал. Найбільш калорійні: горошок зелений – 73 ккал, картопля – 80 ккал, кукурудза цукрова – 245 ккал, соя – 332 ккал.

Значна кількість плодів має більшу енергетичну цінність (табл. 3.7), ніж овочі, завдяки великому вмісту в них енергоємних харчових речовин (цукрів, крохмалю). Найвищу калорійність мають фініки – 281 ккал., шипшина – 51 ккал, банани – 89 ккал, виноград – 65 ккал. Меншу енергетичну цінність мають хурма – 53 ккал, горобина – 43 ккал, інжир – 49 ккал. Невисоку калорійність мають апельсини, грейпфрути, лимони – 33...40 ккал і ягоди: брусниця, ожина, малина, суниця – 31...43 ккал.

*Біологічна цінність* продуктів харчування визначається вмістом у них 70 різноманітних, необхідних організму речовин. Овочі цінують за вміст у них біологічно активних речовин. В плодах та овочах міститься близько 11 вітамінів і вітаміноподібних речовин, понад 60 мінеральних елементів, а також інших біологічно активних речовин, у тому числі й незамінних. Деякі з цих речовин є тільки у плодах та овочах.

Свіжі овочі та плоди містять багато ферментів, інших речовин, які сприяють засвоєнню харчових речовин. Наприклад, цибуля має ферменти, які розщеплюють білки, мінеральні солі капусти, салату.

Макро- і мікроелементи овочів входять до складу всіх тканин організму та різних речовин.

*Фізіологічна цінність* овочів та продуктів їхньої переробки визначається вмістом різноманітних речовин, які впливають на органи смаку, нервову систему, засвоєння їжі.

Глікозиди, цукри ефективно діють на органи смаку. Виноград, персики, червона порічка, груші, апельсини, лимони, журавлина, вишні збуджують виділення травних соків, а черешні, малина, агрус, абрикоси цей процес гальмують. Посилюють виділення соків ефірні олії, алкалоїди (містяться у цибулі, часнику, хроні, перці та ін.).

Важливу роль у процесі травлення відіграють харчові волокна овочів та плодів: целюлоза, геміцелюлоза, пектин, лігнін. Целюлоза, геміцелюлоза, лігнін відносяться до грубих волокон, вони вважаються баластними, оскільки не засвоюються організмом, але їх дефіцит приводить до порушення процесів травлення.

Органічні кислоти також вважаються сильними збудниками секреції підшлункової залози, стимулюють перистальтику кишечника, мають бактерицидну дію, беруть участь в розчиненні і виведенні з організму уратів.

Фізіологічна цінність плодів та овочів визначається також засвоюваністю організмом окремих речовин. Так, вуглеводи картоплі засвоюються на 95 %, плодів і горіхів – на 90, овочів – на 85, білки плодів і горіхів – на 85, овочів – на 80, картоплі – на 70, а жири – на 95 %.

Моно- і дисахариди відрізняються ступенем засвоєння організмом людини. Сахароза в організмі безпосередньо не засвоюється. Вона гідролітично розщеплюється на глюкозу і фруктозу за схемою:



Цей процес називається інверсією. Безпосередньому окисненню піддаються утворені глюкоза і фруктоза.

Фруктоза – особливо цінний цукор, який легко засвоюється. Не дивлячись на те, що фруктоза повільніше засвоюється в кишечнику, ніж глюкоза, але, потрапляючи в кров, швидко виводиться з неї, не викликаючи перенасичення цукром, що є дуже важливим для профілактики цукрового діабету. До 70...80% фруктози затримується в печінці. У порівнянні з глюкозою вона легше перетворюється на глікоген. Фруктоза у 2 рази солодша за сахарозу і в 3 рази за глюкозу. Чим багатші нею плоди, тим вони солодші. Високий вміст фруктози дозволяє зменшити кількість цукру при приготуванні страв і напоїв, що важливо для складання харчових раціонів обмеженою калорійності.

Моносахариди необхідні організму людини для живлення тканин мозку, роботи м'язів, у тому числі серцевої, підтримки необхідного рівня цукру в крові, створення запасів глікогену в печінці. Доведено пряму залежність витривалості і працездатності людини від їх вмісту в м'язах і печінці.

*Лікувально-профілактична* цінність овочів пов'язана із вмістом у них багатьох харчових сполук. Майже всі овочі – постачальники баластових речовин – клітковини і пектину, що поліпшують роботу кишечника, сприяють виведенню із організму надлишку холестерину, шкідливих продуктів травлення, запобігаючи розвитку атеросклерозу.

Овочі, які містять пектинові речовини (від 0,5 до 3,8 %): буряки столові, капуста білокачана – використовують для профілактичного харчування людей, робота яких пов'язана зі сполуками важких металів, з радіоактивними речовинами. Пектинові речовини, з'єднуючись з важкими металами, радіонуклідами, утворюють сполуки, які не перетравлюються і виводяться із організму.

Клітковина, пектин, флавоноїди, каротиноїди, фенольні кислоти рослинних продуктів, вітаміни С, А, Е підвищують стійкість організму до впливу канцерогенних речовин, що викликають утворення злоякісних пухлин, захищають організм від дії на нього шкідливих хімічних сполук: нітратів, нітритів, нітросоамінів, важких металів, пестицидів, радіонуклідів.

Проте, овочі, забруднені цими сполуками і можуть бути джерелом їхнього надходження в організм людини і викликати негативні наслідки.

Від білкового та вітамінного складу плодів та овочів залежить не тільки стійкість до чужорідних сполук, а й до інфекцій.

Екологічно чисті овочі та продукти їхньої переробки використовують у лікувально-профілактичному харчуванні.

Вуглеводи плодів та овочів стимулюють засвоєння білків, нормалізують діяльність печінки, серця, м'язів, нервової системи. Органічні кислоти

сприяють зниженню рівня холестерину і ліпідів у крові, поліпшують діяльність шлунково-кишкового тракту, нормалізують склад кишкової мікрофлори.

Біологічна та лікувально-профілактична цінність більшості продуктів переробки, порівняно із свіжими плодами та овочами, нижча внаслідок втрати частини біологічно активних речовин. Краще зберігаються ці речовини в швидкозаморожених овочевих продуктах, соках, напоях і солоно-квашених продуктах.

Соки мають лікувально-дієтичну цінність завдяки вмісту в них вітамінів, органічних кислот, мінеральних речовин, легкозасвоюваних вуглеводів, ферментів, проте вони поступаються у цьому свіжим овочам. Тому соки збагачують вітамінами. Соки з м'якоттю мають більш високу біологічну цінність, оскільки м'якоть містить пектинові та мінеральні речовини, ферменти, харчові волокна тощо.

Мінеральні елементи овочів підтримують динамічну рівновагу середовища організму з продуктами харчування. Нестача мінеральних елементів у їжі порушує всі процеси, які відбуваються в організмі: обмін речовин, сольовий склад крові, водно-сольовий обмін, кислотно-лужний стан шлункового соку.

На сьогодні основним недоліком харчування населення є великий дефіцит у раціоні овочевих продуктів (всупереч фізіологічним нормам). Чим багатший за кількістю і структурою раціон харчування, тим краще функціонує організм людини, тим більше шансів зберегти працездатність і здоров'я.

*Смак* овочів залежить від вмісту в них органічних кислот, їхніх солей, цукрів, глікозидів, дубильних та інших речовин. Крім того, смак плодів та овочів зумовлений також кількістю та співвідношенням цих сполук. Якщо у плодах та овочах переважають вільні кислоти, то смак буде кислий, а якщо зв'язані – він буде менш кислий і навіть прісний.

У межах одного виду овочів містяться різні кислоти в певних співвідношеннях, на різних етапах росту і в різній ступені досягання. Тому їхній смак динамічно змінюється і досягає оптимуму у плодах – в споживчій стиглості, овочах – в технічній стиглості. Недостиглі плоди і овочі не набувають властивого їм смаку.

Поряд з цим, показник загальної кислотності не зовсім точно характеризує смаку продукту. Кислий смак залежить від ступеня дисоціації окремих кислот, тобто від концентрації водневих іонів в їх розчинах (рН). Сильні кислоти, наприклад соляна, мають дуже високу ступінь дисоціації, і тому їх розчини відчуються більш кислими, ніж розчини фруктових кислот, які дисоціюють значно слабкіше.

Об'єктивним показником, який характеризує смакові якості плодів, є *цукрово-кислотний індекс (ЦКІ)*. Він визначається як відношення відсоткового вмісту цукрів до відсоткового вмісту кислот.

Фізіологічна компенсація солодкого і кислого смаку приблизно може бути обчислена відношенням мінімальних концентрацій цукрів і кислот, які відчуються на смак (порог відчуття). Для органічних кислот поріг відчуття

кислого смаку (г на 100 мл розчину) є різним та становить: лимонної 0,0154, яблучної 0,0107, винної 0,0075.

Наприклад, сахароза починає відчуватися при концентрації 0,38%, лимонна кислота - при 0,015%. Компенсація кислого смаку буде досягнута при співвідношенні цукру до кислоти

$$0,38 / 0,015 = 25,3.$$

Так поріг відчуття кислого смаку різних цукрів і кислот неоднаковий, а вміст їх у плодах і ягодах мінливий, тому точно розрахувати точку компенсації смаку важко. Різницю смаку плодів можна охарактеризувати відношенням цукрів до кислот, тобто ЦКІ:

25 ... 30 - кислотність не відчувається (груша);

10 ... 20 - слабокислий смак (яблука, апельсини);

5 ... 10 - кислий смак (вишня);

менше 5 – сильнокислий смак (лимон).

Таким чином, на підставі визначення цукрово-кислотного індексу можна характеризувати харчовий продукт як солодкий, кисло-солодкий, кислий, тощо. Наприклад, плоди вишні та черешні неістотно відрізняються за вмістом цукрів, але значно відрізняються за вмістом органічних кислот, звідси смак вишні кисло-солодкий, а черешні - більш нейтральний.

*Органолептичну оцінку* овочів та плодів обумовлюють зовнішній вигляд, стиглість, наявність пошкоджень (механічні, мікробіологічні, фізіологічні, шкідниками), розмір, форма, консистенція, запах, смак.

*Безпека* плодів, овочів та продуктів їхньої переробки характеризується відсутністю шкідливих речовин – важких металів, нітратів, нітритів, пестицидів, радіонуклідів і отрут хвороботворних мікробів.

Гігієнічні норми, затверджені Міністерством охорони здоров'я України, передбачають гранично допустиму кількість токсичних важких металів у свіжих овочах, фруктах та продуктах їхньої переробки (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

**Гранично допустима кількість токсичних важких металів у свіжих овочах, фруктах та продуктах їхньої переробки, мг/кг**

Продукти	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	Sn
Овочі свіжі та свіжоморожені	0,03	5	0,02	0,5	10	-
Фрукти свіжі та свіжоморожені	0,03	5	0,02	0,4	10	-
Гриби свіжі, консервовані й сухі	0,10	10	0,05	0,5	20	-
Консерви овочеві:						
• у скляній тарі	0,03	5	0,02	0,5	10	-
• у металевій тарі	0,05	5	0,02	1,0	10	200
Консерви фруктові:						
* у скляній тарі	0,03	5	0,02	0,4	10	-
• у металевій тарі	0,05	5	0,02	1,0	10	200
Овочі та фрукти сушені *	0,03	5	0,02	0,5	10	-
Продукти дитячого харчування на овочевій і фруктовій основі	0,02	5	0,01	0,3	10	-

\* - у перерахунку на сиру масу.



У процесі вирощування, переробки і зберігання в харчову продукцію потрапляють різні речовини небіологічного походження – ксенобіотики.

Найпоширенішими ксенобіотиками, які входять до складу плодів і овочів є *нітрати*, підвищений вміст яких пов'язаний з надмірним вживанням азотних добрив при вирощуванні рослин. За здатністю накопичувати нітрати плоди і овочі діляться на три групи:

– 1000-1500 мг  $\text{NO}_3^-$  на кг продукції: буряк, редис, шпинат, салат, листові капуста, броколі, редька;

– 200-1000 мг  $\text{NO}_3^-$  на кг продукції: цвітні капуста, морква, картопля, селера, огірки;

– 100 мг  $\text{NO}_3^-$  на кг продукції: томати, перець, дині, яблука, цибуля, баклажани, зелений горошок.

Небезпеку для людського організму становлять не самі нітрати, а продукт їхнього відновлення – *нітрити*. Зниженню вмісту нітратів сприяє технологічна і кулінарна обробка продуктів – консервування, квашення, соління, маринування. При необхідному очищенні, вимочуванні і варінні овочів видалається від 20 до 40 % шкідливих солей. Ефективним способом зниження вмісту нітратів є попереднє бланшування овочів, за допомогою цього прийому можна зменшити концентрацію нітратів на 10-86 %.

*Пестициди*, як і нітрати, розподіляються в плодах і овочах нерівномірно. Основна їхня кількість концентрується в шкоринці плодів і овочів або на її поверхні, практично не проникаючи усередину плодів.

Зниження вмісту пестицидів є очищення від зовнішніх частин рослин – видалення шкірки цитрусових, яблук, груш, бананів, персиків і інших плодів, очищення картоплі, огірків і томатів, видалення зовнішніх листів з капусти і листових овочів. У результаті такої обробки видалається від 50 до 100 % пестицидів.

Екологічно чисті плоди і овочі, продукти їх переробки містять дуже багато *металів*, в тому числі і *важких*, які є життєво необхідними для людини. Це залізо, кальцій, кобальт, магній, марганець, мідь, молібден, натрій, цинк та ін. При концентраціях вищих гранично допустимих кількостей важкі метали із життєво необхідних переходять у шкідливі і токсичні. Плоди, овочі та продукти їх переробки, що містять токсичні важкі метали більш граничної допустимої кількості, для продажу, споживання і переробки не допускаються.

Питання нешкідливості продуктів харчування загострилося у зв'язку з екологією навколишнього середовища, яка склалася внаслідок нераціонального використання добрив, засобів захисту рослин, шкідливих виробництв, посиленого космічного і штучного випромінювання тощо.

#### *Контрольні запитання:*

1. Охарактеризуйте значення плодів та овочів для раціонального харчування.
2. Наведіть фізіологічні норми споживання плодів та овочів в Україні.
3. Чим зумовлена енергетична цінність плодів та овочів?
4. Порівняйте енергетичну цінність окремих видів плодів та овочів.
5. Чим зумовлена біологічна та фізіологічна цінність плодів та овочів?

## РОЗДІЛ 4. АМІНОКИСЛОТИ ТА БІЛКИ, ОБМІН В РОСЛИНАХ

### 4.1 Амінокислоти, будова, властивості

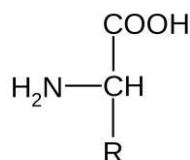
*Амінокислоти* є похідними карбонових кислот, у яких один із воднів вуглецевого ланцюга заміщений на аміногрупу. В залежності від положення – NH<sub>2</sub> групи бувають α-, β-, γ-амінокислоти. У природі зустрічається близько 300 амінокислот, їх можна умовно розділити на дві групи:

1) *вільні амінокислоти (непротеїногенні)*, що не беруть участі в утворенні білків;

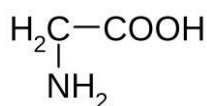
2) *протеїногенні*, ковалентно зв'язані одна з одною у складі пептидів і білків.

Непротеїногенні амінокислоти більш різноманітні у порівнянні з протеїногенними.

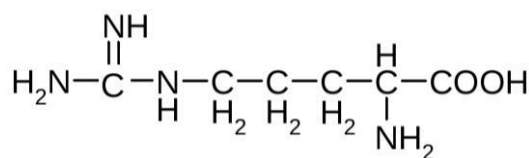
До складу білків входять 20 α-амінокислот, у яких аміногрупа – NH<sub>2</sub> і карбоксильна група – COOH приєднані до того ж самого α-вуглецевого атома. Загальна структурна формула α-амінокислот може бути представлена в наступному вигляді:



α-Амінокислоти відрізняються одна від одної структурою і складом групи R (бічний ланцюг), що може являти собою атом водню, як у гліцині, або більш складне угруповання, як наприклад, гуанідинова група в аргініні.



Гліцин



Аргінін

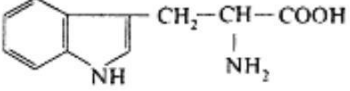
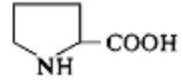
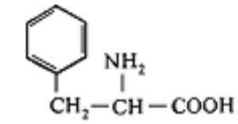
#### 4.1.1 Класифікація амінокислот

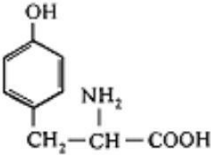
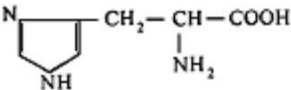
Амінокислоти класифікуються відповідно до хімічної будови на *ациклічні (аліфатичні), ароматичні, гетероциклічні*; за кількістю в молекулі амінних і карбоксильних груп – на моноаміномонокарбонові, діаміномонокарбонові, моноамінодикарбонові, діамінодикарбонові.

За сучасною раціональною класифікацією, *заснованою на полярності радикалів*, виділяють 4 класи амінокислот: 1) неполярні або гідрофобні; 2) полярні (гідрофільні) незаряджені; 3) негативно заряджені; 4) позитивно заряджені при фізіологічних значеннях рН (рН 6,0-7,0).

У таблиці 4.1 представлена класифікація протеїногенних амінокислот. У ній історичні і раціональні найменування, структурні формули і скорочені позначення амінокислот, прийняті у вітчизняній і іноземній літературі.

## Класифікація протеїногенних амінокислот

Назва	Структура	Скорочена назва
1	2	3
<b>I. Неполарні або гідрофобні амінокислоти</b>		
1. L-Аланін ( $\alpha$ – амінопропіонова кислота)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Ала (Ala)
2. L-Валін ( $\alpha$ – аміноізовалеріанова кислота)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} - \text{CH} - \text{COOH} \\ / \quad   \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Вал (Val)
3. L-Лейцин ( $\alpha$ – аміноізокапронова кислота)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\ / \quad \quad   \\ \text{H}_3\text{C} \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Лей (Leu)
4. L-Ізолейцин ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -метилвалеріанова кислота)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH} - \text{COOH} \\ \quad \quad \quad   \quad   \\ \quad \quad \quad \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Иле (Ile)
5. L-Триптофан ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -індолілпропіонова кислота)		Три (Trp)
6. L-Пролін (пірролідин- $\alpha$ -карбонова кислота)		Про (Pro)
7. L-Фенілаланін ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -фенілпропіонова кислота)		Фен (Phe)
8. L-Метіонін ( $\alpha$ -аміно- $\gamma$ -метилтіомасляна кислота)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \quad \quad \quad   \\ \text{S} - \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Мет (Met)
<b>II. Поларні (гідрофільні) незаряджені амінокислоти</b>		
9. Гліцин (амінооцтова кислота)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Гли (Gly)
10. L-Серин ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -оксипропіонова кислота)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Сер (Ser)
11. L-Треонін ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -окси-масляна кислота)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH} - \text{COOH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Тре (Thr)
12. L-Цистеїн ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -тіопропіонова кислота)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \quad   \\ \text{SH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Цис (Cys)
13. Цистин	$\begin{array}{c} \text{HOOC} - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{S} - \text{S} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\ \quad \quad   \quad \quad \quad \quad \quad \quad   \\ \quad \quad \text{NH}_2 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Цит (Cyt)

1	2	3
14. L-Тирозин ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -параоксифенілпропіонова кислота)		Тир (Tyr)
15. L-Аспарагін (амід аспарагінової кислоти)	$\begin{array}{c} \text{O} = \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \qquad \qquad   \\ \text{NH}_2 \qquad \text{NH}_2 \end{array}$	Асн (Asn)
16. L-Глутамин (амід глутамінової кислоти)	$\begin{array}{c} \text{O} = \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{NH}_2 \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$	Глн (Gln)
<b>III. Негативно заряджені (кислі) амінокислоти</b>		
17. L-Аспарагінова кислота ( $\alpha$ -амінобурштинова кислота)	$\begin{array}{c} \text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Асп (Asp)
18. L-Глутамінова кислота ( $\alpha$ -аміноглутарова кислота)	$\begin{array}{c} \text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Глу (Glu)
<b>IV. Позитивно заряджені (основні) амінокислоти</b>		
19. L-Лізин ( $\alpha$ , $\epsilon$ -діамінокапронова кислота)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{NH}_2 \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$	Лиз (Lys)
20. L-Аргінін ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -гуанідинвалеріанова кислота)	$\begin{array}{c} \text{HN} = \text{C} - \text{NH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{NH}_2 \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$	Арг (Arg)
21. L-Гістидин ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -імідазолілпропіонова кислота)		Гис (His)

Вищі рослини можуть містити всі необхідні для білкового синтезу амінокислоти.

У білках є і *модифіковані амінокислоти*. Хімічна модифікація звичайно відбувається вже після того, як вихідна амінокислота включається до складу білка. Один із прикладів важливої модифікації – окиснювання двох-SH груп цистеїнових залишків з утворенням амінокислоти *цистин*, що містить дисульфідний зв'язок.

За розташуванням заступників навколо хірального атома вуглецю розрізняють *L- і D-стереоізомери*, які можна розглядати, як предмет і його дзеркальне відображення. Щоб визначити до L- чи до D-форми відноситься ізомер амінокислоти, порівнюють конфігурацію його хірального центра зі стереоізомерами гліцеринового альдегіду. Якщо аміногрупа розташована праворуч від осі OH-R, то це D-амінокислота (dextro – правий), якщо ліворуч від цієї осі – L-форма (levo – лівий). Такий розподіл амінокислот має біологічне значення. *До складу білків входять тільки L-амінокислоти.*

**Фізико-хімічні властивості амінокислот.** За хімічними властивостями амінокислоти, що мають у своєму складі амінні і карбоксильні групи, є *амфотерними електролітами*.

Крім  $\alpha$ -аміно- і  $\alpha$ -карбоксихильної груп, у загальному заряді молекули в складі кислих і основних амінокислот є ще і третя – *іоногенна група в бічному ланцюзі*. Такі амінокислоти несуть додатковий негативний або позитивний заряд. Біполярність молекул амінокислот обумовлює такі їхні властивості, як розчинність у воді, високі значення діелектричних постійних і температури плавлення.

Функціональні групи амінокислот різноманітні, що дозволяє виявляти більшість їх за допомогою кольорових реакцій. Багатьох з них, дуже чутливих і специфічних, виявляють навіть в малих кількостях у складі складних сумішей, біологічній сировині рослинного походження, білках. Реакція з нінгідрином лежить в основі кількісного визначення амінокислот і білків.

При взаємодії нінгідрину з  $\alpha$ -аміногрупою утворюється продукт синьо-фіолетового кольору. Цю реакцію використовують у різних видах хроматографії.

Аміногрупи амінокислот (пептидів, білків) можуть вступати в реакцію з карбонільними групами альдегідів і цукрами, що відновлюються. Це реакції *меланоїдиноутворення* (рис.4.1).



Рис.4.1 – Схема процесу меланоїдиноутворення.

В результаті реакцій меланоїдиноутворення розщеплюються як амінокислота, так і цукор: з амінокислоти утворюється відповідний альдегід, аміак і оксид вуглецю (IV), а із цукру – *фурфурол* (з пентоз) або *оксиметилфурфурол* (з гексоз).

Одержані з амінокислот альдегіди мають приємний запах. Сполучення запахів різних альдегідів визначає аромат багатьох харчових продуктів. Фурфурол (оксиметилфурфурол) легко вступає в подальші реакції, утворюючи *меланоїдини*. Їх поява обумовлює потемніння низки продуктів при їхньому виготовленні і зберіганні. Особливо інтенсивно протікають реакції меланоїдиноутворення при підвищенні температури: під час сушіння овочів, плодів, смаженні горіхів, кави та ін.

В результаті ферментативного окиснення ароматичних амінокислот

тирозину і фенілаланіну під дією ферменту тирозинази також утворюються темнозбарвленці продукти - *меланіни*, які викликають потемніння на повітрі очищених бульб картоплі, коренеплодів та інших овочів і фруктів.

Білки різного походження відрізняються один від одного кількістю амінокислот. В даний час вивчений амінокислотний склад багатьох сотень білків мікроорганізмів, рослин і тварин.

Кількісний амінокислотний аналіз застосовується для характеристики будь-якого білкового препарату. Кожен білок має цілком визначений амінокислотний склад.

У ряді білків відсутні деякі амінокислоти (наприклад, зеїн кукурудзи не містить лізину, треоніну і гліцину).

В усіх основних видах овочевих культур присутні незамінні амінокислоти (табл. 4.2), що свідчить про їх значну роль у білковому балансі харчування людини.

Таблиця 4.2

**Вміст незамінних амінокислот у овочевих культурах**  
(мг % на сиру речовину)

Вид овочів	Лейцин	Ізолейцин	Лізін	Метіонін	Фенілаланін	Треонін	Валін	Гістидин	Триптофан
Зелений горошок	296	200	288	480	176	184	216	72	40
Квасоля овочева	152	105	140	27	86	94	121	51	23
Картопля	78	62	86	24	51	43	81	21	29
Капуста білоголова	67	55	67	23	35	49	72	38	14
Капуста цвітна	333	173	205	58	122	134	205	70	32
Кукурудза цукрова	45	165	140	98	171	140	207	91	30
Цибуля ріпчаста	19	10	32	8	19	10	15	7	10
Морква	36	26	36	8	21	23	33	9	7
Огірки	26	24	29	9	14	16	21	9	5
Спаржа	163	110	149	38	101	91	149	58	48
Буряк	46	44	46	6,6	20	33	42	20	11
Гарбуз	47	30	47	9	27	22	39	12	10
Томати	27	20	27	6,6	19	20	23	13	5,5
Шпинат	110	61	78	25	66	62	74	25	53

**4.1.2 Біологічна роль окремих амінокислот**

*Гліцин або глікокол.* Як бічний ланцюжок входить до складу циклічних амінокислот (фенілаланін, тирозин, гістидин, триптофан). Біологічна роль визначається також наявністю його похідних: серин, цистеїн, цистін.

*Цистеїн*. У тканинах легко здійснюється ферментативна окиснювально-відновна реакція, обумовлена наявністю в цистеїні реакційно здатної SH-групи. При цьому утворюється *цистін*.

У присутності *цистеїну* знижується інтенсивність окисних процесів у ліпідах і білках. За участю двох залишків цистеїну в поліпептидних ланцюгах утворюються дисульфідні зв'язки, що обумовлюють біологічну активність або функціональні властивості білків у їжі. Особливо важливу роль дисульфідні зв'язки відіграють у білках пшениці, тому що вони додають клейковині пружні властивості.

Фундаментальну роль в обміні речовин відіграють *глутамінова* і *аспарагінова кислоти*. Вони беруть участь у процесах розщеплення, синтезу і переносу активних груп, часто у формі амідів.

*Глутамін*, наприклад, разом з аспарагіновою кислотою є попередником піримідинового кільця нуклеотидів.

З обміном глутамінової кислоти тісно зв'язаний обмін *проліну*, що синтезується з неї в результаті відновлення проліндегідрогеназою. Пролін відіграє важливу роль у формуванні білків пшеничної клейковини.

Основна фізіологічна роль іншої сірковмісної амінокислоти – *метіоніну* зв'язана з наявністю лабільної метильної групи. Віддаючи групу –  $\text{CH}_3$  метіонін бере участь у синтезі гліцерофосфоліпідів.

Фізіологічна роль амінокислоти *серин* полягає в тому, що у великій кількості входить до складу складних білків – *фосфопротеїдів*.

Незамінна амінокислота *триптофан* є попередником нікотинової кислоти і індолілоцтової кислоти – гормону росту рослин.

*Тирозин* є відповідальним за темний колір харчових продуктів (наприклад, житнього хліба), тому що з його участю синтезуються темнокольорові пігменти – *меланіни*. Під дією мідьвмісного ферменту тирозин перетворюється в диоксифенілаланін (ДОФА), що далі окиснюється, циклізується, утворюється індолхінон. Полімеризація останнього приводить до синтезу меланінів. Тирозин утворюється з фенілаланіну.

Таким чином, наведені відомості показують, яку велику роль відіграють амінокислоти в синтезі найважливіших фізіологічно активних сполук і забезпеченні деяких властивостей харчової сировини і продуктів.

## **4.2 Білки, склад, властивості**

### **4.2.1 Функції білків**

*Білки* – найважливіший компонент живих організмів не тільки за значенням, але і за кількісним вмістом в тканинах. У рослинах білка міститься менше, ніж в організмах тварин.

*Білки*, або *протеїни* (від грецької *protos* – перший) складають основу живої матерії і відіграють вирішальну роль у функціонуванні будь-якого організму. Вони є азотвмісними високомолекулярними органічними сполуками

(полімерами), що складаються з амінокислот (мономерів), послідовно з'єднаних між собою пептидними зв'язками.

Кожен білок унікальний за своєю структурою і функціями. За біологічною роллю їх можна поділити на декілька груп:

– *каталітичні білки*. За біологічною значимістю центральне місце серед білків належить ферментам. Усі хімічні перетворення в живих організмах прискорюються і регулюються каталізаторами – ферментами. Більшість вивчених ферментів є простими або складними білками;

– *структурні (опорні) білки*. Ця група найбільш численна. Опорні білки беруть участь у побудові мембран усіх клітин;

– *скорочувальні (рухові) білки*. У живій природі будь-які форми руху (наприклад, рух протоплазми в клітці) здійснюються білковими комплексами;

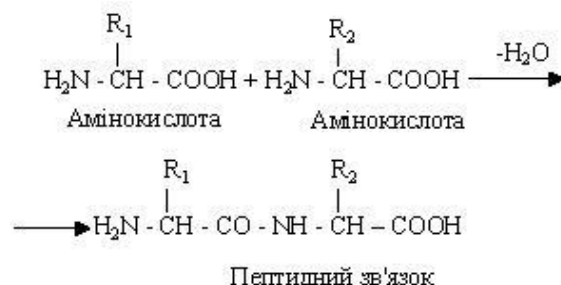
– *транспортні білки*. Деякі білки переносять багато речовин через клітинні мембрани. Так, наприклад, *альбуміни* – переносники ліпідів, вітамінів, іонів металів;

– *рецепторні білки*. До них відносяться білки, здатні вибірково «впізнавати» і приєднувати речовини. Білки-рецептори клітинної мембрани після зв'язування окремих сполук передають інформацію усередину клітин й інших клітин. На такому механізмі заснована органолептика (сприйняття різних роздратувань органами почуттів: нюху, смаку, дотику);

– *регуляторні білки*. Дія білків-регуляторів різноманітна, оскільки вони представлені біологічно активними речовинами – гормонами;

– *енергетичні білки*. При окиснюванні 1 г білка утворюється 4 ккал. Встановлено тісний взаємозв'язок між структурою і функціями молекул білків, тому перш ніж приступати до розгляду їхньої будови необхідно вивчити біохімію амінокислот, що являють собою основні «будівельні» одиниці («цеглинки») білків.

**Поліпептидна будова білків.** Амінокислоти приєднані одна до одної ковалентним амідним зв'язком, що виникає при взаємодії  $\alpha$ -карбоксильної групи однієї амінокислоти з  $\alpha$ -аміногрупою іншої амінокислоти. При цьому виділяється вода. Продукти такої реакції називаються *пептидами*, а сам зв'язок між амінокислотами отримав назву *пептидного*.



У пептидів на одному кінці – вільна аміногрупа, а на іншому – карбоксильна. До цих груп можуть приєднуватися нові амінокислоти, завдяки чому відбувається нарощування пептидного ланцюга.

За числом амінокислотних залишків розрізняють дипептиди, трипептиди, тетрапептиди і т.п. Пептиди, що містять від двох до десяти залишків,



називаються *олігопептидами*. Пептиди, що складаються більш ніж з десяти залишків амінокислот, відносяться до *поліпептидів*.

Початком поліпептидного ланцюга прийнято вважати амінокислоту з вільною  $\alpha$ -аміногрупою (N – кінцева амінокислота), закінченням – амінокислоту з вільною карбоксильною групою (C – кінцева амінокислота).

Найменування пептидів складається з назви першої амінокислоти з типовим для ацилів закінченням -іл, назв наступних амінокислот (також із закінченням -іл) і повної назви останньої амінокислоти (закінчення не змінюється).

У біомолекулах хімічні зв'язки можна поділити на *ковалентні* і *нековалентні*. До ковалентних відносяться пептидний і дисульфідний зв'язки. Важливу роль у підтримці просторової структури біологічних молекул відіграють більш слабкі, чим ковалентні, *хімічні зв'язки* (водневі, гідрофобні взаємодії, ван-дер-ваальсові сили, іонні зв'язки).

**Рівні організації білкової молекули.** При розгляді структури білкової молекули прийнято розрізняти чотири рівні її організації: первинну, вторинну, третинну і четвертинну.

**Первинна структура білка.** Під первинною структурою розуміють число і послідовність амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюзі. Вона визначається: 1) природою вхідних у білок амінокислот; 2) кількістю кожної амінокислоти; 3) суворо визначеною амінокислотною послідовністю поліпептидного ланцюга (рис.4.2).

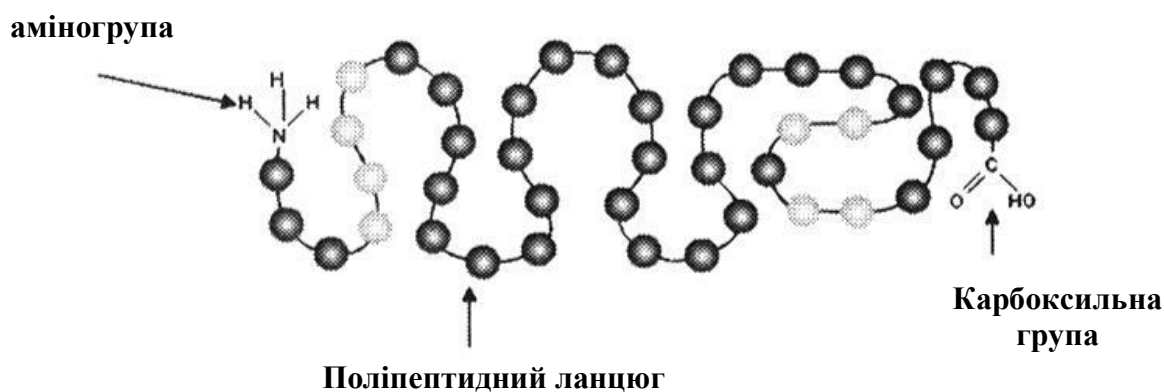


Рис. 4.2 – Первинна структура білка.

Небілкові (простетичні) групи також включаються в первинну структуру білка. Основним типом хімічного зв'язку первинної структури є пептидний зв'язок. Ряд білків має невелике число дисульфідних зв'язків.

Кожен білок характеризується унікальною первинною структурою, обумовленою на генетичному рівні. В даний час встановлено, що біологічна активність білка і його загальна конформація визначаються амінокислотною

послідовністю. Заміна амінокислоти в поліпептидному ланцюзі може привести як до структурних змін молекул білка, так і до змін його фізико-хімічних властивостей і біологічних функцій.

*Вторинна структура білка.* Під вторинною структурою поліпептидного ланцюга розуміють упорядковане просторове розташування окремих її ділянок. У природних білках визначається два основних типи вторинної структури:  $\alpha$ -спіраль і  $\beta$ -структура (складчасті шари) (рис.4.3).

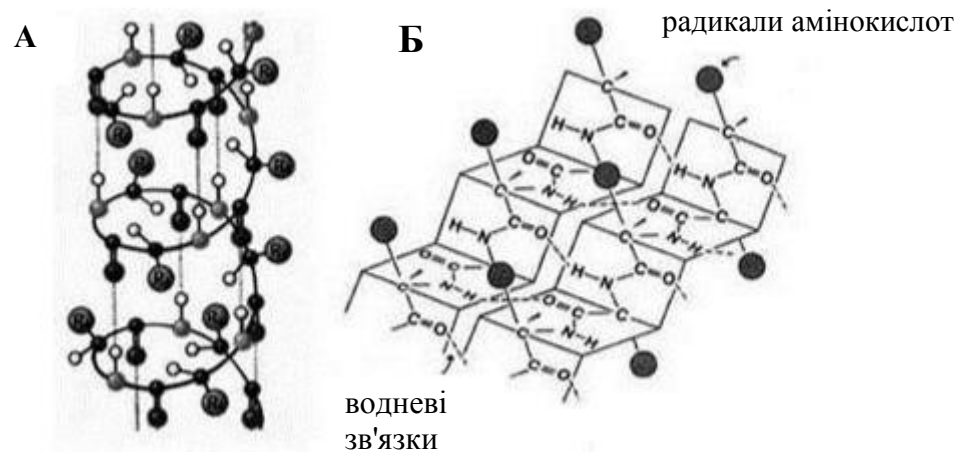


Рис. 4.3 – Вторинна структура білка: А –  $\alpha$  – спіраль, Б –  $\beta$  – структура.

Основним хімічним зв'язком, що підтримує вторинну структуру, є водневий зв'язок.  $\beta$ -структура стабілізується кооперативними міжпептидними водневими зв'язками в межах окремих ділянок одного поліпептидного ланцюга (у глобулярних білках) або між суміжними ланцюгами (у фібрилярних білках).

Білкові молекули, що мають вторинну структуру у вигляді спіралей можуть взаємодіяти одна з одною, утворюючи міжмолекулярні комплекси – *суперспіралізовані* (супервторинні) структури.

У більшості природних білків високо структуровані ділянки ланцюга чергуються з ділянками без вираженої вторинної структури.

*Третинна структура білка* (рис.4.4). Третинна структура поліпептидного ланцюга визначає характер укладання спіральних і лінійних ділянок у даному обсязі. Укладання ланцюга в просторі відбувається з великою точністю: той або інший поліпептидний ланцюг за певних умов згортаються тільки одним-єдиним способом, здобуваючи ту форму, що характерна для молекул даного нативного (природного) білка. Завдяки такій суворій закономірності білок може виконувати своє функціональне призначення.

Форма молекул білка буває різною: від кулястої до нитковидної; за цією ознакою білки поділяються на *глобулярні* і *фібрилярні* (нитковидні). У глобулярних – третинна структура характеризується досить щільним упакуванням ланцюга у вигляді клубка.

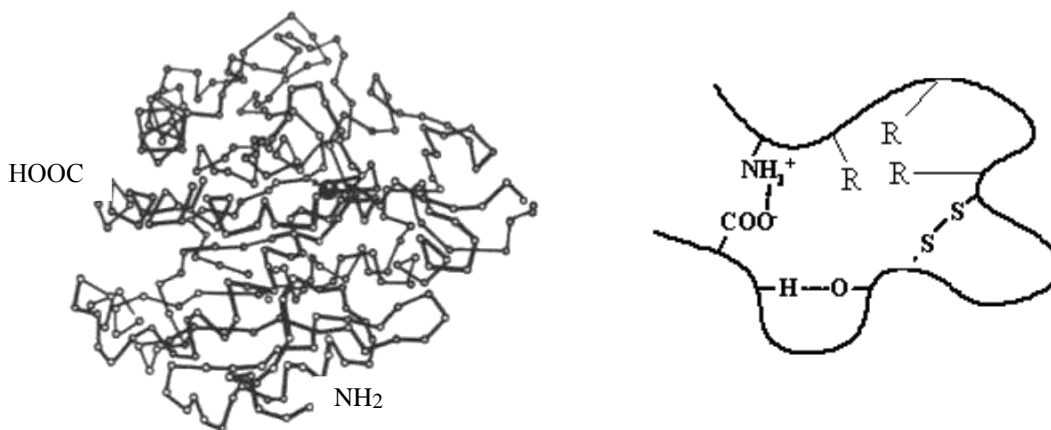


Рис. 4.4 – Третинна структура білка.

**Четвертинна структура білка.** Четвертинна структура характерна для тих білків, молекула яких складається з двох і більш поліпептидних ланцюгів (субодиниць). Причому найчастіше зустрічаються *димери*, *тримери* і *тетрамери*. Стабілізацію четвертинної структури забезпечують нековалентні взаємодії між амінокислотними залишками, розташованими поблизу поверхні кожної глобули.

Молекула білка в четвертинній структурі – це взаємне просторове розташування глобул, що представляють собою єдине ціле в структурному і функціональному сенсі.

Четвертинній структурі належить важлива роль у регуляції біологічної активності білків, тому що вона дуже чутлива до зовнішніх впливів, що викликають зміну взаєморозташування субодиниць і, як наслідок, – зміну активності білка. Таким чином, для кожного білка характерна своя просторова структура – *конформація*. У її формуванні ведуча роль належить первинній структурі, обумовленою інформацією, яка зберігається в ДНК. Нативні структуровані білкові молекули мають великий ступінь упорядкованості в порівнянні з розгорнутою поліпептидною ниткою.

#### 4.2.2 Фізико-хімічні властивості білків

Амінокислотний склад і просторова організація кожного білка визначають його фізико-хімічні властивості. Найважливішою ознакою білків є їх велика молекулярна маса. Вона коливається від 6000 до декількох мільйонів.

**Амфотерні властивості білків.** Білки є *амфотерними електролітами*, тому що в їхніх молекулах присутні як кислотні, так і основні угруповання. Амфотерність білкам додають бічні залишки кислотних і основних амінокислот. Присутність дисоціюючих  $-NH_2$ - і  $-COOH$ -груп обумовлює визначений сумарний заряд білкової молекули, що залежить від рН середовища.

Природні білки в залежності від складу амінокислот можуть мати кислотний або основний характер. У *кислих* білках переважають моноамінодикарбонові кислоти (Асп і Глу). Молекула такого білка в розчині заряджена негативно. Більшість білків відноситься до кислотних, наприклад альбуміни, глобуліни і ін.

У молекулах білків *основного* характеру переважають діаміномонокарбонові кислоти (Лиз, Арг, Гис). У розчині основні білки несуть позитивний заряд.

Сумарний заряд білкової молекули, природно, залежить від рН середовища: у кислому середовищі він позитивний, у лужному – негативний.

Змінюючи рН середовища, можна впливати на константу дисоціації білкової молекули.

При визначеному для кожного білка значенні рН можна досягти такого стану, коли ступінь кислотної дисоціації стане рівним ступеню дисоціації білка як основи, тобто число негативних зарядів зрівнюється з числом позитивних. Заряд такої білкової молекули в цілому практично дорівнює нулю. Значення рН, при якому білок не несе сумарного заряду, називається *ізоелектричною точкою*.

Ізоелектрична точка є характерною константою білка і залежить від амінокислотного складу білкової молекули. Чим вище співвідношення кислі/основні амінокислоти в білку, тим нижче його рН.

Значення ізоелектричної точки дуже важливо для розуміння стабільності білків у розчинах, тому що в ній білки внаслідок електронейтральності найменш стійкі. Незаряджені частки білка можуть злипатися один з одним і випадати в осад.

**Розчинність білків.** Білки – *гідрофільні речовини*, тобто добре розчинні у воді. Під гідратацією розуміють зв'язування диполів води з іонними і полярними групами. Іонними групами в білках, що несуть заряд, є усі  $-NH_2$  і  $COOH$ -групи. У дисоційованому стані вони притягують молекули води за рахунок іон-дипольних взаємодій. Неіонні (незаряджені) полярні бічні угруповання амінокислот ( $-OH$ ,  $-NH$ ,  $-C$ ) утворюють з водою слабкі водневі зв'язки. Вода, зв'язана іонними групами, дуже міцно з'єднана з макромолекулою білка, відокремити її вдається з великими зусиллями. Молекули води, зв'язані з неіонними угрупованнями, білком утримуються менш міцно.

Стабільність розчинам білків додають *заряд білкової молекули* і *гідратна оболонка*. Кожна молекула білка має сумарний заряд одного знака, що перешкоджає агрегації молекул. Тому усі фактори, що сприяють збереженню заряду і гідратної оболонки, полегшують розчинність білка і його стійкість у розчині. Чим більше полярних амінокислот у білку, тим більше молекул води зв'язується. Гідратна вода може складати до 1/5 маси білка.

Розчинність білків у воді зростає при невеликих концентраціях нейтральних солей. Це пояснюється тим, що іони солей, взаємодіючи з протилежними зарядами в білку, екранують заряджені групи білкових молекул і тим самим зменшують білкову взаємодію.

Підвищення концентрації нейтральних солей (збільшення іонної сили розчину) робить зворотну дію. Процес осадження білків нейтральними солями називається *висолюванням*. При великих концентраціях іонів у розчині вони відтягають молекули води від полярних груп білка на себе. При цьому гідратна оболонка білкової молекули частково знімається, тобто порушується один з

факторів стійкості білка в розчині. Характерною рисою білків, отриманих при висолюванні, є збереження ними своїх природних властивостей і функцій після видалення солі.

Розчинність білків залежить і від *розчинника*: його рН, складу і температури. Додавання до білкового розчину органічних розчинників, що змішуються з водою, (етанолу, ацетону й ін.) зменшує розчинність білків. При високих концентраціях розчинників спостерігається випадання білка в осад (у зв'язку зі зменшенням ступеня гідратації білка).

У розчинах білки мають *колоїдні властивості*: вони повільно дифундують, не здатні проникати через напівпроникні мембрани, розсіюють світло, характеризуються високою в'язкістю.

Утворення колоїдних розчинів білками обумовлює багато фізико-хімічних явищ. За певних умов усі колоїдні розчини можуть втрачати плинність і утворювати гелі (драгли). Вони виникають у результаті об'єднання молекул у виді сітки, внутрішній простір якої заповнено великою кількістю розчинника, але при цьому поділу на рідку і тверду фази не відбувається, як у випадку коагуляції.

Однією із властивостей гелів є їхня здатність до *набрякання* – збільшення обсягу за рахунок зв'язування великої кількості води. Такий процес спостерігається при проростанні насіння, при замочуванні крупи, при виготовленні тесту і т.д.

Явище зворотнє набряканню (відділення води від гелю) називається *синерезисом*.

Завдяки наявності гідрофільних і гідрофобних груп білки можуть впливати на розчинність інших речовин, виступаючи в ролі *емульгаторів*. Відомо, що емульгаторами є речовини, що стабілізують емульсії типу «вода-олія».

**Денатурація білків.** Під дією різних факторів нативна просторова структура білкової молекули може порушуватися: руйнуються четвертинна, третинна і вторинна структури (зміни не торкаються первинної структури). Це явище називається *денатурацією*. Денатурація білка призводить до зменшення або повної втрати розчинності, втрати специфічної біологічної активності, зміни оптичних властивостей, в'язкості та ін. При денатурації розриваються зв'язки, що стабілізують структуру білкової молекули. Поліпептидний ланцюг розкручується і знаходиться в розчині в розгорнутому стані або у виді «безладного» клубка. Ступінь денатурації білка може бути різною в залежності від його фізико-хімічних властивостей, природи денатуруючого агента і часу його дії. Для деяких білків денатурація зворотня. При цьому і нативна конформація і біологічна активність білка можуть бути відновлені (при дотриманні визначених умов).

Денатуруючі фактори можна розділити на фізичні і хімічні. До *фізичних* агентів відносяться: *температура, тиск, механічний вплив, ультразвук* й *іонізуюче випромінювання*. Найбільш загальним фактором є нагрівання. Теплова денатурація білків – одна з характерних їхніх ознак. Посилення теплового руху атомів поліпептидного ланцюга приводить до розриву слабких

нековалентних зв'язків. Швидкість теплової денатурації істотно залежить від рН середовища, іонної сили розчину. Теплова денатурація супроводжується агрегацією білків, випаданням їх в осад. Найбільш повне і швидке осадження відбувається в ізоелектричній точці.

Білки денатують при розтиранні сухих препаратів, енергійному струшуванні розчинів, збиванні і т.д. При ліофілізації білків (висушування у вакуумі шляхом сублімації вологи з замороженого стану) більшість їх не денатурує, що дозволяє використовувати цей спосіб сушіння для тривалого збереження білкових препаратів.

До хімічних факторів, що викликають денатурацію, відносяться кислоти, луги, органічні розчинники, поверхнево-активні речовини, алкалоїди, важкі метали і т.п.

### 4.2.3 Класифікація білків

В залежності від хімічного складу білки поділяються на дві групи: прості і складні. Прості білки складаються тільки з амінокислот. У складні білки, крім амінокислот, входять небілкові компоненти, що називають простетичною групою. У свою чергу усередині кожної з цих груп білки підрозділяються на підгрупи. Прості білки умовно класифікують відповідно до їх розчинності в різних речовинах, а складні білки поділяють на основі хімічної природи небілкової частини молекул.

**Прості білки.** До простих білків відносяться альбуміни, глобуліни, проламіни, глютеліни, протаміни, гістони, протеїноїди.

**Альбуміни.** Білки цієї підгрупи мають невелику молекулярну масу (15000-70000 Да); їх відносять до кислих білків через великий вміст глутамінової кислоти. Альбуміни сильно гідратовані, добре розчиняються у воді; з водних розчинів осаджуються при насиченні нейтральними солями, наприклад сульфатом амонію. Альбуміни мають високу адсорбційну здатність.

**Глобуліни.** Ці білки більші, ніж альбуміни; їхня молекулярна маса перевищує 100 000 Да. Глобуліни розчиняються в слабких розчинах різних солей (у воді нерозчинні). При 50-процентному насиченні розчину сульфатом амонію випадають в осад. Глобуліни є слабкокислими і нейтральними білками. Вони складають велику частину білків насіння, особливо бобових і олійних культур.

**Проламіни.** Білки, добре розчинні в 70-процентному етанолі. Проламіни нерозчинні у воді і сольових розчинах. У своєму складі містять багато проліну і глутамінової кислоти. Проламіни є в злаках, де вони виконують роль запасних речовин. Кожний з них має специфічну назву по тому джерелу, з якого вони були виділені: гліадин – білок пшениці і жита, гордеїн – ячменя, зеїн – кукурудзи.

**Глютеліни.** Це білки рослин, нерозчинні у воді, розчинах солей, етиловому спирті. Вони добре розчиняються в слабких лугах (0,2-2 %). Глютеліни містять більше аргініну і менше проліну, ніж проламіни. Комплекс

лугорозчинних білків насіння пшениці називається глютеніном, рису – оризеніном.

Фракційний склад білків зерна обумовлює технологічні властивості пшеничного, житнього, кукурудзяного, вівсяного борошна і різних круп. Білки пшениці добре набухають і утворюють в'язку еластичну масу – клейковину, основну частину якої складають гліадин і глютенін. Менш еластична, хоча і густа маса виходить з білків ячменя. Білкові речовини кукурудзи, вівса, рису, гречки слабо набухають і не здатні утворювати грузле тісто.

*Протаміни.* Це низькомолекулярні білки (молекулярна маса до 12 000 Да), що містять до 80 % основних амінокислот, головним чином аргініну. Отже, протаміни мають різко виражені основні властивості, розчинні в слабких кислотах. Молекули цих білків являють собою полівалентний катіон і легко реагують з негативно зарядженими речовинами, наприклад нуклеїновими кислотами.

Протаміни поширені в природі. Вони утворюють міцний комплекс із молекулами ДНК і у такий спосіб захищають їх від несприятливих впливів.

*Гістони.* Білки з низькою молекулярною масою (12000-24000 Да) і різко вираженими основними властивостями. Розчинні в слабких кислотах. Гістони присутні головним чином у ядрах клітин рослин. Основні їхні функції – структурна і регуляторна. Гістони мають великий позитивний заряд, що дозволяє їм електростатично взаємодіяти з ДНК і стабілізувати її структуру. Регуляторна функція гістонів полягає в їхній здатності блокувати передачу генетичної інформації від ДНК до РНК.

*Протеїноїди.* Малорозчинні фібрилярні білки опорних тканин. Для них характерний високий вміст сірки.

**Складні білки** можна розглядати як молекулярні комплекси двох речовин. Небілкова частина (простетична група) міцно з'єднується з білком ковалентними або нековалентними зв'язками, тому такі комплекси функціонують як єдине ціле.

*Ліпопротеїни (ліпопротеїди).* Простетична група в цих білках представлена ліпідами (вільні жирні кислоти, тригліцероли, фосфоліпіди, холестериди).

Ліпопротеїни поширені в природі. Вони містяться у всіх клітинних мембранах.

*Фосфопропротеїни (фосфопропротеїди).* У цих білків залишок ортофосфорної кислоти з'єднаний ефірним зв'язком з гідроксильною групою серину або треоніну. Фосфопропротеїни виконують безліч функцій у живих організмах. Приєднання фосфору до білка (фосфорилування) змінює активність останнього. Фосфорилування і дефосфорилування білків регулює їхнє функціонування в клітці.

*Глікопротеїни (глікопротеїди).* Простетичні групи глікопротеїнів представлені вуглеводами і їхніми похідними. Вуглеводний компонент надає молекулі білка нові властивості, у тому числі високу специфічність. На відміну від протеїнів для глікопротеїнів характерна термостабільність: вони

витримують і низькі і високі температури без зміни фізико-хімічних властивостей.

Вуглеводвмісні білки знаходяться у всіх організмах. Вони відіграють важливу біологічну роль.

*Хромопротейни (хромопротейіди).* Це складні білки, у яких небілкову частину представляють різні забарвлені сполуки, відкіля і пішла їхня назва (від грец. *chroma* – фарба). Серед хромопротейнів розрізняють гемопротейни (що містять у якості простетичної групи залізо), порфірини (які містять магній), флавопротейни (які містять похідні ізоалоксазину). Хромопротейни виконують ряд унікальних функцій, беручи участь у найважливіших процесах життєдіяльності: фотосинтезі, диханні, транспорті кисню й оксиду вуглецю, окиснювально-відновних реакціях і ін. До простетичних груп хромопротейнів відносяться порфіринове кільце, флавинові нуклеотиди тощо. До хромопротейнів належать хлорофіл, багато ферментів – каталаза, пероксидаза, дегідрогеназа і ін.

*Флавопротейни (флавопротейіди).* До флавопротейнів відносяться білки, пофарбовані в жовтий колір. Фарбування залежить від наявності в них у якості простетичної групи флавінаденіннуклеотиду. Флавопротейни широко поширені і вони відіграють роль ферментів.

*Нуклеопротейни (нуклеопротейіди).* Білки, зв'язані з нуклеїновими кислотами. Вони входять до складу будь-якої клітини і грають важливу біологічну роль, беручи участь в утворенні структурних клітинних елементів і передачі спадкоємної інформації.

#### **4.2.4 Біологічна цінність білків**

*Біологічна цінність білка* виражається у відносних величинах. Вона являє собою відношення досліджуваного параметра цього білка до подібного параметра «ідеального» білка. У якості останнього використовують *казеїн молока, білок яєць, суміш м'язових білків*, що легко переварюються і містять незамінні амінокислоти в співвідношеннях, близьких до еталонних. Біологічна цінність білка в порівнянні з еталонними показує, наскільки він здатний задовольняти потреби організму в амінокислотах. Для оцінки якого-небудь білка або харчового продукту необхідні дані про вміст у ньому окремих амінокислот, тобто його амінокислотний склад.

Частина рослинних білків (бобові) за своїм амінокислотним складом і біологічною цінністю близька до тваринних. Однак білки насіння більшості сортів зернових (рис, овес) дефіцитні за двома, а частіше (пшениця, кукурудза і ін.) за трьома і чотирьма незамінними амінокислотами. Основною лімітуючою амінокислотою білків зернових культур є лізин. Лімітуючі амінокислоти білків зернових різні в насінні різних культур: у пшениці, рисі і житі – треонін, у кукурудзі – триптофан і т.д. Білки бобових культур відрізняються кращою збалансованістю незамінних амінокислот, що містяться в них, у порівнянні з білками злакових.



У харчуванні більшої частини населення земної кулі наявний *дефіцит* трьох незамінних амінокислот: *лізину*, *триптофану* і *метіоніну*. Різний амінокислотний склад рослинних і тваринних білків дозволяє підвищити їхню біологічну цінність при споживанні необхідної кількості різноманітної білкової їжі. Тільки таке харчування можна назвати повноцінним.

У невеликій кількості амінокислоти (лізин, метіонін, триптофан) присутні в плодах і овочах у вільному стані. У процесі зберігання кількість цих амінокислот поступово збільшується, що покращує їхню засвоюваність організмом людини.

Хоча *білкові речовини* в рослинних організмах містяться у невеликій кількості, але в їх будові відіграють важливу роль, оскільки входять до складу ядра клітини та ферментів, завдяки яким в організмі відбуваються всі процеси синтезу й гідролізу. Білки відіграють значну роль при зберіганні і переробці рослинних продуктів. Вони зв'язують воду, внаслідок чого продукція менше в'яне; піддаються денатурації за високих та низьких температурах, що треба враховувати при консервуванні; старіють у процесі зберігання, що зменшує їх гідрофільність; розщеплюються, що супроводжується появою простих продуктів, наприклад, при самозігріванні зеленого горошку утворюється сірководень, який призводить до появи чорного осаду в консервованому продукті.

Плоди та овочі бідні на вміст *азотистих сполук*, але їх значення для харчування людини дуже велике. До них належать білки, амідні амінокислоти і деякі інші речовини, що містять азот. До цієї групи входять також речовини, які утворюються внаслідок гідролізу білків або є джерелом для їх синтезу. Речовини, які зв'язані безпосередньо з білковим обміном, належать до інших груп (глюкозиди, фенольні сполуки, алкоїди). Загальна кількість азотистих сполук у плодах коливається в межах 0,2-1,5 %. В овочах їх дещо більше, в середньому 1-2 %. Але деякі види виділяються підвищеним вмістом, наприклад зелений горошок – 6,6 %; капуста брюсельська – 5,3 %; савойська капуста – 2,7 %; цвітна капуста – 2,5 %; шпинат – 2,3 %. У загальній сумі азотистих речовин овочів та плодів частка білка досить значна, але вони не переважають над іншими речовинами, як це характерно для тваринних білків.

Присутність у плодоовочевій продукції аміачного, амідного азоту і вільних амінокислот має суттєве значення для переробки. Так, дріжджі в процесі життєдіяльності в першу чергу використовують ці сполуки, а білковий азот – з великими труднощами. Із загального вмісту азотистих речовин в бульбах картоплі (2 %) на частку білка припадає близько 60 %. Приблизно половину небілкового азоту становить аспарагін. Найбільш повно досліджений білок картоплі – *туберін*. Він належить до глобулінів – солерозчинних білків. Співвідношення амінокислот в туберіні наближається до ячного альбуміну і його можна вважати повноцінним білком. До повноцінних відносять також білки овочевих бобових культур. У моркві відсутній триптофан, тому її білок неповноцінний. Засвоєння білків картоплі і інших овочів досить високе і становить 70 % засвоєння білків молока, що є еталоном за цим показником. Із амідів в рослинах часто присутні аспарагін і глутамін у значній кількості.

З рослинних продуктів на *білки* найбільш багаті соя, квасоля, горох, сочевиця тощо. Білок цих рослин містить незамінні амінокислоти.

Рослинний білок менш цінний, ніж тваринний. Він є заміною тваринного білку, коли його потрібно обмежувати, наприклад, при захворюваннях нирок.

Однак, порівняно з іншими овочами їх вживання незначне, тому вони не відіграють особливої ролі у білковому балансі харчування.

Вміст білка в картоплі трохи нижче – 1,5-2,0 %, однак з урахуванням обсягів її споживання, картопля є досить значним джерелом білка. Білок картоплі за амінокислотним складом є практично повноцінним, у його складі превалюють валін, лейцин, лізин, треонін і фенілаланін.

У овочах, зокрема у картоплі, розрізняють дві форми азотистих речовин – білковий азот та небілковий. Сортові відміни виявилися більш вираженими за змістом небілкового азоту, чим білкового. Білкового азоту в картоплі у 1,5-2,5 рази більше, ніж небілкового. Біля половини всього небілкового азоту складають амінний азот. В різних сортах картоплі його рівень коливається від 67 до 130 мг%. Вміст вільних амінів складає від 71 до 150мг%. Вміст вільних амінокислот у картоплі різних сортів коливається від 973 до 2330 мг%.

У плодах і овочах важливе біологічне значення мають *нуклеїнові кислоти* (ДНК і РНК) і складні білки нуклеопротеїни. Під час їх зберігання вміст нуклеїнових кислот змінюється. Так, проростання бруньок бульб картоплі і маточників дворічних овочів супроводжується збільшення їх вмісту, особливо РНК. Фізичними методами, наприклад радіаційним опроміненням, можна затримати або попередити проростання, завдяки чому збільшується тривалість зберігання і знижуються втрати продукції. Але інгібування синтезу нуклеїнових кислот, тобто пригнічення меристематичних процесів в конусах наростання маточників дворічних овочів, як правило, призводить до зниження їх природної стійкості до фітопатогенних мікроорганізмів. Формування зародків, насіння і дозрівання плодів також пов'язані з обміном нуклеїнових кислот.

#### *Контрольні запитання:*

1. Наведіть класифікацію амінокислот?
2. Наведіть формули ациклічних амінокислот. В чому полягає їх біологічна роль?
3. Наведіть формули циклічних амінокислот. Яку роль вони виконують?
4. Які амінокислоти називають незамінними?
5. Які продукти утворюються при взаємодії амінокислот з цукрами та з киснем повітря і як вони впливають на товарні якості плодоовочевої продукції?
6. Що таке білки і які їх функції?
7. Назвіть властивості білків.
8. Які класифікації білків Вам відомі?
9. Від чого залежить біологічна цінність білків?

## РОЗДІЛ 5. РОЗПАД ТА СИНТЕЗ БІЛКІВ В ПЛОДАХ ТА ОВОЧАХ

### 5.1 Шляхи обміну амінокислот

**Розпад білків у клітинах рослин.** Для підтримки своєї життєдіяльності, росту і розвитку рослини повинні постійно утворювати велику кількість різноманітних білків. Білки після виконання ними своєї функції розпадаються і продукти розпаду є матеріалом для біосинтезу нових білкових молекул.

Розпад білків в рослинах проходить під дією протеолітичних ферментів, які знаходяться в усіх клітинах і тканинах.

Розпад білків в рослинах – це складний, багатоетапний процес. Він проходить при незначній зміні вільної енергії, тобто для цього процесу не потрібна енергія, а навпаки, у процесі виділяється деяка її кількість.

Ферменти, протеази, що каталізують розпад білків відносяться до гідролаз.

Протеази рослин поділяють на дві групи: протеїнази і пептидази. Вони діють на пептидні зв'язки білкових молекул. Ці ферменти відрізняються між собою за структурою активного центру.

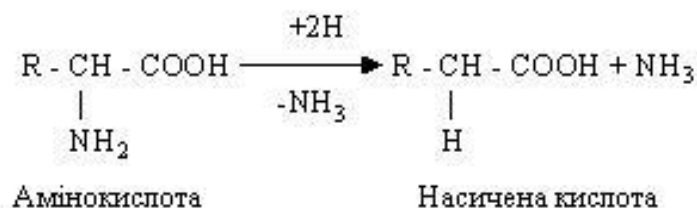
Шляхи внутрішньоклітинного перетворення амінокислот складні і перехрещуються з багатьма іншими реакціями обміну, у результаті чого проміжні продукти обміну амінокислот є необхідним попередником для синтезу різних компонентів клітин і можуть бути біологічно активними речовинами.

В основі різних шляхів обміну амінокислот лежить три типи реакцій: за амінною і карбоксильною групами і за бічним ланцюгом. Реакції за амінною групою включають процеси *дезамінування, переамінування, амінування*, за карбоксильною групою – *декарбоксілювання*. Безазотиста частина вуглецевого кістяка амінокислот піддається різним перетворенням з утворенням сполук, що потім можуть включатися в цикл Кребса для подальшого окиснювання.

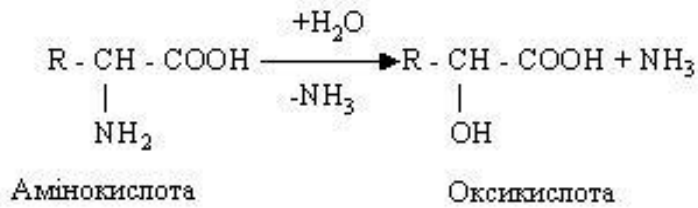
**Дезамінування амінокислот.** Сутність дезамінування полягає в розщепленні амінокислот під дією ферментів на аміак і безазотистий залишок (жирні кислоти, оксикислоти, кетокислоти). Дезамінування може йти у вигляді відбудовного, гідролітичного, окисного і внутрішньомолекулярного процесів. Останні два типи переважають в організмах людини і тварин.

Схематично дезамінування можна представити у такий спосіб:

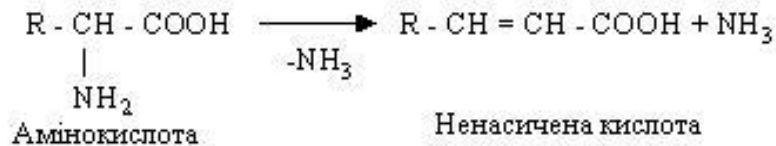
а) відбудовне



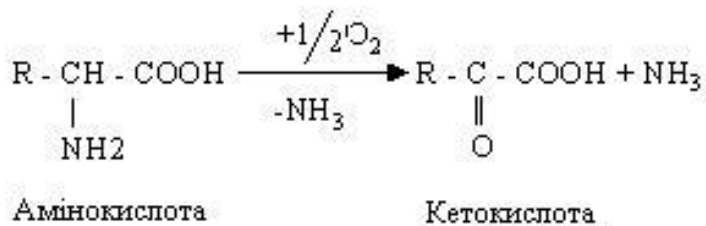
б) гідролітичне



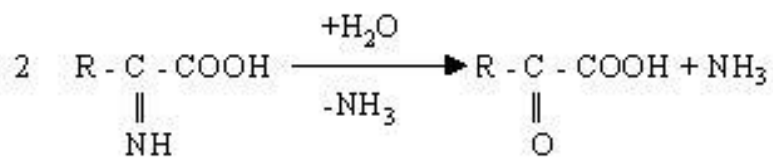
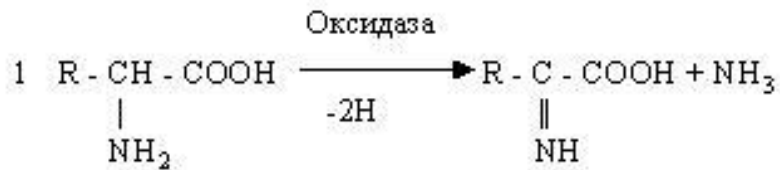
в) внутрішньомолекулярне



г) окисне

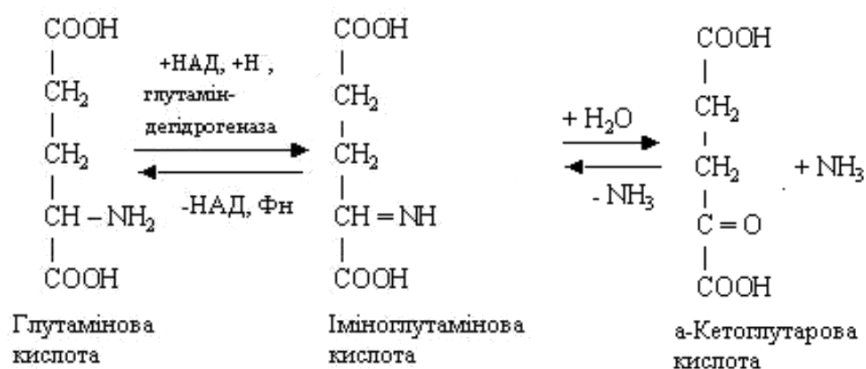


Окисне дезамінування поділяється на дві стадії.



Перша стадія є ферментативною, вона закінчується утворенням нестійкого проміжного продукту – імінокислоти, що у другій стадії спонтанно в присутності води розпадається на аміак і α-кетокислоту. Ферменти, які каталізують цей процес, містять у якості простетичної групи НАД або ФАД.

Найбільш активно протікає дезамінування глутамінової кислоти під дією ферменту *глутаматдегідрогенази*, що знаходиться в мітохондріях клітин усіх тканин. У результаті цього процесу утворюється α-кетоглутарова кислота, яка бере участь у багатьох процесах обміну речовин.



**Трансамінування (переамінування) амінокислот.** Обов'язковою умовою трансамінування є участь дикарбонових амінокислот (глутамінової і аспарагінової), що у вигляді відповідних їм кетокислот - α-кетоглутарової і щавелевооцтової можуть взаємодіяти з всіма амінокислотами, за винятком лізину, треоніну і аргініну.

При переамінуванні відбувається безпосередній перенос аміногрупи з амінокислоти на кетокислоту, а кетогрупи – з кетокислоти на амінокислоту без звільнення при цьому аміаку.

Цей процес протікає в кілька етапів. У загальному вигляді реакція є такою:



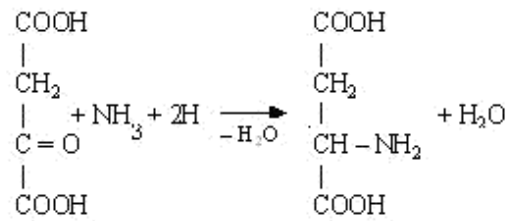
Реакцію каталізують ферменти, що відносяться до класу трансфераз, їх простетичною групою є фосфорпідоксаль – фосфорний ефір вітаміну В<sub>6</sub>.

Процес переамінування дуже розповсюджений у живій природі. Його особливість – легка оборотність.

Реакції переамінування відіграють велику роль в обміні речовин. Від них залежать такі найважливіші процеси, як біосинтез багатьох змінних амінокислот з відповідних їм кетокислот, розпад амінокислот, об'єднання шляхів вуглеводного й амінокислотного обміну, коли з продуктів розпаду глюкози, наприклад піровиноградної кислоти, може утворитися амінокислота аланін, і навпаки.

**Відбудовне амінування** – це процес протилежний дезамінуванню. Він забезпечує зв'язування аміаку кетокислотами з утворенням відповідних амінокислот.

Відбудовне амінування каталізується добре функціонуючою ферментною системою, що забезпечує амінування α-кетоглутарової або щавелевооцтової кислот з утворенням глутамінової або аспарагінової кислоти.

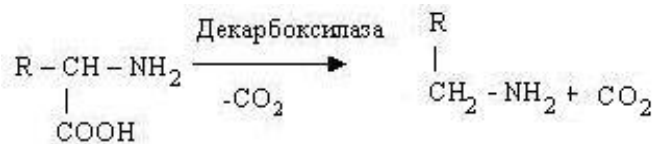


Щавелевооцтова кислота

Аспарагінова кислота

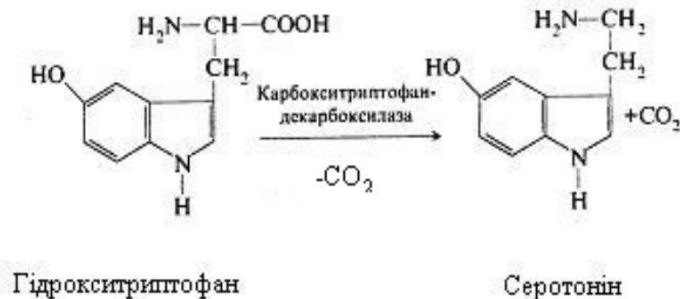
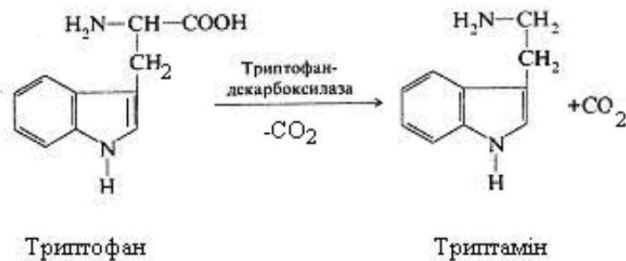
При знешкодженні аміаку органічними й неорганічними кислотами відбувається утворення амонійних солей.

**Декарбоксілювання амінокислот.** Процес декарбоксілювання каталізується декарбоксилазами, специфічними для кожної амінокислоти, протетичною групою яких служить піридоксальфосфат. Ці ферменти відносяться до класу ліаз.

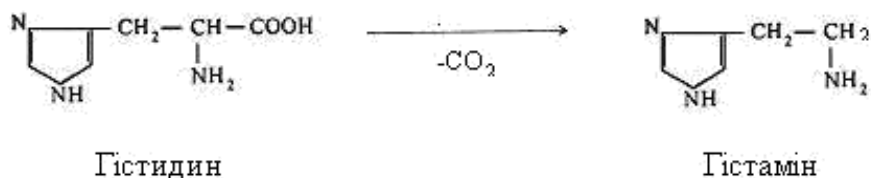


Механізм реакції декарбоксілювання амінокислот зводиться до утворення піридоксальфосфат-субстратного комплексу в активному центрі ферменту.

Таким шляхом із *триптофану* утворюється *триптамін*, з *гідрокситриптофану* – *серотонін*.



З амінокислоти *гістидин* утворюється *гістамін*.



З глутамінової кислоти при декарбоксілюванні утворюється  $\gamma$ -аміномасляна кислота (ГАМК).

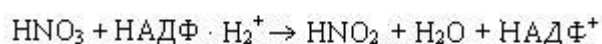


Аміни, утворені з амінокислот, називають *біогенними амінами*, тому що вони виявляють певний біологічний ефект.

Великі концентрації цих сполук загрожують нормальному функціонуванню організму. Однак у тканинах є *аміноксидаза*, що розщеплює аміни до відповідних альдегідів, що потім перетворюються в жирні кислоти і розпадаються до кінцевих продуктів.

**Відновлення нітратів.** Рослини здатні засвоювати із ґрунту нітрати, аміак, амінокислоти і інші сполуки азоту, але основним джерелом азоту для них є насамперед *нітрати*. Вони швидко відновлюються до аміаку, який є вихідною речовиною для біосинтезу органічних сполук. Цей процес відбувається поступово через проміжні стадії.

На *першій* стадії нітрати під дією фермента *нітратредуктази* відновлюються до нітритів. Донором протонів і електронів є НАДФ · Н<sub>2</sub>.



Для відновлення нітратів необхідні відновні форми НАД і НАДФ. Протони і електрони передаються на ФАД (флавіновий кофермент). ФАД відновлюється до ФАДН<sub>2</sub>. Потім він передає електрони на молібденовий кофермент.

*Друга* стадія відновлення нітритів в рослинах – це перетворення нітратів в аміак за допомогою ферменту *нітритредуктази*, у якого донором протонів і електронів є відновлений НАД і НАДФ (НАДН<sub>2</sub>, НАДФН<sub>2</sub>).

У відповідь на надходження нітратів та нітритів інтенсивно утворюються в рослинах ферменти нітратредуктази і нітритредуктази.

*Нітратредуктаза* – це металофлавопротеїд, який містить молібден, залізо і флавінаденіндинуклеотид (ФАД). Цей фермент локалізований у цитоплазмі, його утворення відбувається при надходженні у клітину іонів NO<sub>3</sub>, органічних нітросполук і цитокінінів. При недостатньому освітленні активність нітратредуктази у фотосинтезуючих тканинах низька.

У тканинах молодого листя і кінчиках коренів активність нітратредуктази висока. Тому утворені нітрити не накопичуються, а дуже швидко відновлюються нітритредуктазою до аміаку.

*Нітритредуктаза* – металофлавонопротеїд, у складі якого міститься залізорпфін. Активність цього ферменту значно вища, ніж нітратредуктази. Відновлення нітратної форми азоту до аміачної може відбуватися у наземних і підземних органах рослин. Накопичення великої кількості нітратів в надземних органах рослин відбувається при вирощуванні рослин в несприятливих умовах.

В процесі відновлення нітратів важливу роль відіграють метали – *молібден, мідь, залізо, магній і марганець*, які є активаторами ферментів нітратвідновлюючої системи. При нестачі цих елементів перетворення нітратів різко уповільнюється, що веде до їх накопичення в тканинах рослин і послаблення синтезу органічних сполук азоту.

За достатньої кількості вуглеводів нітрати майже повністю відновлюються в кореневій системі за участю НАДН<sub>2</sub> або НАДФН<sub>2</sub>, які утворюються при розпаді вуглеводів в реакціях ди-, трикарбонових кислот і пентозофосфатному циклах.

При зниженні інтенсивності фотосинтезу спостерігається дефіцит вуглеводів. Внаслідок цього частина нітратів не встигає відновитися в коренях і надходить в надземні органи, де відновлюється за допомогою НАДФН<sub>2</sub>, яка, в свою чергу, утворилася при фотосинтезі. Нітрати можуть відновлюватися і в темряві, але повільніше, ніж на світлі. Аміак, який утворився внаслідок відновлення нітратів, використовується рослиною для синтезу амінокислот і амідів.

**Зв'язування аміаку. Пряме амінування кетокислот.** Після відновлення нітратів утворюється аміак, який використовується для синтезу амінокислот. Цей процес може проходити не тільки в наземних органах рослин, але і в бульбах, коренеплодах, коренях. Пряме амінування кетокислот аміаком є основним шляхом синтезу амінокислот в рослинах. Ця реакція проходить дві фази.

На *першій* фазі кетокислота, приєднуючи аміак утворює амінокислоту. На *другій* фазі амінокислота відновлюється в імінокислоту. Ця реакція відбувається за участю НАДФН<sub>2</sub> або НАДН<sub>2</sub>.

Основні процеси, в результаті яких утворюються кетокислоти – це цикл Кребса і реакції анаеробного розпаду вуглеводів.

В процесі відновного амінування фермент *глутаматдегідрогеназа* каталізує реакцію синтезу глутамінової кислоти. Цей фермент може каталізувати не тільки відновне амінування  $\alpha$ -кетоглутарової кислоти, а й пірвіноградної,  $\alpha$ -кетомасляної та деяких інших кетокислот.

Аміак є отрутою для рослин, особливо при накопиченні його у великій кількості.

Одна із основних реакцій, яка призводить до зв'язування аміаку це використання його для синтезу амінокислот, але при утворенні великої кількості для його нейтралізації в рослинах відбуваються і інші механізми.



*Утворення амідів.* В більшості вищих рослин надлишок аміаку знижується завдяки утворенню амідів – аспарагіна і глутаміна. Аспарагін утворюється із аспарагінової кислоти під дією ферменту *аспарагінсинтетази*. В різних органах рослин, наприклад арахісу, деяких бобових, крім глутаміну і аспарагіну утворюється і накопичується ще один амід –  $\gamma$ -метиленглутамін. Його вміст в багатьох рослинах набагато вищий, ніж глутаміна і аспарагіна, тобто цей амід є основною речовиною, у вигляді якої зв'язується аміак.

*Утворення амонійних солей.* Набагато швидше проходить знешкодження аміаку в рослинах з кислим клітинним соком і високим вмістом органічних кислот (яблучної, щавлевої, лимонної). У таких рослинах аміак перетворюється у амонійні солі.

В залежності від кислотності соку рослини по різному реагують на надходження аміаку ззовні. В рослин з реакцією клітинного соку, близької до нейтральної, при надходженні надлишкового аміачного азоту спостерігаються ознаки аміачного отруєння.

*Синтез сечовини.* Знешкодження аміаку відбувається також при утворенні сечовини, яка не отруйна для рослин. Вона добре засвоюється через корені рослин. Використання її азоту проходить досить швидко. Фермент, що міститься у рослинах – *уреаза*, каталізує розщеплення сечовини до вуглекислого газу і аміаку.

## 5.2 Біосинтез білка

*Біосинтез білка* протікає у всіх клітинах живих організмів і забезпечує відновлення білкового складу процеси обміну речовин і їхню регуляцію.

Білки синтезуються в тканинах із вільних амінокислот за участю нуклеїнових кислот.

Процес біосинтезу білка протікає зі споживанням енергії, акумульованої у вигляді АТФ. Основними джерелами її в рослинах є дихання (окиснювальне фосфорилування) і фотосинтез. Між інтенсивністю синтезу білків і інтенсивністю дихання існує тісний взаємозв'язок: в молодих тканинах і органах здійснюється біосинтез білків з високою швидкістю. Без доступу кисню або при пригніченні дихання під дією інгібіторів синтез білків зупиняється. При підвищенні інтенсивності фотосинтезу синтез білків в рослинах посилюється. При цьому забезпечується утворення визначених білків суворо специфічної структури, що закодована в ДНК.

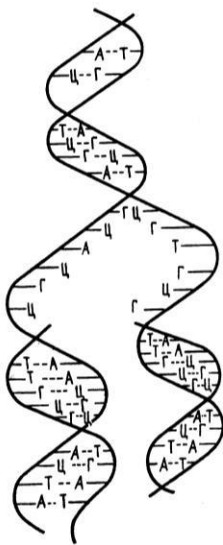
Репродукція білків у всіх організмах відбувається за принципом *матричного синтезу* за участю нуклеїнових кислот. Під матричним синтезом мається на увазі процес відтворення білків у точній відповідності із програмою. Носієм і утримувачем генетичної інформації є ДНК. Саме в послідовності нуклеотидів ДНК запрограмована інформація, тобто складена матриця, відповідно до якої синтезується визначений білок.

Процесу синтезу білка передуює *активування* амінокислот при взаємодії з АТФ, при цьому утворюються *аміноациладенілати* і вивільняється пірофосфат. З аміноациладенілату залишок амінокислоти переноситься на Т-РНК,

специфічну для кожної амінокислоти, і у вигляді аміноацил-Т-РНК надходить у рибосоми. Утворення аміноациладенилату і перенос амінокислотного залишку на Т-РНК каталізується тим самим ферментом – *аміноациладенілатсинтетазою*, суворо специфічним для кожної амінокислоти і кожної Т-РНК.

Процес синтезу білка можна розділити на декілька основних етапів. На *першому етапі*, що називається *транскрипція* (від лат. *transcriptio* – зчитування), відбувається синтез молекул М-РНК на ДНК, після чого М-РНК надходять до рибосом. У такий спосіб відбувається передача інформації про будову синтезованого білка на рибосоми – місце їхнього безпосереднього утворення. *Другий етап* – *рекогніція* (від лат. *recognition* – впізнавання) – це з'єднання амінокислот, необхідних для синтезу поліпептидних ланцюгів, зі специфічними Т-РНК і доставка їх у такому вигляді у рибосоми. *Третій етап* – *трансляція* (від лат. *translation* – переклад) складається в перекладі нуклеотидної послідовності М-РНК в амінокислотну послідовність поліпептидного ланцюга в процесі синтезу білка на рибосомах.

Процес синтезу М-РНК починається з того, що молекула ДНК, що має подвійну спіраль, розкручується, і на кожній з її ниток будується молекула М-РНК за принципом *комплементарності* (рис. 5.1).



Напроти кожної азотистої основи ДНК добудовується відповідна азотиста основа М-РНК. У результаті цього молекула матричної РНК точно повторює послідовність азотистих основ ДНК, а отже, генетичну інформацію.

Ділянка молекули ДНК, відповідальна за синтез визначеної М-РНК, називається *опероном*. Він складається з *гена-регулятора*, що відповідає за контроль синтезу М-РНК; *гена-оператора*, «керуючого» початок синтезу, і *групу структурних генів*, що забезпечують синтез М-РНК. Одержавши інформацію, М-РНК відокремлюється від ДНК і з'єднується з рибосомами, які більш ніж наполовину складаються з рибосомної РНК (Р-РНК), синтезованої

Рис. 5.1 – Біосинтез М-РНК

також на спеціальних генах ДНК.

Рибосоми складаються з двох субодиниць, на які вони здатні зворотно дисоціювати при зниженій концентрації  $Mg^{2+}$ . Велика і мала субодиниці рибосом містять по одній молекулі РНК із молекулярною масою відповідно  $1,7 \times 10^6$  і  $0,7 \times 10^6$  і по декілька десятків молекул білків. З'єднавшись з рибосомами, М-РНК перетворюються в *полірибосоми* або *полісоми*, на яких і відбувається синтез поліпептидних ланцюгів, що утворюють первинну структуру білка.

Т-РНК мають хрестоподібну конфігурацію, що нагадує лист конюшини, причому нуклеотидний ланцюг утворює двониткову структуру. На одному кінці Т-РНК розташований *кодон-триплет*, що складається з трьох азотистих

основ, до яких приєднується визначений аміноациладенілат. На протилежному кінці молекули мається *антикодон*, компліментарний кодонові.

Послідовність амінокислот у первинній структурі синтезованого поліпептидного ланцюга забезпечується інформацією, що записана в послідовності нуклеотидів М-РНК, яка відбиває відповідну послідовність у ДНК.

Кожна амінокислота кодується визначеними триплетами нуклеотидів М-РНК. З 64 можливих триплетів 61 кодує визначені амінокислоти, тобто ці триплети є «значними».

Деякі триплети не кодують амінокислоти, однак їхня роль полягає в *термінації* (від лат. *termination* – завершення) синтезу зростаючого поліпептидного ланцюжка. Код є уродженим, а це означає, що майже всі амінокислоти кодуються більш ніж одним триплетом нуклеотидів. Так, амінокислоти лейцин, аргінін і серин кодуються шістьма кодонами, метіонін і триптофан мають тільки по одному кодону, інші 15 амінокислот – від 2 до 4-х.

Процес *трансляції* здійснюється за допомогою Т-РНК, навантажених амінокислотами. Аміноацил-Т-РНК приєднується своїм комплементарним триплетом (антикодоном) до кодона М-РНК, що розташована у рибосомі. До сусіднього кодона М-РНК прикріплюється інша аміноацил-Т-РНК. При цьому перша Т-РНК приєднує свій амінокислотний залишок карбоксильним кінцем до аміногрупи другої амінокислоти з утворенням дипептиду, а сама вивільняється і відокремлюється від рибосоми. Далі, у міру просування іншої Т-РНК за ланцюгом М-РНК, відбувається з'єднання дипептиду карбоксильним кінцем з аміно-групою третьої амінокислоти з утворенням і вивільненням другої Т-РНК і так доти, поки рибосома не пройде всю ділянку, що кодує визначений білок на М-РНК, яка відповідає гену ДНК.

За першою рибосомою слідує друга, третя і т.д., що послідовно розташовані у полісомі. Таким чином, ріст поліпептидного ланцюга відбувається з N-кінця до С-кінця (якщо призупинити синтез білка, наприклад, за допомогою антибіотика, то можна одержати недобудовані поліпептидні ланцюги із незавершеним С-кінцем). Аміноацил-Т-РНК приєднується спочатку до малої рибосомної субчастки, а потім до великої, на якій і відбувається ріст поліпептидного ланцюга. Елонгація цього ланцюга розпочинається з утворення першого пептидного зв'язку у N-кінця поліпептиду і продовжується до С-кінцевої амінокислоти. Потім відбувається *термінація* синтезу білка і поліпептид, що утворився звільняється від рибосоми.

Компоненти системи біосинтезу білка синтезуються головним чином у клітинному ядрі. На матриці ДНК у процесі транскрипції відбувається синтез усіх типів РНК, що беруть участь у цьому процесі: Р-РНК, М-РНК, Т-РНК. Так, Т-РНК і М-РНК синтезуються у вигляді дуже великих молекул і ще в клітинному ядрі проходять стадію «дозрівання», у ході якого значна частина молекули М-РНК відщеплюється і піддається розпаду, не виходячи в цитоплазму, а функціонуюча молекула, що є частиною спочатку синтезованої, надходить у цитоплазму до місця білкового синтезу. Перш ніж увійти до складу полісом, М-РНК із моменту синтезу зв'язується з особливими білковими

частками – «інформаторами» і у вигляді рибонуклеопротейнового комплексу переноситься до рибосом. Рибосоми, мабуть, також «дозрівають» у цитоплазмі, частина білків приєднується до попередників рибосом, що виходять із ядер, вже у цитоплазмі.

Незважаючи на те, що ядро оточене оболонкою, багато речовин (вітаміни, гормони, продукти обміну тощо) можуть з цитоплазми проникнути усередину ядра і викликати порушення синтезу білків. Подібні зміни лежать в основі уроджених порушень обміну речовин, до яких власне кажучи відносяться всі спадкоємні хвороби.

Генетичний апарат дуже чуттєвий до  $\gamma$ -променів, речовин, що забруднюють біосферу, продуктів окиснювання жирів і інших факторів, які здатні привести до його мутації. Внаслідок цього можуть виникнути помилки при зчитуванні коду і тоді будуть синтезуватися не ідентичні, а чужорідні білки.

Значну роль у порушенні генного апарата відіграють віруси, що викликають різні захворювання: грип, гепатит і т.д. Володіючи своєю ДНК, віруси при впровадженні в клітину можуть нав'язувати свій код і «диктувати» М-РНК неправильний порядок чергування азотистих основ у ДНК. У результаті можливий синтез чужорідного білка.

**Регуляція біосинтезу білка.** У клітинах живих організмів синтезується велика кількість білків. Цей процес регулюється точно запрограмованим механізмом, тому в кожній клітині утвориться саме та кількість білка, яка дозволяє їй здійснювати метаболічні процеси з максимальною ефективністю.

Регуляторні механізми забезпечують ощадливе використання амінокислот для синтезу білків, у тому числі ферментів. Завдяки цьому в будь-якій клітині знаходиться відповідний набір ферментів, що сприяє нормальному протіканню основних клітинних процесів.

Регуляція біосинтезу білка може здійснюватися на різних рівнях. Виходячи з матричної гіпотези біосинтезу білка Ф. Жакоб і Ж. Моно (1961) уперше запропонували схему його регуляції. На основі концепції «ген - М-РНК – поліпептидний ланцюг» вчені поєднали «головний пункт» регуляції біосинтезу білка з ДНК, яка входить до складу генетичного апарата клітини. На думку Ф. Жакоба і Ж. Моно, у генетичному апараті клітини знаходяться асоціації структурних генів, так званих *оперонів*, кожний з яких відповідальний за взаємозалежний синтез ряду специфічних білків. Діяльність оперону як постачальника М-РНК знаходиться під контролем гена-оператора, який або «включає», або «виключає» запуск утворення М-РНК. У той же час функція оператора знаходиться під контролем просторово ізольованого від нього гена – *регулятора*, що продукує М-РНК, необхідну для синтезу особливого білку – *репресору*.

Приєднання репресору до оператора блокує функцію останнього. У результаті ген-оператор паралізується і гальмує включення структурних генів. Синтез М-РНК припиняється.

У тих випадках, коли до репресору приєднується активатор, репресор не може з'єднатися з геном-оператором. Останній залишається вільним і включає структурні гени в синтез М-РНК.

Регуляція біосинтезу білка здійснюється також на етапі трансляції синтезу поліпептидного ланцюга і формування її вторинної і третинної структур.

*Контрольні запитання:*

1. Які типи дезамінування амінокислот Вам відомі?
2. Як відбувається трансамінування амінокислот?
3. У чому полягає сутність процесу декарбоксилування амінокислот?
4. Як відбувається відновлення нітратів?
5. Назвіть етапи біосинтезу білка.
6. Як здійснюється регуляція синтезу білка?

## РОЗДІЛ 6. ВУГЛЕВОДИ

### 6.1 Функції вуглеводів та класифікація

*Вуглеводи* – біохімічні сполуки, що утворюються в рослинах як первинні продукти фотосинтезу. Їхня назва походить від загальної формули цієї групи речовин –  $C_n(H_2O)_n$ , у яку входять вуглець, водень і кисень (співвідношення атомів водню й кисню в них таке ж, як у воді). За хімічним складом вони є альдегідами або кетонами, що утворюються із спиртів при окисненні первинної або вторинної спиртової групи.

Вуглеводи входять до складу усіх рослинних клітин. Вони виконують наступні важливі функції:

– *енергетична*. Вуглеводи є основним джерелом енергії, яка необхідна клітинам. Широко розповсюджені вуглеводи – сахароза, фруктоза, глюкоза – швидко і майже повністю засвоюються організмом людини, що обумовлює велику роль плодоовочевої продукції у харчуванні;

– *пластична*. Вуглеводи беруть участь у синтезі нуклеїнових кислот, амінокислот, білків та входять до складу різних тканин і рідин;

– вуглеводи – головний *компонент оболонки* рослинних і клітинних мембран;

– *захисна*. Вони входять до складу в'язких секретів, які захищають від проникнення патогенних мікробів та вірусів;

– *опорна*. Вуглеводи виконують цю функцію, тому що клітковина та інші полісахариди утворюють міцний каркас рослин;

У рослинних клітинах вуглеводи поширені у вигляді клітковини та напівклітковини, крохмалю, моно- та дисахаридів, пектинових речовин, органічних кислот. Міцність клітин та плодів залежить від вмісту клітковини, товщини клітинних оболонок, розвиненості покривних тканин. Тобто, чим більше плід містить клітковини, тим менше травмується та краще зберігається.

У плодах та овочах вуглеводи становлять 80-90 % від маси сухих речовин, причому в різних частинах вміст їх різний. Так, у зелених частинах рослин він становить 2,5-6%, у бульбах картоплі і коренеплодах – 10-20 %.

Основною запасною речовиною у рослинах вважаються вуглеводи: у картоплі і бататі – *крохмаль*, в інших овочах та плодах – *цукри* (переважно моносахариди).

За сучасною класифікацією вуглеводи поділяються на три основні групи залежно від їхнього складу, структури й властивостей: моносахариди, олігосахариди й полісахариди.

*Моносахариди* – це лінійні або замкнуті ланцюжки з 3...7 вуглецевих атомів, які включають гідроксильні, а також альдегідні і кетони групи. Молекули *олігосахаридів* утворюються з 2-х або більше молекул моносахаридів, однакових або різних. Розчинні у воді моно- і олігосахариди називають цукрами. *Полісахариди* це лінійні полімери, побудовані з багатьох молекул моносахаридів, і їх молекулярні маси можуть досягати дуже великих значень.

Класифікація вуглеводів наведена на рисунку 6.1.

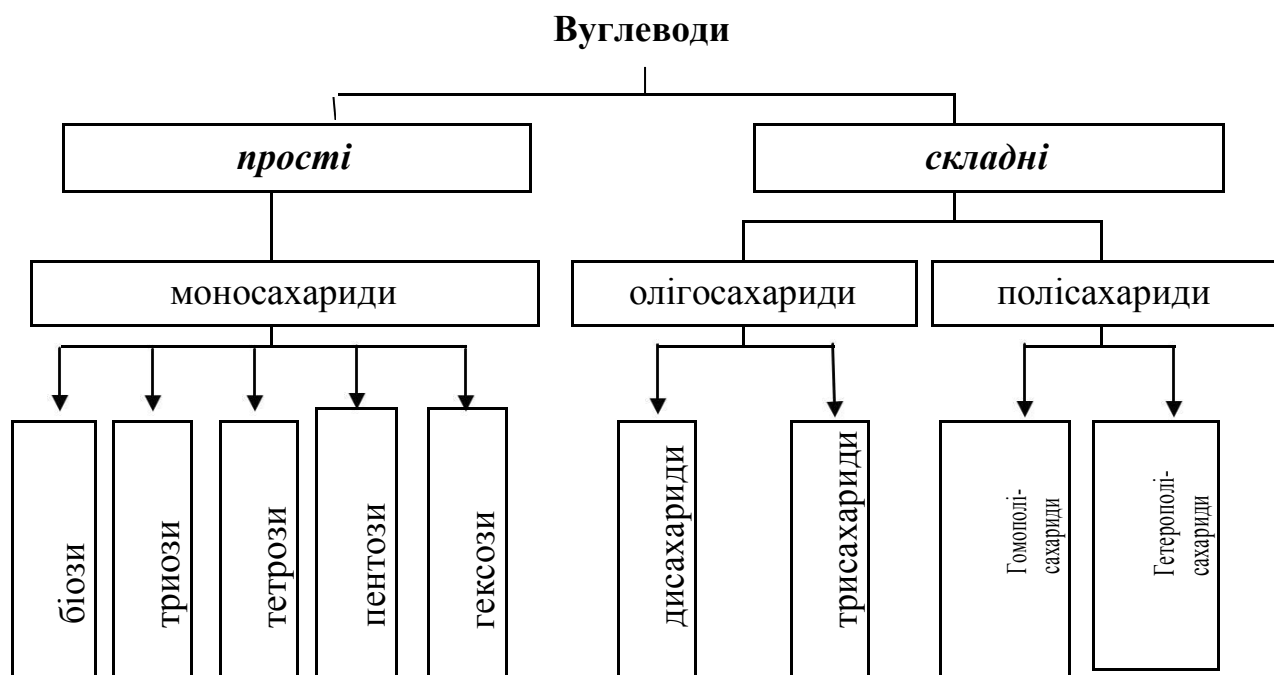


Рис. 6.1 – Класифікація вуглеводів.

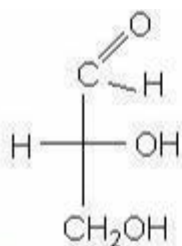
## 6.2 Загальна характеристика вуглеводів

### 6.2.1 Моносахариди

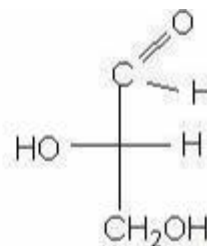
Вуглеводи цієї групи мають карбонільну групу (альдегідну або кетонну), є похідними багатоатомних спиртів. Вони мають склад  $C_n2_nO_n$ , де  $n=4, 5, 6, 7, 8$  і т. д.

Моносахариди відрізняються різним характером будови і просторовим розташуванням функціональних груп. За характером останніх вони підрозділяються на *альдози* (містять альдегідну групу) і *кетози* (містять кетогрупу).

Залежно від числа атомів вуглецю в ланцюгу моносахаридів розрізняють *біози*, *тріози*, *тетрози*  $C_4H_8O_4$ , *пентози*  $C_5H_{10}O_5$ , *гексози*  $C_6H_{12}O_6$ , *гептози*  $C_7H_{14}O_7$  і т. д. Найбільш поширені альдози і кетози, що належать до пентоз (рибоза, дезоксирибоза, ксилоза, арабіноза) і гексоз (глюкоза, маноза, галактоза, фруктоза). Найпростішим представником моносахаридів є гліцериновий альдегід.



(+) D-гліцериновий альдегід



(-) L-гліцериновий альдегід

При розгляді будови гліцеринового альдегіду можна помітити, що він містить асиметричний атом вуглецю і тому відповідно має два стереоізомера (D і L форми).

Моносахариди, в яких розміщення водню і гідроксилу біля останнього найбільш віддаленого від альдегідної чи кетогрупи асиметричного С – атома таке саме, як у D (+) гліцеринового альдегіду, відносять до D-ряду, а якщо вона таке, як у L(-) гліцеринового альдегіду, то до L(-) ряду.

Моносахариди можуть існувати у двох формах: лінійній (ациклічній) з відкритим вуглецевим ланцюгом і циклічній (кільцевій).

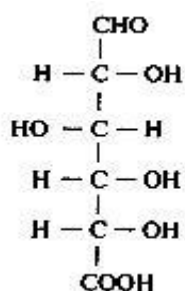
Моносахариди існують, в основному, у напівацетальних формах. Напівацетальний гідроксил відрізняється великою реакційною здатністю. У реакціях зі спиртом, карбоновими кислотами, фенолами він може замінюватися іншими угрупованнями.

Сполуки, що діють на напівацетальний гідроксил моносахариду, називається *агліконом*, а продукт реакції – *глікозидом*. Глікозиди – фізіологічно активні речовини,  $\alpha$ - і  $\beta$ -ізомерам моносахаридів відповідають  $\alpha$ - і  $\beta$ -глікозиди.

*O-глікозиди* утворюються при реакції зі спиртами й фенолами (зв'язок здійснюється через кисень); *N-глікозиди* – глікозидний зв'язок здійснюється через азот з радикалом органічної сполуки, що не є вуглеводом.

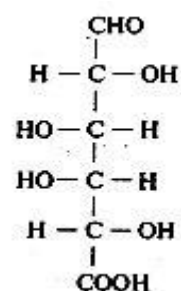
*Глікозиди* відіграють важливу роль в обміні речовин. Вони є продуктами розщеплення нуклеїнових кислот і нуклеопротеїнів (нуклеотиди і нуклеозиди), АТФ, НАД, НАДФ; до них відносяться деякі антибіотики, рослинні пігменти, алкалоїди й ін.

*D-глюконова* й *D-галактонова кислоти* утворюються при перетворенні альдегідної групи в положенні С-1 у карбоксильну. Фосфорильована форма D-глюконової кислоти – важливий проміжний продукт вуглеводного обміну. З D-глюкози при окиснюванні шостого вуглецевого атома утворюється *D-глюкуронова кислота*, з D-галактози – *D-галактуронова кислота*.



(ациклічна форма)

D-глюкуронова кислота



(ациклічна форма)

D-галактуронова кислота

*Уронові кислоти* – біологічні сполуки, що входять до складу полісахаридів. Так, D-глюкуронова кислота перебуває в складі полісахаридів – *ксиланів, камедів*. Галактуронова кислота входить до складу пектинових



речовин та інших полісахаридів.  $\alpha$ -гулууронова і D-мануронова кислоти містяться в полісахариді бурих водоростей – альгіновій кислоті.

Моносахариди легко гідруються за зв'язком C–O, перетворюючись при цьому в *багатоатомні спирти*. Так, з D-глюкози і D-фруктози утворюється *сорбіт*, що застосовується як замітник цукру.

Важливою властивістю моносахаридів є їхня здатність етерифікуватися під дією фосфорної кислоти. Фосфорні ефіри цукрів беруть активну участь в обміні речовин. Зокрема, такі сполуки, як глюкозо-1-фосфат, фруктозо-6-фосфат, фруктозо-1,6-дифосфат, являють собою проміжні продукти анаеробного розщеплення вуглеводів.

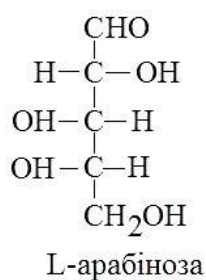
При заміщенні OH-групи моносахариду NH<sub>2</sub>-групою утворюється відповідний аміноцукор. *Аміноцукри* мають властивості амінів, моносахаридів, а також специфічні властивості, обумовлені просторовою близькістю активних (гідроксильних і амінних) груп. Вони входять до складу слизових речовин. Найбільш важливими є *D-глюкозамін* й *D-галактозамін*.

Аміноцукри входять до складу мукополісахаридів різного походження, вони є також вуглеводними компонентами різних глікопротеїнів і гліколіпідів.

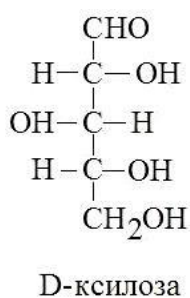
В обміні вуглеводів у тканинах беруть участь дві тріози: гліцериновий альдегід і диоксіацетон, що є продуктами окиснювання відповідних первинних і вторинних спиртових груп триатомного спирту гліцеролу. Загальна їхня формула C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>. Тріози утворюються у вигляді фосфорних ефірів у реакціях гліколізу, спиртового бродіння, а також із гліцеролу, що входить до складу ліпідів.

Загальна формула *пентоз* – C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>. Вони синтезуються рослинами. Найбільш важливими є арабіноза, ксилоза, рибоза і дезоксирибоза.

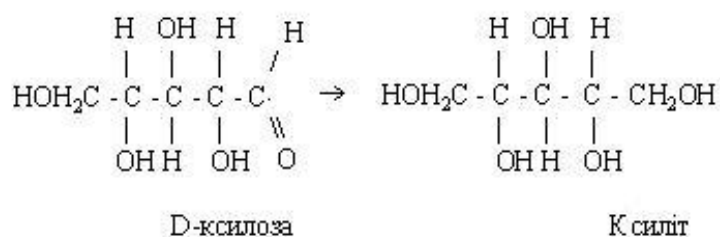
*Арабіноза* (L і D) належить до групи альдоз, міститься в рослинних слизах, пектинових речовинах, геміцелюлозі, гумміарабіці, вишневому клеї і ін.



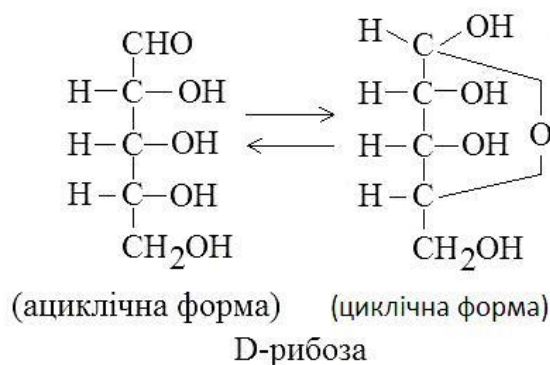
*D-ксилоза* входить до складу рослинних полісахаридів, особливо багато її в деревині, соломі, кукурудзяних качанах, оболонках зерен.



Ця пентоза має солодкий смак, тому її використовують у кондитерській промисловості і при вирощуванні кормових дріжджів. При окиснюванні з неї утворюється *ксиланова кислота*, а потім *триоксиксилонглутарова*, яка використовується у харчовій промисловості як заміник лимонної кислоти. Із ксилози одержують п'ятиатомний спирт *ксиліт*, що застосовують у дієтичному харчуванні хворих ожирінням і цукровим діабетом для заміни солодких вуглеводів.

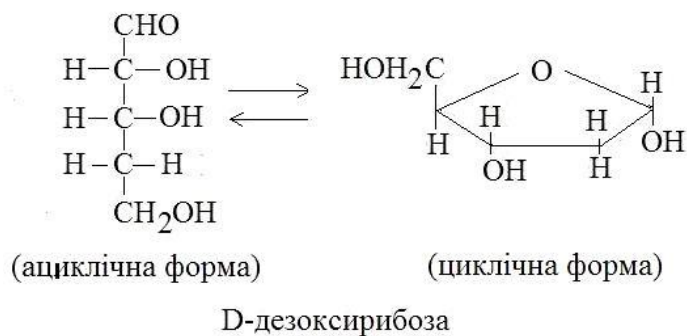


*D-рибоза* може перебувати в розчинах у циклічній формі:



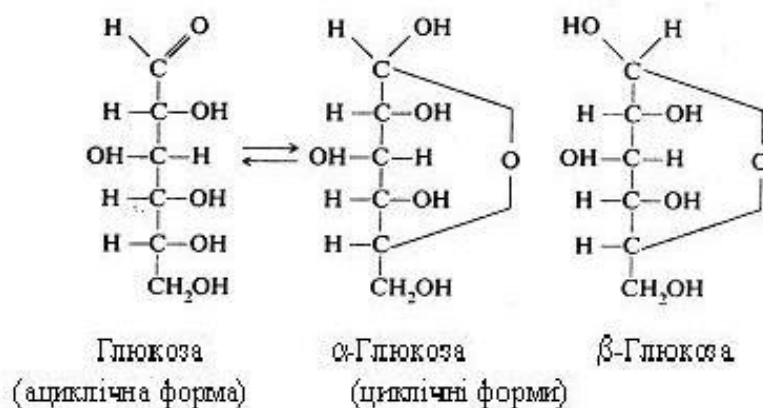
Рибоза міститься в рибонуклеїнових кислотах, вільних нуклеотидах, деяких коферментах. Фосфорні ефіри рибози утворюються при окиснюванні глюкози в пентозофосфатному циклі. При відновленні рибози виділяється п'ятиатомний спирт *рибітол*, що входить до складу деяких вітамінів, наприклад, вітаміну В<sub>2</sub> і коферментів (ФАД).

*D-дезоксирибоза* є вуглеводним компонентом ДНК і нуклеотидів. Вона може перебувати в ациклічній і циклічній формах.



Загальна формула *гексоз* – С<sub>6</sub>Н<sub>12</sub>О<sub>6</sub>. Вони зустрічаються у вільному стані та в оліго- і полісахаридах. До них відносяться глюкоза, фруктоза, манноза, галактоза.

$\alpha$ -D-глюкоза (декстроза, виноградний цукор) зустрічається в ациклічній і циклічній формах.



Глюкоза поширена в продуктах рослинного походження, у великій кількості знаходиться в плодах, насінні, листях і квітах рослин, особливо її багато (17-20%) у плодах винограду. Глюкоза входить до складу полісахаридів (крохмалю, клітковини), дисахаридів (мальтози, сахарози, лактози, целлобіози). При окиснюванні первинної спиртової групи із глюкози утворюється *глюкуронова кислота*, а при відновленні – шестиатомний спирт *D-сорбіт*. Цю реакцію використовують при промисловому виробництві сорбіту – замітника солодких вуглеводів у харчуванні людей, що страждають на ожиріння і цукровий діабет.

Глюкоза входить до складу фосфорних ефірів: глюкозо-1-фосфорна кислота, глюкозо-6-фосфорна кислота, глюкозо-1,6-дифосфорна кислота.

Із глюкози одержують також *аскорбінову кислоту*.

Глюкоза кристалізується слабо і, як інші цукри, легко утворює пересичені водні розчини. Таку її особливість необхідно враховувати при переробці плодів. Якщо моносахарид кристалізується за температури нижче 300°C, то утворюються кристали водної глюкози, що мають склад  $C_6H_{12}O_6 \times H_2O$ . Коли ж кристалізація проходить за температури вище 300°C, одержують безводну глюкозу. Кристали водної глюкози плавляться за температури 85°C, а безводної – за 146°C. Ця особливість обов'язково враховується при виготовленні мармеладу, цукатів та інших кондитерських виробів.

Глюкоза спочатку легко розчиняється у воді, але по мірі наростання концентрації швидкість та ступінь її розчинення зменшується. 100 частин води здатні розчинити 81,68 частин безводної та 97,85 частин водної глюкози. В той же час, в 100 частинах такого розчину знаходяться 44,69 частин безводної або 49,46 частин водної глюкози.

*Фруктоза* або фруктовий цукор. За емпіричним складом фруктоза є кетозою, тому що, крім спиртової групи має кетонну. Фруктоза має властивість утворювати пересичені водні розчини, які погано кристалізуються. Утворені кристали мають склад  $2 C_6H_{12}O_6 \times H_2O$ . Із спиртових та ефірних розчинів кристалізується безводна фруктоза, температура плавлення якої 102...104°C.

Фруктоза на смак значно солодша від глюкози та сахарози і дуже легко засвоюється. Гігроскопічність фруктози значно більша, ніж глюкози. Тому всі

продукти, в яких є значна кількість фруктози (мед, інвертний цукор), теж характеризується великою гігроскопічністю. При зберіганні цих продуктів слід враховувати цю їх особливість. В присутності лугу фруктоза руйнується, особливо за високих температур.



У вільному вигляді фруктоза зустрічається в плодах, бджолиному меду (45 %); є складовою частиною дисахариду сахарози і полісахариду інуліну.

При нагріванні, дії кислот і лугів фруктоза піддається деструкції з утворенням *5-оксиметилфурфурола*. Відновлення фруктози приводить до утворення *маніту* й *сорбіту*.

Велику роль відіграють фосфорні ефіри фруктози (фруктозо-6-фосфат і фруктозо-1,6-дифосфат), що є проміжними продуктами вуглеводного обміну.

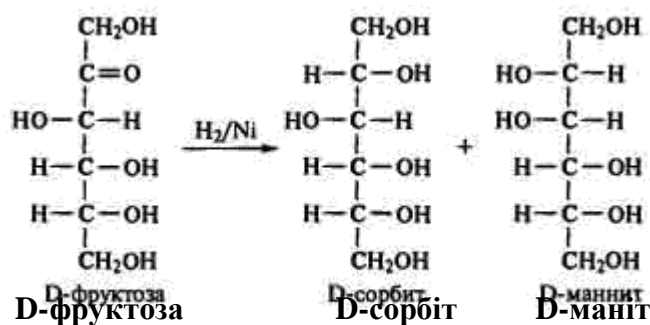
*D-маноза* може перебувати в ациклічній і циклічній формах.



У вільному стані вона рідко зустрічається (наприклад, у шкоринці апельсинів) і звичайно входить до складу складних вуглеводів – мананів.

Шестиатомні спирти *маніт* та *сорбіт* утворюється при відновленні гексоз, та при повільному окисненні знову можуть перетворюватися на гексози. Це кристалічні речовини, легко розчинні у воді та спирті, не розчинні в ефірі, солодкі на смак.

Сорбіт утворюється відновленням глюкози, а із фруктози утворюється суміш маніту та сорбіту.



*Маніт* є присутнім у соку деяких тропічних рослин і водоростей. Оскільки маноза зброджується дріжджами, її вводять до складу поживних середовищ для деяких мікроорганізмів.

Певна кількість цього спирту виявлена у грибах – до 11 % сухої речовини. Він також є в моркві, цибулі, селері, ананасах.

*Сорбіт* був знайдений у стиглих ягодах горобини. Дослідженнями встановлено, що сорбіт при досяганні горобини переходить у кетогексозу – сорбозу.

Цей спирт міститься також в плодах кісточкових – персиках, сливах, вишнях і зерняткових культур – яблуках, грушах.

У плодах груші знімальної та сливи технічної стиглості виявлено до 3% сорбіту, який по мірі дозрівання зникає, перетворюючись на глюкозу, а потім на глюкуронову кислоту. Наслідком таких перетворень є підвищення цукристості після збирання плодів, які не здатні до дозарювання (деякі сорти сливи).

Маніт та сорбіт у плодах виконують функцію проміжних метаболітів, та приймають участь у процесах вуглеводного обміну та тканинного дихання.

В промисловості із сорбітолу одержують аскорбінову кислоту. *D-галактоза* (цереброза) зустрічається в ациклічній і циклічній формах.

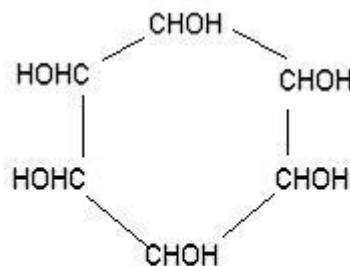


Ця гексоза є складовою частиною дисахариду лактози, трисахариду раффінози, глікопротеїдів.

Галактоза є фрагментом полісахаридів: агар-агару, гумміарабіка, галактанів, слизів, глікозидів.

Під дією ферментів галактоза може перетворюватися в глюкозу. Її використовують як поживне середовище для деяких мікроорганізмів, а також у кондитерській промисловості.

Із ациклічних багатоатомних спиртів у плодоовочевій сировині зустрічається шестиатомний спирт циклогексану – *інозит*. У рослинах інозит знаходиться, звичайно, у вигляді кальцієвої солі інозитофосфорної кислоти, яка називається *фітіном*.



**Інозит**

Вільний *фітін* є складним ефіром інозиту та шести молекул фосфорної кислоти –  $C_6H_6(OH_2PO_3)_6$ .

Фітін знайдено у виноградних кісточках: 0,39% на суху речовину від червоного винограду та 0,36 % на суху речовину від білого винограду.

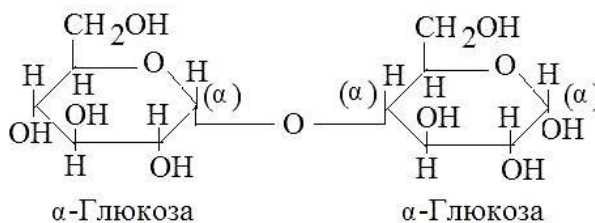
Інозит міститься у плодах черешні. Вміст його залежить від ступеню стиглості: по мірі досягання плодів він зникає.

### 6.2.2 Олігосахариди

У складі молекул олігосахаридів перебуває від 2 до 10 залишків моносахаридів, з'єднаних глікозидними зв'язками. У цю групу входять дисахариди, трисахариди і т.п.

*Дисахариди* – складні цукри, кожна молекула яких при гідролізі розпадається на дві молекули моносахаридів. Емпірична формула  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Серед дисахаридів найбільше значення мають мальтоза, лактоза, сахароза, целобіоза. Поряд з полісахаридами дисахариди є основними вуглеводами в їжі людини і тварин.

*Мальтоза* – солодовий цукор – містить два залишки  $\alpha$ -D-глюкози. Мальтоза утворюється як проміжний продукт при дії амілаз на крохмаль. Наявність вільного напівацетального гідроксилу в другому залишку глюкози, що входить до складу мальтози, дозволяє віднести цей дисахарид до цукрів, що відновлюються.

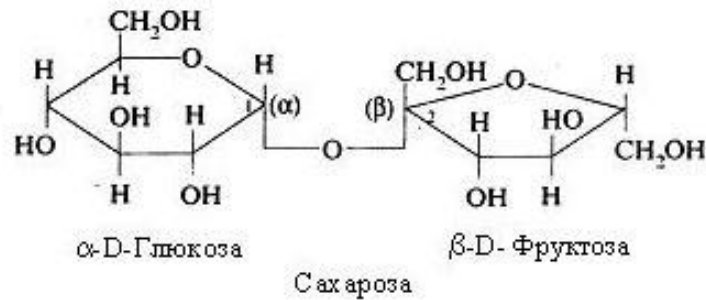


**Мальтоза**

*Сахароза* – харчовий (бурячний, очеретяний) цукор – найбільш важливий і широко розповсюджений дисахарид. Сахароза складається з  $\alpha$ -D-глюкози і  $\beta$ -D-фруктози.

Як запасний поживний матеріал сахароза зустрічається в зародках насіння багатьох культур. Значно поширена сахароза в плодах і ягодах, яким вона надає солодкого смаку. У плодах абрикоса сахарози до 23%, в дині – до 18%, у цибулі – до 10%.

Емпірична формула сахарози  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .



У зв'язку з відсутністю вільного напівацетального гідроксилу цей дисахарид не має редуруючих властивостей.

Молекула сахарози під впливом відповідних ферментів гідролізується з утворенням глюкози і фруктози. У технології цей процес називається *інверсією*, а суміш глюкози і фруктози – *інвертним цукром*. Процеси інверсії сахарози під впливом кислот і підвищеної температури широко використовують у виробництві варення, сиропів, мармеладу, цукерок.

Сахароза дуже легко розчиняється у воді, утворюючи густі перенасичені розчини – сиропи.

Всі цукри дуже гігроскопічні. В атмосфері з повним насиченням водяною парою фруктоза поглинає до 30 % води, глюкоза – 15 %, сахароза – 13 %. Тому сушені плоди й овочі необхідно зберігати у герметичній тарі або у приміщеннях з низькою вологістю повітря. Цукри у високій концентрації (варення) можуть кристалізуватися, особливо при зниженні температур. Але варення не зацукриться, якщо частина сахарози при його виготовленні гідролізувалася, тому що сахароза кристалізується при значно меншій концентрації, ніж інвертний цукор. Відновлюючі цукри можуть утворювати з амінокислотами і білками темнозабарвлені продукти – *меланоїдіни*. Меланоїдіни одержали свою назву від продукту окиснення тирозину, з якого вони утворюються за участю відновлених цукрів і альдегідів.

Меланоїдіни є причиною неферментативних потемнінь тканин плодів і овочів при їх зберіганні і переробці. Ці речовини з'являються при зберіганні картоплі в умовах знижених температур унаслідок накопичення значної кількості цукрів. Те ж саме буває при термічній обробці багатьох рослинних продуктів. Температура плавлення сахарози  $180-185^{\circ}C$ . За вищої температури вона починає розкладатись з вилученням води і перетворюється на крохмаль або так званий *кулер*. Він широко застосовується для забарвлення різних харчових продуктів в жовтобрудний колір.

*Цукри* – енергетичний матеріал при спиртовому, молочнокислому бродінні. Вони широко використовуються при переробці рослинної сировини. Від кількості і співвідношення окремих цукрів залежить кількість і склад одержаних продуктів. Вони визначають специфічний смак, аромат, наприклад, солоно-квашених продуктів.

У фруктах і ягодах накопичується досить багато цукрів, у винограді – 20-25 %. Вміст цукрів у овочах в середньому суттєво нижчий, ніж у фруктах і ягодах. Багаті на цукри деякі баштанні. Середній вміст цукрів в плодах баштанних і овочевих культур такий: диня 7-17 %, капуста білокачанна – 3,5-4,5 %, кавун 6-10 %, томати 3,5-4,0 %, гарбуз – 4-7 %, перець овочевий 3,0-4,0 %, морква – 5-7 %, буряк столовий 6,0-8,0 %.

Цукри у тканинах розподіляються нерівномірно. У плодах цукор використовується на дихання, причому економічне його використання корелює з тривалим зберіганням плодів. У процесі зберігання плодів сахароза також використовується для дихання, розкладаючись на моносахариди.

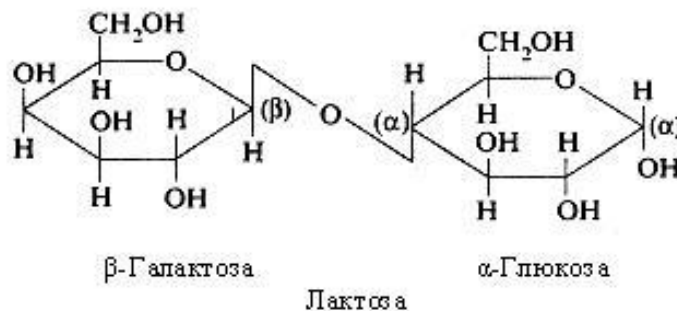
Смакове відчуття солодкості виявляється залежно від виду і концентрації цукру. Поріг відчуття цукрів, тобто мінімальна концентрація речовин в розчині, при якій людина починає відчувати солодкість, досить різна. Для глюкози він становить 0,55 %, сахарози – 0,25 %, фруктози – 0,25 %. Таким чином, якщо поріг відчуття (ступінь) солодкості сахарози прийняти за 1, то фруктоза має коефіцієнт 1,73, глюкоза 0,71, інвертний цукор – 1,3, сорбітол – 0,48.

Під час дозрівання фруктів та овочів вміст цукрів і їх співвідношення змінюються. Загальна їх концентрація при цьому може залишатися приблизно однаковою, але смак змінюється. Так, під час післязбирального дозрівання яблук сортів пізніх строків досягання зростає відносний вміст фруктози і на смак плоди стають солодшими.

Цукри – основа всього обміну речовин у рослинах. Вони беруть участь у процесах дихання, дають енергію і значну кількість продуктів, які використовують для різноманітних синтезів. При відновленні моносахаридів утворюються відповідні *багатоатомні* спирти.

Продукти карамелізації сахарози («колір») використовують у виробництві напоїв та у кон'ячному виробництві для забарвлення готових продуктів.

*Лактоза* – молочний цукор, що складається з  $\beta$ -галактози і  $\alpha$ -глюкози. Вона міститься в молоці та молочних продуктах.

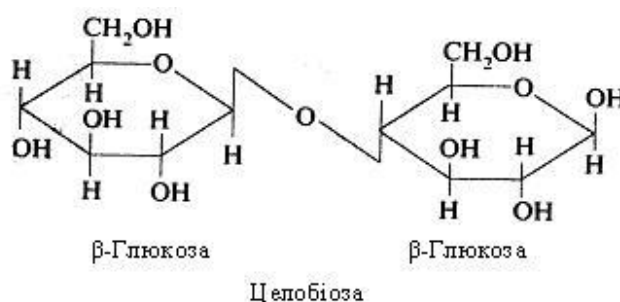




Лактоза розщеплюється під дією ферменту *лактази* ( $\beta$ -галактозидази). При вродженому або придбаному дефіциті цього ферменту виникає нестерпність молока.

Лактоза використовується при виробництві напоїв, у кон'ячному виробництві, для забарвлення готових продуктів.

*Целобіоза* утворюється при ферментативному гідролізі целюлози під дією ферменту  $\beta$ -целюлази, що синтезується мікроорганізмами. Вона складається з двох молекул  $\beta$ -глюкози.



Серед природних *трисахаридів* найбільше значення має *рафіноза*, що містить фруктозу, глюкозу і галактозу. У значній кількості вона міститься в цукровому буряку, насінні бавовни, морських водоростях, грибах і інших рослинах. Рафіноза піддається гідролізу під дією сахарази і галактозидази.

Типовим представником тетрасахаридів є *стахіоза*, що складається із двох залишків галактози, однієї молекули глюкози і однієї – фруктози. У більших кількостях міститься в цибулинах і коріннях деяких рослин, у насінні бобових.

### 6.2.3 Полісахариди

Це високомолекулярні вуглеводи, що складаються з великого числа моносахаридів (сотні або тисячі). Вони мають гідрофільні властивості і при розчиненні у воді утворюють колоїдні розчини. Полісахариди підрозділяються на *гомо-* і *гетерополісахариди*.

*Гомополісахариди*. До їхнього складу входять моносахариди одного типу. Наприклад, крохмаль, побудований тільки з молекул глюкози, інулін – із фруктози.

За функцією полісахариди підрозділяються на *структурні* – целюлоза, пектинові речовини і *запасні* – крохмаль, інулін.

Найбільш важливими гомополісахаридами є крохмаль, клітковина (целюлоза), що складаються із залишків молекул глюкози, а також пектинові речовини. Манани містять залишки молекул манози, галактани – галактози.

*Крохмаль* являє собою суміш лінійного полісахариду – *амілози* (10-30 %) і *амілопектину* (70-90 %), загальна формула його  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Число  $n$  називають коефіцієнтом полімерізації. Цей полісахарид побудований із залишків глюкози,

з'єднаних в амілозі в лінійних ланцюгах амілопектину  $\alpha$ -1,4-зв'язками, у точках розгалуження амілопектину – міжланцюговими  $\alpha$ -1,6-зв'язками (рис. 6.2).

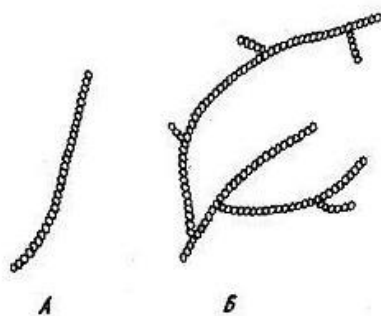


Рис. 6.2 – Будова крохмалю  
А – будова амілози; Б – будова амілопектину

Крохмаль є продуктом фотосинтезу і основною запасною речовиною рослин. Великий вміст крохмалю в насіннях пшениці (75-80 %), значно нижче в рисі (30 %), бульбах картоплі (25 %). Існує тісна кореляційна залежність між вмістом крохмалю і щільністю бульб.

Вміст крохмалю в моркві, дині, капусті не перевищує десятих часток відсотка, а в інших овочах його ще менше. При післязбиральному дозріванні крохмаль повністю перетворюється на цукор. За темпами цього процесу визначають дозрівання яблук. Високим вмістом крохмалю відрізняються банани зеленого забарвлення – до 16 % сухої речовини.

У квасолі, зеленому горошку, бобах вміст крохмалю може збільшуватися, особливо при їх перезріванні. Одночасно зменшується вміст цукрів і продукція погрубляється. За вмістом крохмалю у зеленому горошку визначають строк його збирання.

Різне відношення мають фракції крохмалю до йоду: амілоза дає в реакції з йодом сине забарвлення, амілопектин – фіолетове. Гідролітичне розщеплення крохмалю відбувається поступово, з утворенням проміжних продуктів – декстринів і мальтози, при повному гідролізі виділяється глюкоза.

Молекула *амілоза* – це лінійний ланцюг, що складається із 100-200 глюкозних одиниць. Завдяки наявності  $\alpha$ -1,4-глюкозидних зв'язків молекула амілози утворює спіраль, кожен виток якої складається з шести молекул глюкози. Молекулярна маса амілози коливається від 10000 до 100000.

*Амілопектин* має розгалужену молекулу, в якій до основного ланцюга  $\alpha$ -1,6-зв'язками приєднані бокові. Вони мають різну довжину та складаються із 20-25 глюкозних залишків. Молекулярна маса амілопектину від 50000 до 100000. Різниця в будові обумовлює різні властивості цих речовин. Так, амілоза на відміну від амілопектину розчиняється у гарячій воді (70-80<sup>0</sup>С), а амілопектин утворює студенисту масу – клейстер.

В рослинах відбувається ферментативний гідролітичний і фосфоролітичний розпад крохмалю, продукти якого використовуються як джерело енергії і основний матеріал для біосинтезу.

Крохмаль в рослинах відкладається про запас у вигляді зерен (рис. 6.3). Вуглеводна частина крохмального зерна складає 96,1-97,6 %. На частку білка припадає до 1%, жирних кислот – до 0,6%, мінеральних речовин – до 0,7%.

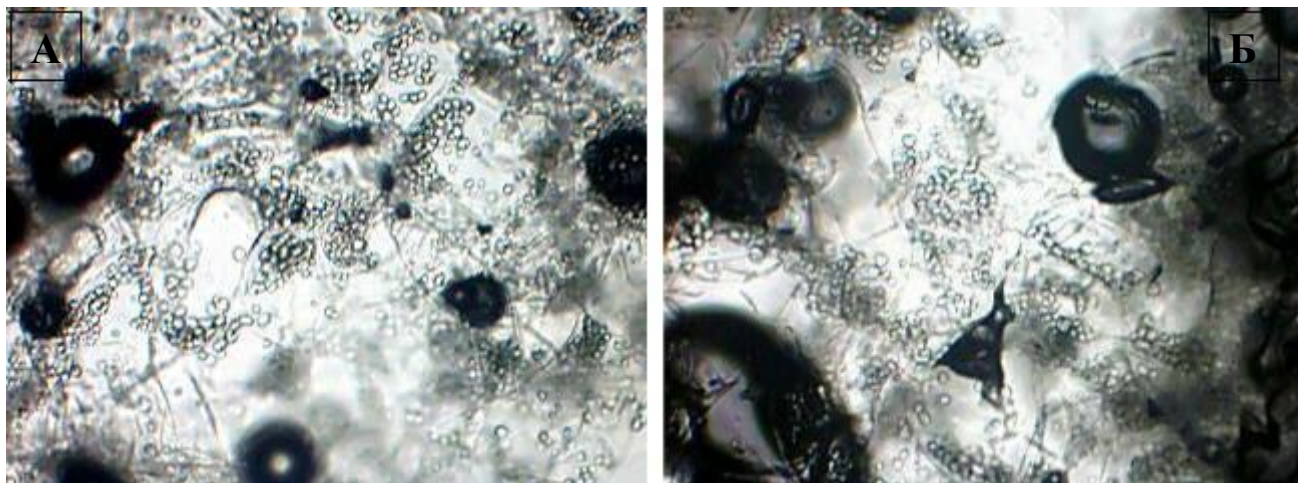


Рис. 6.3 – Зерна крохмалю в клітинах плодів яблуні знімального ступеню стиглості: А – сорт Ренет Симиренка, Б – сорт Айдаред.

Мінеральні речовини крохмалю представлені фосфорною кислотою. Від її кількості залежить ступінь в'язкості крохмалю; чим фосфору більше, тим крохмаль більш в'язкий.

Крохмальні зерна рослин мають різні розміри та будову. Так, у бульбах картоплі зустрічаються зерна крохмалю розміром від 1 до 100 мкм, а зерна рисового крохмалю не перевищують 15 мкм.

Розмір крохмальних зерен обумовлює консистенцію картопляної бульби і борошністість (крихкість) під час відварювання. Це відбувається тому, що при нагріванні зерна крохмалю набухають, клітини округлюються та починають легше відокремлюватися одна від одної, що створює борошністу консистенцію.

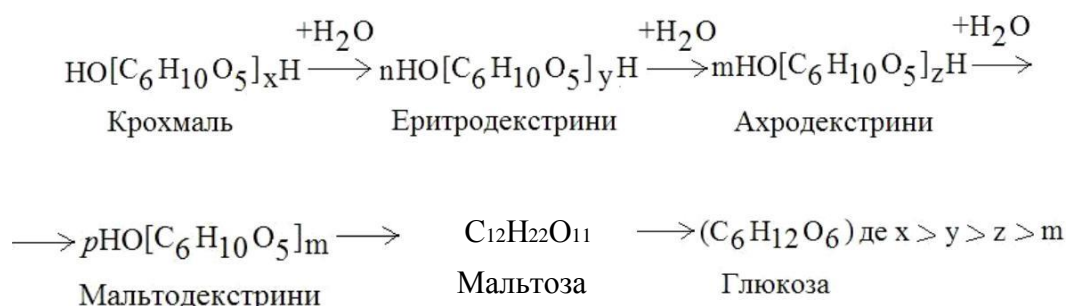
Надто сильне набрякання зерен крохмалю викликає їх розрив і утворюється напіврідка маса. Чим менші зерна крохмалю, тим частіше відбувається розрив клітин.

Під час тривалого зберігання картоплі крохмальні зерна зменшуються у розмірах, у зв'язку з цим знижується їх борошністість і здатність до розварювання. Під час зберігання за температури близько 0°C крохмаль у бульбах картоплі переходить у цукор, смак її стає солодким. Технологічні якості картоплі погіршуються; із неї одержують чіпси темного кольору. Якщо після охолодження бульби картоплі витримати протягом досить тривалого часу за температури 15-20°C, то цукри, які утворилися з крохмалю, знову переходять у крохмаль, тобто проходить ресинтез крохмалю.

У промисловості при ферментативному гідролізі крохмалю за участю гідролаз одержують *патоку* – суміші декстринів, мальтози, глюкози. Патока може мати колір від білого до жовтого і коричневого різної інтенсивності.

*Декстрини* – уламки молекул крохмалю – розчинні речовини, що легко засвоюються організмом людини. Частковий гідроліз крохмалю протікає при варінні продуктів рослинного походження і при хлібопеченні.

Гідроліз крохмалю відбувається поступово:



Процеси декстринізації і оцукрювання крохмалю використовують у харчовій і спиртовій промисловості.

*Інулін* складається, в основному, із залишків молекул β-фруктози, що об'єднуються між собою полуацетальними гідроксилами за типом 1,2-зв'язки, тому не володіють редуруючими властивостями. Молекулярна маса інуліну дорівнює 5000-6000. Він розчиняється в теплій воді, має солодкий смак.

Будучи резервним енергетичним матеріалом рослин, інулін накопичується в бульбах земляної груші, жоржини, коріннях кок-сагізу, часнику, цикорію. При гідролізі він розщеплюється. Його використовують у дієтах хворих на цукровий діабет для заміни сахарози і крохмалю.

*Целюлоза* (клітковина)  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$  широко поширена в рослинному світі. Вона є основною структурою стінок клітин, обумовлюючи їхню міцність і еластичність. Целюлоза складається з α- і β-D-глюкозних залишків в β-піранозній формі, лінійно з'єднаних між собою (1→4)-зв'язками. Ці лінійні молекули розташовуються паралельно одна одній, між ними виникають водневі зв'язки і утворюються мікрофібрили.

Важливі речовини, з якими зв'язана целюлоза в рослинах – лігнін, геміцелюлоза, пектинові речовини. Целюлоза, як і крохмаль – продукт фотосинтезу, виконує в рослинах структурну функцію, надаючи тканинам механічної міцності і еластичності. Чиста целюлоза – біла волокниста речовина без смаку і запаху, нерозчинна у воді навіть при кип'ятінні, спирті, ефірі, але розчинна в аміачному розчині гідрооксиду міді.

Гідролізуються молекули целюлози під дією сильних кислот при нагріванні під тиском. Цей процес використовують для одержання технічного спирту з нехарчової сировини. Підвищений вміст целюлози в рослинах корелює з механічною міцністю тканин, здатністю до тривалого транспортування і зберігання плодів і овочів. При зберіганні продукції кількість і якість целюлози фактично не змінюється.

Вміст целюлози у плодах коливається від 0,5 до 2 %, в овочах – 0,2-2,8 %. У покривних тканинах, елементах насінневих камер плодів і в самому насінні цей показник в 10 і більше разів перевищує вміст у паренхімі.

При частковому гідролізі целюлози виділяється дисахарид целобіоза, а при повному гідролізі утворюється D-глюкоза.

Широке застосування в іонообмінній хроматографії одержали карбоксіметілцелюлоза (Км-целюлоза) і діетиламіноетилцелюлоза (ДЭАЕ-целюлоза) для розділу амінокислот, білків, нуклеїнових кислот. Крім того, Км-целюлозу використовують у лікувальному харчуванні людей для зменшення калорійності їжі.

Структурним полісахаридом рослин є *хітин*. Він входить до складу нижчих рослин, зокрема грибів. Хітин складається із залишків D-глюкози, зв'язаних між собою  $\alpha$ -1,4-зв'язками.

*Геміцелюлози* – високомолекулярні полісахариди, що не розчиняються у воді. Вони побудовані з різних моносахаридів. Геміцелюлози в рослинах супроводжують целюлозу, утворюючи клітинні стінки. При їхньому гідролізі утворюється суміш різних моносахаридів (D-галактоза, D-ксилоза, D-арабіноза, уронові кислоти, D-маноза, D-глюкоза).

Загальна кількість геміцелюлоз у плодах і овочах коливається від 0,2 до 3,1 %. Під час переробки плодів та овочів геміцелюлози певною мірою гідролізуються, тому вони впливають на якість продукції, головним чином на консистенцію готового продукту.

*Пектинові речовини* – полісахариди рослинного походження. Вони являють собою високомолекулярні сполуки вуглеводної природи, що перебувають у великій кількості в ягодах, фруктах і овочах. У якості мономерних залишків містять D-галактуронову кислоту.

Молекулярна маса пектинових речовин нижча, ніж целюлози і геміцелюлоз, і коливається в межах 20-50 тис. Розрізняють протопектин, пектин, пектову кислоту і її солі – пектати.

*Протопектин* – ланцюжки метильованих полігалактуронових кислот, зв'язаних різними способами з крохмалем, целюлозою, галактанами і іншими речовинами. Протопектин нерозчинний у воді, але легко гідролізується до пектинів під дією кислот або ферментів. Зв'язки всередині пектинів можуть бути різними, головне значення мають кальцієві містки. Після вилучення кальцію з цих речовин вони стають здатними розчинятися у воді. Протопектин утворює міжклітинний прошарок у рослинних тканинах і обумовлює їх твердість.

*Пектини* – це метильована полігалактурована (пектова) кислота, яка розчинена у воді. Пектин у чистому вигляді – це білий порошок без смаку і запаху, добре розчинний у воді. У рослинних тканинах 1/4 частина пектинових речовин перебуває у вигляді розчинного пектину, що входить до складу клітинного соку, а 3/4 – представлені нерозчинним у воді протопектином.

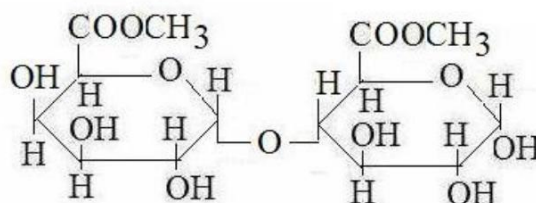
При дії на пектини розведених лугів або ферменту пектинестерази від них легко відщеплюються метильні групи з утворенням метилового спирту і кислоти. Далі під дією ферменту полігалактуронази полігалактуронова кислота розкладається на окремі молекули галактуронової кислоти.

У плодах і овочах, особливо яблуках, айві, чорній смородині, агрусу, досить багато пектинових речовин. Їх середній вміст такий (%): яблука – 0,3-1,8; смородина чорна – 1,5; груші – 0,2-1,0; агрус – 0,3-1,4; сливи – 0,2-1,5;

суниця – 0,7; абрикоси – 0,5-1,2; малина – 0,1-1,3; персики – 0,6-1,2; вишні – 0,3-0,8.

В овочах пектинових речовин менше, ніж у плодах: в моркві, гарбузі – до 1 %, капусті білокачанній, дині – 0,4 %, буряку столовому, томаті, картоплі – 0,1-0,2 %.

*Пектова кислота* являє собою полігалактуронову кислоту. Це лінійний полісахарид із залишків D-галактуронової кислоти, з'єднаних  $\alpha$ -1,4-зв'язками.



Пектова кислота (полігалактуронова кислота)

Характерною властивістю багатьох полісахаридів є їхня здатність до гелеутворення у водяних розчинах. Для цього потрібно, щоб лінійні молекули були організовані в пухку просторову сітку, в осередках якої перебуває вода. У гелях пектинів вузли сітки утворюються за рахунок високометильованих ділянок різних ланцюгів пектових кислот, які зв'язуються у водяних розчинах гідروفобними взаємодіями, а низькометильовані і тому добре гідратовані ділянки утворюють міжвузлові проміжки. Отже, чим більше метоксильних груп у молекулі пектину, тим більшу желюючу здатність він має. Високої желюючою здатністю відрізняється пектин деяких сортів яблук, апельсинів, айви, чорної смородини. Пектин овочів характеризується низькою здатністю утворювати гелі.

Одержання пектинових гелів у присутності сахарози є основою кондитерських виробництв, таких, як виготовлення варення, конфітурів, мармеладів, пастили, желе і т.д.

Желююча здатність пектину в присутності цукру збільшується в кислих розчинах. Так, для желювання 750 г кислого розчину цукру досить 1 г пектину.

Під час розвитку рослинних тканин в них накопичується *нерозчинний протопектин*. При дозріванні і зберіганні плодів і овочів вміст протопектину поступово зменшується і одночасно накопичується розчинний пектин.

На розпад протопектину впливає температура зберігання, причому у плодів кожного виду або сорту цей процес відбувається по-різному. У яблук перетворення пектинових речовин з помітною швидкістю проходить за 0°C, в той час як у груш за цих умов вони залишаються без змін. Цей процес каталізується ферментом *протопектиназою*. При цьому рослинні тканини стають м'якше і ніжніше. Теплова обробка продуктів рослинного походження послабляє зчеплення між клітинами, тому що протопектин перетворюється в пектин і консистенція тканини розм'якшується. Найбільша кількість пектинових речовин знаходиться у плодах і корнеплодах. Отримують пектини з яблучних вичавок, буряку, кошиків соняшнику, з цитрусових.

Пектинові речовини як драглеутворювачі використовують у виробництві мармеладу, пастили, желе, джемів, а також у хлібопеченні та сироварінні. У харчовому виробництві джерелами пектинових речовин є яблука чи лимони.

Руйнування плодів та овочів при варінні, стерилізації, кулінарній обробці пов'язане з гідролітичним розщепленням пектинових речовин. Інтенсивність їх розпаду залежить від кислотності продукції. Об'єкти з більш кислим клітинним соком: слива, вишня, алича, розварюється швидше, ніж малоокислотні.

*Гетерополісахариди* складаються з різного виду моносахаридів (глюкози, галактози) і їхніх похідних (аміносахарів, гексуронових кислот). У їхньому складі виявлені й інші речовини: азотисті основи, органічні кислоти.

*Геміцелюлози* відносяться до складних гетерополісахаридів, тому що побудовані з різних моносахарів. Геміцелюлози в рослинах супроводжують целюлозу. При їхньому гідролізі утворюється суміш різних моносахаридів (D-галактоза, D-ксилоза, D-арабіноза, фруктоза, уронові кислоти). Геміцелюлози мають гіллясту структуру. В основному ланцюгу моноцукри з'єднуються між собою 1,4-зв'язками. Бокові ланцюги найчастіше приєднуються по C-2 і C-3.

В залежності від моносахаридного складу та будови ланцюгів макромолекули геміцелюлози виділяють п'ять груп: *арабінани, ксилани, галактани, манани, фруктани*.

Геміцелюлози використовують для виробництва спиртів, антибіотиків, паперу.

*Камеді* – це складні гетерополісахариди, які виділяються у вигляді в'язких розчинів і утворюють склоподібну масу при порушенні цілості деяких дерев та їх оболонки. Камеді складаються з моносахаридів (D-галактози, D-арабінози, рамнози) та D-глюкуронової кислоти.

Завдяки в'язкості, клейкості, набуханню камеді (вишневий клей, гуміаробік) використовують у харчових виробництвах як емульгатори, згущувачі, зв'язуючі речовини та стабілізатори.

*Слизи* – гетерополісахариди, що подібні до камедей. Вони містяться у непошкоджених рослинах. Джерелом слизу є кора, коріння, листя, насіння (особливо зерна жита та льону).

Полісахариди морських водорослей за будовою відрізняються від полісахаридів наземних рослин. У побудові клітинних стінок приймає участь звичайна клітковина, а основну масу цих стінок її міжклітинної речовини складають слизи водоростей – агар, карагінан, альгінова кислота. Агар та карагінан отримують із червоних водоростей.

Полісахариди водоростей широко використовуються у виробництві деяких харчових продуктів та у інших виробництвах.

#### *Контрольні запитання:*

1. Які функції виконують вуглеводи?
2. Як класифікують вуглеводи?
3. Наведіть характеристику моносахаридів.
4. Обґрунтуйте біологічну роль дисахаридів і наведіть їх формули.
5. Які полісахариди Вам відомі? Яка їх біологічна роль?

## РОЗДІЛ 7. ПЕРЕТВОРЕННЯ ВУГЛЕВОДІВ У РОСЛИНАХ

### 7.1 Синтез і перетворення вуглеводів у рослинах

У рослинах в результаті фіксації  $\text{CO}_2$  швидко утворюються прості цукри й більш складні форми вуглеводів – сахароза, крохмаль, клітковина.

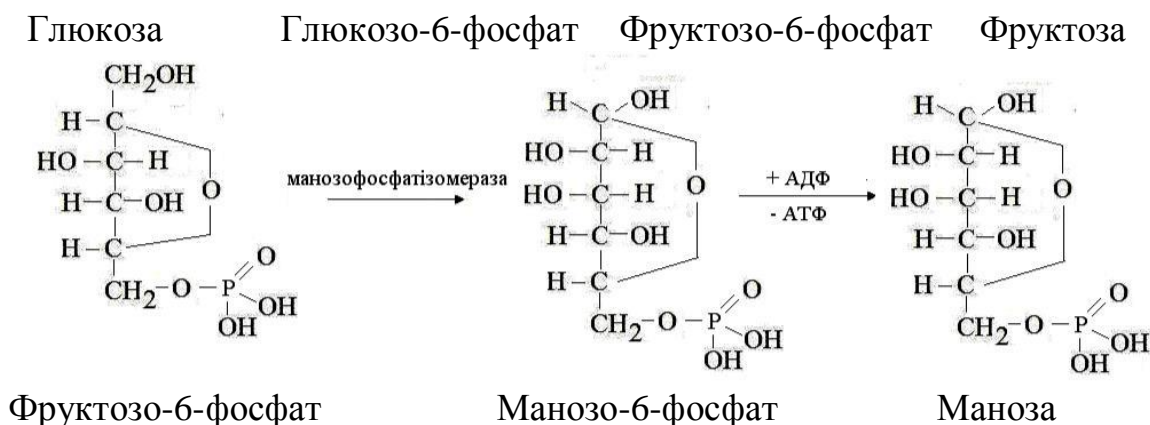
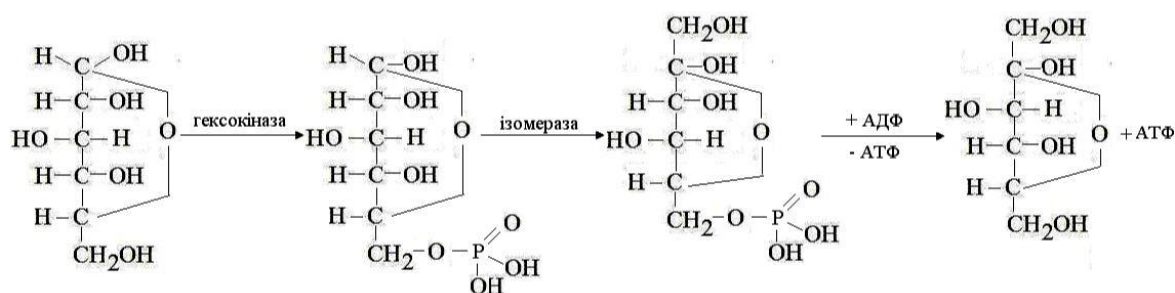
Розпад складних форм вуглеводів до більш простих проходить досить інтенсивно, тому що в тканинах рослин є багато систем, які здатні каталізувати синтез, розпад і взаємоперетворення. Інтенсивний розпад складних вуглеводів спостерігається при старінні вегетативних органів рослин. Цукри та їх фосфорні ефіри, що при цьому утворюються переміщуються в репродуктивні органи. В них знову синтезуються складні вуглеводи, що відкладаються про запас.

*Взаємне перетворення моноцукрів* проходить в рослинах легко і швидко, завдяки фосфорним ефірам цукрів або їх уридиндифосфат похідних (УДФ). УДФ являють собою цукор, сполучений через два залишки фосфорної кислоти з уридином.

Розглянемо деякі перетворення моноцукрів.

Глюкоза перетворюється у *фруктозу* через фосфорні ефіри цих цукрів – глюкозо-6-фосфат і фруктозо-6-фосфат. Спочатку проходить фосфорилування глюкози за участю АТФ, в результаті чого синтезується глюкозо-6-фосфат, який потім ізомеризується у фруктозо-6-фосфат; від нього відщеплюється залишок фосфорної кислоти з утворенням вільної фруктози.

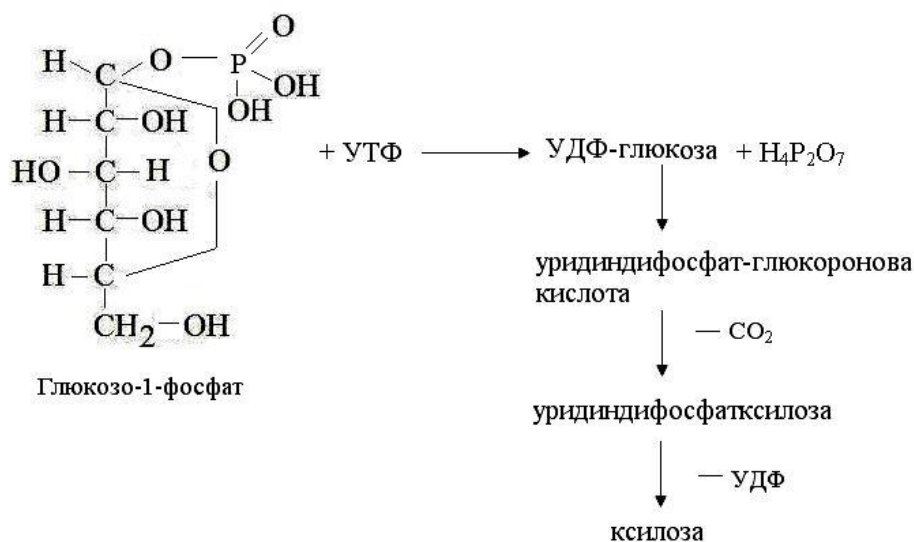
Глюкоза може перетворюватися в *манозу*. Вихідним субстратом є фруктозо-6-фосфат, який під дією ферменту манозофосфатізомерази перетворюється в манозу-6-фосфат. Від нього потім відщеплюється фосфорна кислота і утворюється вільна маноза.



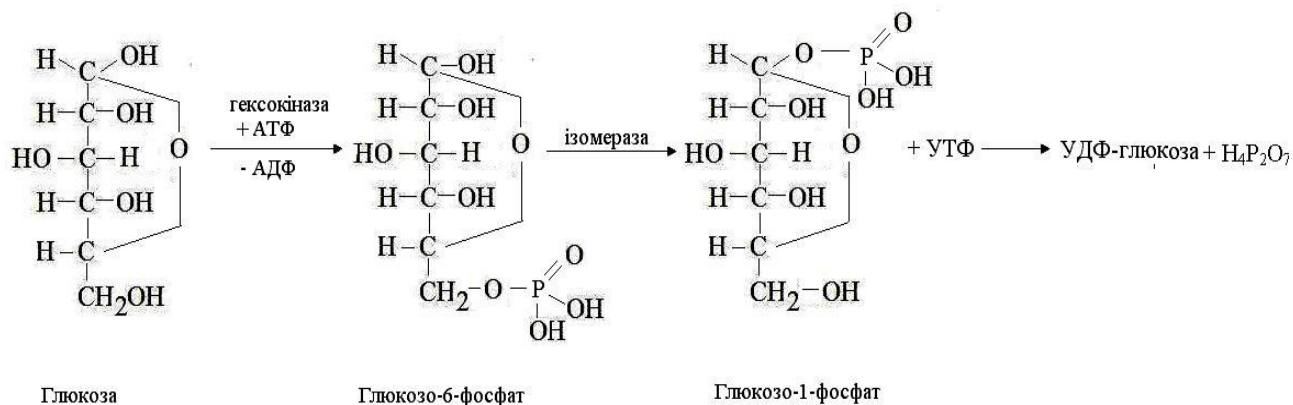


При утворенні пентоз та гексоз проміжним продуктом є глюкоконова кислота.

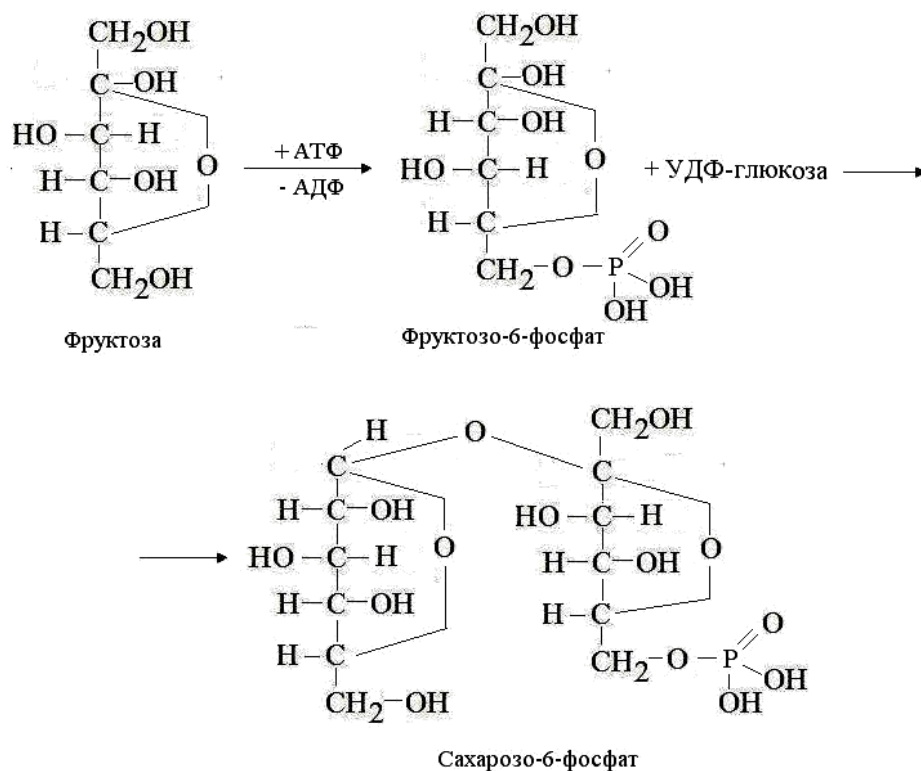
Глюкоза перетворюється у *ксилозу* шляхом з'єднання глюкозо-1-фосфату з УДФ з утворенням уридиндифосфат глюкози (УДФ-глюкози), яка потім під дією відповідного ферменту окиснюється і утворюється уридиндифосфат-глюкоконова кислота. Вона піддається декарбоксилюванню і перетворюється на уридиндифосфатксилозу, від якої відщеплюється уридиндифосфат і утворюється вільна ксилоза.



*Синтез сахарози.* Сахароза – найбільш поширений дисахарид. У рослинах вона утворюється із глюкози і фруктози. Спочатку відбувається фосфорилування глюкози: глюкоза перетворюється в глюкозо-6-фосфат, а потім ізомеризується в глюкозо-1-фосфат.



Одночасно відбувається фосфорилування фруктози за допомогою АТФ.



За участю води сахарозо-6-фосфат перетворюється у сахарозу з виділенням  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Ця реакція в залежності від умов може проходити як у бік синтезу сахарози, так і у бік її розщеплення.

На наступному етапі глюкозо-1-фосфат з'єднується з УТФ, в результаті чого утворюється сполука глюкози з уридиндифосфорною кислотою (УДФ) – уридинфосфатглюкоза.

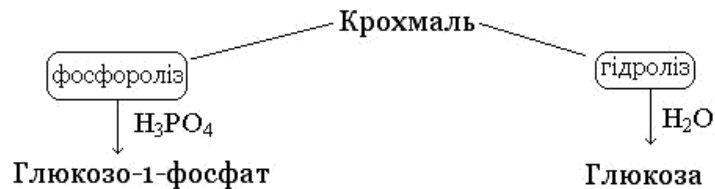
В нефотосинтезуючих тканинах деяких рослин, наприклад в коренеплодах буряка, бульбах картоплі сахароза може утворюватись не із фруктозо-6-фосфат, а із вільної фруктози.

*Синтез і розпад полісахаридів.* Крохмаль складається із амілози, яка являє собою нерозгалужений ланцюг залишків  $\alpha$ -глюкози, що сполучені  $\alpha(1 \rightarrow 4)$ -зв'язками і амілопектину – розгалуженої молекули, яка крім  $\alpha(1 \rightarrow 4)$ -зв'язків має  $\alpha(1 \rightarrow 6)$ -зв'язки.

Для синтезу амілози необхідна наявність в реакційному середовищі невеликої кількості «затравки», в якості якої виступають полісахариди, що побудовані із 3-4 залишків глюкози, і які сполучені  $\alpha(1 \rightarrow 4)$ -зв'язками. Залишки глюкози при біосинтезі амілози переносяться на акцептор («затравку»), проходить утворення  $\alpha(1 \rightarrow 4)$ -зв'язків і ланцюг амілози продовжується.

Синтез розгалуженої молекули амілопектину, який має  $\alpha(1 \rightarrow 6)$ -зв'язки, відбувається шляхом перетворення амілози в амілопектин.

Розпад крохмалю може проходити за допомогою реакцій двох типів – фосфоролізу і гідролізу.



Гідролітичне розщеплення крохмалю здійснюється під дією ферментів класу гідролаз.

Фермент  $\alpha$ -амілаза каталізує гідролітичне розщеплення  $\alpha(1\rightarrow4)$ -зв'язків в молекулі. При цьому утворюється *мальтоза*, а також деяка кількість глюкози і низькомолекулярні полісахариди – *декстрини*.

Під дією ферменту  $\beta$ -амілази також проходить гідроліз  $\alpha(1\rightarrow4)$ -зв'язків в молекулі і від неї поступово відщеплюються залишки мальтози.

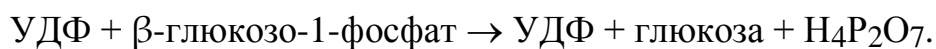
Фермент *глюкоамілаза* каталізує поступове відщеплення залишків глюкози від молекул крохмалю. Цей фермент також каталізує гідролітичне розщеплення  $\alpha(1\rightarrow4)$ -зв'язків.

Амілопектин-1,6-глюкозидаза каталізує  $\alpha(1\rightarrow6)$ -зв'язків у молекулах амілопектину.

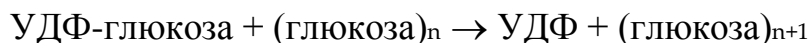
За допомогою цих ферментів молекули крохмалю повністю розкладаються до мальтози і глюкози. Потім мальтоза за участю води розщеплюється на дві молекули глюкози.

Розпад крохмалю можна здійснити за допомогою *фосфоролізу*. У ході цієї реакції відбувається приєднання фосфорної кислоти за місцем розриву глікозидного зв'язку між залишками сахарів у ланцюгу з утворенням глюкозо-1-фосфату. Цю реакцію каталізує  $\alpha$ -глюканфосфорілаза.

*Синтез і розщеплення целюлози.* Целюлоза – це найбільш поширена органічна речовина, побудована із залишків  $\beta$ -глюкози. В біосинтезі молекули целюлози приймає участь не вільна глюкоза, а її ГДФ-похідне (гуанозиндифосфатглюкоза), у складі якої глюкоза знаходиться в  $\beta$ -формі. Цей процес відбувається за участі ферменту *целюлосинтетази*.



Синтез нерозгалуженого ланцюга целюлози відбувається за схемою:



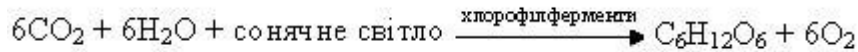
Розщеплення целюлози протікає гідролітичним шляхом під дією фермента *целюлази* до дисахариду *целобіози*.

## 7.2 Фотосинтез

*Загальні уявлення про фотосинтез.* Фотосинтез – це основний процес, за участю якого утворюються органічні сполуки. При фотосинтезі відбувається біологічне перетворення сонячної енергії у хімічну, яка в подальшому використовується для синтезу органічних сполук.

Фотосинтез є джерелом вільного кисню на планеті Земля. Його назва походить від грецького *photo* – світло і *synthesis* – сполучення. Тобто, фотосинтез – це процес утворення рослинами органічної речовини з CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O за допомогою енергії світла. Колір рослин на планеті Земля зелений. Це обумовлено наявністю хлорофілу або хлорофілоподібних пігментів.

Як окиснювально-відновний процес взаємодії вуглекислого газу і води за наявністю хлорофілу, фотосинтез схематично можна виразити таким чином:



Усі фотосинтетичні реакції відбуваються в хлоропластах, які мають шаровидну або дископодібну форму, їх розмір коливається від 1 до 10 мкм. Ззовні вони оточені білково-ліпідною оболонкою, що складається із зовнішньої і внутрішньої мембран.

*Фотосинтетичні пігменти.* Основними пігментами фотосинтезуючих клітин вищих рослин є хлорофіли і каротиноїди.

*Хлорофіли* являють собою складні ефіри дикарбонової *хлорофілінової кислоти* з двома спиртами – *фітоном* і *ментолом*.

Серед *каротиноїдів* переважає *β-каротин* і його кисневі похідні – *лютеїн*, *зеаксантин*, *віолоксантин*. Ці пігменти використовують ту частину спектру, яка не поглинається хлорофілом. Крім того, вони виконують захисну функцію – попереджають розпад хлорофілу, який може відбутися під дією кисню.

Фотосинтез складається із процесів двох різних типів – *світлової фази*, що безпосередньо пов'язана зі світлом, і *темної фази*, при якій фотосинтез може відбуватися без світла. Пігменти хлорофілу поглинають червоний колір.

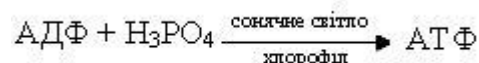
У процесі світлових реакцій проходить *фотоліз води* і виділення молекулярного кисню. Крім того, світлова енергія витрачається на відновлення НАДФ<sup>+</sup> і фосфорилування АДФ, а утворені при цьому НАДФ·Н<sub>2</sub> і АТФ використовуються потім в темнових реакціях для відновлення CO<sub>2</sub> до рівня вуглеводів.

*Світлова фаза фотосинтезу.* У процесі світлової фази фотосинтезу відбувається перетворення світлової енергії у хімічну, яка накопичується в макроергічних зв'язках АТФ і відновленого НАДФ·Н<sub>2</sub>. При розриві макроергічних зв'язків вивільняється 10-14 ккал, тоді як при розриві звичайного зв'язку – 2 ккал.

У зелених рослинах синтез АТФ відбувається шляхом циклічного і нециклічного фотофосфорилування.

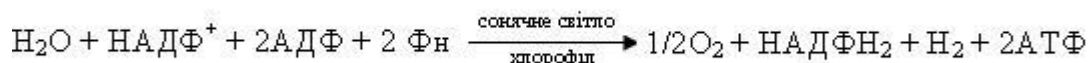
При *циклічному фотофосфорилуванні* за участю хлорофілу, що засвоює промені 700 нм, та феродоксину, який являє собою залізовміщуючий білок, відбувається утворення двох молекул АТФ в одному циклі при переміщенні електронів по системі цитохромів. Оскільки цей цикл повторюється неодноразово, то таке фосфорилування називають *циклічним*.

Реакція циклічного фосфорилування має такий вигляд:



В нециклічному фосфорилуванні приймають участь 2 фотосистеми: хлорофіл *a* та хлорофіл *b*. Відбувається збудження електронів, які за допомогою цитохромів транспортуються між ними. Частина сонячної енергії витрачається на фотоліз води. Крім того, утворюється шкідливий  $H_2O_2$ , який під дією фермента каталази розщеплюється на воду і кисень.

При нециклічному фотофосфорилуванні утворюється два види сполук – 4 молекули АТФ і 2 молекули НАДФ·Н<sub>2</sub>. Відповідно, АТФ є джерелом енергії, НАДФ·Н<sub>2</sub> – джерелом енергії і водню для відновлення  $CO_2$  до рівня вуглеводів у реакціях темної фази фотосинтезу. Цю фазу називають «біохімічною» або «ферментативною». Її можна зобразити таким рівнянням:



Утворені молекули АТФ та НАДФН<sub>2</sub> використовуються для різних реакцій, що відбуваються в клітинах, зокрема в асиміляції вуглекислоти, її відновленні до вуглеводів. Основний процес фіксації вуглецю – це цикл Кальвіна.

*Цикл Кальвіна.* Цикл фіксації вуглецю отримав назву циклу Кальвіна або «шлях С<sub>3</sub>». Рослини, у яких відбуваються тільки реакції цього циклу називають «С<sub>3</sub>-рослинами». Ці рослини поширені у країнах з помірним кліматом, оптимальна денна температура для фіксації  $CO_2$  у них становить 15-25<sup>0</sup>С.

Інший варіант цього процесу – «шлях С<sub>4</sub>» – процес метаболізму органічних кислот. Рослини, що здійснюють С<sub>4</sub>-фотосинтез також приймають участь в циклі Кальвіна, але процес перетворення  $CO_2$  у вуглеводи у таких рослин включає й інші реакції, специфічні для кожного конкретного типу рослин.

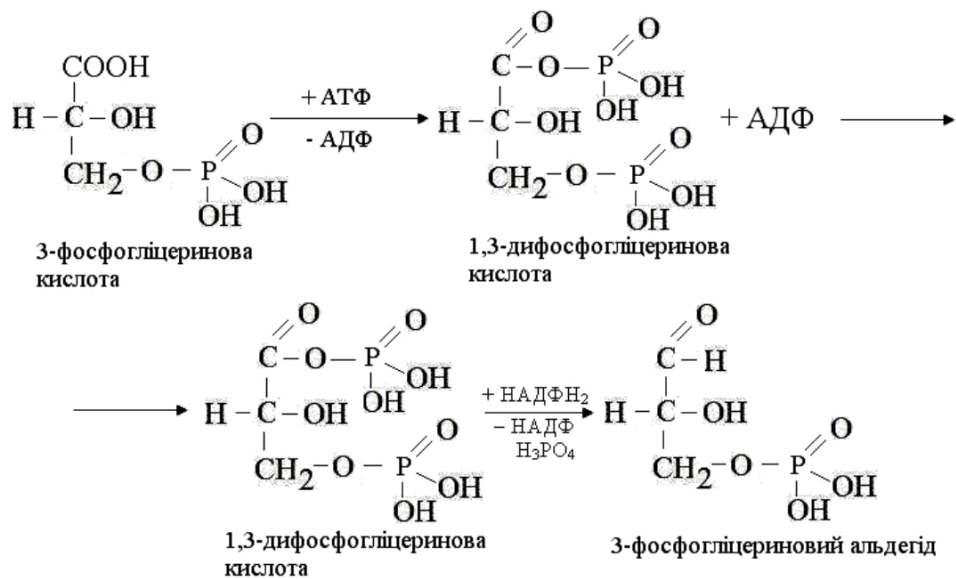
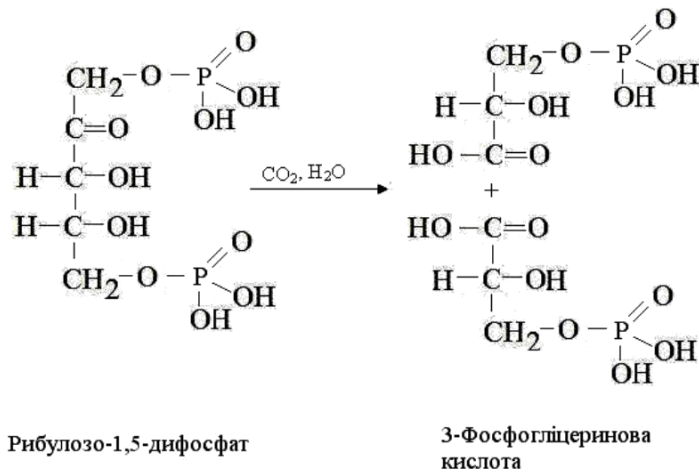
Першим продуктом фотосинтезу шляху С<sub>3</sub> є фосфогліцеринова кислота.

У ході циклу Кальвіна виділяють три етапи: *карбоксилювання, відновлення і регенерація*, що відбуваються у стромі хлоропластів. Енергія, яка забезпечує цикл Кальвіна, постачається у формі АТФ і НАДФ·Н<sub>2</sub>, утворених у світлових реакціях.

Основна реакція циклу Кальвіна за участю  $CO_2$  – п'ятивуглецевий цукор з двома фосфатними групами – рибулозо-1,5-дифосфат. Він перетворюється в процесі карбоксилювання у нестійкий проміжний продукт з шістьма атомами вуглецю, який швидко розкладається на дві молекули 3-фосфогліцеринової кислоти, що є першим продуктом фотосинтезу.

Цей процес відбувається за участю специфічного ферменту (РБФ-карбоксилаза) у присутності іонів  $Mg^{2+}$ . Він регулюється концентрацією кисню в повітрі.

Далі 3-фосфогліцеринова кислота перетворюється в 1,3-дифосфогліцеринову кислоту (ДФГК) за рахунок АТФ, яка синтезується у світловій фазі фотосинтезу. На наступному етапі 1,3-дифосфогліцеринова кислота за участю НАДФ·Н<sub>2</sub> відновлюється до 3-фосфогліцеринового альдегіду.

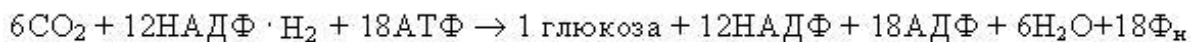


Карбоксильна група  $\text{COOH}$  відновлюється до альдегідної групи  $\text{CHO}$ . Цю реакцію каталізує фермент гліцеральдегід-3-фосфатдегідрогеназа. 3-фосфогліцеринальдегід (ФГА) – це перший цукор, який утворюється при фотосинтезі. Після цього фотосинтез закінчується, адже усі подальші реакції відбуваються і в нефотосинтезуючих організмах. Утворені молекули 3-ФГА у циклі Кальвіна використовуються різними способами. 1/6 частина їх витрачається на синтез вуглеводів, серед яких переважають крохмаль і сахароза, 5/6 – йде на регенерацію рибулозодифосфату – первинного акцептора  $\text{CO}_2$ . Молекула 3-ФГА при використанні для синтезу вуглеводів ізомеризується в фосфодіоксиацетон. Потім 2 триози об'єднуються і утворюється цукор – фруктозо-1,6-дифосфат. Він дефосфорилується і з'являється фруктозо-6-фосфат, потім глюкозофосфат, сахароза і крохмаль.

Цикл Кальвіна завершує фаза регенерації – складний цикл, в якому беруть участь цукрофосфати з 3, 4, 5, 6, 7 атомами вуглецю. В результаті багатьох реакцій утворюється рибулозо-5-фосфат. На його фосфорилування витрачається АТФ, що була синтезована при фотофосфорилуванні у світловій фазі фотосинтезу. При цьому регенерується вихідна сполука циклу Кальвіна рибулозо-1,5-дифосфат. Він також зазнає карбоксилування і пройшовши низку

перетворень знову регенерується. У кожному оберті цього циклу 1 молекула  $\text{CO}_2$  відновлюється, а молекула рибулозодифосфату регенерується.

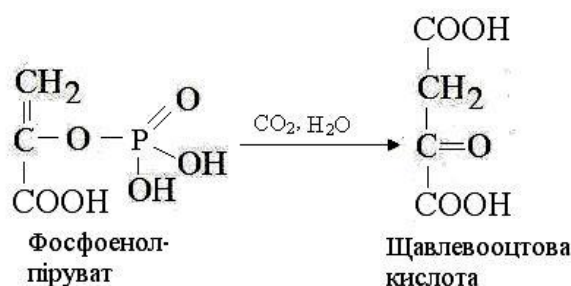
Для утворення глюкози необхідно 6 обертів циклу з поглинанням 6 атомів вуглецю. Сумарне рівняння синтезу глюкози у циклі Кальвіна:



У циклі Кальвіна світло необхідне, тому що воно активізує ряд ферментів, які каталізують усі реакції.

*Цикл Хетча-Слека* або шлях  $\text{C}_4$  включає в себе дві реакції карбоксилювання. Специфічність механізму  $\text{C}_4$ -шляху фотосинтезу зумовлені особливостями анатомічної будови листків  $\text{C}_4$ -рослин.

На відміну від циклу Кальвіна у клітинах цих рослин акцептором  $\text{CO}_2$  виступає фосфоенолпіровиноградна кислота (фосфоенолпіруват). Тому першим продуктом асиміляції є щавлевоцтова кислота, яка має чотири вуглецевих атоми. Цю реакцію каталізує фермент фосфоенолпіруват-карбоксилаза.

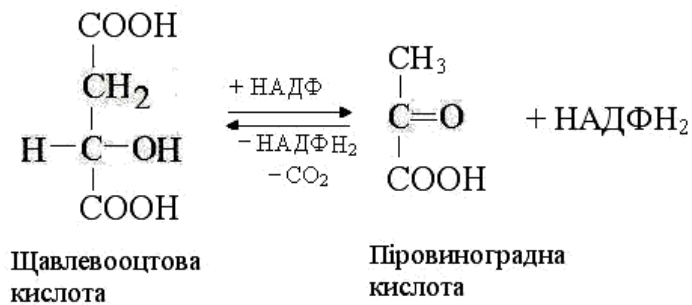


Утворена щавлевоцтова кислота проникає в хлоропласти клітин, де відновлюється в яблучну кислоту (малат) за рахунок  $\text{НАДФ} \cdot \text{H}_2$ , отриманого у світловій фазі фотосинтезу. У присутності  $\text{NH}_4^+$  щавлевоцтова кислота перетворюється в аспарагінову кислоту. Таким чином закінчується стадія першого карбоксилювання.



На стадії *декарбоксилювання* яблучна кислота розкладається на піровиноградну кислоту і  $\text{CO}_2$ . Утворена  $\text{CO}_2$  знов вступає в карбоксилювання у циклі Кальвіна.

Аспарагінова кислота у хлоропластах клітин дезамінується до щавелевоцтової кислоти, потім декарбоксилюється з утворенням піровиноградної кислоти.



Піровиноградна кислота реагує з АТФ з утворенням фосфоенолпіровиноградної кислоти (ФЕП), яка в свою чергу карбоксилюється з утворенням ЩОК і цикл замикається.



Оскільки кожна молекула CO<sub>2</sub> у С<sub>4</sub>-рослин повинна зв'язуватися двічі, затрати енергії при С<sub>4</sub>-фотосинтезі вдвічі більші, ніж при фотосинтезі С<sub>3</sub>.

Рослини С<sub>4</sub> більш врожайні в посушливих умовах тропічної зони. Однак в прохолодних і більш вологих районах помірної зони рослини С<sub>3</sub> успішно конкурують з рослинами С<sub>4</sub>.

До рослин С<sub>3</sub> належать – пшениця, жито, овес, ячмінь, рис, цукрові буряки, картопля, бобові. До групи С<sub>4</sub>-рослин належить багато видів з родини айстрових, осокові, лободові, молочайні культури, кукурудза, різні види проса, а також злісні бур'яни – щириця, куряче просо.

**Взаємозв'язок дихання і фотосинтезу.** Процес фотосинтезу є першим етапом циклу обміну речовин клітин. Утворені в світлових реакціях, багаті на енергію, активні метаболіти – АТФ, НАДФ·Н<sub>2</sub> в темнових реакціях перетворюються в багаті на енергію вуглеводи, жири, білки, що є захисними сполуками, енергія яких знаходиться у малоактивній формі. Щоб клітина могла використати накопичену у вуглецевих сполуках енергію для біохімічних процесів, її необхідно транспортувати в макроергічні зв'язки АТФ. Таке перетворення відбувається під час процесу дихання. Воно є другим етапом енергетичного циклу рослин. У реакціях дихання водень органічних сполук активується за участі спеціальних ферментів, концентрується у високо енергетичних відновлених коферментах – НАД·Н<sub>2</sub>, ФАД·Н<sub>2</sub>, у вигляді яких атоми водню переносяться у електротранспортному ланцюгу. Тобто обидва процеси – фотосинтез і дихання, пов'язані з перетворенням енергії і утворюють єдиний енергетичний цикл.

Процеси фотосинтезу і дихання на перший погляд здаються протилежними. Так, процес фотосинтезу відбувається на світлі у хлоропластах.



При фотосинтезі накопичується енергія, відбувається поглинання  $\text{CO}_2$  і його відновлення з утворенням органічних речовин і виділенням кисню.

Дихання не залежить від світла. Воно відбувається в мітохондріях. При цьому органічні речовини окиснюються з поглинанням кисню та виділенням енергії,  $\text{CO}_2$  і води.

Дихання і фотосинтез постачають клітинам АТФ. Але у процесі фотосинтезу джерелом енергії для синтезу АТФ є енергія сонячних променів, а в процесі дихання – енергія окиснення органічних речовин. Фотосинтез властивий лише організмам, які мають спеціалізовані органи – хлоропласти, тобто це унікальний процес. Дихання, навпаки, є універсальним процесом, притаманний кожному окремому органу і живому організму.

Обидва процеси – дихання і фотосинтез – мають багато спільного. Обов'язковий їх учасник – це вода: при фотосинтезі вона є донором водню для відновлення НАДФ, а при диханні окиснення речовин відбувається за рахунок кисню води.

Фотосинтез і дихання мають однакові проміжні продукти – фосфогліцеринову кислоту, 3-фосфогліцериновий альдегід, фосфодиоксиацетон, рибулозу, фруктозо-1,6-дифосфат. Спорідненим з ними є також цілий ряд ферментів.

### 7.3 Біохімія дихання

У живих організмах поряд із процесами асиміляції відбуваються процеси дисиміляції – тобто розщеплення речовин. Це супроводжується вивільненням з них зв'язаної енергії, тобто первинні органічні речовини, що утворилися у процесі фотосинтезу, стають джерелом енергії, яка сприяє здійсненню всіх життєво важливих функцій рослинних організмів.

У ході цих процесів складні молекули (вуглеводи і жири) розщеплюються на дрібніші й простіші, а значна кількість енергії, яка вивільняється, передається на АТФ. Система цих окиснювально-відновних процесів є *диханням*. Енергія, що утворюється при цьому, надходить у різні ділянки клітин і може перетворюватися з однієї форми в іншу.

Основним джерелом енергії для рослин є вуглеводи. Проміжні продукти, які утворюються під час окиснення, використовуються як вихідний матеріал для низки реакцій синтезу. Відщеплені у процесі окиснення органічної речовини електрони використовуються для відновлення НАД, тобто надходять до електронно-транспортного ланцюга біологічного окиснення, потім передаються по системі цитохромів. На кожному наступному етапі вони переходять на все більш низький енергетичний рівень і нарешті приєднуються до кисню. При цьому утворюється вода.

Виділена енергія використовується рослиною для синтезу складних органічних речовин, для росту рослин, поглинання елементів мінерального живлення. Значення дихання полягає в тому, що цей складний окиснювально-відновний процес є джерелом лабільних сполук, необхідних для процесів життєдіяльності рослинного організму. Завдяки диханню відбувається

перетворення синтезованих у процесі фотосинтезу органічних сполук і використання їх для побудови тіла рослин.

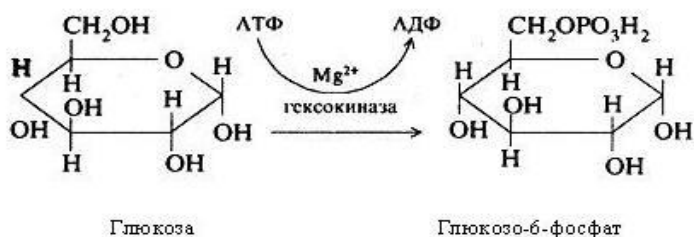
Процес дихання поділяють на кілька стадій: гліколіз, цикл три карбонових кислот (цикл Кребса) та електронно-транспортний ланцюг.

*Гліколіз* (від *glycys* – цукор, *lysis* – розщеплення) – ферментативний анаеробний процес негідролітичного розщеплення глюкози до пірвіноградної кислоти. Ці реакції відбуваються у цитоплазмі клітини і для них не потрібен кисень. Однак, гліколіз може відбуватися і в присутності кисню. У клітинах, де відбувається фотосинтез, гліколіз – основний шлях утворення АТФ.

У клітинах рослин головні субстрати гліколізу: D-глюкоза і D-фруктоза.

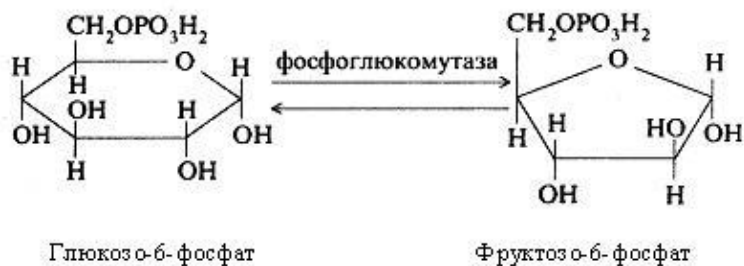
Кожна реакція гліколізу каталізується специфічним ферментом.

Анаеробне розщеплення глюкози протікає у дві стадії. *На першій* глюкоза при дії *глюкокінази* (*гексокінази*) фосфорилується, використовуючи АТФ як донора фосфатної групи.

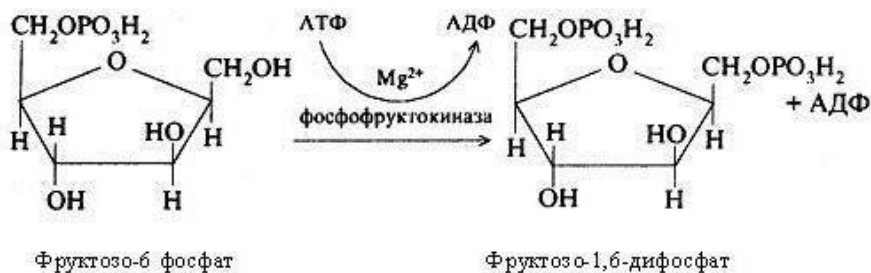


Процес первинного фосфорилування глюкози з утворенням фосфорного ефіру називається «шлюзовою» реакцією, або реакцією «запала», після якої цей моносахарид включається в багато реакцій.

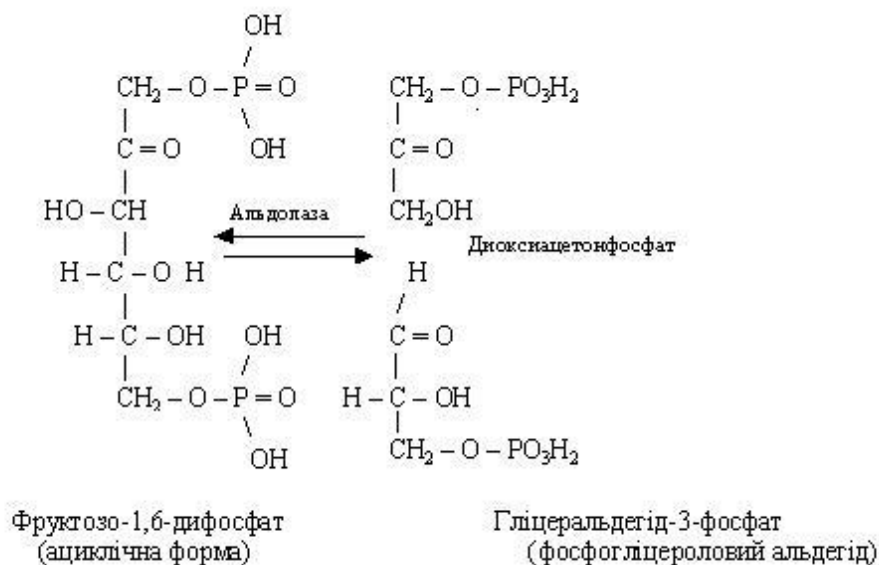
Глюкозо-6-фосфат, що утворюється при цьому, перетворюється потім під дією ферменту *фосфоглюкомутази* у *фруктозо-6-фосфат*.



Далі за участю *фосфофруктокінази* й АТФ відбувається фосфорилування фруктозо-6-фосфата з утворенням *фруктозо-1,6-дифосфата*.



Фруктозо-1,6-дифосфат є типовим продуктом гліколізу. Під дією ферменту *альдолази* відбувається його розщеплення на дві тріози: *фосфодиоксиацетон* і *фосфогліцероловий альдегід*. Такий розподіл називається *дихотомією*, а гліколіз – *дихотомічним циклом обміну вуглеводів*.



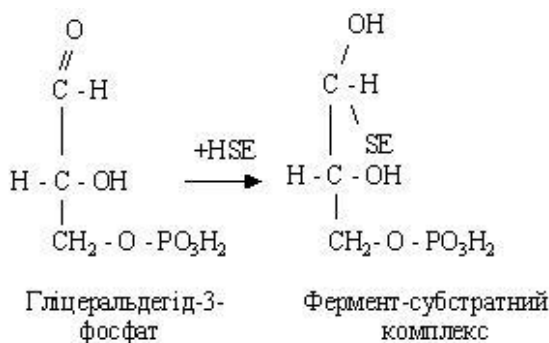
Під дією ферменту *тріозофосфатізомерази* можливо взаємне перетворення тріоз. При співвідношенні 5 % фосфогліцеролового альдегіду й 95 % фосфодиоксиацетону встановлюється рухлива рівновага.

Фосфодиоксиацетон перетворюється в гліцераальдегід-3-фосфат і всі наступні реакції йдуть із двома молекулами фосфогліцеролового альдегіду, що використовується для синтезу різних ліпідів. Таким чином, він є сполучною ланкою між гліколізом й обміном ліпідів.

*Перша* (підготовча) *стадія* гліколізу завершується утворенням *гліцераальдегід-3-фосфату*.

*Друга стадія*, що має важливе значення – найбільш складна. Вона включає окиснювально-відновну реакцію (гліколітична оксидоредукція), сполучену із субстратним фосфорилуванням, у процесі якого утворюється АТФ.

При взаємодії гліцераальдегід-3-фосфату з особливим ферментом – *HSE*, у білковій частині якого міститься сульфгідрильна група (SH), утвориться *проміжний фермент-субстратний комплекс*:

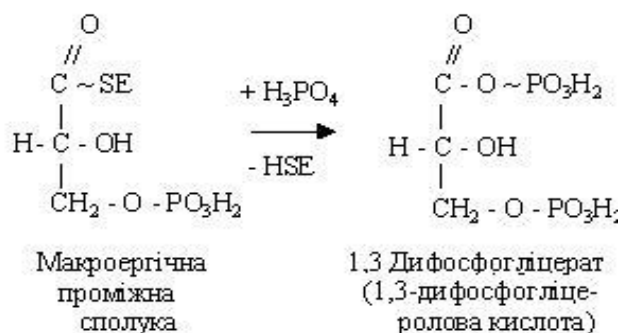


Далі відбувається його дегідрування за участю НАД, при цьому з'являються відновлена форма НАДН<sub>2</sub> і проміжний макроергічний комплекс.

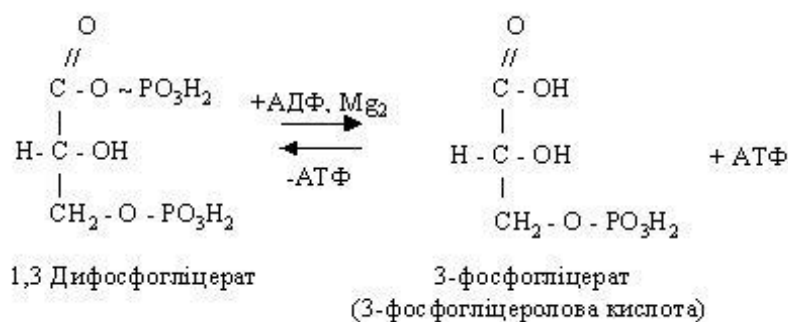


При взаємодії його з неорганічною фосфорною кислотою утворюється *1,3-дифосфогліцєролова кислота*.

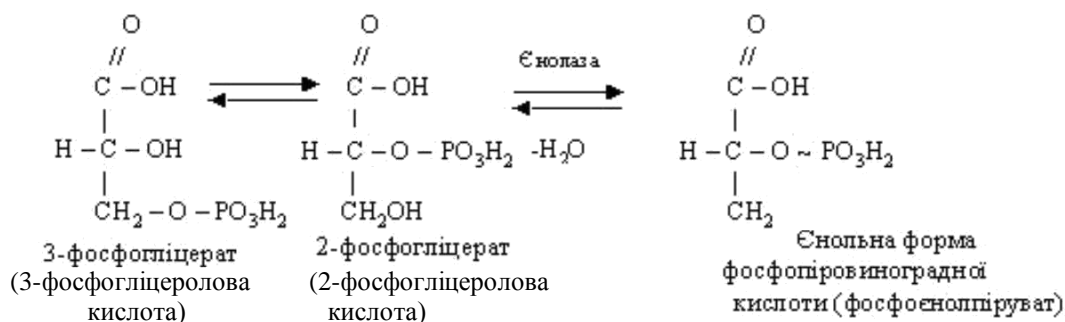
Після цього макроергічна сполука взаємодіє з АДФ, утворюються АТФ і *3-фосфогліцерат*.



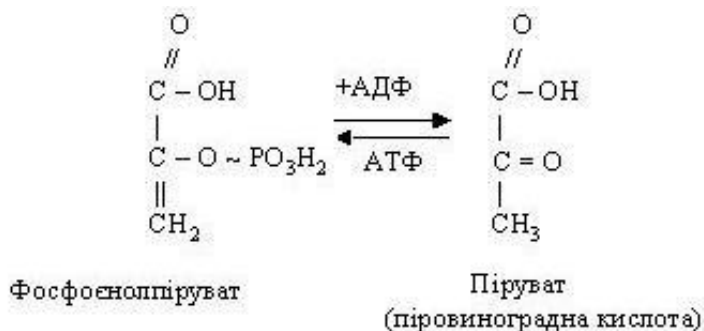
У цій реакції відбувається перетворення альдегідної групи глицеральдегід-3-фосфата в карбоксильну з виділенням енергії, що запасається в АТФ. Утворення АТФ із високо енергетичних сполук називається *субстратним фосфорилуванням*.



Під дією ферменту *фосфогліцератфосфомутази* (фосфогліцеромутази) 3-фосфогліцєролова кислота перетворюється в 2-фосфогліцєролову кислоту, що потім під впливом ферменту *єнолази* дегідрується й переходить в єнольну форму *2-фосфопіровиноградної кислоти*.



Остання взаємодіє з АДФ, при цьому утворюються АТФ і *піровиноградна кислота* (ПВК):



Якщо до моменту утворення пірувата в тканині не надійде достатня кількість кисню, то ПВК відновлюється до *лактату* (молочна кислота) за участю відновленого НАД (НАДН<sub>2</sub>).



В анаеробних умовах 85 % лактату відновлюється до глікогену, а 15 % окиснюється до CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O. Таким чином, лактат є кінцевим продуктом анаеробного окиснювання глюкози. В аеробних умовах лактат знову перетворюється в піруват. Цей процес протікає в цитоплазмі, де локалізовані всі ферменти гліколізу.

Біологічне значення процесу гліколізу полягає насамперед в утворенні фосфорних сполук, багатих на енергію. На перших етапах гліколізу витрачаються дві молекули АТФ (гексозна і фосфофруктокіназна реакції). На наступних етапах утворюються чотири молекули АТФ (фосфогліцераткіназна і піруваткіназна реакції). Крім того, утворюється дві молекули НАДН<sub>2</sub>, кожна з яких при біологічному окиснюванні на мітохондріях виділяє три молекули АТФ. Таким чином, із однієї молекули глюкози у результаті гліколізу утворюються вісім молекул АТФ.

З енергетичної точки зору гліколіз неефективний, тому що для виробництва енергії використовується велика кількість вуглеводів. Разом з тим значення цього процесу надзвичайно велике, тому що кінцеві продукти гліколізу (піруват і лактат) є субстратами аеробного окиснювання. Крім того,

енергія, яка утворюється у безкисневих умовах необхідна для виконання короточасних інтенсивних навантажень.

Значення гліколізу визначається також і тим, що в ході відповідних реакцій утворюються речовини, які необхідні для біосинтезу деяких життєво важливих сполук. Так, наприклад, фосфодиоксиацетон використовується для біосинтезу простих і складних ліпідів.

Таким чином, саме гліколіз готує «напівфабрикати», які далі окиснюються до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  в аеробних умовах.

Вивчаючи взаємозв'язок між анаеробним та аеробним окиснюванням Луї Пастер звернув увагу на гальмування гліколізу в процесі дихання. Це явище одержало назву «пастеровського ефекту». Гальмування відбувається на стадії перетворення фруктозо-6-фосфата у фруктозо-1,6-дифосфат. Значення ефекту Пастера, тобто переходу в присутності кисню від анаеробного гліколізу до дихання, складається в перемиканні клітини на більш ощадливий шлях одержання енергії.

Однією із причин пригнічення гліколізу диханням є конкуренція за неорганічний фосфат й АДФ.

**Аеробне окиснювання вуглеводів.** Клітини, які недостатньо постачаються киснем, можуть частково або повністю існувати за рахунок енергії гліколізу.

Перший етап аеробного розпаду лактату – його окиснювання до пірувату за участю *лактатдегідрогенази*.

Проте переважна більшість рослинних клітин у нормі перебуває в аеробних умовах, і піруват, що утворюється при розщепленні глюкози, не відновлюється до лактату, а поступово окиснюється до  $\text{CO}_2$ , і  $\text{H}_2\text{O}$  в аеробній стадії катаболізму. При цьому, спочатку відбувається окисне декарбоксілювання пірувату з утворенням ацетил-КоА.

Окисне декарбоксілювання протікає на мітохондріях. Воно каталізується складними поліферментними і полікоферментними системами, які складаються з декількох ферментів (власне дегідрогенази й ін.) і декількох коферментів, у тому числі тіамінпірофосфату (ТПФ), тіаміндифосфату (ТДФ), ліпоєвої кислоти (ЛК), НАД,  $\text{NAD}^+$ , ФАД,  $\text{Mg}^{2+}$ . Кожен компонент ферментної системи бере участь у здійсненні відповідної ланки процесу. Реакції відбуваються в кілька етапів.

**Цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса).** У ході аеробного окиснювання вуглеводів піровиноградна кислота піддається окисному декарбоксілюванню з утворенням ацетил-КоА.

Ацетил-КоА, що утворився, вступає в різні реакції обміну й окиснюється до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Повне окиснювання ацетил-КоА відбувається в циклі трикарбонових кислот – циклі Кребса.

70 % ПВК окиснюється до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  через стадію утворення ацетил-КоА. Цикл Кребса є центром, де сходяться всі метаболічні шляхи, він – загальний кінцевий шлях окиснювання ацетильних груп (у вигляді ацетил-КоА), у які перетворюється в процесі катаболізму більша частина органічних

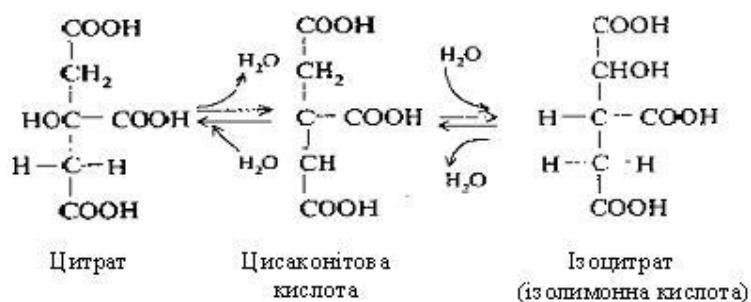
молекул, що грають роль «клітинного палива» – вуглеводів, жирних кислот, амінокислот.

Цикл Кребса протікає в матриці мітохондрій і складається з восьми послідовних реакцій.

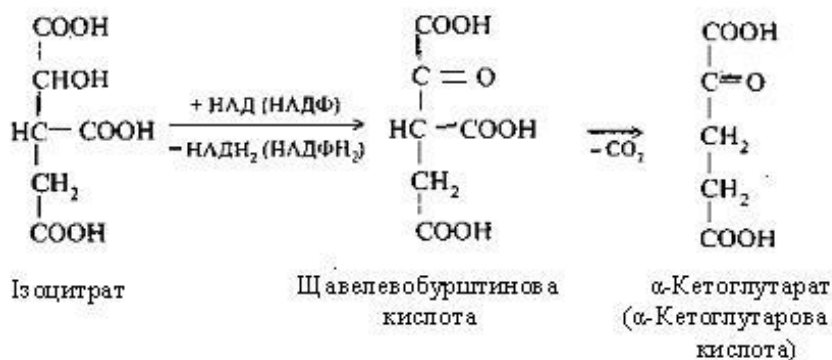
Перша реакція каталізується *цитрат-синтеазою*, при цьому ацетил-КоА конденсується із щавелевооцтовою кислотою (оксалоацетатом), у результаті чого утворюється *лимонна кислота* (цитрат).



У другій реакції лимонна кислота піддається дегідратуванню з утворенням *цисаконітової кислоти*, що, приєднуючи молекулу води, переходить в *ізолимонну кислоту* (ізоцитрат).

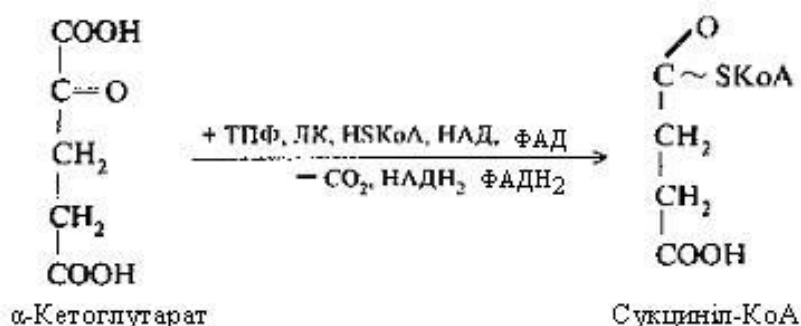


Третя реакція – ізолимонна кислота окиснюється шляхом відщиплення двох атомів водню й перетворюється в *щавелевобурштинову кислоту*, що декарбоксілюється до *α-кетоглутарової кислоти* (α-кетоглутарат).

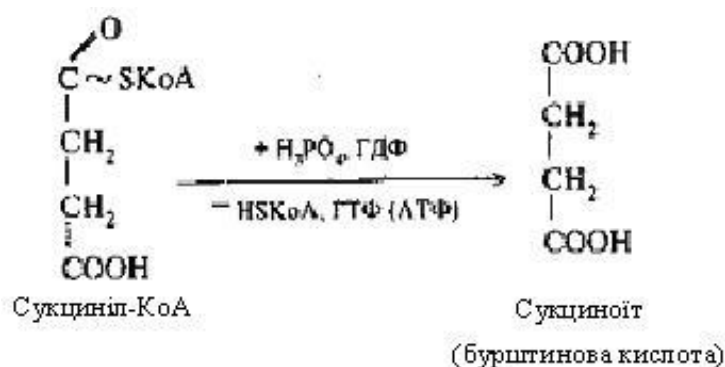


Четверта реакція – α-кетоглутарова кислота піддається окисному декарбоксілюванню під впливом складних ферментів. До складу цих ферментів входять коферменти (ТПФ, HSKoA, ліпоєва кислота, НАД, ФАД). Для реакції необхідні також іони  $\text{Mg}^{2+}$ . У результаті окисного

декарбоксилювання  $\alpha$ -кетоглутарової кислоти утворюється *сукциніл-КоА*, що має макроергічний карбоксилтіоловий зв'язок, у якому резервується енергія окисного декарбоксилювання. При цьому виділяється друга молекула  $\text{CO}_2$  і  $\text{НАДН}_2$ .

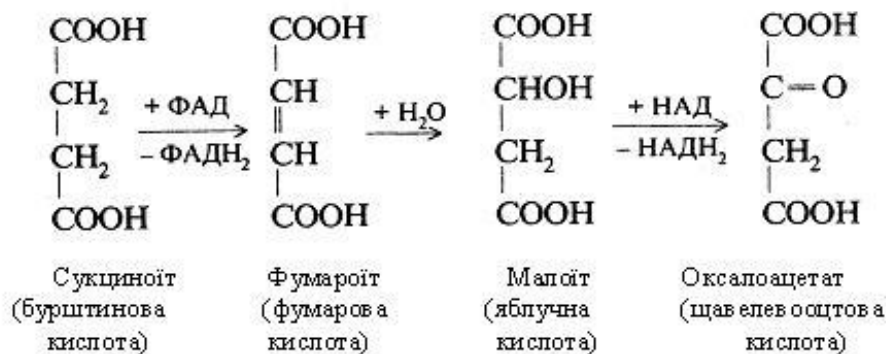


У ході *п'ятої* реакції сукциніл-КоА взаємодіє з неорганічним фосфатом, потім реагує з гуанідилдифосфатом (ГДФ) і перетворюється в *бурштинову кислоту*, а ГДФ, приєднуючи фосфат, перетворюється у ГТФ.



У ході *шостої* реакції бурштинова кислота за участю ФАД окиснюється у *фумарову кислоту* (фумарат).

В результаті *сьомої* реакції – фумарова кислота гідратується з утворенням *яблучної кислоти*. Під впливом НАД вона окиснюється до *щавлевоцтової кислоти* (оксалоацетат), тобто до того субстрату, з якого починається цикл трикарбонових кислот (*восьма* реакція).





Процес аеробного окиснювання вуглеводів відбувається з виділенням енергії (за рахунок НАДН<sub>2</sub> і ФАДН<sub>2</sub>). Одна молекула НАДН<sub>2</sub> виділяється на стадії декарбокซิлювання пірувата з утворенням ацетил-КоА.

Окиснювання ізолимонної кислоти в щавелевобурштинову також супроводжується виділенням молекули НАДН<sub>2</sub>. При декарбокซิлюванні  $\alpha$ -кетоглутарової кислоти утворюється сукциніл-КоА й НАДН<sub>2</sub>. Сукциніл-КоА перетворюється в бурштинову кислоту з утворенням 1 молекули АТФ (за рахунок ГТФ). Дегідрування бурштинової кислоти відбувається з виділенням ФАДН<sub>2</sub>, а дегідрування яблучної – з виділенням НАДН<sub>2</sub>. Відомо, що 1 молекула НАДН<sub>2</sub> еквівалентна 3 молекулам АТФ, а 1 молекула ФАДН<sub>2</sub> – 2 молекулам АТФ.

Отже, з однієї тріози в аеробному циклі утворюється 4 молекули НАДН<sub>2</sub> (12 молекул АТФ), 1 молекула ФАДН<sub>2</sub> (2 молекули АТФ) і 1 молекула АТФ. Оскільки з однієї молекули глюкози утворюється 2 тріози, вихід енергії буде становити  $15 \times 2 = 30$  молекул АТФ, а повне окиснювання 1 молекули глюкози в анаеробному і аеробному циклах складе  $8 + 30 = 38$  молекул АТФ.

Щавелевооцтова кислота, що утворилася, в кінці циклу може вступати в реакцію з молекулою ацетил-КоА, й процес починається спочатку. Таким чином, певна кількість щавелевооцтової кислоти неодноразово бере участь у реакції й забезпечує окиснювання до СО<sub>2</sub> і Н<sub>2</sub>О великої кількості оцтової кислоти, що утворюється з вуглеводів, ліпідів, білків й інших сполук. Але цей процес не нескінченний. Щавелевооцтова кислота в мітохондріях декарбокซิлюється з утворенням піровиноградної кислоти, що у свою чергу перетворюється в ацетил-КоА.

Виділенням енергії не вичерпується значення циклу трикарбонових кислот. Роль його полягає також в тому, що при аеробному окиснюванні вуглеводів утворюються проміжні речовини, які використовуються для різних процесів біосинтезу. Так,  $\alpha$ -кетоглутарова й щавелевооцтова кислоти можуть перетворюватися в амінокислоти (глутамінову й аспарагінову), які необхідні для синтезу білків, азотистих основ, гормонів, нуклеотидів.

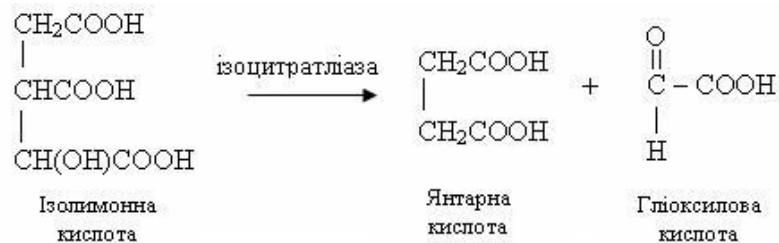
Цикл Кребса поставляє відбудовні еквіваленти в ланцюг дихальних ферментів, де потік електронів і протонів сполучений з утворенням АТФ. Цикл не може протікати швидше, ніж це дозволяє використання АТФ. Він регулюється за типом зворотного зв'язку: інгібується АТФ й активується АДФ, що накопичується в міру утилізації АТФ.

**Гліоксилатний цикл.** Гліоксилатний цикл локалізований не в мітохондріях, як цикл Кребса, а у спеціалізованих мікротілах рослинних клітин – *гліоксисомах*. У гліоксилатному циклі бере участь не одна, а дві молекули ацетил-КоА. В ході цього процесу відбувається послідовне перетворення активної форми оцтової кислоти через стадію утворення гліоксилової кислоти.

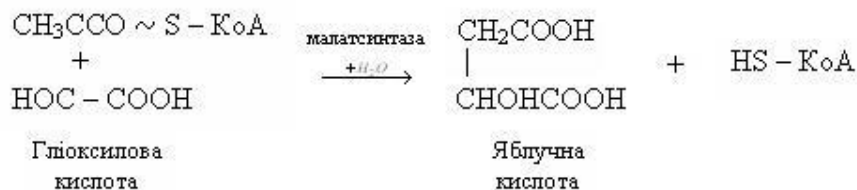
Гліоксилатний цикл є видозміненим циклом трикарбонових кислот: у ньому відсутні два етапи декарбокซิлювання і лише два ферменти інакші, ніж у циклі трикарбонових кислот – *ізоцитратліаза* і *малатсинтаза*. Вони забезпечують специфічність роботи циклу. Початкові реакції гліоксилатного циклу і циклу трикарбонових кислот однакові. У пусковій реакції циклу

ацетил-КоА конденсується з щавлево-оцтовою кислотою, утворюючи лимонну кислоту. Вона потім перетворюється в цис-аконітову, а далі в ізолимонну кислоту.

На наступному етапі фермент *ізоцитратліаза* розщеплює ізолимонну кислоту до *янтарної* і *гліоксилової кислот*.



Специфічний для гліоксилатного циклу фермент *малатсинтаза* каталізує реакцію конденсації гліоксилової кислоти з другою молекулою ацетил-КоА з утворенням *яблучної кислоти*.



Яблучна кислота окиснюється *малатдегідрогеназою*, для діяльності якої необхідний НАД. Внаслідок цієї реакції утворюється *щавлевооцтова кислота* і цикл замикається.



Пара водневих атомів, які відокремилися від яблучної кислоти і перейшли на кофермент НАД, передаються ним в електронно-транспортний ланцюг (біологічне окиснення), внаслідок чого синтезується 3 молекули АТФ. У кожному оборті циклу утворюються янтарна і яблучна кислоти, які можуть поповнювати цикл трикарбонових кислот або використовуватись як «будівельні блоки» в інших біосинтезах.

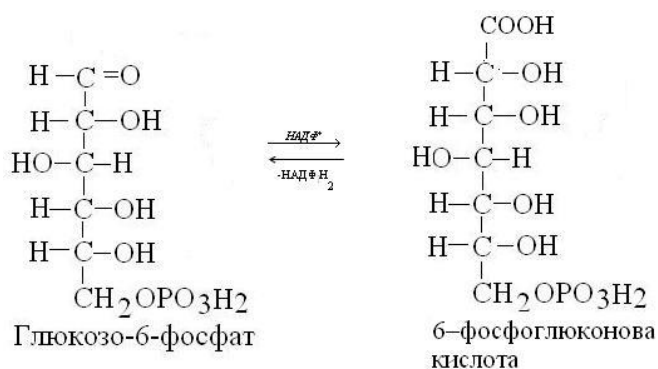
Гліоксилатний цикл має особливе значення при проростанні насіння олійних культур. Жир, що міститься у ньому підтримує ріст проростка, поки він повністю не перейде до фотосинтезу.

Гліоксилатний цикл дає можливість перетворювати запасний жир на вуглеводи. В одному обороті циклу відновлюється 1 молекула НАД (НАДН<sub>2</sub>), енергія якої може бути використана на синтез АТФ або інші процеси.

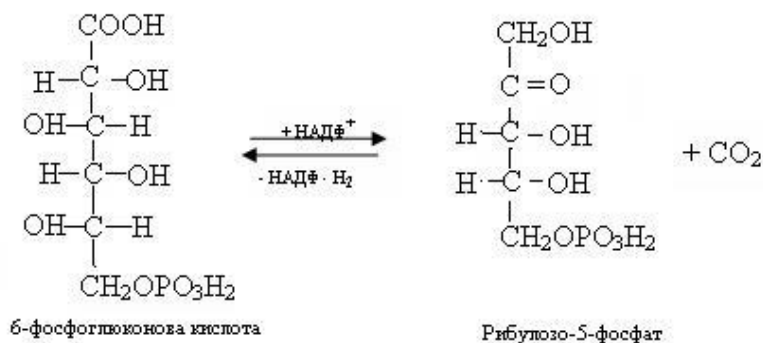
**Пентозофосфатний шлях дихання.** Крім гліколізу існує прямий шлях окиснення глюкози – з утворенням п'ятикарбонних та інших цукрів. Головну роль при цьому відіграють *пентозофосфати*, у зв'язку з чим його називають окисним пентозофосфатним шляхом.

*Пентозофосфатний шлях дихання* – це катаболізм гексоз, в якому беруть участь п'ятикарбонні пентози. Пентозофосфатний шлях дихання відбувається в цитоплазмі і має дві фази. *Перша* фаза окисна: глюкозо-6-фосфат окиснюється до рибулозо-5-фосфату, ця фаза незворотня. *Друга* фаза неокисна – відбувається утворення глюкозо-6-фосфату з трьох-, чотирьох-, п'яти-, шести- і семикарбонних цукрів.

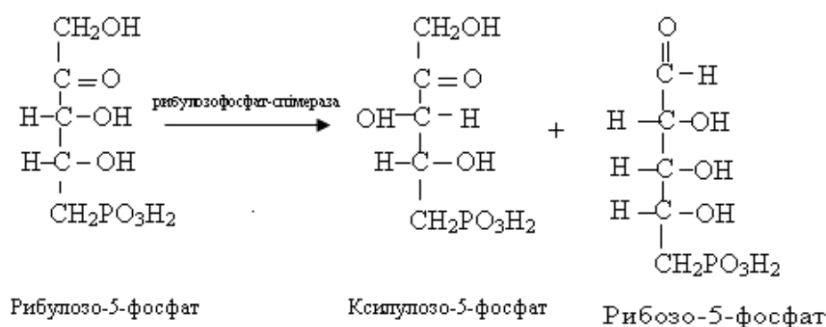
Якщо у цикл вступає нефосфорильована глюкоза, то спочатку вона фосфорильється за допомогою АТФ, перетворюючись у глюкозо-6-фосфат. Він окиснюється шляхом дегідратування *дегідрогеназою*, що використовує як акцептор електронів НАДФ<sup>+</sup>. У результаті реакції утворюється 6-фосфоглюконова кислота і НАДФН<sub>2</sub>.



В наступній реакції 6-фосфоглюконова кислота під дією НАДФ<sup>+</sup> піддається окисному декарбоксілюванню. У результаті утворюється п'ятикарбонний цукор рибулозо-5-фосфат, виділяється вуглекислий газ і виникає ще одна молекула НАДФ·Н<sub>2</sub>.

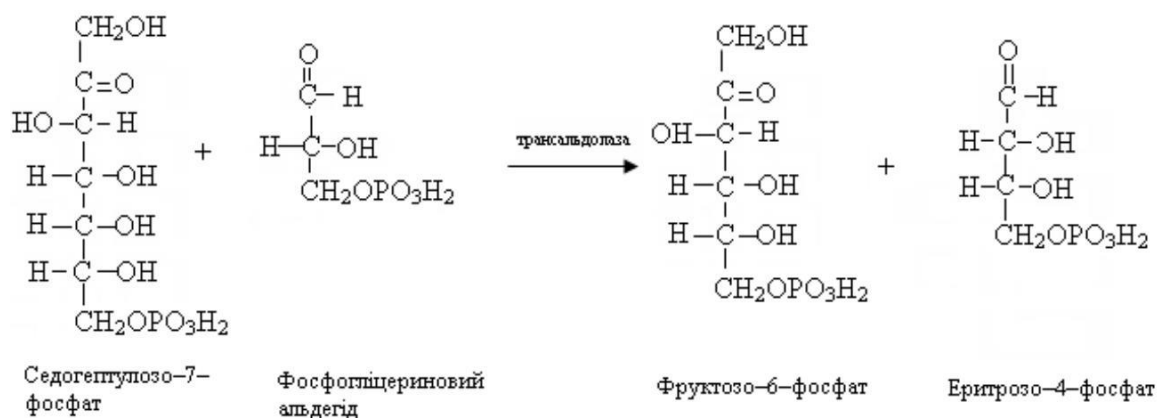
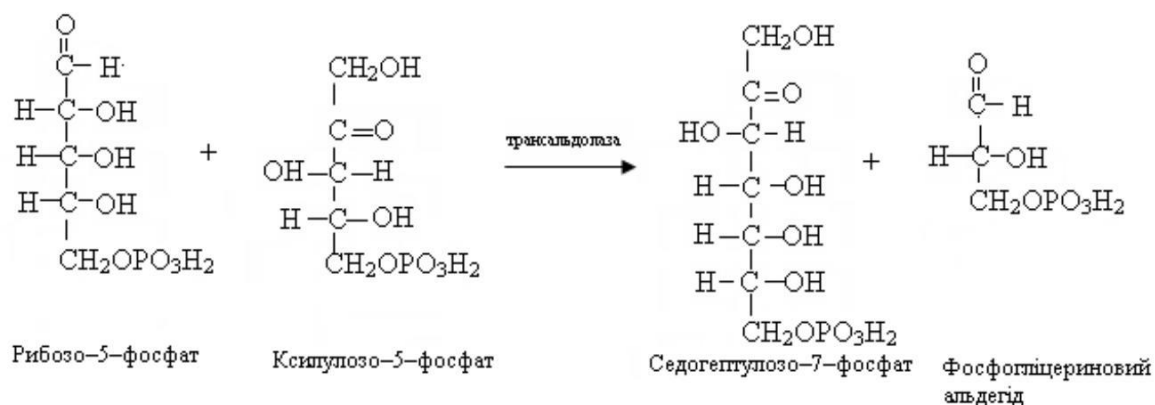


На цьому закінчується перша фаза пентозофосфатного шляху. Утворений *рибулозо-5-фосфат* ізомеризується в *ксилулозо-5-фосфат* і *рибозо-5-фосфат*.

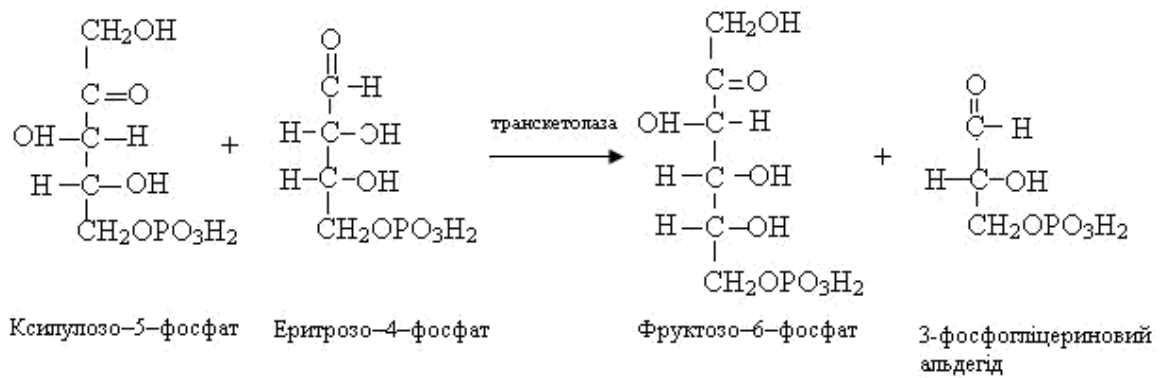


На наступному етапі вуглецевий радикал ксилупозо-5-фосфат під дією ферменту *транскетолази* переноситься на молекулу рибозо-5-фосфату. В результаті реакції утворюється *седогептулозо-7-фосфат* і *3-фосфогліцериновий альдегід*.

Потім під дією ферменту *трансальдолази* седогептулозо-7-фосфат взаємодіє з 3-фосфогліцериновим альдегідом і утворює *фруктозо-6-фосфат* і *еритрозо-4-фосфат*.



Після цього в реакцію вступає ще одна молекула ксилупозо-5-фосфату. Під дією ферменту *транскетолази* утворюється ще одна молекула *фруктозо-6-фосфату*.



**Інтенсивність дихання і його залежність від зовнішніх і внутрішніх факторів.** Інтенсивність дихання у різних видів, сортів та органів рослин залежить від фази розвитку організмів та їх фізіологічного стану.

Загальна закономірність дихання в онтогенезі рослини полягає в тому, що спочатку інтенсивність дихання зростає, досягає максимуму, а потім згасає. У соковитих плодів перед повним досяганням спостерігається тимчасова на 2-3 дні активація дихання – *клімактеричний підйом дихання*. У цей період у плодах накопичується етилен, що активує синтез дихальних ферментів і впливає на проникність мембран для дихальних субстратів.

*Вміст води* у тканинах рослин впливає на інтенсивність дихання, тому що від вмісту води у клітинах залежить колоїдний стан цитоплазми, активність ферментів, відкриття продихів, через які відбувається газообмін. При водному дефіциті у клітинах рослин знижується інтенсивність дихання окремих органів рослин.

*Вплив температури.* Дихання рослин відбувається у діапазоні температур від 2-3° до 50-60° С. Як і усі ферментативні процеси, дихання має мінімум, оптимум і максимум значення. При температурі нижчій за мінімальну дихання не відбувається. Оптимальна температура найсприятливіша для дихання, воно протікає з найбільшою інтенсивністю. Оптимум температури для дихання рослин складає 35-40° С, що на 5-10° С вище оптимуму для фотосинтезу. При максимальній температурі дихання рослин спостерігається ще деякий час. Однак, із підвищенням температури на кожні 10° С швидкість процесу зростає у два рази. При температурах вище оптимуму інтенсивність дихання зменшується, внаслідок розгалуження ферментативних процесів, нагромадження шкідливих метаболітів, що пошкоджують мембрани клітин рослин.

*Вплив кисню.* Вміст кисню впливає на дихання. При нагромадженні високої кількості вуглекислого газу у середовищі різко знижуються і майже зупиняються процеси дихання і росту.

Для деяких плодів та овочів підвищений вміст CO<sub>2</sub>, що знижує інтенсивність дихання, сприяє збереженню якості продукції без ознак псування, наприклад, моркви. Яблука і груші в умовах високої концентрації CO<sub>2</sub> не перестигають, завдяки цьому подовжуються строки їх зберігання. Однак в багатьох об'єктах надмірне накопичення CO<sub>2</sub> викликає порушення в обміні

речовин, зокрема підвищує рН середовище та руйнує аскорбінову кислоту. За таких умов зберігання відбувається швидке псування апельсинів, капусти, цибулі тощо

*Вплив мінерального живлення.* Мінеральні речовини необхідні для функціонування і біосинтезу дихальних ферментів. Нестача мінеральних речовин призводить до руйнування мітохондрій, роз'єднання окиснювального фосфорилування і дихання.

*Контрольні запитання:*

1. Як протікає перетворення моносахарів у рослинах?
2. Як відбувається синтез сахарози у рослинах?
3. Опишіть синтез і розпад полісахаридів у рослинах.
4. Які етапи фотосинтезу Вам відомі?
5. Які хімічні перетворення відбуваються на різних етапах фотосинтезу?
6. Які ферменти та коферменти приймають участь у фотосинтезі?
7. Що таке дихання рослинних організмів?
8. Які фундаментальні процеси відносять до дихання рослин?
9. Який енергетичний ефект має гліколіз?
10. Який енергетичний ефект має аеробне окиснення вуглеводів?
11. Які етапи має пентозофосфатний шлях обміну вуглеводів?

## РОЗДІЛ 8. ОРГАНІЧНІ КИСЛОТИ

Сік плодово-ягідної та деякої овочевої сировини має кислу реакцію, яка обумовлюється наявністю кислот як у вільному стані, так і у вигляді кислих солей.

При вивченні кислотності рослинних соків треба відрізнити чотири величини:

- *титрована кислотність* визначається титруванням водної витяжки з наважки плодів або соку з них, розчином луку, користуючись відповідним індикатором. Титровані кислоти не правильно називати «вільними кислотами», тому, що титруванням визначаються не тільки вільна кислота, але також і кислі солі;
- *вільна кислота* - концентрація вільної недисоційованої кислоти; цю кислотність неможливо встановити прямими визначеннями, її можна лише приблизно вивести з величини рН;
- *загальна кислотність* є сумою аніонів дисоційованих і недисоційованих молекул кислот і молекул кислих та середніх солей; такий вид кислотності може бути визначений осадженням у вигляді нерозчинних солей даної кислоти. Різницю між загальною і титрованою кислотністю можна позначити як «*нетитрована кислотність*», яка часто, не цілком точно, називається «*зв'язаною кислотою*»;
- *активна кислотність*, або концентрація водневих іонів, яка позначається символічно через рН.

### 8.1. Загальна характеристика органічних кислот

*Органічні кислоти* складають значну частину сухих речовин плодів та овочів.

Основною функціональною групою цих кислот є карбоксильна група (COOH), від якої відщеплюється іон водню – тому їх називають *карбоновими*.

Залежно від кількості карбоксильних груп органічні кислоти поділяють на *монокарбонові* (одноосновні), *дикарбонові* (двоосновні) та *трикарбонові* (триосновні). Класифікацію органічних кислот наведено на рисунку 8.1.

Органічні кислоти відіграють важливу роль в розвитку плодових, ягідних та овочевих культур. Ці культури мають здатність накопичувати кислоти. В окремих культурах і сортах накопичуються лише певні кислоти, переважно одна-дві.

Особливо поширені в плодових, овочевих та ягідних культурах такі кислоти як яблучна, лимонна, винна, хінна, хлорогенова, оцтова, щавлева, фумарова, янтарна, піровиноградна, гліцерінова, глютамінова, бензойна,  $\alpha$ -кетоглутарова та інші. Кожна з цих кислот відіграє певну роль у складних метаболічних процесах, які мають місце в рослинних клітинах.

З перетворенням органічних кислот пов'язані різні цикли реакцій, наприклад, цикл Кребса.

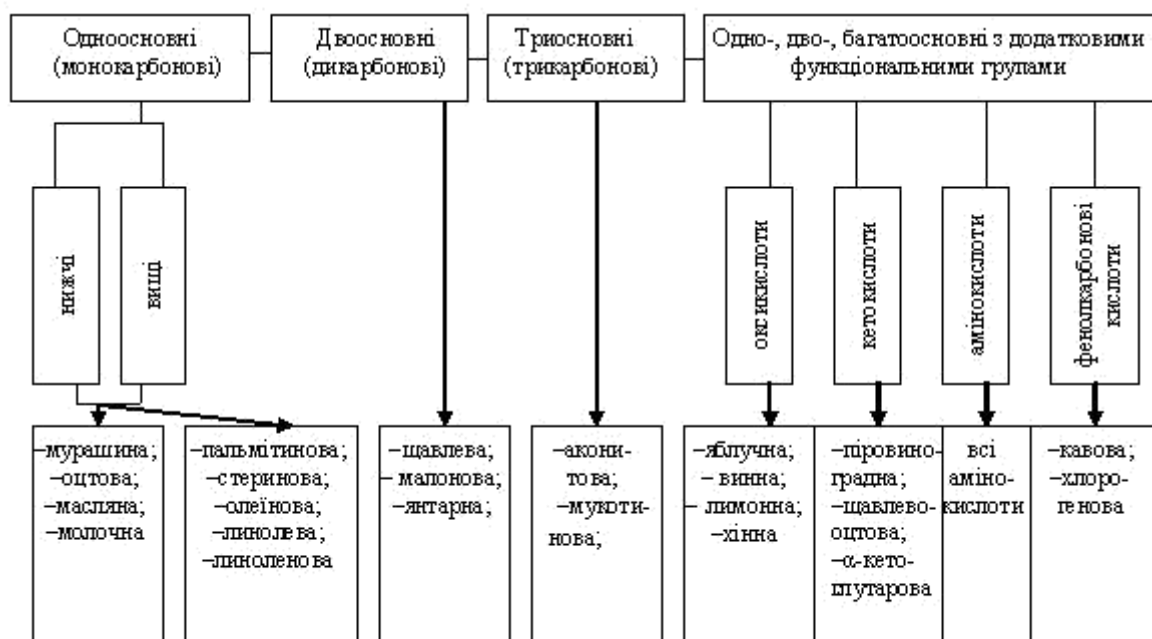


Рис. 8.1 – Класифікація органічних кислот

Щавлевооцтова кислота є важливим проміжним продуктом циклу Кребса, який об'єднує між собою перетворення вуглеводів і амінокислот.

Альфа-кетоглутарова кислота як і щавлевооцтова кислота є проміжним продуктом циклу Кребса. Янтарна кислота утворюється при обміні вуглеводів в циклі Кребса. Піровиноградна кислота є проміжним продуктом обміну вуглеводів.

Органічні кислоти необхідні організму не тільки як матеріал для синтезу інших сполук та енергетичних потреб, вони також беруть участь у багатьох біохімічних реакціях, впливають на рН середовище, активність ферментів. Органічні кислоти включаються в обмін речовин в мітохондріях клітин, а акумулюються – в вакуолях.

Біохімічний склад та метаболізм органічних кислот неоднаковий у різних культур. Це залежить від багатьох факторів росту і розвитку рослин, впливу чинників зовнішнього середовища. Наприклад, в яблуках міститься багато яблучної та лимонної кислоти. В яблуках, вишнях, сливах, капусті, цибулі, моркві, буряку і в більшості ягід яблучна кислота переважає над лимонною. В цитрусових, смородині, агрусі, помідорах, картоплі лимонна кислота переважає над яблучною. Ці кислоти у великій кількості містяться в шпинаті, ревені. В щавлі багато щавлевої кислоти.

В різних частинах рослин акумулюється неоднакова кількість органічних кислот. Наприклад, в м'якоті молодих яблук переважають яблучна, лимонна, хінна кислоти, а в шкоринці та насінні яблук – більше жирних кислот, які входять до складу жирів та воскового нальоту.

Яблучна та лимонна кислоти накопичуються в плодах та листі рослин, янтарна – в стеблах. Винна кислота знаходиться в ягодах і листі винограду.

Здатність плодів і овочів накопичувати органічні кислоти має велике біологічне значення для здоров'я людини. Кислоти, які потрапляють в організм



людини з плодів та овочів, нормалізують травлення, засвоєння їжі, обмін речовин.

Кислоти, більш ніж інші речовини, впливають на смакові, поживні та ароматичні якості плодів, навіть на забарвлення та консистенцію. Особливо важливим є вплив органічних кислот на споживчі, дієтичні та цілющі властивості плодів та овочів.

З процесами декарбосилування, перетворенням органічних кислот пов'язані деякі хвороби плодів і овочів, наприклад, побуріння і інші.

Іноді кислоти перетворюються в цукри. Під час росту в плодах збільшується маса органічних кислот і вуглеводів, а під час досягання – плоди стають солодкими за рахунок зменшення кількості органічних кислот.

В лимонах та деяких інших плодах, багатих на лимонну кислоту, зберігається її високий вміст і після досягання плодів, тому що перехід її в інші речовини відбувається повільно.

Органічні кислоти витрачаються у процесі дихання. Під час зберігання зерняткових плодів вміст кислот знижується. Це є ознакою стиглості плодів. Кислоти, як і цукри, добре розчиняються у воді. Вміст кислот є показником смакової гами продуктів консервування, тому поряд із вмістом цукрів органічні кислоти враховують при розрахунках рецептур консервів і вина. Вміст органічних кислот враховують також при визначенні режиму стерилізації: чим він більший, тим температура стерилізації повинна бути нижча.

Смакова кислотність плодів залежить не тільки від їх загальної кислотності, а й від величини рН, оскільки відчуття кислого смаку залежить як від концентрації іонів водню, так і від наявності дубильних речовин.

Кислоти у тканинах плодів розповсюджуються нерівномірно: більше їх у внутрішніх тканинах.

Органічні кислоти локалізовані в окремих ділянках тканин плодів. Частіше їх більше в плодової м'якоті, менше у шкоринці, і ще менше у насінні.

У сливі кислотність м'якоті біля шкоринки становить 2,07 %, а в середині плоду і біля кісточки – 1,29 %, в аличі відповідно – 2,4 і 1,2 %. Нерівномірність розподілу кислоти в різних тканинах спостерігається також і у овочах.

Кількість кислот, які містяться у плодах і овочах, прийнято виражати в перерахунку на превалюючу кислоту. Використовуючи плоди і овочі для різних цілей, важливо знати концентрацію водневих іонів. Чим вища концентрація іонів водню, тим сильніший кислий смак. При рН нижче 4,0 смак плодів кислий, а при рН 6,0 і вище – прісний. Для плодів і ягід рН знаходиться у межах 2,5...5,0, для овочів – 5,3...6,9, за винятком щавлю (3,74), ревеню (3,2-4,5) і томатів (4,1-4,8).

Добова потреба людського організму в органічних кислотах становить в середньому 2 г і задовольняється переважно за рахунок споживання плодів, солоних, квашених та кисломолочних продуктів.

Більшість органічних кислот поряд зі своєю основною карбоксильною групою має також додаткові функціональні групи, від яких залежать їх властивості. Відповідно розрізняють *оксикислоти*, *кетокислоти*, *амінокислоти* і *фенолкарбонові* кислоти.

*Оксикислоти* – кислоти, які мають додаткові гідроксильні групи, крім тих, що входять у склад карбоксилів. Наприклад, винна кислота, яка є дикарбоною, адже має дві карбоксильні групи, має ще дві гідроксильні групи (COOH–CH(OH)–CH(OH)–COOH).

До оксикислот відносять також яблучну, лимонну, хінну і інші кислоти.

*Кетокислоти* – кислоти, які мають у своєму складі додаткову кетогрупу (C=O). Це, наприклад, пірвіноградна, щавлевооцтова,  $\alpha$ -кетоглутарова кислоти і інші.

*Амінокислоти* – найголовніші субстрати метаболізму азоту в організмі. Від них походять пурини, піримідини, пептиди, білки, ферменти і багато інших сполук з високою фізіологічною активністю.

Амінокислоти є похідними органічних кислот ароматичного ряду і містять аміногрупу (NH<sub>2</sub>) і карбоксильну групу (COOH).

## 8.2 Характеристика органічних кислот

*Мурашина кислота (НСООН)* являє собою рухому рідину з різким запахом. Знайдена в кропиві, малині, яблуках.

*Оцтова кислота (CH<sub>3</sub>–COOH)* знаходиться у складі різних плодів і рослинних соків. Вона також утворюється при оцтовокислому бродінні. В зерні пшениці і кукурудзи оцтова кислота становить 85 % всіх кислот. Міститься у складі складних ефірів в яблуках.

*Масляна кислота (CH<sub>3</sub>–CH<sub>2</sub>–CH<sub>2</sub>–COOH)* зустрічається у невеликих кількостях в рослинах як у вільному стані, так і у складі складних ефірів. Вона має сильний і неприємний запах. Є цінною ароматичною речовиною. Утворюється масляна кислота при маслянокислому бродінні, застосовується у парфумерній і кондитерській промисловості.

*Молочна кислота (CH<sub>3</sub>–CH(OH)–COOH)* міститься в овочах та плодах в незначній кількості, але її багато у продуктах переробки. Вона утворюється внаслідок розвитку молочних бактерій під час квашення яблук, капусти, соління огірків, томатів і зберігає продукцію від псування. Велика її кількість міститься в листках малини. Застосовується молочна кислота в медицині, виробництві цукерок, безалкогольних напоїв.

*Пірвіноградна кислота (CH<sub>3</sub>–CO–COOH)* – найпростіша кетокислота. Вона є важливим проміжним продуктом дисиміляції вуглеводів в рослинах, а також при спиртовому і молочнокислому бродінні. Знайдена в багатьох рослинах.

*Щавлева кислота (НООС–COOH)* – найпростіша дикарбонова кислота. Вона досить поширена у плодах і овочах, хоча у більшості з них міститься в малій кількості. Щавлева кислота дуже подразнює і припікає слизову оболонку травної системи людини, порушує обмін речовин, її солі знижують лужність крові. Цієї кислоти дуже багато у щавлі у вигляді щавлево-калієвої солі. В перерахунку на цю сіль в щавлі міститься 0,56-0,93 % кислоти. Кисла щавлево-калієва сіль шкідлива для організму людини, тому доцільно щавель варити в жорсткій воді, щоб перевести кислоту щавлево-калієву сіль в нерозчинний

оксалат кальцію, який погано всмоктується організмом. Щавлевої кислоти більше у старих рослинах, тому споживати краще молоде листя, в яких переважають яблучна і лимонна кислоти.

*Маленова кислота (НООС-СН<sub>2</sub>-СООН)* знайдена в листі квасолі, люпину і інших бобових рослин, у лимоні, а також в зелених частинах пшениці, вівса і ячменю. У складі коферменту А вона є проміжним продуктом синтезу насичених жирних кислот.

*Янтарна кислота (буриштинова) (НООС-СН<sub>2</sub>-СН<sub>2</sub>-СООН)* міститься в багатьох рослинах, у тому числі в ягодах червоної смородини, агрусу, вишні, черешні, винограді, сливі, яблуках. Вона утворюється у невеликій кількості при спиртовому бродінні. Входить до складу багатьох дубильних речовин.

*Щавлевооцтова кислота (НООС-СО-СН<sub>2</sub>-СООН)* знайдена в багатьох в рослинах. Відіграє важливу роль в біосинтезі аспарагінової кислоти, аспарагіна і аланіна.

*Альфа-кетоглутарова кислота (НООС-СО-СН<sub>2</sub>-СН<sub>2</sub>-СООН)* знайдена в багатьох рослинах. Вона приймає участь в утворенні глутамінової кислоти і глутаміна.

*Яблучна кислота(оксиянтарна) (СООН-СН<sub>2</sub>-СНОН-СООН)* знайдена в багатьох рослинах, особливо багато її міститься в горобині (1,5-3,0%), барбарисі (до 6%), кизилі. Її виробляють з горобини або синтезують з фумарової кислоти. У більшості плодів і ягід яблучна кислота зустрічається разом з лимонною. В зерняткових плодах – яблуках, айві, груші, а також кісточкових – абрикосах і персиках переважає яблучна кислота, в ягодах – лимонна, у помідорах є як яблучна, так і лимонна кислоти. Яблучна кислота добре розчинна у воді, не шкідлива для організму людини. Її широко використовують для виготовлення фруктових вод і кондитерських виробів.

*Винна кислота (діоксиянтарна) (СООН-СНОН-СНОН-СООН)* в значній кількості міститься лише у винограді (0,3-1,7 %), де знаходиться частково у вільному стані, а частково у вигляді кислій калієвої солі (0,2-0,8 %), яку називають винним каменем. Винний камінь випадає в осад з виноградного вина під час витримки його в бочках. Винну кислоту виробляють у великій кількості з відходів виробництва (винний камінь і дріжджовий осад). Сухий дріжджовий осад містить 20-30 %, а винний камінь – 40-70 % винної кислоти. Вона широко використовується в харчовій промисловості, медицині тощо.

*Лимонна кислота (СООН-СН<sub>2</sub>-С(ОН)СООН-СН<sub>2</sub>-СООН)* міститься у більшості плодів разом з яблучною кислотою. В цитрусових плодах і журавлині її кількість становить 6,0-8,0 %. В ягодах лимонної кислоти більше, ніж яблучної. Одержують лимонну кислоту з лимонів і граната. Використовують її для виготовлення фруктових вод.

В плодах і овочах присутня група органічних кислот, до складу яких входять шестичленні цикли, тобто ці кислоти відносять до ароматичного ряду. Серед них саліцилова кислота, бензойна, каваова, хінна, хлорогенова та ін.

*Саліцилова кислота (С<sub>6</sub>Н<sub>4</sub>(ОН)СООН)* знайдена в малині, у меншій кількості в суниці і вишні. Її натрієва сіль володіє жарознижувачим ефектом.

Тому малина широко застосовується у народній медицині при лікуванні простудних захворювань як потогінний і жарознижуючий засіб.

*Бензойна кислота* ( $C_6H_5COOH$ ) знайдена в брусниці (0,05-0,14 %), журавлині (0,01-0,04%) у вільному стані і у вигляді глюкозиду (сполука бензойної кислоти з глюкозою). Бензойна кислота має антисептичні властивості. Це пояснює тривале зберігання цих ягід у свіжому вигляді.

*Кавова кислота* ( $C_9H_8O_4$ ) знайдена у каві. У яблуках, картоплі вона присутня в поєднанні з хінною кислотою у вигляді хлорогенової кислоти. Кавова кислота пригнічує розвиток фітофтори і фузаріозу бульб картоплі, тому відіграє значну роль в підтримці механізму спокою картоплі і овочів та одночасно в стійкості їх до патогенних мікроорганізмів, тобто є ендogenousним інгібітором росту.

*Хінна кислота* ( $(HO)_2C_6H_3CH=CHCOOH$ ) в незначній кількості міститься у сливах, яблуках, винограді, журавлині, в листі брусники, буряку. Вона входить до складу багатьох дубильних речовин.

*Хлорогенова кислота* ( $C_6H_{18}O_9$ ) легко окиснюється і відновлюється, тому відіграє важливу роль у дихальному газообміні плодів та овочів. Утворення і поява потемніння шкірочки і м'якуша яблук при зберіганні пов'язують з ферментативним окисненням цієї кислоти. Хлорогенова кислота, особливо її окиснені форми – хінони – володіють фунгітоксичними властивостями, тобто затримують розвиток грибів. У стійких сортів тканин значно збільшується вміст хлорогенової кислоти, тобто вона виконує роль хімічного бар'єру на шляху до розповсюдження патогенних мікроорганізмів, завдяки чому формується активна захисна реакція рослин проти мікроорганізмів. Хлорогенова кислота знайдена у яблуках, грушах, айві, вишні, сливі, картоплі.

#### *Контрольні запитання:*

1. Як класифікують органічні кислоти?
2. Яку біологічну роль відіграють органічні кислоти?
3. Наведіть характеристику окремих органічних кислот.

## РОЗДІЛ 9. РОСЛИННІ РЕЧОВИНИ ВТОРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

### 9.1 Характеристика окремих речовин вторинного походження

Поряд з білками, нуклеїновими кислотами, вуглеводами, ліпідами і вітамінами в рослинах містяться речовини, які називають *речовинами вторинного походження*.

Більшість із цих речовин, наприклад, деякі органічні кислоти, утворюючись в рослинах, використовуються рослинними клітинами для процесів синтезу, у великій кількості не накопичуються і являють собою проміжні продукти обміну речовин.

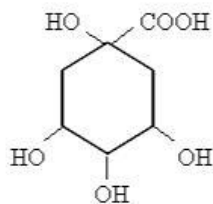
Деякі з них накопичуючись в рослинах у великій кількості (фенольні сполуки, ефірні олії), обумовлюють особливості обміну.

До речовин вторинного походження належать:

- *гідроароматичні сполуки*;
- *фенольні сполуки*;
- *дубильні речовини*;
- *глікозиди*;
- *ефірні олії*;
- *пігменти*.

*Гідроароматичні сполуки*. Ця група циклічних з'єднань (інозит, хінна кислота, хімікова кислота) широко представлені в рослинах. Їх можна віднести до біологічно активних речовин (БАР). Вони беруть участь у процесах обміну речовин. Джерелом утворення гідроароматичних сполук є фосфорильовані цукри. В рослинних організмах проходить циклізація молекули глюкози з утворенням *інозиту* – сполуки, яка має таку ж саму емпіричну формулу що і глюкоза, але являє собою циклічний шестиатомний спирт. Інозит міститься у рослинах у вигляді ізомерів і їх метилірованих похідних, серед яких найбільш поширений *міо-інозит*. Міо-інозит утворюється в рослинах і дріжджах із глюкозо-6-фосфату. В рослинах він легко перетворюється в кислоти.

Найбільш відомою природною гідроароматичною сполукою є *хінна кислота*, яка є в багатьох рослинах. Хінна кислота виявлена в молодих пагонах тютюну, в корі хінного дерева, сливах, яблуках, винограді, чорниці, журавлині, плодах айви, агрусу, зернах кави. Вона може використовуватися мікроорганізмами для утворення фенольних сполук. Вміст хінної кислоти в рослинах значною мірою залежить від пори року.



Хінна кислота

Високий вміст *фенольних речовин* і їх похідних характеризуються особливістю хімічного складу рослин. Однією з головних причин їх

присутності у рослинах є неможливість виділяти продукти обміну речовин у навколишнє середовище.

В рослинах ідентифіковано кілька тисяч фенольних сполук. Їх класифікація наведена на рисунку 9.1.

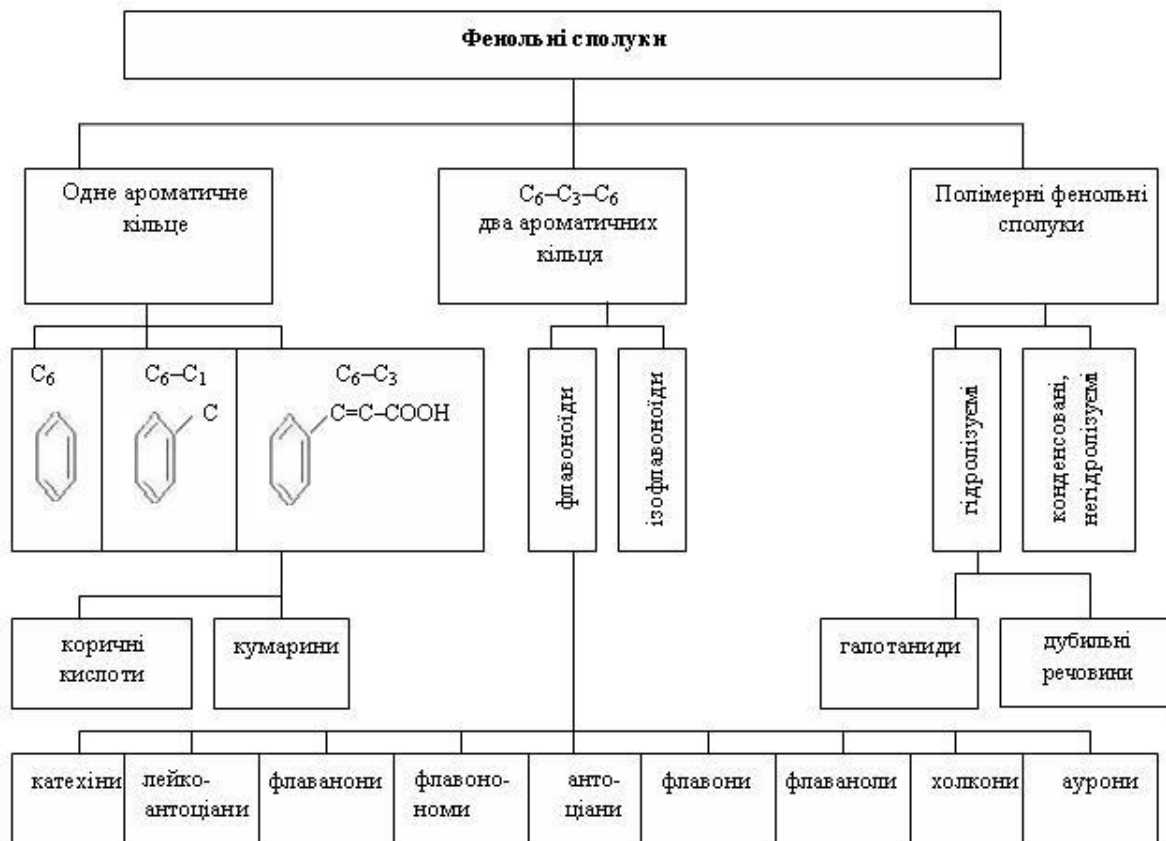


Рис. 9.1 – Класифікація фенольних сполук

Вони виконують важливі *функції*:

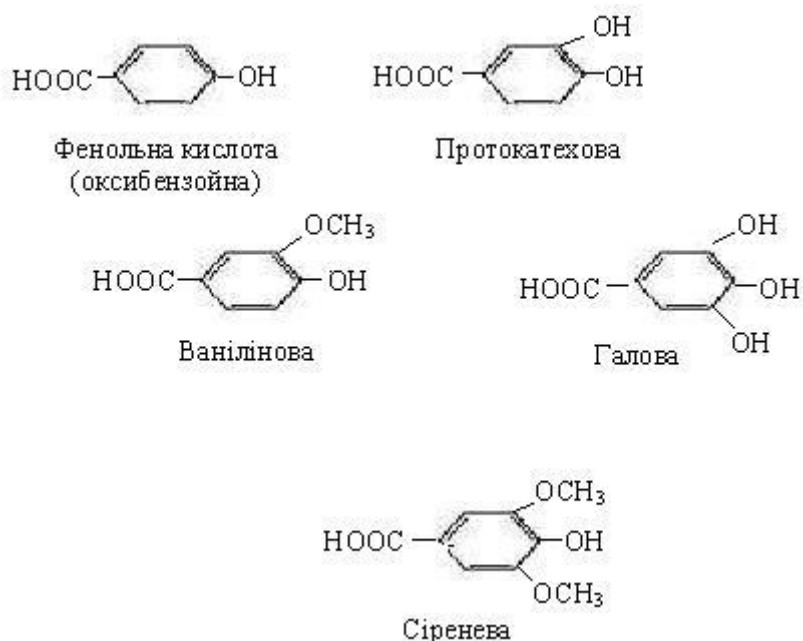
- беруть участь в окисно-відновних процесах;
- деякі з них є переносниками електронів у фотосинтезі або диханні;
- впливають на процеси росту, активуючи або інгібуючи їх. При стресі відбувається накопичення фенолів, процеси росту зупиняються, що підвищує стійкість рослин до несприятливих умов;
- захищають рослини від захворювань. Деякі рослини виділяють фітоалексини, захищаючись від патогенних грибів;
- є антиоксидантами (захищають ліпіди мембран клітин від окиснювального руйнування);
- мають Р-вітамінну активність;
- в більшій мірі визначають забарвлення, смак і аромат плодів та овочів, беруть участь у формуванні їх біологічної та фізіологічної цінності;
- беруть участь у процесах розмноження рослин;
- можуть бути активаторами або інгібіторами ферментів;
- містяться, головним чином у покривних тканинах і вакуолях клітин. Великий вміст їх у терпких продуктах (айва, терен, кизил, хурма).

У першу групу входять сполуки С<sub>6</sub>, С<sub>6</sub>-С<sub>1</sub>, С<sub>6</sub>-С<sub>3</sub>.

До групи С<sub>6</sub> відносять *гідрохінон, пірокатехін* і його похідні, *гваякол, флороглюцин, пірогалол*.

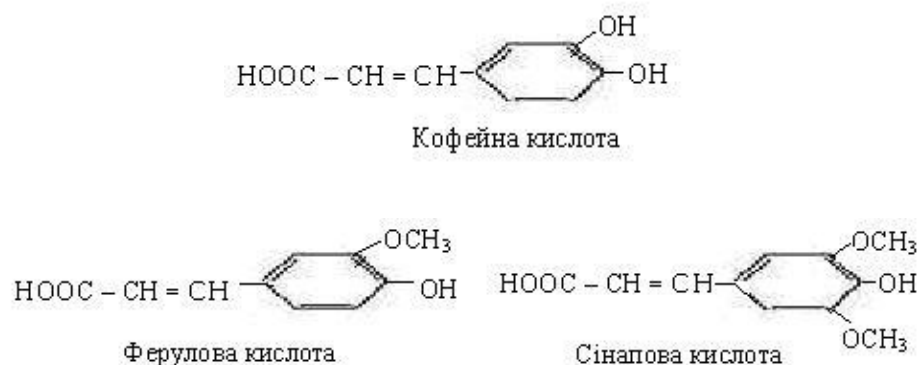
Сполуки структури С<sub>6</sub>-С<sub>1</sub> включають *фенолкарбонові кислоти* і їх похідні – *прокатехову, ванілінову, сіреневу та галову кислоти*.

Ванілінова і сіренева кислоти у вигляді ефірів входять до складу лігніну. Галова кислота виявлена в рослинах у вільному вигляді. Із групи С<sub>6</sub>-С<sub>1</sub> сполук найбільш широко відомий *ванілін* – альдегід ванілінової кислоти. Він має характерний приємний запах. У вигляді глікозиду міститься у плодах ванілі. Має широке застосування, зокрема в кондитерському виробництві.



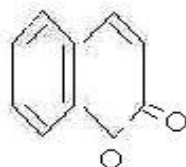
Фенолкарбонові кислоти можуть реагувати одна з одною з утворенням складних ефірів – *дидепсидів, тридепсидів*.

До сполук структури С<sub>6</sub>-С<sub>3</sub> відносять *коричні кислоти* і *кумарини*. Найбільш поширені коричні кислоти: *n-кумарова, кофейна, ферулова, сінапова*. Вони присутні в рослинах як у вільному, так і у зв'язаному стані. Їх ізомери можуть бути активаторами росту, можуть входити до складу полісахаридів та білків.



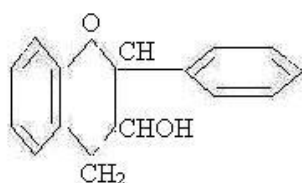
*Кумарини* – це безкольорові кристалічні речовини з запахом свіжого сіна. Вони знаходяться у рослинах у вигляді глікозидів. При пошкодженні рослинної тканини порушуються мембрани клітин, глікозиди кумаринів з'єднуються з ферментами і утворюється кумаринова кислота. Скошена та в'януча трави мають запах, обумовлений нею.

Кумарини використовуються в парфумерії та тютюновому виробництві. Вони мають Р-вітамінну активність і використовуються в медицині, як засіб, що зміцнює стінки судин.

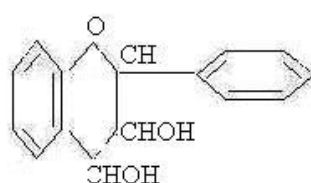


Кумарин

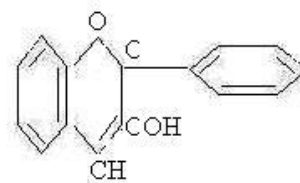
У другу групу входять сполуки  $C_6-C_3-C_6$  – *флавоноїди*. Молекула цих сполук містить два бензольних кільця і одне піранове. Флавоноїди є похідними флавона. Основні джерела флавоноїдів: плоди, ягоди, листові овочі. Особливо їх багато в плодах шипшини, горобині чорноплідній, смородині чорній, апельсинах, лимонах, щавлі, зеленому чаї. Також на флавоноїди багаті капуста, зелений горошок, томати, петрушка, шпинат, сливи, яблука, черешні, вишні. Це найпоширеніша група фенольних речовин. Вона ділиться на підгрупи, серед яких *катехіни*, *антоціани*, *лейкоантоціани*, *флаволи*, *флавоноли*, *флавонони*, *рутин*, *танін* і інші.



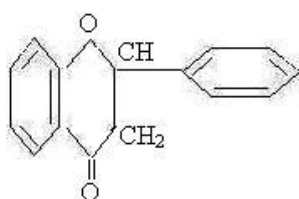
катехіни



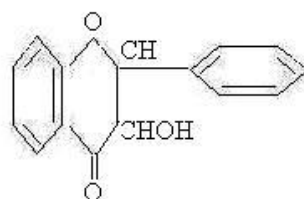
лейкоантоціани



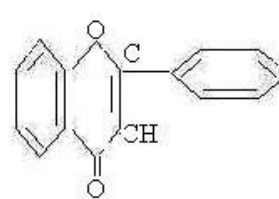
антоціани



флавонони



флавоноли



флаволи

*Катехіни* – це безбарвні кристалічні речовини, які легко окиснюються і здатні до полімеризації. Вони широко розповсюджені в рослинах, багатьох плодах (яблука, груші, вишня, айва, персик, абрикос) і ягодах (малина, смородина, виноград, суниця). Особливо багаті на катехіни молоді пагони чаю, вони містять до 30% катехіну.

Перетворення катехінів відіграють важливу роль у виробництві какао, виноробстві і особливо в чайній промисловості. Це пов'язано з тим, що



продукти окиснення катехінів володіють характерним приємним терпким смаком і мають коричневе забарвлення.

*Ізофлавоони* зустрічаються лише у деяких родинях рослин у формі β-глюкозидів або агліконів. Найбільше їх у бобах сої. Їх називають фітогормонами.

*Лейкоантоціани*. Це найважливіші пігменти рослин, вони є глікозидами. Їх забарвлення змінюється в широкому діапазоні і залежить від багатьох чинників: вмісту гідроксильної групи, рН клітинного соку, присутності інших факторів.

*Глікозиди* – це група сполук похідних цукрів, частіше моносахаридів. Не вуглеводнева частина молекули глікозиду називається *агліконом*. Вона може складатися із різних компонентів (залишків спирту, ароматичних сполук, стеридів, алкалоїдів, неорганічних кислот).

Глікозиди виявлені в багатьох рослинах. Вони часто обумовлюють їх специфічний смак і аромат. Стійкість деяких культурних рослин до фітопатогенної мікрофлори також обумовлена наявністю цих речовин.

Глікозиди виконують такі функції:

- багато з них є метаболічно активними сполуками;
- низка глікозидів надає забарвлення плодам і квітам;
- багато з них отруйні і виконують захисну роль;
- глікозиди використовуються в медицині і парфумерній промисловості.

До них відносять амігдалін, вакцинїїн, соланін і інші.

*Амігдалін* – знаходиться в насінні плодів кісточкових і зерняткових культур. Кількість його в плодах може бути досить значна. Так, в насінні гіркої мигдалю його міститься 2,5-3%, абрикосу – 0,37%, кісточках сливи – 0,9-2,5%, вишні – 1,3-2,4%. Під впливом ферменту *емульсину*, який входить до складу насіння мигдалю, а також при кислотному гідролізі, амігдалін розщеплюється на дві молекули глюкози, молекулу бензойного альдегіду і молекулу синильної кислоти. Ця кислота дуже сильна отрута, летальна доза її складає близько 1мг на 1 кг маси тіла людини, тому насінням гіркої мигдалю можна отруїтися.

*Вакцинїїн* – глікозид, утворений молекулами глюкози і бензойної кислоти. Він знайдений у брусниці і журавлині. Вакцинїїн обумовлює, поряд з вільною бензойною кислотою, високу стійкість рослин до мікроорганізмів, в тому числі до молочнокислих бактерій і дріжджів.

*Соланіни* – виявлені у багатьох рослинах родини пасльонових. В значній кількості вони є в пасльоні, баклажанах, недозрілих помідорах. Глікозиди цієї групи є і в картоплі. Особливо, багато їх в пагонах бульб. Із соланіном пов'язана стійкість до фітопатогенних мікроорганізмів. Озеленення картоплі на світлі призводить до значного збільшення вмісту глікозиду у корковій частині бульб, завдяки чому картопля краще зберігається.

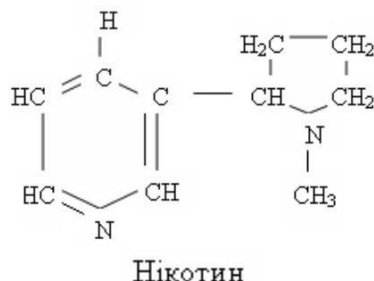
*Синігрін* – зустрічається в насінні чорної гірчиці і хрону, його аглікон містить сірку. Під дією ферментів від нього відщеплюється ефірна олія.

*Алкалоїди* – гетероциклічні азотовмісні речовини лужного характеру. Ці речовини являють собою продукт життєдіяльності рослинних організмів.

Більшість алкалоїдів містять від 8 до 50 атомів вуглецю. Класифікують їх найчастіше на основі будови гетероциклів, які входять до складу молекул цих речовин.

У рослинах виявлено понад 10 тис. різних алкалоїдів. Багато з них токсичні, застосовуються як лікарські препарати з дуже швидким проявом дії.

До алкалоїдів відносяться: *нікотин, атропін, морфін, кофеїн, кокаїн, хінін, кураре, дібазол, но-шпа, новакаїн, лідокаїн, промедол, піперин.*



*Полімерні фенольні сполуки (поліфеноли)* у своєму складі мають бензольне кільце та декілька гідроксильних груп.

Поліфеноли знаходяться в рослинах у вигляді *глікозидів*, у яких глюкоза або інший моносахар з'єднаний за рахунок глікозидного гідроксила зі спиртами, альдегідами, фенолами.

Усі поліфеноли є активними метаболітами клітинного обміну і відіграють важливу роль у фотосинтезі, диханні, зростанні, стійкості до інфекційних агентів. Поліфеноли обумовлюють забарвлення та запах квітів, плодів, чаю, кави та вина. До цих сполук відносять дубильні речовини (таніни), лігніни, меланіни.

*Дубильні речовини* – широко розповсюджені в плодах і ягодах, в овочах їх значно менше. Вони володіють дублячими властивостями, осаджують білки, розчинні у воді, надають плодам характерного терпкого смаку. Дубильні речовини поділяються на гідролізовані і конденсовані.

Гідролізовані дубильні речовини – *танін* – *галодубильна кислота*, що міститься в багатьох рослинах, володіє в'язучими властивостями.

Конденсовані дубильні речовини або катехіни, не гідролізуються, знайдені в невеликих кількостях в багатьох плодах і ягодах, найбільше їх міститься в чаї.

Не дивлячись на те, що дубильних речовин у плодах і ягодах небагато, вони значною мірою обумовлюють їх якість і технологічні особливості.

Дубильні речовини містяться в корі і листі багатьох рослин, в плодах та ягодах. Вони мають високу молекулярну масу і велику кількість гідроксильних груп. Низькомолекулярні фенольні сполуки використовують в харчовій промисловості.

*Лігніни* входять до складу клітинних стінок деревини. Вони відкладаються між мікрофібрилами целюлози викликаючи здерев'яніння клітин. Не розчиняються у воді, органічних сполуках, концентрованих кислотах. Використовуються у виробництві активованого вугілля, пластмас.

*Меланіни.* Будова їх до кінця не вивчена. Вони мають коричневий або чорний колір. Їх окисненням пояснюється потемніння розрізаного яблука, картоплі, деяких грибів. Вони поширені у живих організмах, насінні соняшнику, кавуна, шкоринці банана.

*Ефірні олії* – жиророзчинні речовини, які обумовлюють аромат плодів і овочів. Вони синтезуються тільки в рослинах. Вміст ефірної олії зростає по мірі росту і дозрівання рослин. Ефірні олії містяться переважно у шкірці плодів і випаровуючись утворюють аромат. Вміст їх визначається сотими частками відсотків. Ефірні олії яблук, персиків та інших плодів складаються із спиртів, складних ефірів, альдегідів та кетонів. Ефірні олії деяких плодів та овочів володіють антибіотичними властивостями, наприклад, олії, цибулі, часнику, хріна. При пошкодженні цибулини часнику або цибулі утворюється *аллицин* – масляниста рідина специфічного запаху. Ця речовина – активний бактерицидний засіб, який викликає затримку росту і загибель багатьох видів мікроорганізмів.

До ефірних олій відносять *фарнезен*, який накопичується при старінні яблук. Окиснення цієї речовини викликає виникнення загару плодів при їх зберіганні.

Найбільш розповсюджені такі ефірні олії: в плодах цитрусових *лимонен*, *цитраль*, в листі м'яти – *ментол*, кмину і кропу – *карвон*, аромат винограду обумовлений *ефірами антранілової кислоти*, яблук – *ефірами мурашиної, оцтової, капронової і каприлової кислот*.

До складу ефірних олій входять спирти, які можуть знаходитися як у вільному вигляді, так і у вигляді глікозидів. Найбільш важливими і найчастіше зустрічаються серед складових частин ефірних олій – *терпени* і їх кисневмісні похідні. Терпенами називаються вуглеводи, які належать до аліфатичного або циклічного ряду. Наприклад, аромат персику зумовлений різними складними ефірами – мурашинокислим, оцтовокислим і валеріановокислим спиртами. Ці сполуки побудовані з декількох молекул ізопрена.

Усі терпеноїди за кількістю атомів вуглецю поділяють на *монотерпени (C<sub>10</sub>)*, *сесквитерпени (C<sub>15</sub>)*, *дитерпени (C<sub>20</sub>)*, *монотерпени (C<sub>30</sub>)*, *тетратерпени (C<sub>40</sub>)*, *політерпени (>C<sub>40</sub>)*.

До групи монотерпенів відносять ефірні олії – *міоцен*, *гераніол* тощо.

*Пігменти* – більшість пігментів плодів і овочів – це глікозиди фенольних сполук з двома ароматичними кільцями, тобто вони відносяться до водорозчинних пігментів – *флавоноїдів*.

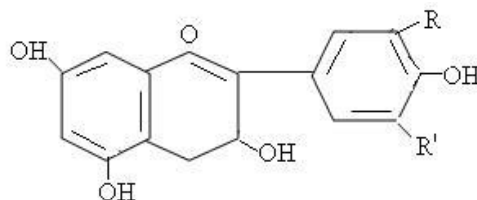
*Кверцетин* – барвна речовина жовтого кольору, міститься в багатьох рослинах у вільному стані, або зустрічається у формі глікозиду *рутина*. Багаті на кверцетин зовнішні сухі луски цибулі, тому відвар з них використовують як жовтий барвник. Його виявлено також у квітках жовтої і червоної троянд, хмелю і чаю.

*Антоціани* – пігментні речовини клітинного соку, які обумовлюють забарвлення плодів та овочів.

Аглікони антоціанів – *антоціаніди* – мають різний колір; *пеларгонидін* – яскраво червоний, *ціанідін* – малиновий, *дельфінідін* – рожево-синій. Колір

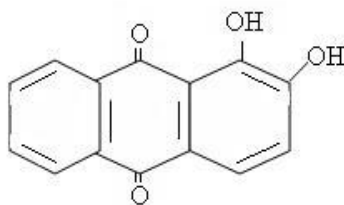
антоціанів змінюється в залежності від рН середовища, наявності іонів металів та ін.

Досліджені також лейкоформи антоціанів – безбарвні в звичайних умовах сполуки, які набувають кольору при певному впливі на продукт. Різноманітність забарвлення листя дерев восени також пов'язана з накопиченням і перетворенням флавонових глікозидів, антоціанів і каротиноїдів.



Антоціан

*Хінони* складають важливу групу натуральних речовин – барвників, пігментів, антибіотиків, вітамінів тощо. Вони надають рослинам яскраве забарвлення, зокрема квітам – жовте.



Алізарин (антрахіноновий барвник)

Жиророзчинні пігменти, поряд з антоціанами, обумовлюють зміну забарвлення плодів і овочів, особливо зовнішніх зон і покривних тканин. Найбільш поширені серед них – *хлорофіл*, *каротин*, *ксантофіл*, *лікопін*.

*Хлорофіл* знаходиться в хлоропластах рослин. Він обумовлює їх зелений колір та приймає участь у процесах фотосинтезу.

При дозріванні плодів та старінні листя вміст хлорофілу зменшується, одночасно в них зростає кількість каротиноїдів, тобто відбувається взаємоперетворення пігментів.

*Каротиноїди*. Поглинаючи синьо-фіолетові промені сонячного спектру, вони захищають хлорофіл від руйнування. Енергія, яка була поглинута каротиноїдами, використовується у фотосинтезі при утворенні органічних речовин. Завдяки значній кількості подвійних зв'язків каротиноїди є носіями активного кисню та приймають участь в окиснювально-відновних процесах як антиоксиданти.

*Каротин* існує в трьох формах, з яких найбільш поширений  $\beta$ -*каротин*. Помаранчеве забарвлення моркви, абрикосу, персика в значній мірі обумовлене присутністю в них каротину. Його виявлено також в листових овочах, де його наявність маскується хлорофілом. Каротин є провітаміном А. Із нього в організмі людини чи тварин в присутності жирів утворюється вітамін А.

*Ксантофіл* – продукт окиснення каротину – жовтий пігмент листя. Його аналоги виявлені в шкірочці плодів цитрусових, жовтозерній кукурудзі. Він в значній мірі обумовлює їх забарвлення.

*Лікопін* – ізомер каротину, червоно-помаранчевий пігмент різних плодів, у тому числі томатів, де його вміст коливається від 0,5 до 5 мг у 100 г плодів. У 100 г м'якоті кавуна міститься 2,3-7,2 мг лікопіну, у 100 г червоних грейпфрутів – до 3,4 мг. Біосинтез лікопіна краще всього здійснюється при вільному доступі кисню і за температурного оптимуму 22-24° С. При більш низьких і високих температурах біосинтез лікопіну затримується. Термічна обробка рослинних продуктів в присутності жирів майже не знижує вміст лікопіну.

При втраті продуктами води відбувається збільшення його концентрації. Так, у 100 г томатного соусу міститься 6,2-13,4 мг лікопіну, а у томатній пасті від 5,4 до 150 мг.

*Кансаїцин*. Пігмент, який міститься в плодах перців.

У деяких рослинах містяться *фітостерини* – ациклічні речовини, що входять до групи стероїдів. Вони є одноатомними спиртами або їхніми ефірами. Утворюючи комплекси з білками вони входять до складу протоплазми та мембран і регулюють обмін речовин у клітинах. До цієї групи речовин відносять *брассікастерин*, *стигмастерин*, *β-ситостерин* і інші. Стерини містяться у рослинних оліях (з льону, сої, рапсу, арахісу) та в горіхах кеш'ю, мигдаля, у горосі, квасолі, авокадо, моркві, інжирі, коріандрі.

#### *Контрольні запитання:*

1. Що таке речовини вторинного походження?
2. Які функції в рослинах виконують фенольні сполуки?
3. Які глікозиди Вам відомі?
4. Які алкалоїди містяться у рослинах?
5. Назвіть пігменти, що обумовлюють забарвлення плодів, овочів та листя рослин.

## РОЗДІЛ 10. ЛІПІДИ І СПОРІДНЕНІ ЇМ СПОЛУКИ

### 10.1 Біологічна роль та класифікація ліпідів і їхніх похідних

*Ліпіди* (від грец. *lipos* – жир) – група різноманітних за складом нерозчинних у воді органічних речовин, що відрізняється різним ступенем розчинності в органічних розчинниках. Вони широко представлені в тканинах рослин. Вегетативні частини рослин накопичують не більш 5 % ліпідів, насіння – 50 % і більше.

Ліпіди виконують різноманітні функції: *енергетичну* – ці речовини є *джерелом енергії*: при окиснюванні 1 г жиру виділяється 9 ккал; *регуляторну* – ліпіди – важливі фактори *регулювання обміну води*. Кількість води, що утворюється при повній деградації жирів, досить велика: при окиснюванні 100 г жиру виділяється 107 г води, що має особливе значення в екстремальних умовах (наприклад, при недостатньому надходженні води ззовні); *пластичну* – ліпіди виконують *структурно-пластичну роль*, тому що входять до складу клітинних і позаклітинних мембран усіх тканин у вигляді ліпопротеїдів (комплексів з білками) і гліколіпідів (ліпідів, що містять вуглеводи). Ліпопротеїни містяться в органелах клітин (мітохондрії) і, отже, беруть участь в окиснювально-відновних процесах, біосинтезі білків, транспорті речовин у клітини; *захисну* – ліпіди *охороняють рослини* від висихання та механічного пошкодження.

Жири є *розчинниками вітамінів А, D, E, К, F* і сприяють їх засвоєнню.

Жири, що входять до складу продуктів, *поліпшують її смакові якості*, а також *підвищують поживну та енергетичну цінність*.

В рослинах виділяють два види жирів: *запасні та цитоплазматичні*. Вони виконують різні біохімічні функції.

*Запасний жир* відкладається у відповідних органах рослин, найчастіше в насінні і використовується в якості енергетичного матеріалу.

*Цитоплазматичні ліпіди* складають основну частину клітин і містяться в них у постійній кількості. Із ліпідів і їх сполук з білками (ліпопротеїди), побудовані мембранні комплекси клітин, мітохондрії, пластиди, ядро.

Деякі ліпіди (воски), що знаходяться на поверхні листя і стебел рослин, виконують *захисну функцію*.

Кількість цитоплазматичних ліпідів у листі, стеблах і плодах складає 0,1-0,5 % від маси свіжої тканини. Вміст запасного жиру в насінні різних рослин відрізняється. Відкладання жиру у запас вигідно для рослин, оскільки при їх окисненні виділяється приблизно у 2 рази більше енергії, ніж при окисненні вуглеводів або білків. Тому жири є найкращим з енергетичної точки зору запасним поживним матеріалом.

Жири являють собою ефіри гліцеролу і вищих жирних кислот. У природних жирах міститься також до 2 % супутніх речовин, від яких залежать їхнє забарвлення, аромат і смакові особливості.

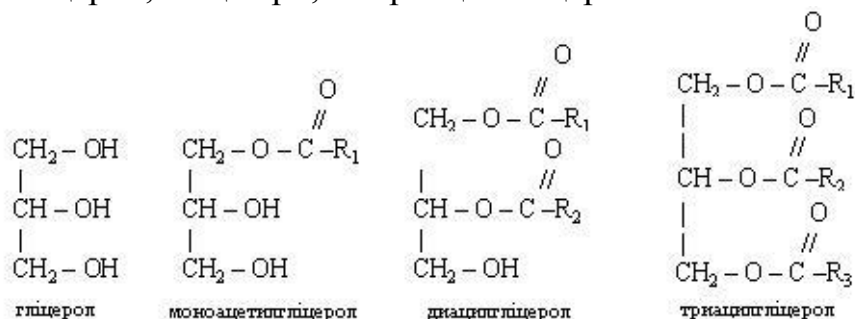
За хімічним складом ліпіди поділяються на *прості і складні*.

*Прості ліпіди* – речовини, молекули яких складаються із залишків жирних кислот (або альдегідів) і спиртів. До них відносяться нейтральні жири (триацилгліцероли, інші гліцероли) і воски. У цю групу входять також ефіри вітамінів А і D з вищими жирними кислотами.

*Складні ліпіди*, крім вищих жирних кислот і спиртів, містять похідні ортофосфорної кислоти (фосфоліпіди), залишки цукрів (гліколіпіди), азотисті сполуки (холін, коламін, серин).

Важливе значення мають *похідні ліпідів*. Вони близькі за будовою і фізико-хімічними властивостями, тісно зв'язані в структурі клітин і процесах обміну. До них відносяться насичені і ненасичені жирні кислоти, моно- і диацилгліцероли, вищі спирти, пігменти (каротини), жиророзчинні вітаміни та інші.

*Прості ліпіди*. Якщо в гліцеролі (гліцерині) етерифікована жирною кислотою одна гідроксильна група, то утворюється моноацилгліцерол, якщо дві, то диацилгліцерол, якщо три, то триацилгліцерол.



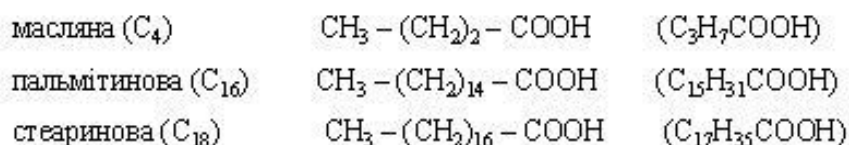
Основна маса природних жирів приходить на триацилгліцероли. До їхнього складу входять насичені і ненасичені жирні кислоти (найбільш часто зустрічаються пальмітинова, стеаринова і олеїнова). Якщо триацилгліцерол містить одну жирну кислоту, то він називається простим (наприклад, тристеарол, трипальмітол), якщо кислотні радикали належать різним жирним кислотам, то утворюються змішані тригліцероли, їхні назви залежать від жирних кислот (наприклад, 1-пальміто-2-стеарино-3-олеїн).

Найважливішими компонентами жирів, що визначають значною мірою їхні властивості, є жирні кислоти.

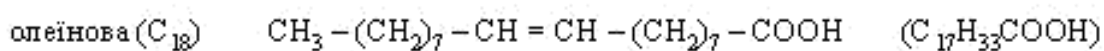
*Жирні кислоти* містять, як правило, парне число вуглецевих атомів і нерозгалужений ланцюг. Вони поділяються на дві великі групи: *насичені* (граничні) і *ненасичені* (неграничні), що містять подвійні зв'язки.

Найбільше значення за ступенем поширення і властивостями мають наступні жирні кислоти:

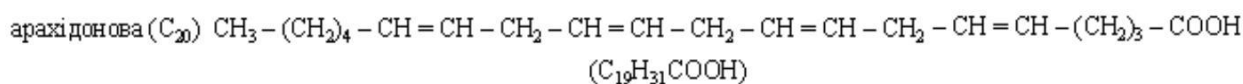
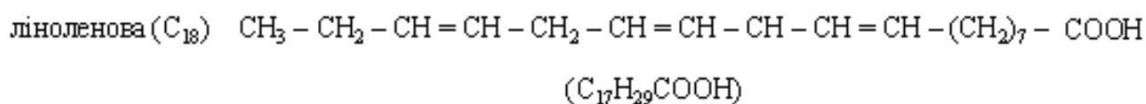
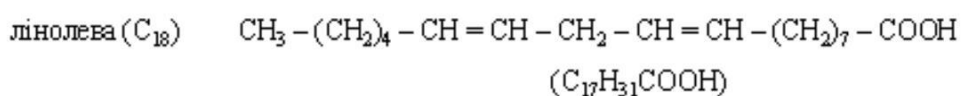
– *насичені*:



– *мононенасичені* (з одним подвійним зв'язком):



– поліненасичені (з двома і більше подвійними зв'язками):



Ненасичені жирні кислоти поширені в рідких жирах (оліях). У багатьох рослинних оліях вміст їх доходять до 80-90 % (соняшникова, кукурудзяна, льняна, маслинова). Вони не синтезуються в організмі людини, тому відносяться до есенціальних факторів харчування.

Завдяки неміцним подвійним зв'язкам між атомами вуглецю ненасичені жирні кислоти легко вступають у хімічні реакції. Шляхом гідрогенізації рослинних жирів у промисловості одержують маргарини.

Легка окиснюваність ненасичених жирних кислот є однією з причин накопичення в жирах продуктів окиснювання і наступного їхнього псування (прогіркання).

В даний час комплекс есенціальних поліненасичених жирних кислот розглядають як фактор F, біологічну значимість якого дорівнюють до вітамінів.

Біологічна роль ПНЖК досить важлива: вони беруть участь як структурні елементи у фосфатидах, ліпопротеїнах клітинних мембран. Ці кислоти зв'язані з обміном вітамінів групи B. Джерелами ПНЖК у їжі є рослинні олії, особливо нерафіновані.

Рослинні олії, які одержують із насіння, не є чистими триацилгліцеридами, вони містять інші речовини. В олії зазвичай знаходяться ацилгліцерили (95-98 %), вільні жирні кислоти (1-2 %), фосфогліцерили (1-2 %), стероїди (0,5 %), а також каротиноїди і вітаміни. Пігменти, які містяться в жирах, обумовлюють їх забарвлення. Більшість рослинних жирів має жовтий колір завдяки присутності в них каротиноїдів. Конопляне масло має зелене забарвлення, завдяки вмісту в його складі хлорофілу.

Склад жирних кислот, які входять в різні олії, є постійні для кожного виду рослин. Проте, близькі між собою види мають подібний склад олій. Вміст жирних кислот в оліях залежить також від умов вирощування рослин.

Воски – це складні ефіри вищих спиртів і вищих жирних кислот. За фізико-хімічними характеристиками воски близькі до жирів. Вони більш стійкіші проти дії світла, окиснювачів, нагрівання, важче піддаються гідролізу. Природні воски, крім складних ефірів, містять певну кількість вільних вищих спиртів і вищих жирних кислот, а також невелику кількість вуглеводів, барвників та пахучих речовин. Загальна кількість цих домішок може досягати



50 %. У склад ефірів, які утворюють воски, найчастіше входить пальмітинова і церотинова кислоти.

Розрізняють рослинні та тваринні, тверді й м'які воски.

Воски покривають тонким шаром листя, стебла, плоди. Вони захищають ці частини рослин від ув'ядання, висихання, змочування водою та, в певній мірі, від ураження фітопатогенними мікроорганізмами.

Рослинний віск є складною сумішчю органічних кислот з великою масою. Так, карнаубський віск покриває листя пальми карнауби.

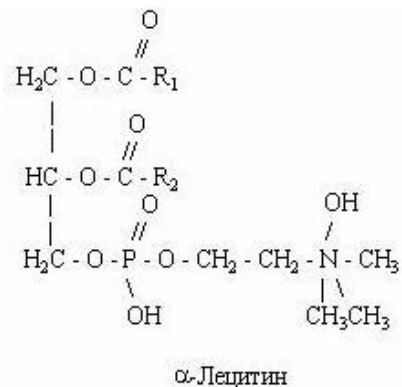
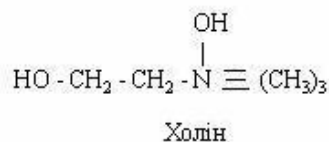
**Складні ліпіди.** *Фосфатиди (гліцерофосфоліпіди)* являють собою ефіри гліцеролу, жирних кислот, фосфорної кислоти і азотвмісних сполук. Характерною рисою їхньої будови є наявність у молекулі гідروفобних (радикали жирних кислот) і гідрофільних (фосфорна кислота, азотиста основа) груп. Завдяки цьому гліцерофосфоліпіди взаємодіють з жирами і водорозчинними сполуками.

У комплексі з білками вони беруть участь у побудові мембран клітин, визначають ступінь їхньої проникності для жиророзчинних речовин, беруть участь в активному транспорті складних речовин і окремих іонів у клітинах і із них. Гліцерофосфоліпіди сприяють кращому використанню білка і жиру в тканинах, беруть участь у біосинтезі білка. Як антиоксиданти, вони запобігають окиснюванню інших сполук, у тому числі вітамінів А і Е.

Вони містяться в таких харчових продуктах, як нерафіновані рослинні олії, вершкове масло, ячний жовток. За нестачі цих ліпідів у продуктах і низькому вмісті речовин, необхідних для їхнього синтезу, у тканині печінки відкладається нейтральний жир, що порушує її функції. Фосфатиди, насамперед *лецитин*, відіграють важливу роль у профілактиці атеросклерозу кровоносних судин людини.

Гліцерофосфоліпіди поділяються на наступні групи (підкласи):

- 1) фосфатидилхоліни (лецитини);
- 2) фосфатидилетаноламіни (кефаліни);
- 3) фосфатидилсерини;
- 4) ацетальфосфатиди (плазмалогени);
- 5) фосфатидилінозити.



У молекулі *фосфатидилхолінів* дві карбоксильні групи гліцеролу (у першому і другому положеннях) заміщені радикалами жирних кислот (насиченою і ненасиченою), а одна – фосфорною кислотою, з'єднаною з азотистою основою – холіном.

*Фосфатидилетаноламіни* (кефаліни) відрізняються від фосфатидилхолінів тим, що замість холіну в них присутній етаноламін (коламін).

*Фосфатидилсерини* містять амінокислоту серин.

*Сфінголіпіди* (сфінгомієліни) складаються з двох молекул жирних кислот, однієї молекули аміноспирту сфінгозину, азотистої основи і фосфорної кислоти. Ці ліпіди містяться в мембрані рослинних клітин.

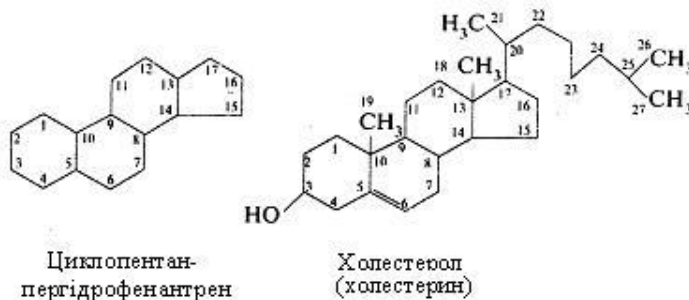
*Гліколіпіди* відіграють визначену роль у здійсненні функцій біологічних мембран.

До складу *цереброзидів* входять D-галактоза, жирні кислоти, аміноспирт сфінгозин.

*Сульфатиди* за будовою подібні цереброзидам, але містять у молекулі залишок сірчаної кислоти. У молекули *гангліозидів* входять вища жирна кислота, сфінгозин, D-глюкоза, D-галактоза, похідні аміносахарів.

*Стероїди* – це група ефірів, утворених при взаємодії високомолекулярних циклічних спиртів і вищих жирних кислот. Найбільш важливим представником стероїдів є холестерол (холестерин). Він виступає попередником багатьох біологічно важливих сполук (в тому числі вітаміну D), входить до складу клітинних мембран.

За хімічною природою стероїди є похідними циклічного спирту – циклопентанпергідрофенантрена.



При етерифікації гідроксильної групи, розташованої при C<sub>3</sub>, утворюються ефіри холестеролу. Він є ключовим проміжним продуктом у синтезі інших сполук. Холестерол відіграє значну роль у розвитку однієї з найпоширеніших «хвороб цивілізації» – атеросклерозу кровоносних судин.

Синтез цього стероїду в тканинах збільшується при малому надходженні з їжею і знижується при високому вмісті його в продуктах, що входять у раціон людини.

Нормалізації порушеного обміну холестеролу сприяє включення в їжу джерел ліпотропних речовин (фосфоліпідів, вітамінів і ін.).

Холестерол входить до складу як тваринних, так і рослинних організмів. У рослинах він складає лише незначну частину усіх стеринів. Він входить до складу мембран.

Важливу роль у фітоімунитеті відіграють стероїдні глікоалколоїди – соланін та чаконин. Вони містяться у шкоринці клубнів картоплі в більшій кількості, ніж у м'якоті. Причому у незрілих клубнях картоплі соланіну більше, ніж у зрілих.

Вміст глікоалколоїдів збільшується під час зберігання клубнів картоплі при світлі.

Якщо картопля містить більше 20 мг% соланіну, вона викликає отруєння.

Забарвлення олій та жирів обумовлене наявністю жиророзчинних пігментів.

Каротиноїди є похідними політерпенів, молекули яких мають багато зв'язаних подвійних зв'язків. Серед каротиноїдів широко розповсюджений  $\beta$ -каротин, який входить до складу майже усіх рослинних та тваринних організмів.

Каротиноїди мають вітамінні властивості. У живому організмі вони перетворюються на вітамін А.

Таблиця 10.1

**Вміст ліпідів у рослинах**

<b>Рослини</b>	<b>Вміст ліпідів, %</b>
Насіння соняшника	20-58
Насіння хлопку	20-29
Насіння сої	15-25
Насіння льону	30-48
Насіння коноплі	32-38
Насіння гірчиці	25-49
Насіння рапсу	45-48
Ядро арахісу	50-61
М'якоть маслини	28-50
Пшениця	2,7
Овес	7,2
Кукурудза	5,6
Рис	2,9
Просо	4,5
Крупа гречана	3,8
Боби какао	49-57

Пальмову та кокосову олії відносять до рослинних жирів. Вони містять насичені жири. Продукти, за їх наявності, добре зберігаються і не набувають згіркого смаку.

Пальмова олія широко використовується в кулінарії для поліпшення вигляду і подовження термінів придатності маргаринів.

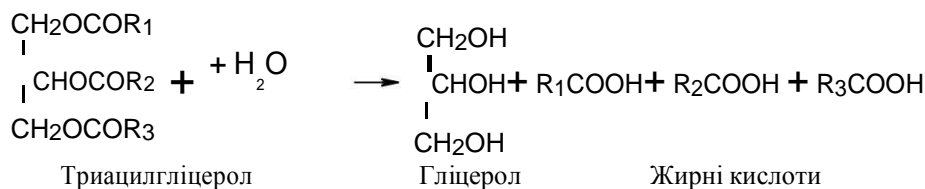
## 10.2 Властивості ліпідів

Основними константами, які характеризують властивості жирів є *температура плавлення, кислотне число, число омилення і йодне число.*

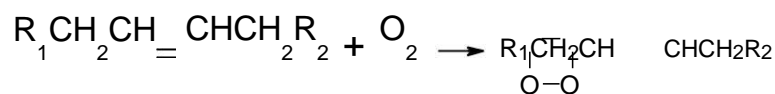
*Температура плавлення* залежить від наявності в жирі жирних кислот та їх будови. Переважання *насичених жирних кислот* – пальмітинової, стеаринової та інших, обумовлює високу температуру плавлення, при цьому жири залишаються твердими при звичайній температурі.

Якщо переважають *ненасичені кислоти*, особливо лінолева і ліноленова, то вони мають рідку консистенцію. Більшість рослинних жирів при звичайній температурі рідкі.

Жири під дією кисню і за участю ряду ферментів набувають гіркуватого присмаку і специфічного запаху, тобто вони гіркнуть, псуються. Якщо жири піддаються дії ферменту *ліпази*, то проходить їх розклад, аналогічно реакції омилення.



Деякі жирні кислоти, які виділяються при такому розкладанні жирів, надають їм неприємного смаку і запаху. Кислотне число жиру при цьому підвищується. Під дією кисню жири також гіркнуть, в цьому випадку процес починається з окиснення жирів. Воно проходить насамперед в результаті сполучення кисню за місцем подвійного зв'язку з утворенням перекису. Вони розкладаються з утворенням альдегідів і кетонів, які надають жиру неприємного смаку і запаху.



Під дією кисню проходить також висихання жирів, яке пояснюється їх окисненням з утворенням води, вуглекислоти, альдегідів і низькомолекулярних кислот. Жир, який окиснився, поступово загущується і покривається тонкою еластичною плівкою.

## 10.3 Розпад ліпідів

*Розпад ліпідів* у тканинах є біологічно важливим етапом їхнього перетворення. Найбільш інтенсивно розпад жирів відбувається при проростанні насіння олійних культур. Жири накопичуються у сферосомах і використовуються для росту паростка до тих пір, поки він не перетворився у фотосинтезуючу рослину. На цій фазі відбувається асиміляція ліпідів у вигляді пластичного матеріалу і розщеплення їх із вивільненням енергії.

Головним ендogenous джерелом ліпідів, що відіграють роль метаболічного палива, є резервний жир, що міститься в протоплазмі клітин у вигляді крапельок. Для цієї мети використовуються також фосфоліпіди мембран.

Жирні кислоти або піддаються β-окиснюванню, або використовуються в синтезі триацилгліцеролів, холестеролу, гліцерофосфоліпідів, сфінголіпідів і ін.

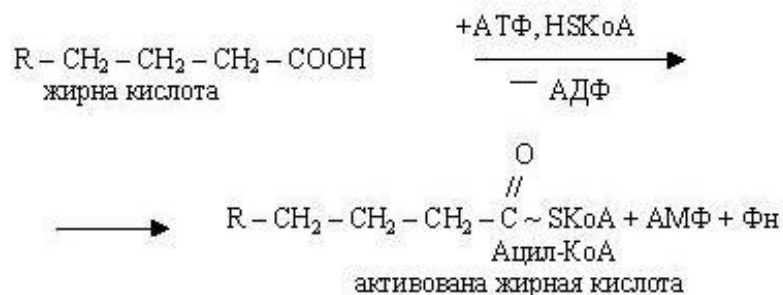
*β-окиснювання вищих жирних кислот.* Окиснювання молекул жирної кислоти в тканинах організму відбувається в β-положенні шляхом послідовного відщеплення від молекули жирної кислоти з боку карбоксильної групи двох вуглецевих фрагментів. У зв'язку з цим процес окиснення жирних кислот називають *β-окиснюванням*.

Оскільки будь-яка жирна кислота, що входить до складу природних жирів, має парне число вуглецевих атомів, то відщиплення в кожній реакції по парі атомів вуглецю обов'язково приводить процес до утворення *масляної кислоти*. Після чергового циклу β-окиснювання вона перетворюється в *ацетооцтову кислоту*, що гідролізується до двох молекул оцтової кислоти. Ця теорія не втратила свого значення дотепер і є основою сучасних уявлень про механізм окиснювання вищих жирних кислот.

β-окиснювання вищих жирних кислот відбувається в мітохондріях клітин за участі мультиферментного комплексу.

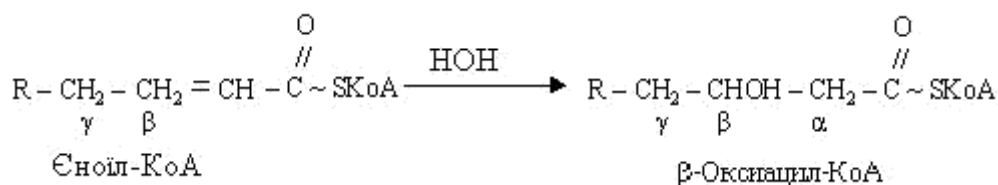
Першим етапом β-окиснювання є *активація* молекул вищих жирних кислот за участі АТФ і HSKoA. При цьому утворюються активовані форми: *КоА-ефіри цих кислот*.

Утворюється активна форма ацетил-КоА з жирної кислоти і коензиму А за рахунок енергії АТФ за участю ферменту ацетил-КоА-синтетази. Перенесення ацильних груп з цитоплазми на матрикс мітохондрії здійснює *карнітин*. За участі ферменту карнітин-ацил-трансферази синтезується *ацилкарнітин*, здатний проникати усередину мітохондрій. Після чого карнітин повертається в цитоплазму клітини, а ацетил-КоА піддається *окиснюванню*.

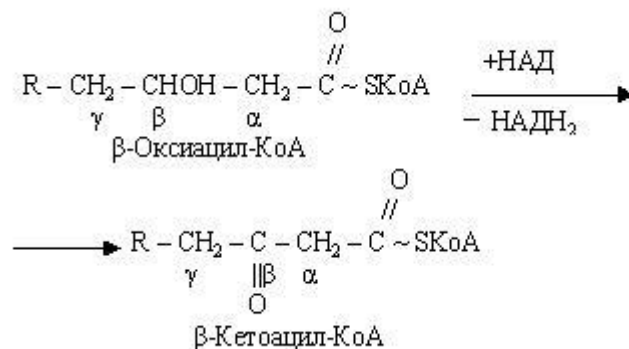


Другий етап – *дегідрування* жирних кислот за участю ФАД. При цьому відщепляються два атоми водню в α- і β-положеннях і ацил-КоА перетворюється в КоА-ефір ненасиченої кислоти (еноїл-КоА).

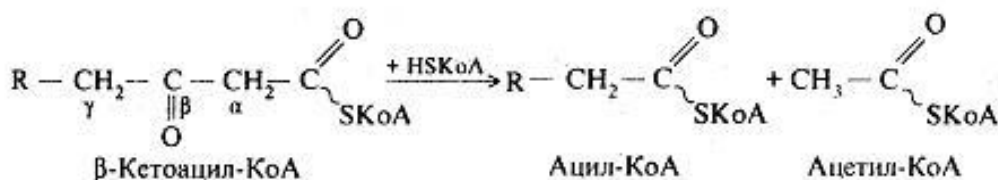
На стадії гідратації еноїл-КоА, взаємодіючи з молекулою води, перетворюється в β-окисикислоту (β-гідрооксиацил).



Друга стадія дегідрування протікає за участю НАД – залежної дегідрогенази з утворенням β-кетокислоти (β-кетואцил-КоА).



Потім відбувається тіолазна реакція: взаємодія кетואцил-КоА з ацетил-КоА.



У результаті цієї реакції внаслідок розщеплення β-кетואцилу виділяється укорочена на два вуглецевих атоми активована вища жирна кислота і двовуглецевий фрагмент у вигляді ацетил-КоА. Ацетил-КоА, що утворився, окиснюється в циклі трикарбонових кислот, а активована вища жирна кислота багаторазово проходить весь шлях β-окиснювання до утворення чотирьохвуглецевої сполуки бутирил-КоА, що у свою чергу окиснюється до двох молекул ацетил-КоА.

*Енергетичний ефект β-окиснювання.* Число циклів окиснювання, яким піддається вища жирна кислота, залежить від кількості атомів вуглецю у її молекулі. При окиснюванні однієї молекули жирної кислоти утвориться  $n/2$  молекул ацетил-КоА, де  $n$  – кількість атомів вуглецю, а цикл повториться  $(n/2 - 1)$  раз, тому що молекула бутирил-КоА відразу розщеплюється на дві молекули ацетил-КоА. У кожному циклі з'являються молекула ФАДН<sub>2</sub> і молекула НАДН<sub>2</sub>. Молекула ФАДН<sub>2</sub> при окиснюванні в дихальному ланцюзі і сполученого з ним фосфорилування дає дві молекули АТФ, а НАДН<sub>2</sub> – три молекули АТФ, тобто за один цикл β-окиснювання утворюється п'ять молекул АТФ.

Кожна молекула ацетил-КоА включається у цикл трикарбонових кислот, поступово розщеплюється до CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O з виділенням 12 молекул АТФ. Як приклад розглянемо β-окиснювання пальмітинової кислоти.

При окиснюванні пальмітинової кислоти відбувається сім циклів β-окиснювання –  $(16/2 - 1)$ , що веде до утворення 35 молекул АТФ. У результаті

$\beta$ -окиснювання цієї кислоти утворюється вісім молекул ацетил-КоА (16/2), кожна з яких, окиснюючись в циклі трикарбонових кислот, дає 12 молекул АТФ, тобто утворює 96 молекул АТФ. Таким чином, сумарний вихід енергії при окиснюванні однієї молекули пальмітинової кислоти складе:  $35 + 96 = 131$  молекула АТФ. Оскільки одна молекула АТФ була витрачена на активізацію вищої жирної кислоти на початку процесу, отже, вихід енергії складе 130 молекул АТФ. Близько 45 % усієї потенційної енергії пальмітинової кислоти при її окиснюванні може бути використана для ресинтезу АТФ, інша утилізується у вигляді теплоти.

Окиснювання ненасичених жирних кислот відбувається так само, як і насичених, але має свої особливості, обумовлені положенням подвійних зв'язків. До початку  $\beta$ -окиснювання в молекулі жирної кислоти відбувається переміщення подвійного зв'язку з положення 3-4 у 2-3 і зміна конфігурації подвійного зв'язку з цис- у транс-положення.

Більшість природних ліпідів містить жирні кислоти з парним числом вуглецевих атомів. Однак у ліпідах рослин і деяких морських організмів виявляються жирні кислоти з непарним числом вуглецевих атомів. Вони також піддаються  $\beta$ -окиснюванню, у результаті чого з'являються ацетил-КоА і пропіоніл-КоА. Останній перетворюється в *сукциніл-КоА* – метаболіт циклу Кребса.

#### 10.4 Біосинтез ліпідів

*Біосинтез ліпідів* у рослинному організмі є важливою ланкою обміну речовин. Триацілгліцероли (ліпіди) відкладаються про запас у насінні рослин для наступного використання як енергетичний і будівельний матеріал. Безперервно поновлюються ліпіди, що входять до складу мембран клітин.

В ендоспермі насіння та сім'ядолях відкладаються про запас великі кількості нейтральних жирів. Синтез жирних кислот в рослинних клітинах усіх типів, оскільки вони необхідні для побудови ліпідних компонентів мембран.

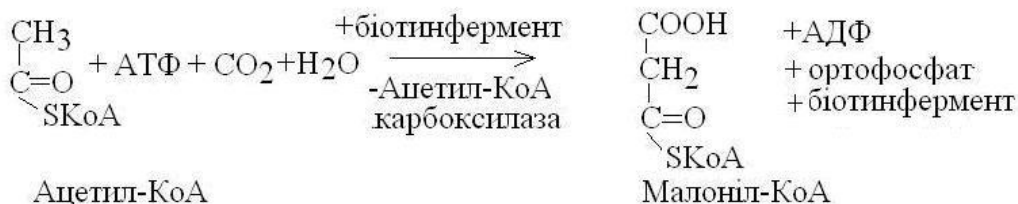
У синтезі триацілгліцеролів умовно виділяють три етапи: *утворення гліцеролу, синтез жирних кислот, взаємодія гліцеролу і вищих жирних кислот з одержанням складних ефірів.*

Гліцерол у вигляді гліцерофосфату утвориться або з продукту розпаду вуглеводів 3-фосфо-гліцеролового альдегіду, або з гліцерофосфату, що виділяється при розщепленні триацілгліцеролів у клітинах тканин.

*Біосинтез жирних кислот* полягає в поступовому подовженні ланцюга жирної кислоти на два вуглецевих атоми до виникнення визначеної жирної кислоти. У цьому процесі беруть участь ацетил-КоА, малоніл-КоА, АТФ, НАДФН<sub>2</sub>, ацилпереносячий білок і система ферментів, з'єднаних у мультиферментний комплекс – *синтетаза жирних кислот.*

«Стартовою» речовиною біосинтезу жирних кислот є *малоніл-КоА*. Він утворюється з ацетил-КоА шляхом приєднання активованого оксиду вуглецю. Синтетаза складається із семи ферментів, що утворюють сферичну частку, у центрі якої розташований ацилпереносячий білок (АПБ). До нього при

синтезі приєднуються вихідні субстрати – ацетил-КоА, малоніл-КоА, і він переміщає їх від одного ферменту до іншого.



На початку синтезу відбувається приєднання ацетил-КоА і малоніл-КоА до синтетази за участі АПБ і утворюється ацетоацетил-АПБ. Потім він переміщається до наступного ферменту (редуктази), що передає йому два атоми водню від НАДФ·Н<sub>2</sub>. Речовина, що утворюється, взаємодіє з ферментами, що входять до складу синтетази. Цим закінчується один цикл синтезу, і вуглецевий ланцюг кислоти подовжується на два атоми.

Не відщеплюючись від АПБ, жирна кислота включається в наступний цикл синтезу, що починається з приєднання до неї малоніл-КоА. Цей процес повторюється доти, поки не синтезується потрібна для клітин жирна кислота з визначеною кількістю атомів вуглецю. Кислота, що утворилася, відщеплюється від синтетази, вступає в інші реакції, а до синтетази приєднуються вихідні субстрати, і починається синтез наступної молекули насиченої жирної кислоти.

На останньому етапі синтезу триацилгліцеролів відбувається взаємодія гліцерофосфату з двома молекулами активованих жирних кислот. Спочатку утворюється *фосфатидна кислота*, що є проміжним продуктом при утворенні триацилгліцеролів і фосфоліпідів.



Потім від цієї кислоти відщеплюється фосфорна кислота і диацилгліцерол. До нього приєднується ще одна молекула активованої жирної кислоти і утворюється триацилгліцерол (рис.10.1).



Рис. 10.1 – Синтез тригліцеролів



У процесі синтезу фосфоліпідів з'являються діацилгліцерол і активна форма холіну – цитидиндифосфохолін (ЦДФ-холін), що взаємодіють між собою з утворенням лецитину. Цей процес більш активно проходить у печінці.

*Обмін фосфогліцеролів.* Вихідним субстратом для синтезу фосфогліцеридів у рослинах є гліцерин, жирні кислоти та додаткові сполуки: холін, серин, інозит, гліцерол. Синтез відбувається із затратою енергії АТФ та ЦТФ.

Біосинтез починається з гліцеролу або триозофосфатів (рис. 10.2).

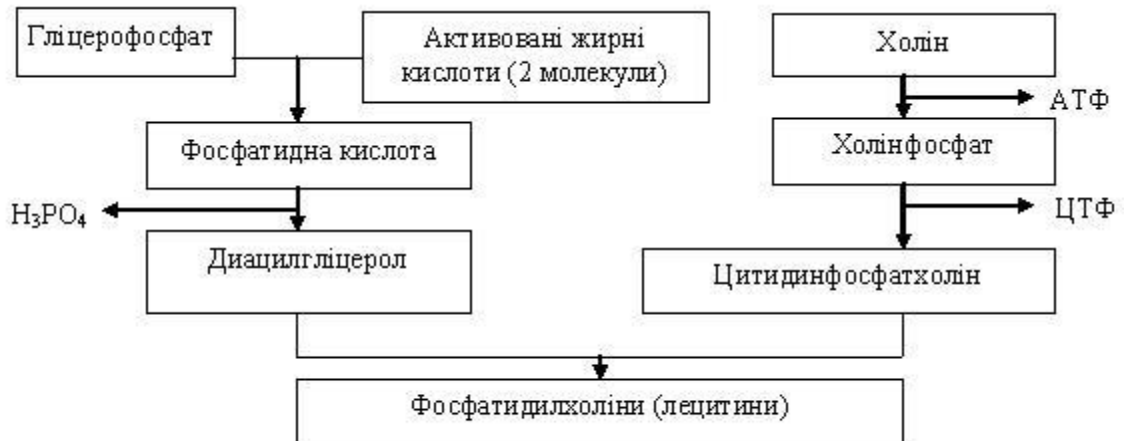


Рис. 10.2 – Синтез фосфатидилхолінів

На наступному етапі активовані жирні кислоти приєднуються до гліцефосфату з утворенням *фосфотидної кислоти*. Під дією специфічного ферменту за участі води відщеплюється залишок фосфорної кислоти і утворюється діацилгліцерол.

Вихідною речовиною для біосинтезу фосфатилхоліну є *холін* і діацилгліцерол. Спочатку холін фосфорилується з утворенням *холінфосфату*. Він реагує із цитидинтрифосфатом (ЦТФ) з утворенням *цитидинфосфохоліну* і *пірофосфорної кислоти*. Цю реакцію каталізує холінфосфат – цитидилтрансфераза.

Потім відбувається сполучення діацилгліцеролу з цитидинфосфатхоліном з утворенням *фосфатидилхоліну* (лецитину) та вільної цитидилової кислоти (ЦМФ). Цей фермент каталізує з'єднання діацилгліцеролу з цитидинфосфатилхоліном з утворенням фосфатидилхоліну та цитидилової кислоти (ЦМФ), яка знову фосфорилується за участю АТФ і бере участь у синтезі нових молекул фосфатидилхоліну.

#### Контрольні запитання:

1. У чому полягає біологічна роль ліпідів?
2. Наведіть класифікацію ліпідів.
3. У чому полягає біологічна роль поліненасичених жирних кислот?
4. Напишіть реакції  $\beta$ -окиснення жирних кислот.
5. Яким є енергетичний ефект окиснення жирних кислот?
6. Які ліпіди відносять до складних?
7. Які показники характеризують якість ліпідів?

## РОЗДІЛ 11. ВІТАМІНИ

### 11.1 Загальне поняття про вітаміни. Класифікація

*Вітаміни являють собою групу низькомолекулярних органічних речовин різної хімічної природи, що володіють різноманітними фізіологічними властивостями і необхідні для організму в мінімальних кількостях. Вони виконують каталітичну і регуляторну функції.*

На даний час відомо близько 30 вітамінів і вітаміноподібних речовин, серед яких близько 20 використовується для лікування і профілактики різних захворювань, розшифрована їхня хімічна структура, що дало можливості синтезувати більшість з них. У переважній більшості фізіологічну дію, характерну для того чи іншого вітаміну має не одна, а кілька речовин, які відрізняються хімічною будовою і мають назву *вітамерів*.

Крім вітамінів, згідно з сучасною класифікацією і номенклатурою виділяють також групу *вітаміноподібних речовин*.

Для вітамінів характерний ряд *особливостей*:

1. На відміну від інших незамінних речовин (амінокислоти, поліненасичені жирні кислоти та ін.) вітаміни не є *пластичним матеріалом* або *джерелом енергії*.

2. Вітаміни *активні в мінімальних кількостях*.

3. Вітаміни, як правило, *не відкладаються* «про запас».

4. Найбільш ефективні вітаміни не синтетичні, а ті, що містяться в харчових продуктах.

Більшість вітамінів, за винятком А, В<sub>12</sub>, Д, синтезуються тільки в рослинах і є складовою частиною ферментів. Так, вітамін С, Р, фолієва кислота синтезуються тільки у фруктах та овочах.

**Класифікація вітамінів.** Широке поширення одержала класифікація вітамінів на основі їхньої розчинності у воді або жирах (табл. 11.1).

Одну групу склали водорозчинні вітаміни, іншу – жиророзчинні.

Для деяких жиророзчинних вітамінів був синтезований водорозчинний аналог. Наприклад, вікасол є водорозчинним аналогом вітаміну К, розчинного в жирах.

Ряд вітамінів представлений не одним, а декількома сполуками, що виявляють біологічну активність. Прикладом може служити група вітамінів Д. Для позначення таких сполук користуються цифрами - D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>.

У групі вітамінів розрізняють *вітаміноподібні речовини*, ступінь незамінності яких ще не визначена. Однак вони роблять сприятливий ефект на процеси обміну речовин, особливо в екстремальних умовах. У ряді продуктів містяться *провітаміни*, тобто сполуки, з яких в організмі утворюються вітаміни.

### Номенклатура, класифікація вітамінів і вітаміноподібних сполук

<b>I. Водорозчинні вітаміни</b>	
<i>Вітаміни, представлені переважно однією сполукою</i>	
Рекомендована назва	Стара назва
Тіамин	Вітамін В <sub>1</sub> (анейрин)
Рибофлавін	Вітамін В <sub>2</sub> (лактофлавін)
Пантотенова кислота	Вітамін В <sub>3</sub>
Біотин	Вітамін Н
Аскорбінова кислота	Вітамін С
<i>Родини вітамінів</i>	
Рекомендована назва	Стара назва
Рекомендована групова назва	Індивідуальні представники
Вітамін В <sub>6</sub>	Піридоксин; піридоксаль; піридоксамін
Ніацин (вітамін РР)	Нікотинова кислота; нікотин амід
Фолацин	Фолієва кислота; тетрагідрофолієва кислота і її похідні
Кобаламіни (вітамін В <sub>12</sub> )	Ціанокобаламін; оксикобаламін; метилкобаламін
<b>II. Жиророзчинні вітаміни</b>	
Рекомендована групова назва	Індивідуальні представники
Вітамін А	Ретинол; ретинілацетат; ретиналь; ретиноева кислота
Вітамін D (кальцифероли)	Ергокальциферол (вітамін D <sub>2</sub> ); холекальциферол (вітамін D <sub>3</sub> )
Вітамін Е	α-, β-, γ- и σ-Токофероли;
Вітамін К	α-, β-, γ- и σ-Токотрієноли 2-Метил-3-фітил-1,4-нафтохін (філохінон, вітамін К <sub>1</sub> ); менахінони (вітаміни К <sub>2</sub> ); 2-метил-1,4-нафтохінон (вітамін К <sub>2</sub> )
<b>III. Вітаміноподібні сполуки</b>	
Функція	Назва сполуки
Незамінні харчові речовини з пластичною функцією	Холін, вітамін В <sub>4</sub> ; інозит (міоінозит, мезоінозит, вітамін В <sub>8</sub> )
Біологічно активні речовини, які синтезуються в організмі людини	Ліпоева кислота; оротова кислота; вітамін В <sub>13</sub> ; карнітин -вітамін В <sub>т</sub>
Фармакологічні речовини їжі	Біофлавоноїди; метилметіонінсульфоній (вітамін U); пангамова кислота (вітамін В <sub>15</sub> )
Фактори росту мікроорганізмів	Параамінобензойна кислота

## 11.2 Водорозчинні вітаміни

Велика група водорозчинних вітамінів представлена вітамінами групи В (13 найменувань), а також вітаміноподібними сполуками - холін, ліпоева кислота та інші, які мають ряд схожих властивостей. Основна біологічна роль

їх полягає в тому, що більшість із них входить до складу ферментних систем, виконуючи коферментні функції.

Для цих вітамінів характерні наступні *особливості*:

1) майже усі вони містяться в *дріжджах, висівках*;

2) всі вони добре розчиняються у воді і не розчиняються в жирових розчинниках і тому в технологічних процесах пов'язані з використанням води. Вітаміни групи В втрачаються з соком, що виділяється із продуктів при промиванні, варінні. При варінні рослинних продуктів, у відвар переходить до 40 % вітамінів. Тому ці відвари слід використовувати. Чим менше беруть води для варіння, тим менше вітамінів комплексу В переходить у відвар.

У звичайних харчових раціонах, що включають продукти рослинного походження, *найбільш дефіцитними* (найчастіше узимку і по весні) є вітаміни С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, А і D, тому що вони можуть руйнуватися в процесі технологічної обробки і зберігання. Крім того, має значення зміна асортименту продуктів (плодів, овочів, ягід), що у ці сезони стає значно менш різноманітним.

**Тіамін** (вітамін В<sub>1</sub>, антинеуритний фактор).

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Молекула тіаміну складається з піримідинової основи і тiazолового кільця. Обидва цикли з'єднуються між собою метиленовою групою. Цей вітамін є похідним тiazола (4-метил-5-гідроксиетилтiazол) і піримидину (5-метил-5-гідроксиметил-6-амінопіримідин).



У приведеній формулі вітамін В<sub>1</sub> існує в кислому середовищі, для нейтрального і лужного характерна інша структура.

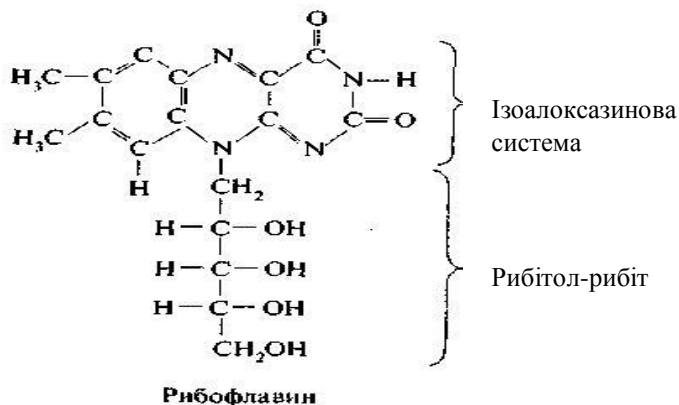
Тіамін являє собою безбарвні кристали гіркового смаку, добре розчинні у воді, ефірі, хлороформі. Водні розчини тіаміну стійкі в кислому середовищі і витримують нагрівання до високої температури (130-140°C). У нейтральному і, особливо, в лужному середовищі він швидко руйнується при 80-100°C. Цим пояснюється зменшення вмісту тіаміну при кулінарній обробці їжі (наприклад, при випічці хліба з додаванням карбонату амонію або гідрокарбонату натрію).

*Джерела.* Багаті тіаміном харчові продукти рослинного походження, в особливості в насінні злаків (в зародках і оболонці), житній і пшеничний хліб зі обойного борошна, різні крупи (гречана, вівсяна й ін.), бобові (горох, квасоля, сочевиця, соя), картопля, різні овочі, волоські горіхи, арахіс, фундук. В борошні вищих сортів і виробих з неї вміст вітаміну В<sub>1</sub> менше, ніж в борошні нижчих сортів.

Повноцінними джерелами тіаміну є дріжджі і висівки

**Рибофлавін** (вітамін В<sub>2</sub>, антисеборейний фактор).

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Рибофлавін відноситься до групи флавонів. В основі молекули рибофлавіну лежить гетероциклічна сполука ізоалоксазин (сполучення бензольної, піразинової і піримідинової основи, до якої в дев'ятому положенні приєднаний п'ятиатомний спирт рибіт). Хімічна назва «рибофлавін» відбиває наявність у молекулі залишку рибіта і жовтий колір окисленої форми препарату.



Рибофлавін хімічно нестійкий, легко руйнується при кип'ятінні в нейтральних і лужних розчинах. Він досить чутливий до світла, ультрафіолетовим променям і порівняно легко піддається зворотному відновленню, приєднуючи гідроген за місцем подвійних зв'язків і перетворюючись в безбарвну лейкоформу.

*Джерела.* Вітамін В<sub>2</sub> синтезується тільки в рослинах і деяких мікроорганізмах і міститься в продуктах рослинного походження в основному в молодих органах рослин, які активно розвиваються. Серед овочів і плодів досить високим вмістом цього вітаміну відзначаються зелені овочі, капуста, горошок, лісова суниця, бобові і гречана крупа. Тонкий помел борошна знешкоджує цей вітамін, так як більша його частина переходить у висівки. В пророщених зернових і гороху вміст рибофлавіну підвищується.

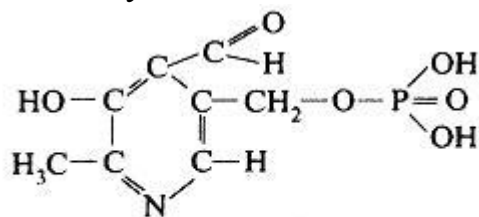
Звичайна кулінарна обробка, за виключенням варіння в лужному середовищі, майже не руйнує вітамін В<sub>2</sub>. Теплова обробка на світлі призводить до його руйнування. Консервування, повільне заморожування, а також відтаювання і зневоднення продуктів призводить до втрати рибофлавіну. До значного зруйнування вітаміну призводить сушіння на сонці овочів та інших продуктів.

**Піридоксин** (вітамін В<sub>6</sub>, адермітний). Назва піридоксин об'єднує групу близьких за складом і властивостями речовин – піридоксол, піридоксаль і піридоксамін, які є похідними піридину.

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Піридоксин є похідним 3-оксипіридину. Термін «піридоксин» поєднує три похідні 3-оксипіридину, що мають вітамінну активність: піридоксин (піридоксол), піридоксаль і піридоксамін.

*Піридоксин* (піридоксол) – 2-метил-3-окси-4,5-диоксиметилпіридин, являє собою спирт. При окиснюванні оксиметильної групи до альдегідної піридоксин перетворюється в піридоксаль (2-метил-3-окси-4-форміл-5-оксиметилпіридин).

При перетворенні оксигрупи в четвертому положенні в аміногрупу утворюється піридоксамін (2-метил-3-окси-4-амінометил-5-оксиметилпіридин). Кожна з цих речовин має властивості вітаміну.



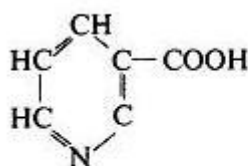
Піридоксальфосфат

Вітамін В<sub>6</sub> стійкий до впливу високих температур. У дуже кислому або різко лужному середовищі він не втрачає своїх біологічних властивостей навіть при автоклавованні. Швидко руйнується на світлі і при окиснюванні. Піридоксин добре розчинний у воді і етанолі, погано – в ефірі і хлороформі.

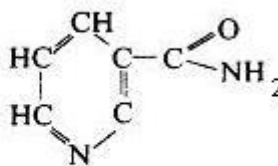
*Джерела.* Багаті вітаміном В<sub>6</sub> дріжджи, пшеничні зародки, рисові висівки, зелені овочі, зелений і овочевий горох. Цей вітамін міститься в оболонці зерна. У процесі обробки зерна втрачається до 80 % піридоксину. Піридоксин стійкий до дії кислот і лугів, але легко руйнується під впливом світла в нейтральному середовищі (рН 6,8).

**Нікотинова кислота** (ніацин, нікотинамід, вітамін РР, антипелагичний фактор).

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Біологічно активними речовинами є нікотинова кислота і її амід – нікотинамід. Саме він входить як складова частина в ряд ферментів. Нікотинова кислота являє собою сполуку піридинового ряду, що містить карбоксильну групу (нікотинамід відрізняється, відповідно, наявністю аміної групи).



Нікотинова кислота



Нікотинамід

Нікотинова кислота – біла кристалічна речовина, слабокислого смаку, добре розчинна у воді і етанолі. Вона зберігається в харчових продуктах, стійка до дії хімічних і фізичних агентів. Добре витримує висушування, тривале нагрівання при високій температурі. При варінні руйнується 15-20 %.

Нікотинова кислота в порівнянні з іншими вітамінами має найвищу стійкість проти дії зовнішніх факторів. Вона не руйнується від дії сонячного світла, лужних розчинів і звичайних методах консервування. Навіть 5-годинне автоклавовання його розчинів при 110<sup>0</sup>С не викликає помітного зниження їх активності. Втрати його при кулінарній обробці не перевищують 15-20 %. Ці властивості нікотинової кислоти забезпечують збереження її при переробці та зберіганні продуктів харчування.

*Джерела.* Основними джерелами вітаміну РР серед рослинних продуктів служать хлібобулочні і круп'яні вироби, особливо багаті на нього висівки і дріжджі.

**Пантотенова кислота** (вітамін В<sub>3</sub>). Сама назва цього вітаміну (від грец. *panthoten* – звідусюди) свідчить про його широку поширеність у природі.

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Вітамін В<sub>3</sub> являє собою сполуку β-аланіну з α,γ-дигідроокси-β-диметилом масляної кислоти.



Пантотенова кислота являє собою в'язку рідину, добре розчинну у воді, гірше в ефірі і спирті. Вона нестійка до дії високих температур і руйнується при стерилізації і тривалій кулінарній обробці.

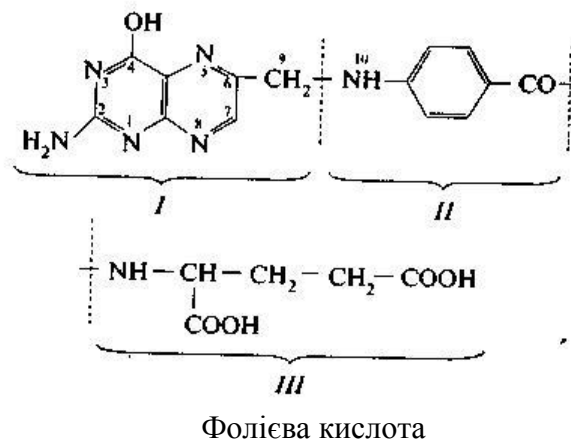
Пантотенова кислота стійка до кисню повітря, але руйнується під дією високих температур при автоклавуванні і нагріванні в лужному і кислому середовищі.

*Джерела.* У фруктах і деяких овочах її мало.

**Фолієва кислота** (фолацин, птероїлглутамінова кислота, вітамін В<sub>9</sub>). Фолієва кислота була виділена з зелених листів рослин, у зв'язку з чим одержала свою назву (від лат. *folium* – лист).

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Фолієва кислота складається з трьох структурних одиниць: залишку птеридину (I), параамінобензойної (II) і глутамінової кислот (III).

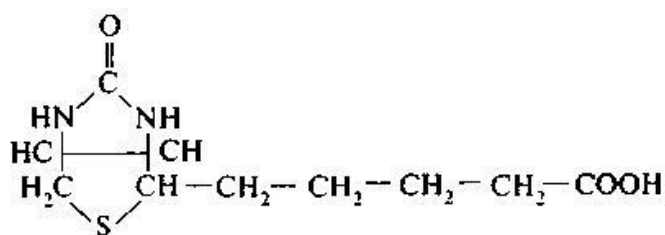
Фолієва кислота являє собою кристалічний порошок без смаку і запаху, нерозчинний в ефірі, ацетоні, хлороформі, крижаній оцтовій кислоті, обмежено розчинний у холодній воді і добре - у гарячій воді і розведених розчинах спирту. Кристали стабільні на повітрі, але при тривалому висвітленні фолієва кислота руйнується.



*Джерела.* Основними джерелами фолієвої кислоти є свіжі овочі (салат, капуста, петрушка, томати, морква, буряк). Крім овочевих культур, даний вітамін знайдено в чорному хлібі, пивних та пекарських дріжджах

Фолієва кислота легко руйнується при кулінарній обробці харчових продуктів, особливо овочів. При тривалому варінні її втрачається близько 90 %. У продуктах тваринного походження фолієва кислота зберігається краще. **Біотин** (вітамін Н).

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Молекула біотину містить імідозолове (А) і тіофенове кільця, що складають її гетероциклічну частину, і бічний ланцюг, представлений валеріановою кислотою.



Біотин

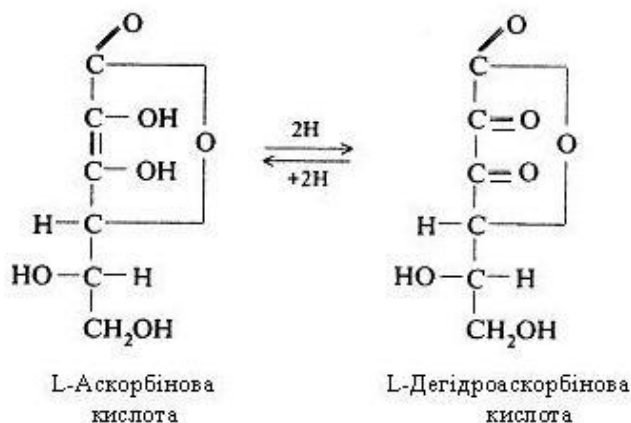
Високу біологічну активність має отриманий із природних об'єктів E-N-біотинілізин (біоцитин), до складу якого входить біотин і лізин.

Біотин досить стійкий до дії високих температур і окиснювання. Він витримує стерилізацію при 120°C, а також кип'ятіння в кислих і лужних розчинах. Добре розчиняється у воді і спирті.

*Джерела.* Біотином багаті дріжджі, бобові, кольорова капуста, гриби, горіхи.

**Аскорбінова кислота** (вітамін С, антискорбутний). Хімічна природа аскорбінової кислоти була вивчена після виділення її в кристалічній формі з рослинних продуктів.

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Аскорбінова кислота являє собою білий кристалічний порошок, кислий на смак, добре розчинний у воді, гірше в спирті й ефірі, стійкий у кислому середовищі і нестійкий у нейтральному і лужному. Будова вітаміну С була остаточно встановлена завдяки синтезові його з  $\alpha$ -ксилози.





Аскорбінова кислота являє собою ненасичену сполуку, що не має карбоксильної групи, характерної для кислот.

Наявність двох енольних угруповань, розташованих у другого і третього вуглецевих атомів, визначає кислі властивості і легку окиснюваність вітаміну С. Ця дієнольна група легко дисоціює на вільний гідроген, що і додає розчинові кислий смак. Водень дуже легко зв'язується з киснем повітря.

На першому етапі при відщипленні водню утворюється дегідроаскорбінова кислота (ДАК), що при відновленні перетворюється в аскорбінову. Цей процес відбувається в тонкій кишці, печінці й інших тканинах. Однак ДАК ще менш стійка, ніж аскорбінова кислота, і поза організмом навіть без кисню необратимо руйнується, перетворюючись в щавлеву кислоту, воду і  $\text{CO}_2$ . Тому утворення ДАК приводить до втрати С-вітамінної активності в продуктах, якщо вони не відразу вживаються після утворення окисленої аскорбінової кислоти.

У рослинних продуктах міститься фермент *аскорбатоксидаза*, що каталізує утворення ДАК. Цей фермент вивільняється при порушенні цілісності клітин (наприклад, при подрібнюванні капусти, при жуванні).

Аскорбатоксидаза неактивна в кислому середовищі, тому при шаткуванні капусти ніж потрібно змочувати лимонною кислотою або для ізоляції від кисню - рослинною олією.

Різні речовини, які містяться у варочному середовищі можуть прискорювати руйнування аскорбінової кислоти або сприяти її збереженню.

Ступінь руйнування вітаміну С при варінні і припусканню залежить від багатьох факторів:

- вмісту аскорбінової кислоти в овочах;
- швидкості нагрівання;
- тривалості дії тепла;
- тривалості зберігання варених овочів;
- реакції середовища;
- присутність різних речовин, що прискорюють або гальмують

руйнування.

Так іони міді, заліза, марганцю, які містяться у водопровідній воді або потрапляють зі стінок посуду каталізують руйнування вітаміну С. Найбільшим каталітичним ефектом відрізняються іони міді. Залізо і марганець в значно меншій мірі сприяють руйнуванню вітаміну С.

Аскорбінова кислота є дефіцитним вітаміном, він легко руйнується під час термічної обробки. При варінні картоплі втрати вітаміну С складають близько 30 %, капусти – 40 %, а при припусканні капусти – 66 %. Кип'ятіння може зруйнувати 50-70% вітаміну.

Внаслідок його легкої окиснюваності і порушень технології кулінарної обробки овочів, можуть привести до повного руйнування аскорбінової кислоти в готовій страві.

В умовах повільного нагрівання кількість зруйнованого вітаміну С збільшується порівняно з короткочасною термічною обробкою. Прискорення нагрівання овочів зумовлює інактивацію ферментів, які переводять аскорбінову

кислоту в дегідроформу, внаслідок чого вітамін С краще зберігається, тому закладання овочів перед варінням в киплячу воду або варити на пару. Це доцільно не тільки з точки зору зменшення дифузії розчинних речовин, але і з точки зору попередження руйнування вітаміну С, тому що в киплячій воді менше кисню, ніж у холодній.

Смаження харчових продуктів і, зокрема, картоплі руйнує всього лише 20-25 % вітаміну С. Це обумовлено тим, що жир, який покриває поверхню шматочків продуктів, захищає аскорбінову кислоту від впливу кисню повітря.

Виключно великі втрати вітаміну С мають місце при неодноразовій тепловій обробці продуктів, що перемежається з механічною обробкою, особливо якщо остання супроводжується підсиленою аерацією продукту (збивання). Це має місце при приготуванні овочевих котлет, запіканок, суфле, пюре. В готових картопляних котлетах, наприклад, залишається всього 5-7 % аскорбінової кислоти від вмісту її в сирій картоплі.

Особливо високі втрати вітаміну С при сушінні – 70%. Щоб зменшити їх втрати сировину бланшують або обробляють сірчистою кислотою.

Втрати вітаміну С спостерігаються також при зберіганні і в процесі механічної обробки продуктів.

*При механічному способі* очистки овочів втрати вітаміну С залежать від величини відходів. Так, при їх розмірі 25 % втрати вітаміну С в картоплі складають 16-22 %. В картоплі, очищеній за допомогою пари, аскорбінової кислоти міститься на 15-20 % менше, ніж в очищеній механічним способом, завдяки звільненню ферменту, що руйнує вітамін С – аскорбатдегідрогенази.

Нарізання овочів і плодів призводить до збільшення дифузії розчинних речовин в тому числі і вітаміну С. Концентрація вітаміну С в нарізаних шматочках зменшується. Внаслідок чого вітамін С руйнується в більшій мірі, ніж в цілих овочах. В цьому випадку вітамінна активність картоплі знижується на 40 %. Квашена капуста в результаті віджимання розсолу втрачає до 40 % аскорбінової кислоти. Якщо ж її, крім того, промити, втрати збільшуються до 60 %.

*У процесі зберігання* вміст вітаміну С у плодах і овочах, як правило, зменшується. Через 2-3 місяці руйнується 40-50% аскорбінової кислоти. У лежких сортів його незначний початковий вміст утримується тривалий час. У нележких сортів вміст вітаміну С швидко і значно знижується. Лежкість сортів плодів і овочів можна визначити за динамікою зміни вітаміну С. У зелених овочах, не лежких за своєю природою (салат, шпинат, зелена цибуля) при високій температурі під час зберігання за кілька днів втрачається значна кількість аскорбінової кислоти, особливо при сонячному освітленні.

Значні втрати вітаміну С відбуваються під час зберігання овочів, саме тому взимку, особливо з нового року, на перше місце серед джерел вітаміну виходять квашені продукти, у разі правильного зберігання яких втрати вітаміну не перевищують 15-20%.

При зберіганні очищеної картоплі, цибулі, моркви, гарбуза, капусти на повітрі в холодильниках відбувається біосинтез аскорбінової кислоти.

Швидкість його залежить від розміру парціального тиску кисню і відносної вологості повітря. Найбільш інтенсивно біосинтез протікає при вологості 85-95 %.

Руйнування аскорбінової кислоти може відбуватися і при тривалому зберіганні варених овочів як в гарячому стані, так і при кімнатній температурі або в холодильній шафі. За 3 години зберігання варених овочів в остиглому стані може руйнуватися до 20-30 % вітаміну С, а після добового зберігання в овочах залишається тільки близько половини первинного вмісту його в варених овочах. При збереженні готових блюд у гарячому виді вітамін С швидко руйнується. Зниженню його вмісту в їжі сприяє і повторне нагрівання. У середньому після кулінарної обробки продуктів залишається близько 30 % вихідної кількості вітаміну С.

Дослідженнями вчених доведено, що вміст в продуктах амінокислот, крохмалю, вітамінів (А, Е, тіаміну), пігментів (антоціанів, флавонів, каротиноїдів) попереджають вітамін С від руйнування.

Таким чином, щоб зберегти в харчовій продукції рослинного походження якомога більше вітаміну С потрібно дотримуватися технологічних режимів, які стабілізують вітамін С:

- забезпечувати швидке нагрівання овочів до моменту закіпання;
- варити під закритою кришкою при помірному кип'ятінні і не допускати википання рідини;
- не перевищувати терміни теплової обробки, передбачених для доведення овочів до готовності;
- не допускати тривалого зберігання готових страв;
- використовувати відвари від чищених овочевих та інших продуктів для приготування супів, соусів тощо.

*Джерела.* Аскорбінова кислота міститься в зелених частинах рослин (кріп, петрушка, салат, селера, цибуля й ін.), овочах (перець, картопля, капуста, томати й ін.), ягодах (чорна смородина, агрус, горобина, шипшина, обліпіха), цитрусових і інших фруктах. У зимовий час важливим джерелом вітаміну С є картопля, капуста, томат-паста. У квашеній капусті вітаміну С значно менше, ніж у свіжій. Цінними резервами вітаміну С можуть бути заготівлі у виді чорної смородини, протертої з цукром, пастеризованих ягід без цукру, шипшини.

Розподіл аскорбінової кислоти в товщі плодів нерівномірний, у покривних тканинах її у 2-3 рази більше, ніж у м'якоті, що впливає на їх споживання та технологічну обробку.

За вмістом вітаміну С продукти рослинного походження діляться на декілька груп (табл. 11.2).

### **11.3 Жиророзчинні вітаміни**

До групи жиророзчинних вітамінів належать вітаміни, які розчиняються в жирах та органічних розчинниках – спирті, ацетоні, бензолі.

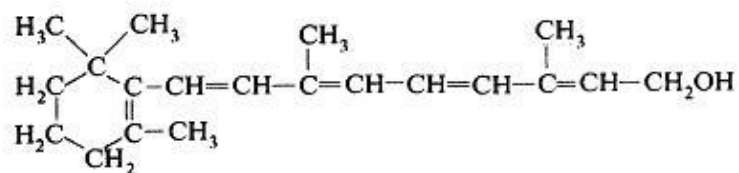
**Вміст вітаміну С в харчових продуктах**

Групи за С-вітамінною активністю	Вміст вітаміну С в 100 г продукту (мг)	Основні джерела вітаміну С
Дуже висока	160-300	Шипшина, чорна смородина, горобина, солодкий перець, зелень, обліпіха, зелений волоський горіх
Висока	100-130	Укріп, петрушка
Гарна	50-100	Капуста білокачанна, хрін, капуста цвітна, суніця, апельсини
Середня	30-50	Цибуля-порій, цибуля зелена, мандарини, лимони, маслини, біла смородина
Мала	15-30	Диня, картопля, томати, редис, червона смородина, агрус
Низька	5-15	Огірки, буряки, кавуни, морква, цибуля ріпчаста, часник, абрикоси, виноград, сливи

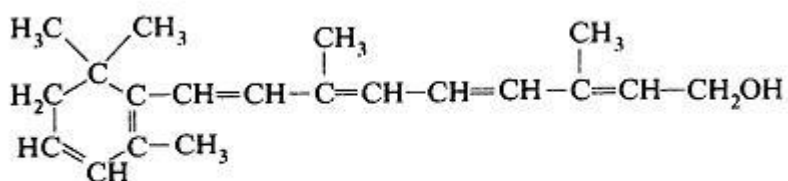
Ця група поєднує вітаміни: ретинол, кальцифероли, токофероли, філохінони й інші. Наприклад, вітамін А утворюється із провітамінів, що надходять з рослинною їжею –  $\beta$ -каротину і каротиноїдів (від лат. *carota* – морква).

**Ретинол** (вітамін А, антиксерофтальмічний фактор).

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Вітамін А має трохи вітамерів, з яких найбільш розповсюджений вітамін А<sub>1</sub>.

Ретинол (вітамін А<sub>1</sub>)

Вітамін А<sub>2</sub> відрізняється від вітаміну А<sub>1</sub> додатковим подвійним зв'язком між 3 і 4-м вуглеводними атомами шестичленного циклу.

Дегідроретинол (вітамін А<sub>2</sub>)

Ретинол складається із суміші циклічних ненасичених спиртів з великим числом сполучених подвійних зв'язків. Це кристалічні тіла жовтого кольору, добре розчинні в жирах, бензині, ефірі, хлороформі, ацетоні й інших речовинах.

При відсутності кисню ретинол стійкий навіть при 100°C. На повітрі він швидко окиснюється і руйнується, особливо в кислому середовищі. Цьому сприяють і ультрафіолетові промені.

Відзначено позитивний вплив провітаміну ретинолу –  $\beta$ -каротину як антирадіаційного фактора.

Відомі три типи каротинів:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , що відрізняються як за будовою, так і за біологічною активністю. Останню в більшому ступені має  $\beta$ -каротин, оскільки він містить два ретинолових кільця; при розпаді з нього утворюються дві молекули вітаміну А.

При гідролізі  $\alpha$ - і  $\gamma$ -каротинів утворюється по одній молекулі вітаміну А, тому що ці провітаміни містять по одному  $\beta$ -іононовому кільцю.

Таким чином, в продуктах рослинного походження (морква, абрикоси, зелені частини) синтезується провітамін  $\alpha$ -каротин. Каротин є біологічним попередником вітаміну А, так званим *провітаміном*.

*Джерела.* Вітамін А надходить в організм у виді власне ретинолу або у виді каротинів.

Провітамін ретинолу –  $\beta$ -каротин у великій кількості міститься в овочах жовтогарячого забарвлення, ягодах, фруктах і вершковій олії. Їм багата обліпиха, морква, садова горобина, перець червоний, зелень петрушки, абрикоси, гарбуз, томати, чорноплідна горобина, зелений горошок, диня, айва, черешня, смородина. Каротин у рослинних продуктах надійно захищений від дії кисня повітря і мало руйнується при тепловій обробці.

При зберіганні, наприклад, моркви вміст каротинів не зменшується до тих пір, поки вона не почне псуватися. Вітамін А і каротин в продуктах значно стійкіше, ніж в чистому вигляді. Зберігання нарізаної моркви на повітрі супроводжується збільшенням в ній вмісту каротину. Це явище розглядається як реакція рослинної тканини на її поранення і називається *раневим біосинтезом*.

Під дією кисню повітря вітамін А руйнується доволі швидко. При відсутності його добре зберігається навіть при нагріванні до 120-130<sup>0</sup> С. Ступінь засвоюваності каротинів залежить від повноти розриву клітинних оболонок, так, наприклад, каротини, що містяться в морквяному пюре, засвоюється краще, ніж у вареній моркві, і ще краще, ніж в свіжій.

Каротини і ретинол руйнується в значному ступені під впливом тепла, світла, повітря, нейтрального або лужного середовища, але добре зберігаються в продуктах при варінні, квашенні і нагріванні без доступу повітря. Вони руйнуються при тривалому смаженні і сушінні, при гідрогенізації і псуванні жирів. Втрати при технологічній обробці коливаються для ретинолу – від 0 до 40 %, для каротиноїдів – від 0 до 30 %.

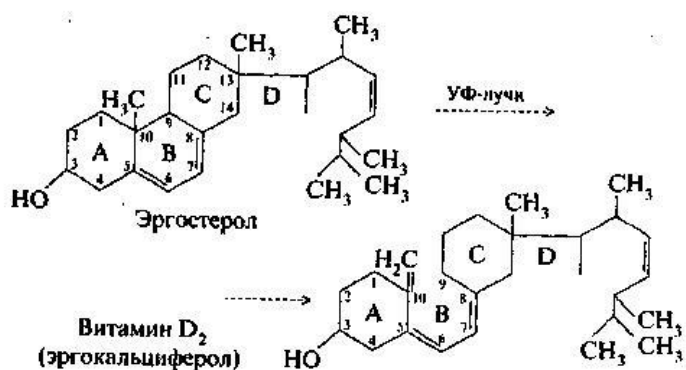
В кулінарній практиці нарізану моркву частіше прогривають з невеликою кількістю жиру за температури 110°C (пасерування). Каротини, що містяться в

зруйнованих при розрізанні клітинах, розчиняються в жирі до 20 % від загальної його кількості. В пасерованій моркві, яка зберігалася тонким шаром у відкритому посуді, відбувається зниження вмісту каротинів. При 0 -2°C через дві доби зруйнувалося близько 17 %, а через 4 доби – до 23 % каротину. При цьому пасерована морква, що зберігалася в закритому посуді при 0-2°C на протязі 4 діб, майже повністю зберігає каротин.

### **Кальциферол** (вітамін D, антирахітичний фактор).

Кальциферол поєднує групу похідних стеролів тваринного і рослинного походження. Існує у виді декількох вітамерів (D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>), які різняться хімічною будовою. У природних продуктах містяться переважно провітаміни D<sub>2</sub> і D<sub>3</sub>.

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Вітамін D<sub>2</sub> являє собою одноатомний ненасичений циклічний спирт, в основі структури якого лежить кільце циклопентанпергідрофенантрону. Під дією ультрафіолетових променів ергостероли через ряд проміжних продуктів, перетворюються у вітамін D<sub>2</sub>.



Вітаміни D<sub>2</sub> і D<sub>3</sub> являють собою безбарвні кристали з температурою плавлення 115-117 °С, не розчинні у воді, але добре розчинні в жирах і розчинниках (ацетоні, ефірі, хлороформі, спирті). Вони легко піддаються впливові окиснювачів і мінеральних кислот, але стійкі до температурних впливів і не руйнуються при кулінарній обробці.

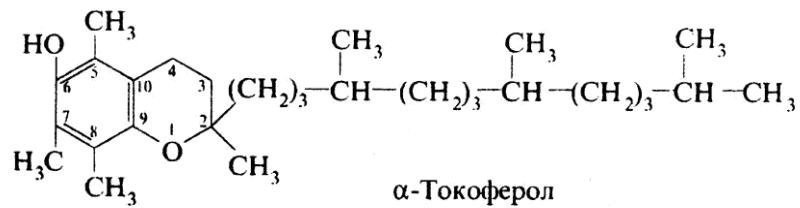
Вітамін D стійкий до дії високих температур, але швидко руйнуються при наявності окиснювачів, особливо при нагріванні вище 180° С. Він добре зберігається при консервуванні і кулінарній обробці.

*Джерела.* Вітамін D міститься в основному в продуктах тваринного походження.

**Токофероли** (вітамін E, вітамін розмноження). Токофероли – це група вітамінів, що мають здатність охороняти тварин від безпліддя і підтримувати функцію розмноження (від грец. *tokos* – пологи, потомство, *fero* – несу).

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Токоферол і його хімічні аналоги являють собою похідні триметилгідрохінону.

Найбільше біологічно активним виявився α-токоферол, що має у своєму циклі три метильні групи.



Різні  $\alpha$ -токофероли відрізняються друг від друга числом і розташуванням метильних груп.

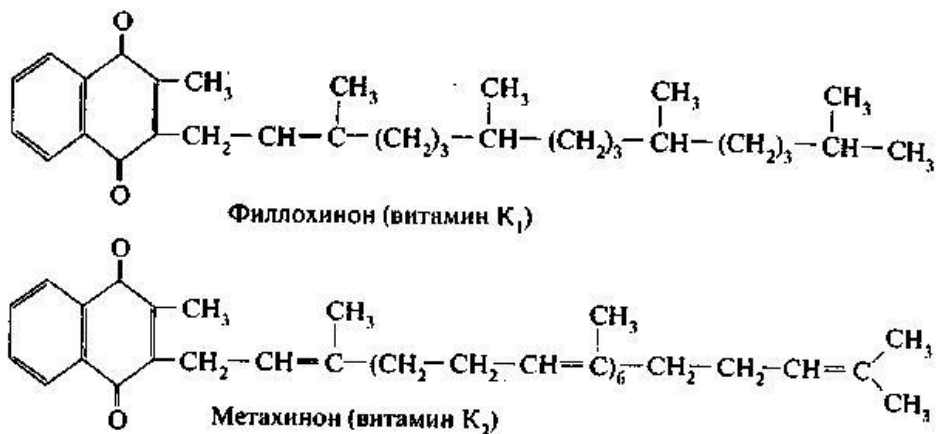
Токофероли – безбарвні маслянисті рідини, добре розчинні в рослинних оліях, спирті, ефірі. Хімічно досить стійкі, витримують нагрівання до  $100^{\circ}\text{C}$  з концентрованою  $\text{HCl}$  і до  $170^{\circ}\text{C}$  на повітрі; руйнуються під дією ультрафіолетових променів, але стійкі до кулінарної обробки, не руйнуються при прогорканні жирів.

Технологічна обробка продуктів знижує вміст токоферолів в рослинних оліях і пшеничному борошні. Токофероли чутливі до ультрафіолетового світла, нагрівання до  $200^{\circ}\text{C}$  в присутності кисню, дії кислот і лугів. Вітамін Е використовують як антиоксидант для попередження псування жирів.

*Джерела.* Багатими джерелами вітаміну Е є рослинні олії (соняшникова, соєва, бавовняна, кукурудзяна), зелені листи овочів, ячні жовтки.

**Філохінони** (вітамін К, коагуляційний фактор). Два природних вітаміни:  $\text{K}_1$  і  $\text{K}_2$ , що виявилися похідними нафтохінону.

*Будівля і фізико-хімічні властивості.* Вітамін К – жовтувата масляниста рідина. Він не розчинний у воді, дуже нестійкий при нагріванні в лужному середовищі і при опроміненні.



*Джерела.* Багатими джерелами нафтохінону є листові овочі, цвітні і білокачана капуста, томати, картопля, а також печінка, яйця.

**Вітамін F** (ненасичені жирні кислоти) об'єднує групу біологічно-активних поліненасичених жирних кислот (лінолева, ліноленова і арахідонова).

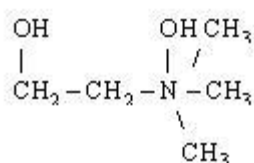
*Джерела* Ненасичені жирні кислоти містяться переважно в рослинних оліях - горіховій – 63-76%, маковій – 63-74%, соєвій – 62-64%, соняшниковій – 52-64%. Джерелом в F є також олія земляного горіха – арахісу, олія з кукурудзи, обліпихи.

## 11.4 Вітаміноподібні сполуки

У цю групу включені різноманітні сполуки, що мають вітамінні властивості; вони частково синтезуються в організмі й іноді входять до складу тканин.

**Холін** (вітамін В<sub>4</sub>). Ця речовина вперше була виділена з жовчі, у зв'язку з чим вітамін і одержав свою назву (від грец. *cholos* – жовч).

*Будова і фізико-хімічні властивості.* За структурою холін являє собою аміноетиловий спирт, що містить в атомі азоту три метильні групи.



Холін

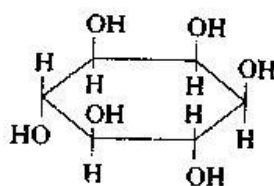
У зв'язку з тим, що гідроксильна група, яка знаходиться в атомі азоту в іонізованому стані, холін є сильною основою. У звичайних умовах він являє собою безбарвну сиропоподібну рідину, добре розчинну у воді і спирті.

*Джерела.* Холін міститься в бобових, капусті.

**Інозит.** Цю речовину відносять до вітамінів комплексу В. Виявлено сім оптично неактивних форм і одна пара оптично активних ізомерів.

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Інозит являє собою циклічний шестиатомний спирт циклогексан.

Він добре розчинний у воді. Під впливом теплової обробки продуктів руйнується на 50 %.



Інозит

*Джерела.* Основними постачальниками інозиту є хліб з борошна грубого помелу, овочі і фрукти.

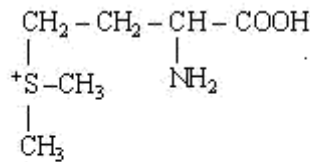
**Оротова кислота** (вітамін В<sub>13</sub>). Це сполука є похідним піримідину. Вітамін В<sub>13</sub> міститься в дріжджах.

**Карнітин** (вітамін В<sub>T</sub>). Знаходиться головним чином у м'язах. Був виявлений радянським біохіміком академіком В.С. Гулевичем і його колегами.

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Карнітин являє собою розчинне у воді бетаїн-похідне – β-окси-γ-аміномасляну кислоту.







Метилметіонінсульфоній

*Джерела.* Найбільше цього вітаміну міститься в капусті білокачанній, капусті кольрабі, капусті цвітній, зеленій петрушці, селері, помідорах.

**Параамінобензойна кислота (H<sub>1</sub>).** Фактор, стимулюючий ріст, був виділений у чистому виді з екстрактів дріжджів і ідентифікований як параамінобензойна кислота.

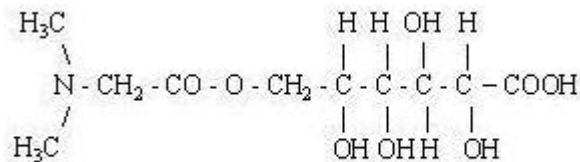
*Будова і фізико-хімічні властивості.* ПАМБК являє собою кристалічну речовину білого кольору з жовтуватим відтінком. Вона погано розчинна у воді, добре - у спирті й ефірі. Хімічно стійка, витримує автоклавовання, кип'ятіння в кислому і лужному середовищах.

*Джерела.* ПАМБК міститься в рисових висівках, дріжджах, шпинаті, грибах й інших продуктах рослинного походження.

**Пангамова кислота (вітамін В<sub>15</sub>).** Цей вітамін міститься в насіннях рослин, звідси і відбулася його назва (від грец. *pan* – всі і *gami* – насіння).

*Будова і фізико-хімічні властивості.* Вітамін В<sub>15</sub> – гігроскопічний кристалічний білий порошок, добре розчинний у воді, але не розчинний в ефірі, хлороформі і бензолі, стійкий у кислому середовищі.

Пангамова кислота являє собою складний ефір глюконової кислоти і диметилгліцину.



Пангамова (NN-диметилгліцин-β-глюконова) кислота

*Джерела.* Вітамін В<sub>15</sub> міститься в насінні рослин, дріжджах, рисових висівках.

#### Контрольні запитання:

1. Що таке вітаміни, як їх класифікують ?
2. Які речовини мають антивітамінну дію?
4. Розповісти про біологічну роль вітамінів групи В, їхню хімічну будову, добову потребу і харчові джерела.
5. У яких біохімічних реакціях бере участь аскорбінова кислота, яка її хімічна будова, добова потреба і харчові джерела ?
6. Які жиророзчинні вітаміни є дефіцитними і чому?
7. Охарактеризуйте біологічну роль жиророзчинних вітамінів, хімічну будову, добову потребу і харчові джерела.
8. Які сполуки відносять до вітаміноподібних? Назвіть продукти, що є їхніми джерелами.

## РОЗДІЛ 12. ФЕРМЕНТИ

### 12.1 Загальне поняття про ферменти

В основі всіх процесів життєдіяльності організму лежать тисячі хімічних реакцій, що каталізуються особливими білками – *ферментами* (ензимами). Назва «фермент» відбулася від латинського слова «*fermentum*» (закваска); другий термін «ензим» – від грецького *en* – усередині, *zyme* – дріжджі. Саме з процесів бродіння починається наука про ферменти.

Ферменти обумовлюють прискорення процесів життєдіяльності. Однак при цьому не порушуються загальні закони природи, тому що прискорюються лише ті процеси, що термодинамічно можливі, але протікають повільно. Спрямованість хімічних процесів забезпечується за рахунок упорядкованого розподілу ферментів у клітці, причому одні з них «прив'язані» до визначених структур, інші утримуються в цитоплазмі і мігрують до різних ділянок клітки, підкоряючись регуляторним впливам. Тому в клітках одночасно відбувається безліч різноманітних реакцій у різних, у тому числі і протилежних, напрямках.

За своєю дією біологічні каталізатори – ферменти – відрізняються від каталізаторів неживої природи. Будучи білками, вони *мають складну структуру*, тоді як багато неорганічних каталізаторів – низькомолекулярні речовини.

Ферменти характеризуються дуже *високою активністю*. Ферментативна реакція протікає в  $10^6$ - $10^{12}$  разів швидше, ніж спонтанна реакція у водному розчині, яка не каталізується.

Реакції, що каталізуються ферментами, на відміну від багатьох хімічних реакцій органічних речовин, здійснюваних у лабораторних умовах, йдуть *без утворення побічних продуктів*, майже зі 100-процентним виходом.

Усі ферменти виявляють свою активність у відносно *м'яких умовах*: при помірній температурі (25-40°C), нормальному тиску, при невисокій концентрації водневих іонів, тобто в умовах, коли хімічні речовини, що входять до складу організму, перетворюються без каталізатора дуже повільно.

Також істотною відмінністю ферментів від каталізаторів неживої природи є їхня специфічність стосовно типу реакції і до речовин, процес зміни в яких прискорюється даним ензимом.

Ферменти в клітині *точно локалізовані*. Відповідність біохімічних процесів органідам клітки обумовлює локалізацію в них тих або інших індивідуальних ферментів, мультиферментних комплексів – *поліферментних блоків*. Наприклад, у мітохондріях зосереджені комплекси окиснювально-відновних ферментів, у рибосомах – ферменти, що беруть участь у біосинтезі білка, у лізосомах – гідролази, у протоплазмі – ферменти, що активують амінокислоти, у ядерному апараті клітини – ферменти, що здійснюють біосинтез нуклеїнових кислот. Завдяки такій локалізації ферментних систем процес каталізу являє собою серію послідовних елементарних перетворень речовин, найсуворішим образом скоординованих і організованих у просторі і часі. Внаслідок цього окремі цикли охоплюють широке коло реакцій

перетворень речовин в організмі (окиснювання і відновлення, ізомеризація, гідроліз й ін.), забезпечуючи тим самим життєдіяльність клітин, тканин, органів і організму в цілому.

Обмінні реакції, що протікають у клітині під дією ферментів, суворо регламентовані: синтезується лише та кількість різних видів простих молекул, яка необхідна для біосинтезу білків, нуклеїнових кислот, ліпідів, полісахаридів і т.п. Така саморегуляція забезпечує певний стаціонарний стан живих структур навіть у випадках значних змін зовнішнього середовища.

Завдяки ферментним системам клітина здатна сама себе підтримувати в постійній динамічній рівновазі і налаштовуватися на роботу в режимі максимальної економії компонентів. Процеси, що протікають у живих організмах, набагато перевершують можливості сучасних хімічних технологій.

## 12.2 Будова ферментів

За хімічною будовою ферменти являють собою прості (ферменти-протеїни) і складні білки (ферменти-протеїди), які містять білок і активну групу небілкової природи.

Для ферментів, як і для білків, характерна *висока молекулярна маса*. Вона коливається від десятків тисяч до декількох мільйонів дальтон. Одним із доказів білкової природи ферментів є те, що при розчиненні у воді вони утворюють *колоїдні розчини* і не проходять через напівпроникні мембрани. Подібно до білків ферменти є *амфотерними електролітами*, *висолюються нейтральними солями* та *інактивуються при нагріванні*.

Прості ферменти представлені одним або кількома поліпептидними ланцюгами і при гідролізі розщеплюються до амінокислот. Вони належать до таких класів білків, як альбуміни, глобуліни та інші групи простих білків. Більшість простих ферментів каталізують процеси гідролізу, наприклад пепсин, трипсин, рибонуклеаза.

Ферменти-протеїни називають *однокомпонентними*. Складні ферменти, крім білкової, містять і небілкову частину, тому вони одержали назву *двокомпонентних*.

Більшість ферментів належать до групи складних білків. Білкову частину складного ферменту називають *апоферментом* (носій), небілкову – додатковою, *простетичною групою*, *коензимом* або *коферментом* (активна частина). Загальна назва складного ферменту – *холофермент* (від греч. *holos* – ціле).

Апофермент – термолабільний, як усі білки, кофермент – термостабільний.

Для складних ферментів характерно те, що ні апофермент, ні кофермент окремо не мають вираженої каталітичної активності. Тільки комплекс білкової і небілкової частин виявляє ферментативні властивості. При цьому білковий компонент відповідальний за специфічність ферменту і значно підвищує каталітичні властивості небілкової групи. У той же час небілкова частина

обумовлює активність дії і стабілізує білкову частину, робить її більш стійкою до впливів денатуруючих речовин.

Кофермент може легко відокремлюватися від апоферменту і «обслуговувати» два або кілька ферментів, а також існувати самостійно. Той самий кофермент, приєднуючись до різних білків, може каталізувати зовсім різні реакції. Так, в одній реакції піридоксальфосфат (вітамін В<sub>6</sub>) прискорює трансамінування, а в іншій – декарбоксілювання амінокислот. Кофермент з'єднаний з апоферментом зв'язками різної міцності. Простетична група невіддільна від білкової частини ферменту.

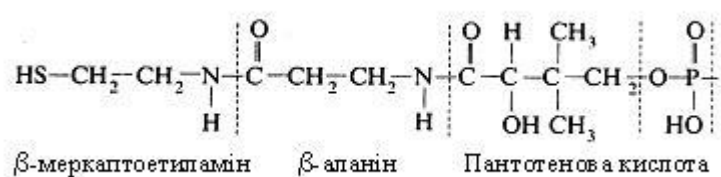
Коферменти зв'язані з білковою частиною ферменту слабкими електростатичними силами. З'єднання коферменту з білковою частиною підвищує його стійкість до різних зовнішніх факторів. Коферменти у ферментах – протеїдах виконують роль переносників різних функціональних груп, атомів, електронів і протонів. Окремі коферменти беруть участь в активації молекул субстратів.

Усі кофактори ферментів поділяють на *коферменти, простетичні групи* і активатори.

Роль коферментів у складних ферментах виконує більшість вітамінів (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>4</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, В<sub>с</sub>, Н і ін.) або сполуки, до складу яких входять вітаміни, іони металів, окремі фосфорні ефіри моносахариди, нуклеотиди і ін. Наприклад, вітамін Н входить до складу кокарбоксілаз, що каталізують біосинтез вищих жирних кислот, тому що він сприяє асиміляції оксиду вуглецю.

До складу коферменту А або коензиму А (КоА і HSKoA), входить пантотенова кислота (вітамін В<sub>3</sub>).

Реактивною частиною КоА є HS-група меркаптоетиламіну:



Поряд з вітамінами коферментну функцію можуть виконувати деякі пептиди, наприклад HS-глутатіон (γ-глутамініл-цистеїніл-гліцин), що бере участь в окиснювально-відновних процесах, а також велика група нуклеотидів.

В якості коферментів можуть виступати ефіри деяких моносахаридів, ліпоєва кислота і ряд інших речовин.

У тих випадках, коли до складу кофактора входять іони металів, вони виконують функцію містка, що зв'язує фермент із субстратом, у результаті чого утворюється *координаційний комплекс*. Іони металів можуть знаходитися також у структурі активного центра, де вони беруть безпосередню участь у каталізі (наприклад, у каталазі, пероксидазі, цитохромоксидазі). У таблиці 12.1 наведена класифікація за хімічною будовою найбільш розповсюджених коферментів.

## Класифікація коферментів

Назва коферменту	Вихідна речовина для утворення коферменту
<i>Вітамінні коферменти</i>	
Тіамінові (ТДФ) Флавінові (ФМФ, ФАД) Пантотенові (КоА) Нікотинамідні (НАД, НАДФ) Піридоксинові (піридоксальфосфат) Фолієві (ТДФК) Кобаламідні Біотинові	тіамін (вітамін В <sub>1</sub> ) рибофлавін (вітамін В <sub>2</sub> ) пантотенова кислота (вітамін В <sub>3</sub> ) нікотинамід (вітамін РР) піридоксин (вітамін В <sub>6</sub> ) фолієва кислота (вітамін В <sub>с</sub> ) вітамін В <sub>12</sub> біотин (вітамін Н)
<i>Невітамінні коферменти</i>	
Містять метали Металопорфіринові Пептидні Вуглеводні Нуклеотидні (УДФГ) (не є похідними вітамінів)	Mn, Mg, Fe, Zn, Mo, Ca геми, хлорофіл глутатіон фосфати моносахаридів нуклеозидмоно- і дифосфати

Відомі складні ферментні системи, що містять декілька ферментних білків і коферментів.

Взаємодія ферменту з речовиною (субстратом), що піддається зміні, забезпечується наявністю на поверхні ферменту відповідної ділянки, структура якої *комплементарна* структурі субстрату, тобто підходить до нього, як ключ до замка.

У простих ферментах-протеїнах каталітичну функцію виконує частина білкової молекули, названа *активним (каталітичним) центром*, що являє собою унікальне сполучення певних амінокислотних залишків, що входять до складу пептидного ланцюга ферменту. Архітектоніка центра забезпечує взаємодію з визначеними групами субстрату. Найбільш часто в складі активних центрів зустрічаються залишки серину, тирозину, гістидину, триптофану, аргініну, цистеїну, аспарагінової і глутамінової кислот. Амінокислотні залишки, що обумовлюють каталітичну активність простого ферменту, розташовуються в різних ділянках поліпептидного ланцюга.

В ряді двокомпонентних ферментів виявляються два активних центри: субстратзв'язуючий і алостеричний.

**Субстратзв'язуючий центр** являє собою ділянку молекули ферменту, що безпосередньо взаємодіє із субстратом. У ферментах-протеїнах субстратзв'язуючий центр може збігатися з активним центром.

**Алостеричний центр** – це ділянка молекули ферменту, за будовою не ідентична субстратові (від греч. *allos* – інший). Він взаємодіє з визначеними низькомолекулярними речовинами, наприклад гормонами. Приєднання таких речовин до алостеричного центру приводить до зміни третинної структури білкової молекули. Це у свою чергу змінює конфігурацію субстратзв'язуючого

центру і супроводжується зміною (збільшенням або зменшенням) каталітичної активності ферменту.

### 12.3 Властивості ферментів

Усі ферменти є високомолекулярними біополімерами. Білкова природа ферментів визначає ряд особливостей, що відрізняють їх від неорганічних каталізаторів.

Найважливіша особливість дії ферментів полягає в *специфічності*, що обумовлює вибірковість їхньої дії. Досить змінити просторове розташування атомів субстрату, щоб фермент не впливав на нього. Фермент може каталізувати одну або групу реакцій, близьких за своєю хімічною структурою.

Завдяки своїй специфічності ферменти вибирають з ряду термодинамічно можливих хімічних реакцій лише деякі і тому не тільки прискорюють біохімічні перетворення, але і часто визначають загальний напрямок метаболічних процесів.

У залежності від того, чи може фермент каталізувати яку-небудь одну реакцію (тобто діяти на даний субстрат) або кілька реакцій (тобто діяти на визначену групу субстратів), розрізняють *специфічність абсолютну, відносну та стереоізомерну*.

*Абсолютна специфічність* характерна для ферментів, що діють на один субстрат з цілком визначеною структурою. Будь-які зміни в структурі субстрату роблять його недоступним для дії ферменту.

До таких ферментів відносять уреазу, яка каталізує розпад сечовини і не діє ні на які інші сполуки, навіть на похідні сечовини, наприклад метилсечовину. До цієї групи ферментів відноситься також аргіназа, що розщеплює аргінін в природних умовах.

*Відносну (групову) специфічність* мають ферменти, що діють на визначений вид зв'язку. Наприклад, пептидази гідролізують усі сполуки, що мають у своєму складі пептидний зв'язок -CO-NH.

Ферменти, що мають відносну специфічність, мають широкий спектр дії. Відносна групова специфічність характерна для ферментів, що діють на субстрати, що мають однаковий тип зв'язку і певне функціональне угруповання. Вони не тільки впливають на той або інший тип хімічного зв'язку, але і допускають зміни хімічної структури субстрату. Наприклад, ліпази і естерази розщеплюють як різні триацилгліцероли (жири), так і диацилгліцероли, моноацилгліцероли і складні ефіри. Однак розщеплення цих субстратів відбувається з різною швидкістю.

Деякі ферменти діють на субстрати, що мають тільки визначену просторову конфігурацію, тобто виявляють *просторову, оптичну, стереоізомерну* специфічність. Наприклад, ферменти дріжджової клітки каталізують зброджування – розпад D-глюкози – з утворенням етилового спирту і оксиду вуглецю, але не впливають на L-глюкозу. Стереοізомерна специфічність визначається не тільки D і L, але й іншими типами ізомерії.

Фермент, що діє на субстрат з цис-конфігурацією, як правило, не атакує трансізомер даної сполуки, і навпаки.

З інших властивостей ферментів варто вказати на *оборотність* їхньої дії.

У залежності від концентрації вхідних і кінцевих продуктів реакції ферменти можуть каталізувати як прямі, так і зворотні реакції, тобто викликати як процеси синтезу, так і процеси розпаду. Однак доведено, що зворотність дії характерна не для усіх ферментів.

Багато процесів розпаду і синтезу відбуваються не тільки під дією різних ферментів, але і за іншим механізмом. У живому організмі розщеплення і синтез здійснюються в більшості випадків різними ферментами навіть тоді, коли даний фермент здатний каталізувати реакцію в різних напрямках. У синтезі беруть участь ферменти, що використовують енергію гідролізату АТФ і деяких інших сполук. Так, при гідролізі глікогену в печінці за допомогою амілази і мальтази утворюється глюкоза. З глюкози там же, у печінці, синтезується глікоген, але його утворення не є наслідком зворотної реакції гідролізу, а відбувається більш складним шляхом.

На активність ферментів впливає багато факторів: температура, рН середовища та ін.

*Вплив температури на активність ферментів.*

Ферменти – термолабільні речовини. Зміна температури зумовлює зміну їх активності. Так, підвищення температури на  $10^{\circ}\text{C}$  прискорює швидкість хімічних реакцій приблизно у 2 рази. Але ферменти є білками, і підвищення їх каталітичної активності відбувається до того часу, поки не почнеться денатурація білка. Денатурація ферменту викликає руйнування його нативної структури і зумовлює втрату ферментативної активності (рис. 12.1).

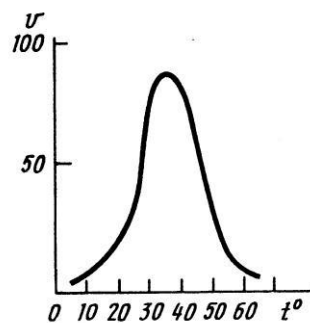


Рис 12.1 – Термолабільність ферментів

Стійкість ферментів до нагрівання часто залежить від того, в яких умовах воно проводиться, яка кислотність середовища, які солі і в якій кількості містяться в розчині, яка ступінь очистки ферменту. Багато також залежить і від хімічної природи самого ферменту. Проте є ряд ферментів, які визначаються високою термостійкістю. Вони мало інактивуються навіть за температури  $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$ . Інші ферменти, навпаки, руйнуються при короткочасному нагріванні їх до  $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$ . Встановлено, що ферменти рослинного походження виявляють найбільшу активність за температури  $50$  і  $60^{\circ}\text{C}$ . Температура, при якій фермент



має максимальну активність називається *оптимальною температурою ферменту* або *температурним оптимумом*.

При зниженій температурі (гіпотермія) активність ферментів знижується, але не зникає. Коли для ферментів створюється температурний оптимум, вони знову стають активними.

*Вплив рН середовища на активність ферментів.* Активність ферментів досить чутлива до кислотності середовища. Для кожного ферменту характерний свій рН, при якому активність його максимальна. Зниження або підвищення рН відносно максимального зумовлює зниження активності ферменту.

Вплив концентрації водневих іонів на активність ферментів пов'язаний, в першу чергу, з їх дією на активні центри ферментів. Залежно від рН середовища активний центр ферменту може бути в різній мірі іонізований, що впливає на формування активного *фермент-субстратного комплексу*. Разом з тим концентрація водневих іонів у середовищі впливає на іонізацію субстрату і кофакторів, що також має значення для каталітичної дії ферменту.

Для кожного ферменту існує визначена вузька межа рН середовища, що є оптимальним для реалізації його максимальної активності. Відхилення рН від оптимального значення приводить до зниження активності ферменту або навіть до його необоротної інактивації.

Зміни в каталітичній дії ферментів при різних значеннях рН середовища можуть бути зв'язані зі змінами конфігурації унікальної структури молекули – її активного центра.

Швидкість ферментативних реакцій залежить не тільки від температури і рН середовища, але і від концентрації ферменту і субстрату, наявності *активаторів* і *паралізаторів*.

Швидкість дії ферменту визначається концентрацією фермент-субстратного комплексу, що утвориться. Максимальна швидкість реакції досягається тоді, коли концентрація субстрату буде достатня, щоб зв'язати всю кількість ферменту у фермент-субстратний комплекс.

Крім зазначених факторів, на активність ферментів впливає присутність у розчині ряду хімічних сполук, що можуть *активувати (активатори)* або *гальмувати (інгібітори)* дію ферментів. *Активатори* представлені іонами багатьох металів (частіше  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Co^{2+}$ ), деякими аніонами ( $Cl^-$ ).

Механізм активації ферментів іонами металів полягає в тому, що в одних випадках вони входять до складу простетичної групи ферментів і полегшують утворення фермент-субстратного комплексу, а в інших – сприяють приєднанню коферменту до апоферменту або забезпечують утворення четвертинної структури ферменту.

Прості хімічні сполуки діють як *алостеричні активатори*. Приєднуючись до алостеричного центра ферменту, вони змінюють третинну структуру білкової молекули. У результаті цього активний і субстратзв'язуючий центри ферменту здобувають найбільш вигідну для взаємодії із субстратом конфігурацію.

Деякі ферменти виробляються в неактивній формі у виді *проферментів*, або *ензимогенів* (попередників). Їхній активний центр замаскований додатковою ділянкою поліпептидного ланцюга, тому субстрат не може з ним з'єднатися. Видалення такої додаткової ділянки приводить до вивільнення активного центру і можливості утворення фермент-субстратного комплексу.

*Інгібітори* гальмують дію ферментів. Розрізняють два види інгібування: *незворотне й зворотне*. Незворотне інгібування зв'язано з дією таких речовин, що порушують усю структуру ферменту, у тому числі активного центру (наприклад, дія сильних кислот і лугів, солей важких металів).

*Зворотне інгібування* відбувається в період безпосередньої взаємодії ферменту з інгібітором, видалення якого знову повертає ферментові активність. Таке інгібування може протікати за конкурентним і неконкурентним типом.

*Конкурентне гальмування* можливе в тому випадку, коли інгібітор містить хімічні групи, подібні із субстратом, тобто є його структурним аналогом і здатний взаємодіяти з активним центром ферменту. В основі цього виду гальмування лежить конкуренція між субстратом і інгібітором за приєднання до активної групи ензиму. Такий інгібітор, зв'язуючись з ферментом, утворює інгібітор-ферментний комплекс. Однак це відбувається лише у випадку, якщо концентрація інгібітору перевищує кількість субстрату.

При збільшенні концентрації субстрату він витісняє інгібітор з активного центра ферменту, що відновлює свою каталітичну функцію. Таким чином, дія конкурентних інгібіторів може бути ослаблена або усунута шляхом збільшення кількості субстрату.

При *неконкурентному гальмуванні* інгібітор взаємодіє не з активним субстратним центром ферменту, а з алостеричним. Внаслідок цього змінюється структура ферменту, у тому числі й активного центру, до якого вже не може приєднатися субстрат. У цьому випадку концентрація інгібітору не має ніякого значення. Видалення інгібітору не завжди приводить до відновлення властивостей ферменту.

## 12.4 Загальні уявлення про механізм дії ферментів

В основі дії ферментів як біологічних каталізаторів лежить їхня здатність прискорювати реакції за рахунок зменшення енергії активації субстрату.

Механізм дії ферментів вивчений поки недостатньо. Сучасні дані дозволяють висловити тільки деякі загальні положення щодо цього питання.

Більшість дослідників вважають, що механізм дії ферментів у процесах каталізу тих чи інших реакцій пов'язаний з утворенням фермент – субстратних комплексів. За цих умов фермент змінює молекулу субстрату так, що енергія, яку необхідно прикласти для переведення в активний стан, значно зменшується.

При взаємодії ферменту з субстратом між ними можуть утворюватися різні типи зв'язків: іонні, водневі і гідрофобні.

Запуск реакції можна здійснити шляхом подолання сил відштовхування між молекулами, що обумовлено зовнішніми електронами. Ферменти

деформують електронні оболонки субстратів, полегшуючи в такий спосіб взаємодію між ними. Енергія, необхідна для того, щоб привести молекули в активний стан, називається *енергією активації*. Вона використовується для подолання енергетичного бар'єра. Існують дві теорії механізму дії ферментів: теорія проміжних сполук і адсорбційна.

**Теорія проміжних сполук.** Сутність процесу полягає в утворенні фермент-субстратного комплексу (рис. 12.2). При безпосередній взаємодії субстрату з активним центром ферменту останній певним чином впливає на субстрат, викликаючи перебудову його хімічних зв'язків і тим самим активізуючи його.

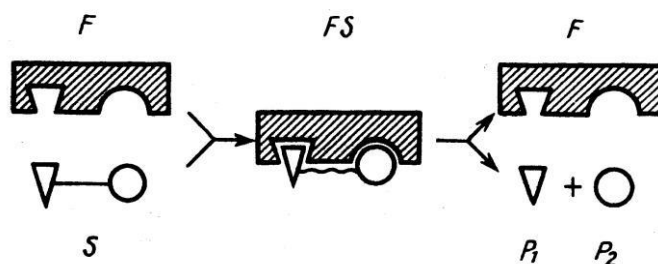


Рис. 12.2 – Схема утворення фермент-субстратного комплексу

Як приклад, можна привести механізм дії фумарази (F), яка каталізує реакцію утворення яблучної кислоти з фумарової кислоти:



Зв'язування ферменту з субстратом здійснюється в основному через активний центр. В ході ферментативної реакції фермент (F) взаємодіє з субстратом (S) утворюючи ферментно-субстратний комплекс (FS) у складі якого і відбувається активація субстрату.

Процес включає кілька стадій:

– взаємодія ферменту з субстратом  $F + S \rightarrow FS$

– активація субстрату у складі ферментно-субстратного комплексу, ця активація  $FS \rightarrow FS^*$  здійснюється двома шляхами:

а) деформація зв'язків, в ході якої відбувається їх розтягування і зміна валентних кутів. Ці деформації зв'язків утворюються в молекулах напруження, внаслідок чого знижується міцність зв'язків, що полегшує їх перетворення.

б) шляхом зміни в розподілі електронної густини, як в молекулі субстрату, так і в молекулі ферменту, що веде до зміни поляризації зв'язків і значної поляризації окремих з них. Ці два фактори відіграють вирішальну роль в процесі активації субстрату і зниження енергії активації.

– перетворення активованого субстрату на поверхні ферменту, внаслідок чого утворюється комплекс ферменту і продукту реакції:

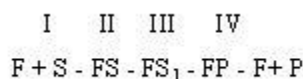


– відокремлення продукту реакції із поверхні ферменту:



F - фермент, P - продукт реакції.

Якщо фермент позначений буквою F, субстрат – S, активований субстрат – S<sub>1</sub> і продукт реакції – P, то зазначену послідовність процесу можна виразити схемою:



Фермент зв'язується із субстратом в оборотній реакції з утворенням фермент-субстратного комплексу. У процесі утворення останнього і на подальших стадіях ферментативного каталізу відбуваються кількарізні зміни третинної структури ферменту, що приводять до послідовного зближення із субстратом і орієнтації в просторі тих активних груп, що взаємодіють одна з одною на різних етапах перетворення субстратів. Зміна третинної структури білка можлива тільки при участі всього (або майже всього) поліпептидного ланцюга, що утворює молекулу білка. Отже, у каталітичному процесі бере участь уся молекула ферменту при упорядкованій взаємодії його центрів, що забезпечує послідовне здійснення багатостадійних процесів ферментативного каталізу. Спрямованість реакцій залежить від зміни енергії при реакції, від різниці вільних енергій вихідних речовин і речовин, що утворюються.

Сума енергії активації проміжних реакцій нижче енергії активації, необхідної для одночасного розщеплення субстрату.

**Адсорбційна теорія.** Відповідно до цієї теорії, речовини, що реагують, адсорбуються на поверхні ферменту, що сприяє збільшенню їхньої концентрації, зближенню реакційноздатних груп. Речовини, що знаходяться на поверхні ферменту (адсорбенту), можуть утримуватися за рахунок простої фізичної адсорбції, обумовленої силами міжмолекулярної взаємодії і більш міцного хімічного зв'язку. Каталізатор своїм силовим полем викликає визначені зміни в структурі реагуючих речовин, що приводить до підвищення реакційної здатності субстрату і збільшенню швидкості реакції.

Кожен фермент містить певні хімічні угруповання, завдяки яким він вступає в з'єднання із субстратом і здійснює свою каталітичну дію.

Такими групами є SH-групи, залишки гістидину, серину, тирозину і т.д. Ці групи розташовані в молекулі ферменту на різних ділянках, але взаємодіють між собою і є відповідальними за каталітичну діяльність ферменту. Ці групи одержали назву *функціональних груп ферментів*.

У молекулі ферменту є комбінація різних хімічних угруповань, що утворюють активний центр молекули ферменту, завдяки якому здійснюється його каталітична дія.

Якщо в субстраті є заряджені групи, утворення FS-комплексу відбувається завдяки електростатичній взаємодії іонних зв'язків між позитивно зарядженими групами ферменту, і навпаки.

Якщо субстрат не має заряджених груп, то приєднання ферменту до субстрату відбувається внаслідок утворення водневих зв'язків або гідрофобної взаємодії.

Кофактори, виконуючи каталітичну функцію, залишаються хімічно незмінними в результаті каталітичної реакції.

## 12.5 Номенклатура й класифікація ферментів

В основу номенклатури ферментів покладено наступні принципи:

а) закінчення *-аза* варто використовувати тільки для простих ферментів; для мультиферментних комплексів рекомендований термін система (наприклад, піруватдегідрогеназна система);

б) у найменуванні повинний бути відбитий механізм реакції, назва субстрату і коферменту, тип реакції, яка каталізується.

З урахуванням цих правил замість колишньої назви, наприклад, «лактатдегідрогеназа» рекомендують систематичну назву лактат-НАД-оксидоредуктаза, що містить три позиції: субстратом є лактат (молочна кислота), коферментом – НАД (нікотинамідаденіндинуклеотид), фермент оксидоредуктаза каталізує перенос водню від субстрату до акцептора, тобто зазначений тип реакції.

В основу класифікації ферментів покладено принцип розподілу їх за типами хімічних реакцій, які вони каталізують: на цій основі усі ферменти поділяють на шість класів:

1) оксидоредуктази – (окисно-відновні ферменти) – каналізують окиснювально-відновні процеси;

2) трансферази (ферменти переносу) – прискорюють реакції перенесення окремих атомів і груп атомів від одних субстратів до інших;

3) гідролази – ферменти, які каталізують гідролітичні реакції;

4) ліази – каналізують процеси відщеплення яких-небудь груп негідролітичним шляхом з утворенням подвійного зв'язку, або, навпаки, приєднання відповідних груп атомів по місцю подвійного зв'язку;

5) ізомерази – прискорюють процеси ізомеризації органічних сполук;

6) лігази (синтетази) – каналізують реакції синтезу, які пов'язані з використанням енергії АТФ та деяких інших трифосфатів.

Кожен клас має підкласи.

**Оксидоредуктази.** До цього класу віднесені усі ферменти (дегідрогенази, оксидази й ін.), які каталізують окиснювально-відновні реакції. Ці реакції здійснюються ланцюгом ферментів і проміжних переносників водню або електронів від первинного субстрату до кінцевого акцептора – кисню. Субстратну специфічність ферментів цього класу, як правило, визначає білкова частина ферменту. Особливістю оксидоредуктаз є їхня здатність прискорювати велике число найрізноманітніших окиснювально-відновних реакцій, що забезпечує з'єднання коферменту з багатьма апоферментами. При цьому щоразу утворюється оксидоредуктаза, специфічна стосовно того або іншого субстрату.

Оксидоредуктази беруть участь у хімічних реакціях, зв'язаних з вивільненням енергії.

За тривіальною номенклатурою оксидоредуктази, залежно від характеру їх каталітичної дії, поділяють на ряд груп. Якщо оксидоредуктази каталізують реакції відщеплення водню від субстрату і перенесення його на інші органічні субстрати, то їх називають *дегідрогеназами*. А якщо акцептором водню є кисень, то такі дегідрогенази називають *оксидазами*. Відомо, ще такі групи оксидоредуктаз, як *оксигенази* (коли молекула кисню входить до складу субстрату) і *гідроксилази* (якщо кисень входить до складу субстрату у вигляді гідроксильної групи).

**Супероксиддисмутаза (SOD, СОД)** – фермент класу оксидоредуктаз є одним із ключових компонентів системи захисту клітин і тканин рослинних організмів від окиснювальної деструкції. Вважається, що основна захисна роль відводиться основним ключовим ферментам, що володіють безпосередньою антиоксидантною функцією: супероксиддисмутази (СОД), каталази (КАТ), пероксидази (ПОКС).

Супероксиддисмутаза представлена низкою металлоферментів, що каталізують реакцію дисмутації супероксидних радикалів. Ферменти розрізняють за первинною структурою і за природою металів, іони яких входять в її активний центр – Cu, Zn і Fe. СОД характеризується надзвичайною структурною стабільністю і є одним з найбільш термостабільних глобулярних білків.

Відмінною рисою рослинної СОД є множинність ізозимів різних форм СОД. Фізіологічна функція СОД полягає в захисті клітин від вільного радикального пошкодження. СОД є первинною лінією захисту від окиснювального пошкодження, обриваючи окислення клітинних макромолекул ще на стадії ініціювання.

Фермент присутній в клітинах рослин там, де відбуваються окиснювально-відновні процеси: в цитозолі, хлоропластах, мітохондріях, пероксиосомах і апопласті.

У звичайних умовах існування підтримується баланс між утворенням радикалів  $O_2$  і їх своєчасним видаленням. Під дією несприятливих факторів збільшується утворення активних форм кисню, в тому числі і радикалів супероксидази. Збільшення активності ферменту відзначено в умовах водного дефіциту, надлишку вологи ґрунту, при тепловому шоці і переохолодженні, при сольовому стресі, при УФ- випромінюванні, інтенсивному освітленні, обробки рослин озоном, важкими металами, абсцизовою кислотою, при інокуляції патогенами.

Збільшення активності ферменту при різних стресових впливах може бути обумовлено активацією його латентних форм і (або) синтезом нових молекул фермента. На активність фермента впливають  $Ca^{2+}$ , глутатіон, фітогормони, кінази і фосфатази.

Ефективне функціонування СОД значною мірою визначається функціонуванням інших компонентів системи захисту, зокрема тих, які

видаляють пероксид водню (каталаз, пероксидаз) і ферментів аскорбат-глутатінового циклу.

**Пероксидази.** Важливим ферментом рослинної клітини є пероксидази. Їх отримують із різних джерел: хрону, грибів соєвих бобів, батата. Найбільш перспективним ферментом для практичного використання є рекомбінований варіант грибної пероксидази, яка відрізняється високою стабільністю в екстремальних умовах.

Під впливом пероксидази відбувається розщеплення перекису водню, який утворюється у ході окиснювально-відновних процесів на цитохромах.

Пероксидази відносяться до класу редуктаз. Вони каталізують окиснення широкого спектру субстратів під дією перексиду водня. В молекулі перексиду міститься простетична група – гем. Суперродина рослинних пероксидаз включає в себе 3 класи.

Перший клас рослинних пероксидаз включає внутрішньоклітинні ферменти: аскорбатпероксидазу, дріжджову цитохром С пероксидазу і бактеріальну каталазапероксидазу.

До другого класу відносять грибні пероксидази. Третій клас – пероксидази рослин. Пероксидази, особливо широко поширені в організмах висших рослин, було встановлено їх участь в багатьох процесах, включаючи регуляцію росту рослин.

Кожній із клітинних структур властиві свої специфічні дихальні ланцюги, що мають подібності та відмінності. Відомо, що в випадку зниження аерації органів рослин, активність пероксидази зростає, що вказує на її визначену роль у використанні кисневих ресурсів клітин.

Пероксидази також беруть участь в регуляції метаболізму. Цей фермент можна визначити як антитілоподібний білок, який реагує на будь яку зміну оточуючого середовища і на будь які стресові ситуації.

Безумовним лідером серед рослинних пероксидаз є пероксидаза із коріння хрону. Вона найбільш широко використовується на практиці при створенні імунологічних тестів, різних біосенсерів, маркерів для гістологічних досліджень, генної терапії і органічному синтезі.

**Трансферази.** Ферменти цього класу здійснюють внутрішньо- і міжмолекулярний перенос окремих функціональних груп. У залежності від характеру угруповань, що переносяться, розрізняють *метилтрансферази* – переносять метильні групи –  $\text{CH}_3$ , *амінотрансферази* – здійснюють перенос амінних груп –  $\text{NH}_2$ , *фосфотрансферази* – транспортують залишок фосфорної кислоти.

Загальну схему реакцій, які каталізуються ферментами перенесення можна зобразити таким чином:



Ця реакція проходить в дві стадії:

На *першій* – фермент відщеплює атомну групування і утворює з нею комплексну сполуку, а речовина А вивільняється:  $\text{AX} + \text{E} \longrightarrow \text{A} + \text{EX}$

На *другій* стадії фермент каталізує приєднання групування X до речовини B, а сам фермент вивільняється в незмінному стані:  $\text{EX} + \text{B} \longrightarrow \text{E} + \text{BX}$

**Гідролази.** Ферменти цього класу забезпечують розщеплення внутрімолекулярних зв'язків органічних сполук при участі води. Вони беруть участь в обміні білків, жирів, вуглеводів та при синтезі інших сполук.

До цього класу відноситься велика група ферментів, які поділяються на декілька підкласів:

- 1) естерази – гідролітичні ферменти цього підкласу каталізують реакції розщеплення складних ефірів;
- 2) гідролази – каналізують розщеплення глікозильних сполук;
- 3) протеази – каналізують гідролітичне розщеплення пептидних зв'язків в білках або пептидах;
- 4) дезамідази – каналізують гідролітичне дезамінування амідів;
- 5) дезамінази – каналізують гідролітичне дезамінування азотистих основ і нуклеотидів.

**Ліази.** До цього класу відносяться ферменти, які каталізують зворотні реакції відщиплення різних груп від субстратів негідролітичним шляхом. Розщеплення йде за зв'язком C-C, C-N, C-O і т.д. До таких ферментів відносяться, наприклад, декарбоксилази, які відщеплюють CO<sub>2</sub> від карбонових кислот.

**Ізомерази.** Ці ферменти каталізують різні типи реакцій ізомеризації. Вони також каталізують процеси внутрімолекулярних перетворень: перенос водню, фосфатних і ацильних груп, зміну просторового розташування атомних угруповань, переміщенні подвійних зв'язків і т.д. Наприклад, L-ізомери перетворюються в D-ізомери, глюкоза – у фруктозу і т.д. Ізомерази поділяються на декілька підкласів. Найважливіші з них – рацемази і епіремази, внутрішньо-молекулярні оксидоредуктази, внутрішньомолекулярні трансферази.

**Лігази або синтетази.** Ферменти цього класу беруть участь у всіх реакціях синтезу різних сполук. Вони прискорюють реакції утворення органічних сполук. Одним з таких природних донаторів енергії є аденозинтрифосфат (АТФ). Енергія, що виділяється при відщипленні залишків фосфорної кислоти, використовується для процесів біосинтезу. Всі лігази поділяються на підкласи в залежності від того, які зв'язки утворюються за їх участю, тому розрізняють - C - O - лігази; C - S - лігази, C - N - лігази, C - C - лігази.

## 12.6 Використання ферментів у харчовій промисловості

У харчовій промисловості ферменти використовуються для одержання продуктів із заданими властивостями. При цьому можуть використовуватися мікробні та інші ферменти. Більш зручним і ефективним є використання іммобілізованих ферментів.

**Іммобілізовані ферменти.** Іммобілізація ферментів – це включення об'єкта (ферменту) в ізольовану фазу, що відділена від фази вільного розчину, але здатна обмінюватися з нею молекулами.



Імобілізовані ферменти одержують шляхом зв'язування з носіями розчинних ферментів або кліток, що володіють ферментативною активністю, тобто роблять сорбцію ферменту на носії і включення в структуру носіїв-гелів.

Імобілізація наближає умови їхнього функціонування до природнього. Перевага їхнього використання полягає в тому, що їх можна видаляти з реакційного середовища, тобто контролювати хід реакції і багаторазово його використовувати. Використання іммобілізованих ферментів дозволяє проводити кожен процес безупинно, пропускаючи розчини субстратів через реактори з іммобілізованими ферментами.

Імобілізовані ферменти мають високу каталітичну активність, її можна змінювати, змінюючи спосіб зв'язування і вид носія. Продукти реакції не забруднюються кристалічними ферментами.

За допомогою іммобілізованих ферментів одержують амінокислоти, ароматичні кислоти, цукри, органічні розчинники, антибіотики, їх використовують для очищення стічних вод і водоймів.

У промисловості застосовують ферменти мікробного походження: протеолітичні, ліполітичні, амілолітичні, гідролази, що розщеплюють целюлозу і геміцелюлозу.

**Оксидоредуктази.** *Глюкозооксидаза* є аеробною дегідрогеназою. Молекула ферменту у якості коферменту містить дві молекули ФАД (флавінаденіндинуклеотид). Вона каталізує відщиплення  $H_2$  від субстрату і перенос його на  $O_2$  повітря з утворенням перекису водню. Субстратом є глюкоза, що перетворюється в глюконову кислоту, а перекис водню, що утворився, розщеплюється каталазою на воду і атомарний кисень. Глюкозооксидаза синтезується цвілевими грибами.

Цей фермент широко використовується в харчовій промисловості, а також у клінічній хімії для аналізів. Глюкозооксидаза дозволяє видаляти кисень і глюкозу з субстратів. Вона використовується для видалення кисню з тих харчових продуктів, зміна кольору і аромат яких погіршуються в результаті окисних процесів (пиво, фруктові соки тощо).

У харчовій промисловості глюкозооксидаза як ендogenous фермент цвілевих грибів знаходить застосування при ферментації глюконової кислоти для одержання D-глюконата кальцію.

*Ксантиоксидаза* каталізує окиснювання різних за хімічною природою субстратів, наприклад, ксантину і формальдегідів. Ця реакція має низьку специфічність. Як акцептор електронів виступає кисень повітря. Донором електронів є формальдегід. У результаті достатньої пастеризації відбувається денатурація ксантиоксидази і знебарвлення метиленового синього не відбувається.

*Дифенолоксидаза* бере участь в окиснюванні тирозину, фенолу, крезолу. Кінцевими продуктами є темнобарвлені сполуки - меланіни. Фермент виявлений у грибах, картоплі, фруктах. Функціональною групою фенолоксидази є  $Cu$ . Важливе значення мають інгібітори цього ферменту, тому що ферментативне побуріння фруктів, соків і інших рослинних матеріалів при їхній переробці є великою проблемою.

Процес потемніння фруктів, соків, продуктів їхньої переробки під впливом дифенолоксидази може бути уповільнений вітаміном С, двоокисом сірки, сульфідом натрію, додаванням повареної солі. Зменшують активність цього ферменту попередня теплова обробка овочів і фруктів, зокрема , бланшування. У ряді випадків дія дифенолоксидази призводить до появи бажаного фарбування, аромату харчових продуктів, наприклад, при ферментації чаю.

*Аскорбатоксидаза* діє на аскорбінову кислоту, тобто окисляє її в дегідроаскорбінову кислоту. Цей фермент виявлений у багатьох вищих рослинах. Він містить мідь як функціональну групу, що змінює свою валентність у ході каталізу.

Через її дію відбувається руйнування вітаміну С при технологічній обробці. Інгібіторами цього ферменту є деякі амінокислоти (гліцин, цистеїн, аспарагінова і глутамінова кислоти), карбонові й оксикарбонові кислоти (щавлева, лимонна, винна), пектини, флавоноїди і дубильні речовини, кверцитин, антоціани, катехіни. Аскорбатоксидаза при технологічній обробці продуктів не тільки зменшує вміст аскорбінової кислоти, а і впливає на фарбування й аромат соків.

*Каталаза – оксидоредуктаза* – дегідрує молекулу перекису водню з утворенням води й атомарного кисню. Як функціональну групу містить ферринпротопорферин ІХ. Молекула ферменту містить чотири гемінові групи, кожна з яких зв'язана з білком. Каталаза інгібується речовинами, що утворюють комплекси з центральним атомом заліза, наприклад, ціанідом, сульфідом, фторидом, СО, NO, ціанамідом і ін. Виявлена у всіх клітинах з аеробним типом обміну речовин. У харчовій промисловості використовують її препарати з цвілевих грибів у тих випадках, коли спочатку проводиться обробка перекисом водню, а потім він повинен бути вилучений.

*Пероксидаза* сприяє розщепленню перекисів. У її складі, у залежності від джерела, міститься або червоний, або зелений гемін. Прогрівання ферменту при 85<sup>0</sup> С на протязі 30 хвилин приводить до втрати лише половини активності. Її активність гальмують солі важких металів. Використовується для оцінки якості процесу пастеризації. Її достатність визначається за активністю цього ферменту. При ферментації чаю і тютюну цей фермент сприяє утворенню забарвлених і ароматичних компонентів.

*Ліпоксигеназа* каталізує реакцію: ненасичена жирна кислота + O<sub>2</sub> → перекис ненасиченої жирної кислоти. Характеризується високою специфічністю і діє лише на ненасичені жирні кислоти, що знаходяться в цис - формі. Лінолева, ліноленова і арахідонова кислоти окиснюється з однаковою швидкістю. Міститься в пшениці, насінні олійних культур, бобових, люцерні, соєвому борошні. При переробці харчових продуктів використовують інгібітори ліпоксигенази, що взаємодіють з вільними радикалами, що утворюються як проміжні продукти при дії цього ферменту на ненасичені жирні кислоти. Цей фермент руйнує каротин, ароматичні сполуки продуктів. Він сприяє прогірканню жирів. При використанні ліпоксигенази в хлібопечінні поліпшується колір м'якушки і збільшується обсяг хліба.

*Ліпаза* відноситься до гідролаз. Вона каталізує розщеплення ефірів гліцеролу і вищих жирних кислот. Причому швидкість розщеплення залежить від довжини ланцюга жирних кислот. Джерелом для одержання промислових препаратів ліпази є цвілеві гриби. Активаторами ліпази є солі жовчних кислот, особливо таурохолат. Ліпаза пшениці і інших злаків сприяє псуванню борошна. Мікробні препарати ліпази використовуються для гідролізу жирів у тих випадках, коли необхідне омилення при збереженні біологічно активних жиророзчинних речовин (наприклад, токоферолу).

*Пектинестераза* каталізує розщеплення пектину з утворенням метанолу і пектата. Фермент активується іонами  $\text{Na}^+$  і  $\text{Ca}_2^+$ . Пектинестераза володіє високою субстратною специфічністю, гідролізуючи майже винятково метильні групи пектинових сполук. Вона є важливим компонентом ферментних препаратів, що використовуються для освітлення фруктових і виноградних соків, а також для одержання низькомолекулярних пектинів, які використовують при виготовленні желе. Цей фермент разом з іншими ферментами відіграє важливу роль при дозріванні фруктів і ягід, сушінню льна, коноплі, ферментації чаю і тютюну.

*Глікозидази* каталізують розщеплення олігосахаридів і глікозидів. Вони каталізують гідроліз і трансглікозидування, що відіграє важливу роль при синтезі полісахаридів у рослинах. Їх одержують у промислових умовах із пророслого ячменя. Глікозидази поділяють на кілька типів. Специфічність цих типів визначається розміром кільця гелікона, конфігурацією ОН- груп у кільці і конфігурацією глікозидного гідроксилу. До них відносяться:  $\alpha$ -Д-глікозидаза,  $\beta$ -Д-глікозидаза,  $\alpha$ -Д-галактозидаза та ін.  $\alpha$ -Д-глікозидаза не має промислового значення.  $\beta$ -Д-глікозидаза сприяє видаленню гіркоти із соків цитрусових, а також сприяє звільненню з  $\beta$ -глікозидів ароматичних компонентів.

*Гліканази* відрізняються від глікозидаз більшою довжиною ланцюга субстратів, на які вони діють. На основі субстратної специфічності розрізняють наступні важливі гліканази:  $\alpha$ -амілаза (субстрат – крохмаль, декстрини);  $\beta$ -амілаза (субстрат – крохмаль, декстрини); глюкоамілаза (субстрат – крохмаль, декстрини, мальтоза); інулаза (субстрат – інулін); полігалактураназа (субстрат – пектин, полігалактуранова кислота).

*$\alpha$ -амілаза* розщеплює зв'язок – 1,4 в полісахаридах, що містять три і більш залишків глюкози. Міститься в пророслих зернах, у цвілевих грибах і бактеріях. Для прояву максимальної активності ферменту необхідна присутність кофактора  $\text{Ca}_2^+$ . Цей фермент сприяє швидкому зменшенню в'язкості крохмального клейстеру, тому його називають *декстриногенною амілазою*. Використовується при виготовленні крохмальної патоки, сусла і затору.

*$\beta$ -амілаза* каталізує розщеплення крохмалю з утворенням мальтози і декстринів. Оскільки під дією  $\beta$ -амілази відбувається звільнення мальтози з амілази й амілопектину, її називають *цукровою амілазою*. Міститься у вищих рослинах. Джерелами ферменту є ячмінь, жито, пшениця, соєві боби. Використовується у виробництві сусла і затору, крохмальної патоки і як

хлібопекарський поліпшувач. Крім того, із крохмалю за допомогою амілаз готують сиропи, що використовують при виготовленні кондитерських виробів і лікерів.

*Глюкоамілаза* єдина з всіх амілаз швидко гідролізує крохмаль до глюкози, причому вона гідролізує і  $\alpha$ -1,4 і  $\alpha$ -1,6 зв'язки. Джерелами цього ферменту є цвілеві гриби. Використовується в спиртовому виробництві.

Застосовуються амілази у пивоварній промисловості. Під дією амілаз крохмаль перетворюється головним чином у мальтозу, якщо в якості джерела амілази використовується ячмінний солод. При використанні для оцукрювання крохмалю ферментів цвілевих грибів крохмаль розщеплюється до глюкози. Характерне розходження між пивовареним і спиртовим виробництвом полягає в тому, що в пивоварінні солод служить одночасно субстратом і джерелом ферменту, оскільки містить як крохмаль, так і амілази.

Повне розщеплення крохмалю в пивоварінні небажано, оскільки пиво повинне містити ще багато низькомолекулярних продуктів розщеплення крохмалю (декстрини), що сприяють одержанню тонкого смаку і піноутворенню.

У харчовій промисловості амілази із солоду або цвілевих грибів часто додають у борошно, оскільки власна амілазна активність борошна не завжди достатня для утворення необхідної для готування тіста кількості цукру, ступінь бродіння тіста виявляється незначним і не досягається потрібний ступінь пористості хліба. Із крохмалю за допомогою препаратів амілаз готують солодкі сиропи (патоки), що знаходять застосування у виробництві кондитерських виробів і лікерів. Амілази застосовують і при виробництві солодового оцту.

Широке застосування знаходять амілази у виробництві миючих засобів, паперовій і особливо в текстильній промисловості для шліхтування з метою зміцнення і розгладження ниток.

При одержанні біологічно активних миючих засобів у них додають суміш ферментів, що розщеплюють крохмаль, білки і жири.

*Інулаза* гідролізує  $\beta$ -1,2 зв'язки фруктану в інуліні з утворенням фруктози. Вона має значення при виготовленні горілки з бульб топінамбура (земляної груші).

*Полігалактуроназа* гідролізує  $\alpha$ -1,4 D галактуронідні зв'язки в пектатах і інших полігалактуронідах.

Як джерела полігалактуроназ використовують вищі рослини (помідори, редьку, гарбуз, авокадо, боби, моркву), цвілеві гриби, дріжджі і бактерії. Мікроорганізми синтезують також ферменти, що розщеплюють пектин, діючі одночасно або послідовно на відповідні субстрати (пектолітичні ферменти).

Температурний оптимум дії пектолітичних ферментів дуже важливий для технології, оскільки освітлення фруктових соків здійснюється найчастіше при підвищених температурах. Активаторами пектолітичних ферментів є хлориди лужних металів.

## Використання ферментів в технологіях харчових речовин

Субстрат, його перетворення	Фермент	Результат використання ферменту
1	2	3
Глюкоза → лактон глюконової кислоти + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Глюкозооксидаза	Попереджає реакцію Майяра (побуріння).
Глюкоза → фруктоза	Глюкозоизомераза	Більш високий ступінь сахаристості крохмальної патоки и напоїв
Крохмаль → декстрин + мальтоза	α-амілаза	Готування сусла, затору, крохмальної патоки, допоміжний засіб при випічці.
Крохмаль → мальтоза + декстрин	β-Амілаза	Виробництво сусла і затору, крохмальної патоки, хлібопекарський покращувач
Крохмаль → глюкоза	Глюкоамілаза	Виробництво глюкози і затору
Целюлоза → глюкоза	Целюлаза	Поліпшення смакових якостей харчових продуктів, поліпшення екстракції, переробка відходів
Метилловий ефір пектину → пектин –COOH + CH <sub>3</sub> OH Метилловий ефір пектину	Пектинестераза	Розчинення пектинових оболонок рослинних волокон, усунення помутніння фруктових соків, виготовлення плодкових і овочевих пюре (в останньому випадку при суміс використанні з целюлозою), виготовлення мармеладів і желе, розрідження мезги на плодово-ягідних спиртових заводах
Пектин –COOH → залишки галактуранової кислоти Метилловий ефір пектину	Полігалактураназа	
Пектин –COOH → Δ -4,5-ненасиченого залишка галактуранової кислоти		
Гідроліз геміцелюлоз	Геміцелюлаза	Розчинення геміцелюлозних оболонок рослинних волокон.
Ненасичені жирні кислоти → перекиси ненасичених жирних кислот	Ліпооксигеназа	Одержання скоринки при випіканні білого хліба

Ферменти відіграють важливу роль у збереженні харчової сировини і готової продукції. В одних випадках ферменти мікроорганізмів мають позитивний, в інші – негативний вплив. Так, дріжджі використовують при випічці хліба, виготовленні вин. Псування продуктів також викликають ферменти мікроорганізмів. З метою їх інактивування застосовують нагрівання (стерилізацію, пастеризацію, варіння, смаження), або створюють середовище, у

якому ферменти неактивні. Застосування пестицидів засноване на припиненні дії ферментів шкідників сільськогосподарських культур.

За допомогою ферментів видаляють неприємний запах, властивий сої через альдегіди, що містяться в ній. Він перетворює їх у кислоту.

В хлібопекарській і кондитерській промисловості при виробництві хлібобулочних виробів використовуються очищені ферментні препарати, які включені в стандарти на хлібобулочні вироби. Практично всюди закордоном і на Україні близько 75 % всього білого хліба випікається з додаванням амілази пліснявих грибів.

В Японії в хлібопекарській промисловості використовується більше 50 різних ферментних препаратів.

У крохмало-патоковій промисловості застосування ферментів – один зі шляхів підвищення виробництва пшеничного, картопляного і кукурудзяного крохмалів. При виробництві пива і хлібного квасу використання ферментних препаратів дозволяє значно зменшити витрати солоду.

В консервній промисловості застосування пектолітичних ферментних препаратів підвищує вихід готової продукції на 15-20 % і сприяє освітленню фруктових соків. Використання при замочуванні бобових і круп амілолітичних ферментів дозволяє скоротити час їх варіння і доведення до готовності на 30 %.

Окрім позитивної ролі ферменти можуть виконувати і негативну роль в ході зберігання і переробки харчової продукції, тобто:

- знижують харчову цінність продуктів в процесі тривалого зберігання;
- дія амілази в крохмальовмісних продуктах викликає деградацію крохмалю, знижує хлібопекарські властивості борошна і таким чином якість хліба;
- тривала дія протеолітичних ферментів зменшує вміст в пшениці, житі лізину, що знижує їх біологічну цінність;
- під дією о-дифенолоксидази відбувається потемніння на повітрі очищеної картоплі;
- під дією оксидаз відбувається потемніння нарізаних яблук і груш.

#### *Контрольні запитання:*

1. Яка роль ферментів в організмі?
2. Охарактеризуйте будову ферментів й їхніх активних центрів.
3. Якими властивостями володіють ферменти?
4. Як впливають на активність ферментів фізичні й хімічні фактори?
5. Чим обумовлена специфічність дії ферментів? Види специфічності.
6. Які номенклатура й класифікація ферментів?
7. Охарактеризуйте різні класи ферментів.
8. Які процеси харчових виробництв засновані на дії ферментів?
9. Які ферменти застосовуються в консервній промисловості?
10. Які ферменти застосовуються в крохмало-патоковій промисловості?

## РОЗДІЛ 13. МІНЕРАЛЬНІ РЕЧОВИНИ

### 13.1 Роль мінеральних речовин

*Мінеральні речовини* є незамінними нутрієнтами, які містяться в протоплазмі та біологічних рідинах, відіграють основну роль у забезпеченні постійності осмотичного тиску, що є необхідною умовою для нормальної життєдіяльності клітин та тканин.

Вони входять до складу складних органічних сполук (гормонів, ферментів), клітин, тканин, міжтканинної рідини, кислотно-лужну рівновагу, розчинність білкових речовин та інші біохімічні і фізіологічні процеси.

Мінеральні речовини входять до складу овочів, плодів і інших рослин. Кількість та склад їх коливається залежно від ґрунту, сорту та інших факторів.

Мінеральні речовини присутні в рослинному організмі в різних формах:

– у міцних сполуках з органічними речовинами (сірка – у складі білків, фосфор – у нуклеїнових кислотах, магній – у хлорофілі, мідь і цинк – у складі деяких ферментів);

– у розчинному стані в тканинних рідинах (катіони калію, натрію, магнію, кальцію, аніони хлору).

Рослини багаті на солі кальцію, фосфору, магнію, заліза, є основним джерелом солей калію, містять марганець, мідь, цинк, кобальт та інші мікроелементи, бідні солями натрію.

Залежно від вмісту в харчових продуктах, мінеральні речовини підрозділяють на *макро-*, *мікроелементи* та *ультрамикроелементи*. До макроелементів відносяться: кальцій, калій, магній, натрій, фосфор, хлор, сірка. Вони необхідні у найбільшій кількості і містяться в кількостях, які вимірюються десятками та сотнями міліграмів (>0,001 %) на 100 г тканин або харчового продукту.

У живому рослинному організмі вони виконують різні функції. Наприклад, магній є необхідним структурним компонентом молекули хлорофілу та кофактором багатьох ферментів, він істотно впливає на функціонування клітинних органелів – хромосом.

Елементи, які містяться в рослинах у значно меншій кількості складають групу *мікроелементів*. Добова потреба в мікроелементах вираховується в міліграмах. Серед них – залізо, кобальт, цинк, фтор, йод, мідь, бор, марганець, молібден, кобальт та ін. Вони входять до складу тканин в концентраціях, що виражаються десятими, сотими та тисячними частинами міліграма (<0,001 %) на 100 г тканин. Мікроелементи поділяють умовно на дві групи: *абсолютно* або *життєво необхідні* (кобальт, залізо, мідь, цинк, марганець, йод, бром, фтор) та *імовірно необхідні* (алюміній, стронцій, молібден, селен, нікель, ванадій та ін.). Мікроелементи відносять до життєво необхідних, якщо при їх відсутності або нестачі порушується нормальна життєдіяльність організму.

Третю групу мінеральних речовин складають *ультрамикроелементи* – свинець, срібло, літій, ртуть, миш'як та інші.

До найбільш дефіцитних мінеральних речовин у харчуванні сучасної людини відносяться кальцій та залізо, до надлишкових – натрій та фосфор.

Залежно від переважання катіонів або аніонів у харчових продуктах проявляються їх *лужні* або *кислотні властивості*. Овочі, плоди, ягоди надають раціонам лужну спрямованість, а крупи – кислотну. Наприклад, незважаючи на кислий смак багатьох плодів, під час їх вживання збільшуються лужні резерви організму, тому що органічні кислоти (лимонна, яблучна та ін.), які входять до складу цих продуктів, швидко окиснюються до оксиду вуглецю та води, а  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  та інші катіони залишаються в тканинах. Під час окиснення протеїнів, які містять метіонін, цистин, цистеїн, тобто є джерелами сірки, утворюються іони сірчаної кислоти, на нейтралізацію якої витрачаються лужні резерви тканин.

Більшість мінеральних елементів локалізуються і концентруються в клітинах рослин взаємодіючи між собою в біохімічних процесах, забезпечуючи нормальне функціонування рослинного організму.

Мінеральні речовини в плодах і овочах знаходяться найчастіше в легкодоступній для організму людини формі, а також вони містять такі мікроелементи, які рідко зустрічаються в інших продуктах харчування.

Надходження у рослини мінеральних речовин – неметалів (фосфор, сірка, хлор, кремній, бор) здійснюється у вигляді аніонів, а металів – у вигляді катіонів (калій, натрій, кальцій, магній) або металохелатів (залізо, мідь та ін), винятком є молібден. Азот поглинається рослинами як у вигляді катіонів, так і у вигляді аніонів.

У рослинах найбільша кількість мінеральних речовин знаходиться в тканинах і органах, побудованих переважно із живих клітин: у листі – 10-15 %, в коренях та стеблах – 4-5 %, у насінні – 3 % із розрахунку на суху масу, вони розподілені нерівномірно. У загальній масі золи рослинних тканин має місце високий вміст калію (25-35 %), багато фосфору (7-10 %) та кальцію (3-30 %).

Велике значення мають мінеральні речовини у житті рослин, виконуючи різні функції: структурну, каталітичну і електрохімічну.

*Структурну функцію* виконують ті елементи, які вбудовуються в хімічні структури біологічних молекул або використовуються для побудови полімерів, взаємодіючи з молекулами білків та нуклеїнових кислот. Таким чином мінеральні речовини впливають на формування їхньої просторової будови. До структурних елементів відносяться вуглець, кисень, фосфор, кальцій та деякі мікроелементи. Так, фосфор є компонентом ДНК, РНК, фосфоліпідів мембран, кальцій, з'єднуючись із пектиновою кислотою, укріплює стінки клітин. Неорганічні іони, включені в активні центри ферментів відіграють *каталітичну роль*, активують або регулюють роботу ферментів. Наприклад, залізо є частиною активних центрів ферментів, які беруть безпосередню участь в окиснювально-відновних реакціях фотосинтезу і дихання. Калій регулює просторову будову деяких ферментів, впливаючи на їх активність.

Багато ферментативних реакцій активізується такими мінеральними речовинами, як Fe, Si, Mo, Mn, Ca, K та інші.



В електрохімічних процесах беруть участь калій, натрій, кальцій, магній, іони  $H^+$ ,  $OH^+$ ,  $Cl^-$  та інші. Роль цих елементів в електрохімічних процесах полягає:

- в стабілізації макромолекул і колоїдів;
- нейтралізації зарядів та вирівнюванні концентрацій іонів;
- участь у регуляції проникності мембран;
- створенні осмотичного потенціалу клітин.

## 13.2 Макроелементи

**Кальцій.** Основна функція кальцію пластична. Він є основним структурним компонентом ядер клітин, клітинних та тканинних рідин. Кальцій утворює сполуки з білками, фосфоліпідами, органічними кислотами. Він бере участь в регуляції проникності клітинних мембран, контролює активність низки ферментів. Він входить до складу хітину і пектинів.

Кальцій відноситься до елементів, що важко засвоюються, але він активує діяльність окремих ферментів, наприклад, ферментів переносників електронів в електронно транспортному ланцюгу при фотосинтезі.

Роль кальцію важлива для регуляції дозрівання плодів, від нього залежить активність ферментів, які беруть участь у цьому процесі:  $\alpha$ -амілази, дегідрогенази, втручається в дію гормонів, підвищує стійкість рослин до різних стресів: високої і низької температури, низького рН.

При нестачі кальцію у плодів і овочів з'являються невеличкі некротичні плями, симптоми його дефіциту першими з'являються на молодих ростучих органах і тканинах. У водних культурах пошкоджуються меристеми: кінчики коренів і молодого листя, корені погано ростуть, ослизнюються і стають коричневими. Абсолютний дефіцит кальцію в рослинах зустрічається рідко.

У низці рослинних продуктів: шавлі, шпинаті, ревені та деяких інших овочах міститься фітин та шавлева кислота, які зв'язують кальцій, що ускладнює його засвоєння. Фітином багаті висівки та зернові.

Основним джерелом кальцію серед рослинних продуктів є петрушка (особливо зелень), урюк, курага, хрін, родзинки, чорнослив, зелена цибуля, салат, капуста, фініки, кизил, горох, пастернак.

**Магній.** В плодах і овочах магній входить до складу молекули хлорофілу, без його участі не відбувається процес фотосинтезу. Разом з фосфором він бере участь у енергетичному обміні клітин, входить також до складу пектинових речовин. Роль магнію дуже важлива у вуглеводневому обміні, активуючи ферменти фосфатази, які беруть участь в синтезі і гідролізі сполук глюкози з фосфорною кислотою, є кофактором багатьох ферментів, пов'язує велику і малу субодиниці рибосоми і підтримує її функціональну групу.

Дефіцит магнію в рослинному організмі пригнічує утворення пластид, їх фотохімічну активність, різко зменшує вміст хлорофілу, білка і нуклеїнових кислот, блокує перетворення вуглеводів, уповільнює утворення клітковини. При дефіциті магнію рослини виглядають зів'ялими, листя передчасно опадає.

На магній багаті, в основному, *рослинні продукти*: висівки, гречана і вівсяна крупи, бобові, волоські горіхи, мигдаль, і навіть урюк, курага, фініки, зелень петрушки, щавель, шпинат, родзинки, банани. Велику кількість його містять пшеничні висівки, крупи (вівсяна та ін.), бобові, урюк, курага, чорнослив.

**Калій.** Близько 90 % калію знаходиться в середині клітин. Калій регулює водопоглинаючу здатність рослинної клітини, підвищує гідrataцію колоїдів цитоплазми, її водозатримуючу здатність і сприяє стабілізації структури органоїдів і протопласта в цілому, є кофактором більше ніж 60 ферментів із різних груп, що істотно впливає на процеси метаболізму. Калій тісно пов'язаний з амінокислотним і білковим обміном, тому його нестача уповільнює синтез білка, що може бути причиною амонійного отруєння рослин та утворення токсичних амінів.

Калій є синергістам фітогормонів (індолілоцтової (ауксини) та гіберелової кислот, (цитокініну), які впливають на ріст меристематичних тканин, найбільша потреба рослин у калію припадає на період інтенсивного росту для побудови нових клітин, фотосинтезу і транспорту органічних сполук. Потреба рослини у калію тим вища, чим краще вона забезпечена водою і азотом.

Наявність достатньої кількості калію є необхідною умовою підвищення стійкості рослин до різних несприятливих факторів – низької температури, посухи, різних грибкових захворювань і пошкодження комахами.

Дефіцит калію порушує водний режим і ріст рослин, з'являються хлороз та некроз, починаючи з верхівки і країв листя, які мають вигляд обпалених. Рослини при цьому втрачають тургор і в'януть.

Багатими *джерелами* калію є урюк, чорнослив, ізюм, морська капуста, квасоля, горох, картопля, зелень петрушки, шпинат, капуста, чорна смородина, коріння селери, редис, ріпа, кизил, персики, інжир, абрикоси, банани й інші овочі та плоди. Мало калію міститься в рисі, хлібі з борошна вищого гатунку.

**Фосфор.** Для рослинного організму роль фосфору, як і азоту, надзвичайно важлива. Він належить до органогенів. Фосфор у вигляді залишку фосфорної кислоти входить до складу таких речовин, як нуклеїнові кислоти, нуклеопротейди, фосфатиди, до складу проміжних продуктів обміну, високо енергетичних сполук рибулозодифосфату, фосфогліцеринової кислоти, фосфогліцеринового альдегіду, аденозинфосфатів. Фосфор є складовою частиною коферментів, які беруть участь в процесах фотосинтезу і дихання. Конституційні сполуки фосфору входять до складу ДНК та біологічних мембран.

У фізіологічних процесах рослин – енергообміну, перетворення і переміщення запасних органічних речовин, сполуки фосфору беруть безпосередню участь. Фосфорному підживленню рослин в початковий період росту і розвитку належить велике значення. Фосфор бере участь в утворенні буферних розчинів, які регулюють величину рН клітини, здатен прискорювати репродуктивний розвиток рослин, скорочувати вегетаційний період. Нестача фосфору викликає порушення репродуктивних процесів та метаболізму рослин.

Листя стають темнозеленими з фіолетово-пурпуровим або бронзовим відтінком, пізніше такого кольору набувають стебла.

Багатими *джерелами* фосфору є крупи (вівсяна, перлова). Однак з рослинних продуктів його сполуки засвоюються гірше (55 %), ніж під час вживання тваринних (95 %). Замочування круп та бобових перед кулінарною обробкою поліпшує засвоєння цього мікроелементу. Найбільш багаті на фосфор морква, буряк, салат, кольорова капуста, абрикоси, персики.

**Хлор.** Хлор у природі дуже поширений і легко доступний рослинам елемент. Хлорид дуже рухливий іон, він є одним із головних чинників осмотичних процесів у вакуолях бере участь в реакції виділення кисню при фотосинтезі, а також у нейтралізації зарядів на мембранах. У цибулі хлорид-іон бере участь у регуляції відкриття і закриття продигових щілин листя, необхідний при поділі клітин листя і стебел.

Надлишок хлоридів в рослині уповільнює ріст і пригнічує розвиток картоплі, томатів, огірків, квасолі, винограду, деяких бобових, тютюну, плодівих дерев, спостерігається загальний хлороз, верхівки листя бронзовіють і швидко скручуються. Надходження хлоридів в рослинний організм пригнічують нітрати і навпаки.

**Сірка** є необхідним структурним компонентом деяких амінокислот (метіоніну, цистеїну, цистину), білків, вітамінів (тіаміну та ін.), а також входить до складу інсуліну.

Фізіологічна роль сірки в рослинах зумовлена тим, що у формі сульфгідрильної і дисульфідної груп вона входить до складу важливих сполук окремих білків, ферментів, вітамінів і деяких фізіологічно-активних речовин. В основному сірка надходить до рослин в мінеральній формі - у вигляді сульфатних іонів, але може надходити і у складі окремих амінокислот. Входячи до складу коензиму А, зумовлює його різнобічну високу активність завдяки тіоефірному зв'язку. Сірка входить до складу незамінної амінокислоти метіоніну, яка є складовою частиною активного центру багатьох ферментів. Наявність у складі молекули білка метіонінових залишків зумовлює його гідрофобні властивості.

Нестача сірки в забезпеченні рослин пригнічує процеси синтезу сірковмісних амінокислот (цистеїну, метіоніну) та білків, порушує формування хлоропластів. Ріст стебла пригнічується, листя набуває червонуватого кольору, потім відмирає.

Джерела: горох, квасоля, вівсяна та інші крупи, сир, яйця, м'ясо, риба тощо.

**Азот** є складовою частиною амінокислот, білків, нуклеїнових кислот і багатьох життєво важливих органічних сполук, які становлять основу протоплазми, входить до складу хлорофілу, без якого неможливий фотосинтез.

Основним фактором рухомості й еластичності структур протоплазми є висока реакційна здатність білків, відповідно до змін умов існування. Він є складовою частиною вітамінів групи В і ферментів. Якщо у рослині є нестача азоту, то відбувається уповільнення росту, змінюється забарвлення листків, послаблюється цвітіння і плодоношення.

### 13.3 Мікроелементи

Мікроелементи спричиняють значний вплив на хід та спрямованість процесів обміну, вступають у взаємодію з білками і утворюють металоорганічні комплекси. Оскільки усі процеси обміну речовин, за своєю суттю є ферментними реакціями, то зв'язок мікроелементів з такими реакціями є найважливішою їх функцією. Отже, властивістю мікроелементів є їх *специфічність і незамінність*.

Багато мікроелементів забезпечують біохімічні функції вітамінів (кобальт, селен), металоферментів (цинк, мідь, марганець, молібден, хром, селен), активаторів ферментів (цинк, марганець, молібден, хром, нікель).

В рослинному організмі завдяки участі у ферментативних реакціях вони впливають на обмін речовин, прискорюють розвиток рослин, підвищують стійкість до грибкових і бактеріальних хвороб, а також до несприятливих факторів зовнішнього середовища.

Мікроелементи є активаторами ферментів, але кожен з них характеризується специфічністю дії. Входячи до складу простетичних груп ферментів вони контролюють життєво важливі процеси фотосинтезу, дихання, перетворення речовин.

**Залізо** необхідне для синтезу сполук, що забезпечують дихання.

Рослини з усіх мікроелементів потребують заліза в найбільшій кількості, 80-90 % його зв'язано з органічними сполуками, розчинного заліза в рослині небагато. Ознаки дефіциту заліза виявляються лише в молодих листках, тому що перерозподіл заліза із старих органів у молоді майже не відбувається. Залізо є важливою складовою частиною таких ферментів як каталаза, пероксидаза, цитохромних систем. Воно знаходиться у складі ферментів універсального значення, зокрема, рибонуклеотидредуктази, яка бере участь у відновленні рибонуклеотидфосфатів до дезоксирибонуклеотидів – вихідних сполук для синтезу ДНК, а також у складі багатьох непорфіринових ферментів, наприклад, альдолази.

Важливою функцією заліза у рослинах є його участь у синтезі хлорофілу, утворення попередника порфіринів, а також для синтезу хлорофілвмісних білків хлоропластів.

Дефіцит заліза в рослині викликає хлороз – швидко втрату хлорофілу і дегенерацію структур хлоропластів. Хлороз проявляється як посвітління між жилками на молодих листках, які потім світлішають і біліють.

Залізо – розповсюджений елемент. Його джерелами є квасоля, овочі, ягоди, хлібопродукти. З продуктів рослинного походження найбільш багаті урюк, курага, яблука, груші, персики, зелень петрушки, трохи менше заліза у кизилі, фініках, персиках, айві, родзинках, маслинах, чорносливі, хроні, шпинаті.

**Мідь.** Мідь надходить у корені рослин як катіон і зосереджується в коренях, хлоропластах. Її концентрація в рослинному організмі незначна, але роль дуже важлива, тому що вона є кофактором окислювальних ферментів, де

мідь змінює валентність. Мідь містять ферменти цитохромоксидаза, оксидаза аскорбінової кислоти, амінооксидаз, які каталізують окислювальне дезамінування. Через ферменти мідь впливає на вуглеводневий і азотний метаболізм. Впливаючи на інгібітори росту – феноли, мідь підвищує стійкість рослин до посухи, морозів і високих температур. Відсутність доступної міді у хлібних злаків викликає побіління і висихання кінчиків молодого листя. У плодкових дерев на краях листків виникає хлороз, потім некроз, пошкоджуються генеративні органи.

За наявності надлишку міді в ґрунті рослини здатні зв'язувати мідь за допомогою білків з багатьма NH-групами. Після реакції міді з подібними білками утворюються нетоксичні сполуки – металотіонеїни.

Багато міді у бобових, листяних овочах, плодах і ягодах, менше – в баклажанах, кабачках, петрушці, буряках, яблуках, картоплі, грушах, чорній смородині, кавуні, хроні, перці.

Кількість міді у зернових продуктах (хліб, крупи – 260-640 мкг на 100 г).

**Кобальт.** Основними джерелами кобальту є овочі та зернові продукти. Кобальтом багаті горох, сочевиця, квасоля, білокачанна капуста, морква, буряк, томати, виноград, чорна смородина, лимони, агрус, журавлина, полуниця, суниця, вишня, цибуля ріпчаста, шпинат, салат, редис, огірки.

В більшості продуктів рослинного походження вміст кобальту незначний і становить 1-2 мкг. Відносно високим вмістом кобальту характеризуються такі продукти як буряк, вівсяна крупа, суниця, полуниця. Трохи менше кобальту міститься в картоплі, капусті, редисі, чорній смородині.

**Марганець.** В рослинному організмі відсутність марганцю або його надлишок пошкоджує ферменти ауксиноксидазу і пероксидазу, які регулюють роботу фітогормона ауксину. У рослин спостерігається ряд хвороб – сіра плямистість листя злаків, хлороз молодих листків плодкових дерев, хлороз у бобових між жилками молодих листків, їх обезбарвлення і деформація насіння.

Марганець міститься у рослинних продуктах. Найбільша його кількість знаходиться в зернових продуктах (400-1800 мкг на 100 г), горіхах (4200), картоплі, капусті (170), салаті (300 мкг на 100 г), клюкві, чаї, листяні овочі, особливо салат, і навіть яблука, сливи.

**Цинк.** Біологічна роль цинку різноманітна. Цинк є компонентом більш ніж 300 ферментів рослин. Без нього не відбуваються процеси метаболізму рослин, синтез нуклеїнових кислот, порушується також загальний синтез білків. Він активує РНК- та ДНК-полімерази, входить до складу ферментів протеаз, амінопептидази, які каталізують розпад білків.

Цинк необхідний для стабільності рибосом. Рослинам цинк потрібен для синтезу хлорофілу. Нестача цинку уповільнює ріст рослин: гальмує розподіл клітин, у дерев утворюються скорочені міжвузля, листя дрібне, часто у вигляді розеток, порушується метаболізм, фосфорний обмін, утворюється надлишок вільних амінокислот, амідів, редуруючих цукрів.

З рослинних продуктів на цинк багаті квасоля, горох, пшениця, кукурудза, вівсяне борошно, в меншій кількості його у білокачанній капусті, картоплі, моркві, огірках, буряках.

**Хром.** Хром міститься в багатьох продуктах харчування, але найбільшу фізіологічну активність мають дріжджі, тому що в дріжджах хром міститься у високоактивній формі. Досить високий вміст хрому у хлібі, сухих грибах. Біологічно доступного хрому немає в овочах та продуктах, виготовлених з них.

**Йод.** Природним джерелом йоду є морська риба, морська капуста та продукти, виготовлені з її використанням (консерви, кондитерські вироби, хліб з морською капустою).

**Бор.** Бор приймає участь в багатьох ферментативних процесах, позитивно впливає на процеси поділу клітин, вуглеводний і білковий обмін, сприяє нуклеїновому обміну, впливає на диференціацію і поділ тканини та елементи ксилеми і флоєми, він необхідний також для утворення бульбочок. За наявності бору активізується формування репродуктивних органів, підсилюється проростання пилку, збільшується кількість квітів і плодів. Нестача цього мікроелемента призводить до відмирання вегетативних пагонів у всіх дводольних і багатьох однодольних рослин, вони набувають вигляду розеток або кущів, утворюються порожнини – хвороба «гниль сердечка». Надлишок бору у рослин виявляється у вигляді хлорозу і некрозу на листках вздовж жилок, точки росту буріють внаслідок інтоксикації хінонами.

**Молібден.** У рослин молібден є компонентом ряду ферментів редуктаз, які тісно пов'язані з метаболізмом азоту, він входить до складу нітрогеназ і нітратредуктаз. Велика кількість молібдену необхідна рослинам із родини капустяних. Недостатнє надходження молібдена до бобових рослин, має такі ж ознаки, як і дефіцит азоту: затримка росту, світле листя, затримка розвитку квітів. При оптимальному забезпеченні рослин азотом, дефіцит молібдену виявляється як хлороз і некроз між жилками старого листя.

**Нікель** є складовою частиною ферментів – уреази і гідрогенази, в якості кофермента бере участь у метаболізмі заліза та міді.

Уреаза в рослинах дуже поширена і каталізує розклад сечовини на аміак і вуглекислий газ. Відсутність нікелю в бульбочках бобових рослин пригнічує важливий фермент – гідрогеназу, який повертає водень у процес азотфіксації, що веде до зниження його ефективності.

### **13.4 Зміни вмісту мінеральних речовин у рослинах в процесах обробки**

Мінеральні речовини, які містяться в харчових продуктах, при зберіганні і технологічній обробці змінюються мало, але значна їх частина може втрачатися, переходячи у воду при промиванні, замочуванні і варінні продуктів.

**Зберігання і механічна обробка.** Вміст мінеральних речовин, які концентруються в овочах в корі, у верхній частині клубнів у картоплі в процесі механічної обробки (очищення, зберігання) зменшуються.

Дані про загальну кількість сухих і мінеральних речовин, які переходять у воду при зберіганні в ній очищеної картоплі, наведені в таблиці 13.1.

**Втрати сухих і мінеральних речовин, очищеної картоплі при зберіганні у воді, % від маси картоплі**

Тривалість зберігання, год	Загальна кількість сухих речовин		Мінеральні речовини	
	Цілі клубні	Нарізані клубні	Цілі клубні	Нарізані клубні
1	0,07-0,16	0,47-0,49	0,01-0,02	0,04-0,05
6	0,13-0,18	0,50-0,61	0,02-0,03	0,05
18	0,15-0,23	0,62-0,72	0,03-0,04	0,08-0,09

При замочуванні бобових втрати мінеральних речовин складають 4-11 %. Так втрати мікроелементів при замочуванні гороху в холодній воді складають 3,8-5,5 %, а при замочуванні в гарячій воді від 6 до 11 %. При замочуванні квасолі втрати цих речовин незначні. При бланшируванні, консервуванні і варінні зеленого гороху вміст в ньому магнію, калію, фосфору зменшується, а вміст кальцію збільшується (останнє зв'язують з поглинанням його із води). Замочування бобових скорочує час варіння, в результаті чого загальні втрати не збільшуються. Денатураційні зміни призводять до зниження кількості мікроелементів, пов'язаних з білком. При цьому збільшується здатність полісахаридів квасолі і гороху зв'язувати окремі мікроелементи. Так, після доведення квасолі до готовності вміст у вуглеводному комплексі марганця зростав з 22,8 до 44,4 %, міді – з 24,4 до 32,7, молібдену – з 15,8 до 26,1 %.

*Теплова обробка.* При варінні овочів руйнується шкіряний шар протоплазми. Розчинні в клітинному соку речовини отримують можливість вільно дифундувати в оточуюче середовище. Втрати їх можуть бути дуже великі. Так, при варінні очищеної картоплі у відвар переходить більш 20 % мінеральних речовин.

Значно знижує втрати мінеральних речовин варіння овочів в шкірці, жаріння і варіння паром і в мікрохвильових печах, пароконвектоматах. Деяко більше вилучається їх при припусканні і більше при варінні продуктів з повним зануренням в рідину. Щоб зменшити втрати мінеральних речовин при кулінарній обробці овочів, слід занурювати їх при варінні в киплячу воду, використовувати овочеві і круп'яні відвари, брати рідини не більше, ніж це вимагається, щоб вона повністю вкривала продукти.

Втрати мікроелементів при варінні бобових коливаються від 5 до 41 %.

Доведена позитивна роль мікроелементів: бору, марганцю, кобальту, хрому, берилію при хересуванні вин (розвиток хересних дріжджів).

Відомо, що сполуки хрому відрізняються високим ступенем леткості. При сушінні ряду продуктів навіть при температурі 80-100<sup>0</sup> С, може відбуватися значна втрата хрому.

Використання організмом мінеральних речовин готових страв залежить від багатьох факторів. В близьких до оптимального співвідношеннях Са:Р:Мг (1:1:0,5) знаходяться в багатьох овочах. В круп'яних і борошняних продуктах

це співвідношення несприятливе. Тому овочеві гарніри, сполучення овочів з крупами, бобовими, борошняними виробами забезпечують гарну збалансованість вказаних елементів в готових стравах. Дуже цінні мікроелементи харчових продуктів – сполуки кобальту, цинку, марганцю, міді та ін.. Щоб забезпечити потрібну кількість їх в стравах, слід урізноманітнити склад овочевих гарнірів і включати в раціони страви, до складу яких входять різні овочі: заправочні супи – борщі, овочеві супи; овочеві рагу, овочеві змішані пюре, запіканки та інші.

*Контрольні запитання:*

1. Яку роль відіграють в рослинному організмі мінеральні речовини?
2. Яку роль виконує кальцій в рослинному організмі?
4. Яка роль магнію в рослинному організмі?
5. Яка роль калію в рослинному організмі?
6. Які функції виконує в рослинному організмі залізо?
7. У чому полягає основна роль йоду в рослинному організмі?
8. Яку роль відіграє фтор в рослинному організмі?



## **ДОДАТКИ**

### Біологічна роль, добова потреба, джерела надходження та властивості вітамінів

Класифікація, назва вітамінів	Біологічна роль	Добова потреба, мг	Джерела надходження	Властивості вітамінів
1	2	3	4	5
<i>I. Водорозчинні вітаміни</i>				
<i>B<sub>1</sub></i> (тіамін)	Антиневритний. Авітаміноз віт. <i>B<sub>1</sub></i> призводить до розладнання нервової, серцево-судинної та травної систем. Віт. <i>B<sub>1</sub></i> входить до складу ряду ферментів, у тому числі декарбоксилаз, регулюючих обмін вуглеводів, жирів, білків і води.	1,3...1,9	Хліб, крупи, соя, горіхи, дріжджі, овочі, фрукти, свинина, нирки, печінка, мозок, яловичина, яйця, жовток, молоко.	Віт. <i>B<sub>1</sub></i> розчинний у воді, стійкий до кислого середовища навіть при температурі 100...120° С, у лужному середовищі при нагріванні руйнується, наприклад, під час випікання борошняних виробів із додаванням соди
<i>B<sub>2</sub></i> (рибофлавін)	Авітаміноз <i>B<sub>2</sub></i> призводить до зупинки росту, ураження нервової системи, шкіряних покривів. Вітамін <i>B<sub>2</sub></i> у формі <i>ФМН</i> і <i>ФАД</i> входить до складу флавінових ферментів, що каталізують багато окисно-відновних реакцій.	2,0...4,0	Дріжджі, жовток яйця, мед, чай, молоко, печінка, нирки, м'ясо, риба, серце, овочі, хліб, крупи, горох.	Вітамін <i>B<sub>2</sub></i> розчинний у воді, стійкий до нагрівання до 100°С в кислому середовищі, але чутливий до світла та лужного середовища. Заморожування та розморожування продуктів призводить до втрат вітаміну <i>B<sub>2</sub></i> .
<i>B<sub>6</sub></i> (піридоксин)	Антидерматичний. Нестача вітаміну <i>B<sub>6</sub></i> веде до ураження шкіряних покривів. Входить до складу ферментів, що регулюють азотистий обмін. Наприклад, обмін амінокислот, їх переамінування і декарбоксилювання.	2,0...3,0	Хліб, горох, квасоля, картопля, м'ясо, нирки, сир, печінка, оселедці, яйця, дріжджі, овочі.	Розчинний у воді та спирті, стійкий до кислот, лугів і нагрівання, але чутливий до світла, особливо при <i>pH</i> 6,8.

## Продовження додатку А

1	2	3	4	5
<i>B5, PP</i> (ніацин, ніотинова кислота)	Антипелагричний – запобігає захворюванню пелагрою. Вітамін <i>PP</i> у формі <i>НАД</i> і <i>НАДФ</i> входить до складу ферментів – дегідрогеназ, що каталізують окисно-відновні реакції.	15,0...25,0	Рис, хліб, гречана і вівсяна крупи, картопля, яйця, молоко, дріжджі, м'ясо, печінка, нирки, овочі, фрукти, гриби.	Малорозчинний у воді, добре розчинний у лужних розчинах, Серед усіх вітамінів найбільш стійкий при зберіганні, консервуванні, кулінарній обробці.
<i>B12</i> (ціанкобаламін, коринаїди)	Антианемічний – запобігає виникненню злоякісної анемії. Вітамін <i>B12</i> бере участь у багатьох метаболічних реакціях організму: синтезі металічних груп, відновленні дисульфідних груп в сульфгидрильні, синтезі білків і нуклеїнових кислот, в реакціях ізомеризації; забезпеченні нормального гемопоезу активації дозрівання еритроцитів.	10,0...15,0	Продукти тваринного походження: печінка, нирки, м'язи, молоко, яйця.	Голчасті кристали рубіново-червоного кольору, без запаху і смаку. Добре розчинний у воді і спирті, нерозчинний в жирових розчинниках – бензолі, ефірі, хлороформі. В сухому виді стійкий до дії зовнішніх факторів. Витримує автоклавування при 120°C. Добре зберігається в темному сухому місці. На світлі швидко втрачає біологічну активність.
<i>C</i> (аскорбінова кислота)	Антицинготний – запобігає захворюванню цингою. Нестача вітаміну <i>C</i> призводить до зниження опору організму різним інфекційним захворюванням. Вітамін <i>C</i> бере участь в окиснювально-відновних процесах, синтезі стероїдних гормонів надниркових залоз.	75,0...100,0	Плоди, ягоди, лимони, овочі, чорна смородина, обліпіха, шипшина, перець, помідори, капуста, картопля, цибуля, хрін, кріп, чай.	Вітамін <i>C</i> розчинний у воді, стійкий у кислих середовищах і витримує кип'ятіння при відсутності кисню, легко руйнується при нагріванні в лужному середовищі і при доступі кисню повітря, а також на сонці.
<i>P</i> (рутин, катехіни, біофлавоноїди)	Антигеморагійний – запобігає порушенням проникності капілярів, розвитку геморагій.	50,0...60,0	Поширений в рослинних продуктах, особливо в смородині, шипшині, цитрусових, чорноплідній горобині, зеленому чаї.	Жовті кристали без запаху і смаку, погано розчинні в холодній воді (краще в киплячій воді або в спирті). Нерозчинні в жирових розчинниках. Стійкі до дії кислот і лугів.

1	2	3	4	5
<i>II Жиророзчинні вітаміни</i>				
Група <i>A</i> (ретинол)	Антиксерофтальмічний – запобігає захворюванню ксерофтальмією – сухістю очей. Вітамін <i>A</i> бере участь у процесах росту організму і регулює світловідчуття в складі зорового пігменту – родопсину.	1,0...2,5	Печінка, молоко, вершкове масло, олія, сир, яйця, фрукти, овочі. В овочах і фруктах – у вигляді каротиноїдів (провітаміну <i>A</i> ).	Вітамін <i>A</i> розчинний в жирах і жиророзчинниках, стійкий до теплової обробки, але чутливий до світла; руйнується при окисненні і згіркненні жирів. Втрати вітаміну <i>A</i> при кулінарній обробці досягають 40%.
Група <i>D</i> (кальциферол и)	Антирахітичний – запобігає порушенню фосфорно-кальцієвого обміну, регулює всмоктування кальцію та фосфору в кишечнику та відкладання фосфату кальцію в кістковій тканині.	0,012...0,025	Жир, печінка, риба, яєчний жовток, вершкове масло, сир, дріжджі, молоко, олії.	Розчинний у жирах і жиророзчинниках. Утворюється в організмі під дією <i>УФ</i> променів. Стійкий до кулінарної обробки та консервування. Руйнується тільки при тривалому смаженні во фритюрі.
Група <i>E</i> (токофе – роли)	Антистерильний – нестача вітаміну <i>E</i> викликає безпліддя, порушується діяльність залоз внутрішньої секреції. Вітамін <i>E</i> зв'язаний з диханням організму і окисненням ліпідів, регулює синтез коензиму <i>Q</i> .	20,0...30,0	Олії, салат, капуста, злаки, горох, м'ясо, вершкове масло, жовток яйця, молоко.	Розчинний у жирах і жиророзчинниках. Стійкий до нагрівання і кислот. Чутливий до <i>УФ</i> -променів. Кулінарна обробка значно знижує вміст вітаміну <i>E</i> в оліях.
Група <i>K</i> (філохінони)	Антигеморагічний – нестача вітаміну <i>K</i> призводить до крововиливів, тому що знижується здатність крові до згортання, так як вітамін <i>K</i> приймає участь у синтезі білку – протромбіну, що приймає участь у згортанні крові.	0,2...0,3	Листові овочі, цвітна та білокачанна капуста, томати, картопля, печінка, яйця	Не розчинний у воді. Дуже чутливий до нагрівання у лужному середовищі та дії світла.

1	2	3	4	5
<i>F</i> ненасичені жирні кислоти)	Антидерматичний – нестача ненасичених жирних кислот призводить до припинення росту, дерматитам, екземі, сухості шкіри, випадінню волосся, крихкості кісток, ураженню нирок. Підвищує еластичність і стійкість кровоносних судин, підвищує резистентність організму.	2,0...10,0	Олії, сало	Оліїсті рідини, добре розчинні в жирових розчинниках і не розчинні у воді. Легко окиснюються киснем повітря.
<i>III Вітаміноподібні речовини</i>				
Вітамін <i>U</i>	Противиразковий фактор шлунка і дванадцятипалої кишки.	Не встановлено	Молоко, печінка, сирі овочі, сік капусти, зелень петрушки, зелений чай, фрукти.	Розчинний у воді, стійкий до кислого середовища, але руйнується при 100° С, особливо в нейтральному і лужному середовищі.
Ліпоева кислота	Регулює обмін ліпідів і вуглеводів у складі ферментних комплексів. Бере участь в окисленні і переносі ацильних груп.	500,0	Печінка, нирки, серце, м'ясо, молоко, капуста, рис.	

### Біологічна роль, добова потреба, джерела надходження та властивості мінеральних речовин

Класифікація, назва мінеральних речовин	Біологічна роль	Добова потреба, мг	Джерела надходження	Наслідки нестачі та надлишку мінеральних речовин
1	2	3	4	5
<i>Макроелементи</i>				
<i>Кальцій</i>	Основна функція кальцію пластична. Він є основним структурним компонентом кісток та зубів, входить до складу ядер клітин, клітинних та тканинних рідин, необхідний для зсідання крові. Кальцій утворює сполуки з білками, фосфоліпідами, органічними кислотами. Він бере участь в регуляції проникності клітинних мембран, в процесах передачі нервових імпульсів, в молекулярному механізмі м'язового скорочення, контролює активність низки ферментів, підвищує збуджуваність нервової тканини, входить до складу хітину і пектинів	для дорослої людини - 1100...1200 мг, для дітей та підлітків – 800...1200 мг	Молоко та молочні продукти, яйця, м'ясо, риба, овочі, плоди, ягоди, петрушка, урюк, курага, хрін, родзинки, чорнослив, зелена цибуля, салат, капуста, фініки, кизил, горох, пастернак.	При недостатньому вживанні кальцію з продуктами харчування або порушенні всмоктування його в організмі (при нестачі вітаміну D) розвивається стан кальцієвого дефіциту. Спостерігається підвищене виведення його з кісток та зубів. У дорослих розвивається <i>остеопороз</i> – демінералізація кісткової тканини, у дітей порушується розвиток скелету, розвивається рахіт
<i>Магній</i>	Цей елемент посилює процеси гальмування в корі мозку, надає судинорозширювальну дію, бере участь у обміні білків і вуглеводів, у підтриманні нормальної функції нервової системи та серцевого м'яза; має судинорозширювальну дію; стимулює жовчовиділення; підвищує рухову активність кишечника, що сприяє виведенню шлаків (в тому числі холестерину) з організму	350...400	Висівки, гречана і вівсяна крупи, бобові, волоські горіхи, мигдаль, урюк, курага, фініки, зелень, петрушки, щавель, шпинат, родзинки, банани.	Нестача магнію в харчуванні погіршує засвоєння їжі, затримує рост, відмічаються патологічні зміни у нирках, на стінках судин відкладається кальцій.

1	2	3	4	5
<i>Калій</i>	Забезпечує осмотичний тиск; бере участь у передачі нервових імпульсів; регуляції водно-сольового обміну; сприяє виведенню води, а отже, і шлаків з організму; бере участь у регуляції діяльності серця та інших органів; необхідний для функції низки ферментів. Солі калію посилюють виведення натрію і викликають зрушення реакції сечі у лужний бік. Іони калію підтримують тонус і автоматизм серцевого м'яза, функцію надниркових залоз	2000...4000	Урюк, чорнослив, ізюм, морська капуста, квасоля, горох, картопля, зелень петрушки, шпинат, капуста, чорна смородина, коріння селери, редис, <sup>ріпа,</sup> <sup>кизил,</sup> <sup>персики,</sup> інжир, абрикоси, банани й інші овочі та плоди	Дефіцит калію в організмі проявляється в порушенні функції нервово-м'язової та серцево-судинної систем, сонливості, зниженні артеріального тиску, порушенні ритму серцевої діяльності, при затримки рідини в організмі, за лікуванням преднизолоном та іншими гормонами. В таких випадках призначається калієва дієта
<i>Натрій</i>	Він бере участь у підтриманні осмотичного тиску в тканинних рідинах та крові; в передачі нервових імпульсів; регуляції кислотно-лужної рівноваги, водно-сольового обміну; підвищує активність травних ферментів.	4...5 г	Соління, маринади, бринза, сири, хліб	При надлишковому вживанні NaCl погіршується виведення розчинних у воді кінцевих продуктів обміну речовин через нирки, шкіру та інші видільні органи. Затримка води в організмі ускладнює діяльність серцево-судинної системи, сприяє підвищенню кров'яного тиску. Тому вживання солі при відповідних захворюваннях харчовому раціоні обмежують

1	2	3	4	5
<i>Фосфор</i>	<p>Цей елемент бере участь в усіх процесах життєдіяльності організму: синтезі та розщепленні речовин в клітинах; регуляції обміну речовин; входить до складу нуклеїнових кислот, ферментів, кісток, АТФ.</p> <p>За умови тривалого дефіциту фосфору в харчуванні організм використовує власний з кісткової тканини. Це призводить до демінералізації кісток та порушення їх структури (<i>розрідження</i>). При нестачі його в організмі знижується розумова та фізична працездатність, знижується апетит, виникає апатія</p>	1200	<p>Продукти тваринного походження: печінка, ікра риби, зернові та бобові, крупи (вівсяна, перлова), морква, буряк, салат, кольорова капуста, абрикоси, персики</p>	<p>Надлишок фосфору в раціоні порушує асиміляцію кальцію</p>
<i>Хлор</i>	<p>Фізіологічне значення хлору пов'язане з його участю в регуляції водно-сольового обміну та осмотичного тиску в тканинах та клітинах.</p> <p>Хлор входить до складу соляної кислоти шлункового соку. Цей нутрієнт легко всмоктується в кишку кров.</p> <p>Порушення в обміні хлору призводять до появи набряків, зниженню секреції шлункового соку</p>	5000	Соління, маринади	<p>Підвищення його концентрації у крові виникає при зневодненні організму та при порушенні видільної функції нирок</p>



## Продовження додатку Б

1	2	3	4	5
<i>Сірка</i>	Сірка є необхідним структурним компонентом деяких амінокислот (метіоніну, цистеїну, цистину), білків, вітамінів (тіаміну та ін.), а також входить до складу інсуліну. Разом з цинком та кремнієм впливає на функціональний стан шкіри і волосся, приймає участь у білковому обміні. Сірковмісні амінокислоти проявляють антиоксидантну дію	400...600 мг	Сир, яйця, м'ясо, риба, горох, квасоля, вівсяна та інші крупи	Потреба в сірці різко зростає в період вагітності й росту організму, щосупроводжується активним включенням білків у тканини, які утворюються, а також у запальних процесах
<i>Мікроелементи</i>				
<i>Залізо</i>	Необхідне для синтезу сполук, що забезпечують дихання, кровотворення. Воно приймає участь у багатьох біологічних процесах організму, імунних та окиснювально-відновних реакціях, входить до складу гемоглобіну	15 мг для чоловіків та 18 мг для жінок.	Субпродукти, м'ясо, яйця, печінка, квасоля, овочі, ягоди, хлібопродукти, урюк, курага, яблука, груші, персики, зелень петрушки, кизил, фініки, персики, айва, родзинки, маслини, чорнослив, хрон, шпинаті	Дефіцит заліза зменшує концентрація гемоглобіну, кількість еритроцитів у крові, рівень заліза в сировотці крові, зниження активності залізовмісних білків та ферментів в органах і тканинах і, як наслідок, виникає залізодефіцитна анемія
<i>Мідь</i>	Мідь бере участь у тканинному диханні у складі ферментів, які містять мідь (цитохромоксидаза, аскорбатоксидаза, церулоплазмін, уріаза та ін.), синтезі гемоглобіну, сприяє зростанню організму, посилює цукрознижуючу дію інсуліну, посилює процеси окислення глюкози	2...5	Печінка, яечний жовток. Багато міді в бобових, листяних овочах, плодах і ягодах, менше — в баклажанах, кабачках, петрушці, буряках, яблуках, картоплі, грушах, чорної смородині, кавуни, хроні, перці	Дефіцит міді в організмі людини призводить до анемії; порушується процес кісткоутворення, порушується утворення колагену і еластину. Мідь має виражену проти-запальну дію, пом'якшує прояви автоімунних захворювань. Необхідна для утворення ненасичених жирних кислот. Споживання дуже високих доз міді призводить до ураження слизових оболонок, руйнування капілярів, печінки, нирок, подразнень ЦНС

## Продовження додатку Б

1	2	3	4	5
<i>Кобальт</i>	Вінактивізує процеси утворення гемоглобіну та еритроцитів, впливає на формування молодих форм еритроцитів (ретикулоцитів) та їх перетворення на зрілу форму. Кобальт приймає участь у білковому та вуглеводному обмінах, підвищує активність пептидаз, фосфатаз	0,05...0,2	Овочі та зернові продукти, горох, сочевиця, квасоля, білокачанна капуста, морква, буряк, томати, виноград, чорна смородина, лимони, агрус, журавлина, полуниця, суниця, вишня, цибуля ріпчаста, шпинат, салат, редис, огірки	Надлишок кобальту викликає дерматити та інтоксикацію організму (порушення травлення, дихання тощо)
<i>Марганець</i>	Марганець приймає участь в окисно-відновних процесах організму, збільшує цукрознижуючу інсуліну. Він входить до складу ферментативних систем, приймає участь в утворенні зв'язків між АТФ і ферментами (фосфокіназами і фосфотрансферазами), є кофактором декарбоксилазам і дегідрогеназам циклу три карбонових кислот. У складі білкового комплексу марганець бере участь у фотолізі води при фотосинтезі, активує РНК-полімеразу. Основною біологічною властивістю марганцю є його зв'язок з процесами осифікації та з станом кісткової тканини. Важливою частиною біологічної дії є його ліпотропні властивості	5...10	Печінка, картопля, капуста, салат, клюква, чай, бобові, яблука, сливи	При дефіциті марганцю виникає анемія, знижується інтенсивність росту організму, розвивається остеопороз

## Продовження додатку Б

1	2	3	4	5
<i>Цинк</i>	<p>Цинк необхідний для нормальної функції залоз внутрішньої секреції (гіпофіза, підшлункової, передміхурової і статевих). Він має також ліпотропні і кровотворні властивості, приймає участь у біосинтезі білка, метаболізмі нуклеїнових кислот, впливає на розвиток вторинних статевих ознак. Крім того, цинк приймає участь у процесах росту, у формуванні шкіри та волосся.</p> <p>Він активує РНК- та ДНК-полімерази, входить до складу ферментів протеаз, амінопептидази, які каталізують розпад білків</p>	12...15	<p>Продукти тваринного походження (м'ясо, печінка, кров тощо). З рослинних продуктів - квасоля, горох, пшениця, кукурудза, вівсяне борошно, білокачанна капуста, картопля, морква, огірки, буряки</p>	<p>При дефіциті цинку розвивається ураження шкіри(дерматит). Це особливо характерно для національних груп, що використовують, як основну їжу хліб, що випікають без застосування дріжджів.</p> <p>Крім того можливо виникнення хронічної діареї, порушення нічного зору й фотофобія, емоційна нестійкість, імунодефіцитні стани</p>
<i>Селен</i>	<p>Фізіологічне значення селену визначається участю його в процесах окислення трикарбонових кислот і виконанням багатьох функцій, властивих вітаміну Е. Він виконує захисну функцію, тому що захищає білки від дії окислювачів та радіонуклідів. Встановлено, що достатнє забезпечення організму цим мікроелементом затримує старіння, а при додаванні вітаміну Е підвищується антиканцерогенний ефект їжі.</p> <p>Він необхідний для активації ключового фермента антиоксидантної системи організму – глутатіонпероксидази</p>	50...70 мкг	<p>М'ясні та рибні продукти, особливо субпродукти і продукти моря. В овочах і плодах його мало</p>	<p>Особливо страждає серцево-судинна система, що проявляється у вигляді прогресуючого атеросклерозу і слабкості серцевого м'яза.</p> <p>Дефіцит селену може збільшувати йодну недостатність через те, що селен необхідний для синтезу гормонів щитоподібної залози</p>

## Продовження додатку Б

1	2	3	4	5
<i>Хром</i>	Основна роль хрому – запобігання порушенням обміну вуглеводів та супутнім хронічним захворюванням, які зумовлені його дефіцитом. Він є необхідним для ліпідного обміну та утилізації амінокислот, а також має велике значення для профілактики атеросклерозу	50...70 мкг	Жовтки яєць, устриці, дріжджі, м'ясо курей та сухомолоко, печінка, м'ясо, хліб, сухі гриби та пиво	При дефіциті хрому погіршується засвоєння організмом глюкози, зменшується вміст хрому в крові та волосі, спостерігаються схуднення, підвищується рівень холестерину і триацилгліцеролів у сироватці крові
<i>Фтор</i>	Фізіологічне значення фтора – активна участь його в процесах формування зубної емалі, дентину, кісток. Він нормалізує фосфорно-кальцієвий обмін. Нестача його сприяє розвитку карієсу зубів	0,2...3,1	Вода, риба, деякі овочі, чай	Надлишок фтору приводить до захворюванню на флюороз, який виникає в регіонах з надлишком фтору в питній воді, ґрунті та харчових продуктах. При флюорозі ушкоджуються зуби, розвивається остеохондроз, порушується функція суглобів. Надлишкові дози фтору викликають порушення вуглеводного, ліпідного, білкового обміну, метаболізму вітамінів, ферментів і мінеральних солей
<i>Йод</i>	Основне фізіологічне значення йоду полягає в його участі у функціях щитовидної залози, яка використовує йод для синтезу гормонів: (тироксину, дейодтирозину і трийодтирозину)	150 мкг	Найбагатші йодом продукти моря, зокрема морські риби, морська капуста та продукти, виготовлені з її використанням, рибні та нерибні продукти моря, печінка тріски, м'ясо, яйця, молоко	Недостатнє надходження йоду в організм призводить до розладу функції щитоподібної залози, збільшення (гіперплазії) і розвитку зобу, а також затримці фізичного та розумового розвитку дітей

## Закінчення додатку Б

1	2	3	4	5
<i>Молібден</i>	Молібден є складовою частиною ряду ферментів: ксантінооксидаза, альдегідоксидаза, сульфатоксидаза. Він гальмує розвиток карієсу зубів	2 мкг на 1 кг маси тіла	Різні види овочів та внутрішні органи тварин	Надлишок молібдену у харчуванні призводить до захворювання подагрою в мешканців, які харчуються продуктами, що містять високі концентрації молібдену (Англія, Вірменія)

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Биологическая химия [Текст] : Учеб.пособие / Н. В. Дуденко, Л. Ф. Павлоцкая, М. В. Кривонос, Р. И. Кратенко. – Х. : Прапор, 1999. – 318с.
2. Колесник, А. А. Химия плодов и овощей и биохимические основы их хранения [Текст] : Учеб.пособие / А. А. Колесник. – М. : МИНХ, 1971. – 121с.
3. Кретович, В. Л. Техническая биохимия [Текст] : Учеб.пособие / В. Л. Кретович, Л. В. Метлицкий, М. А. Бокучава ; Под ред. В. Л. Кретовича. – М. : Высшая школа, 1973. – 456с.
4. Біологічна хімія [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л. В. Левандовський, В. Г. Дрюк, О. І. Семенова, ін. та. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Київ : НУХТ, 2012. – 363 с.
5. Мардашко, А. А. Биологическая и биоорганическая химия [Текст] : учеб. пособ. / А. А. Мардашко, Л. М. Миронович, Г. Ф. Степанов. – Київ : Каравелла, 2012. – 248 с.
6. Метлицкий, Л. В. Основы биохимии плодов и овощей [Текст] / Л. В. Метлицкий. – М. : Экономика, 1976. – 349с.
7. Кретович В. Л. Биохимия растений. М.: Высш. шк., 1986. 445 с.
8. Пасешниченко В. А. Новый альтернативный путь биосинтеза изопреноидов у бактерий и растений // Биохимия. 1998. Т. 63. № 2. С. 171–182.
9. Пасешниченко В. А. Растения – продуценты биологически активных веществ // Соросовский образовательный журнал. 2001.