

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Кафедра біології

Методичні рекомендації для самостійної роботи
студентів з курсу

**«БІОХІМІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
КУЛЬТУР»**

*для студентів освітнього рівня «Магістр»
спеціальності 091 «Біологія та біохімія»*

Умань - 2023

Методичні рекомендації для самостійної роботи з дисципліни «Біохімія сільськогосподарських культур» для студентів освітнього рівня «Магістр» спеціальності «Біологія та біохімія». Умань: Уманський національний університет садівництва, 2023 р. 91 с.

Укладачі: Карпушина С.А. – кандидат хімічних наук, доцент
Леонтюк І.Б. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Рецензент: Улянич О.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор.

Методичні вказівки схвалені на засіданні кафедри біології (протокол № 1 від 30. 08. 2023 р.)

Затверджено і рекомендовано до видання методичною комісією факультету плодовоовочівництва, екології та захисту рослин (протокол № 1 від 31. 08. 2023 р.)

УДК 664.34:581
@ Карпушина С.А., 2023
Леонтюк І.Б., 2023

ЗМІСТ

Вступ.....	4
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. СТАТИЧНА БІОХІМІЯ РОСЛИН.....	5
Тема: Основні фізіолого-біохімічні процеси у рослинах. Структурна організація рослинних клітин	5
Тема: Вуглеводи.....	11
Тема: Білкові сполуки рослин. Нуклеїнові кислоти	19
Тема: Ліпіди і споріднені їм сполуки	30
Тема: Органічні кислоти, вітаміни, ферменти	37
Тема: Рослинні речовини вторинного походження. Мінеральні речовини.....	50
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ДИНАМІЧНА БІОХІМІЯ РОСЛИН.....	60
Тема: Біохімія фотосинтезу	60
Тема: Біохімія дихання. Специфіка клітинного дихання рослин	69
Тема: Метаболізм білкових сполук та ліпідів. Біохімічні процесів на різних етапах онтогенезу сільськогосподарських культур	76
Список рекомендованої літератури.....	91

ВСТУП

Навчальний курс «Біохімія сільськогосподарських культур» – професійно-орієнтована обов’язкова дисципліна, що вивчається студентами за освітньою програмою «Агробіологія» освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» зі спеціальності «Біологія та біохімія».

Дані методичні рекомендації для самостійної роботи студентів розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Біохімія сільськогосподарських культур» для студентів спеціальності 091 «Біологія та біохімія». Методичні рекомендації містять навчальні матеріали з дев’яти тем курсу, які розділено на два змістових модулі. Змістовий модуль 1 «Статична біохімія рослин» містить теми з організації рослинних клітин, біохімії білків, нуклеїнових кислот, вуглеводів, органічних кислот, ліпідів, вітамінів, ферментів, рослинних речовин вторинного походження, гормонів та мінеральних речовин. До змістового модулю 2 «Динамічна біохімія рослин» увійшли теми з біохімії фотосинтезу та дихання, метаболізму білкових сполук та ліпідів.

Навчальні матеріали до кожної теми включають стисле викладення теоретичного матеріалу, а також основні питання теми, які допомагатимуть студенту у систематизації навчального матеріалу з метою його кращого засвоєння. Для самоконтролю засвоєння теми студенту запропоновано дати відповіді на теоретичні та тестові питання. Опрацювання таких питань з кожної теми сприятиме систематичній підготовці студента до модульного контролю та екзамену з дисципліни. Наприкінці даного навчально-методичного видання наведено список рекомендованої літератури.

Таким чином, використання студентом даних методичних рекомендацій під час самостійної роботи, яка є основним засобом засвоєння студентом навчального матеріалу, сприятиме більш ефективному засвоєнню знань та раціональному використанню робочого часу.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. СТАТИЧНА БІОХІМІЯ РОСЛИН

ТЕМА: ОСНОВНІ ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ У РОСЛИНАХ. СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ РОСЛИННИХ КЛІТИН

Основний зміст

Основними функціональними структурами клітини є її поверхневий комплекс, цитоплазма та ядро.

Поверхневий комплекс включає в себе глікокалікс, плазматичну мембрану (цитолему) та кортикальний шар цитоплазми. Неважко помітити, що чіткої межі поверхневого комплексу від цитоплазми немає.

У *цитоплазмі* виділяють гіалоплазму (матрикс, цитозоль), органели і включення.

Основними структурними компонентами *ядра* є каріолема (каріотека), нуклеоплазма та хромосоми; петлі деяких хромосом можуть переплітатись і в цій області утворюється ядерце.

Цитолема, каріолема та частина органел утворені біологічними мембранами.

Основними відмінними ознаками рослинної і тваринної клітини є відсутність в тваринній клітині вакуолей, пластид і клітинної стінки.

Наявність пластид з хлоропластами і хлорофілом дає можливість рослинній клітині синтезувати органічну речовину (крохмаль) при допомозі процесу фотосинтезу. Тому рослини в основному мають атрофічний спосіб живлення.

Цитоплазма - це напіврідка, в'язка, без кольору маса, яка має властивості колоїдного розчину. Основними речовинами, які входять в її склад є колоїдно-органічні сполуки: білки, вуглеводи, жири, ліпіди (жироподібні речовини), РНК, вода і деякі інші речовини.

Кількість води в цитоплазмі змінюється на протязі вегетації рослин. Цитоплазма складається з 3-х шарів: плазмолемі – тоненької плівки, яка прилягає до клітинної оболонки; мезоплазми, складаючої основну масу цитоплазми, і на кінець тонопласта – внутрішньої тоненької плівки, яка обтягує вакуоль і регулює обмін речовин між мезоплазмою і клітинним соком вакуолі.

Цитоплазмі властиві фізіологічні функції: живлення, дихання, рух, подразливість, обмін речовин, розмноження. Рухається цитоплазма постійно, але іноді це важко помітити. Вона допомагає переміщенню ряду речовин з однієї клітини в іншу. Важливими властивостями цитоплазми являються:

в'язкість і напівпроникність.

Колоїди цитоплазми здатні ставати більш в'язкими (гель) і більш рідкими (золь), що допомагає рослині швидко пристосовуватись до змін умов зовнішнього середовища. Висока в'язкість цитоплазми збільшує стійкість рослин до підвищених температур.

Ядро - має оболонку з двох мембран, які пронизані ядерними парами і хроматин (в такій формі розкручені хромосоми знаходяться в інтерфазі). Є ще ядерний сік і ядерце. Розміри його не більше 2-20 мкм.

Ф у н к ц і ї – хромосоми містять ДНК, а це речовина спадковості. Ділення ядра лежить в основі розмноження клітин. В ядерці утворюються р и б о с о м и.

Плазматична мембрана складається з трьох шарів - в центрі мембрани ліпідний бішар, а по боках білкові шари.

Ф у н к ц і ї - одна з основних властивостей біологічної мембрани - її вибіркова проникність (напівпроникність) - одні речовини проходять через неї важко, інші легко і навіть в бік більшої концентрації. Так, для більшості клітин концентрація іонів Na^+ всередині клітини значно нижча, ніж у навколишньому середовищі. Для іонів K^+ характерне протилежне співвідношення: їхня концентрація всередині клітини вища, ніж зовні. Через це іони Na^+ завжди намагаються проникнути в клітину, а іони K^+ - вийти назовні. Вирівнюванню концентрацій цих іонів перешкоджає дія особливої системи клітинної мембрани, яка виконує роль насоса, що відкачує іони Na^+ із клітини і одночасно накачує іони K^+ всередину (так званий натрій-калієвий насос).

Прагнення іонів до переміщення всередину використовується для транспорту цукрів і амінокислот в клітину. При активному видаленні іонів Na^+ з клітини створюються умови для надходження глюкози і амінокислот всередину неї.

У багатьох клітин поглинання речовин відбувається також шляхом фагоцитозу і піноцитозу. При фагоцитозі гнучка зовнішня мембрана утворює невеликі заглибини, куди потрапляє захоплована тверда частинка. Це заглиблення поступово збільшується, стає глибшим, і частинки, які потрапили в неї, занурюються в середину клітини. Явище фагоцитозу властиве амебам і деяким іншим найпростішим, також лейкоцитам (фагоцитам). Аналогічно відбувається поглинання клітинами і рідин, які містять необхідні клітинні речовини. Це явище назване піноцитозом (гр. сл. піно - п'ю, цитос – клітина). Для клітинної мембрани характерна також дифузія – рух газів, наприклад при диханні, осмос – рух води з розчиненими в ній речовинами в клітину, а також екзоцитоз - видалення з вакуолей

неперетравлених частин.

Ендоплазматична сітка - система мембранних мішечків у вигляді трубочок і пластинок, які утворюють єдине ціле з зовнішньою мембраною ядерної оболонки.

Ф у н к ц і ї. Якщо поверхня ендоплазматичної сітки покрита рибосомами, то її називають шороховатою. На рибосомах синтезується білок, який транспортується по цистернах ендоплазматичної сітки. Гладка ендоплазматична сітка (без рибосом) служить місцем синтезу ліпідів і стероїдів.

Рибосоми. Містять білок і РНК (65% всієї РНК клітини) в рівних кількостях. Їх знайшли в мітохондріях і в хлоропластах рослин.

Ф у н к ц і ї. На рибосомах синтезується білок.

Мітохондрії. Мають оболонку з двох мембран. Зовнішня мембрана гладенька, а внутрішня утворює складки – кристи. Містять мітохондрії і матрикс, де є рибосоми, одну кільцеву молекулу ДНК і фосфатні гранули.

Ф у н к ц і ї. Мітохондрії – енергетичні станції клітини. Внаслідок дихання відбувається розклад речовин з утворенням енергії. В кристах при аеробному диханні проходить окислювальне фосфорилування і перенос електронів, а в матриксі працюють ферменти, які приймають участь в циклі Кребса (цикл лимонної кислоти) і в окисленні жирних кислот. Синтезується на рибосомах і білок.

Апарат Гольджі. Це стопка мембранних мішечків. На одному кінці стопки мішечки безперервно утворюються, а з другого підшнуровуються у вигляді бульбашок.

Ф у н к ц і ї. Транспорт. Клітинні матеріали, наприклад ферменти і ендоплазматична сітка модифікуються в цистернах і транспортуються у бульбашках. Синтез лізосом.

Лізосоми. Сферичний мембранний мішечок, який заповнений перетравлювальними ферментами (мембрана одинарна).

Ф у н к ц і ї. Перетравлення поживних Хлоропласти. Це велика пластида, що містить в собі хлорофіл. В хлоропластах проходить фотосинтез. В хлоропластах є оболонка, яка складається з двох мембран. Хлоропласти заповнені стромою. В стромі знаходиться система мембран зібраних в стопки, які з'єднуються між собою ламетами. В стромі може відкладатися крохмаль, крім того в ній є рибосоми, ДНК і крапельки масла.

Лейкопласти – без кольору, хлоропласти – зелені, хромопласти – жовті, червоні і т. д.

Ф у н к ц і ї. Фотосинтез з утворенням вуглеводів з води, CO₂ і сонячної енергії. В хлоропластах сонячна енергія перетворюється в хімічну

енергію, тобто енергію хімічних зв'язків.

Плазмодесми. Тонка цитоплазматична нитка, що поєднує цитоплазму двох сусідніх клітин через тонку пору в клітинній стінці.

Ф у н к ц і ї. Об'єднує протопласти сусідніх клітин в єдину безперервну систему, по якій проходить транспорт речовин між клітинами.

Вакуолі - мішок, обтягнутий одинарною мембраною, яку називають тонопластом. У вакуолях знаходиться клітинний сік, де є мінеральні солі, цукри (вуглеводи), пігменти, органічні кислоти і ферменти.

Ф у н к ц і ї. Тут зберігаються різноманітні речовини, в тому числі і кінцеві продукти обміну. Від вмісту вакуолей залежать осмотичні властивості клітини. В клітині є ще різні включення.

Клітинна стінка. Жорстка клітинна стінка складається з целюлозних волокон.

Ф у н к ц і ї. Забезпечує механічну опору і захист клітини. Завдяки їй в клітині виникає тургорний тиск, не допускає осмотичного розриву клітини.

Таким чином, клітина має цілий комплекс, що допомагає їй функціонувати як єдиному цілому організмові. Ядро – передача спадковості, рибосоми – синтез білка, мітохондрії – енергетичні станції, вакуолі – осмос, хлоропласти – фотосинтез, апарат Гольджі, ендоплазматична сітка – транспорт, лізосоми – перетравлення, плазмодесми – зв'язок між клітинами, плазматична мембрана – обмін між клітиною і середовищем.

Теоретичні питання

1. Специфічні властивості рослинних клітин. Автотрофність живлення та основні фізіолого-біохімічні процеси у рослинах.
2. Характеристика основних структурних компонентів клітини: ядро, ядерце, ендоплазматичний ретикулум, апарат Гольджі, рибосоми, мітохондрії, пластиди, вакуолі, лізосоми.
3. Тканини – запасна, покривна, механічна, провідна, меристематична. Їх будова та значення.
4. Хімічний склад сільськогосподарських культур (плодів, овочів, злакових та технічних культур).

Питання для контролю засвоєння теми

1. Охарактеризувати будову та властивості структурних компонентів, характерних лише для рослинної клітини.

2. Цитоплазма, її структура. Хімічний склад та властивості цитоплазми живої клітини.
3. Будова і функції мембран рослинних клітин. Значення напівпроникності біологічних мембран.
4. Загальна характеристика і хімічний склад клітинної оболонки.
5. Будова порового апарату первинної оболонки. Плазмодесми. Пори.
6. Вторинні зміни хімічного складу і властивостей оболонки (здерев'яніння, зкорковіння, кутинізація, ослизнення, мінералізація).
7. Біологічне значення вторинного потовщення оболонки.

Тестові питання

1. Вкажіть, які сполуки ліпідної природи є елементами клітинної мембрани:
 - а) фосфоліпіди б) стероїди в) жири г) воски
2. Сітка розгалужених і з'єднаних один з одним каналців у цитоплазмі клітини називається:
 - а) цитоскелет б) капілярна сітка
 - в) ендоплазматичний ретикулум г) апарат Гольджі
3. Функції мітохондрій:
 - а) утворення лізосом б) синтез полісахаридів
 - в) синтез АТФ г) синтез ліпідів
4. Поверхневий шар тваринних клітин називається:
 - а) капсид б) глікокалікс в) кутикула г) клітинна стінка
5. Як називаються запасні сполуки або продукти обміну речовин, які розташовані у цитоплазмі клітини у вигляді крапельок ліпідів, гранул крохмалю або глікогену тощо:
 - а) включення б) рибосоми в) цитоскелет г) компартаменти
6. Яка органела клітини має власну ДНК?
 - а) гранулярна ЕПС б) комплекс Гольджі в) рибосоми г) мітохондрії
7. У ядерці відбувається формування:
 - а) хромосом б) білка в) ядерної оболонки г) частинок рибосом
8. До двомембранних структур клітини відносяться:
 - а) ядерна оболонка б) плазматична мембрана в) лізосоми г) ЕПР
9. Лізосоми утворюються на:
 - а) проксимальному кінці апарата Гольджі б) гранулярному ЕПРі
 - в) гладенькому ЕПРі г) дистальному кінці апарата Гольджі
10. Мембранну будову мають клітинні структури?
 - а) рибосоми б) мітохондрії в) вакуоля г) центріолі
11. Плазмалема – це:
 - а) клітина без клітинної мембрани б) цитоплазма клітини

в) цитоплазматична мембрана г) ядро і цитоплазма клітин

12. Гіплоплазма - це:

- а) матрикс цитоплазми б) зовнішній шар цитоплазми
- в) внутрішній шар цитоплазми г) матрикс ядра

13. У порожнинах і мембранах комплексу Гольджі відбуваються процеси:

- а) синтез білків б) формуються лізосоми
- в) формуються рибосоми г) синтез АТФ

14. До надмембранних структур клітини належать:

- а) мікронитки б) пелікула в) мікротрубочки г) глікокалікс

15. До підмембранних структур клітини належать:

- а) клітинна стінка б) пелікула в) слизова капсула г) глікокалікс

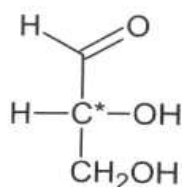
ТЕМА: ВУГЛЕВОДИ

Основний зміст

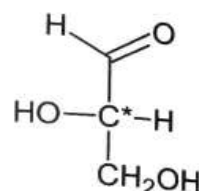
Вуглеводи або сахариди є найбільш поширеними органічними сполуками в рослинах, на їх долю припадає біля 90% сухої речовини рослинних організмів. За хімічною будовою, вуглеводи – полігідроксиальдегіди або полігідроксикетони, або ж молекули, які можуть гідролізуватися до них. За найменшою повторюваною одиницею склад вуглеводів описується формулою $(\text{CH}_2\text{O})_n$. Також ці речовини за складом можна розглядати як сполуки вуглецю з водою $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$. За кількістю мономерів, що входять до складу молекул, вуглеводи поділяють на три групи: моносахариди, олігосахариди і полісахариди.

Моносахариди – це вуглеводи, які не піддаються гідролізу з утворенням більш простих сполук. Їм відповідає загальна формула $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$, де $n=3, 4, 5, 6, 7, 8$ і т.д. Вони містять кілька спиртових груп і одну карбонільну (альдегідну або кетонну). Моносахариди поділяються на *альдози* (містять альдегідну групу) і *кетози* (містять кето групу). Залежно від числа атомів Карбону в ланцюгу моносахаридів розрізняють *тріози* $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$, *тетрози* $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$, *пентози* $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$, *гексози* $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, *гептози* $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_7$ і т. д. Найбільш поширені альдози і кетозии, що належать до пентоз (рибоза, дезоксирибоза, ксилоза, арабіноза) і гексоз (глюкоза, маноза, галактоза, фруктоза). Вуглеводи, що складаються з 3–7 атомів вуглецю називаються *цукрами*. Вони не гідролізуються розбавленими кислотами.

За основу стереоізомерів цукрів узято відповідність їх будови *гліцериновому альдегідові*, який містить асиметричний атом Карбону (він помічається зірочкою C^*) і може існувати у вигляді двох стереоізомерів:



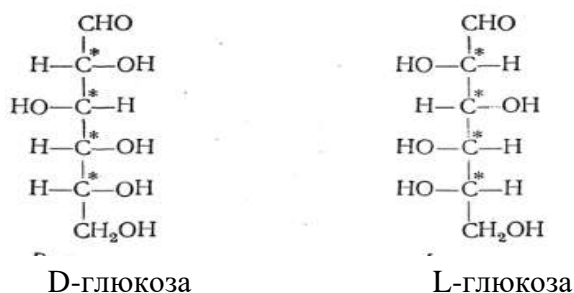
D-гліцериновий альдегід



L-гліцериновий альдегід

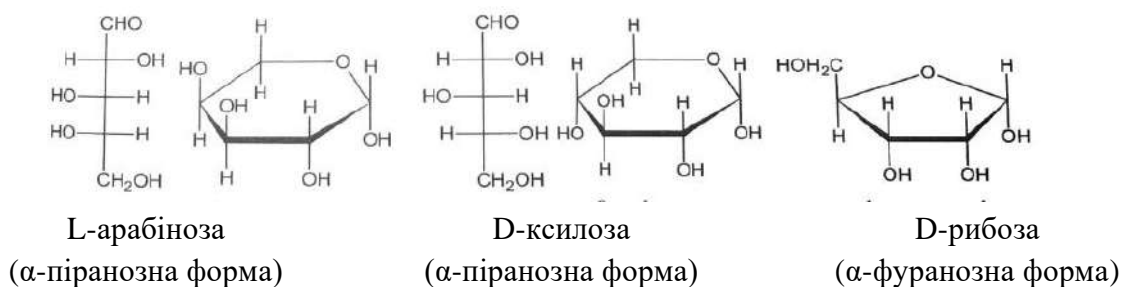
Моносахариди, в яких гідроксил при найвіддаленішому від альдегідної чи кето-групи асиметричному атомі Карбону розташований у проєкційній формулі Фішера праворуч, належить до D-ряду, ліворуч – до L-ряду (у

проекції Фішера хімічні зв'язки зображуються як горизонтальні і вертикальні лінії, на перехрестях яких перебувають стереоцентри). Наприклад, поширений альдегідоспирт глюкоза існує у D- і L-формах.



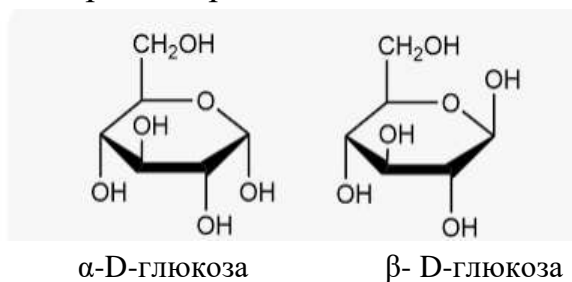
У розчинах моносахариди перебувають одночасно в ациклічній (ланцюговій) і циклічній формах з шестичленним (піранозним) або п'ятичленним (фуранозним) кільцем. Циклічна форма утворюється внаслідок внутрішньо молекулярної взаємодії карбонільної групи з просторово найближче розміщеною спиртовою групою.

Найважливішими серед пентоз є ксилоза, рибоза та арабіноза.



Пентози і гексози зустрічаються у вільному стані, а також входять до складу різних сахаридів, глікозидів, глікопротеїдів, гліколіпідів та багатьох інших речовин, які відіграють важливу роль в процесах життєдіяльності організму.

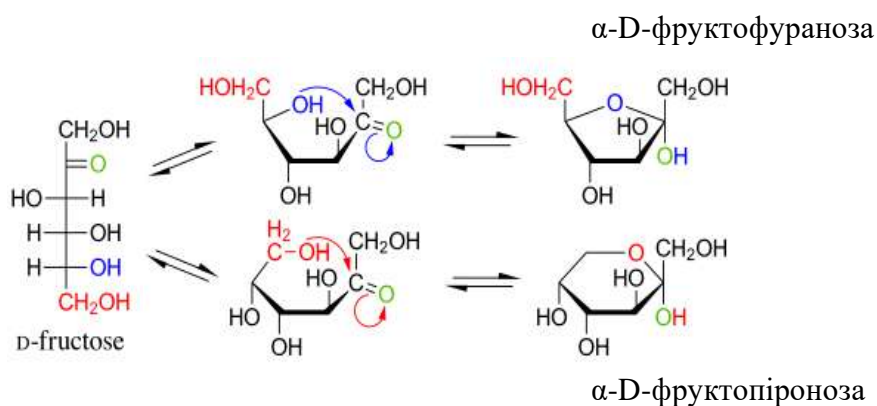
Г л ю к о з а або виноградний цукор належить до альдогексоз. У вільному стані до 17-22% міститься її у винограді та в інших солодких плодах. З неї побудовані полісахариди – крохмаль, глікоген, целюлоза.



При утворенні циклічних форм виникає ще одна пара ізомерів – α - і β -

форми. В проекції Хеуорса для моносахаридів D-ряду β -стереоізомеру відповідає розташування гідрокси-групи над площиною кільця, а α -стереоізомеру – під площиною кільця (для L-ряду – навпаки). Важливе біологічне значення мають α - і β -форми. Наприклад, із α -D-глюкози утворюється крохмаль, а із β -D-глюкози – клітковина.

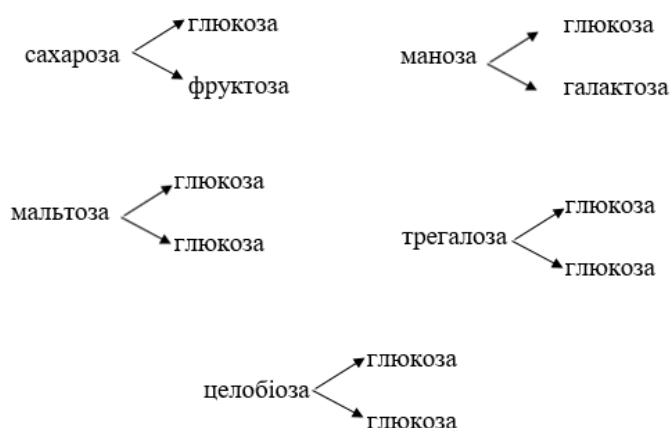
Фруктоза або плодовий цукор, належить до кетогексоз. Досить поширена у природі, входить до складу дисахариду сахарози (бурякового або тростинного цукру). Серед усіх моносахаридів фруктоза найсолодша.



Олігосахариди – це вуглеводи, молекули яких утворюються з двох-шести залишків моносахаридів, які зв'язані між собою глікозидними зв'язками. Серед олігосахаридів найбільше значення мають дисахариди.

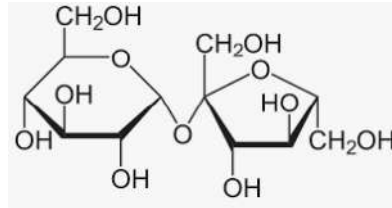
Дисахариди – це складні вуглеводи, молекули яких побудовані з двох молекул моносахаридів. Дисахариди, в молекулах яких глікозидні гідроксильні групи зв'язані, існують лише в циклічній формі і не можуть ізомеризуватися в альдегідну форму. Вони відносяться до *нередукуючих цукрів*. Дисахарид, в молекулі якого зберігається один глікозидний гідроксил, що легко ізомеризується в альдегідну групу, відноситься до *редуючих цукрів*.

Дисахариди можуть бути побудовані з однакових чи різних залишків моносахаридів:



Серед дисахаридів найбільш поширені і мають важливе значення сахароза, лактоза, мальтоза і целобіоза.

Сахароза (буряковий або тростинний цукор) містить залишки глюкози і фруктози, з'єднані глікозидним зв'язком. Як запасний поживний матеріал сахароза зустрічається в зародках насіння багатьох культур, значно поширена в плодах і ягодах.



Полісахариди – це природні високомолекулярні речовини, молекули яких складаються з сотень або тисяч залишків моносахаридів, зв'язаних між собою глікозидними зв'язками, що розщеплюються при гідролізі.

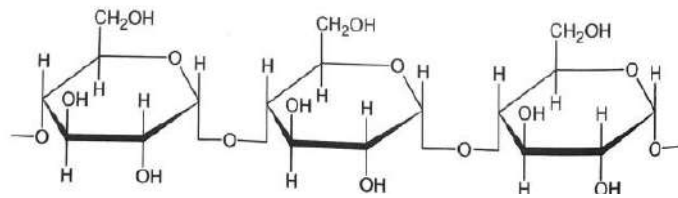
За функцією полісахариди поділяють на структурні (целюлоза, пектинові речовини) і запасні (крохмаль, інулін).

Гомополісахариди – побудовані з залишків однакових моносахаридів. Найважливішими серед них є крохмаль і целюлоза, вони складаються з залишків D(+)-глюкози і відповідають загальній формулі $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Крохмаль – основний запасний полісахарид рослин, відкладається у вигляді крохмальних зерен, які залежно від типу і положення в клітині поділяють на крохмаль *асиміляційний*, *запасний* і *транзиторийний*. Асиміляційний крохмаль використовується рослинами при диханні і біосинтезу інших речовин. Запасний – синтезується і відкладається в насінні, бульбах, цибулинах і в інших органах рослин.

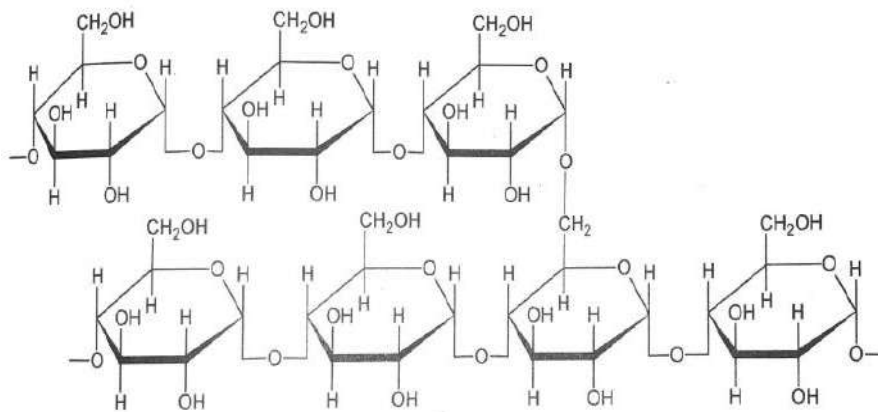
Природний крохмаль є сумішшю двох полісахаридів: амілози (15-25%) і амілопектину (75-85%), їх співвідношення залежить від виду рослин і може змінюватися на протязі вегетації.

Амілоза побудована із залишків α -D(+)-глюкози, зв'язаних між собою глікозидним зв'язком. Одна молекула амілози містить від 100 до кількох тисяч залишків глюкози, які утворюють довгий нерозгалужений ланцюг, закручений у вигляді спіралі.



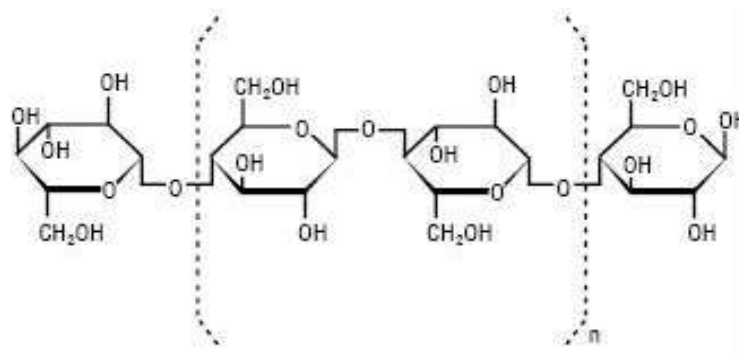
Частина молекули амілози

Амілопектин складається з сильно розгалужених деревоподібних ланцюгів, які містять до 50 тис. залишків α -D(+)-глюкози.



Частина молекули амілопектину

Целюлоза (клітковина) – найбільш поширений структурний полісахариди рослинного світу. Важливі речовини, з якими зв'язана целюлоза в рослинах – лігнін, геміцелюлоза, пектинові речовини. Целюлоза, як і крохмаль – продукт фотосинтезу, виконує в рослинах структурні функції, надаючи їй тканинам механічної міцності і еластичності.



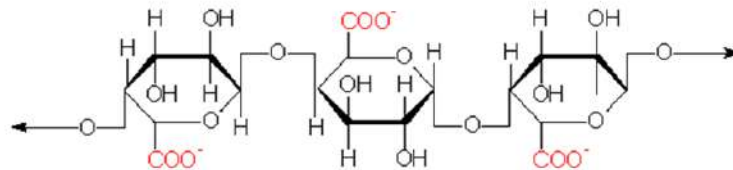
Частина молекули целюлози

Лігнін – за хімічною природою лігнін – тривимірний полімер фенольної природи. Лігнін міститься в здерев'янілих рослинних тканинах поряд з целюлозою та геміцелюлозами. Він інкрустує целюлозні фібрили і тим самим

бере участь в створенні опорних елементів рослинної тканини. Розташований лігнін між мікрофібрилами целюлози і протидіє їх стискуванню.

Гетерополісахариди побудовані з залишків різних моносахаридів. До цієї групи належать геміцелюлози, пектинові сполуки, камеді, слизи та ін.

Пектинові речовини являють собою гетерогенну групу поліцукрів. Їх основними структурними компонентами є α -D-галактуронова кислота, яка є похідною глюкози. Залишки галактуронової кислоти з'єднані (1–4)-глікозидними зв'язками у довгі нерозгалужені ланцюги полігалактуронової (пектинової) кислоти.



Частина молекули пектинової кислоти

Пектини містяться в плодах, коренеплодах, рослинних волокнах. В тканинах деяких рослин вміст пектинових речовин становить 25-30% сухої маси, наприклад, в білій частині шкірки цитрусових.

Твердість недозрілих плодів (яблук, груш) в значній мірі зумовлена наявністю в них великої кількості протопектинів. При дозріванні плодів протопектини руйнується, і продукти розпаду переходять в розчинний стан.

Геміцелюлози (напівклітковина) – група високомолекулярних гетеро полісахаридів рослинного походження. Геміцелюлоза поряд з целюлозою входить в склад клітинних стінок рослин і може частково використовуватися як запасна поживна речовина.

Теоретичні питання

1. Основні функції вуглеводів у рослинних організмах.
2. Класифікація вуглеводів за кількістю мономерів, що входять до складу їх молекул: моносахариди, олігосахариди, полісахариди.
3. Стереоізомерія вуглеводів.
4. Оксикарбонільні форми моносахаридів (проекції Фішера).
5. Циклічні форми моносахаридів (проекції Хеуорса).
6. Таутомерія, мутаротація моносахаридів.
7. Класифікація моносахаридів за кількістю атомів карбону, що

входять до складу їх молекул.

8. Моносахариди: ксилоза, рибоза, арабіноза, глюкоза, фруктоза. Хімічна будова та хімічні властивості моносахаридів.
9. Дисахариди: сахароза, мальтоза. Будова та властивості. Редуктуючі і нередуктуючі цукри.
10. Полісахариди: гомополісахариди (крохмаль, целюлоза), гетерополісахариди (пектинові речовини, геміцелюлоза). Будова, властивості, функції.

Питання для контролю засвоєння теми

1. Визначення поняття вуглеводи.
2. Фізіологічна роль вуглеводів в плодах і овочах.
3. Транспортні форми вуглеводів.
4. Запасні форми вуглеводів.
5. Класифікація вуглеводів за кількістю мономерів, що входять до складу їх молекул.
6. Загальні властивості моноцукрів. Класифікація моноцукрів за кількістю атомів Карбону в молекулі.
7. Стереоізомерія моносахаридів.
8. Циклічні форми моносахаридів, α - і β -форми моносахаридів в проекції Хеуорса.
9. Характеристика окремих представників моносахаридів: глюкози, фруктози, арабінози, ксилози.
10. Сахароза, мальтоза, їх будова та значення.
11. Целюлоза і геміцелюлоза, їх характеристика та значення.
12. Крохмаль, його будова та значення для рослин.
13. Перетворення крохмалю і цукру в бульбах картоплі.
14. Пектинові речовини, їх значення та вміст в плодах і овочах.
15. Обмін вуглеводів під час зберігання плодів і овочів.
16. Синтез та перетворення вуглеводів у рослинах.
17. Перетворення моносахаридів і дисахаридів при дозріванні плодів і овочів.
18. Синтез та розщеплення полісахаридів.
19. Вуглеводний обмін при формуванні плодів та овочів.
20. Які зв'язки формуються між моносахаридними одиницями у складі дисахаридів?
21. Від чого залежить наявність у дисахаридів відновлювальних

властивостей?

22. Які дисахариди належать до невідновлювальних?

Тестові питання

1. Рибоза належить до?
 - а) ліпідів б) білків в) вуглеводів г) нітрогеновмісних основ
2. Яка органічна речовина є джерелом енергії для новонароджених малят ссавців?
 - а) лактоза б) глюкоза в) глікоген г) крохмаль
3. Якщо на зріз сирі картоплини крапнути кілька краплин розчину йоду, то спостерігається утворення синього забарвлення. Наявність якої речовини в картоплині доводить цей дослід?
 - а) воску б) альбуміну в) крохмалю г) нуклеїнової кислоти
4. Який полісахарид входить до складу клітинних стінок деяких грибів, кутикули членистоногих?
 - а) Целюлоза б) крохмаль в) глікоген г) хітин
5. Який вуглевод не розчиняється у воді й не має солодкого смаку?
 - а) глюкоза б) мальтоза в) фруктоза г) целюлоза
6. Від умісту яких вуглеводів залежить солодкий смак меду?
 - а) гексоз б) пентоз в) тріоз г) тетроз
7. Целюлоза та глікоген – це?
 - а) Моносахариди б) дисахариди в) полісахариди г) полінуклеотиди
8. До моносахаридів належить?
 - а) хітин б) рибоза в) сахароза г) крохмаль
9. Із-поміж наведених вуглеводів до моносахаридів належить?
 - а) крохмаль б) фруктоза в) глікоген г) лактоза
10. Дезоксирибоза належить до?
 - а) нітрогеновмісних основ б) вуглеводів в) ліпідів г) білків
11. Який із зазначених вуглеводів виконує запасну функцію в плодах?
 - а) крохмаль б) сахароза в) глікоген г) пектинові речовини.
12. Сахароза – це дисахарид, який складається з ...
 - а) фруктози і глюкози б) глюкози і галактози
 - в) манози і арабінози г) фруктози і галактози
13. Асиміляційний крохмаль використовується рослинами при ...
 - а) диханні б) як запасна речовина
 - в) фотосинтезу г) біосинтезу нуклеїнових кислот
14. До гомополісахаридів належать:
 - а) аміноцукри б) крохмаль в) глюкоза г) геміцелюлоза
15. До складу пектинових речовин не входить:
 - а) крохмаль б) протопектин в) пектати г) пектова кислота.

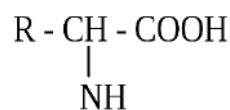
ТЕМА: БІЛКОВІ СПОЛУКИ РОСЛИН. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

Основний зміст

Білки – біополімери, молекули яких побудовані із залишків амінокислот, що з'єднані між собою пептидним зв'язком –CO–NH–. Їх також називають «протеїнами» (від грец. *protos* – перший, найважливіший), це відображає те, що білки становлять структурну і функціональну основу усіх живих організмів.

А м і н о к и с л о т и – органічні сполуки, які одночасно містять у своєму складі аміно- (–NH₂) та карбоксильну (–COOH) групи. До структури білка входить 20 амінокислот, які генетично кодовані, їх називають *протеїногенними амінокислотами*. Усі амінокислоти, які входять до складу білка, синтезуються в рослинних організмах, проте окремі рослинні білки можуть бути неповноцінними за своїм складом. Всі амінокислоти поділяються на 3 групи: незамінні, напівнезамінні і замінні. Для організму дорослої людини повністю *незамінними* є вісім амінокислот: валін, лейцин, ізолейцин, треонін, лізин, метіонін, фенілаланін, триптофан. До *напівнезамінних* належать амінокислоти, які синтезуються в організмі людини в недостатній кількості. Такими амінокислотами є аргінін, тирозин і гістидин. Замінні амінокислоти синтезуються в організмі з цілого ряду органічних сполук, в тому числі з деяких амінокислот.

Загальна формула амінокислот:



Виділені з білків амінокислоти – це безбарвні, кристалічні речовини, переважна більшість яких добре розчинна у воді при звичайній температурі і погано розчинна в органічних розчинниках.

Більшу частину азотвмісних сполук, які містяться в плодах і овочах складають білки, а меншу частину – вільні амінокислоти. Під час зберігання плодів і овочів частини білка розпадаються, в результаті чого збільшується вміст вільних амінокислот. При цьому можуть з'являтися амінокислоти, які в період збирання врожаю були відсутні.

Амінокислотний склад плодів і овочів. Навіть незначні зміни в складі білків і амінокислот можуть серйозно впливати на всі важливі

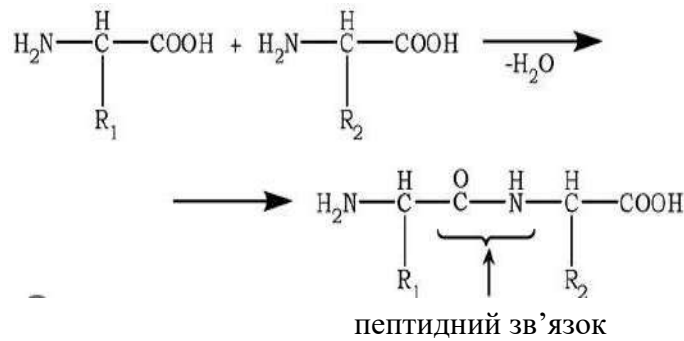
властивості плодів і овочів, а також на якість одержаних з них продуктів як джерела харчування людини. В першу, чергу це стосується картоплі, в зв'язку з порівняно високим її застосуванням.

В паренхімі бульб при їх зберіганні вміст загального азоту майже не змінюється, лише варіюється співвідношення – білковий азот і небілковий азот, в залежності від сорту, умов вирощування і зберігання. В період спокою вільних амінокислот багато, але вміст білка знижується, після закінчення періоду спокою спостерігається інтенсивний синтез білка і зменшення кількості небілкових сполук, з початком активного росту проходить інтенсивний гідроліз білка, амінокислоти, які утворилися рухаються до точок росту.

Під час зберігання картоплі за рахунок розщеплення білків накопичується невелика кількість тирозину, що є однією із причин почорніння серцевини. Молекула тирозину містить в собі властивості фенолу і амінокислоти і є субстратом для поліфенолоксидази. Первинним продуктом окислення тирозину поліфенолоксидазою є диоксифенілаланін, який при наступних перетвореннях дає продукт конденсації чорного кольорі, який називається меланіном. Присутність цих речовин і викликає почорніння тканин картоплі.

Ф у н к ц і ї б і л к і в. *Структурна функція* – участь в утворенні структурної основи клітин і їх органел – мембранних структур. *Каталітична функція* - усі ферменти – біологічні каталізатори мають білкову природу. *Гормональна функція.* Значна кількість гормонів є білками або продуктами білкового обміну; вони беруть активну участь в регуляції обміну, впливають на проникність клітинних мембран, регулюють активність ферментів, діють на процеси трансляції і транскрипції. *Захисна функція* здійснюється в основному за участю білків γ -глобулінів, з якими пов'язані імунні реакції організму. Антитіла, які утворюються в організмі при несприятливій дії на нього різних факторів мають білкову природу. *Транспортна функція* – транспорт різних груп ліпідів і жиророзчинних вітамінів до різних органів і тканин здійснюється за участю складних ліпідів – ліпопротеїдів. *Механічна функція* – беруть участь в забезпеченні різних форм механічного руху – скороченні і розслабленні м'язів, роботі внутрішніх органів – серця, легень, шлунка і т. д. *Енергетична функція* – є важливим джерелом енергії для організму; за рахунок білків організм людини одержує 10-15% енергії.

Хімічна будова і властивості білків. Амінокислотні залишки з'єднуються в білкових молекулах за допомогою *пептидних зв'язків*, які утворюються внаслідок взаємодії карбоксильної групи однієї амінокислоти з аміногрупою другої амінокислоти. Сполуки, які при цьому утворюються, називаються пептидами. Схема утворення дипептида:

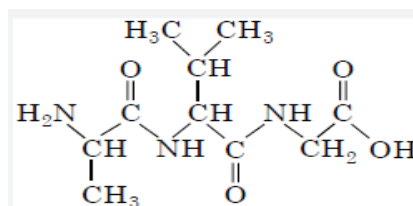


В залежності від кількості залишків амінокислот, які беруть участь в реакції поліконденсації, утворені сполуки мають назву *ди-, три-, тетра-* або поліпептидів.

В молекулах білків крім пептидних зв'язків можливо утворення дисульфідних, а також водневих, іонних і гідрофобних зв'язків.

Структура білків. *Первинна структура білка* – це певна послідовність залишків амінокислот в поліпептидних ланцюгах молекул білка. Вона специфічна для кожного білка і визначається генетичною інформацією.

Вторинна структура білка – це просторова форма, якої набувають окремі ділянки поліпептидного ланцюга, внаслідок просторової взаємодії амінокислотних радикалів, що розташовані в безпосередній близькості один від другого, завдяки чому досягається їх енергетично вигідне взаємне розміщення. При цьому кожний амінокислотний залишок з'єднується 2 водневими зв'язками з кожним четвертим залишком амінокислот по ходу спіралі. α -Спіраль має вигляд стержня, туго закрученого поліпептидного хребта, утвореного $-\text{N}-\text{C}-\text{C}-$ фрагментами, який оточений з усіх сторін амінокислотними радикалами.



Третинна структура білка – просторова форма, якої набуває один або кілька з'єднаних поліпептидних ланцюгів даної білкової молекули, внаслідок взаємного укладання одних ділянок ланцюга відносно інших ланцюгів і набуває форму сфероїда. Основними типами зв'язку у третинній структурі є іонний, водневий, гідрофобний і ковалентний зв'язки.

Четвертинна структура білка – чітко фіксоване взаємне просторове розміщення окремих протомерів в молекулі мультимеру, завдяки чому білок володіє тією чи іншою біологічною активністю, підтримується іонними, дисульфідними зв'язками.

К л а с и ф і к а ц і я б і л к і в. За фізико-хімічними властивостями та хімічним складом білки поділяються на дві групи – прості (протеїни) і складні (протеїди). *Протеїни* – це прості білки, до складу яких входять лише залишки амінокислот. *Протеїди* – це складні білки, молекули яких, крім залишків амінокислот містять ще й інші компоненти – простетичні групи.

Прості білки поділяють на альбуміни, глобуліни, протаміни, гістони, проламіни, глутеліни і протеїноїди.

Альбуміни виконують важливу роль у транспорті різних речовин, зокрема тих, які погано розчиняються у воді; дуже розповсюджені у рослинних і тваринних організмах.

Глобуліни – велика їх кількість входить до складу зерна злаків, насіння соняшника, льону, бавовнику та бобових рослин. На відміну від альбумінів, глобуліни у концентрованих розчинах нейтральних солей не розчиняються.

Протаміни – це група простих білків з характерними складом амінокислот. Ці білки добре розчиняються у воді і не осаджуються при кип'ятінні.

Гістони – відіграють важливу роль у процесах синтезу білків, оскільки вони входять до складу дезоксирибонуклеотидів ядра.

Проламіни – входять до складу насіння злакових культур. Для проламінів характерним є те, що вони зовсім не містять лізину.

Глутеліни – в значній кількості містяться в зелених частинах рослин та насінні. Характерною особливістю є те, що до їх складу входить велика кількість глютамінової кислоти і лізину. Вони погано розчинні у воді і добре розчинні в розбавлених розчинах лугів.

Складні білки (протеїди) залежно від хімічної природи простетичної групи поділяють на нуклеопротеїди, хромопротеїди, металопротеїди, глікопротеїди, фосфопротеїди, ліпопротеїди.

Нуклеопротеїди – це складні білки, протетичною групою яких є

нуклеїнова кислота (НК). З нуклеопротеїдами пов'язані процеси росту, розвитку, розмноження, передачі спадкових ознак, біосинтезу білка. Особливе місце належить НК.

Глікопротеїди – містять у складі простетичної групи залишки вуглеводів та їх похідні. Ця група білків досить різноманітна за структурою і складом вуглеводневих компонентів, які входять до складу олігосахаридної частини їх молекул.

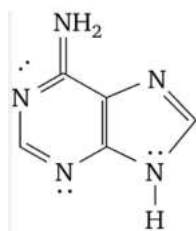
Металопротеїди – до складу простетичної групи яких входять залізо, мідь, кобальт, цинк та інші елементи. До їх групи належить велика кількість ферментів, які каталізують різні біохімічні процеси в організмі.

Фосфопротеїди – у складі простетичної групи містять залишки ортофосфорної кислоти, зв'язані з білковою частиною естерним зв'язком. До фосфопротеїдів належить велика кількість білків організму, які виконують важливі функції, входять до складу тканин, які забезпечують ріст і розвиток організму, приймають участь в обмінних процесах.

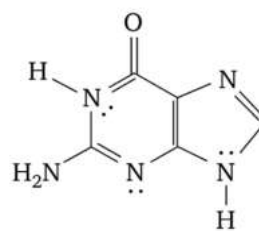
Ліпопротеїди – до складу простетичної групи входять ліпіди та їх похідні. Вони є основою біологічних мембран і різних органів клітин.

Будова і властивості нуклеїнових кислот. Нуклеїнові кислоти є високомолекулярними сполуками, які побудовані з великої кількості структурних одиниць, які називаються *нуклеотидами*.

Нуклеотиди – це трикомпонентні сполуки, які складаються з азотистої основи (пуринових або піримідинових основ), моносахариду (рибози або дезоксирибози) і залишку ортофосфатної кислоти. З пуринових основ до складу нуклеотидів входить в основному аденін і гуанін.



Аденін

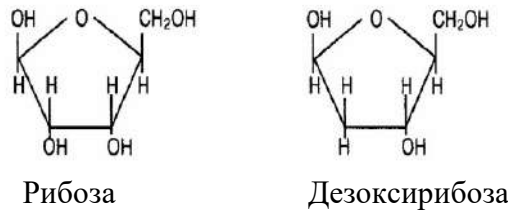


Гуанін

З піримідинових основ у складі нуклеотидів виявлені переважно урацил, тимін і цитозин.



Із вуглеводних компонентів пентоз – до складу нуклеотидів входять рибоза або дезоксирибоза.



Сполука, що складається із залишку азотистої основи та цукру рибози або дезоксирибози називається *нуклеозидом*. У нуклеозидах пуринові або піримідинові основи зв'язуються з рибозою або дезоксирибозою *N*-глікозидним зв'язком.

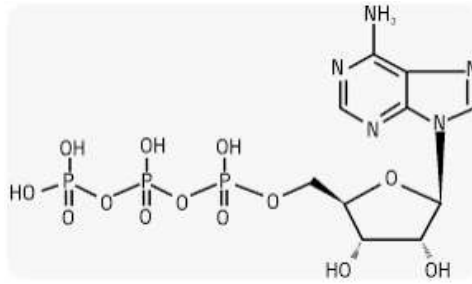
Нуклеотіди є естерами нуклеозидів, де залишок фосфорної (фосфатної) кислоти зв'язаний з рибозним залишком у положеннях С-3 чи С-5. Синонім — *нуклеозидфосфати*.



Будова нуклеїнової кислоти

Назва нуклеотидів походить від назви основ, що входять до їх складу, або від назви нуклеозиду. Так, наприклад, якщо нуклеотид містить азотисту основу аденін, то він називається *аденозинмонофосфорною кислотою* (АМФ) або *аденозинмонофосфат*.

Аденозинмонофосфорна кислота, може приєднувати до залишку ортофосфорної (фосфатної) кислоти ще один або два таких залишки, утворюючи при цьому *аденозиндифосфорну кислоту* (АДФ) або *аденозинтрифосфорну кислоту* (АТФ), яка бере участь в енергетичному організмі і є однією з основних макроергічних сполук.



Аденозинтрифосфорна кислота (АТФ)

Нуклеотиди, до складу яких входить рибоза, називаються *рибонуклеотидами*, дезоксирибоза – *дезоксирибонуклеотидами*. До складу АМФ, АДФ, АТФ входить рибоза.

Нуклеїнові кислоти поділяють на дві групи: *рибонуклеїнові кислоти* (РНК) і *дезоксирибонуклеїнові кислоти* (ДНК). Рибонуклеїнові кислоти містять вуглеводний компонент рибозу і азотисті основи (аденін, гуанін, урацил і цитозин), а також залишок фосфорної кислоти. До складу дезоксирибонуклеотидів входять нуклеотиди, у яких вуглеводний компонент дезоксирибоза та азотисті основи – аденін, гуанін, цитозин і замість урацилу – тимін).

ДНК є основним генетичним матеріалом живих систем. В організмах вони сконцентровані в ядрах клітин, невелика їх кількість міститься в мітохондріях. Характерною ознакою ДНК є висока її молекулярна маса. Для ДНК, як і для білків, властиві кілька рівнів структур: первинна, вторинна і третинна.

Первинна структура – це порядок розміщення нуклеотидів у нуклеотидних ланцюгах ДНК. Загальні закономірності, що лежать в основі будови різних видів ДНК як правило Чаргаффа:

- 1) Молекулярна маса пуринових основ = молекулярній масі піримідинових основ.
- 2) Молекулярний вміст аденіну дорівнює молекулярному вмісту тиміну, тобто $A = T$.
- 3) Молекулярний вміст гуаніну дорівнює молекулярному вмісту цитозин $G = C$.

Вторинна структура – просторова конфігурація полінуклеотидних ланцюгів. Відповідно до моделі Уотсона і Кріка молекула ДНК – це подвійна спіраль, вона складається, з двох полінуклеотидних ланцюгів, які закручені правильними витками навколо однієї спіральної осі.

Третинна структура ДНК – лінійні двохланцюгові або кільцеві форми ДНК можуть бути зорієнтовані у просторі з утворенням спіралізованих і суперспіралізованих форм.

РНК виявлені майже в усіх клітинних фракціях. Найбільша кількість РНК зосереджена в рибонуклеопротейдних частинах – рибосомах (майже 80% загальної кількості РНК). Взагалі, основна маса клітин РНК міститься в цитоплазмі і лише 10-20% - в ядрі. Рибонуклеїнові кислоти залежно від функцій, молекулярної маси і локалізації в клітині поділяють на такі основні групи:

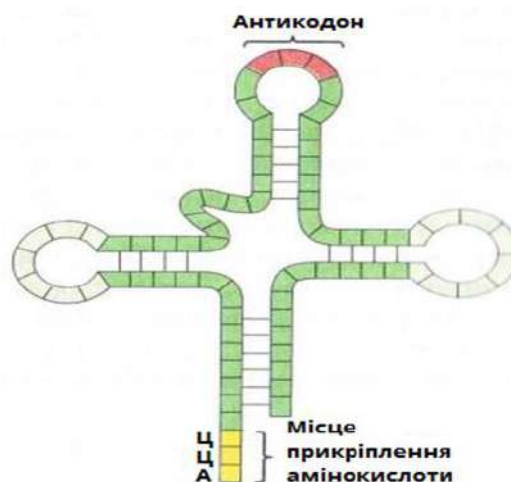
Інформаційна або матрична РНК (іРНК або мРНК); становлять близько 5% всієї клітинної РНК. Кожна молекула РНК під час синтезу в ядрі одержує інформацію у формі скопійованої послідовності азотистих основ і переносить її на рибосоми, де вона реалізується при біосинтезі білка. Кожний білок, який синтезується в клітині кодується специфічною мРНК. мРНК завжди з'єднується іонними зв'язками з білком і утворює рибонуклеопротейдні частинки.

Рибосомні РНК (рРНК). синтезуються у ядрі, входять до складу рибосом. Вони беруть участь у формуванні активного центру рибосоми, де відбувається процес біосинтезу білка. рРНК складають приблизно 85% усіх РНК клітини. рРНК разом з білками забезпечують певне розташування іРНК і тРНК під час синтезу білкової молекули.

Транспортні РНК (тРНК) утворюються в ядрі на ДНК, потім переходять у цитоплазму. Локалізовані в основному в гіалоплазмі, ядерному соку і в безструктурній частині мітохондрій та хлоропластів Вони складають близько 10-15% клітинної РНК і є невеликими за розміром (складаються з 70-90 нуклеотидів). Основна функція тРНК є транспортування амінокислоти до місця синтезу білка на рибосомі. Для перенесення кожного виду амінокислот до рибосоми потрібен окремий вид тРНК. Будова усіх тРНК є подібною. Їх молекули утворюють своєрідні структури, що нагадують за формою лист конюшини.

Типи РНК розрізняються за триплетами нуклеотидів, розташованому «на верхівці». Цей триплет (антикодон) за генетичним кодом є комплементарним кодону іРНК, що кодує відповідну амінокислоту. Кількість різних тРНК у клітині повинна дорівнювати, як мінімум, кількості амінокислот. Амінокислота прикріплюється спеціальним ферментом до «черешка листа» і транспортується в активний центр рибосоми.

Кожен тип тРНК є високо специфічним, переносить тільки конкретну амінокислоту. Таким чином, різні типи РНК являють собою єдину функціональну систему, спрямовану на реалізацію спадкової інформації через синтез білка.



Первинна структура РНК – послідовність чергування залишків відповідних нуклеотидів в ланцюгах. *Вторинна структура РНК* – РНК побудовано з одного полінуклеотидного ланцюга, для якого властива своєрідна спіралізація. *Третинна структура РНК* – макромолекули високо полімеризованої РНК змінюють свій стан і третинну структуру залежно від умов середовища (температури, іонної сили, рН). При кімнатній температурі і в умовах низької іонної сили РНК має форму палички, з підвищенням іонної сили РНК набуває форму компактного клубка; у безсольовому середовищі і при високій іонній силі РНК має форму випрямленої нитки.

Теоретичні питання

1. Амінокислоти. Загальна формула амінокислот, утворення пептидних зв'язків
2. Фізико-хімічні властивості амінокислот.
3. Класифікація протеїногенних амінокислот за будовою.
4. Незамінні, напівзамінні і замінні амінокислоти, їх характеристика та значення.
5. Біологічна роль окремих амінокислот.
6. Амінокислотний склад плодів та овочів.
7. Білки, їх склад. Поліпептидна будова білків.
8. Рівні структурної організації білкових молекул.
9. Амфотерні властивості білків. Розчинність білків. Денатурація білків.
10. Класифікація й характеристика білків (прості й складні білки). Біологічна цінність білків.
11. Нуклеїнові кислоти. Їх склад та будова. Пуринові основи (аденін, гуанін). Піримідинові основи (тімін, цитозин, урацил).
12. Мононуклеозиди, мононуклеотиди (особливості будови).

13. Первинна, вторинна, третинна структура дезоксирибонуклеїнових кислот (ДНК). правило Чаргаффа. Модель подвійної спіралі ДНК.
14. Роль ДНК.
15. Фізико-хімічні властивості ДНК.
16. Структура та функції РНК. Типи РНК. Поняття про антикодон.
17. Макроергічна сполука – аденозинтрифосфорна кислота (АТФ).

Питання для контролю засвоєння теми

1. Амінокислоти, їх фізичні та хімічні властивості.
2. Характеристика замінних, незамінних і на пів замінних амінокислот.
3. Амінокислотний склад плодів і овочів.
4. Визначення поняття білка, його будова та елементарний склад.
5. Класифікація та функції білків.
6. Прості білки, їх представники.
7. Складні білки, їх представники.
8. Первинна структура організації білків.
9. Вторинна структура організації білків.
10. Третинна і четвертинна структура.
11. Нуклеїнові кислоти, їх будова та функції.
12. Дезоксирибонуклеїнові кислоти (ДНК), їх будова та функції.
13. Рибонуклеїнові кислоти (РНК), їх будова та функції.
14. Транспортні РНК, їх функції.
15. Інформаційні (матричні) РНК, їх характеристика та функції.
16. Характеристика та функції рибосомних РНК.

Тестові питання

1. Яка загальна формула амінокислот?

а) $R - COOH$	б) $NH - COOH$
NH_2	R
в) $NH_2 - COOH$	г) $NH_2 - CH - COOH$
R	R
2. Скільки амінокислот входять до складу білка?

а) 19 б) 20 в) 22 г) 24
3. Яка амінокислота містить сірку?

а) метіонін б) фенілаланін в) гістидин г) триптофан
4. До ароматичних належать така амінокислоти ...

а) гістидин б) фенілаланін в) треонін г) триптофан
5. Амінокислоти в молекулі білка з'єднуються за допомогою ... зв'язків

- а) іонних б) ковалентних в) пептидних г) водневих
6. Специфічність білка закладається при ...
- а) утворенні пептидних зв'язків б) формуванні первинної структури
в) формуванні вторинної структури г) формуванні третинної структури
7. Який тип зв'язку характерний для утворення II структури білка?
- а) іонний б) гідрофобний в) водневий г) дисульфідний
8. До складу нуклеїнових кислот із зазначених вуглеводів входять...
- а) тетрози б) гексози в) пентози г) гептози
9. До складу нуклеотиду входять ...
- а) азотисті основи б) вітаміни
в) залишки спиртів г) органічні кислоти
10. Рибосомальна РНК виконує функцію ...
- а) зберігання спадкової інформації б) передачу спадкової інформації
в) транспортну г) будівельну
11. При утворенні II структури ДНК ...
- а) аденін з'єднується 3 водневими зв'язками з тиміном
б) аденін з'єднується 2 водневими зв'язками з урацилом
в) гуанін з'єднується 3 водневими зв'язками з аденіном
г) аденін з'єднується 2 водневими зв'язками з тиміном
12. В цитоплазмі клітини знаходиться т-РНК ...
- а) 22 б) 40 в) 20 г) 60
13. Місце синтезу матричної РНК у клітині ...
- а) цитоплазма б) ядро в) рибосоми г) вакуоля
14. Локалізація т-РНК у клітині в ...
- а) мітохондріях б) цитоплазмі в) рибосомах г) ендоплазматичній сітці
15. Інформаційна РНК несе інформацію про...
- а) біосинтез амідів б) послідовність амінокислот у молекулі білка
в) біосинтез амінокислот г) вуглеводи

ТЕМА: ЛІПІДИ І СПОРІДНЕНІ ЇМ СПОЛУКИ

Основний зміст

Ліпіди (жири і жироподібні речовини) разом з білками і вуглеводами становлять основну масу органічних речовин організму. *Ліпіди* об'єднують велику групу різних за хімічною природою органічних речовин (жирні кислоти, воски, фосфоліпіди, стероїди та ін.), проте мають деякі спільні фізико-хімічні властивості, зокрема, нерозчинність у воді і здатність добре розчинятися в органічних розчинниках – спирті, діетиловому етері, хлороформі, гексані, бензені та ін.

За хімічним складом та фізико-хімічними властивостями ліпіди поділяють на три групи: *прості ліпіди, складні ліпіди, похідні ліпідів*.

До простих ліпідів відносять ліпіди, які побудовані з залишків спиртів і вищих жирних кислот. Найпоширенішими представниками з цієї групи ліпідів є нейтральні жири (гліцериди), стерини і воски.

Складні ліпіди містять, крім спиртів і вищих жирних кислот, залишки ортофосфорної або сірчаної кислоти, азотисті речовини, вуглеводи та деякі інші компоненти. Основними представниками цієї групи є фосфоліпіди, гліколіпіди.

До групи похідних ліпідів відносять каротини, окремі жиророзчинні вітаміни, жирні кислоти, вищі спирти.

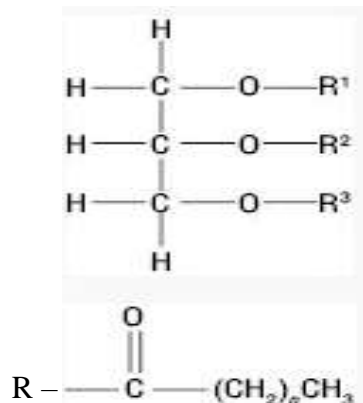
Функції. Жири і ліпіди, які знаходяться в рослинах, можуть знаходитися в них у вигляді запасного жиру або являтися структурними компонентами цитоплазми клітини. *Запасний жир* відкладається в відповідних органах рослин, найчастіше в насінні і використовується потім в ролі енергетичного матеріалу. Він є найкращим з енергетичної сторони запасним поживним матеріалом, при його окисленні виділяється приблизно в 2 рази більше енергії, ніж при окисленні вуглеводів або білків. При окисленні 1 г жиру виділяється біля 38 кДж енергії, а при окисленні 1 г вуглеводів або білків – приблизно 20 кДж. Тому жири являють

Цитоплазматичні ліпіди являють собою основну частину клітин і містяться в них в постійних кількостях. Кількість цитоплазматичних ліпідів в листках, стеблах і плодах складає 0,1-0,5% від маси сирової тканини. Із ліпідів і їх сполук з білками, які називаються *ліпопротеїдами*, побудовані мембранні комплекси клітин, мітохондрії, пластиди, ядро. Завдяки такій будові мембран регулюється проникність клітин.

Воски, які знаходяться на поверхні листків і стебел рослин,

виконують захисну функцію.

Будова і склад жирів. За хімічною будовою, жири – суміш складних ефірів (естерів) триатомного спирта гліцерина і вищих жирних кислот:



де R¹, R², R³ – радикали високомолекулярних жирних кислот

Жирні кислоти – аліфатичні нерозгалужені карбонові кислоти (C₄-C₂₆). Вищі жирні кислоти містять більше 12 атомів Карбону. Складні ефіри гліцерину і жирних кислот називають *ацилгліцеринами* (*ацилгліцерилами*). Але якщо всі три спиртові групи гліцерину сполучити ефірними зв'язками з залишками жирних кислот, то таку сполуку називають триацилгліцирином. Основна частина природних жирів представлена різними триацилгліцеридами.

Найчастіше в складі рослинних жирів присутні ненасичені кислоти – олеїнова (C₁₈H₃₄O₂), лінолева (C₁₈H₃₂O₂), ліноленова (C₁₈H₃₀O₂); насичені кислоти – пальмітинова (C₁₆H₃₂O₂), стеаринова (C₁₈H₃₆O₂) і лауринова (C₁₂H₂₄O₂). Олеїнова і лінолева кислоти в сумі складають більше 60% всіх жирних кислот, які входять в склад більшості рослинних масел.

Лінолева і ліноленова кислоти в великій кількості містяться в рослинних маслах. Оскільки в організмі людини і тварин вони синтезуватися не можуть, то вони повинні надходити з продуктами харчування. Відомо, що лише дві жирні кислоти є незамінними для людини: альфа-ліноленова кислота (жирна кислота омега-3) і лінолева кислота (жирна кислота омега-6). Їх ще називають вітаміном F.

Природні жирні кислоти з довгим вуглеводневим ланцюгом майже нерозчинні у воді, але їх натрієві або калієві солі, які називаються милами, у воді утворюють міцели, які стабілізуються за рахунок гідрофобних взаємодій.

Рослинні олії, які одержують із насіння, не є чистими триацилгліцеридами, вони містять 95-98% ацилгліциринів, 1-2% вільних

жирних кислот, до 1-2% фосфогліцеринів, 0,5% стероїдів, а також каротиноїди і вітаміни. Більшість рослинних жирів має жовтий колір завдяки наявності в них каротиноїдів, конопляне масло має зелене забарвлення, завдяки наявності в своєму складі хлорофілу. Близькі між собою види рослин мають подібний склад олій, однак, вміст жирних кислот в них залежить також від умов вирощування рослин.

Властивості жирів. Основними константами, які характеризують властивості жирів є температура плавлення, кислотне число, число омилення і йодне число.

Температура плавлення Якщо в жирі більше насичених жирних кислот – пальмітинової, стеаринової, міристинової, що мають високу температуру плавлення, то вони будуть твердими при звичайній температурі. Якщо ж переважають ненасичені кислоти, особливо лінолева і ліноленова, то вони матимуть рідку консистенцію. Більшість рослинних жирів при звичайній температурі рідкі.

Кислотне число – це кількість міліграмів гідроксиду калію, необхідного для нейтралізації вільних жирних кислот, яка міститься в 1 г жиру. Зазвичай жирні кислоти містять незначну кількість вільних жирних кислот. Однак, при зберіганні і в процесі проростання насіння їх кількість може збільшуватися.

Число омилення – це кількість міліграмів калій гідроксиду, необхідного для нейтралізації вільних і зв'язаних у вигляді ацилгліцеринів жирних кислот, які знаходяться в 1 г жиру. Число омилення характеризує середню величину молекулярної маси ацилгліцеринів, які входять в склад жиру.

Йодне число – це кількість грамів галогену (в перерахунку на йод), яке може сполучитися з 100 г жиру. Чим більше йодне число, тим більш рідкіші жири і тим швидше вони можуть окислитися.

При дії ферменту ліпази відбувається 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.

При зберіганні під дією кисню повітря жири також гіркнуть внаслідок їх окислення, яке відбувається в результаті сполучення кисню за місцем подвійного зв'язку з утворенням перекисей. Ці перекисі розкладаються з утворенням альдегідів і кетонів, які надають неприємного смаку і запаху.

Під дією кисню проходить також висихання жирів, яке заключається в їх окисленні з утворенням води, вуглекислоти, альдегідів і низькомолекулярних кислот. Жир, який окислився поступово загусає і покривається тонкою еластичною плівкою.

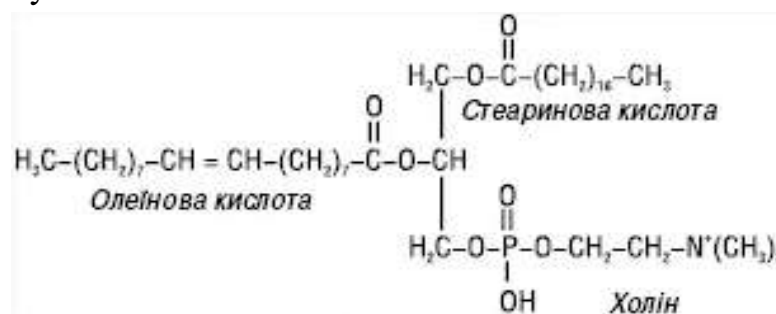
Для виготовлення маргарину і кулінарних жирів жиропереробна промисловість проводить гідрогенізацію рідких рослинних жирів, завдяки чому вони переходять в твердий стан.

Фосфоліпиди і воски відносяться до складних ліпідів. Вони мають дуже важливе значення в життєдіяльності організму: беруть безпосередню участь у побудові клітинних структур і в біохімічних процесах. Їх часто називають *ліпоїдами*, вони належать до цитоплазматичних ліпідів.

Ф о с ф о л і п і д и (або фосфатиди) – складні ліпиди, що містять в своєму складі багатоатомний спирт, залишок фосфорної кислоти та залишки жирних кислот. Вони входять до складу ліпопротеїнів мембран, обумовлюючи пластичні та текучі властивості клітинних мембран та мембранних органоїдів, беруть участь у транспорті поживних речовин до клітини.

Важливими представниками *гліцерофосфоліпідів* є фосфатидилхоліни, фосфатидилетаноламіни, фосфатидилсерини, фосфатидилінозити.

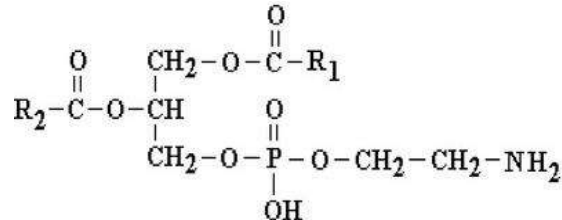
Ф о с ф а т и д и л х о л і н и (лецитин) містять холін – сильну основу, яка легко розчиняється в воді і спирті. Холін приєднується через фосфорну кислоту до третього вуглецевого атома гліцерину. Найбільш часто в склад фосфатидилхолінів входить пальмітинова, лінолева і олеїнова кислоти. Ненасичені жирні кислоти приєднуються до другого вуглецевого атому гліцерину.



L- α -Фосфатидилхолін (лецитин)

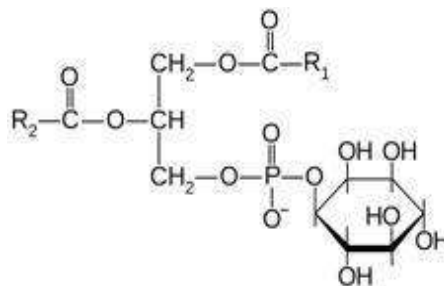
Фосфатидилхоліни одні з найпоширеніших молекул клітинних мембран. Вони широко представлені в клітинах різних тканин, вони виконують як метаболічні, так і структурні функції в мембранах.

Фосфатидилетаноламіни – гліцерофосфоліпіди, що є найбільш поширеними у рослинах. Вони містять залишок етаноламіну ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) і ортофосфорної кислоти, які приєднуються до третього атому Карбону гліцеролу за допомогою естерних зв'язків:



Всі фосфатидилетаноламіни розрізняються між собою по залишкам жирних кислот. Найчастіше в їх склад входять пальмітинова, стеаринова, олеїнова і ліолева кислоти. Ненасичені кислоти приєднуються завжди до другого вуглецевого атому гліцерину (гліцеролу).

Фосфатидилсерини – гліцерофосфоліпіди, в складі яких міститься шестиатомний циклічний спирт інозит. Загальна формула фосфатидилсеринів:



Інозитол

Фосфатидилінозит

Фосфатидилсерини поширені на внутрішній стороні плазматичної мембрани багатьох еукаріотів і прокаріотів. Фосфатидилінозит є субстратом для безлічі різноманітних сигнальних молекул-кіназ (кінази (фосфотрансферази) – ферменти, що каталізують перенесення фосфатної групи від молекули аденозинтрифосфату (АТФ) на різні субстрати), які можуть приєднати до інозиту фосфатну групу. Три з п'яти вільних гідроксильних груп інозитольного кільця у положеннях 3, 4 та 5 можуть бути фосфорильовані під дією таких кіназ.

Воски – це складні ефіри вищих спиртів і вищих жирних кислот. За фізико-хімічними властивостями воски близькі до жирів. Вони більш

стійкіші проти дії світла, окислювачів, нагрівання, важче піддаються гідролізу. Природні воски, крім складних ефірів, містять певну кількість вільних вищих спиртів (C_{22} - C_{32}) і вищих жирних кислот (C_{24} - C_{36}), а також невелику кількість вуглеводів, барвників та пахучих речовин. Загальна кількість цих домішок може досягати 50%. Представником рослинних восків може бути прюїн, карнаубський віск. Рослинні воски відіграють важливу захисну роль, покриваючи листя і плоди тонким шаром.

Дуже близько до восків стоїть к у т и н, який просочує зовнішню кулю епідермісу листя і молодих почок, утворюючи кутикули, а також с у б е р и н – речовину коркової тканини в корі деяких рослин. За хімічним складом кутин є різновидом восків, але утворений жирними кислотами з нижчою молекулярною масою (C_{16} - C_{18}), які представлені здебільшого гідроксигирними кислотами. Утримується він у рослинах у невеликій кількості (до 3,5%), головним чином у листі, шкірочці плодів і корових частин.

Суберин – це полімер довголанцюгових жирних кислот та їх спиртів (C_{18} - C_{30}), дикарбонових кислот (C_{14} - C_{20}) та фенілпропаноїдів. Кутин і суберин дуже стійкі до дії гідролізуючих агентів та мікроорганізмів.

Теоретичні питання

1. Ліпіди, визначення і коротка характеристика.
2. Поділ ліпідів на групи: прості, складні і похідні ліпідів.
3. Група простих ліпідів – жири. Загальна будова і склад жирів, їх властивості.
4. Складні жири, їх будова та значення.
5. Вміст жирів в деяких плодах і овочах, їх значення.
6. Воски, їх склад та значення для рослин. Вміст воску в насінні та деяких рослинах. Значення воскового напливу для рослин.
7. Кутин та суберин. Хімічна природа, значення для рослин.

Питання для контролю засвоєння теми

1. Визначення та характеристика ліпідів.
2. Загальна будова, склад та властивості простих жирів.
3. Складні жири, їх будова та значення.
4. Вміст жирів та їх значення.
5. Значення воскового напливу для рослини.

Тестові питання

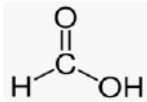
1. Які основні принципи класифікації ліпідів?
 - а) нерозчинність у воді
 - б) за будовою
 - в) здатністю розчинятися в органічних розчинниках
 - г) за кількістю атомів вуглецю
2. До цитоплазматичних ліпідів відносять ...
 - а) прості ліпіди
 - б) воски
 - в) складні ліпіди
 - г) похідні ліпідів
3. Захисну функцію в рослинах виконують:
 - а) ненасичені жирні кислоти
 - б) насичені жирні кислоти
 - в) воски
 - г) стерини
4. До ненасичених жирних кислот належать такі кислоти ...
 - а) пальмітинова
 - б) олеїнова
 - в) стеаринова
 - г) лауринова
5. Якщо в складі триацилгліцеридів переважають ненасичені жирні кислоти, то такі жири мають ...
 - а) рідку консистенцію
 - б) високу температуру плавлення
 - в) низьку температуру плавлення
 - г) тверду консистенцію
6. До групи складних ліпідів належать ...
 - а) нейтральні жири
 - б) воски
 - в) фосфоліпіди
 - г) вищі спирти
7. Висихання жирів заключається в їх окисненні з утворенням ...
 - а) кетонів
 - б) альдегідів
 - в) гліцерину
 - г) органічних кислот
8. До насичених жирних кислот належать:
 - а) олеїнова
 - б) лінолева
 - в) лауринова
 - г) ліноленова
9. Які речовини називаються ліпідами?
 - а) вуглеводи
 - б) жири
 - в) жироподібні речовини
 - г) жиророзчинні вітаміни
10. Яку функцію в рослинах виконують ліпіди?
 - а) є складовими частинами провідних тканин
 - б) приймають участь у білковому обміні
 - в) є важливим джерелом енергії
 - г) виконують каталітичну функцію
11. Загальна формула жирів така ...

а) CH_2OCOR_1	б) CHOCOR_1
CHOCOR_2	CH_2OCOR_2
CH_2OCOR_3	CHOCOR_3
в) CH_2OCOR	г) CH_2OCOR
CHOCOR_1	CH_2OCOR
CH_2OCOR_2	CH_2OCOR
12. Яка із зазначених речовин є жиророзчинною?
 - а) фосфопротеїди
 - б) глікопротеїди
 - в) металопротеїди
 - г) ліпопротеїди
13. Рослинні жири відрізняються від тваринних ...
 - а) кислотним числом
 - б) числом омилення
 - в) йодним числом
 - г) температурою плавлення
14. Що собою являють ліпіди?
 - а) кислоти
 - б) спирти
 - в) кетони
 - г) складні ефіри

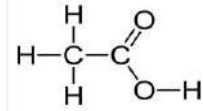
ТЕМА: ОРГАНІЧНІ КИСЛОТИ, ВІТАМІНИ, ФЕРМЕНТИ

Основний зміст

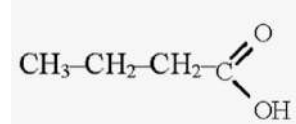
Органічні кислоти. Органічні кислоти, у відповідності до числа карбоксильних груп поділяються на монокарбонові (одноосновні), дикарбонові (двохосновні) і трикарбонові (трьохосновні). Відповідно до додаткових функціональних груп розрізняють оксикислоти (винна, яблучна, лимонна, хінна і ін.), кетокислоти (піровиноградна, щавлевооцтова кислота, α -кетоглутарова кислота та ін.), амінокислоти і фенолкарбонові кислоти. Нижче наведені органічні кислоти аліфатичного ряду, що є найбільш поширеними в рослинах.



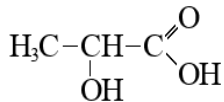
Мурашина кислота



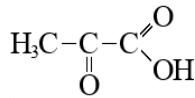
Оцтова кислота



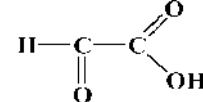
Масляна кислота



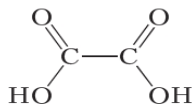
Молочна кислота



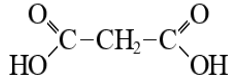
Піровиноградна кислота



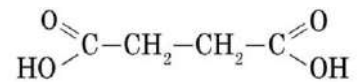
Гліоксалева кислота



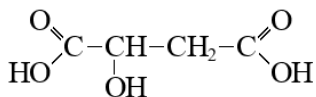
Щавлева кислота



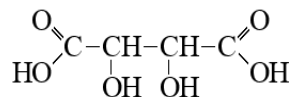
Малонова кислота



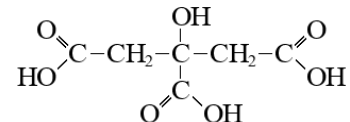
Янтарна кислота



Яблучна кислота



Винна кислота



Лимонна кислота

Мурашина кислота являє собою рухому рідину з різким запахом. Знайдена в кропиві, малині, в складі естерів міститься в яблуках.

Оцтова кислота зустрічається в різних плодах і рослинних соках. В зерні пшениці і кукурудзи оцтова кислота становить 85% всіх кислот. Міститься в вільному складі і в складі естерів в яблуках.

Гліоксалева кислота – найпростіша альдегідо кислота. Знайдена в багатьох плодах, проростках пшениці, картоплі і інших рослинах. Відіграє важливу роль в гліюксилатному циклі.

Щавлева кислота – найпростіша дикарбонова кислота. Особливо часто зустрічається в рослинах у вигляді щавлевокислого кальцію. В плодах і ягодах вона міститься в незначній кількості від 0,005 до 0,06%.

Малонова кислота знайдена в листках квасолі, люпину і інших бобових рослин, в плодах лимона, а також в зелених частинах рослин пшениці, вівса і ячменю. У вигляді *малонілкоферменту А* є важливим проміжним продуктом при синтезі насичених жирних кислот.

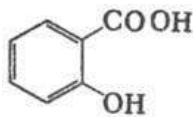
Янтарна кислота (бурштинова кислота) міститься в багатьох рослинах, в ягодах червоної смородини, в недозрілій вишні, винограді, черешнях і яблуках. Утворюється при диханні в циклі Кребса.

Яблучна кислота (оксибурштинова кислота) виявлена в багатьох рослинах. Особливо її багато в горобині (до 3%), барбарисі (до 6%), кизилі. Практично відсутня вона в плодах цитрусових.

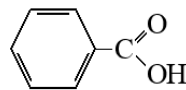
Винна кислота (диоксибурштинова кислота) в значній кількості зустрічається у винограді (0,3-1,7%), в інших плодах її значно менше.

Лимонна кислота в значній кількості присутня в багатьох плодах і ягодах, в лимонах її міститься 6-8%. Лимонна кислота зустрічається разом з яблучною, причому в ягодах її вміст переважає.

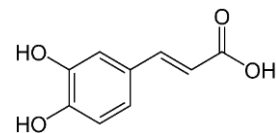
В плодах і овочах присутня група органічних кислот ароматичного ряду, зокрема, серед них саліцилова кислота, бензойна, кавова, хінна, хлорогенова та ін. (табл. 2).



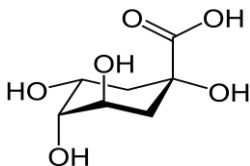
Саліцилова кислота



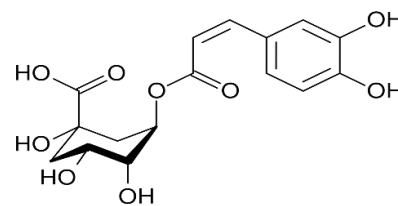
Бензойна кислота



Кавова кислота



Хінна кислота



Хлорогенова кислота

Саліцилова кислота. Міститься в малині, яка здавна застосовується у народній медицині при лікуванні простудних захворювань як потогінний і жарознижуючий засіб, оскільки натрієва сіль саліцилової кислоти володіє жарознижуючою дією. В незначній кількості ця кислота є в суниці і вишні.

Бензойна кислота знайдена в брусниці (0,03-0,2 %), журавлині (0,02-0,06%) у вільному стані і в поєднанні з глюкозою у вигляді глікозиду вакцинїну.

Кавова кислота знайдена у каві. В яблуках, картоплі вона присутня в поєднанні з хінною кислотою у вигляді хлорогенової

кислоти. Кавова кислота пригнічує розвиток фітофтори і фузаріозу бульб картоплі, і в той же час затримує формування перидерми; відіграє певну роль в механізмах спокою картоплі і овочів та одночасно в стійкості їх до патогенних мікроорганізмів.

Хінна кислота в незначній кількості міститься в сливах, яблуках, винограді, журавлині.

Хлорогенова кислота легко окислюється і відновлюється, тому відіграє важливу роль у дихальному газообміні плодів та овочів. Утворення і поява потемніння шкірочки (загар) і м'якуша яблук при зберіганні пов'язують з ферментативним окисленням цієї кислоти. Хлорогенова кислота та її окислені форми (хінони) володіють фунгітоксичними властивостями, завдяки чому формується активна захисна реакція рослин проти мікроорганізмів.

Вміст органічних кислот в плодах і овочах та їх значення. Плодові, ягідні та овочеві культури мають унікальну здатність накопичувати органічні кислоти. Найбільш поширені такі кислоти як яблучна, лимонна, винна, хінна, хлорогенова, оцтова, щавлева, фумарова, янтарна, піровиноградна, гліцерінова, глутамінова, бензойна, α -кетоглутарова та інші.

Кислоти відіграють метаболітичну роль, беруть участь у багатьох біохімічних реакціях, наприклад, у циклі Кребса, обміні вуглеводів, білків, жирів. впливають на рН середовища, активність ферментів. Біохімічний склад та метаболізм органічних кислот неоднаковий у різних культур. Так, 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 на яблучною. Ці кислоти у великій кількості містяться в шпинаті, ревені, в щавлі багато щавлевої кислоти.

Встановлено також, що в різних частинах рослин акумулюється неоднакова кількість органічних кислот. Наприклад, в м'якоті молодих яблук переважають яблучна, лимонна, хінна кислоти, а в шкуринці та насінні яблук – більше жирних кислот, які входять до складу жирів та воскового нальоту. Яблучна та лимонна кислоти накопичуються переважно в плодах та листі рослин, янтарна – в стеблах. Винна кислота знаходиться в ягодах і листі винограду, вона утворюється у листі і переміщується у плоди.

Кількість кислот в рослині змінюється в залежності від фази розвитку рослини, часу, пори року, факторів довкілля. Кислоти мають здатність перетворюватись в цукри; під час росту в плодах збільшується маса органічних кислот і вуглеводів, а під час досягання – зростає лише

вміст вуглеводів і плоди стають солодкими за рахунок зменшення частки органічних кислот. При цьому перехід лимонної кислоти в інші речовини відбувається дуже повільно.

Кислоти значною мірою впливають на смакові, поживні та ароматичні якості плодів. Так, зовнішній вигляд і консистенція деяких сортів яблук мало змінюється після тривалого зберігання, але плоди втрачають смак та цілющі властивості в результаті поступового збіднення на органічні кислоти, особливо – на аскорбінову.

З перетворенням органічних кислот пов'язані деякі хвороби плодів і овочів. Наприклад, побуріння яблук при їх зберіганні пов'язане з процесами декарбоксилування органічних кислот.

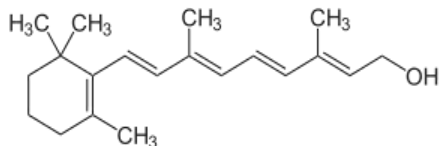
Вітаміни. Вітаміни – це велика група низькомолекулярних сполук, різних за своїм складом і будовою, які синтезуються переважно в рослинних організмах і в невеликій кількості потрібні для забезпечення нормальної життєдіяльності людини і тварин.

Більшість вітамінів є коферментами – входить до складу активних простетичних груп ферментів. Вони є нестійкими проти дії зовнішніх факторів – високої температури, іонізуючого випромінювання, рН середовища, дії кислот і лугів, що слід враховувати при зберіганні і переробці плодів та овочів.

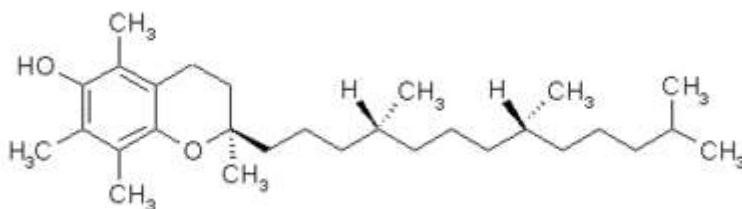
На даний час відомо близько 30 вітамінів і вітаміноподібних речовин, серед яких близько 20 використовується для лікування і профілактики різних захворювань.

За фізико-хімічними властивостями вітаміни поділяють на: жиророзчинні, водорозчинні та вітаміноподібні речовини.

Ж и р о р о з ч и н н і в і т а м і н и. Розчиняються в жирах та гідрофобних розчинниках. За хімічною будовою жиророзчинні вітаміни А, Е, К є похідними ізопрену.



Ретиноли (вітаміни групи А)



Вітамін Е (токофероли).

Більшість з цих вітамінів входять до складу білково-ліпідних мембран клітини і клітинних органел, забезпечуючи при цьому

важливі метаболічні перетворення, зокрема біоантиоксидантні процеси. На відміну від водорозчинних вітамінів їх не виявлено у складі ферментних систем.

Ретиноли (вітаміни групи А) – це похідні каротиноїдів, які широко розповсюджені в рослинах. В організмі тварин під дією фермента каротинази з каротиноїдів утворюється вітамін А. Каротиноїди мають важливе значення в процесах фотосинтезу, розмноження, окислювально-відновних реакціях.

Вітамін А стійкий до дії високої температури в безкисневому середовищі. При наявності кисню даний вітамін швидко руйнується, навіть при звичайній температурі. Вітамін А міститься в листовій зелені (салаті, шпинаті, зеленій цибулі), моркві, помідорах, а також в вершковому маслі і яєчному жовтку. Добова потреба дорослої людини становить – 0,75-1,5 мг.

Вітаміни групи Д (Д₁, Д₂, Д₃, Д₄, Д₅) (кальциферол) – високомолекулярні сполуки спиртового характеру з класу стеролів, зокрема ергостероли, з яких при опромінюванні їх УФ-променями утворюються вітаміни групи Д. Вітаміни групи Д **містяться тільки в тваринних організмах**, а в рослинних присутні лише їх провітаміни – ергостирол і холестерол. Стійкі проти дії високих температур, кислот і лугів у безкисневому середовищі. Швидко руйнуються при наявності окислювачів, особливо при нагріванні вище 180°C. Добова доза для дорослої людини 7-12 мкг, для дитячого віку – 12-25 мкг.

Вітамін Е (токофероли). Являє собою декілька різновидів токоферолу: α, β, γ. Найпоширенішим є α- токоферол. Стійкий до нагрівання в кислому середовищі і менш стійкий в лужному. Швидко руйнується при наявності окислювачів і при дії ультрафіолетових променів. **Міститься виключно в продуктах рослинного походження**, головним чином у насінні та оліях, а також в зелених частинах рослин – салаті, шпинаті, петрушці, цибулі, зеленому горошку, зародках злакових культур. Добова потреба становить 10-25 мг для дорослих та 5 мг для дітей.

Вітамін К (філохінони). Найактивнішим з філохінонів є вітамін К₁. Стійкий до нагрівання в нейтральному середовищі, легко руйнується під дією ультрафіолетового випромінювання та при нагріванні в лужному середовищі. Філохінони містяться переважно в продуктах рослинного походження: листках капусти, шпинаті, зеленому горосі, ягодах шипшини, моркві, картоплі. Добова потреба людини становить 15 мг.

Вітамін F. Об'єднує групу біологічно-активних, поліненасичених жирних кислот – лінолеву, ліноленову і арахідонову, які **не можуть синтезуватися в організмах людини і тварин**. Підвищує еластичність і

стійкість кровоносних судин, резистентність організму, позитивно впливає на обмін деяких водорозчинних вітамінів (С, В₁, В₂). Міститься переважно в рослинних оліях (горіховій – 63-76%, соняшниковій – 52-64% та ін.). Добова потреба в вітаміні F становить 2-10 г.

Водорозчинні вітаміни. Належать вітаміни групи В, вітамін С і Р, а також вітаміноподібні сполуки – холін, ліпоєва кислота та ін., які мають ряд схожих властивостей. В організмі людини і тварин не депонуються, хоч частина їх синтезується мікрофлорою кишок. Основна біологічна роль їх полягає в тому, що більшість із них входить до складу ферментних систем, виконуючи коферментні функції.

Вітамін В₁ (тіамін). Діючою в організмі формою вітаміну В₁ є його дифосфат (кокарбоксілаза), який є простетичною групою ферментів, що беруть участь у декарбоксілюванні піровиноградної кислоти, розщепленні С-С зв'язків, внаслідок чого стає можливим біосинтез ацилпохідних *коферменту А*. Стійкий проти дії різних факторів зовнішнього середовища – світла, кисню, повітря, стійкий у кислому середовищі і швидко руйнується у лужному, особливо при високій температурі. Міститься в продуктах рослинного і тваринного походження. Особливо багато його у висівках рису і пшениці, пекарських і пивних дріжджах, також у печінці, м'ясі, овочах і фруктах. Добова доза становить 2-3 мг для дорослих людей і 5-2 мг – для дітей.

Вітамін В₂ (рибофлавін). Під впливом специфічних ферментів фосфорильована форма тіаміну В₂ перетворюється в флавінмоноуклеотид і флавіндинуклеотид (ФМН і ФАД), які при сполученні з білками виконують важливу роль в метаболічних процесах організму. Досить стійкий до нагрівання в кислому середовищі і швидко руйнується в лужному середовищі під впливом тривалого освітлення.

Вітамін В₂ синтезується тільки в рослинах і деяких мікроорганізмах. Серед овочів і плодів досить високим вмістом цього вітаміну відзначаються зелені овочі, капуста, горошок, лісова суниця. Добова потреба у вітаміні В₂ становить 2,5-3,5 мг на добу і 1-3 мг для дітей.

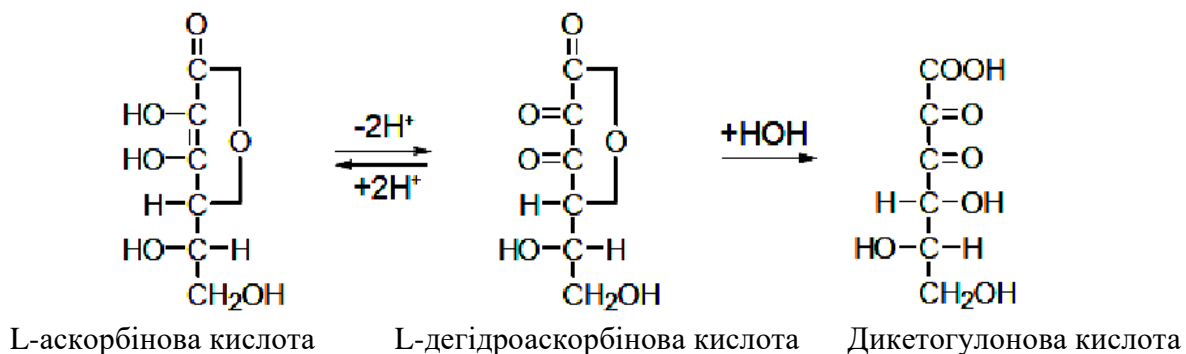
Вітамін В₃ (пантотенова кислота). Є складовою частиною багатьох ферментів, у складі *коензиму А* входить до складу ферментів, які каталізують реакції ацилювання і переацилювання, синтез і розпад жирів, цілий ряд реакцій три карбонового циклу. Нестійка сполука, під дією кислот і лугів легко гідролізується за місцем пептидного зв'язку до β-аланіну і пантолактону. Серед рослин найважливішими за вмістом вітаміну В₃ є гречка, горох, цвітна капуста, картопля, томати, фрукти. Вітамін В₃

синтезується мікрофлорою кішківника ссавців. Добова потреба становить 7-10 мг.

Вітамін В₅ (РР) (нікотинова кислота, ніацин). Його похідні – динуклеотиди: нікотинамідаденіндинуклеотид (НАД⁺) і нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат (НАДФ⁺), як коферменти входять до складу ферментів дегідрогеназ, які належать до класу оксидоредуктаз; вони каталізують окислювально-відновні метаболічні реакції в багатьох ланках обміну речовин. Не руйнується при дії сонячного світла і лужних розчинів. Незначна кількість нікотинової кислоти синтезується мікрофлорою кишківника. Значна кількість даного вітаміну міститься в зернобобових культурах, в висівках і дріжджах. В овочах і фруктах вміст їх не значний. Добова потреба у вітаміні В₅ становить 15-25 мг – для дорослої людини і 5-15 мг – для дітей.

Вітамін В₆ (піридоксин) – загальна назва трьох речовин: піридоксину, піридоксалу та піридоксаміну, а також їх фосфатів, серед яких найважливіший піридоксальфосфат. Відіграє важливу роль в процесах обміну речовин, у вигляді фосфорильованого похідного – піридоксальфосфату він входить до складу активних груп ферментів, які каталізують реакції переамінування і декарбоксілювання амінокислот, сульфонування, дезамінування і перетворення окремих амінокислот. Стійкий до нагрівання в кислому і лужному середовищі, швидко руйнується на світлі, при дії ультрафіолетових променів. В значній кількості міститься в зелених овочах, зеленому і овочевому горосі. Добова потреба становить 2-4 мг.

Вітамін С (аскорбінова кислота) Має фенольну групу, яка здатна легко окислюватись і відновлюватись, завдяки чому вона відіграє важливу роль у дихальному газообміні. Відновлювана форма – L-аскорбінова кислота і окислена її форма – дегідроаскорбінова кислота легко взаємо перетворюються. Обидві форми фізіологічно активні. Вітамін С *в організмі людини не синтезується.*



Аскорбінова кислота дуже не стійка і руйнується під впливом кисню повітря, ультрафіолетового опромінювання, лужного середовища, у присутності заліза та міді як каталізаторів і особливо під час термічної обробки. Через 2-3 міс. зберігання рослинних продуктів руйнується 40-50% аскорбінової кислоти. Втрати вітаміну С в плодах і овочах під час зберігання у лежких сортів невеликі, а у малолежких вони значні.

Вітамін С найбільш розповсюджений в плодах і овочах. В організмі людини вітамін С не синтезується. Аскорбінова кислота нерівномірно розподіляється в товщі плодів. У покривних тканинах її у 2-3 рази більше, ніж у м'якоті. Найвищий вміст вітаміну С відмічено (мг на 100 г продукту) в шипшині – 1000-4000, чорній смородині – 100-400, лимоні – 40-60, капусті цвітній – 50-150, плодах яблука – 5-30. Фізіологічна потреба дорослої людини у вітаміні С становить 60-100 мг на добу.

Вітамін В₁₂. *Тканинами тварин не утворюється*. Його синтез у природі здійснюється тільки мікроорганізмами. Потреби людини й тварин у ньому забезпечуються мікрофлорою кишечника. Він є чинником росту, впливає на функції печінки й нервової системи, активує процеси згортання крові, обмін вуглеводів і ліпідів, бере участь у синтезі різних амінокислот.

Фолієва кислота (вітамін В₉, В_с). Каталізує перенесення одноуглецевих фрагментів у синтезі пуринів і піримідинів, і є, таким чином, необхідним для утворення РНК і ДНК. При нестачі спостерігається затримка росту, кровотворення і анемія. В організмі людини утворюється мікрофлорою кишечника. Найбільший вміст в листі зелених і капустяних овочів. Добова потреба становить – 100-200 мкг.

Вітамін U (метилметіонін) є похідною амінокислоти метіоніну. Він є резервом метильних груп в біосинтетичних процесах. Його називають антивиразковий, бо він сприяє за живленню пошкоджень шлунково-кишкового тракту. Даний вітамін термолабільний, і під час теплової обробки втрачається досить значна його кількість. Найбільше цього вітаміну міститься в капусті білокачанній – 16,4-20,7 мг/100 г, капусті кольрабі – 12,9 мг, капусті цвітній – 4-6,1 мг, зеленій петрушки – 6,4 мг, селери – 3,8 мг, томатах – 1,1-2,9 мг.

Вітамін Р (цитрин). Під цією назвою об'єднано комплекс сполук біфлаваноїдів, до яких належать катехіни, антоціани, флаволи, флавоноли. Серед флавонолів найбільшу активність мають гесперидин і рутин. Найбільшою Р-вітаміною активністю володіють катехіни – речовини, які легко окислюються. Дослідженнями з лікування цингі було доведено, що цю

хворобу повністю не можна вилікувати за допомогою аскорбінової кислоти. в харчуванні повинні бути і інші компоненти, які називаються комплексом вітаміну Р. Катехини присутні в значній кількості в яблуках, грушах, вишні, винограді, смородині і в інших плодах і ягодах, але більше всього їх до 30% в чайному листі. Добова потреба людини в цьому вітаміні складає 50 мг.

Ферменти. Ферменти або ензими – органічні речовини білкової природи, які утворюються в живих організмах і мають здатність прискорювати перебіг хімічних реакцій в організмі.

За хімічною природою ферменти поділяють на дві групи: *протеїни* (прості ферменти), що складаються тільки з білка, і *протеїди* (складні ферменти), які містять білок і активну групу небілкової природи – *кофактор*, роль якого виконують деякі вітаміни та їх похідні, окремі фосфорні естери моносахаридів, нуклеотиди, металовмісні комплекси.

Кофактори ферментів поділяють на *коферменти* (коензими — невелика небілкова (неамінокислотна) молекула, що вільно зв'язується з ферментом та важлива для його каталітичної активності), *простетичні групи* і *активатори*.

К о ф е р м е н т и у ферментах – протеїдах виконують роль переносників різних функціональних груп, атомів, електронів і протонів. Окремі коферменти беруть участь в активуванні молекул субстратів.

Нікотинамідні коферменти – це найбільш поширена і численна група коферментів. До їх складу входить залишок аміду нікотинової кислоти (вітаміну РР), ці коферменти входять до складу ферментів класу *оксидоредуктаз*. Приймають участь в окисленні субстратів і перенесенні протонів та електронів на інші ферменти або субстрати.

Ліпоева кислота є коферментом окислювально-відновних ферментів, що приймають участь у процесах окислювального декарбоксілювання кетокислот. Вона легко окислюється і відновлюється, утворюючи дисульфідні зв'язки або сульфгідрильні групи.

Убіхінони – це група жиророзчинних речовин, які містяться в усіх клітинах організму.

Тетрагідрофолієва кислота є гомологом фолієвої кислоти. Входить до складу ферментних систем, які беруть участь у процесах перенесення одно вуглецевих залишків.

Кофермент А (коензим А). Для його позначення використовується скорочена форма *КоА-SH*. Бере участь у процесах обміну речовин в організмі: в окисленні і синтезі жирних кислот, нейтральних жирів і

фосфатидів, біосинтезі стероїдів, у біохімічних перетвореннях циклу три карбонових кислот і циклу гліоксилової кислоти.

Глутатіони. Приймає участь в окислювально-відновних процесах організму. Крім того, відновлена форма глутатіону є коферментом деяких ферментів, що каталізують реакції ізомеризації.

Простетичні групи. З апоферментом простетичні групи зв'язані ковалентними зв'язками.

Флавіннуклеотиди. До цієї групи належать флавінмононуклеотид (ФМН) і флавінаденіндинуклеотид (ФАД). Приймають участь в окислювально-відновних реакціях клітинного дихання: переносять електрони і протони від відновних нікотинамідних коферментів до цитохромів, приймають участь в окисленні альдегідів, амінокислот, глюкози, дегідрованні похідних *коферменту А*.

Тіамінпірофосфат виконує функції простетичної групи у ферментах, які каталізують просте і окислювальне декарбоксілювання α -кетокислот, беруть участь в реакціях синтезу і розкладу α -оксикетонів і дикетонів.

Піридоксальфосфат і піридоксамінфосфат є похідними вітаміну В₆. Відіграють важливу роль в білковому обміні: каталізують реакції переамінування амінокислот, їх декарбоксілювання, розщеплення і синтез.

Біотин входить до складу ферментів, які каталізують реакції карбоксілювання і перенесення карбоксильних груп.

Залізопорфінові комплекси є простетичною групою таких ферментів: каталази, пероксидази і цитохромів.

Активатори ферментів. До цієї групи належать такі кофактори, які прискорюють реакції, що каталізуються ферментами. Активаторами часто є іони металів – магнію, цинку, марганцю, кобальту.

В основі існуючих теорій вивчення механізму дії ферментів лежить той факт, що ферменти значно знижують енергію активації реакцій. Речовини, які підвищують активність ферментів називаються *активаторами*, а ті, що знижують їх активність – *інгібіторами*.

За систематичною номенклатурою назву ферментів складаються з двох частин. Перша назва вказує на назву субстрату, на який діє фермент, а друга – на природу хімічної реакції, яку він каталізує, з додаванням суфікса аза. Перша частина назви ферменту з'єднується з другою частиною через дефіс. Наприклад, фермент, який каталізує гідролітичне розщеплення ацетил-КоА, дістав назву ацетил-КоА-гідролаза.

Класифікація ферментів базується на типі хімічної реакції, яку вони каталізують. Класи ферментів поділяються на підкласи, а ті в свою чергу

на під-підкласи. До під-підкласів входять уже окремі представники ферментів.

Виділено шість класів ферментів:

- *Оксидоредуктази* (окисно-відновні ферменти); підкласи: дегідрогенази (анаеробні і аеробні), оксидази.
- *Трансферази* (ферменти переносу); підкласи включають ферменти, що переносять: одновуглецеві залишки; альдегідні і кетонні залишки; ацильні залишки; глікозильні залишки; алкільні залишки; азотисті залишки; групи, які містять фосфор; групи, які містять сірку.
- *Гідролази* (каталізують реакції гідролітичного розщеплення); підкласи: естерази, гідролази, протеази, дезамідази, дезамінази.
- *Ліази* (каталізують процеси відщеплення яких-небудь груп негідролітичним шляхом з утворенням подвійного зв'язку, або, навпаки, приєднання відповідних груп атомів по місцю подвійного зв'язку).
- *Ізомерази* (каталізують перетворення органічних речовин у їх ізомери, зумовлюючи внутрішньомолекулярні перебудови); підкласи: рацемази і епіремази, внутрішньомолекулярні оксидоредуктази, внутрішньомолекулярні трансферази.
- *Лігази* (синтетази, каталізують реакції синтезу, які пов'язані з використанням енергії АТФ або інших нуклеотидтрифосфатів); підкласи: С – О – лігази; С – S – лігази, С – N – лігази, С – С – лігази.

При переробці плодів і овочів застосування ферментів або ферментних препаратів є особливо перспективним для збільшення виходу соку, полегшення процесів освітлення соку і покращення його якості. Велике значення відіграють ферменти при зберіганні плодів і овочів. З активністю ферментів пов'язана також стійкість плодів і овочів до хвороб.

Теоретичні питання

1. Органічні кислоти. Загальна будова. Класифікація. Характеристика основних органічних кислот: мурашиної, оцтової, піровиноградної, лимонної, яблучної; ізолимонної, щавлевої, янтарної кислот, їх будова і коротка характеристика.
2. Вміст органічних кислот в плодах і овочах та їх значення.
3. Вітаміни, їх будова і властивості. Класифікація та номенклатура вітамінів.
4. Жиророзчинні вітаміни (А, Е, К, D, F).
5. Водорозчинні вітаміни (В₁, В₂, В₃, В₅, В₆, В₉, В₁₂, U, С, Р).

6. Рослинні ферменти. Хімічна природа ферментів. Протеїни і протеїди. Поділ кофактора на коферменти, простетичні групи і активатори.
7. Нікотинамідні коферменти. Ліполева кислота, кофермент А, значення коферментів.
8. Простетичні групи: флавіннуклетиди, тіамініпрофосфати, біотин, їх роль в обміні речовин.
9. Активатори і інгібітори ферментів.
10. Класифікація та номенклатура ферментів.

Питання для контролю засвоєння теми

1. Загальна характеристика органічних кислоти.
2. Значення органічних кислот для плодів та овочів.
3. Перетворення органічних кислот при дозріванні плодів та овочів.
4. Зміна загальної кислотності та склад органічних кислот в залежності відзберігання.
5. Класифікація та номенклатура вітамінів.
6. Склад та властивості жиророзчинних вітамінів.
7. Характеристика вітамінів групи В.
8. Характеристика вітамінів Р і С.
9. Динаміка аскорбінової кислоти в плодах і овочах.
10. Характеристика вітаміноподібних речовин.
11. Хімічна природа ферментів.
12. Будова ферментів.
13. Механізм дії ферментів.
14. Вплив температури на активність ферментів.
15. Вплив рН середовища на активність ферментів.
16. Специфічність дії ферментів (абсолютна, групова, стереоізомерна).
17. Активатори ферментів.
18. Інгібітори ферментів.
19. Номенклатура та класифікація ферментів.
20. Клас оксидоредуктази.
21. Клас трансферази.
22. Клас гідролази.
23. Клас ліази.
24. Клас ізомерази.
25. Клас лігази.

Тестові питання

1. Яка із органічних кислот входить до складу більшості дубильних речовин?
а) бензойна кислота б) щавлева кислота
в) хінна кислота г) лимонна кислота
2. З перетворенням органічних кислот пов'язані процеси ...
а) дихання б) фотосинтезу в) обміну амінокислот г) обміну вуглеводів
3. До кетокислот належать кислот
а) яблучна б) піровиноградна в) лимонна г) винна
4. Проміжною кислотою при спиртовому бродінні є:
а) молочна кислота б) піровиноградна кислота
в) оцтова кислота г) янтарна кислота
5. Яка із органічних кислот використовується як антисептик?
а) хлорогенова б) кавова в) саліцилова г) бензойна
6. Що собою являють вітаміни?
а) високомолекулярні сполуки б) білки
в) низькомолекулярні сполуки г) ферменти
7. Який вітамін містить у своєму складі сірку?
а) рибофлавін б) тіамін в) філохінон г) кальциферол
8. До жиророзчинних вітамінів належать:
а) кальциферол б) тіамін в) рибофлавін г) аскорбінова кислота
9. Який із вітамінів входить до складу коензиму А?
а) нікотинамід б) тіамін в) пантотенова кислота г) ретинол
10. До активаторів дії ферментів відносяться:
а) солі мікроелементів б) АТФ
в) суфгідрильні сполуки г) нуклеїнові кислоти
11. Що може бути в якості небілкової частини складних ферментів?
а) вітаміни б) іони заліза
в) іони міді і інших металів г) всі відповіді вірні
12. Які функції виконують ферменти?
а) конституційну і запасуючу б) каталітичну, адаптивну і захисну
в) адаптивну і захисну г) будівельну
13. З апоферментом простетичні групи зв'язані зв'язками:
а) іонними б) ковалентними в) дисульфідними г) пептидним
14. Швидкість ферментативної реакції залежить від:
а) концентрації ферменту б) концентрації субстрату
в) температури (до 60⁰С) г) всі відповіді вірні
15. З чого складаються двокомпонентні ферменти?
а) з білків і небілкової частини б) з білків і похідних вітамінів
в) з білка г) з білка і іонів металів
16. Активність дії ферментів залежить від:
а) температури б) значення Рн
в) активаторів і інгібіторів г) весь комплекс факторів

ТЕМА: РОСЛИННІ РЕЧОВИНИ ВТОРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ. МІНЕРАЛЬНІ РЕЧОВИНИ

Основний зміст

В рослинах міститься велика кількість речовин вторинного походження, до них належать:

- гідроароматичні сполуки, які зустрічаються в рослинах у вільному вигляді, а також у вигляді естерів;
- фенольні сполуки, це велика і широко розповсюджена група сполук, яка відіграє важливу роль в обміні речовин і має велике практичне значення;
- глікозиди – речовини, які визначають смак і аромат плодів і овочів;
- дубильні речовини – поліоксифенольні сполуки з молекулярною масою 500-3000;
- ефірні олії – жиророзчинні леткі речовини, які обумовлюють аромат плодів і овочів;
- пігменти – глікозиди фенольних сполук з двома ароматичними кільцями, тобто вони відносяться до флавоноїдів – водорозчинних пігментів.

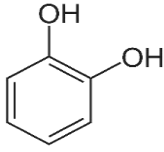
Вони часто відіграють важливу роль в обміні речовин у рослинах.

Гідроароматичні сполуки. Гідроароматичні сполуки – це група циклічних сполук, які широко представлені в рослинах. Джерелом їх утворення являються фосфорильовані цукри. В рослинному організмі може проходити циклізація молекули глюкози з утворенням інозиту $C_6H_{12}O_6$, (відноситься до похідних гексагідробензолу), який міститься у рослинах у вигляді ізомерів і їх метильованих похідних, найбільш поширений міо-інозит. До гідроароматичних сполук відносяться також речовини, які містять іонове кільце – похідні циклогексену, вони являються основною частиною каротину.

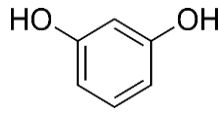
Найбільш відомою природною гідроароматичною сполукою є хінна кислота, яка знайдена в сливах, яблуках, винограді, журавлині, плодах айви, агруса. Вона з великою легкістю може використовуватися мікро організмами для утворення фенольних сполук. Вміст хінної кислоти в рослинах сильно залежить від пори року.

Фенольні сполуки. Фенольними сполуками називаються ароматичні сполуки, які містять в молекулі бензольне кільце з однією, двома або кількома гідроксильними групами. Найпростішими дифенолами є пірокатехін, резорцин і гідрохінон, останній міститься у вигляді глікозиду в

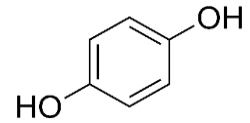
листках і насінні груш. Найпростішими трифенолами є – пірагол, флороглюцин і оксигідрохінон.



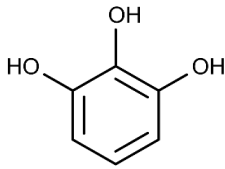
пірокатехін,



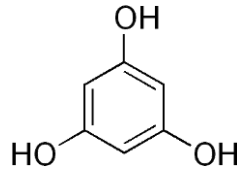
резорцин



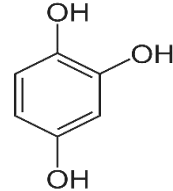
гідрохінон:



пірагол,



флороглюцин



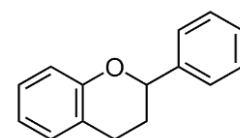
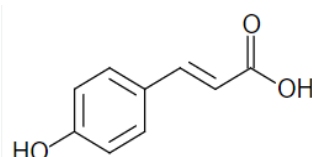
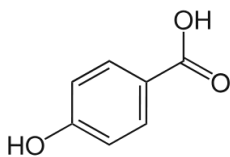
оксигідрохінон:

Фенольних сполук поділяються три основні групи, виходячи із вуглецевого скелету: 1) C_6-C_1 сполуки; 2) C_6-C_3 сполуки; 3) $C_6-C_3-C_6$ сполуки.

Група C_6-C_1 сполук представлена в рослинах оксибензойними кислотами: ваніліною, галовою, сіреневою, протокатеховою кислотами. В рослинах вони присутні в основному в зв'язаній формі і вивільняються при гідролізі. Ванілінова і сіренева кислоти у вигляді ефірів входять в склад лігніну, альдегід ванілінової кислоти – ванілін у вигляді глікозиду він міститься в плодах ванілі. Галова кислота знайдена в рослинах у вільному вигляді.

Група C_6-C_3 сполук ділиться на підгрупи оксикоричних кислот і кумаринів. Оксикоричні кислоти: кофейна, ферулова і сінапова присутні в рослинах як у вільному, так і у зв'язаному вигляді.

Група $C_6-C_3-C_6$ включає сполуки, які називаються *флавоноїдами*. Вони розглядаються як похідні флавана. Залежно від ступеня окиснення піранового фрагменту флавоноїди поділяють на шість основних підгруп: *катехіни*, *антоціани*, *лейкоантоціани*, *флаволи*, *флавоноли*, *флаванони*. Нагромаджуються в усіх органах рослин у формі глікозидів. Містяться в багатьох плодах (яблуках, грушах, вишні, айві, персику, абрикосах) і ягодах (малині, смородині, винограду, суниці).



Особливо багаті катехіном молоді пагони чайної рослини, яка використовується для виготовлення чаю, вона містить до 30% катехіну. Продукти окислення катехінів володіють характерним приємним смаком і забарвленням.

Глікозиди. Це група сполук похідних цукрів, частіше моносахаридів. Невуглеводнева частина молекули глікозиду називається *агліконом*. Вона може складатися із залишків спирту, ароматичних сполук, стеридів, алкалоїдів, неорганічних кислот. Глікозиди присутні в багатьох рослинах і часто обумовлюють їх специфічний смак і аромат. Властивостями цих речовин пояснюється стійкість деяких культурних рослин до фітопатогенної мікрофлори.

Амигдалін – глікозид, що знаходиться в насінні плодів кісточкових і зерняткових культур. Під впливом ферменту емульсину, який входить до складу насіння мигдалю, а також при кислотному гідролізі, амигдалін розкладається з утворенням синильної кислоти, яка є отруйною.

Вакциніїн – глікозид, знайдений у брусниці і журавлині і обумовлює, поряд з вільною бензойною кислотою, високу стійкість до мікроорганізмів, в тому числі до молочнокислих бактерій і дріжджів.

Соланіни – отруйний глікоалкалоїд, що виробляється в рослинах родини пасльонових. Соланін є дуже токсичним, виявляє фунгіцидні та пестицидні властивості, відіграючи роль природного захисту рослини.

Синігрін – сірковмісний аміноглікозид, зустрічається в насінні чорної гірчиці і хрону. Під дією ферментів від синігрину відщеплюється ефірна олія, яка пекуча на смак.

Дубильні речовини (таніни, таніди) – група низько- та високомолекулярних природних поліфенолів. Вони в'яжучі на смак, з молекулярною масою вище 1000 – здатні дубити шкіру. Широко розповсюджені в плодах і ягодах, в овочах їх значно менше. Дубильні сполуки надають плодам характерного терпкого смаку.

Дубильні речовини поділяються на гідролізовані і конденсовані. *Гідролізовані* – розщеплюються під дією кислот, лугів або ферменту таназу на фенольні і нефенольні фрагменти. *Конденсовані* дубильні речовини становлять олігомери або полімери, мономерні фрагменти яких зв'язані один з одним С-С-зв'язками. Біогенетичними попередниками конденсованих дубильних речовин є флаван-3-оли (катехіни) та флаван-3,4-діоли (лейкоантоціанідини). Знайдені в невеликих кількостях в багатьох плодах і ягодах, найбільше їх міститься в чаї.

Ефірні олії – являють собою концентровану гідрофобну рідину, що містить леткі (випаровуються при кімнатній температурі) хімічні сполуки рослин. До їх складу входять вуглеводні, а також оксигеновмісні сполуки, такі як спирти, кетони, альдегіди, кислоти аліфатичні та циклічні, етери та естери.

Так, багато естерів карбонових кислот мають характерні фруктові або квіткові запахи: бутилацетат має грушевий аромат, метиловий естер масляної кислоти – яблуневий та ін. Вміст ефірної олії зростає по мірі росту і дозрівання органів рослин. Вони синтезуються тільки в рослинах. Ефірні олії деяких плодів та овочів володіють антибіотичними властивостями, наприклад, цибуля, часник, хрін. Так, При механічному пошкодженні клітин часнику або цибулі утворюється аліцин, є активним бактерицидом, який викликає затримку росту і загибель багатьох видів мікроорганізмів.

Фарнезен – ефірна олія, яка накопичується при старінні яблук. Окисленням цієї речовини пояснюють виникнення загару плодів при їх зберіганні.

Найбільш розповсюджені такі ефірні олії: в плодах цитрусових – лимонен, цитраль, м'яти – ментол, кмину і кропу – карвон, аромат винограду обумовлений естерами антранілової кислоти, яблук – естерами мурашиної, оцтової, капронової і каприлової кислот.

Серед складових частин ефірних олій найчастіше зустрічаються терпени і їх кисневмісні похідні. Терпенами – ненасичені вуглеводні загального складу $(C_5H_8)_n$, де $n=2,3,4\dots$, з вуглецевими скелетами, які формально можна розглядати як продукти полімеризації ізопрену, $(CH_2=C(CH_3)CH=CH_2)$.

Пігменти. Більшість пігментів плодів і овочів – це глікозиди фенольних сполук з двома ароматичними кільцями, тобто вони відносяться до флавоноїдів. Це група *водорозчинних пігментів*.

Кверцетин – флавоноїд, що міститься в багатьох рослинах у вільному стані. Проте, частіше зустрічається у формі глікозиду рутина. Міститься в рослинах (переважно червоного, багряного кольору): гречаній крупі, яблуках, перці, часнику, червоному винограді, чаї, цитрусових, темній вишні, брусниці, помідорах, броколі, малині, чорниці, журавлині, цвітній капусті, оливковій олії. Так, багаті кверцетином зовнішні сухі луски цибулі.

Антоціани – пігментні речовини клітинного соку, які в значній мірі обумовлюють забарвлення квітів, плодів, ягід та овочів. Існують також лейкоформи антоціанів, тобто 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.

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, обумовлюючи їх зелений колір. При дозріванні плодів та при старінні листя вміст хлорофілу зменшується, одночасно в них зростає кількість каротиноїдів. Каротиноїди поглинають синьо-фіолетові промені спектра і таким чином захищають хлорофіл від руйнування. Оранжеве забарвлення моркви, абрикосів, персиків в значній мірі обумовлене присутністю в них каротину. Каротин є провітаміном А, із нього в присутності жирів в організмі людини чи тварин утворюється вітамін А. Ксантофіл – продукт окислення каротину, жовтий пігмент листя. Його аналоги виявлені в шкірочці плодів цитрусових, жовтозерній кукурудзі. Лікопін – ізомер каротину, червоно-оранжевий пігмент плодів томатів, де його вміст досягає 5-8%.

Капсаїцин – пігмент, що міститься в плодах перців. Він та подібні до нього подразнюючі сполуки (капсаїноїди) виробляються рослинами як вторинні метаболіти, можливо як спосіб захисту від грибів та тварин.

Алкалоїди. Це гетероциклічні азотовмісні речовини основного характеру. Класифікують їх найчастіше на основі будови гетероциклів, які входять в склад молекул цих речовин. Наприклад, виділяють групи похідних піролідину, піридину, хіноліну, ізохоліну, акридину, індолу і деяких інших.

До *негетероциклічних алкалоїдів* належить горденін, ефедрин. В невеликій кількості горденін міститься в проростаючому насінні ячменю. Піперин – алкалоїд чорного перцю. токсичністю не володіє, а викликає лише відчуття пекоти. Відомо біля 10 алкалоїдів тютюну, із яких важливими є нікотин і анабазин. Алкалоїди опію – морфін, кодеїн. Природним джерелом є опій – висушений сік, який виділяють з недостиглих головок маку снодійного. В опії міститься понад 20 алкалоїдів, з яких морфін та кодеїн володіють наркотичними властивостями,

Похідними індолу є алкалоїди ріжок (споринні), які паразитують на житі та інших злакових рослинах, розвиваються в колосі замість нормального зерна. Вони містять ергоалкалоїди – ерготамін, ерготоксин, ергометрин, ергостерин, які є отруйними.

Похідними пурину є кофеїн, теобромін і теофілін. Кофеїн міститься в зернах кофе, листках чаю; теобромін в найбільшій кількості накопичується в бобах какао і в меншій кількості – в листках чаю; теофілін міститься в листках чаю.

Мінеральні речовини. В залежності від кількісного вмісту в організмі всі мінеральні речовини поділяються на три групи: 1) *макроелементи* – ті елементи, які необхідні у найбільшій кількості, їх добова потреба вираховується у грамах (крім *органогенів*: карбону, кисню, гідрогену, нітрогену, у цю групу входять фосфор, сірка, хлор, кремній, калій, натрій, магній, кальцій; С, Н, О, N – чотири елементи, які разом складають близько 96-98% маси живих клітин; 2) *мікроелементи* – містяться в рослинах у значно меншій кількості; їх добова потреба вираховується в міліграмах (залізо, мідь, бор, марганець, цинк, молібден, кобальт та деякі інші); 3) *ультрамикроелементи* (свинець, срібло, літій, ртуть, миш'як та інші).

Ф у н к ц і ї. *Структурна* – вбудовуються в хімічні структури біологічних молекул або використовуються для побудови полімерів; взаємодіючи з молекулами білків та нуклеїнових кислот, впливають на формування їхньої просторової будови (вуглець, кисень, фосфор, кальцій та інші макроелементи). Так, фосфор є компонентом ДНК, РНК, фосфоліпідів мембран. Кальцій, з'єднуючись із пектиновою кислотою, укріплює стінки клітин. Залізо є частиною активних центрів ферментів, які беруть безпосередню участь в окисно-відновних реакціях фотосинтезу і дихання. Калій впливає на активність більше ніж 60 ферментів і регулює просторову будову деяких із них. До елементів, які активують багато ферментативних реакцій, відносяться Fe, Cu, Mo, Zn, Mn, Ca, K та інші.

Електрохімічна – зрівноваження концентрацій іонів, стабілізація макромолекул і колоїдів, нейтралізація зарядів, участь у процесах проникності мембран і у створення осмотичного потенціалу клітин та інше (K, Na, Ca, Mg, H⁺, OH⁻, Cl⁻ та інші).

Мінеральні речовини-неметали: фосфор, сірка, хлор, кремній, бор надходять у рослини в вигляді аніонів, а метали – у вигляді катіонів (калій, натрій, кальцій, магній) або металохелатів (залізо, мідь та ін). Винятком є молібден, який поглинається у вигляді MoO₄⁻. Азот рослини поглинають як у вигляді катіона NH₄⁺, так і у вигляді аніона NO₃⁻.

В плодах і овочах, як продуктах харчування, мінеральні речовини знаходяться найчастіше в легкодоступній для організму формі, а також вони містять і такі мікроелементи, які рідко зустрічаються в інших продуктах.

М а к р о е л е м е н т и. Якщо в рослині нестача азоту, то відбувається уповільнення росту, змінюється забарвлення листків, послаблюється цвітіння і плодоношення. Нестача фосфору веде до затримки росту, порушення репродуктивних процесів; листя рослин стають темнозеленими з фіолетово-пурпуровим або бронзовим відтінком, пізніше такого зафарбування набувають стебла.

При недостатньому забезпеченні рослин сіркою пригнічується синтез сірковмісних амінокислот (цистеїну, метіоніну) та білків, порушується формування хлоропластів. Спостерігається загальний хлороз, ріст стебла пригнічується значно більше, ніж ріст кореня. Рослини нагромаджують антоціани, листя набуває червонуватого кольору, потім весь листок відмирає.

Нестача калію уповільнює синтез білка; при цьому аміак, який надходить у рослину, не включається в обмін, що може бути причиною амонійного отруєння рослин, також в рослині синтезуються токсичні аміни. Хлороз і некроз починаються з верхівки і країв листків, які мають вигляд обпалених. Рослини втрачають при цьому тургор і в'януть.

Дефіцит кальцію веде до пригнічення росту меристематичних тканин. У зв'язку з малою рухливістю кальцію симптоми його дефіциту першими з'являються на молодих ростучих органах і тканинах. При нестачі кальцію у плодів і овочів з'являються невеличкі некротичні плями.

Магній входить до складу молекули хлорофілу, без його участі не може відбутися процес фотосинтезу. При магнієвому голодуванні пригнічується утворення пластид, різко зменшується вміст хлорофілу, знижується вміст білка і нуклеїнових кислот, блокується перетворення вуглеводів, уповільнюється утворення клітковини. Ознаки дефіциту магнію спочатку виявляються на старому листі як міжжилковий хлороз, а потім спостерігається і на молодих листках.

Надлишок хлоридів швидко пригнічує картоплю, томати, огірки, квасолю, виноград, деякі бобові, тютюн, плодові дерева. При надлишку хлоридів в рослинах уповільнюється ріст, спостерігається загальний хлороз, верхівки листя бронзовіють і скручуються.

М і к р о е л е м е н т и входять до складу простетичних груп ферментів і контролюють такі життєво важливі процеси, як фотосинтез, дихання, перетворення речовин; вони є активаторами ферментів.

Дефіцит заліза в рослині викликає хлороз, який проявляється як посвітління між жилками на молодих листках, потім світлішають жилки, і весь листок біліє. При нестачі бору рослини набувають вигляду розеток або кущів; у коренях цукрового буряка внаслідок відмирання клітин, що діляться в зоні росту, утворюються порожнини – хвороба «гниль сердечка». Зовні

отруєння бором у рослин виявляється у вигляді хлорозу і некрозу на листках вздовж жилок.

Дефіцит міді у хлібних злаків викликає побіління і висихання кінчиків листя. У плодкових дерев на краях листків виникає хлороз, потім некроз, пошкоджуються генеративні органи. У відсутності марганцю у рослин спостерігається ряд хвороб – сіра плямистість листя злаків, хлороз молодих листків плодкових дерев; у бобових виникає хлороз між жилками молодих листків, обезбарвлення і деформація насіння. Ознаки дефіциту марганцю подібні до симптомів дефіциту магнію, але різниця полягає в тому, що дефіцит марганцю помітний спершу на молодих листках, а при дефіциті магнію – на старих.

При дефіциті цинку порушується метаболізм, нагромаджуються вільні амінокислоти, аміди, редуруючі цукри, порушується фосфорний обмін. Відносно багато молібдену необхідно рослинам із родини капустяних; недостатнє забезпечення молібденом бобових рослин, яким притаманна здатність фіксувати атмосферний азот, має такі ж ознаки, як і дефіцит азоту: затримка росту, світле листя, затримка розвитку квітів. У рослин, оптимально забезпечених азотом, дефіцит молібдену виявляється як хлороз і некроз між жилками старого листя. За відсутності нікелю в бульбочках бобових рослин пригнічується гідрогеназа, що веде до зниження ефективності азотфіксації.

Теоретичні питання

1. Рослинні речовин вторинного походження. Гідроароматичні сполуки, їх будова та значення.
2. Фенольні сполуки, їх склад, властивості і роль у формуванні стійкості до хвороб. Значення фенольних речовин у формуванні запаху і кольору.
3. Глікозиди, їх структура, поняття про аглікон. Амигдалін, соланін, вакцинїн, синегрін: вміст в рослинах, властивості, токсичність та подразнюючі властивості деяких глікозидів, роль у формуванні стійкості до хвороб.
4. Дубильні речовини: гідролізовані і конденсовані, їх властивості. Вміст дубильних речовин в рослинах та їх значення.
5. Ефірні олії, їх склад: естери карбонових кислот, терпени. Значення ефірних олій у формуванні аромату.

6. Пігменти: водорозчинні та жиророзчинні. Кверцетин. Поняття про антоціани, їх значення для формування кольору квітів, плодів, ягід та овочів. Хлорофіл, каротин, ксантофіл, лікопін, капсоїцин, їх вміст і значення для рослин.
7. Алкалоїди, їх класифікація та значення.
8. Роль мінеральних речовин у життєдіяльності рослин.
9. Фізіолого-біохімічне значення макроелементів (нітрогену, фосфору, сірки, хлору, калію, натрію, магнію, кальцію).
10. Фізіолого-біохімічне значення мікроелементів (заліза, міді, бору, марганця, цинку, молібдену, нікелю).

Питання для контролю засвоєння теми

1. Рослинні речовини вторинного походження, їх будова та значення.
2. Фенольні сполуки, їх властивості та значення.
3. Група $C_6 - C_1$ сполук.
4. Група $C_6 - C_3$ сполук.
5. Група $C_6 - C_3 - C_6$ сполук.
6. Глікозиди.
7. Вміст та значення дубильних речовин для плодів та овочів.
8. Ефірні масла, їх роль у формуванні аромату плодів та овочів.
9. Пігменти, їх роль та значення.
10. Алкалоїди, їх вміст та значення.
11. Ациклічні алкалоїди.
12. Алкалоїди опію.
13. Алкалоїди ріжок (споринні),
14. Похідні пурину.
15. Речовини вторинного походження та їх роль в обміні речовин.
16. Загальна характеристика мінеральних речовин, їх поділ.
17. Фізіолого-біохімічне значення макроелементів.
18. Роль та значення азоту.
19. Роль та значення фосфору.
20. Фізіологічне значення сірки.
21. Значення та роль магнію.
22. Фізіолого-біохімічне значення мікроелементів.
23. Вміст мінеральних речовин в плодах та овочах.

Тестові питання

1. Джерелом утворення гідроароматичних сполук являються:
а) органічні кислоти б) фосфорильовані цукри
в) водорозчинні вітаміни г) мінеральні речовини
2. Що собою являють алкалоїди за хімічною будовою?
а) похідні вуглеводів
б) азотовмісні гетероциклічні сполуки
в) низькомолекулярні сполуки г) складні ефіри
3. Гідроароматичні сполуки – це група ...
а) жиророзчинних летких речовин б) поліоксифенольних сполук
в) циклічних сполук г) азотовмісних речовин
4. До ефірних олій відносяться:
а) кверцетин б) фарнезен в) вакцинїїн г) лікопін
5. До дубильних речовин належать:
а) танін б) кофеїн в) соланін г) синегрін
6. До дубильних речовин належать:
а) танін б) кофеїн в) соланін г) синегрін
7. Який із глікозидів міститься в насінні зерняткових і кісточкових культур?
а) вакцинїїн б) соланін в) амігдалін г) синегрін
8. Який глікозид містять баклажани?
а) амігдалін б) синегрін в) соланін г) кумарин
9. До негетероциклічних алкалоїдів належить:
а) хінін б) піперин в) горденін г) анабазин
10. Який із глікозидів обумовлює стійкість до мікроорганізмів?
а) амігдалін б) соланін в) вакцинїїн г) синегрін
11. До групи ультрамікроелементів відносять:
а) бор б) свинець в) ртуть г) літій
12. Яка із зазначених зольних елементів відноситься до мікроелементів?
а) калій б) марганець в) фосфор г) натрій
13. Який із елементів входить до складу гемоглобіну?
а) йод б) залізо в) кальцій г) калій
14. При нестачі якого елемента змінюється забарвлення листків і послаблюється цвітіння і плодоношення
а) фосфору б) калію в) азоту г) магнію
15. При нестачі якого елемента уповільнюється відновлення нітратів
а) цинку б) міді в) молібдену г) азоту
16. Водозатримуюча здатність протоплазми залежить від:
а) фосфору б) калію в) кальцію г) азоту
17. Який із мікроелементів є складовою частиною хлорофілу?
а) кальцій б) фосфор в) магній г) сірка

процесах. Хлорофіли мають два максимуми поглинання світла – у синій й червоній областях спектру. При цьому в оранжево-червоній області спектру максимум світлопоглинання для хлорофілу *a* відповідає 700 нм, хлорофілу *b* – 680 нм.

Крім хлорофілів, в хлоропластах містяться оранжево-жовті пігменти – *каротиноїди*, серед яких переважає *β-каротин* і його кисневі похідні – *лютеїн*, *зеаксантин*, *віолоксантин*. Ці пігменти являються додатковими і використовують ту частину спектру, яка не поглинається хлорофілом. Крім того, вони виконують захисну функцію – попереджують розпад хлорофілу, який може проходити під дією кисню.

Фотосинтез включає дві фази:

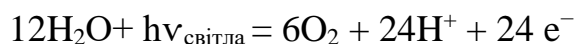
- *світлову*, яка безпосередньо зв'язана з використанням світла,
- *темнову*, світло безпосередньо не бере в ній участі, але вона може відбуватись і вдень.

В ході *світлової стадії* фотосинтезу утворюються високоенергетичні продукти: аденозинтрифосфат (АТФ), який служить в клітині джерелом енергії, і відновлена форма нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату (НАДФН), що використовується як відновник у темновій фазі. Як побічний продукт виділяється кисень.

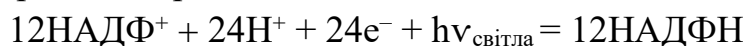
АТФ, НАДФ, НАДФН відносяться до макроергічних сполук, це такі біомолекули, що мають зв'язки, стандартна енергія гідролізу яких складає понад 20 кДж/моль. Макроергічним зв'язком є зв'язок між залишками ортофосфатної кислоти. При їх гідролітичному розриві вивільняється ~42-58 кДж/моль, а при розриві інших хімічних зв'язків – ~8 кДж/моль.

Реакції світлової стадії фотосинтезу:

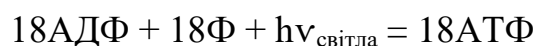
1) Фотоліз води:



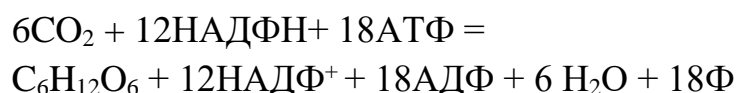
2) Утворення відновника НАДФН за рахунок збудженого хлорофілу, який виступає донором електронів:



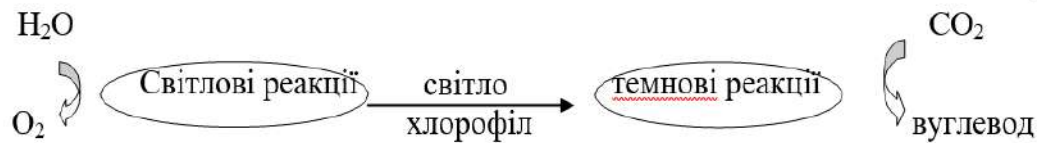
3) Фотофосфорильовання:



У *темновій стадії* за участю АТФ і НАДФН відбувається відновлення CO_2 до глюкози:



Загальну уяву про світлові і темнові реакції фотосинтезу можна відобразити наступною схемою:

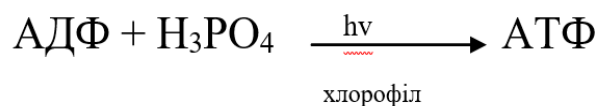


Світлова фаза фотосинтезу. В рослині є дві фотосистеми перетворення світлової енергії (ФС I і ФС II), завдяки чому фотофосфорилування (синтез АТФ) відбувається шляхом циклічного і нециклічного фотофосфорилування.

В *циклічному фотофосфорилуванні* приймає участь ФС I, яка складається з *хлорофілу a*. Молекула *хлорофілу a* в ФС I, на яку потрапляє світлова енергія, збуджується, при цьому один електрон молекули піднімається на вищий енергетичний рівень і надалі переноситься на *фередоксин*. Здатність фередоксинів переносити електрон зумовлена тим, що залізо легко вступає в окісно-відновну реакцію $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+}$, пов'язану з переносом електронів.

Система цитохромів, що залучена в процес електронного транспорту через мембрани, повертається до початкового енергетичного рівня і забезпечує утворення двох молекул АТФ. Таке перетворення світлової енергії в хімічну здійснюється за допомогою транспорту електрона, що відбувається в *мембранах тилакоїду*. Оскільки даний цикл може повторюватися, то дане фосфорилування називається циклічним.

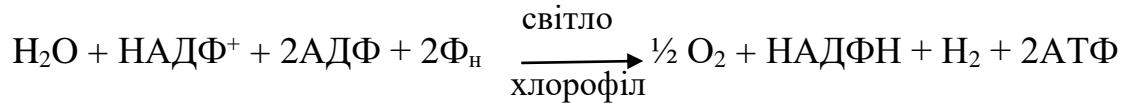
Реакція циклічного фотофосфорилування:



При *нециклічному фосфорилуванні* світло одночасно попадає на дві фотосистеми (*хлорофіл a*, що входить до ФС I, і *хлорофіл b* у складі ФС II), в обох випадках відбувається збудження електронів. У ФС II електрон передається на *пластохінон*, потім за допомогою цитохромів електрон транспортується на ФС I. Частина світлової енергії, яка поглинається ФС II, витрачається на фотоліз води, при цьому утворюється протон H^+ , $\cdot OH$ -радикал і електрон e^- , саме цей електрон направляється на місце втраченого у ФС II. В результаті конденсації із двох $\cdot OH$ -радикалів утворюється пероксид водню H_2O_2 , який є шкідливим. Але завдяки ферменту каталаза пероксид водню розщеплюється на воду і кисень.

Під час нециклічного фосфорилування утворюютьсяся АТФ (при русі e^- від ФС II до ФС I) і НАДФН (при русі e^- від ФС I до зовнішнього боку тилакоїдів). У зв'язку з тим, що при нециклічному фосфорилування і працюють одночасно обидві фотосистеми, за один прохід електронів утворюється 4 молекули АТФ і 2 молекули НАДФН.

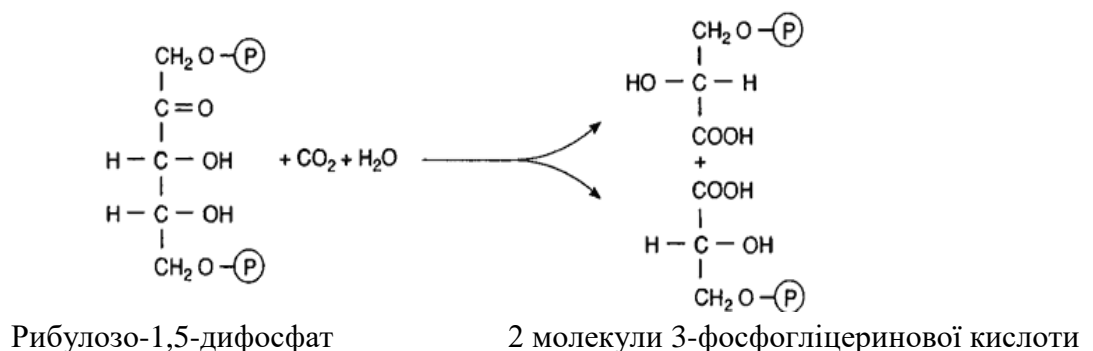
Нециклічне фосфорилування зображується сумарним рівнянням:



Основною реакцією, на яку витрачається енергія АТФ і НАДФН, є асиміляція вуглекислоти і її відновлення до вуглеводів, яка відбувається під час темної фази фотосинтезу. При цьому фіксація вуглецю відбувається за циклом Кальвіна („шлях C_3 ”), який є основним; інший варіант цього процесу – це C_4 -шлях, його ще називають метаболізмом органічних кислот за типом товстянкових.

Метаболізм вуглецю за Кальвіном (C_3 -шлях фотосинтезу). Послідовність реакцій C_3 -шляху визначена Кальвіном і співробітниками у 1946-1953 р. складає три етапи: к а р б о к с и л ю в а н н я, в і д н о в л е н н я і р е г е н е р а ц і я, які відбуваються у стромі хлоропластів. Енергія, яка забезпечує цикл Кальвіна, постачається у формі АТФ і НАДФН, утворених у світлових реакціях. Вихідною сполукою циклу Кальвіна є *п'ятивуглецевий цукор з двома фосфатними групами – рибулозо-1,5-дифосфат*. Реакції циклу Кальвіна:

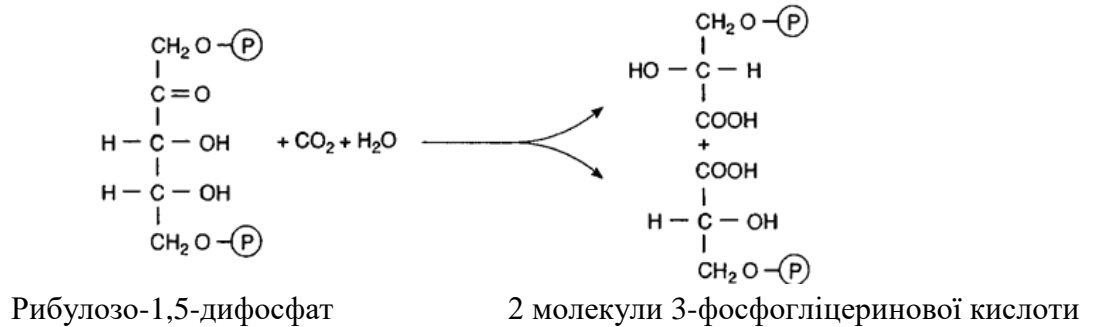
1) основною реакцією є процес к а р б о к с и л ю в а н н я – CO_2 входить у цикл і фіксується на рибулозо-1,5-дифосфаті; в результаті утворюються дві молекули 3-фосфогліцеринової кислоти (ФГК), яка є першим продуктом фотосинтезу; цей етап каталізує фермент рибулозо-1,5-дифосфат-карбоксилаза-оксигеназа (РБФ-карбоксилаза), для здійснення каталітичної дії якої необхідні іони Mg^{2+} ;



2) фосфорилування 3-фосфогліцеринової кислоти з утворенням 1,3-

дифосфогліцеринової кислоти (1,3-ДФГК) (відбувається за рахунок АТФ та за участю фермента фосфогліцераткінази);

3) в і д н о в л е н н я 1,3-ДФГК до 3-фосфогліцеринового (ФГА) альдегіду за участю НАДФН; цю реакцію каталізує фермент гліцеральдегід-3-фосфат-дегідрогеназа; *3-фосфогліцеринівий альдегід – перший цукор, який утворюється при фотосинтезі.*



Як тільки утворився ФГА, фотосинтез закінчується, бо усі подальші реакції відбуваються і в нефотосинтезуючих організмах.

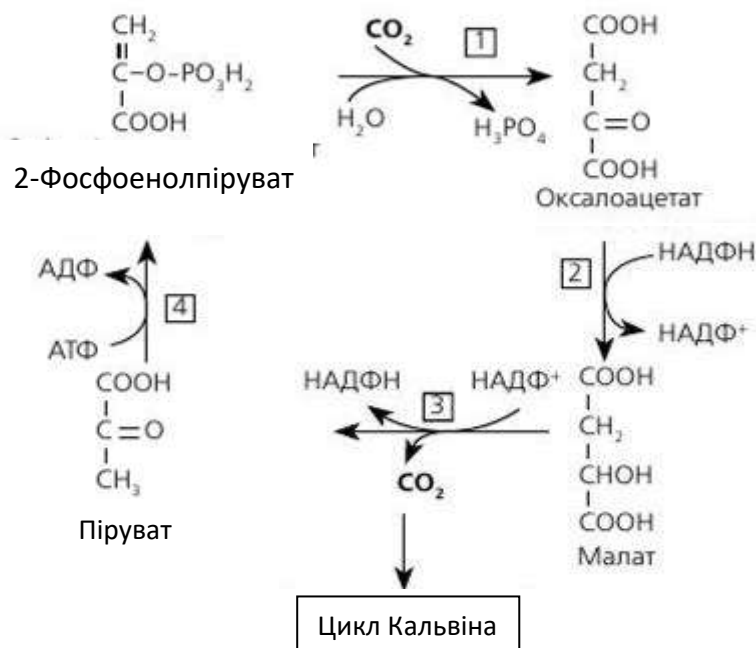
Утворені молекули 3-ФГА у циклі Кальвіна використовуються різними способами. 1/6 частина їх витрачається на синтез монофосфатів глюкози і фруктози, з яких потім утворюється 2 основних вуглеводи – сахароза і крохмаль. 5/6 частини йде на р е г е н е р а ц і ю рибулозодифосфату – первинного акцептора CO_2 . Регенерація – це складний цикл, в якому беруть участь цукрофосфати з 3, 4, 5, 6, 7 атомами вуглецю. У результаті багатьох реакцій утворюється рибулозо-5-фосфат. На його фосфорилування витрачається решта АТФ, яке було синтезоване при фотофосфорилуванні у світловій фазі фотосинтезу. Таким чином, у кожному оберті циклу Кальвіна одна молекула 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:



Цикл Хетча-Слека (C_4 -шлях фотосинтезу). C_4 -шлях фотосинтезу було відкрито у 50-60 роках в рослинах жаркого клімату – мезофілах, які найкраще всього ростуть при середніх температурах, не надто високих і не надто низьких, зазвичай між 15 і 40°C. Специфічність механізму C_4 -шлях фотосинтезу зумовлені особливостями анатомічної будови листків C_4 -рослин.

Австралійські вчені Хетч та Слек встановили, що C_4 -шлях включає в

себе дві реакції карбоксилювання, які просторово з'єднані. У протилежність циклу Кальвіна у клітинах мезофілу C_4 -рослин акцептором CO_2 виступає тривуглецева сполука – фосфоенолпіровиноградна кислота (фосфоенолпіруват, ФЕП); і першим продуктом асиміляції є щавлевоцтова кислота (оксалоацетат, ЩОК), яка має чотири вуглецевих атоми. Звідси і друга назва циклу – C_4 -шлях. Цю реакцію каталізує фермент фосфоенолпіруваткарбоксилаза, яка міститься не у хлоропластах, як рибулозодифосфаткарбоксилаза, а в цитоплазмі клітини мезофілу. Фосфоенолпіруваткарбоксилаза має високу спорідненість до CO_2 , тому фотосинтез може відбуватися при майже закритих продихах, що характерно для рослин жаркого клімату.



Утворена ЩОК проникає в хлоропласти клітин, де відновлюється в яблучну кислоту (малат) за рахунок НАДФН, утвореного в світловій фазі фотосинтезу. Каталізує реакцію фермент малатдегідрогеназа, яка активується світлом. В присутності NH_4^+ щавлевоцтова кислота може перетворюватися в аспарагінову амінокислоту. На утворенні яблучної та аспарагінової кислоти закінчується стадія першого карбоксилювання.

Утворена яблучна кислота (або аспарагінова, залежно від виду рослин) з хлоропластів клітин мезофілу проникає крізь плазмодесми у хлоропласти клітин обкладинки судинного пучка, де розкладається на піровиноградну кислоту і CO_2 – відбувається декарбоксилювання, а потім утворений CO_2 знов вступає в карбоксилювання, але вже у циклі Кальвіна – стадія другого карбоксилювання. Щодо аспарагінової кислоти, то вона у хлоропластах клітин спочатку дезамінується до щавлевоцтової кислоти, яка потім також декарбоксилюється з утворенням піровиноградної кислоти.

Піровиноградна кислота по плазмодесмах проникає у хлоропласти клітин мезофілу, де реагує з АТФ з утворенням фосфоенолпіровиноградної кислоти. У свою чергу ФЕП карбоксилюється з утворенням ЩОК і цикл замикається. Оскільки кожна молекула CO_2 у C_4 -рослин повинна зв'язуватися двічі, затрати енергії при C_4 -фотосинтезі вдвічі більші, ніж при фотосинтезі за C_3 -шляхом.

Рослини C_4 більш врожайні в посушливих умовах тропічної зони, бо у них максимальна швидкість фіксації CO_2 є вищою, вони ефективніше використовують високу інтенсивність освітлення, мають сприятливіше відношення випаруваної води до продукції сухої речовини, краще переносять посуху. Однак в прохолодних і більш вологих районах помірної зони рослини C_3 успішно конкурують з рослинами C_4 , бо їм не потрібна додаткова енергія для дворазової фіксації CO_2 , що дає їм деяку перевагу в умовах меншого освітлення. За продуктивністю рослин C_3 і C_4 рівні в умовах, де багато CO_2 і води.

До рослин C_3 належать – пшениця, жито, овес, ячмінь, рис, цукрові буряки, картопля, бобові. До групи C_4 -рослин належать багато видів з родини айстрових, деякі види осокових, лободових, молочайних, кукурудза, різні види проса, багато злісних бур'янів – щиряця, куряче просо.

Фотодихання. Це катаболічний процес, який відбувається лише на світлі, при цьому поглинається кисень і виділяється вуглекислий газ. Відкриття фотодихання пов'язане з дослідженням видатного німецького вченого О. Варбурга, він встановив, що кисень повітря, який є продуктом фотосинтезу пригнічує фотосинтез. Із збільшенням концентрації кисню в повітрі зменшується асиміляція вуглекислого газу і виділення кисню (ефект Варбурга). Це явище спостерігається в усіх C_3 -рослин.

Відомо, що це явище пов'язане з подвійною функцією основного ферменту циклу Кальвіна – РБФ-карбоксилазою (рибулозо-1,5-дифосфат-карбоксилаза-оксигеназа), яка в хлоропластах може функціонувати також як оксигеназа. Фотодихання значно відрізняється від темного дихання мітохондрій, бо не супроводжується утворенням АТФ. РБФ-карбоксилаза залежить від світла, бо цей фермент утворюється лише тоді, коли відбувається фотосинтез. Фотодихання здійснюється в результаті взаємодії трьох органел – хлоропластів, пероксисом і мітохондрій.

Екологія фотосинтезу. Це залежність продуктивності фотосинтезу від факторів навколишнього середовища: інтенсивності та якісного складу світла, концентрації CO_2 й кисню, температури, водного режиму тканин листка і мінерального живлення.

Залежність від світла. На фотосинтез витрачається від 1 до

3% поглинутої фотосинтетично активної радіації (ФАР) і енергії інфрачервоних променів. Коефіцієнт використання рослиною розсіяного сонячного світла значно вищий, ніж прямого. Світлове насичення фотосинтезу, тобто освітленість, при якій його інтенсивність досягає максимальної величини, у світлолюбних рослин дорівнює приблизно половині повного сонячного повного сонячного освітлення. У С3-рослин насичення відбувається при нижчій інтенсивності світла, ніж у рослин з С4-рослин. Освітлення, при якому інтенсивність фотосинтезу і дихання однакові, називаються *світловим компенсаційним пунктом*. У світлолюбних рослин величина цього показника становить 3-5%, а в затінкових – близько 1% повного сонячного освітлення. Надмірно високе освітлення різко порушує процес біосинтезу пігментів, фотосинтетичні реакції й ростові процеси, що значно знижує загальну продуктивність рослин.

Залежність від мінерального живлення. Азот необхідний для утворення амінокислот, синтезу пігментів і білка як елементів структури хлоропласта, а також для синтезу ферментів, що каталізують реакції фотосинтезу. Фосфор використовується для синтезу АТФ. Надлишок фосфору гальмує фотосинтез, внаслідок зміни проникності мембран. При нестачі калію промени слабо відкриваються при світлі і недостатньо закриваються в темряві, руйнується структура гран хлоропластів, знижується інтенсивність фотосинтезу. Сірка є необхідним компонентом білків, входить до складу ферментів, які каталізують окислювально-відновні процеси і реакції засвоєння вуглекислоти. Залізо необхідне для нормального протікання процесів біосинтезу хлорофілу. Іони марганцю можуть бути донорами e^- в електронно-транспортному ланцюгу. Цинк підвищує активність ферменту, який сприяє активації вуглекислоти.

Фотосинтез і урожай. Суха маса рослин на 90-95% складається із органічних речовин джерелом яких є фотосинтез. Загальна кількість нагромадженої органічної речовини залежить від співвідношення між процесами їх синтезу і розкладання. Найвищі врожаї рослин забезпечують такі умови: збільшення листової поверхні в посівах, подовження часу активної роботи фотосинтетичного апарату протягом кожної доби і всього вегетаційного періоду; висока інтенсивність і продуктивність фотосинтезу і максимальні добові прирости сухої речовини, максимальний приток продуктів фотосинтезу із усіх фотосинтезуючих органів.

Теоретичні питання

1. Загальні уявлення про фотосинтез, його значення в загальній енергетиці і обміні речовин рослин, в природі і сільському

- господарстві. Основні етапи розвитку вчення про фотосинтез.
2. Листок як орган фотосинтезу. Фотосинтетичні пігменти.
 3. Первинні процеси фотосинтезу (світлова фаза). Структурна організація електронно-транспортного ланцюга хлоропластів. Фотосистема I і фотосистема II.
 4. Циклічне і нециклічне фотофосфорилування.
 5. Темнова фаза фотосинтезу. Метаболізм вуглецю за Кальвінім (C₃-шлях).
 6. C₄-шлях фотосинтезу (кооперативний фотосинтез).
 7. Основні показники фотосинтезу.
 8. Залежність інтенсивності фотосинтезу від екологічних умов і внутрішніх чинників.
 9. Фотодихання.

Питання для контролю засвоєння теми

1. Загальні уявлення про фотосинтез.
2. Фотосинтетичні пігменти.
3. Циклічне фотофосфорилування.
4. Нециклічне фотофосфорилування.
5. Метаболізм вуглецю за Кальвінім.
6. Цикл Хетча-Слека.
7. Фотодихання.
8. Екологія фотосинтезу.
9. Взаємозв'язок фотосинтезу з диханням.

Тестові питання

1. До яких сполук відносяться хлорофіли за хімічною природою?
 - а) спирти б) кислоти в) альдегіди г) складні ефіри
2. З якою довжиною (нм) світлові хвилі використовуються на процес фотосинтезу?
 - а) 350 – 380 б) 460 – 500 в) 680 – 700 г) 750 – 780
3. Першим продуктом фотосинтезу є:
 - а) фосфогліцеринний альдегід б) фосфогліцеринна кислота
 - в) фруктозо – 6 – фосфат г) фосфодіоксиацетон
4. Акцептором CO₂ у циклі Хетча і Слека виступає:
 - а) щавлевоцтова кислота б) фосфоенолпірвіноградна кислота
 - в) яблучна кислота г) пірвіноградна кислота
5. В процесі світлової фази фотосинтезу відбувається ...
 - а) утворення білків б) трансформація світлової енергії в хімічну
 - в) виділення вуглекислого газу г) фотоліз води
6. Що є акцептором вуглекислого газу в циклі Кальвіна?

- а) глюкозо-1,6-фосфат б) рибулозо-1,5-дифосфат
 в) фосфогліцерінова кислота г) фосфоенолпіровиноградна кислота
7. В якій частині хлоропласту відбуваються реакції темної фази фотосинтезу?
 а) мембранній оболонці б) гранах в) тилакоїдах г) стромі
8. Стадія першого карбоксилювання закінчується на утворенні ...
 а) щавлевооцтовій кислоті б) яблучній кислоті
 в) аспарагіновій кислоті г) піровиноградній кислоті
9. Яка органічна сполука утворюється за циклічного фотофосфорилування?
 а) аденозинмонофосфат б) аденозіндифосфат
 в) аденозинтрифосфат г) відновлений кофермент НАДФ
10. В якій сільськогосподарській культурі фотосинтез відбувається за С₄-шляхом?
 а) пшениці б) кукурудзи в) гороху г) сої
11. В яких сполуках накопичується трансформована сонячна енергія при нециклічному фотофосфорилуванні?
 а) НАДФ · Н₂ і АДФ б) НАДФ · Н₂ і УТФ
 в) АТФ і НАДФ · Н₂ г) АТФ і УТФ
12. В якій сільськогосподарській культурі фотосинтез відбувається за С₃-шляхом?
 а) пшениці б) кукурудзи в) сорго г) просо

ТЕМА: БІОХІМІЯ ДИХАННЯ. СПЕЦИФІКА КЛІТИННОГО ДИХАННЯ РОСЛИН

Основний зміст

Дихання – це система окислювально-відновних процесів, у яких складні молекули (у більшості вуглеводи і жири) розщеплюються на дрібніші й простіші, а значна кількість енергії, яка вивільняється, передається на АТФ – універсальні молекули, що несуть енергію і таким чином вона може бути використана для усіх життєвих потреб організму. Проміжні продукти, які утворюються під час окислення, використовуються як вихідний матеріал для ряду синтетичних реакцій.

Дихання – процес складний і його можна поділити на кілька стадій: гліколіз, цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса) та електронно-транспортний ланцюг.

Гліколіз – ферментативний анаеробний процес негідролітичного розкладання вуглеводів (глюкози) до піровиноградної кислоти. У клітинах рослин головні субстрати гліколізу – моносахариди: глюкоза та D-фруктоза. Перша утворюється з крохмалю або із сахарози, D-фруктоза – із сахарози.

Результатом гліколізу є наступні принципові перетворення: 1) розщеплення глюкози до двох молекул пірувату; 2) фосфорилування АДФ до АТФ; 3) відновлення НАД. Хоча призначенням гліколізу як частини дихального процесу є генерування АТФ, його початкові підготовчі стадії відбуваються з використанням АТФ. Гліколіз складається з ряду послідовних реакцій за участю відповідних специфічних ферментів.

Фосфорилування глюкози. Кінцева фосфатна група АТФ переноситься на глюкозу з утворенням глюкозо-6-фосфату. Частина енергії, яка утворюється при розкладанні АТФ запасається у формі хімічного зв'язку фосфату з глюкозою. Це перетворення каталізується ферментом гексокіназою, реакція відбувається тільки за наявності іонів Mg^{2+} (або Mn^{2+}).

Ізомеризація глюкозо-6-фосфату з утворенням фруктозо-6-фосфату за участю ферменту глюкозофосфатізомерази.

Фосфорилування фруктозо-6-фосфату з утворенням фруктозо-1,6-дифосфату за рахунок молекули АТФ. Таким чином, утворення високо енергетичної сполуки фруктозо-1,6-дифосфату супроводжується використанням двох молекул АТФ.

Розщеплення фруктозо-1,6-дифосфату з утворенням двох фосфотріози (триозофосфатів) – фосфодіоксиацетонфосфату і 3-фосфогліцеринового альдегіду.

Ізомеризація фосфотріоз. Утворений фосфодіоксиацетон відразу перетворюється у 3-фосфогліцериновий альдегід під дією ферменту триозофосфатізомерази.

На цьому завершується підготовча стадія гліколізу, на яку витрачається енергія двох молекул АТФ. Отже, з кожної молекули глюкози утворюється дві молекули 3-фосфогліцеринового альдегіду.

Утворення 1,3-дифосфогліцеринової кислоти. Наступна центральна реакція гліколізу є окислювально-відновним процесом, у результаті якої відбувається нагромадження енергії: дві молекули 3-фосфогліцеринового альдегіду окислюються з утворенням двох молекул 1,3-дифосфогліцеринової кислоти, попутно $НАД^+$ перетворюється на НАДН. Цю реакцію каталізує фермент триозофосфатдегідрогеназа.

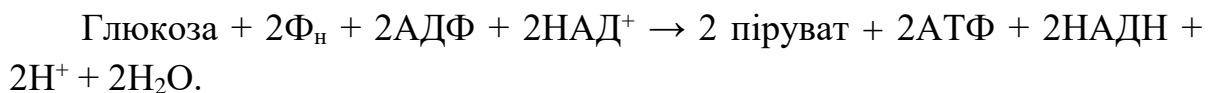
Перенесення фосфатної групи 1,3-дифосфогліцеринової кислоти на АДФ. При цьому утворюються АТФ та 3-фосфогліцеринова кислота. Каталізує цю реакцію фосфогліцераткіназа. Такий тип синтезу АТФ, за якого використовується розчинна сполука з високим потенціалом перенесення фосфатної групи, називають субстратним фосфорилуванням на противагу окисному фосфорилуванню. Останнє відбувається під час аеробного окиснення у внутрішній мембрані мітохондрій.

Изомеризація 3-фосфогліцеринової кислоти у 2-фосфогліцеринову кислоту (2-фосфогліцерат).

Дегідратація 2-фосфогліцерату під дією ферменту енолази з утворенням високоенергетичного фосфатного зв'язку в молекулі фосфоенолпіровиноградної кислоти (фосфоенолпіруват (ФЕП)).

Перенесення фосфатної групи із фосфоенолпірувату на АДФ з утворенням АТФ і енолпіровиноградної кислоти, яка спонтанно перетворюється у піровиноградну кислоту.

Ця реакція завершує етап гліколізу. Загальне рівняння гліколізу має такий вигляд:



Таким чином, в результаті гліколізу з кожної молекули глюкози утворюється дві молекули піровиноградної кислоти, дві молекули НАДН та дві молекули АТФ. Кінцевий продукт гліколітичного розщеплення глюкози – піровиноградна кислота (піруват) в анаеробних умовах зазнає подальших перетворень і окислюється до вуглекислого газу і води в дихальному циклі Кребса.

Цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса). Це ключовий етап дихання всіх клітин, що використовують кисень (аеробне дихання). В ході циклу Кребса відбувається перетворення двох- і тривуглецевих сполук, що утворюються як проміжні продукти в живих організмах при розпаді вуглеводів, жирів і білків, до CO_2 . При цьому звільнений водень прямує в ланцюг тканинного дихання, де надалі окислюється до води, беручи безпосередню участь в синтезі універсального джерела енергії – АТФ.

Цикл Кребса також є важливим джерелом молекул-попередників, з яких в ході інших біохімічних перетворень синтезуються такі важливі для життєдіяльності клітини сполуки, як амінокислоти, вуглеводи, жирні кислоти та ін.

Цикл трикарбонових кислот можна поділити на ряд послідовних стадій.

С т а д і я 1. Утворення лимонної кислоти. Ацетилкофермент А реагує з щавлевооцтовою кислотою, в результаті чого ацитильний залишок коферменту А переноситься на щавлевооцтову кислоту і синтезується лимонна кислота. Цю реакцію каталізує фермент цитратсинтаза.

С т а д і я 2. Утворення ізолимонної кислоти. Реакцію каталізує фермент аконітаза.

С т а д і я 3. Окислення ізолимонної кислоти до α -кетоглутарової кислоти.

С т а д і я 4. *Окислення α -кетоглутарової кислоти до сукциніл-КоА* в результаті окислювального декарбоксилювання α -кетоглутарової кислоти та взаємодії продукту з коферментом А.

С т а д і я 5. *Перетворення сукциніл-КоА на янтарну кислоту.*

При цьому енергія макроергічного зв'язку сукциніл-КоА переноситься на АТФ. Реакція каталізується ферментом сукциніл-КоА-синтетазою.

С т а д і я 6. *Окислення янтарної кислоти до фумарової кислоти.*

С т а д і я 7. *Гідратація фумарової кислоти і утворення яблучної кислоти.*

С т а д і я 8. *Окислення яблучної кислоти до щавлевооцтової кислоти.*

Реакція каталізується ферментом малатдегідрогеназою, активною групою якої є НАД⁺.

В останній завершальній реакції цього циклу щавлевооцтова кислота зразу ж перетворюється в свою енольну форму, яка взаємодіє з ацетилкоферментом А і цикл знову повторюється.

Головне значення циклу Кребса полягає у вивільненні енергії, нагромадженої в окислювальних сполуках (вуглеводах, жирах, білках) і перетворенні її в енергію хімічних зв'язків АТФ та його подібних макроергічних сполук, які постачаються клітині. При окисненні 2 молекул пірувату утворюється 30 молекул АТФ. Реакції циклу і речовини, які утворюються у ньому, відіграють вирішальну роль у біосинтезі багатьох сполук, починаючи від органічних кислот, амінокислот і закінчуючи жирними кислотами, пуринами і піримідинами.

Гліоксилатний цикл. Гліоксилатний цикл локалізований не в мітохондріях, як цикл Кребса, а у спеціалізованих мікротілах – гліоксисомах. На відміну від циклу Кребса, у гліоксилатному циклу бере участь не одна, а дві молекули ацетил-КоА. Це циклічний ферментативний процес, в якому відбувається послідовне перетворення активної форми оцтової кислоти через стадію утворення гліоксилової кислоти.

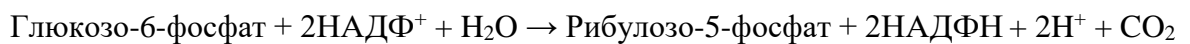
Гліоксилатний цикл є видозміненим циклом трикарбонових кислот: у ньому відсутні два етапи декарбоксилювання і лише два ферменти інакші, ніж у циклі трикарбонових кислот – ізоцитратліаза і малатсинтаза, але саме вони забезпечують специфічність роботи циклу.

Гліоксилатний цикл має особливе значення для насіння олійних культур. Під час проростання цього насіння жир підтримує ріст проростка, поки він повністю не перейде до фотосинтезу. Гліоксилатний цикл дає можливість перетворювати запасний жир у вуглеводи. Крім того, на один оберт циклу відновлюється 1 молекула НАД, енергія якої може бути використана на синтез АТФ або на інші процеси.

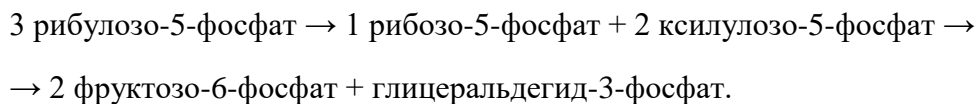
Пентозофосфатний шлях дихання. Це спосіб катаболізму гексоз, в якому беруть участь п'ятивуглецеві пентози. Окислення глюкози при цьому шляху пов'язано з відщепленням першого атома вуглецю у вигляді CO_2 . Відбувається в розчинній частині цитоплазми і має дві фази.

Перша фаза – *окисна*; вихідний субстрат глюкозо-6-фосфат окислюється до рибулозо-5-фосфату, ця фаза незворотня. Друга фаза – *неокисна*, це взаємоперетворення трьох, чотирьох-, п'яти-, шести- і семиуглецевих цукрів, що призводить до регенерації глюкозо-6-фосфату. Пентозофосфатний шлях є циклічним, бо в кінці регенерується вихідний – субстрат глюкозо-6-фосфат.

Загальна реакція першої фази:



Загальна реакція другої фази:



Потім одна із молекул 3-фосфогліцеринового альдегіду ізомеризується в фосфодіоксиацетон, який потім вступає в реакцію з другою молекулою 3-фосфогліцеринового альдегіду і утворюється фруктозо-1,6-дифосфат. При відщепленні залишку фосфорної кислоти від фруктози-1,6-дифосфату утворюється фруктозо-6-фосфат. В останній реакції проходить ізомеризація фруктозо-6-фосфату з утворенням глюкозо-6-фосфату і цикл починається знову.

Основне значення пентозофосфатного циклу заключається в тому, що в клітинах утворюється НАДФН, який не утворюється при окисненні глюкози до пірвіноградної кислоти або в циклі Кребса. Активність пентозофосфатного циклу зростає при несприятливих умовах.

Залежність інтенсивності дихання від зовнішніх і внутрішніх факторів. Загальна закономірність дихання в онтогенезі рослини полягає в тому, що спочатку інтенсивність дихання зростає, досягає максимуму, а потім загасає; є короткотермінові періоди значного зростання інтенсивності дихання. Так, у соковитих плодів перед повним досяганням спостерігається тимчасова, на 2-3 дні, активація дихання, яка одержала назву клімактеричний підйом дихання.

В м і с т в о л о г и. Від вмісту води у клітинах залежить колоїдний стан цитоплазми, активність ферментів, відкриття продихів, через які відбувається газообмін. У стані водного дефіциту в клітинах рослин знижується інтенсивність дихання окремих органів рослин.

В п л и в т е м п е р а т у р и. Дихання рослин відбувається в широкому діапазоні температур – від 25 до 50-60°C. Як і усі ферментативні процеси, дихання має три кардинальні точки: мінімум, оптимум і максимум. При температурі нижчій за мінімальну дихання не відбувається. Оптимальна температура найсприятливіша – дихання відбувається з найбільшою інтенсивністю тривалий час. При максимальній температурі дихання ще спостерігається. Оптимальна температура для дихання рослин дорівнює 35-40°C, що на 5-10°C вище оптимуму для фотосинтезу.

К о н ц е н т р а ц і я к и с н ю у п о в і т р і. При нагромадженні високих доз вуглекислого газу у середовищі знижується і майже зупиняються процеси дихання і росту. Для деяких плодів та овочів підвищений вміст CO₂, знижуючи інтенсивність дихання, є сприятливим для зберігання і не погіршує якості продукції. Це стосується, зокрема, моркви. Яблука і груші в умовах високої концентрації CO₂ не перестигають, завдяки цьому подовжуються строки їх зберігання. Проте для багатьох рослин надмірне нагромадження CO₂ викликає серйозні порушення в обміні речовин, зокрема, підвищення рН призводить до руйнування аскорбінової кислоти. За таких умов настає швидке пошкодження апельсинів, капусти, цибулі. Ці плоди при зберіганні потребують доброї аерації.

У м о в и м і н е р а л ь н о г о ж и в л е н н я. Нестача мінеральних речовин призводить до руйнування мітохондрій, роз'єднання окислювального фосфорилування і дихання. Мінеральні речовини необхідні для функціонування і біосинтезу дихальних ферментів.

Теоретичні питання

1. Загальна характеристика дихання і його значення в житті рослин.
2. Гліколіз, його сутність.
3. Цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса).
4. Гліоксилатний цикл.
5. Пентозофосфатний шлях дихання.
6. Інтенсивність дихання і його залежність від зовнішніх і внутрішніх факторів.

Питання для контролю засвоєння теми

1. У чому полягає функція дихання як десиміляційного процесу? Доведіть, що дихання – це окисно-відновний процес.
2. Чому аеробне дихання ефективніше порівняно з анаеробним?
3. Стадії процесу дихання. Поняття про гліколіз. Призначення гліколізу як частини дихального процесу.

4. Основні реакції циклу трикарбонних кислот. Його значення як частини дихального процесу.
5. Особливості гліюксилатного циклу в процесі дихання та його значення.
6. Значення пентозофосфатного циклу для процесу клітинного дихання процесу.
7. Охарактеризуйте каталітичні системи клітинного дихання.
8. Вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на інтенсивність дихання.

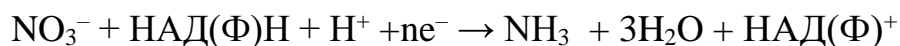
Тестові питання

1. Що із зазначеного є загальною схемою дихання?
 - а) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2$
 - б) $\text{CH}_3\text{COCOON} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{COONCH}_2\text{COCOON}$
 - в) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 - г) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{CO}_2$
2. Яку функцію в процесі дихання відіграють анаеробні дегідрогенази?
 - а) окислюють дихальний субстрат
 - б) передають водень на кисень повітря
 - в) відновлюють кисень
 - г) проміжне перенесення водню
3. Де в клітині відбувається процес гліколізу?
 - а) мітохондріях
 - б) ендоплазматичній сітці
 - в) цитоплазмі
 - г) хлоропластах
4. Який газ поглинають рослини в процесі дихання?
 - а) вуглекислий
 - б) кисень
 - в) озон
 - г) сірководень
5. Скільки молекул АТФ утворюється при окислювальному фосфорилуванні однієї молекули відновленого коферменту ФАД?
 - а) 8
 - б) 5
 - в) 3
 - г) 2
6. Що є кінцевим продуктом анаеробної фази дихання?
 - а) фосфогліцерінова кислота
 - б) шавлевооцтова кислота
 - в) піровиноградна кислота
 - г) яблучна кислота
7. Де в клітині локалізовані ферменти циклу Кребса?
 - а) мітохондріях
 - б) хлоропластах
 - в) ендоплазматичній сітці
 - г) лізосомах
8. Що рослини використовують як дихальний субстрат в першу чергу?
 - а) вуглеводи
 - б) ліпіди
 - в) білки
 - г) нуклеотиди
9. Значення пентозофосфатного шляху перетворення вуглеводів при диханні рослин?
 - а) вивільнення енергії
 - б) укорочування вуглецевого ланцюга
 - в) утворення рибулоз-5-фосфат
 - г) відновлення коферменту НАДФ
10. При проростанні насіння якої культури дихання відбувається переважно через цикл гліюксалевої кислоти?
 - а) пшениці
 - б) гороху
 - в) кукурудзи
 - г) соняшнику
11. Від якого фактору зовнішнього середовища залежить інтенсивність дихання?
 - а) інтенсивності освітлення
 - б) якості світла
 - в) температури
 - г) інших факторів

**ТЕМА: МЕТАБОЛІЗМ БІЛКОВИХ СПОЛУК ТА ЛІПІДІВ.
БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ НА РІЗНИХ ЕТАПАХ ОНТОГЕНЕЗУ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

Основний зміст

Обмін амінокислот. У рослинних організмів первинне включення азоту (Нітрогену) в амінокислоти відбувається лише в амонійній формі. Основним джерелом азоту для рослин є нітрати. В рослинних тканинах нітрати швидко відновлюються до аміаку:



Цей процес відбувається через перетворення нітратів до нітритів, а останні відновлюються до аміаку, каталізаторами, відповідно, виступають нітратредуктази нітритредуктази. Вказані ферменти нітратвідновлюючої системи інтенсивно утворюються в рослинах у відповідь на надходження нітратів (так звані індуковані ферменти).

Нітратредуктаза – металофлавопротеїд, який містить молібден, залізо і флавінаденіннуклеотид (ФАД); локалізований у цитоплазмі. Крім іонів NO_3^- , індуктором синтезу нітратредуктази можуть бути органічні нітросполуки і цитокінін. *Нітритредуктаза* – також металофлавопротеїд, у складі якого міститься залізопорфін. Активність цього ферменту значно вища, ніж нітратредуктази. Аміак, який утворився внаслідок відновлення нітратів, а також той, що надійшов у рослину із зовнішнього середовища, використовується рослиною для синтезу амінокислот.

Досить часто кількість аміаку, яка надходить і утворюється в рослинах, перебільшує ту кількість, яка може бути використана для синтезу амінокислот, тому його нейтралізація в рослинах відбувається і за іншими механізмами – утворенням амідів, амонійних солей, сечовини. Аміак є токсичним для рослин і при накопиченні великої кількості його можливе їх отруєння.

Синтез амінокислот. У рослинних, та й тваринних організмів, є два основні шляхи синтезу амінокислот – пряме амінування і переамінування (трансамінування).

Пряме амінування кетокислот – одна з основних реакцій зв'язування аміаку і основний шлях синтезу амінокислот в рослинах. Основні процеси, в результаті яких утворюються кетокислоти – це цикл Кребса і реакції анаеробного розпаду вуглеводів.

Утворення амідів. В більшості вищих рослин надлишок аміаку знешкоджується також утворенням амідів, наприклад, аспаргіну і глутаміну. Так, під час прямого амінування глутамінової кислоти за участю АТФ утворюється амінокислота глутамін, яка є амідом глутамінової кислоти:

Утворення амонійних солей. Набагато швидше проходить знешкодження аміаку в рослинах з кислим клітинним соком і високим вмістом яблучної, щавлевої, лимонної та інших кислот. При цьому аміак зв'язується головним чином у вигляді амонійних солей органічних кислот.

Синтез сечовини – ще один додатковий механізм знешкодження надлишкової амонійної форми азоту. Сечовина не токсична для клітин рослин, оскільки є нормальним продуктом обміну речовин, який легко включається до біосинтетичних реакцій. Сечовина добре засвоюється через корені. Використання її азоту проходить досить швидко, так як в рослинних тканинах є фермент *уреаза*, який каталізує розщеплення сечовини до вуглекислого газу і аміаку.

Реакції трансамінування – перенесення α -аміногрупи від амінокислоти на α -вуглецевий атом α -кетокислоти – акцептора аміногрупи. Так утворюється більшість амінокислот. Найбільш легко вступають в реакцію трансамінуванню глутамінова та аспарагінова кислоти. Реакцію каталізують ферменти *аміотрансферази*, активною групою якого яких є фосфорильоване похідне вітаміну В₆ – піридоксальфосфат. Таким чином, аспарагін і глутамін утворюються не тільки під час прямого амінування відповідних кетокислот, а також є продуктами трансамінування в рослинах. Вихідними речовинами для їх біосинтезу є відповідні кислоти – глутамінова та аспарагінова. Біосинтез проходить за участю АТФ і ферментів.

Шляхи перетворення амінокислот. Амінокислоти, головним чином, вони використовуються для синтезу білків, але також можуть піддаватися і іншим перетворенням: декарбоксілюванню, приймати участь в синтезі азотистих основ та інших сполук, відщеплювати аміногрупу, повністю окислюватися з вивільненням енергії для потреб організму.

Дезамінування амінокислот – розкладання амінокислот на аміак і відповідні кетокислоти. Такий шлях дезамінування амінокислот, результатом якого є утворення кетокислот, одержав назву окислювального дезамінування; відбувається в 2 стадії. На першій стадії амінокислота під дією ферменту глутаматдегідрогенази дегідується і перетворюється у відповідну амінокислоту. А на другій стадії до амінокислоти приєднується вода і відщеплюється аміак.

Декарбоксілювання амінокислот. В результаті цієї реакції від амінокислот відщеплюється вуглекислий газ. Якщо декарбоксілюванню

піддається дикарбонова кислота, то виникає відповідна монокарбонова кислота. При декарбоксілюванні монокарбонових кислот утворюються відповідні аміни. Деякі аміни являють собою високотоксичні речовини, які викликають отруєння рослинних і тваринних тканин. Ці аміни відносять до групи трупної отрути.

Біосинтез білка. Двадцять із утворених амінокислот використовуються для синтезу білка, решта або залишаються в клітині у вільному стані, або перетворюються в нікотинамід, піримідин, порфірин та інші сполуки.

Процес біосинтезу білків є універсальним для всіх живих систем на Землі. При синтезі білка в клітині реалізується два фундаментальних принципи: *матричний принцип* і *принцип компліментарності*.

Матричний принцип складається з того, що взаємодія проходить не між молекулами, що знаходяться в хаотичному русі, а між фіксованими молекулами або системами. Принцип матричного синтезу реалізується через принцип компліментарності, який реалізується в тих же процесах, що і принцип матричного синтезу, тобто при утворенні ДНК, РНК і білків.

Амінокислоти кодуються *кодоном*, що складається з комбінацій трьох нуклеотидів; до складу різних нуклеотидів РНК входять відповідні азотисті основи: аденін (А), гуанін (Г), цитозин (Ц), урацил (У). До складу нуклеотидів ДНК входять такі азотисті основи: аденін (А), гуанін (Г), цитозин (Ц), тимін (Т).

Комплементарність – чітка відповідність нуклеотидів у двох ланцюгах ДНК. Кількість нуклеотидів, що містить А, у молекулі ДНК дорівнює числу нуклеотидів, що містить Т ($A = T$), а число нуклеотидів з Г дорівнює числу нуклеотидів із Ц ($G = C$). За принципом комплементарності: А-Т, Г-Ц (для ДНК) і А-У, Г-Ц (для РНК).

Е т а п и с и н т е з у б і л к а: активування амінокислот; ініціація поліпептидного ланцюга; елонгація поліпептидного ланцюга; термінація поліпептидного ланцюга.

Активування амінокислот. Проходить в дві стадії: на першій – під дією відповідної аміноацил-т-РНК-синтетази проходить взаємодія амінокислоти і АТФ з утворенням комплексної сполуки амінокислоти з аденіловою кислотою. В результаті реакції утворюються аденілати амінокислот і неорганічний пірофосфат. Таким чином, на першій стадії активування аденілати амінокислот являються зв'язаними з відповідними їм аміноацил-т-РНК-синтетазами.

На другій стадії активування амінокислот проходить взаємодія комплексу амінокислоти і ферменту з транспортною РНК (т-РНК). У всіх молекул різних т-РНК полінуклеотидний ланцюг закінчується однаковою

групіровкою, до складу якої входить дві молекули *цитидину* і одна молекула *аденозину*, які сполучені між собою залишком фосфорної кислоти. Залишок аденозину має вільну ОН-групу. Кожна т-РНК містить трійку нуклеотидів, яке комплементарне відповідній трійці нуклеотидів в молекулі матричної РНК (м-РНК). Такі специфічні трійки нуклеотидів в м-РНК називаються *кодонами*, а комплементарні їм триплети, які містяться в молекулах т-РНК – *антикодонами*.

Ініціація полінуклеотидного ланцюга. Наступні етапи біосинтезу білка проходять в рибосомах. При відповідній концентрації іонів магнію кожна рибосома розпадається на дві неоднакові субчастини. Структурну основу цієї внутрішньоклітинної частини складає рибосомна РНК (р-РНК), з якою зв'язано декілька десятків різних білків. Встановлено, що ініціація полінуклеотидного ланцюга проходить в тій частині м-РНК, де є кодон АУГ (аденін-урацил-гуанін). До нього може приєднуватися тільки та т-РНК, яка має в антикодоні трійку нуклеотидів УАЦ (урацил-аденінцитозин), що є комплементарною відповідній трійці. В результаті вивчення послідовності нуклеотидів в антикодонах різних т-РНК встановлено, що антикодон УАЦ є в метіоніновій т-РНК. Тому ініціація полінуклеотидного ланцюга повинна починатися з амінокислоти метіоніна.

В процесі формування молекули білка рибосоми повинні зв'язувати м-РНК, яка буде полінуклеотидний ланцюг, і молекули т-РНК, які сполучені з амінокислотами. При вивченні процесу ініціації синтезу полінуклеотидного ланцюга було показано, що в звичайному стані рибосоми неактивні по відношенню до білкового синтезу. Вони повинні бути перетворені в так званий ініціюючий комплекс за участю молекул м-РНК.

Елонгація полінуклеотидного ланцюга. Елонгація розпочинається з утворення першого пептичного зв'язку у *N*-кінця поліпептиду і продовжується до *C*-кінцевої амінокислоти. Приєднання кожної нової амінокислоти при елонгації проходить на протязі ряду складних реакцій, які повторюються стільки разів, скільки амінокислот включається в поліпептидний ланцюг. Положення амінокислот в утвореному поліпептидному ланцюгу строго відповідне, воно залежить від природи кодонів.

Термінація поліпептидного ланцюга. Цей процес заключається в завершенні синтезу і відділенні синтезованого поліпептидного ланцюга від рибосоми і від останньої т-РНК. Сигнал про закінчення синтезу поліпептидного ланцюга подається трьома спеціальними кодонами в м-РНК. Це кодони УАГ, УАА і УГА, їм не відповідають антикодони ні однієї із т-

РНК, тобто до таких ділянок м-РНК, де є ця трійка нуклеотидів ні одна транспортна РНК не може приєднатися.

Генетичний код. Генетичний код – властива всім живим організмам єдина система запису спадкової інформації у вигляді послідовності нуклеотидів, в якій кожні три нуклеотиди (*кодон*) визначають одну молекулу амінокислоти у кодованому білку.

На теперішній час розшифровано код для всіх 20 амінокислот. Код є триплетним, тобто включення в поліпептидний ланцюг будь-якої амінокислоти визначається комбінацією із трьох нуклеотидів в ланцюгу м-РНК. Кожна комбінація носить назву кодон. Із 64 триплетів – 61 кодон кодує включення в поліпептидний ланцюг тої чи іншої амінокислоти. Триплети УАА, УАГ і УГА є термінуючими кодонами і вони не кодують включення якої небудь амінокислоти в поліпептидний ланцюг. Таким чином, вони визначають довжину поліпептидного ланцюга. Як тільки синтез ланцюга дійде до одного з цих кодонів, приєднання амінокислот зупиняється і ланцюг обривається.

Механізм передачі генетичної інформації. Схема переносу генетичної інформації в клітині включає наступні процеси: 1) від ДНК до ДНК – редуплікація ДНК; 2) від ДНК до РНК – транскрипція; 3) можлива передача інформації від РНК на ДНК – зворотна транскрипція (в життєвому циклі вірусів і еукаріот); 4) з РНК на білок – трансляція. Як приклад, перенесення інформації від ДНК на РНК можна відобразити наступною схемою схеми:

ДНК:	ЦЦТ	ААА	АТА	ГГГ	ЦАА
РНК:	ГГА	УУУ	УАУ	ЦЦЦ	ГУУ

Чергування амінокислот в поліпептидному ланцюгу білкової молекули записано у ДНК за допомогою коду, який складається за допомогою чотирьох азотистих основ (А, Г, Ц, Т), скомбінованих по три. м-РНК синтезується на ДНК і завдяки компліментарності синтезу записаний код переноситься і на неї. т-РНК переносить амінокислоти на комплементарні їй кодони м-РНК, в результаті чого утворюється білкова молекула зі строго визначеним чергуванням амінокислот в поліпептидному ланцюгу.

Розпад білків. Процеси розпаду особливо активізуються при проростанні насіння, коли йде процес розщеплення запасних білків ендосперми і сім'ядоль і утворюються амінокислоти і інші прості азотисті сполуки, які використовуються для побудови білків, зародка, який розвивається. Розпад може йти дуже інтенсивно і при старінні рослин, коли розщеплюються білки вегетативних органів і азотисті сполуки

переміщуються в репродуктивні органи, де йде інтенсивний синтез білків. Процеси розпаду білків мають не менш важливе значення в життєдіяльності організмів, чим їх біосинтез.

Розпад білків в рослинах проходить шляхом їх гідролітичного розщеплення під дією протеолітичних ферментів (*протеази*), які розщеплюють білки на пептиди і амінокислоти. Протеази рослин можуть бути розділені на дві групи: протеїнази і пептидази. *Протеїнази* – група ферментів, які розщеплюють білки до амінокислот шляхом гідролізу внутрішніх пептидних зв'язків. *Пептидази* прискорюють відщеплення амінокислот з боку вільної аміної або карбоксильної групи. Група ферментів – *амідази*, каталізують гідроліз амідів (аспарагіну і глутаміну) з утворенням дикарбонових кислот і вільного аміаку. У проростаючому насінні розпад білків відбувається інтенсивно завдяки високій активності протеїназ.

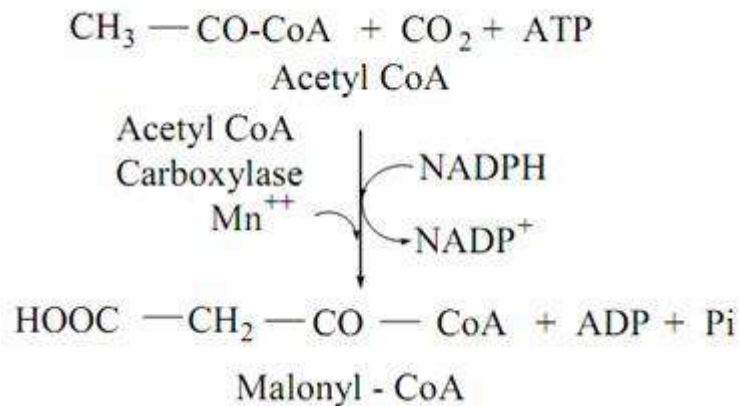
Утворенні амінокислоти переміщуються до місця біосинтезу нових молекул білка (до рибосом) або зазнають дезамінування. Існує три види дезамінування: окислювальне, відновне і гідролітичне. Кінцевими продуктами в усіх випадках є органічні кислоти та аміак. Звільнений при розпаді білків аміак у значних кількостях не накопичується, тому що одночасно з розпадом відбуваються синтетичні процеси – новоутворення білків.

Біосинтез ліпідів. Біосинтез ліпідів у рослинному організмі – важлива ланка обміну речовин. Вони відкладаються про запас в насінні для наступного використання як енергетичний і будівельний матеріал. Безперервно поновлюються також полярні ліпіди, які входять в склад мембран. Жири (триацилгліцероли) – естери жирних кислот і трьохатомного спирту – гліцеролу. Біосинтез ацилгліцеролів можна поділити на три фази: утворення жирних кислот, утворення гліцеролу, приєднання жирних кислот до гліцеролу.

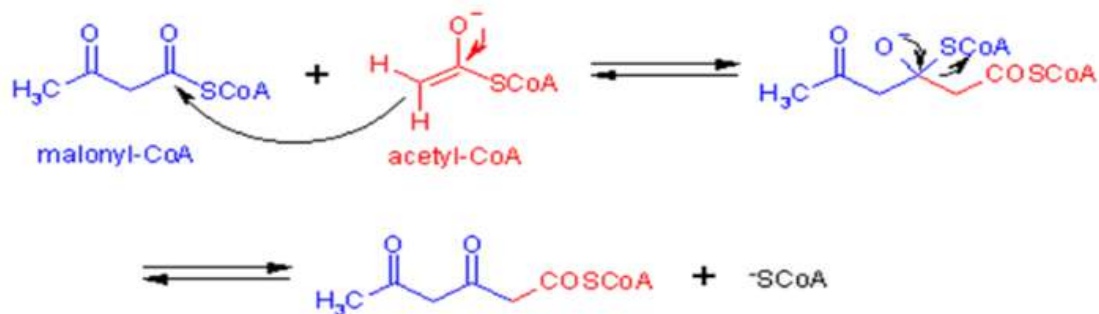
Синтез жирних кислот відбувається в рослинних клітинах усіх типів, оскільки вони необхідні для побудови ліпідних компонентів мембран. Вихідною сполукою є ацетил-КоА, який у вегетативних клітинах головним чином утворюється з пірвіноградної кислоти у мітохондріях в процесі метаболізму вуглеводів. Джерелом ацетил-КоА є також процес β-окислення жирних кислот. Процес утворення насичених і ненасичених жирних кислот з ацетил-КоА можна поділити на три фази.

У першій фазі ацетил-КоА карбоксилюється з утворенням малоніл-КоА. Ця фаза визначає швидкість усього процесу біосинтезу вищих жирних кислот. Каталізує цю реакцію *ацетил-КоА-карбоксилаза* –

мультиферментний комплекс з двох ферментів і коферменту, який містить біотин.



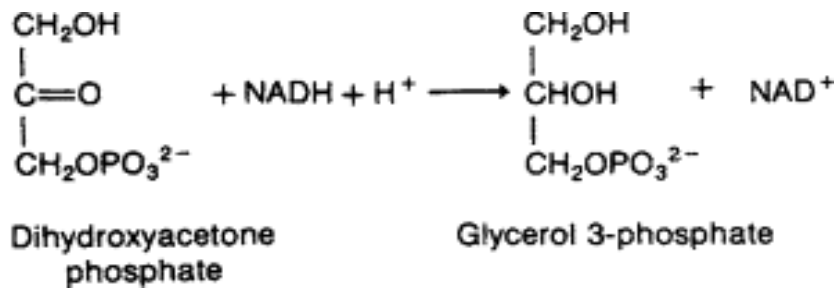
У другій фазі відбувається циклічна конденсація C₂-залишків, у результаті чого утворюється насичена жирна кислота з нерозгалуженим ланцюгом, парною кількістю вуглецевих атомів. Цей процес каталізується багатоферментним комплексом з термостабільним кофактором, який називають *ацил-переносний білок* (АПБ).



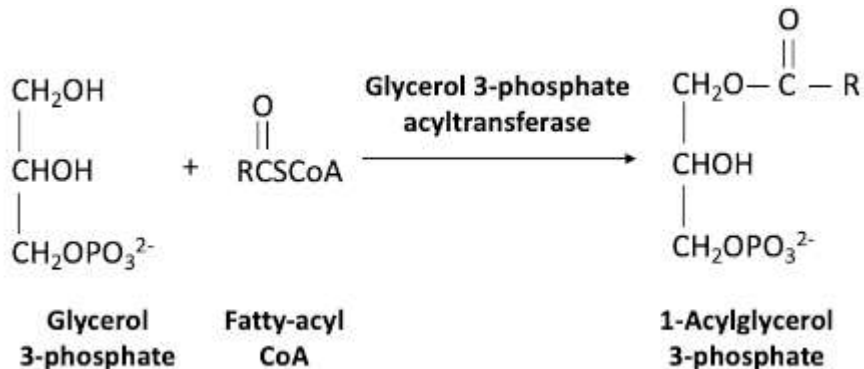
В кінці першого циклу утворюється масляна кислота, два перших вуглеці якої належали ацетил-КоА, два наступних – малоніл-КоА. При повторенні кожного циклу до ацильного залишка додається двовуглецева сполука, яка утворюється з наступної молекули малоніл-КоА. Для синтезу пальмітинової кислоти необхідно сім циклів. Новоутворена жирна кислота (пальмітинова) від'єднується від АПБ.

Третій етап біосинтезу жирних кислот полягає у тому, що з пальмітинової кислоти можуть утворюватися інші насичені й ненасичені жирні кислоти з дуже довгим вуглецевим ланцюгом. Ці перетворення каталізуються багатоферментними комплексами.

У т в о р е н н я а ц и л г л і ц е р о л і в. Гліцерол-3-фосфат, необхідний для синтезу ліпідів, утворюється шляхом відновлення дигідроксиацетонфосфату – проміжного продукту гліколізу.



Далі гліцерол-3-фосфат ацилюється (приєднує активовані жирні кислоти):

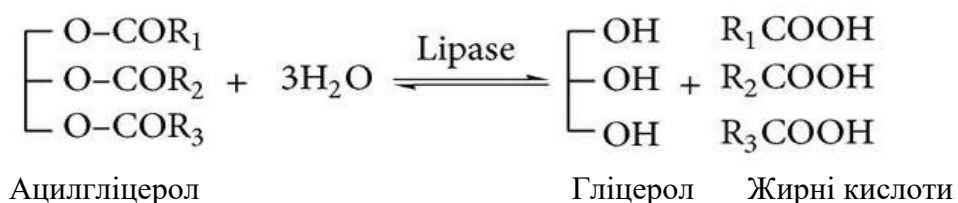


Розпад жирів. Розпад жирів найбільш енергійно відбувається при проростанні насіння олійних культур. Жири, нагромадженні у сферосомах, використовуються для підтримання росту паростка, поки він не перетвориться в фото синтезуючу рослину.

Розпад жирів включає три стадії:

- гідролітичне розщеплення трьох естерних зв'язків з утворенням гліцеролу і жирних кислот;
- розпад гліцеролу;
- розпад жирних кислот.

Перша стадія розщеплення жирів каталізується ферментом ліпазою, яка діє на поверхні розподілу жир-вода, використовуючи іони H^+ та OH^- води для розщеплення естерних зв'язків.



Друга стадія – розпад гліцеролу починається з того, що гліцерол спочатку фосфорилується за рахунок АТФ, а гліцерол-3-фосфат окислюється до дигідроксиацетонфосфату (ДГАФ). ДГАФ включається в процес гліколізу і перетворюється в пірвіноградну кислоту, що супроводжується утворенням

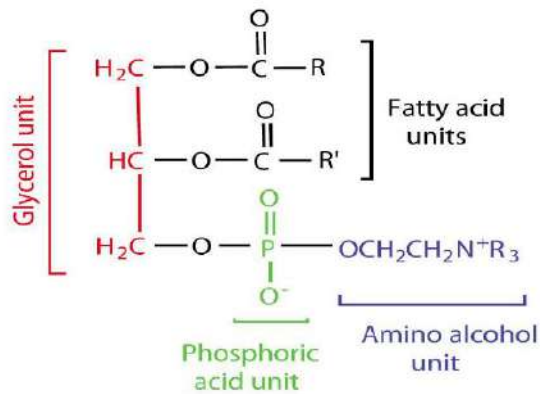
шести молекул АТФ. Піровиноградна кислота може надходити у мітохондрії і там окислюватись з виділенням трьох молекул CO_2 і утворенням 15 молекул АТФ у процесі окислювального фосфорилування. Якщо відминусувати молекулу АТФ, яка була витрачена на фосфорилування гліцеролу, то валовий вихід АТФ на одну молекулу окисленого гліцеролу досягає 20 молекул АТФ.

Третя стадія – розпад жирних кислот може відбуватися різними шляхами, з яких β -окислення є найважливішим. Перш ніж жирна кислота підпаде розпаду по шляху β -окислення, вона активується – перетворюється у відповідне КоА-похідне. В результаті реакцій, які послідовно повторюються, відщеплюється ацетил-КоА. Кожне повторення реакцій призводить до скорочення ланцюга жирної кислоти на два вуглецеві атоми.

Кінцевим результатом є повне розщеплення до ацетил-КоА, якщо жирна кислота має парну кількість вуглецевих атомів. Якщо КоА-похідне жирної кислоти має непарну кількість вуглецевих атомів, то крім ацетил-КоА, утворюється коензим пропіоніл-КоА, який розпадається за окремим механізмом. Подальше перетворення ацетил-КоА, який утворюється при кожному витку спіралі, залежить від того, де відбувається β -окислення. У гліюкисомах він включається у гліюксилатний цикл і після ряду перетворень використовується для синтезу вуглеводів, тобто запасний жир перетворюється у вуглеводи.

Щодо енергетики окислення жирів, то жирні кислоти є більш відновними сполуками ніж вуглеводи. Так, при окисленні 1 моля глюкози утворюється 38 молей АТФ, а при окисленні 1 моля пальмітинової кислоти – 130 молей АТФ. Тому з енергетичної точки зору ефективність окислення кожної вагової одиниці пальмітинової кислоти в два з лишнім рази вище, ніж ефективність окислення глюкози.

Обмін фосфогліцеридів. Фосфогліцериди (гліцерофосфоліпіди) – фосфатні діестери, є похідними фосфатидної кислоти, побудовані на основі гліцерол-3-фосфату. До їх складу входять гліцерол, жирні кислоти, фосфорна кислота і зазвичай азотовмісні сполуки (холін, серин, інозит та ін.).



Вихідними речовинами для синтезу фосфогліцеридів в рослинах є гліцерол, жирні кислоти, а також додаткові сполуки, які входять до їх складу. Синтез потребує затрати великої кількості енергії, яка постачається у вигляді АТФ і ЦТФ (цитидинтрифосфат). Біосинтез фосфогліцеридів починається з утворення гліцерофосфату, який утворюється шляхом фосфорилування гліцерину або відновленням триозофосфатів.

На наступному етапі під дією ферменту *гліцерофосфату-ацилтрансферази* відбувається приєднання жирних кислот до гліцерофосфату. В реакції приймають участь не вільні жирні кислоти, а сполучені з коферментом А. В результаті реакції утворюються фосфатидні кислоти, які подальшому перетворюються на фосфогліцериди, основними з яких є *фосфатидилхолін* і *фосфатидилетаноламін*.

Біохімічні процеси на різних етапах онтогенезу сільськогосподарських культур. Біохімія стійкості до фітопатогенних мікроорганізмів. Розрізняють два види фітоімунітету: видовий та сортовий. Найбільш поширений в природі видовий імунітет, завдяки якому дуже видів рослин зовсім не піддаються хворобам. Наприклад, капуста не пошкоджується фітофторозом, а картопля – сірою гниллю.

Сортний імунітет визначає непошкодженість окремих сортів всередині виду тими паразитами, які в процесі еволюції пристосувалися до розвитку на цих видах рослин. Наприклад, є відповідні сорти картоплі, які імунні до збудників фітофторозу, але в той же час цей паразит є загрозою для картоплі, оскільки виникають нові раси фітофторозу, які пошкоджують картоплю.

Біохімія спокою овочів. Спокій – це фізіологічний стан, при якому меристематичні тканини рослини або її органу не переходять до росту. У стані спокою перебуває не орган в цілому, а лише деякі його тканини. У картоплі, наприклад, у спокої знаходяться лише меристематичні

тканини – «вічка». Запасаючі ж тканини мають в той же час досить високу потенціальну здатність активізувати біохімічні процеси у відповідь на механічні інфекції.

Стан спокою овочів та картоплі поділяють на природний (глибокий) і штучний (вимушений). Рослина у природному спокою не проростає навіть при сприятливих умовах зовнішнього середовища, а при штучному спокої проростання пригнічується умовами зовнішнього середовища. Так у картоплі, початком періоду спокою вважають момент, коли бульби припиняють ріст у довжину за рахунок розтягнення клітин. З поновленням розтягнення клітин стан спокою закінчується і визначається візуально по збільшенню розміру «вічок». Глибокий спокій у цибулині, на відміну від бульб, практично відсутній. Типовим прикладом штучного спокою є стан цибулин під час зберігання, коли для попередження їх проростання використовуються різні фізичні і хімічні засоби.

Регулятори ростових процесів. *Фітогормони* мають широкий спектр дії, один і той же гормон може впливати на квітування, ріст, диференціацію тканин і органів, опадання листя та багато інших процесів. Вони утворюються і мікрокількостях в одній частині рослини і здатні транспортуватись в інші частини, викликаючи ростовий або формоутворюючий процес. В окрему групу виділені природні інгібітори, які накопичуються у тканинах, що закінчили свій ріст і уповільнюють синтез і активність фітогормонів.

На теперішній час відомо три класи фітогормонів – *ауксини, гібереліни і цитокініни*. Ауксини за хімічною природою переважно похідні індолу; неіндольним ауксином є фенілоцтова кислота. β -індол-3-оцтова кислота (ІОК) і її похідні є найбільш поширеними ауксинами індольної природи. Стимулююча дія ІОК проявляється у збільшенні розмірів клітин за рахунок їх розтягування. Вона викликає партенокарпію у плодів, затримує опадання листя і зав'язі.

Гібереліни – похідні флюороенового ряду, з яких найкраще вивчена гіберелева кислота. Стимулюють ріст рослин у довжину, сприяють зав'язуванню плодів, на відміну від ауксинів стимулюють квітування, підсилюють ріст ягід безнасіневих сортів винограду, прискорюють вихід насіння із стану спокою.

Цитокініни – похідні, головним чином, пуринів; стимулюють клітинний поділ або цитокінез. Вони синтезуються у коренях і разом з током води транспортуються по рослині. Стимулюють ділення клітин, надходження поживних речовин до листків, підсилюють проростання у темноті, активізують ріст рослин.

З природних інгібіторів слід відзначити абсцизову кислоту. Вона пригнічує поділ клітин, ріст стебел у довжину, розпускання бруньок, проростання насіння і бульб, викликає опадання листя.

В меристемах, які знаходяться в стані спокою, інгібітори домінують над фітогормонами, при проростанні вміст інгібіторів, навпаки, в мінімумі, а фітогормонів – у максимумі.

Б і о х і м і я д о з р і в а н н я та зміни хімічного складу плодів та овочів. Плодам і овочам властиві період росту і розвитку, досягання, спокою, дозрівання, проростання, старіння.

Досягання – плоди і овочі закінчують цикл свого розвитку на материнській рослині, досягаючи біологічної зрілості. Дозрівання – продовження тих же процес обміну речовин в плодах і овочах, що і при досягання, але після збирання і тривалого зберігання. В розвитку різних видів плодів, починаючи від запліднення, можна виділити п'ять періодів.

Період ділення клітин. Цей період починається з часу запліднення і продовжується 3-4 тижні. Плід росте і розвивається шляхом утворення дедалі більшої кількості нових клітин.

Період розтягнення клітин і накопичення споживчих речовин. В цей період клітини утворюються тільки в шкірочці плоду. Клітини м'якуша ростуть, в їх вакуолях накопичуються поживні речовини, збільшується розмір плодів.

Період досягання має велике значення не тільки з економічної, але і з біологічної точки зору. Поряд з швидкою зміною процесів обміну речовин плоди набувають забарвлення. Концентрація соку в плодах підвищується і утворюються ароматичні речовини. Плоди, які не потребують додаткового дозрівання, знімають у кінці цього періоду. Досягання плодів супроводжується утворенням газу етилену, який є ендogenousним стимулятором досягання плодів, впливаючи на інтенсивність їх дихання.

Період споживчої зрілості. Біологічно цей процес практично не відрізняється від попереднього. Для нього характерне розм'якшення тканин плоду і набуття повного аромату.

Період перезрівання. Більшість плодів в цей період втрачають аромат і терпкість. Плоди позбуваються характерного смаку, тканини м'якуша мацериують, обмін речовин уповільнюється.

Забарвлення плодів – важлива якісна ознака, що суттєво впливає на їх товарну цінність. Зміна забарвлення пов'язана з клімактеричним підйомом дихання і розпадом хлорофілу, внаслідок чого поступово зникає зелений колір і проявляються інші тони. В зміні забарвлення плодів найбільшу роль відіграють дві групи барвних речовин – *каротиноїди* і *антоціани*. Каротин

зумовлює жовте і оранжеве забарвлення (абрикос, морква), а антоціани – червоне (капуста червоноголова, квіти, яблука).

Теоретичні питання

1. Обмін амінокислот. Відновлення нітратів та зв'язування аміаку: пряме амінування кетокислот; утворення амідів; утворення амонійних солей; синтез сечовини. Реакції трансамінування.
2. Загальні шляхи перетворення амінокислот: дезамінування; декарбоксілювання. Азотний обмін в процесі проростання насіння.
3. Біосинтез білка. Загальна схема біосинтезу білка: матричний принцип і принцип компліментарності. Етапи біосинтезу: транскрипція, активування амінокислот, трансляція, ініціація поліпептидного ланцюга, елонгація та термінація поліпептидного ланцюга.
4. Генетичний код.
5. Розпад білків протеолітичні ферменти.
6. Біосинтез нуклеїнових кислот. Механізм передачі генетичної інформації.
7. Біосинтез ліпідів: утворення жирних кислот, утворення гліцеринів, приєднання жирних кислот до гліцеринів.
8. Розпад жирів. Процес β -окислення у мітохондріях та гліоксисомах. Енергетика окислення жирів.
9. Обмін фосфогліцеридів.
10. Гормональна регуляція метаболізму. Біохімія стійкості до фітопатогенних мікроорганізмів. Сортовий та видовий імунітет.
11. Біохімія спокою. Природний (глибокий) та штучний (вимушений) спокій. Вплив регуляторів росту на спокій. Особливості процесів дихання, фактори, які посилюють інтенсивність дихання.
12. Періоди розвитку плодів і овочів: рост і розвиток, досягання, спокій, дозрівання, проростання, старіння.
13. Регулятори ростових процесів. Три класи фітогормонів: ауксини, гібереліни, цитокініни. Біохімія дозрівання.

Питання для контролю засвоєння теми

1. Асиміляція нітратної і аміачної форм азоту.
2. Нейтралізація аміаку в рослинах.
3. Шляхи біосинтезу амінокислот.
4. Реакції розкладання амінокислот.
5. Етапи синтезу білка.

6. Матричний принцип і принцип компліментарності при біосинтезі білка.
7. Механізм передачі генетичної інформації.
8. Розпад білків. Протеолітичні ферменти.
9. Фази біосинтезу ацилгліцеролів.
10. Стадії синтезу жирних кислот.
11. Стадії розпаду жирів.
12. Основний тип окиснення жирних кислот.
13. Ферменти, що каталізують розщеплення жирів.
14. Фітогормони.
15. Природні інгібітори росту. Фізіологічна дія етилену.

Тестові питання

1. Основним джерелом азоту для рослин є...
 - а) білки б) нітрати в) пурини г) ферменти
2. Активування амінокислот проходить в ...
 - а) рибосомах б) цитоплазмі в) мітохондріях г) вакуолі
3. Денатурація – це...
 - а) процес розкручування подвійної спіралі
 - б) процес подовження ланцюга
 - в) перенесення інформації на комплементарний ланцюг
 - г) синтез білка
4. При окисленні пальмітинової кислоти утворюється....
 - а) 38 молей АТФ б) 160 молей АТФ
 - в) 96 молей АТФ г) 34 молі АТФ
5. Клімактеричний підйом дихання прискорюють....
 - а) ауксини б) етилен в) гібереліни г) абсцизова кислота
6. Відновлення нітратів до нітритів каталізує фермент..
 - а) аміотрансфераза б) нітритредуктаза
 - в) нітратредуктаза г) каталаза
7. Розташуйте етапи біосинтезу білків в правильному порядку...
 - а) термінація поліпептидного ланцюг
 - б) ініціація поліпептидного ланцюга
 - в) активування амінокислот
 - г) елонгація поліпептидного ланцюга.
8. Проміжним продуктом в синтезі піримідинових нуклеотидів є...
 - а) цитидилова кислота б) оротидин – 5 – фосфат
 - в) уридиллова кислота г) аспарагінова кислота

9. Перетворення жирних кислот у відповідне КоА похідне відбувається в...
- а) мітохондріях
 - б) цитоплазмі
 - в) сферосомах
 - г) гліоксисомах
10. Квіткування стимулюють..
- а) ауксини
 - б) гібереліни
 - в) цитокініни
 - г) етилен
11. Перетворення нітратів в аміак відбувається за допомогою ферменту...
- а) нітритредуктази
 - б) пероксидази
 - в) нітратредуктази
 - г) РБФ-карбоксилази
12. Ініціація поліпептидного ланцюга проходить в ...
- а) цитоплазмі
 - б) рибосомах
 - в) мітохондріях
 - г) вакуолі
13. Синтез ДНК каталізує фермент..
- а) ДНК- репліказа
 - б) ДНК- нуклеотидилтрансфераза
 - в) РНК-полімераза
 - г) РНК- репліказа
14. Вихідною сполукою для синтезу жирних кислот є:
- а) піровиноградна кислота
 - б) фосфодиоксиацетон
 - в) фосфогліцеринів альдегід
 - г) ацетил-КоА
15. Гормон дозрівання – це....
- а) ауксини
 - б) етилен
 - в) абсцизова кислота
 - г) гібереліни

Список рекомендованої літератури

Базова

1. Павлоцька Л., Дуденко Н., Левітин Є. Біологічна хімія. Підручник. Суми : Університетська книга, 2020. 513 с.
2. Павлоцька Л., Дуденко Н., Дімітрієвич Л., Божко Н. Біологічна хімія : підручник. Суми : Університетська книга, 2019. 379 с.
3. Біохімія рослин : навч. посібник / М. С. Кобилецька, О. І. Терек. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 270 с.
4. Лисиця А.В. Біохімія. Практикум: навчальний посібник. Суми : Університетська книга, 2019. 240 с.
5. Зименковський Б., Музиченко В., Ниженковська І. Biological and Bioorganic Chemistry in 2 books. Book 1. Bioorganic Chemistry. Київ : Медицина, 2019. 288 с.
6. Губський Ю.І. Біологічна хімія: Підручник. Київ-Тернопіль : Укрмедкнига, 2000. 508 с.

Допоміжна

1. Боєчко Ф.Ф., Боєчко Л.О., Шмиголь І.В. Лабораторний практикум з біохімії : навчально-методичний посібник : Вид. 2-ге, перероб. і допов. Черкаси : ЧНУ ім. Богдана Хмельницького, 2015. 279 с.
2. Копильчук Г.П., Николайчук І.М. Лабораторний практикум із біохімії: навчально-методичний посібник. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2019. 144 с.
3. Жегунов Г.Ф. Практикум з біологічної хімії: навчально-методичний посібник для студентів. 2014. 304 с.
4. Механізми біохімічних реакцій: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. рек. МОНУ / За ред. Н.О. Сибірної. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2009. 316 с.
5. Біологічна хімія з біохімічними методами дослідження: підруч./ О. Я. Склярів, Н. В. Фартушок, Л. Д. Сойка, І. С. Смачило. Київ: Медицина, 2009. 352 с.
6. Бондарчук Т. І., Гринчишин Н. М., Кобилінська Л. І. та ін. Біологічна хімія: тести та ситуаційні задачі: навч. посібник / за ред. О. Я. Склярів. Київ: Медицина, 2010. 360 с.