

ПРО ВИВЧЕННЯ КУРСУ ЗА ВИБОРОМ «БІООРГАНІЧНА ХІМІЯ. 11 КЛАС»

Людмила ВЕЛИЧКО, доктор педагогічних наук, професор, завідувач відділу біологічної, хімічної та фізичної освіти Інституту педагогіки НАПН України

Об'єктами вивчення біоорганічної хімії є природні органічні сполуки, що становлять основу життєдіяльності організмів: вуглеводи, ліпіди, білки, нуклеїнові кислоти, біорегулятори (вітаміни, ферменти, гормони тощо), а також синтетичні біологічно активні сполуки як лікарські засоби, засоби впливу на ріст рослин. Біоорганічна хімія розробляє методи виділення або синтезу цих речовин, установлює їхню будову та взаємозв'язок між будовою і біологічними функціями.

Завдяки здобуткам біоорганічної хімії наука наближається до пізнання сутності життєво важливих процесів і створює передумови для керування ними.

Біоорганічна хімія є розділом органічної хімії, що межує з молекулярною біологією та біохімією, вивчаючи молекулярні механізми функціонування найважливіших компонентів клітин організмів, що робить внесок у пізнання суті біохімічних функцій на молекулярному рівні.

Пропонований курс на вибір учнів 11 класу має міжпредметний зміст, узагальнювальний стосовно курсів хімії і біології і розглядається як завершальний у формуванні цілісного уявлення учнів про взаємозв'язок складу, структури, властивостей і функцій в організмі речовин, що беруть участь у процесах метаболізму людини.

Зважаючи на це, методика вивчення курсу за вибором ґрунтується на переважно самостійній роботі учнів, що потребує від них синтезу знань про органічні речовини, здобутих у курсах біології і хімії.

Курс складається з таких розділів:

1. Ліпіди.
2. Вуглеводи.
3. Амінокислоти. Пептиди. Білки.
4. Нуклеїнові кислоти.
5. Низькомолекулярні біорегулятори.

Розділи побудовано за єдиним планом: розглядаються склад, основні властивості груп сполук, їхні функції в організмі.

Тема 1. Ліпіди

З однією групою ліпідів учні вже ознайомлені: це прості ліпіди, або жири, естери вищих карбонових кислот і гліцеролу – ацилгліцерини.

Воски – теж прості ліпіди; це естери жирних кислот і вищих одноатомних або двоатомних спиртів у суміші з етерами одноатомних спиртів.

Роль восків у створенні захисних покриттів рослинних і тваринних організмів учні можуть розкрити самостійно у формі навчального проекту.

Складні ліпіди містять вуглеводні, фосфатні та інші групи. Фосфоліпіди містять залишок фосфатної кислоти; є важливими компонентами клітинних мембран, нервових клітин, серцевого м'язу. Учням може бути відомий фосфоліпід лецитин, що міститься в курячих яйцях.

Гліколіпіди містять замість залишку фосфатної кислоти залишок моно- або олігосахариду.

Сфінголіпіди – похідні аміноспиртів, містяться у мембранах нейронів.

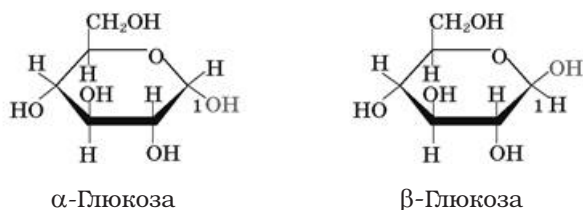
Роль ліпідів у організмі визначається їхньою будовою, завдяки якій вони мають властивості поверхнево-активних речовин. Учні можуть пригадати, на чому ґрунтується мийна дія мила: на здатності утворювати оболонки міцел, коли полярна частина молекули спрямована до водної фази, а неполярна – до неполярного ядра. Так само побудовані мембранні ліпіди.

Будова клітинних мембран відома учням із курсу біології, отже, роль ліпідів вони можуть висвітлити самостійно на основі здобутих знань.

Тема 2. Вуглеводи

Класифікація вуглеводів за складом на моно-, оліго-, полісахариди, альдози (глюкоза) і кетози (фруктоза) не потребують спеціальної підготовки учнів, оскільки можуть бути узагальнені на основі їхніх знань з біології і хімії. Пентози і гексози групи альдоз – найпоширеніші у природі моносахариди.

Глюкоза. У кристалічному стані глюкоза існує у вигляді шестичленних циклів, причому п'ять кутів займають атоми Карбону, а один кут – атом Оксигену. Тих учнів, які не вивчали хімію на профільному рівні, треба ознайомити з циклічною формою глюкози, зображеною за допомогою перспективних формул.



Циклічна форма утворюється внаслідок внутрішньомолекулярних перетворень, коли карбонільна група взаємодіє з гідроксильною групою при п'ятому атомі Карбону:

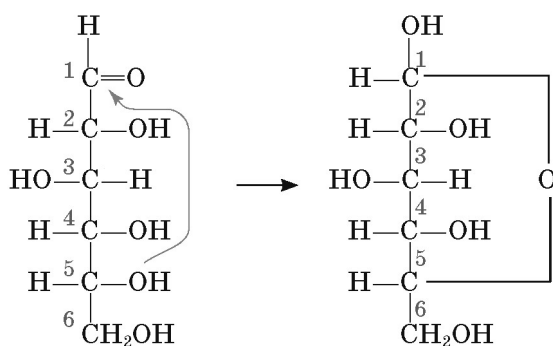
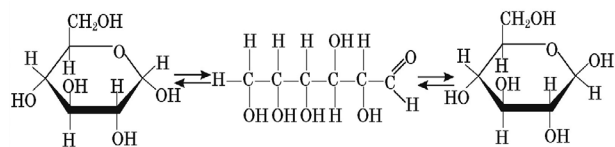


Схема утворення циклічної форми глюкози

Виявляється, що у водних розчинах разом із циклічними існує в невеликій кількості відкрита форма глюкози. Внаслідок впливу полярних молекул води відбувається гідратація глюкози, і певна частина гідратованих молекул переходить у відкриту форму:



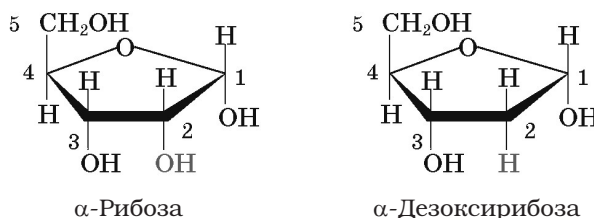
α -Глюкоза Відкрита форма глюкози β -Глюкоза

Розрив циклу та його утворення – процес динамічної рівноваги: щойно розкрившись, наступної миті цикл знову замикається, і при цьому приєднання спиртової групи до альдегідної можливе з обох боків площини, тобто може утворитися α - або β -форма глюкози. Під час кристалізації відкрита форма зникає.

Глюкоза – оптично активна речовина, розчин α -глюкози обертає площину поляризованого світла вправо на кут 112° , а β -глюкози – на 19° . У процесі розчинення відбувається ізомеризація через утворення відкритої форми, після встановлення рівноваги кут обертання становить 53° . Таке явище зміни кута обертання площини поляризації світла під час розчинення оптично активних сполук називається *мутаротацією*.

Рибоза і дезоксирибоза. Ознайомлення з цими сполуками має значення для наступного вивчення нуклеїнових кислот. Рибоза є невід'ємним складником кожного клітинного ядра та цитоплазми і входить до складу рибонуклеїнових кислот, важливих регуляторів синтезу білків у живих організмах. Дезоксирибоза міститься в дезоксирибонуклеїнових кислотах, що є універсальною скарбницею і джерелом спадкової інформації живого організму.

Як і глюкоза, рибоза й дезоксирибоза належать до моносахаридів, а точніше, до альдопентоз, тобто в їхніх молекулах містяться по п'ять атомів Карбону й альдегідна група. Як і глюкоза, це поліфункціональні сполуки, альдегідоспирти.



Рибоза й дезоксирибоза, як і глюкоза, існують у двох формах – альдегідній та циклічній. У циклічній формі рибоза й дезоксирибоза входять до складу нуклеїнових кислот. У результаті зближення альдегідної групи і гідроксильної групи четвертого атома Карбону атом Гідрогену приєднується за π -зв'язком карбонільної групи. Зникає альдегідна група, проте утворюється нова гідроксильна, а кільце замикається.

Між альдегідною і циклічною формами існує рівновага, за звичайних умов зсунута в бік утворення останньої.

Глюкоза, як багатоатомний спирт, утворює естери. Те саме стосується рибози й дезоксирибози. Оскільки далі розглядатимуться їхні естери з фосфатною кислотою, можна запропонувати учням скласти хімічні рівняння утворення цих сполук, враховуючи, що пентози вступають у реакцію в циклічній формі у положенні третього і п'ятого атомів Карбону.

У процесі обговорення матеріалу про моносахариди учні можуть скласти узагальнювальну таблицю за такими рубриками: *Назва сполуки. Загальна формула. Структурні формули. Знаходження у природі.*

Дисахариди. Учням відомо, що дисахариди складаються із залишків моносахаридів. Оскільки в розчині має місце процес мутаротації, деякі дисахариди здатні виявляти відновні властивості за рахунок альдегідної групи моносахариду. Ці реакції мають значення для розуміння поділу дисахаридів на відновлювальні й невідновлювальні залежно від моносахаридів, з яких вони складаються.

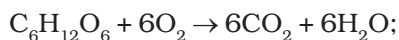
Передусім слід пригадати реакції окиснення й відновлення глюкози. У результаті реакції з амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду (реакція «срібного дзеркала») альдегідна група окиснюється до карбоксильної й утворюється *глюконова кислота*. Як альдегід глюкоза окиснюється і в результаті нагрівання з купрум(II) гідроксидом. Унаслідок відновлення альдегідної групи до спиртової утворюється шестиатомний спирт *сорбіт*.

Мальтоза, або солодовий цукор, утворюється внаслідок часткового гідролізу крохмалю і сама гідролізує до глюкози. У водних розчинах мальтоза вступає в реакцію окиснення за карбонільною групою, отже, належить до відновлювальних дисахаридів. Так само до цієї групи належить і лактоза (молочний цукор). Для целобіози – проміжного продукту гідролізу целюлози – також характерні властивості альдегідної групи.

Моносахаридні залишки сахарози не можуть існувати в альдегідній формі, тому сахароза не вступає в реакції відновлення і належить до невідновлювальних дисахаридів.

Полісахариди. Це продукти конденсації великої кількості моносахаридів, найбільш розповсюдженій – целюлози, з неї рослини будують свої скелети. Інший поширений полісахарид – крохмаль – резервний вуглевод рослин, накопичується у плодах і насінні. Полісахарид глікоген – резервний полісахарид тваринних організмів, а хітин становить основу панцирів членистоногих.

В організмі людини вуглеводи (ди- і полісахариди) під дією ферментів розщеплюються до глюкози, а вже вона окиснюється у клітинах із вивільненням енергії. Сумарно цей процес можна подати рівнянням:



$$\Delta H = -2,87 \cdot 10^3 \text{ кДж/моль}$$

Тема 3. Амінокислоти. Пептиди. Білки

Амінокислоти як структурні елементи білків відомі учням з основного курсу хімії, тому, розглядаючи формули амінокислот, доцільно пригадати традиційну їхню номенклатуру з позначенням грецькими літерами місця аміногрупи в ланцюзі. Важливо, що до складу білків входять двадцять α -амінокислот, що кодуються в універсальному генетичному коді, вони поділяються на незамінні й замінні. До перших належать 9 сполук: валін, гістидин, лейцин, ізолейцин, лізін, метіонін, треонін, триптофан, фенілаланін. Аргінін, гістидин, тирозин – напівзамінні, усі інші – замінні, що синтезуються в організмі людини.

Амінокислотам властива оптична ізомерія, оптичні ізомери амінокислот (енантіомери) обертають площину поляризації світла в протилежні боки на однаковий кут. Суміш двох ізомерів – рацемат – не виявляє оптичної активності.

Амінокислоти – поліфункціональні сполуки; внаслідок наявності аміно- й карбоксильної груп виявляють амфотерні властивості, що зумовлюють взаємодію амінокислот між собою з утворенням поліпептидів завдяки пептидному зв'язку.

Завдяки наявності бічних карбокси-, аміно-, гідрокси-, сульфідних груп у молекулах амінокислот між цими групами утворюються водневі, дисульфідні й естерні зв'язки.

Послідовність амінокислот у пептидах визначають, розщеплюючи останні на окремі амінокислоти під дією гідролізу, далі суміш аналізують методом хроматографії. Послідовність амінокислотних залишків визначають за допомогою спеціального приладу, автоматично.

Синтез пептидів має свої особливості. У разі добування пептидів малого розміру ланцюг нарощують послідовно. Великі ланцюги синтезують блочним методом: спершу утворюються окремі фрагменти, а з них – молекули пептиду.

Завдання полягає в тому, щоб дезактивувати групи, взаємодія яких є небажаною, залишивши ті, між якими має встановитись пептидний зв'язок. На практиці використовують автоматичні прилади синтезу пептидів на полімерних носіях.

Білки. Основні питання, на які слід звернути увагу в цій темі, такі: чим зумовлюється структура білка; у чому полягає складність її вивчення; як позначається будова білків на їхніх функціях; як відбувається гідроліз білків.

Поділ білків за складом на протеїни і протеїди відомий учням з курсу біології; за формою вони поділяються на фібрилярні (ниткоподібні) й глобулярні (кулеподібні). Існують інші підходи до класифікації білків – цей матеріал цілком доступний для самостійного опрацювання учнями.

Виділення білків з метою вивчення їхнього складу ґрунтується на тих самих методах, що їх застосовують до пептидів.

Слід розглянути взаємозв'язок між будовою білків та їхніми властивостями. Насамперед розглядаються властивості, що залежать від первинної структури. Реакція гідролізу білків пов'язана з первинною структурою, зі складом і порядком сполучення амінокислотних залишків. Будь-які щонайменші зміни в амінокислотному складі білків позначаються на їхніх властивостях. Наприклад, гормон підшлункової залози інсулін у тварин дещо відрізняється за складом від інсуліну людини, а тому перший не повністю відповідає її потребам (у разі захворювання).

Первинна структура, певним чином орієнтується у просторі, набуває вторинної і третинної структур. Це можуть бути лінійна (фіброїн шовку), складчаста (кератин волосся) або спіралеподібна (більшість білків) форми. Завдяки такій структурі білка волосина, наприклад, може розтягуватись і скорочуватись. Спіралеподібна форма підтримується через водневі зв'язки.

Від третинної структури залежить прояв білком специфічної біологічної функції – каталітичної, гормональної тощо.

Для деяких білків характерна і четвертинна структура, що утворюється внаслідок групування третинних структур. Завдяки четвертинній структурі гемоглобін, наприклад, виконує функцію перенесення кисню в організмі.

На підтвердження думки про взаємозв'язок між складом, структурою білків та їхніми біологічними функціями можна розглянути кілька прикладів. З курсу біології учням відомо, що білки гемоглобін та міоглобін виконують функції перенесення кисню в організмі. Виявилось, що третинна структура цих білків дуже подібна. Отже, їхня біологічна функція – зв'язування кисню – зумовлена подібністю хімічної структури. Зміни у структурі білків спричиняють порушення їхніх функцій. Наприклад, причина захворювання крові – серповидної клітинної анемії – полягає в зміні структури молекули білка гемоглобіну: на місце залишку глутамінової кислоти стає залишок валіну.

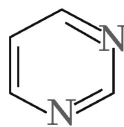
Під час обговорення процесу засвоєння білків організмом звертається увага на спільну ознаку жирів, вуглеводів та білків – здатність до поступового гідролізу. Продукти гідролізу білків – амінокислоти – при цьому всмоктуються у кров.

Наприкінці вивчення теми варто зазначити, що пізнання структури білків – величезне досягнення сучасної науки. Це доводить безмежні властивості людського розуму в пізнанні матеріального світу.

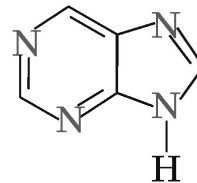
Тема 4. Нуклеїнові кислоти

Зміст теми потребує додаткових пояснень учителем питань, що їх не вивчають на рівні стандарту, а саме про гетероциклічні сполуки й нітрогеновмісні (азотисті) основи. Доцільно починати із загального ознайомлення з представниками цієї групи сполук. Учитель повідомляє, що в утворенні циклічних молекул органічних речовин разом з атомами Карбону можуть брати участь атоми деяких інших елементів – гетероатомів (від грец. *гетерос* – чужий, інший). Найчастіше це атоми Нітрогену, Сульфуру, Оксигену. Відомі також нечисленні циклічні сполуки, що містять атоми Селену, Фосфору, Арсену.

Для ілюстрації своєї розповіді вчитель може підібрати формули різних сполук, але серед них обов'язково мають бути пурин і піримідин у зв'язку з вивченням нуклеїнових кислот, до складу яких входять основи двох типів: пуринові й піримідинові.



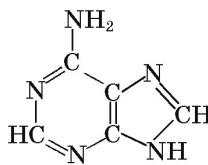
Піримідин



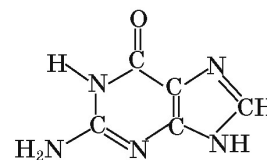
Пурин

У побудові НК беруть участь похідні пурину й піримідину – цитозин, урацил, тимін, аденін, гуанін. Бажано продемонструвати учням їхні формули, хоча вони даються не для запам'ятовування.

Пуринові основи

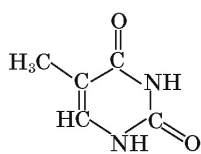


Аденін

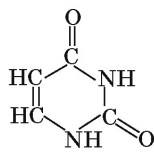


Гуанін

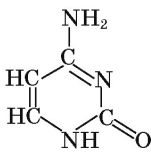
Піримідинові основи



Тимін



Урацил



Цитозин

За структурою НК є полімерними сполуками. Мономерна одиниця НК називається нуклеотидом і складається з нуклеозиду (азотиста основа + вуглевод) і фосфатної кислоти.

До складу нуклеотидів входять різні нітрогенові основи: до ДНК – аденін, гуанін, цитозин, урацил. Співвідношення цих основ і послідовність їхнього розміщення уздовж нуклеотидного ланцюга є різними в кожній нуклеїнової кислоти.

Скелет нуклеотидного ланцюга складається з вуглеводних залишків, сполучених фосфатними групами. Основи, що зв'язані з вуглеводними залишками, розміщуються перпендикулярно до головного ланцюга.

Існують два типи НК: до складу одних входить рибоза (РНК), а до складу інших – дезоксирибоза (ДНК).

У макромолекулах ДНК й РНК з'єднуються тисячі нуклеотидів. Молекулярна маса НК – від кількох сотень тисяч до кількох мільйонів. Послідовність розміщення нуклеотидів становить первинну структуру НК.

Вторинна структура найбільш вивчена для ДНК. Вона являє собою два полінуклеотидні ланцюги, закручені у подвійну спіраль. Кожна нітрогеновісна основа одного ланцюга напрямлена вглиб спіралі і сполучена водневим зв'язком з основою другого ланцюга. При цьому пуринові основи сполучені з піримідиновими, точніше, аденін завжди розміщується в парі з тиміном, цитозин – з гуаніном. Отже, основи розміщуються не безладно, а згідно з принципом комплементарності, взаємного доповнення.

Важливим є питання взаємозв'язку між структурою ДНК та її функціями в організмі. Подвійна спіраль ДНК є сховищем спадкової інформації. Інформація записана (закодована) у вигляді послідовності нітрогеновісних основ у полінуклеотидному ланцюзі. Кожна трійка (триплет) їх є, так би мовити, «літерою» генетичного коду, одиницею інформації і називається кодоном.

Кількість кодонів учні можуть обчислити самостійно. Оскільки в кожній ДНК містить-

ся чотири нітрогенові основи, то кількість сполучень (з повторенням) по три становитиме 64, згідно з формулою m^n , де $m = 4$, $n = 3$; $m^n = 4^3 = 64$.

Передача інформації відбувається завдяки здатності молекул ДНК до реплікації (відображення).

ДНК спрямовує синтез білків у організмі. Послідовність нітрогеновісних основ у полінуклеотидному ланцюзі визначає послідовність амінокислотних залишків. Кожній амінокислоті відповідає свій кодон. Отже, структура нуклеїнових кислот визначає структуру молекул білків.

На матричній РНК (м-РНК) синтезується білок у рибосомі. Завдяки комплементарності нітрогеновісних основ ця НК зчитує інформацію про структуру білка з ділянки ДНК. Далі транспортна РНК (т-РНК) переносить потрібні амінокислоти, що утворюють білок.

Нуклеїнові кислоти містяться у кожній живій клітині й контролюють роботу цієї клітини (від лат. **nuclus** – ядро).

Методами генної інженерії можна модифікувати ДНК якогось організму, «вшиваючи» в неї гени, що відповідають за бажані ознаки. Таким шляхом створюють нові сорти сільськогосподарських культур, лікарські засоби, вакцини тощо.

Під час вивчення цієї теми доцільно якнайширше використовувати наочність: малюнки, плакати, виготовлений заздалегідь роздавальний матеріал, ілюстрації з науково-популярних видань.

Тема 5. Низькомолекулярні біорегулятори

Порівняно з високомолекулярними сполуками, що їх розглядали в попередніх розділах, біорегулятори мають значно нижчі відносні молекулярні маси, тому їх названо низькомолекулярними. Це такі групи сполук: вітаміни, алкалоїди, терпени, стероїди, антибіотики, простагландини, лейкотрієни, пестициди, феромони, природні отрути й токсини.

Характеристики основних сполук можна розглянути, склавши таблицю за формою, що її наведено у таблиці на с. 31.

Водорозчинні вітаміни: V_1 , V_2 , $V_3(PP)$, V_5 , V_6 , V_9 , V_{12} , С.

Жиророзчинні вітаміни: А, D, Е, К.

Роботу з даними таблиці можна продовжити, виконуючи навчальні проекти щодо біологічних функцій низькомолекулярних біорегуляторів.

Низькомолекулярні біорегулятори

Група	Назва	Хімічний склад	Біологічна роль
Вітаміни	A – ретинол	Аліциклічна сполука	Синтез зорових пігментів, підтримання цілісності шкіри і слизових оболонок; антиоксидант
	B ₁ – тіамін	Ароматична сполука	Антиневритний
	B ₂ – рибофлавін	Ароматична сполука	Вітамін росту
	B ₃ (вітамін PP) – нікотинова кислота	Аліфатична сполука	Антипелагрічний
	B ₅ – пантотенова кислота	Ароматична сполука	Синтез й окиснення жирних кислот; синтез стероїдів і гемоглобіну
	B ₆ – піридоксин	Ароматична сполука	Формування антитіл і гемоглобіну
	B ₉ – фолієва кислота	Ароматична сполука	Кровоутворення
	B ₁₂ – ціанобаламін	Ароматична сполука	Кровоутворення; функціонування нервів
	C – аскорбінова кислота	Аліфатична сполука	Сильний антиоксидант
	D – кальциферол	Аліциклічна сполука	Сприяє всмоктуванню кальцію у ШКТ; антирахітичний
	E – токоферол	Ароматична сполука	Антиоксидант, вітамін розмноження
	K ₁ , K ₂ – нафтохінони	Ароматична сполука	Регуляція процесів зсідання крові
Стероїди	Жовчні кислоти, статеві гормони, кортикостероїди	Поліциклічні спирти, кетони, кислоти	Розвиток статевої системи
Терпени	Камфора, ментол, лімонен	Ненасичені вуглеводні	Складники ефірних олій рослинного походження
Алкалоїди	Кофеїн, нікотин, морфін, кокаїн	Нітрогеновмісні гетероциклічні сполуки	Чинять дію на нервову систему
Антибіотики	Пеніциліни, тетрацикліни, цефалоспорини	Органічні сполуки різноманітної природи	Антибактеріальні речовини
Простагландини, лейкотрієни		Похідні ненасичених жирних кислот	Викликають скорочення гладкої мускулатури, впливають на кров'яний тиск, залози внутрішньої секреції, водно-сольовий обмін та ін.