

Міністерство освіти і науки України

**Львівський національний університет
ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С.З. Гжицького**

**Львівський національний університет
імені Івана Франка**

О.О. Коритко, М.Д. Обушак

Посібник з органічної хімії

**Частина 9. Амінокислоти. Білки.
Гетероциклічні сполуки.
Нуклеїнові кислоти. Алкалоїди**

Міністерство освіти і науки України

Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Львівський національний університет імені Івана Франка

О.О. Коритко, М.Д. Обушак

Посібник з органічної хімії

**Частина 9. Амінокислоти. Білки. Гетероциклічні
сполуки. Нуклеїнові кислоти. Алкалоїди**

Львів – 2020

ЗМІСТ

Доцент Коритко О.О., к.б.н., Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Професор Обушак М.Д., д.х.н., Львівський національний університет імені Івана Франка

Коритко О.О., Обушак М.Д. Посібник з органічної хімії. Ч. 9. Амінокислоти. Білки. Гетероциклічні сполуки. Алкалоїди. – Львів, 2020. – 123 с.

Рецензенти:

Карп'як В.В. – к.х.н., доцент кафедри органічної хімії Львівського національного університету імені Івана Франка

Возна О.Є. – к.с.-г.н., доцент кафедри біологічної та загальної хімії Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Стисло викладено курс органічної хімії азотовмісних сполук, який включає теми «Амінокислоти. Білки», «Гетероциклічні сполуки», «Нуклеїнові кислоти», «Алкалоїди». Наведено їхню номенклатуру, основні методи одержання та хімічні перетворення, розглянуто біологічне і практичне значення. Матеріал включає хімію сполук життя, наочно демонструє як, моделюючи хімічні реакції, що відбуваються у природі, можна проводити їх у лабораторії.

Виклад матеріалу скомпонований з урахуванням сучасних досягнень органічної хімії. Значна увага приділена практичним аспектам теми.

Для студентів нехімічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

*Рекомендовано до друку кафедрою органічної хімії
Львівського національного університету імені Івана Франка
(протокол № 31 від 4 листопада 2019 р.)*

ПЕРЕДМОВА	5
ВСТУП	6
АМІНОКИСЛОТИ І БІЛКИ	7
Амінокислоти	7
Класифікація амінокислот	8
Ізомерія та номенклатура амінокислот	14
Фізичні властивості амінокислот	16
Способи одержання амінокислот	17
Хімічні властивості амінокислот	21
Білки. Протеїди	31
Класифікація білків	34
ПРОТЕЇНИ (прості білки)	35
ПРОТЕЇДИ (складні білки)	37
Рівні структурної організації білків	39
Фізичні властивості білків	42
Синтез білків	44
Біокаталізатори	46
Задачі і перспективи розвитку біотехнології у виробництві білків	47
Підсумок	51
Ключові терміни	52
<i>Завдання для закріплення матеріалу</i>	52
ГЕТЕРОЦИКЛІЧНІ СПОЛУКИ	56
Класифікація гетероциклічних сполук	58
Номенклатура гетероциклічних сполук	59
П'ятичленні гетероциклічні ароматичні сполуки	62
П'ятичленні гетероцикли з одним гетероатомом	62
П'ятичленні гетероцикли з двома гетероатомами	75

Шестичленні азотовмісні гетероциклічні ароматичні сполуки	77
Шестичленні гетероцикли з одним гетероатомом	78
Шестичленні гетероцикли з двома гетероатомами	82
Конденсовані азотовмісні гетероциклічні сполуки	84
Підсумок	87
Ключові терміни	88
<i>Завдання для закріплення матеріалу</i>	88
НУКЛЕЙНОВІ КИСЛОТИ	91
Нуклеотиди	92
Нуклеозиди	95
Назви нуклеозидів та нуклеотидів	96
Полінуклеотиди	99
Нуклеопротейди	108
Підсумок	109
Ключові терміни	110
<i>Завдання для закріплення матеріалу</i>	111
АЛКАЛОЇДИ	114
Класифікація алкалоїдів	115
Властивості алкалоїдів	116
Представники алкалоїдів	117
Підсумок	121
Ключові терміни	122
<i>Завдання для закріплення матеріалу</i>	122
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123

ПЕРЕДМОВА

Органічна хімія як фундаментальна природнича наука займає важливе місце серед профілоюючих дисциплін. Її головним завданням є формування наукового способу мислення у студентів, розвиток здібностей та навиків аналізу, узагальнення властивостей органічних сполук, розуміння їхньої ролі у процесах життєдіяльності, взаємодії з довкіллям.

Метою цього посібника є набуття студентами знань, розвиток професійно важливих якостей, формування системи професійної компетенції.

У посібнику викладено навчальний матеріал з тем органічної хімії «Амінокислоти. Білки», «Гетероциклічні сполуки», «Нуклеїнові кислоти», «Алкалоїди», який відповідає програмі дисципліни і зв'язаний з лекційними та практичними заняттями з врахуванням міжпредметних зв'язків. У доступній формі викладено основні відомості про методи добування цих сполук, включно з промисловими, фізичні та хімічні властивості, біологічне значення, галузі практичного використання. Азотовмісні органічні сполуки поширені у природі у складі вітамінів, гормонів, амінокислот, білків, алкалоїдів, нуклеїнових кислот (ДНК та РНК), як проміжні продукти обміну. На їх основі здійснюють синтез поліамідів, синтетичних волокон, барвників, полімерів, лікарських препаратів.

Матеріал спрямований на передачу певного обсягу інформації, включає нові ідеї та принципи, які слід зрозуміти; певні типи проблем, які повинні бути розв'язані, має прикладний характер (приклади використання знань для практичних цілей – розробка нових виробів, нових матеріалів, технологій, ветеринарних та медичних препаратів, нових технологій сільськогосподарського виробництва).

Матеріал посібника систематизований і методично опрацьований. Зроблено акцент на функційних групах, що дає ключ до розуміння взаємозв'язку будови з властивостями органічних сполук.

Кожний розділ завершується підсумком (резюме), переліком ключових слів та завданнями для самотестування, що допомагає краще опрацьовувати матеріал, сприяє формуванню практичних прийомів і навичок, розвиває логічне мислення.

при попаданні у шлунок ртуті: білок курячого яйця її зв'язує, а наступна рвота видаляє вміст шлунка, що запобігає отруєнню організму.

Первинна структура білків – це послідовність чергування амінокислот, зв'язаних пептидними зв'язками, у полімерному ланцюзі, яка є специфічною для кожного білка і визначається генетичним кодом. Вторинна структура виникає в результаті утворення водневих зв'язків між C=O та NH-групами двох пептидних зв'язків в межах одного поліпептидного ланцюга. Третинна структура описує розміщення поліпептидного ланцюга у просторі відповідно до взаємодії між різними групами амінокислотних залишків вздовж поліпептидного ланцюга.

При осадженні білок випадає в осад і при цьому може не втрачати свої нативні властивості (коагуляція) або внаслідок руйнування нативної вторинної, третинної (при збереженні первинної) структури втрачає біологічні властивості (денатурація).

Синтез білка

В основі обміну речовин лежить необхідність постійного оновлення білків. Процес відбувається у клітинах організмів шляхом біосинтезу. Вирішальна роль у цьому належить нуклеїновим кислотам, які на генетичному рівні визначають тип та амінокислотний шаблон для кожної білкової молекули, яку синтезує організм. Клітинна ДНК несе генетичну програму, необхідну для синтезу різних білків. Синтезується тільки той білок, який потрібний на даний момент. Для цього необхідні рибосоми, мРНК, тРНК, амінокислоти і різні ферменти.

Синтез білка кодується геном. Генетичний код – це відповідність між послідовністю нуклеотидів у молекулі ДНК та амінокислот у молекулі білка. На матриці ДНК синтезується м-РНК. Кодони (триплетні коди РНК, **трийка нуклеотидних залишків**) – одиниці генетичного коду, кодують включення однієї амінокислоти і знаки пунктуації процесу білкового синтезу. Послідовність кодонів у гені визначає послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюзі білка; це ключ для переведення послідовності нуклеотидів у послідовність амінокислот. Зміна всього лише будь-якої однієї амінокислоти в поліпептиді веде до синтезу молекули з іншою структурою, а отже – іншими властивостями.

Кожна амінокислота закодована у трьох нуклеотидах (**триплет**) мРНК, який дістав назву **кодону**. Триплет має кодовий знак; ці коди важливо знати. У м-РНК є 4 різні нуклеотиди: **Ц, А, У, Г**. Кодують 20

протеїногенних амінокислот при цих нуклеотидах складанням знаків з трьох нуклеотидів (таких знаків може бути $4^3=64$). Одній амінокислоті як правило відповідає більше ніж один кодон. В кодонах для однієї амінокислоти перші два нуклеотиди частіш за все однакові, третій може мінятись. Генетичний код **універсальний**, він єдиний для всіх організмів та вірусів. Так, **УУФ, УУЦ–Фен, УУА, УУГ–Лей, ЦАА, ЦАГ–Глі, АУГ, ГУГ – стартові кодони**, а **УАГ, УАА, УГА – кодони-термінатори («стоп»)**. Синтез білка – реалізація генетичного коду у живих клітинах, здійснюється в рибосомах. Важливими є два матричні процеси – перший етап **транскрипція** і другий – **трансляція**.

Транскрипція – процес *переписування нуклеотидної послідовності певних ділянок ДНК* на молекули мРНК, яка утворюється відповідно до принципу компліментарності. Під дією відповідного ферменту розплітається подвійна спіраль ДНК, один з її ланцюгів копіюється, послідовно приєднуючи мономерні ланки (нуклеотиди) до мРНК. Після завершення процесу копіювання ланцюг іРНК відходить від матриці.

Трансляція – синтез поліпептидних ланцюгів білків по матриці мРНК згідно генетичному коду. Це процес *переведення нуклеотидної послідовності мРНК в амінокислотну послідовність поліпептиду*, здійснюється на **рибосомах**. тРНК постачає амінокислоти в рибосоми, де синтез білка відбувається у три етапи: приєднання тРНК, утворення пептидного зв'язку і просування рибосоми на три нуклеотиди, після чого цикл повторюється.

Початкова фаза трансляції – **ініціація**. На початку трансляції **стартовий кодон АУГ** зв'язується із субчастинкою рибосоми, далі на це місце для зчитування безперервно один за одним стають наступні триплети. Після розпізнавання і зв'язування з відповідною тРНК амінокислота переноситься до рибосоми. Фермент зв'язує амінокислоти одну з одною, звільняючи першу амінокислоту від її тРНК, яка покидає рибосому. Рибосома переміщується вздовж мРНК і на ній з'являється наступний кодон. Відбувається зв'язування амінокислот у поліпептидний ланцюг, який наростає – фаза **елонгації**. Процес повторюється до тих пір, поки рибосома не дійде до стоп-кодона. У фазі **термінації** синтез поліпептидного ланцюга закінчується за участю факторів, які вивільняють ланцюг.

Поліпептидні ланцюги, які утворюються при біосинтезі білків, визначають властивості клітин організму, формують білкові структури, а також як ферменти скеровують процеси метаболізму.

В основі лікувальної дії ряду антибіотиків (антибіологічних агентів) *лежить пригнічення синтезу білка у збудника хвороби*. Рибосоми бактерій

Гетероцикли – важливі побічні продукти коксування вугілля, переробки нафти і сланців; компоненти багатьох продуктів важкої індустрії, барвників, органічних розчинників (піридин), пігментів, інсектицидів, гербіцидів, фунгіцидів. Їх використовують у промисловому органічному синтезі.

Класифікація гетероциклічних сполук

Розрізняють малі цикли (3-членні та 4-членні) та середні (5-, 6- та 7-членні). Циклічна система може бути насичена, ненасичена та ароматична. Приклади насичених гетероциклів:



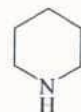
Етиленоксид



Тетрагідрофуран



Піролідин



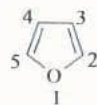
Піперидин

До гетероциклів належать лактами, лактони, циклічні ангідриди (малеїновий, бурштиновий, фталевий), циклічні етери (тетрагідрофуран, тетрагідропіран, діоксан).

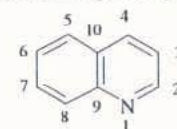
Гетероциклічні сполуки поділяють за такими ознаками:

- природою циклу: насичені, ненасичені, ароматичні;
- загальною кількістю всіх атомів у циклі: *три-, чотири-, п'яти-, шестичленні* і т.д. *гетероцикли*;
- кількістю гетероатомів у циклі: гетероцикли з *одним, двома, трьома гетероатомами*;
- природою гетероатома (однакові чи різні гетероатоми): кисневмісні, азотовмісні, сірковмісні;
- положенням гетероатома у циклі;
- кількістю циклів: моноциклічні, біциклічні, поліциклічні.

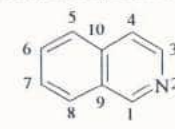
Типовими представниками ароматичних *п'ятичленних* гетероциклів з одним гетероатомом є *фуран, тіофен, пірол*, *шестичленних* з одним гетероатомом – *піридин*, з двома гетероатомами – *піримідин*:

Фуран
ОксолТіофен
ТіолПірол
АзолПіридин
ЛзинПіримідин
1,3-Діазин

Поліциклічні ароматичні гетероцикли побудовані з *декількох* конденсованих циклів – лише гетероциклів або гетероциклів з карбоциклами. Так, **біциклічні** гетероцикли **хінолін** та **ізохінолін** утворені поєднанням *бензенового ядра* з ароматичним гетероциклом *піридином*;

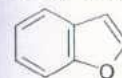


Хінолін

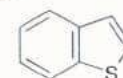


Ізохінолін

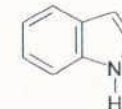
бензофуран, бензотіофен, індол – поєднанням *бензенового ядра* з *фураном, тіофеном, піролом*, відповідно; **пурин** – поєднанням *двох* гетероциклів – *піримідину* та *імідазолу*:



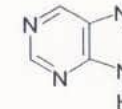
Бензофуран



Бензотіофен



Індол



Пурин

Природа гетероатома, його електронний стан, положення у циклі впливає на властивості гетероциклу. Вільна електронна пара гетероатома зумовлює нуклеофільні та основні властивості гетероциклів. Вони найвищі у азотовмісних гетероциклах, за умови, що атом азоту не віддає свою електронну пару до ароматичного секстету, як у пірольному циклі. Ароматичність гетероциклів обумовлює вияв відповідних властивостей ароматичних сполук.

Номенклатура та ізомерія гетероциклічних сполук

Номенклатура гетероциклічних сполук через їх велику кількість та достатньо різноманітну будову і властивості є досить складна. За номенклатурою **IUPAC** назви моноциклічних гетероциклів (система Ганча-Відмана) складаються з двох частин:

1. – Вказують вид гетероатомів і їх кількість (числові префікси: *ди* (*di*) – два; *три-*; *тетра-* чотири):

- *окса-* (*діокса-*) – один (два) атоми кисню;
- *тіа-* (*дітіа-*) – один (два) атоми сірки;
- *аза-* (*діаза-*) – один (два) атоми азоту;

2. – Вказують розмір циклу, тобто загальну кількість атомів у циклі – *три-*, *чотири-*, *п'яти-*, *шестичленний*:

-ір (*-ір*) 3-членний; *-ет* 4-членний; *-ол* 5-членний; *-ин* 6-членний

15. Напишіть реакції поступової гідрогенізації піридину і назвіть кінцевий продукт.
16. Напишіть формулу АТФ і поясніть біологічне значення цієї сполуки.
17. Напишіть реакцію утворення:
- гістаміну з амінокислоти гістидин;
 - триптаміну з амінокислоти триптофан.
18. Напишіть формулу:
- піролу;
 - порфіну;
 - піримідину;
 - пурину.
19. Напишіть відновлені і окиснені форми піримідинових основ.
20. Будова і біологічна роль АДФ, АТФ.
21. Напишіть формули шестичленних гетероциклічних сполук з одним гетероатомом і назвіть їх. Поясніть, яка участь гетероатома у формуванні ароматичності цих сполук.
22. Поясніть, яка відмінність і подібність у будові піридину та безену.

НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

Йоганн Мішер у 1868 р. виділив з ядер лейкоцитів невідому речовину, багату фосфором, яку назвав *нуклейном*. Протягом наступних десяти років А. Коссель (лауреат Нобелівської премії з медицини і фізіології, 1910 р.) встановив основні складові частини нуклейну: азотовмісні сполуки аденін, гуанін, фосфатна кислота і сполуки групи вуглеводів. Німецький хімік Р. Альтман (1889 р.) назвав цю сполуку *нуклейновою кислотою* (від лат. "nucleus" – ядро) через кислотні властивості. Вперше у 1944 р. О.Ейвері та співробітники (США) довели генетичну роль ДНК. У 1953 р. Д. Уотсон і Ф. Крік (лауреати Нобелівської премії з фізіології та медицини, 1962 р.) розшифрували структуру подвійної спіралі молекули ДНК та її роль у передачі генетичної інформації. Відкриття дало можливість зрозуміти генетику на рівні молекулярної структури і відкрило поле для молекулярної біології.

ДНК – постійний компонент клітинного ядра, в якому закодована генетична інформація клітини. Будова молекули ДНК, її генетичний код забезпечує запис спадкової інформації у хромосомах. Кожна хромосома містить одну молекулу ДНК, в якій у лінійному порядку згруповані самовідтворювальні дискретні одиниці – гени. **Ген** – спадковий фактор, функціонально неподільна одиниця генетичного матеріалу, сегмент (ділянка) молекули ДНК, який кодує первинну структуру поліпептиду.

На початку 40-х років ХХ ст. Т. Касперсон і Ж. Браше спостерегли у тканинах, де відбувається активний синтез білків, підвищений вміст іншого виду нуклеїнових кислот – РНК. Їх молекули мають порівняно невеликі маси, розміри і відповідають за реалізацію генетичної інформації. У живій клітині синтез РНК відбувається на матриці ДНК.

Природний генетичний обмін між різними видами є неможливим через відсутність гомології у нуклеотидній послідовності їх ДНК. Генна інженерія, тобто рекомбінація *in vitro*, дозволяє виділяти ДНК з різних видів, отримувати гібридні молекули ДНК і вводити їх у живі клітини з метою отримання прояву нової ознаки, наприклад, синтезу специфічного білка.

Невід'ємною особливістю живих організмів є їх здатність до самореплікації. Усі живі клітини володіють генетичною інформацією, яка дозволяє їм точно відтворювати (копіювати) самих себе, синтезувати специфічні білкові молекули, які виконують різні життєво важливі функції.

За збереження, відтворення і перенесення спадкової інформації відповідають **нуклеїнові кислоти** – біомолекули, які володіють кислотними властивостями (вперше виявлені у клітинних ядрах). Їх відносять до **сполук життя**; це найбільш важливі речовини, які відіграють першорядну роль у процесах передачі спадкової інформації та біосинтезу білків. Саме генетична інформація програмує структуру і метаболічну активність живих організмів.

Є два види нуклеїнових кислот: **рибонуклеїнові кислоти (РНК)** та **дезоксирибонуклеїнові кислоти (ДНК)**. ДНК та РНК відрізняються між

Навчальний посібник

О.О. Коритко, М.Д. Обушак

**Посібник
з органічної хімії
Частина 9. Амінокислоти. Білки.
Гетероциклічні сполуки. Нуклеїнові кислоти.
Алкалоїди**

Авторська редакція

Підписано до друку 16.07.2020. Формат 60x84/16
Гарн. Times New Roman. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 7,21.
Зам. № 16/07.

Друк ФОП Корпан Б.І.
Львівська обл., Пустомитівський р-н., с Давидів, вул. Чорновола 18
Ел. пошта: bkorpan@ukr.net, тел. (093) 480-6141
Код ІНДРФО 1948318017, Свідоцтво фізичної особи-підприємця:
В02 № 635667 від 13.09.2007