

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

БІОЛОГІЧНА ХІМІЯ

*Затверджено Міністерством освіти і науки,
молоді та спорту України як підручник для
студентів вищих навчальних закладів, які
навчаються за напрямом підготовки «Харчові
технології та інженерія»*

Київ НУХТ 2012

*Гриф Міністерства освіти і
науки, молоді та спорту України.
Лист № 1/11 — 4839 від 15.06.11
р.*

УДК 577

Р е ц е н з е н т и : **Л.В. Капрельянц**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біохімії та мікробіології, проректор Одеської національної академії харчових технологій; **С.В. Коношенко**, доктор біологічних наук, професор, завідувачка кафедри біохімії Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського

Біологічна хімія: Підруч. / Л.В. Левандовський, В.Г. Дрюк, О.І. Семенова та ін. — К.: НУХТ, 2012. — 386 с.

ISBN

Викладено основні положення біологічної хімії, що дають загальні уявлення про хімічні основи життєдіяльності тварин, рослин та мікроорганізмів. Розглянута будова, асиміляція і дисиміляція основних класів біомолекул: білків, нуклеїнових кислот, вітамінів, вуглеводів, ліпідів, ферментів тощо. Охарактеризовано біохімічні процеси у харчових виробництвах.

Для студентів вищих навчальних закладів напряму підготовки «Харчові технології та інженерія». Може бути використаний магістрантами та аспірантами, що вивчають біологічну хімію і фахівцями харчової промисловості та агропромислового комплексу.

А в т о р и : **Л.В. Левандовський**, д-р техн. наук, **В.Г. Дрюк**, д-р хім. наук, **О.І. Семенова**, **Н.О. Бублієнко**, кандидати техн. наук, **С.І. Скляр**, канд. с.-г. наук

ISBN

УДК 577

© Л.В. Левандовський, В.Г. Дрюк,
О.І.Семенова, Н.О. Бублієнко, С.І. Скляр
© НУХТ, 2012

ЗМІСТ

ВСТУП

1. СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА ВИНИКНЕННЯ, ІСНУВАННЯ ТА РОЗВИТОК ЖИТТЯ

Затитання для самоконтролю

2. ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ОРГАНІЗАЦІЮ ЖИВИХ СИСТЕМ І КЛІТИН

Затитання для самоконтролю

3. БІЛКИ І АМІНОКИСЛОТИ – БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ І БІОЛОГІЧНА РОЛЬ

3.1. Загальна характеристика і біологічна роль білків

3.2. Будова амінокислот

3.3. Властивості амінокислот

3.4. Структура та класифікація білків

3.5. Властивості білків

Затитання для самоконтролю

4. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

4.1. Нуклеотиди і полімери на їх основі – нуклеїнові кислоти

4.2. Властивості та будова ДНК

4.3. Будова і функції РНК

Затитання для самоконтролю

5. ВІТАМІНИ

5.1. Загальна характеристика вітамінів

5.2. Водорозчинні вітаміни

5.2.1. Вітамін С (аскорбінова кислота, антискорбутний вітамін)

5.2.2. Нікотинова кислота (вітамін РР, вітамін В₅, антипелагричний вітамін)

5.2.3. Рибофлавін (вітамін В₂)

5.2.4. Тіамін (вітамін В₁)

5.2.5. Пантотенова кислота (вітамін В₃)

5.2.6. Вітамін B₁₂ (протианемічний)

5.2.7. Фолієва кислота (вітамін B₉, B₁₀, B₁₁, птероїлглутамінова кислота)

5.2.8. Піридоксин (вітамін B₆, адермін)

5.2.9. Біотин (вітамін H)

5.2.10. Інозит

5.2.11. Вітамін B₁₅ (пангамова кислота)

5.2.12. Вітамін U (метилметіонін)

5.2.13. Вітамін B₁₃ (оротова кислота)

5.3. Жиророзчинні вітаміни

5.3.1. Вітаміни групи A (антиксерофтальмічний вітамін)

5.3.2. Вітаміни групи D (кальцифероли, антирахітичний вітамін)

5.3.3. Вітаміни групи E (токофероли, антистерильний вітамін)

5.3.4. Вітаміни групи K (філохінони, антигеморагічний вітамін)

Запитання для самоконтролю

6. ВУГЛЕВОДИ

6.1. Біологічна роль вуглеводів

6.2. Моносахариди

6.3. Олігосахариди

6.4. Полісахариди

Запитання для самоконтролю

7. ЛІПІДИ

7.1. Нейтральні жири

7.2. Стерини

7.3. Воски

7.4. Складні ліпіди

Запитання для самоконтролю

8. ФЕРМЕНТИ

8.1. Загальна характеристика ферментів

8.2. Будова ферментів

8.3. Кінетика і механізм дії ферментів

8.4. Класифікація та номенклатура ферментів

8.4.1. Характеристика окремих класів ферментів

8.4.2. Номенклатура ферментів

8.4.3. Локалізація ферментів у клітині

8.4.4. Використання ферментів

8.5. Гормони, фітогормони

Запитання для самоконтролю

9. БІОЕНЕРГЕТИКА. БІОЛОГІЧНЕ ОКИСНЕННЯ

9.1. Загальна стратегія енергозабезпечення організмів

9.2. Переносники хімічної енергії та деякі шляхи їх трансформації

9.3. Анаеробний і аеробний механізми окиснення

9.4. Цитохроми та їх попередники. Інші кінцеві оксидази

9.5. «Прямі» оксидази

Запитання для самоконтролю

10. ОБМІН АМІНОКИСЛОТ І БІЛКІВ

10.1. Біосинтез і обмін амінокислот у рослинних організмах

10.2. Особливості метаболізму білків і амінокислот у тваринних організмах

10.3. Біосинтез білка

10.4. Шляхи видозміни ДНК. Рекомбінація ДНК

Запитання для самоконтролю

11. ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ

11.1. Обмін вуглеводів — анаболізм і катаболізм. Бродіння і аеробне окиснення

11.1.1. Гліколіз

11.1.2. Піровиноградна кислота

11.1.3. Цикл трикарбонових кислот (ЦТК, цикл Кребса)

11.1.4. Гліоксилатний цикл (цикл гліоксилової кислоти)

11.1.5. Пентозофосфатне окиснення моносахаридів

- 11.1.6. Особливості обміну вуглеводів в організмах тварин і людини
- 11.1.7. Анаеробний розпад вуглеводів (бродіння)
- 11.1.8. Фотосинтез
- 11.1.9. Взаємоперетворення вуглеводів у рослинних організмах
- 11.1.10. Хемосинтез

Запитання для самоконтролю

12. ОБМІН ЛІПІДІВ

- 12.1. Біосинтез ліпідів
- 12.2. Дисиміляція (катаболізм) жирів
- 12.3. Особливості обміну ліпідів в організмах тварин

Запитання для самоконтролю

13. ОБМІН ВОДИ І БІОМЕТАЛІВ В ОРГАНІЗМАХ ТВАРИН

- 13.1. Обмін води
- 13.2. Обмін біометалів

Запитання для самоконтролю

14. ХІМІЯ БІОЛОГІЧНИХ РІДИН І ТКАНИН ТВАРИННИХ ОРГАНІЗМІВ

- 14.1. Біохімія крові
 - 14.1.1. Склад крові
 - 14.1.2. Деякі фізико-хімічні властивості крові. Буферна система
 - 14.1.3. Дихальна функція крові
- 14.2. Біохімія м'яса
- 14.3. Біохімія молока та продуктів його переробки
 - 14.3.1. Молоко
 - 14.3.2. Біохімічні та фізико-хімічні процеси у виробництві

кисломолочних продуктів і сирів

Запитання для самоконтролю

15. БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ У ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ РОСЛИННУ СИРОВИНУ

15.1. Біохімія вина

15.1.1. Хімічний склад винограду і сусла

15.1.1.1. Вуглеводи (цукри)

15.1.1.2. Азотисті речовини

15.1.1.3. Карбонові кислоти

15.1.1.4. Фенольні сполуки

15.1.1.5. Ефірні олії і складні ефіри

15.1.1.6. Ліпіди винограду

15.1.2. Біохімічні процеси на стадії приготування сусла

15.1.3. Дріжджове бродіння виноградного сусла

15.1.3.1. Дріжджі

15.1.3.2. Біохімія дріжджового бродіння. Вторинні продукти

бродіння

15.1.4. Бактерійні види бродіння

15.1.4.1. Молочнокислі бактерії

15.1.4.2. Молочнокисле бродіння (МКБ)

15.1.4.3. Яблучно-молочне бродіння (ЯМБ)

15.1.4.4. Оцтовокисле бродіння (ОКБ)

15.2. Біохімічні процеси хлібопекарного виробництва

15.2.1. Біохімічний склад борошна

15.2.2. Біохімічні процеси під час дозрівання тіста

15.2.3. Біохімічні процеси під час випікання хліба

15.2.4. Хвороби хліба

15.3. Біохімічні процеси у цукровому виробництві

Запитання для самоконтролю

16. ОБМІН ОРГАНІЧНИХ КИСЛОТ У МІКРООРГАНІЗМАХ І РОСЛИНАХ

16.1. Аліфатичні кислоти

16.2. Деякі кислоти ароматичного, гідроароматичного та аліциклічного ряду

Затитання для самоконтролю

17. РЕЧОВИНИ ВТОРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ В РОСЛИННИХ ОРГАНІЗМАХ

17.1. Глікозиди

17.2. Ефірні олії, смоли, каучук

17.3. Алкалоїди

17.4. Регулятори росту рослин. Алелопатія

17.5. Фітонциди. Фітотоксини

17.5.1. Преінфекційні фітонциди

17.5.2. Постінфекційні речовини: постінгібітини і фітоалексини

17.5.3. Фітотоксини (патотоксини)

17.6. Антибіотики

Затитання для самоконтролю

18. ЗАМІСТЬ ВИСНОВКУ: ПРОБЛЕМА ПОХОДЖЕННЯ ЖИВОЇ МАТЕРІЇ ТА АНТРОПОСОЦІОГЕНЕЗУ

18.1. Концепція єдиного Інформаційного поля Ноосфери і Всесвіту

18.2. Антропосоціогенез: взаємодія біологічного і соціального

Затитання для самоконтролю

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

ЛІТЕРАТУРА

ВСТУП

Біологічна хімія — наука про хімічні основи життя (від грец. *bios* — життя) — про будову, властивості та закономірності хімічних перетворень молекул, що входять до складу організмів і забезпечують їх життєдіяльність.

Виділяють три напрями біохімії: статична, динамічна та функціональна. Статична біохімія вивчає хімічний склад організмів, будову і властивості біомолекул, динамічна — закономірності і механізми хімічних перетворень «молекул життя» та пов'язане з ними перетворення енергії, функціональна — досліджує хімічні процеси, що є основою функціональної діяльності органів і систем живих організмів.

Підручник підготовлено з урахуванням того, що студент засвоїв основи загальної, неорганічної та органічної хімії, має уявлення про будову та реакційну здатність основних функціональних груп органічних молекул — структурних елементів біологічних об'єктів.

Головними «цеглинками» живої матерії є білки (у т.ч. ферменти), вуглеводи, нуклеїнові кислоти та ліпіди. Катаболізм та анаболізм саме цих класів сполук посідає центральне місце в біохімії і розглянуто в цьому підручнику. Паралельно з розглядом метаболізму сполук зазначеного ряду ставилося завдання виявити спільні ознаки і відмінності у функціонуванні тваринних, рослинних і мікробних клітин.

Перед тим як розпочати розгляд цих питань, доцільно відновити у пам'яті у загальних рисах знання про організацію живих систем і клітин, на матрицях яких розвиваються біохімічні феномени; слід також з'ясувати будову та біологічну роль допоміжних класів сполук: вітамінів, гормонів тощо; показати будову носіїв біоенергії та загальні закономірності біологічного (анаеробного

та аеробного) окиснення, що забезпечує життєздатність клітин, тканин та органів.

Підручники з біологічної хімії, що видані в Україні державною мовою та наведені у списку використаних джерел, мають високий науковий рівень і містять необхідні відомості для набуття фундаментальних теоретичних біохімічних знань з урахуванням сучасних досягнень і перспектив. Водночас треба враховувати, що біохімічні процеси мають надзвичайно велике значення у переробній галузі та харчових технологіях.

Сировиною для харчових виробництв є продукти біологічного (рослинного і тваринного) походження, які для отримання цільових продуктів у технологічних процесах піддаються різноманітним біохімічним перетворенням. Тому фахівці, які здобувають освіту за напрямом «Харчові технології та інженерія», крім засвоєння ґрунтовних знань основних фундаментальних основ біохімічної науки, мають знати особливості біохімічних процесів харчових технологій: хлібопекарської, молокопереробної, цукрової, олієжирової, бродильних виробництв (вина, пива, спирту) тощо. Завдяки здобутим знанням майбутній фахівець зможе визначати причини порушень цих процесів і можливі шляхи їх усунення, що конче потрібно у його практичній професійній діяльності.

Викладений матеріал є основою для вивчення спеціалізованих технологічних дисциплін студентами старших курсів напряму 0917 «Харчові технології та інженерія» на випускових кафедрах.

Спеціалістів за напрямом «Харчові технології та інженерія» підготовляють відповідні вищі навчальні заклади і коледжі України, тому пропонований підручник буде корисним широкому спектру студентів, магістрантів та аспірантів нашої держави.

Зміст та обсяг підручника відповідає освітньо-професійній програмі підготовки фахівців зазначеного напряму і програмі навчальної дисципліни «Біохімія» та містить новітні погляди на фізіолого-біохімічні процеси у живих

організмах і на перетворення органічних речовин харчової сировини у різних технологічних процесах.

Підручник може бути використаний студентами, магістрантами та аспірантами, що спеціалізуються у галузі біотехнології, агротехнології, ветеринарії, медицини, технології продуктів оздоровчої і профілактичної дії та фармакології.

Автори намагалися певною мірою осмислити існуюче у теорії пізнання глибоке протиріччя: об'ємна та різнопланова інформація про біохімічні основи життя залишає незбагненною таємницю виникнення цього унікального феномену.

1. СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА ВИНИКНЕННЯ, ІСНУВАННЯ ТА РОЗВИТОК ЖИТТЯ

Життя — унікальне, нерозгадане явище Всесвіту. Видатний учений В.І. Вернадський вважав, що рушійний початок еволюції життя виходить за межі земних явищ і реалізується в руслі глобального космічного механізму руху матерії. Передбачається, що в Галактиці існує близько 10^{52} клітин і жива речовина космосу взаємодіє з живою речовиною Землі, геологічний вік якої оцінюється близько в 4,6 млрд років.

Існують різні погляди щодо віку живої матерії. В одних джерелах стверджується, що вона є майже ровесницею планети — сліди її існування «молодше» Землі лише на 400 млн років. За іншими джерелами вік живої матерії становить близько 1,5 млн років.

У 1926 р. В.І. Вернадський у своїй книзі «Біосфера» зобразив біосферу як єдину динамічну систему, керовану життям. Пізніше вчений розвинув уявлення про ширше поняття — ноосферу як про біосферу, керовану розумом [12].

Інтегральна сума живої речовини та біогенних речовин (тобто продуктів життєдіяльності живого) становить близько 10^{20} т. Якби не життєдіяльність живої матерії (сукупності всіх живих організмів), то на Землі переважали б такі самі ландшафти, як на Місяці та Марсі. Численні копалини і мінерали земної суші і донних відкладень Світового океану (нафта, газ, вугілля, карбонатні породи тощо) є біогенними продуктами.

У біосфері спостерігається експансія живої істоти, яка заповнює весь можливий простір. Так, у Гімалаях на висоті 8 800 м виявлено дев'ять видів бактерій. У Маріанській западині Тихого океану (близько 11 000 м) за температури 2,4 °C і під тиском 111 458 кПа живуть риби, ракоподібні та бактерії. Анаеробна мікрофлора в Сибіру існує на глибині 3 км, а мікроорганізми в анабіозному стані (при цьому припинено обмін з навколишнім середовищем) виявлено в атмосфері на висоті 77 км.

У наш час вчення про біосферу розвивається як синтез наук про живу і неживу матерію. Біосфера Землі є глобальною відкритою системою зі своїм «входом» і «виходом». Її «вхід» — це потік сонячної енергії, що надходить із космосу, «вихід» — це ті утворені в процесі життєдіяльності організмів речовини, які випадають із біотичного кругообігу, йдучи, образно кажучи, в «геологію».

Увесь матеріал, накопичений дослідниками, показує безперервність розвитку органічного світу Землі протягом усієї геологічної історії і підтверджує правильність висновку В.І. Вернадського про відсутність у земній корі відкладень, не пов'язаних із життям [13].

Учені вважають біосферу саморегульованою кібернетичною системою, у функціонуванні якої домінуючу роль відіграють живі організми. Одним із прикладів саморегулювання є сольовий склад океанічної води, який не змінюється з часом. Ріки щороку вносять до Світового океану 1,5 млн т карбонату кальцію. Проте живі організми використовують карбонати (Ca і Mg) для побудови своїх скелетів, а після їх відмирання карбонати осідають на дно.

До теми виникнення життя на Землі ми повернемося після розгляду закономірностей біохімічної поведінки її головних носіїв. Відзначимо лише деякі надто важливі особливості цього дивного феномену.

По-перше, все живе має клітинну будову. Жива клітина — це не просто впорядкована система (аналогічно, наприклад, з кристалом неорганічної речовини), а високоорганізована багаторівнева система, керована нез'ясовним з погляду сучасної науки біофізичним чинником.

Принципова відмінність біохімічних процесів від хімічних полягає в тому, що вони проходять в умовах ферментативного каталізу, який забезпечує надзвичайно високі швидкості, виняткову субстратну вибірковість та стереоселективність. Причому біохімічні процеси анаболізму (біосинтезу) і катаболізму (розпаду) розвиваються на матриці масивних (за мірками мікросвіту) полімерних біомолекул (білків, нуклеїнових кислот, вуглеводів тощо), тобто ентропійних систем, і контролюються сигналами (імпульсами)

біопольової (квантової) природи, що належать до розряду безентропійних систем. Тому теза Шредінгера про те, що життя — це боротьба за негативну ентропію, подається як метафора, що не цілком адекватно відповідає суті реальних процесів.

По-друге, в хімічному сенсі життя має єдині основи — у найпростіших та високоорганізованих живих організмах проходять схожі біохімічні процеси. Гармонійна спільність цих процесів виявляється в тому, що вони базуються на подібних біомолекулах: нуклеотидах і амінокислотах, вуглеводах і ліпідах, ферментах і коферментах. Подібність матеріальних носіїв і механізмів метаболічних процесів свідчить про спільну першооснову походження всіх біологічних видів, генетично поєднаних у єдину біосферну систему. Можливо, як зауважує відомий французький філософ Дж. Бернал, спочатку було життя в речовинах, а не в істотах? Можливо цикли реакцій, що перебувають у динамічній рівновазі, створювали спочатку якесь живе середовище, живий океан (Соляріс на Землі), хоча ще жодного живого організму не існувало?

Основні хімічні цикли і метаболічні системи, відповідальні за отримання, зберігання та трансформацію енергії, а також біосинтез «будівельного» (тканинного) матеріалу, виявляють дивну стабільність у процесі еволюції і дають можливість виділити царства біоти. Існують кілька класифікацій [22, 25], у тому числі дроб'янки, гриби, рослини і тварини.

Рослини продукують вихідні органічні речовини для росту і регенерації тканин в основному за участю води та CO_2 в процесі фотосинтезу, отримуючи енергію безпосередньо від сонця. Тварини ж використовують енергію, накопичену в хімічних зв'язках вуглеводів рослин, які піддаються анаеробному, а потім і аеробному окисненню з утворенням у завершальній стадії води та CO_2 , що надходять у навколишнє середовище.

Учення про біосферу і ноосферу є теоретичною основою для вирішення глобальної проблеми виживання людства. Вже нині населення земної кулі споживає у кілька разів більше їжі та сировини, ніж їх може дати природа

біосфери. Водночас, на думку вчених, продуктивність природи може бути збільшена ще в 7...10 разів.

Успішному вирішенню цих проблем заважає глибока нерівність у соціально-економічному розвитку окремих держав і цілих континентів, егоїзм націй та окремих соціальних груп, національна та релігійна нетерпимість у людському суспільстві.

Запитання для самоконтролю

1. Як Ви розумієте феномен життя та його витоки?
2. Дайте трактування поняття «біосфера» як його розумів видатний учений В.І. Вернадський.
3. У чому полягає принципова відмінність біохімічних процесів від хімічних?

2. ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ОРГАНІЗАЦІЮ ЖИВИХ СИСТЕМ І КЛІТИН

Біохімічні процеси розвиваються в біологічних системах різної структурної впорядкованості та ієрархічної супідрядності. Взаємозв'язок складових елементів будь-якої системи створює нову якість, нерівнозначну їх простій сумі [2].

Життя як особлива форма руху матерії має складну систему рівнів її організації. Предмет біохімії стикається з такими рівнями матерії:

молекулярний — у ньому виявляється функціонування біологічно активних макромолекул: білків, нуклеїнових кислот, вуглеводів тощо;

клітинний — охоплює структурно-функціональні особливості клітини як універсальної одиниці живого організму;

тканинний — розглядає сукупність клітин, об'єднаних спільністю природи і функцій;

органный — відображає функціональну взаємодію кількох типів тканин;

організменний — стосується взаємодії диференційованих органів у цілісній системі.

Клітина — це найпростіша (елементарна) жива система, здатна до саморегуляції і самовідтворення.

Організми поділяються на одно- та багатоклітинні.

До перших належать бактерії, найпростіші (інфузорія, амеба, малярійний плазмодій), безліч водоростей (хлорелла, хламідомонада), гриби (дріжджі, мукор тощо). Деякі з них — бактерії і синьо-зелені водорості — належать до без'ядерних форм (*прокаріот*). Клітини таких організмів замість ядра містять ДНК і РНК, включені безпосередньо в цитоплазму. Інші ж організми складаються з клітин, що мають ядра і називаються *еукаріотами*.

Зазначимо, що існують також неклітинні форми живої матерії — віруси і бактеріофаги (фаги). У них немає ні цитоплазми, ні органел. Це автономна ДНК або РНК, що мають білкову оболонку (капсулу). Віруси не мають свого

власного механізму обміну речовин. Вони проникають у будь-яку живу клітину і руйнують її, фактично паразитуючи на чужому біологічному матеріалі.

Багатоклітинні організми складаються з ансамблів клітин, що утворюють тканини, органи і організм у цілому.

Існують такі тканини, як покривна, провідна, асиміляційна, арматурна (у рослин), епітеліальна, сполучна, м'язова, нервова (у тварин).

Кількість клітин у примітивних безхребетних становить $10^2 \dots 10^4$, у високоорганізованих хребетних — $10^{15} \dots 10^{17}$. У крові людини міститься близько 10^{12} клітин. Середня маса клітини — $10^{-8} \dots 10^{-9}$ г, а розміри — $10 \dots 100$ мкм.

Спільною ознакою різних видів клітин є наявність двох систем, що забезпечують їх життєдіяльність. Одна з них пов'язана з розмноженням і розвитком (редуплікація ДНК, синтез РНК і білка). Інша система відповідальна за енергозабезпечення процесів біосинтезу речовин та інших видів фізіологічної роботи.

Хімічний склад клітини

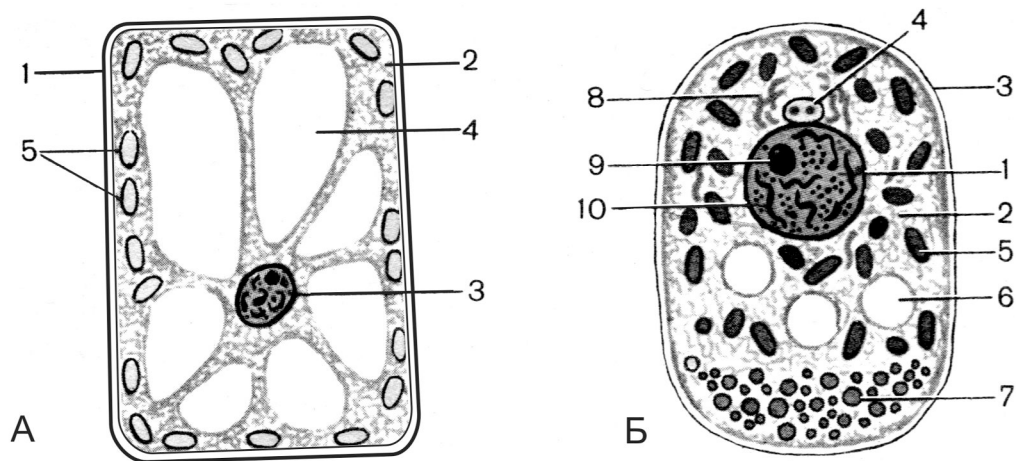
<i>Речовина</i>	<i>Вміст, %</i>
Вода	70...80
Білки	10...20
Вуглеводи	0,2...2,0
Жири	1...5
Нуклеїнові кислоти	1,0...2,0
АТФ та інші низькомолекулярні органічні речовини	0,1...0,5
Мінеральні речовини	1,0...1,1

Клітина складається з плазматичної мембрани, цитоплазми і ядра (рисунок). **Плазматична мембрана** (завтовшки $8 \dots 10$ нм) зовні має клітинну оболонку з целюлози або інших біоматеріалів, що робить клітину відносно жорсткою. У клітин тварин такої додаткової оболонки, як правило, немає.

Плазматична мембрана підтримує внутрішньоклітинний гомеостаз. При цьому вона вибірково регулює рух речовин у клітину та вихід з неї за

допомогою спеціальних переносників і ферментів, забезпечує передачу сигналів і міжклітинну взаємодію.

Внутрішній вміст клітини, за винятком ядра, називається **цитоплазмою**. Цитоплазма — це біологічний колоїдний розчин, що містить 75...85 % води, 10...12 % білків та амінокислот, 4...6 % вуглеводів, 2...3 % ліпідів, 1 % неорганічних та інших речовин. Цитоплазма еукаріотів має неоднорідну будову і містить мембранні та немембранні компоненти. До **мембранних** компонентів належать мембранні органели: мітохондрії, пластиди, апарат Гольджі, лізосоми, мікротільця, вакуолі рослинних клітин, до **немембранних** — макромолекулярні комплекси, зокрема рибосоми.



Схеми будови клітин за даними світлового мікроскопа:

а — рослинна клітина: 1 — оболонка; 2 — цитоплазма; 3 — ядро; 4 — вакуоля з вакуолярним соком; 5 — пластиди; *б* — тваринна клітина: 1 — ядро; 2 — цитоплазма; 3 — зовнішня мембрана клітини; 4 — клітинний центр; 5 — мітохондрія; 6 — вакуоля; 7 — вclusions; 8 — комплекс Гольджі; 9 — ядерце; 10 — хроматин

До складу клітинних мембран входять білки (до 60 %), ліпіди (близько 40 %). У свою чергу мембранні білки поділяються на ферменти, рецепторні та структурні білки. Ліпіди, які входять до складу мембран клітини, представлені, в основному, гліцероліпідами, сфінголіпідами, холестерином. Часто в мембранах наявний фосфатидилхолін (лецитин).

Внутрішньоклітинні мембрани ендоплазматичного ретикулума тісно пов'язані з плазматичною мембраною і поділяють клітину на безліч відсіків (компартментів), що відіграють важливу роль у регуляції ферментативних процесів, що проходять одночасно.

У цитоплазмі є **ядро**, яке забезпечує найважливіші метаболічні та генетичні функції клітини. В ядрі містяться молекули ДНК, сполучені зі специфічними білками-гістонами. Ці нуклеопротейди утворюють набір хромосом (каріотип). В ядрі здійснюється синтез інформаційної РНК.

До органел клітин еукаріотичних організмів належать також **мітохондрії**, у яких відбуваються процеси, що забезпечують клітину енергією. Тут енергія хімічних зв'язків поживних речовин (вуглеводів, жирних кислот, амінокислот) в процесі клітинного дихання трансформується в енергію макроергічних зв'язків аденозинтрифосфату (АТФ) — своєрідного біологічного акумулятора. Кількість мітохондрій у клітині досягає 5 000.

Тіло мітохондрії обмежене подвійною мембранною оболонкою, внутрішня поверхня якої утворює велику кількість складок, перегородок, так званих крист, що формують своєрідні відсіки (камери) і значно збільшують площу поверхні. Між кристами простір заповнює матрикс — маса, близька за складом до цитоплазми. У матриксі міститься основна частина ферментів. Наявність **ДНК** і **рибосом** зумовлює певну генетичну автономність мітохондрій.

Функції органоїду **апарат Гольджі** полягають у накопиченні, сепарації і видаленні за межі клітини за допомогою бульбашок продуктів внутрішньоклітинного синтезу і розпаду, токсичних речовин. У рослинних клітинах апарат Гольджі містить фермент синтезу полісахаридів, у тому числі і для побудови клітинної оболонки.

Лізосоми містять у своєму мукополісахаридному (тобто гетерополісахаридному) матриксі близько 60 гідролітичних ферментів (гідролаз), що дає можливість цим органелам розщеплювати практично всі полімерні органічні сполуки.

Пластиди — найбільші (після ядра) органоїди цитоплазми рослинних клітин. Відомо три типи пластид. Найважливіший з них — **хлоропласти** — «силові станції» рослинних клітин. Ферменти, білки, ліпіди та пігменти, що містяться в них, відповідальні за фотосинтез, що веде до утворення вуглеводів та виділення вільного кисню.

Лейкопластиди (безбарвні пластиди) сконцентровані в кореневищах і бульбах рослин. Вони містять ферменти, що синтезують крохмаль із надлишків глюкози (продукту фотосинтезу).

Каротиноїдопласти містять жовті пігменти — каротиноїди. Дозрівання плодів, зокрема шипшини, помідорів, перцю супроводжується перетворенням хлоро- і лейкопластів клітин м'якоті в каротиноїдопласти.

Вакуоля — це частина рослинних клітин, що є порожниною (резервуаром) у масі цитоплазми, заповненою водним розчином мінеральних солей, амінокислот, органічних кислот, вуглеводів та інших компонентів. Вакуоля зумовлює осмотичні властивості клітини, регулює проникнення в клітину та виділення з неї води, іонів та молекул метаболітів.

Запитання для самоконтролю

1. Назвіть рівні організації матерії.
2. Чим віруси і бактеріофаги (фаги) відрізняються від бактерій?
3. Яку роль в організації клітини відіграють плазматична мембрана, цитоплазма, ядро та мітохондрії?

3. БІЛКИ І АМІНОКИСЛОТИ – БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ І БІОЛОГІЧНА РОЛЬ

3.1. Загальна характеристика і біологічна роль білків

Амінокислоти і продукти їх конденсації — поліпептиди і білки — є «наріжним каменем» структури живої природи. У живій матерії всі види обміну: вуглеводний, ліпідний, нуклеїновокислотний і мінеральний — спрямовані на відтворення білкової субстанції.

Білки виконують у клітині важливі функції [3]:

— каталітична — ферменти, тобто речовини, що прискорюють реакції в організмах, мають білкову природу. Ідентифіковано понад 2 000 ферментів. Ця функція білків унікальна;

— транспортна — білки беруть участь у перенесенні речовин в організмі. Так, транспортування кисню від легень до тканин, а на зворотному шляху перенесення вуглекислого газу від органів до легень здійснюють молекули білка гемоглобіну. Інші білки утворюють комплекси з ліпідами, вітамінами і забезпечують їх доставку в органи;

— захисна — в організмі її виконує імунна система, що забезпечує синтез специфічних захисних білків-антитіл у відповідь на потрапляння в організм патогенних бактерій, вірусів чи токсинів. Антитіла зв'язуються з ними та інактивують, знешкоджують токсичні речовини.

Захисна функція білків виявляється також і в здатності ряду білків крові до згортання, що зумовлює утворення згустку крові і запобігає надмірній втраті крові під час поранення.

Амінокислоти і білки у ряді випадків забезпечують виживання рослин в екстремальних умовах. Так, одним із проявів біохімічної адаптації рослин до засухи є накопичення в клітинах амінокислоти проліну. Наприклад, у ячменю в цих умовах вміст проліну може досягати 30 % пулу, тобто сумарної кількості амінокислот. Вважають, що пролін сприяє утриманню води в клітинах.

Накопичення в клітинах проліну та гліцинбетаїну є адаптивною відповіддю ряду рослин на підвищення засоленості ґрунту (сольовий ефект навпаки — органічні іони перешкоджають проникненню у фізіологічний розчин клітини неорганічних іонів);

- механічна — білкові речовини беруть участь у акті м'язового скорочення та розслаблення, у роботі внутрішніх органів;

- структурна — білки входять до складу практично всіх органів і тканин. В організмах тварин білки становлять 14...23 % свіжої тканини і 45...80 % їх сухої маси. У більшості рослинних клітин вміст білка незначний, але є виняток — соя, горох, гриби.

Білки є структурними елементами м'язів і тканин, внутрішніх органів і крові, волосся та пір'я тощо. Так, білок колаген міститься у з'єднувальній тканині, кератин — у волоссі, нігтях, еластин — у судинній стінці;

- гормональна — деякі гормони, тобто речовини, що регулюють усі процеси в організмі, представлені білками або продуктами білкового обміну (гормони інсулін, соматотропін, окситоцин тощо);

- енергетична — білки є джерелом енергії для організму. В результаті розщеплення 1 г білка виділяється 17,7 кДж енергії;

- резервна — здійснюють резервні білки овальбумін (білок яйця), казеїн (білок молока) тощо.

Значна кількість небілкових амінокислот і білків належать до азотвмісних токсинів рослин. Їх екологічна функція полягає в захисті насіння від знищення, зокрема комахами (табл. 3.1).

До токсичних білків належать:

- арбін** — білок насіння (*Abrus precatorius*), токсичний для тварин. Летальна доза для людини — 0,5 мг. За температури вище як 65 °C втрачає токсичність;

- рицин** — білок рицини звичайної (*Ricinus communis*), протоплазматична отрута;

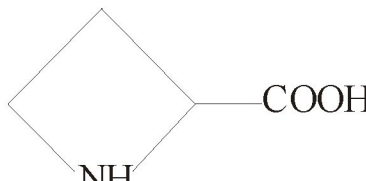
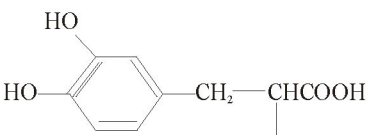
фітогемагглютиніни — білки, виявлені в насінні бобових та інших рослин.

Здатні коагулювати еритроцити крові і в зв'язку з цим використовуються для визначення групи крові. Токсичні для комах.

Токсичні пептиди (сполуки із кількох амінокислот) зустрічаються у вищих рослин і грибів.

Таблиця 3.1

Загальна характеристика небілкових амінокислот

Амінокислота	Біологічна активність
 Азетидин-2-карбонова кислота	Антиметаболіт. Неадаптовані до цієї кислоти рослини і тварини помилково включають її замість проліну в білок, що призводить до утворення дефектного ферменту, нездатного нормально функціонувати. Пригнічує синтез і утилізацію проліну
 3, 4-Дигідроксифенілаланін (L - ДОФА)	Відносно нешкідливий для ссавців і навіть використовується для лікування хвороби Паркінсона, але токсичний для комах. При дегідруванні перетворюється на хіноїдну сполуку — дофхінон, який використовується в біосинтезі пігментів — меланінів
$\text{NCCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ β - Ціаноаланін	Виявлено в насінні видів <i>Vicia</i> . Токсичний для ссавців. Спричиняє конвульсії і смерть щурів у разі введення дози 200 мг/кг ваги

Дуже токсичним для всіх живих організмів є так званий селенопротеїн. Селен як аналог сульфуру у шостій групі періодичної системи елементів може замінювати його в біохімічних системах, включаючись в амінокислоти, а потім і в білок. З ґрунту через рослини селен потрапляє в організм тварин (зокрема на пасовищах), викликаючи симптоми отруєння, аж до хронічних захворювань і

смерті, у тому числі і серед людей. Одним із симптомів отруєння селеном у овець є випадання шерсті.

Джерелом білка для людини і тварин є харчові продукти рослинного і тваринного походження. Деякі з них наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Вміст білка в харчових продуктах

Назва продукту	Вміст білка, %	Назва продукту	Вміст білка, %
Соя	35	Горіхи лісові	12
Горох	26	Макарони	9...13
Сир	20...36	Гречана крупа	11
М'ясо	18...22	Молоко	3,5
Риба	17...20	Картопля	1,5...2
Яйця	13	Буряк	1,6

3.2. Будова амінокислот

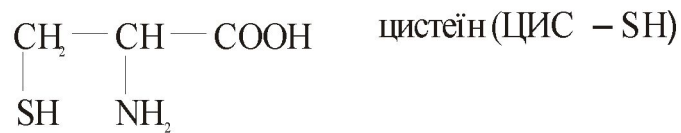
У природі зустрічаються понад 300 амінокислот, але тільки з 20 будуються білкові молекули [1; 3; 8].

Амінокислоти часто класифікують за кількістю аміно- та карбоксильних груп, що входять до їх складу.

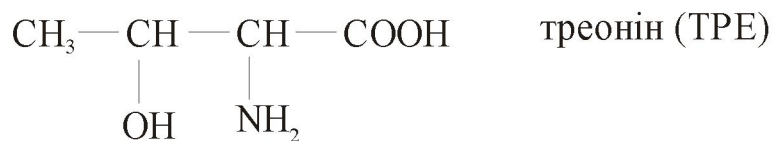
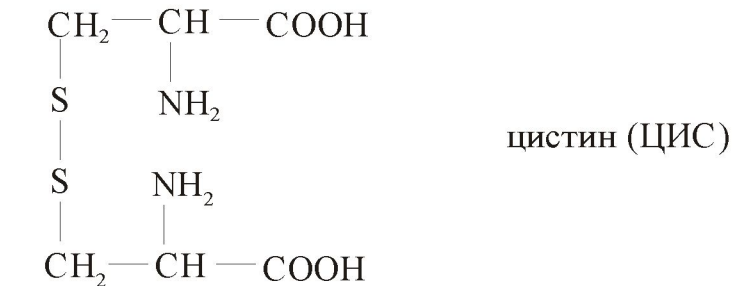
I. Ациклічні амінокислоти

1. Моноаміномонокарбонові:

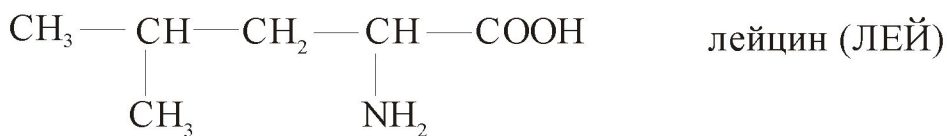
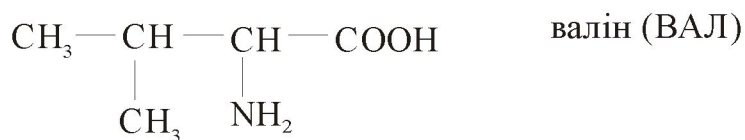




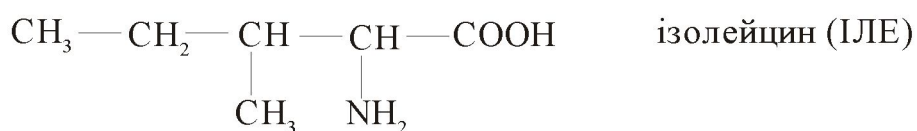
Цистеїн відіграє важливу роль в обміні речовин як джерело сірки та як відновлювальний агент. Відновлювальні властивості цистеїну залежать від сульфгідрильної групи SH. Цистеїн у живій клітині легко перетворюється у діамінодикарбонову кислоту — цистин.



Метіонін має велике значення в організмі як джерело (донор) метильних груп. Широко використовується у тваринництві для підвищення продуктивності.

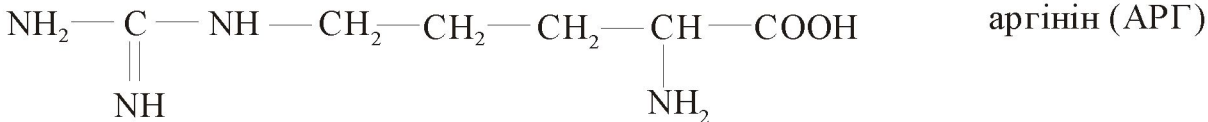


Лейцин у значній кількості міститься у пророслому зерні, є джерелом утворення сивушних масел у процесі спиртового бродіння.

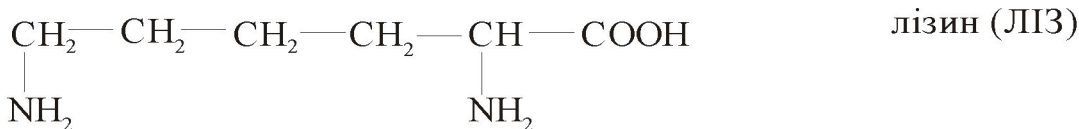


Ізолейцин виділено із м'яси. Є джерелом утворення сивушних масел у процесі бродіння.

2. Діаміномонокарбонові:



Аргінін належить до лужних амінокислот. Міститься у дуже великій кількості в деяких білках тваринного походження (білки молочка риб), накопичується у пророслому насінні деяких рослин. Відіграє значну роль у білковому обміні, оскільки є проміжним продуктом у синтезі сечовини.

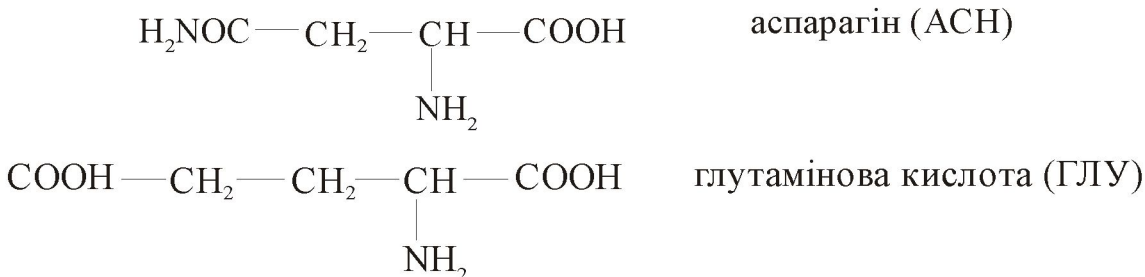


Лізин також належить до групи лужних амінокислот. Особливо багато його у білках молочка риб. Використовують для підвищення продуктивності тварин.

3. Моноамінодикарбонові:



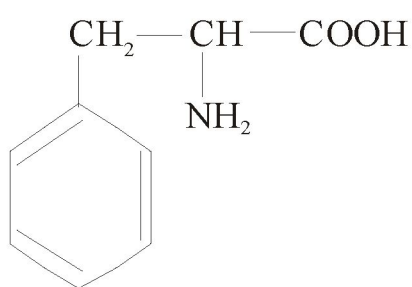
Аспарагінова кислота виділена з рослинних білків, особливо високий вміст було виявлено у соку спаржі. У водних розчинах дає кислу реакцію. Накопичується у великих кількостях у вирослих у темряві паростках бобових рослин у вигляді свого аміду — аспарагіну:



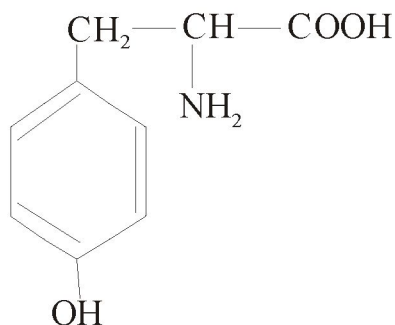
Глутамінова кислота міститься у великих кількостях у білках рослин і дріжджів. Дає кислу реакцію у водних розчинах. Мононатрієва сіль глутамінової кислоти широко використовується як смакова добавка у харчовій промисловості. Міститься у паростках деяких рослин та у корені буряка у вигляді моноаміду — глутаміну.

II. Циклічні амінокислоти

1. Ароматичні:



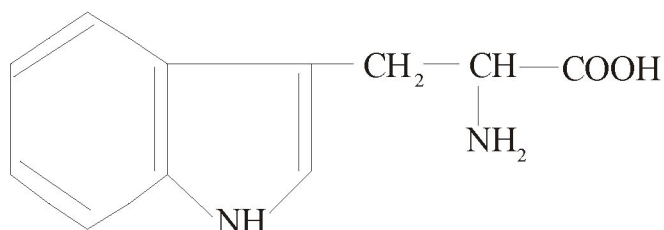
фенілаланін (ФЕН)



тирозин (ТИР)

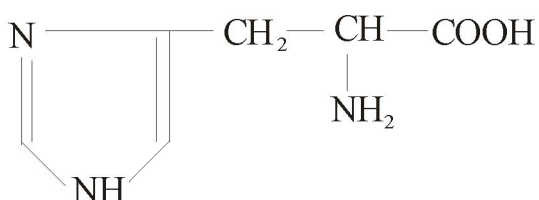
Тирозин легко окиснюється під дією ферменту тирозинази та дає при цьому темнозabarвлені речовини. Нестача цього ферменту в організмі людини спричиняє виникнення хвороби — альбінізму.

2. Гетероциклічні:



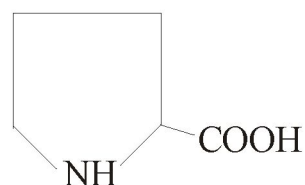
триптофан (ТРИ)

Триптофан має велике значення у обміні речовин і тісно пов'язаний з утворенням у організмі людини вітаміну РР (B_5).



гістидин (ГІС)

Гістидин входить до складу білка глобіну, який є складовою гемоглобіну крові.



пролін (ПРО)

Існує також класифікація амінокислот за полярністю радикалів. За цією ознакою їх поділяють на чотири групи: з неполярними радикалами (АЛА, ВАЛ, ЛЕЙ, ІЛЕ, МЕТ, ФЕН, ТРИ, ПРО), з незарядженими полярними радикалами (ГЛІ, СЕР, ТРЕ, ЦИС-SH, АСН, ГЛН, ТИР), з негативно зарядженими полярними радикалами (АСП, ГЛУ) та з позитивно зарядженими полярними радикалами (ЛІЗ, АРГ, ГІС).

3.3. Властивості амінокислот

Усі природні амінокислоти, крім гліцину, містять асиметричний атом карбону, тому здатні утворювати стереоізомери і є оптично активними сполуками [8].

Якщо амінокислота обертає площину поляризованого променя праворуч, вона є правообертальною і позначається знаком плюс (+), а якщо ліворуч — то лівообертальною і позначається знаком мінус (—).

Залежно від просторового розташування груп, амінокислоти належать до *D*- або *L*-ряду. Природні амінокислоти належать до *L*-ряду.

Амінокислоти виявляють усі властивості аміно- і карбоксильних груп. Водночас ді- або поліфункціональність молекули амінокислоти зумовлює низку їх специфічних властивостей.

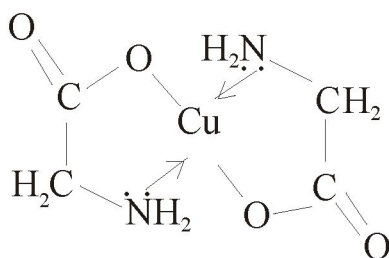
1. Утворення внутрішніх солей і комплексних сполук.



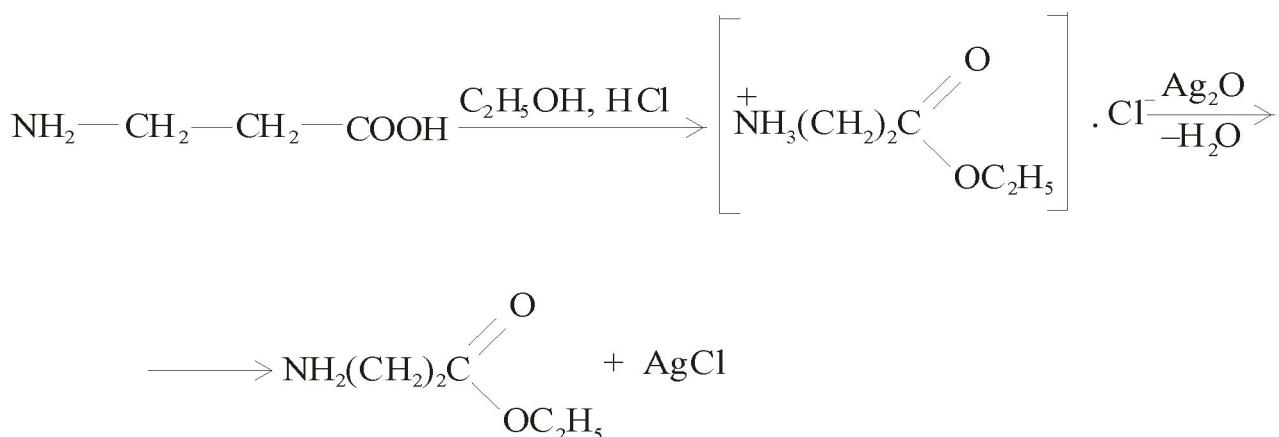
Внутрішня сіль характеризується точно визначеною для кожної амінокислоти концентрацією водневих іонів, тобто рН (ізоелектричною точкою

— рІ). У процесі електролізу такого розчину амінокислота не рухається в електричному полі, оскільки аніон і катіон зв'язані вуглеводневою ланкою. Штучна зміна рН розчину руйнує внутрішню сіль — у розчині виникають кінетично самостійні іони, що проводять струм. Значення рІ амінокислот варіюється в широкому діапазоні — від 2,77 для аспарагінової кислоти до 10,76 для аргініну.

α-амінокислоти утворюють з іонами перехідних металів характерні комплексні сполуки, структура яких показана на прикладі комплексу міді з гліцином:



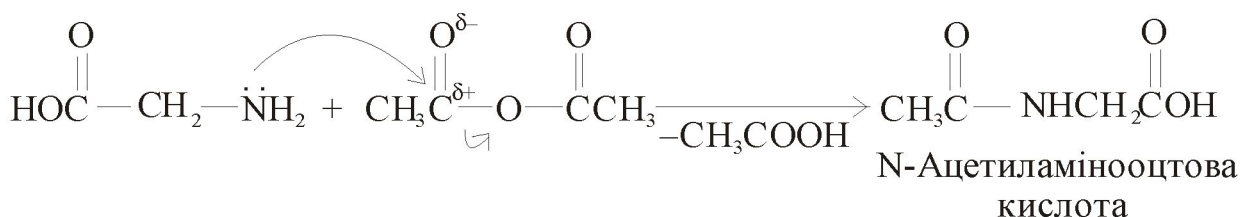
2. Етерифікація амінокислот. Її проводять дією спирту в кислому середовищі (найчастіше використовують HCl). Проте при цьому утворюються солі ефірів амінокислот, з яких вільні ефіри можна отримати нейтралізацією кислоти. Наприклад, гідрохлорид видаляється триетиламіном, оксидом срібла або плумбуму:



Саме етерифікацією набору амінокислот, що утворюються в результаті гідролітичного розщеплення білка, розгонкою у вакуумі отриманих ефірів і подальшим їх гідролізом виділяють індивідуальні амінокислоти.

3. Ацилювання амінокислот. З двох носіїв нуклеофільних властивостей

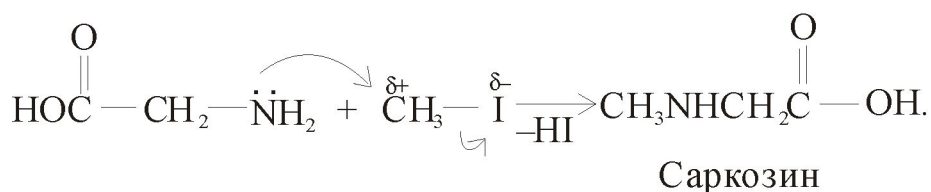
у молекулі амінокислоти (—NH_2 , —COOH) аміногрупа набагато більш нуклеофільна. Тому насамперед вона піддається дії ацилювальних і алкілювальних агентів.



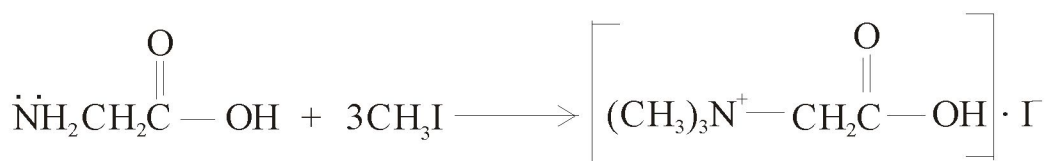
Найважливішою властивістю амінокислот є ацилювання аміногрупи однієї молекули за рахунок карбоксильної групи іншої молекули.

Саме такого типу реакції лежать в основі поліконденсації ряду амінокислот у певній послідовності, що веде до утворення поліпептидів і білків.

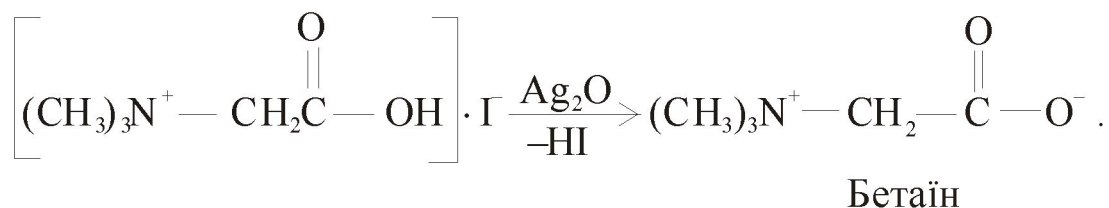
4. Алкілювання амінокислот. Стандартний алкілювальний агент — йодистий метил.



За надлишку йодистого метилу реакція відбувається з повним метилюванням аміногрупи:

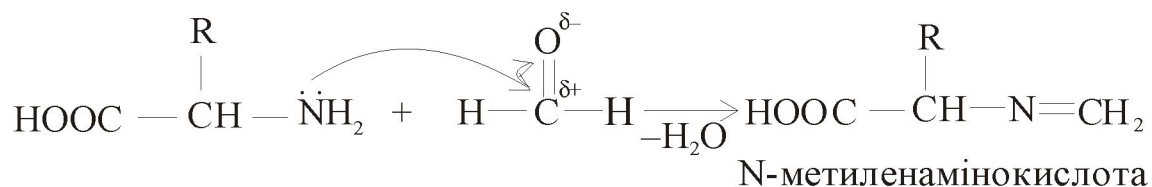


При відщепленні від останньої сполуки HI утворюється бетаїн (повністю алкілована внутрішня сіль амінокислоти):



Бетаїни солеподібні (тверді, нелеткі, водорозчинні) мають великий дипольний момент.

Аміногрупа амінокислот легко взаємодіє з формальдегідом:



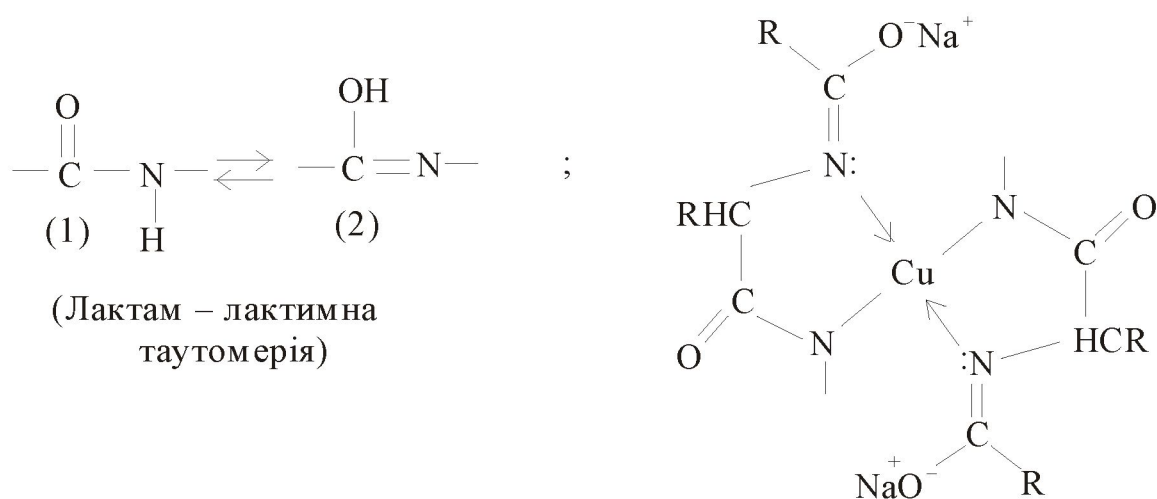
На цій реакції ґрунтується **метод формольного титрування**, який використовується для кількісного визначення амінокислот. Блокування аміногруп, що відбувається при цьому, дає можливість відтитровувати карбоксильні групи лугом.

5. Деякі аналітичні реакції на амінокислоти і поліпептиди

Нінгідринова реакція. У разі нагрівання (до 70 °С) α-амінокислоти окиснюються нінгідрином (трикетогідринденгідратом) з утворенням поліциклічної сполуки синьо-фіолетового кольору з максимумом поглинання близько 570 нм.

Нінгідринова реакція використовується в колориметричному методі кількісного визначення α-амінокислот і в хроматографії.

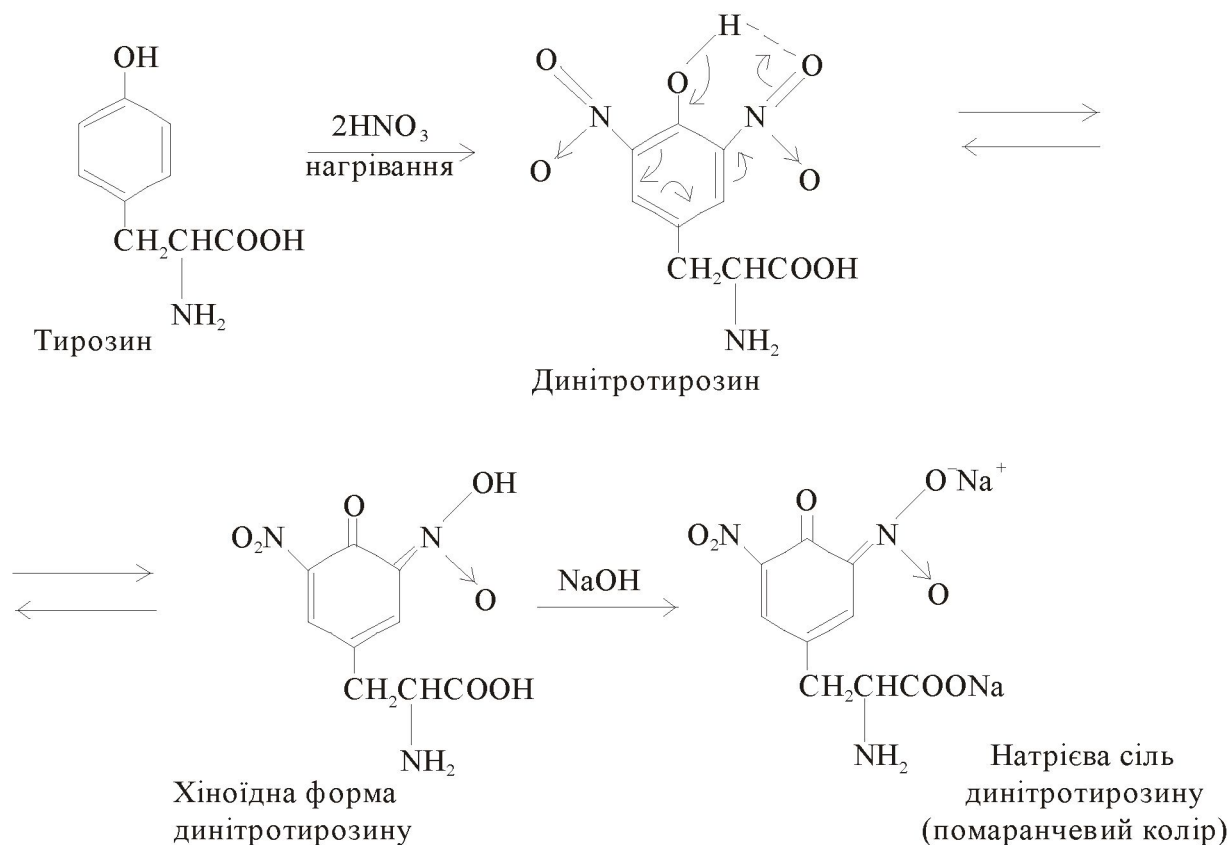
Біуретова реакція на пептидні зв'язки. У разі оброблення пептидів і білків солями міді в лужному середовищі утворюються комплекси синьо-фіолетового кольору. У комплексоутворення від кожної з двох макромолекул вступають як ліганди пептидна ланка (1) і сусідня ланка в таутомерній формі (2).



У подібну реакцію вступає **біурет** ($\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{NH}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{NH}_2$) — проста сполука, що

містить дві амідні групи, тому так і названо цю реакцію.

Ксантопротейнова реакція на ароматичні амінокислоти (тирозин, триптофан, фенілаланін):

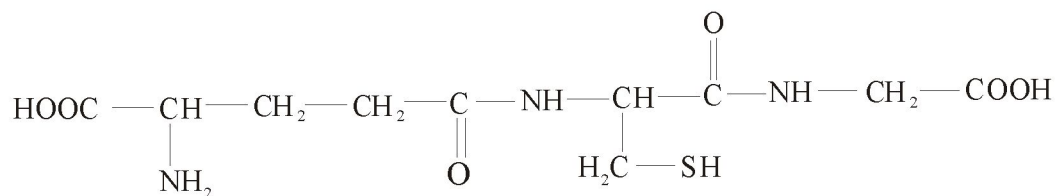


Білки, що потрапляють в організм ззовні піддаються гідролітичному розщепленню до амінокислот і пептидів. На основі цього матеріалу здійснюється ресинтез (анаболізм) нових білків, специфічних для даного організму. При цьому деякі амінокислоти синтезуються з метаболітів небілкового походження. Проте для дорослих вісім амінокислот належать до **незамінних**, тобто таких, що не синтезуються в організмі (табл. 3.3).

У природі велике значення мають пептиди — короткі ланцюги із невеликої кількості амінокислот.

Так, у зернах пшениці, рослинних клітинах, дріжджах, у печінці і червоних кров'яних тільцях виявлено сильний відновник — глутатіон, який складається із залишків амінокислот: глікоколу, цистеїну і глутамінової кислоти. Його

біологічна роль полягає у тому, що він активує протеолітичні ферменти (папаїн тощо) у харчових продуктах. Це спричиняє їх псування.



Таблиця 3.3

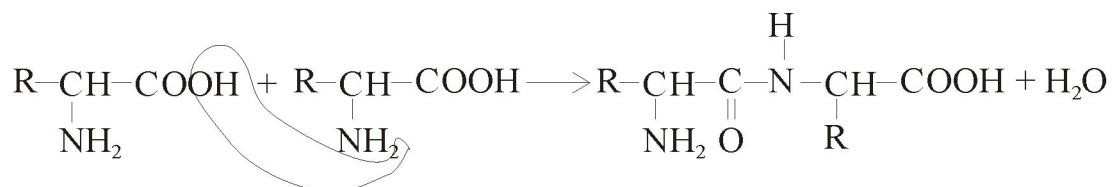
Незамінні для тваринних організмів амінокислоти

Назва амінокислоти	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Ізоелектрична точка (pI)
Валін	315	5,96
Лейцин	337	5,98
Ізолейцин	284	6,02
Треонін	253	6,16
Метіонін	283	5,74
Лізин	224	9,74
Триптофан	382	5,89
Фенілаланін	382	5,5

3.4. Структура та класифікація білків

Розрізняють чотири рівні структурної організації білкової молекули [1; 2; 3; 8].

Первинна структура — це послідовність розташування залишків амінокислот у поліпептидному ланцюгу. Залишки амінокислот зв'язані ковалентними пептидними зв'язками — CO — NH —. Гіпотезу про існування пептидних зв'язків висловив О. Данилевський у 1888 р., а Е. Фішер у 1902 р. сформулював поліпептидну теорію будови білків і підтвердив її експериментально.



Першим білком, у поліпептидному ланцюгу якого вивчили якісний і кількісний склад і послідовність розміщення залишків амінокислот, був гормон інсулін, який регулює вуглеводний обмін. За ці дослідження англійському біохіміку Ф. Сенгеру в 1958 р. було присуджено Нобелівську премію.

Вторинна структура — це спосіб укладання в просторі поліпептидного ланцюга. Розрізняють два типа просторової конфігурації: α -спіраль і β -складчаста структура.

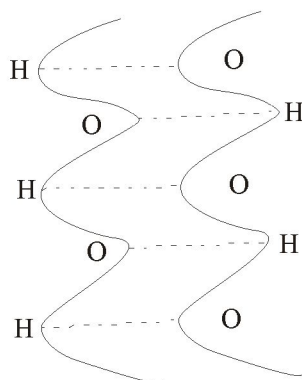
В основі утворення вторинної структури лежить водневий зв'язок. Водневі зв'язки у білковій молекулі виникають між СО та NH групами, двома гідроксильними групами, між гідроксильною групою та пептидним зв'язком тощо. Водневий зв'язок досить слабкий. Він легко утворюється і легко руйнується.

У білках утворюється правозакручена спіраль. Один виток спіралі містить 3,6 залишку амінокислот, відстань між витками — 0,54 нм, кут підйому спіралі 26° . Водневий зв'язок розміщується паралельно осі спіралі. Енергія одиночного водневого зв'язку невелика (4...12 кДж/моль), проте таких зв'язків у білковій молекулі може бути кілька сотень або тисяч, отже їх спільна енергія може досягати великих значень.

Ланцюги у молекулі білка спіралізовані не повністю. Так, білок гемоглобін має ступінь спіралізації 75 %, альбумін курячого яйця — 45 % тощо.

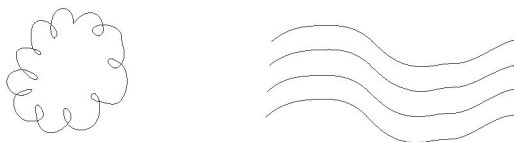


У β -структурі два або більше поліпептидних ланцюги зв'язані між собою водневими зв'язками і утворюють структуру складчастого шару. Всередині кожної нитки такі зв'язки відсутні. Така структура характерна для білків шкіри, волосся, сухожилля, нігтів, шовку.



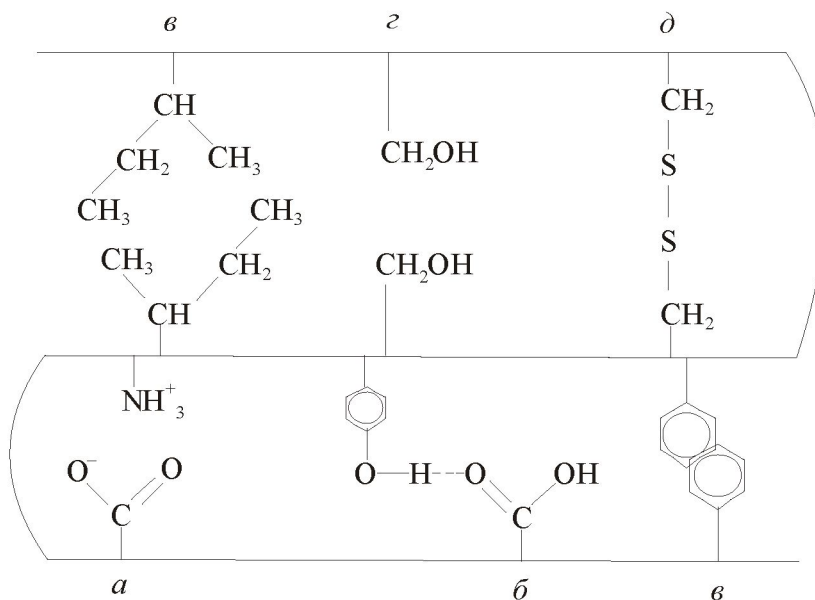
Спосіб укладання у певному об'ємі поліпептидного ланцюга з власною вторинною структурою називається *третинною структурою*.

Білки за формою, яку зумовлює третинна структура, поділяють на *глобулярні* (кулеподібні) та *фібрилярні* (ниткоподібні). До глобулярних належить більшість білків рослинних і тваринних клітин, білки лімфи, плазми, сироватки крові, до фібрилярних — білки волосся, м'язів, шкіри.



В утворенні третинної структури беруть участь ковалентні дисульфідні зв'язки та нековалентні: гідрофобні, водневі, іонні.

Типи взаємодій у молекулі білка, що стабілізують його третинну структуру, де *a* — електростатична взаємодія; *б* — водневий зв'язок; *в* — взаємодія неполярних груп способом витіснення молекул розчинника; *г* — сили Ван дер Ваальса; *д* — дисульфідний зв'язок,



Кілька поліпептидних ланцюгів можуть розташовуватись у просторі у вигляді комплексу, що називається *четвертинною структурою*. Вона стабілізується за рахунок сил слабкої взаємодії — водневих, іонних, гідрофобних зв'язків. Таку структуру мають гемоглобін, пепсин тощо.

За складом і фізико-хімічними властивостями білки поділяються на **прості (протейни) і складні (протеїди)**.

Прості білки складаються лише з амінокислот, складні — із залишків амінокислот і небілкової частини, що називається простетичною групою.

Класифікація **простих білків** ґрунтується на характері їх розчинності.

Альбуміни — розчинні у воді, мають невелику молекулярну масу (35 000 — 70 000). Одержують у кристалічному вигляді, легко осаджуються з розчину за повного насичення його сульфатом амонію. Дуже поширені у тваринному і рослинному світі. Альбуміни входять до складу цитоплазми клітин, містяться в крові, лімфі. У вищих тварин становлять основну частину плазми крові (понад 50 %). Характеризуються високим вмістом лейцину (до 15 %), лізину, аспаргінової і глутамінової кислот.

Представники — лактоальбумін (молочний білок), лейкозин (міститься у зародку пшеничного зерна), легумелін сої, рицин (у насінні рицини).

Альбуміни виконують важливу роль у транспорті речовин, особливо тих, що важко розчиняються у воді.

Глобуліни — нерозчинні у воді, але розчинні у слабких сольових розчинах. Добре осаджуються у сульфаті амонію 50%-ї концентрації. Молекулярна маса 90 000...1 500 000. Досить поширені у тваринних і рослинних організмах.

Представники — лактоглобулін молока, фібриноген крові, фазеолін квасолі. Особливо велика кількість їх входить до складу насіння соняшника, льону, бавовнику, сої (легумін та гліцинін), арахісу (арахін).

Глобуліни виконують в організмі захисні функції. Зокрема, γ -глобуліни — специфічні антитіла, фібриноген бере участь у процесах згортання крові.

Проламіни — білки рослинного походження, зустрічаються в основному в насінні злаків (пшениця, ячмінь).

Представники — гордеїн ячменю, зеїн кукурудзи, гліадин пшениці. Нерозчинні у воді, сольових розчинах, але розчиняються у 70%-му розчині спирту. Містять пролін (10...15 %) і глутамінову кислоту (20...25 %).

З проламінів складається основна маса клейковини зерна — «білковий каркас», який визначає якість пшеничного хліба.

Глутеліни — нерозчинні у воді, спирті, сольових розчинах, але добре розчиняються в слабких розчинах луку. Містять значну кількість глутамінової кислоти та лізину. Належать до білків рослинного походження. Частіше зустрічаються у насінні злаків.

Представники — глютенін пшениці, оризенін рису.

Гістони — мають лужні властивості, які зумовлені наявністю лізину (до 10 %) та аргініну (25 %). Мають невелику молекулярну масу, розчинні у воді. Містяться в ядрах клітин, де зв'язані з нуклеїновими кислотами. Поширені у тваринних і рослинних організмах.

Протаміни — мають різко виражені лужні властивості завдяки наявності до 85 % лужних амінокислот (аргініну, лізину). Мають невелику молекулярну масу. Добре розчиняються у воді, не осаджуються під час кип'ятіння. В організмі з'єднані з нуклеїновими кислотами. Містяться у молочках риб (клумін оселедця, сальмін сьомги).

Протеїноїди — нерозчинні у воді та у більшості інших розчинників, дуже повільно перетравлюються. Входять до складу тваринних тканин і виконують механічну та опірну функції. Є фібрилярними білками. До протеїноїдів належать:

— *кератин* волосся, рогів, нігтів. Містить значну кількість сульфурвмісних амінокислот, які утворюють міцні поперечні дисульфідні зв'язки. Це зумовлює значну його стійкість до дії різних факторів;

— *колаген* хрящів, сухожилля, зв'язок, шкіри. Практично не містить сульфурвмісних амінокислот. Під час тривалого кип'ятіння у воді гідролізує,

утворюючи желатину, яка, охолоджуючись, переходить у гель, що використовується у медицині та харчовій промисловості;

— *еластин* — з нього побудовано внутрішні оболонки судин — артерій і вен. Не містить сульфурвмісних та ароматичних амінокислот, під час кип'ятіння не утворює желатину;

— *фіброїн і серицин* — білки натурального шовку, які виділяються гусеницями тутового і дубового шовкопрядів, залозами павуків. До їх складу входять гліцин, аланін, серин, тирозин. Фіброїн добувають нагріванням коконів шовкопряду з розчином соди або мила.

Протеїди поділяються на групи залежно від природи небілкової частини.

Нуклеопротеїди — побудовані з білка та нуклеїнових кислот (ДНК і РНК). Молекула ДНК, молекули білків гістонів і негістонних білків утворюють основу хромосом, молекули РНК і лужних білків — основу рибосом. Відіграють значну роль у процесах збереження і передачі спадкової інформації. Молекулярна маса — від кількох десятків до мільйонів.

Уперше нуклеопротеїди було виділено понад 100 років тому Е. Мішером з молочка рейнського лосося.

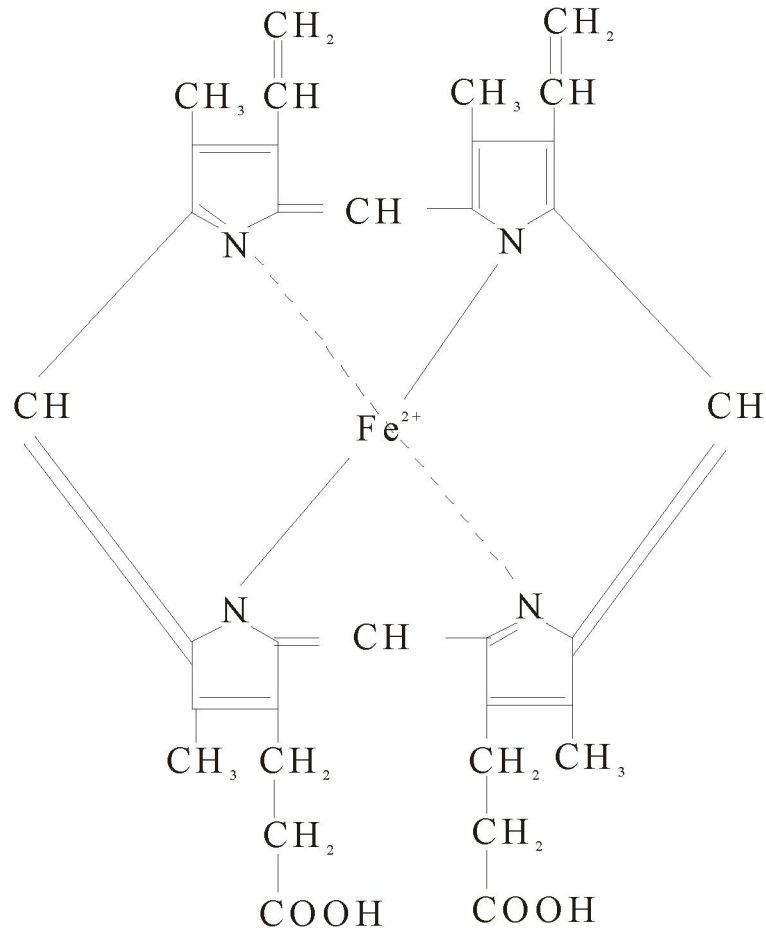
Хромопротеїди — побудовані з простого білка та забарвленого небілкового компонента. Беруть участь у диханні, фотосинтезі, транспорті кисню тощо.

Основні представники:

— *гемоглобін* — як білковий компонент містить глобін, небілковий — гем. Молекула гемоглобіну містить чотири поліпептидні ланцюги, кожен з яких пов'язаний із пігментом гемом. В основі структури гему лежить протопорфіринова група, комплексно зв'язана із залізом.

Транспортує кисень від легенів до тканин і вуглекислий газ — від тканин до легенів. Кожна молекула гемоглобіну може зв'язати чотири молекули кисню. Кисень приєднується до гему за допомогою координаційних зв'язків, причому валентність заліза не змінюється.

Гемоглобін має спорідненість до деяких газів вищу, ніж до кисню, тому легко може приєднувати чотири молекули CO — утворюється карбоксигемоглобін. Це явище спостерігається у разі вдихання людиною чадного газу. Гемоглобін втрачає можливість зв'язувати кисень і від недостатнього постачання тканин киснем настає смерть.



— *міоглобін* м'язів. За будовою схожий на гемоглобін, але містить лише одну молекулу гему. Приєднує кисень і забезпечує ним м'язи. У значній кількості міститься у м'язах тварин, які живуть у воді (черепахи, кити, тюлені), що створює запаси кисню і забезпечується нормальний перебіг процесів обміну за тривалого їх перебування під водою.

Металопротеїди — містять білок та іони якогось одного або кількох металів (ферум, купрум, кобальт, цинк тощо). Відмінність від хромопротеїдів — метал сполучається безпосередньо з білком, а не через порфіринове кільце як у хромопротеїдів. Ці білки часто виконують ферментативні функції в організмі (каталаза, пероксидаза тощо).

Представники металопротеїдів: феритин — водорозчинний білок, що міститься в печінці, кістковому мозку, виконує роль депо заліза в організмі; трансферин сироватки крові.

Фосфопротеїди — містять білок і залишки ортофосфатної кислоти, зв'язані складноефірним зв'язком. Представники — казеїн молока, вітелін яєчного жовтка.

Глікопротеїди — містять білок і вуглеводи або їх похідні. Представники — інтерферони (мають антивірусні та протипухлинні властивості, імунорегулювальну дію), муцин (компонент слини, соку шлунку; виконує захисну функцію, послаблюючи механічне та хімічне подразнення органів травлення, захищаючи слизові оболонки травного каналу від дії протеолітичних ферментів).

Ліпопротеїди — побудовані з білків і ліпідів чи їх похідних. Ліпопротеїди є компонентами мембран, наявні у вільному стані в плазмі крові.

Утворення комплексів білків з ліпідами сприяє розчинності та стабілізації ліпідів і забезпечує їх транспорт до різних органів і тканин організму. Причому ліпіди у комплексі з білками набувають нових властивостей (розчиняються у воді, втрачають здатність розчинятись в органічних розчинниках).

Усі ліпопротеїди поділяються на кілька груп:

— ліпопротеїди **високої густини** (1,063...1,210), або α -ліпопротеїди. Вони становлять близько 3 % білків плазми. Містять 58 % α -глобуліну та 42 % ліпідного компонента. У ліпідній частині переважають фосфоліпіди (30 %) та холестерин (18 %). Молекулярна маса — близько 200 000;

— ліпопротеїди **низької густини** (1,006...1,063), або β -ліпопротеїди. Вони становлять близько 5 % білків плазми. Містять 25 % β -глобуліну та 75 % ліпідного компонента. У ліпідній частині переважають холестерин та його ефіри (45 %), фосфоліпіди (25 %). Високий вміст холестерину та оптимальний розмір молекул (15...25 нм) зумовлюють провідну роль β -ліпопротеїдів у разі виникнення атеросклерозу. Молекулярна маса — близько 300 000;

— ліпопротеїди **дуже низької густини** (0,950...1,006), містять 9 % білків і 91 % ліпідів (триацилгліцеридів);

— **хіломікрони** (густина менш як 0,950) містять 1 % білка та 99 % ліпідів. Ліпідна частина хіломікронів представлена 80 % триацилгліцеридів, 7 % фосфоліпідів, 8 % холестерину та його ефірів. Хіломікрони є важливою транспортною формою ліпідів в організмі.

Важливе значення для нормального функціонування організму має співвідношення між α - та β -ліпопротеїдами. За нормальних фізіологічних умов вміст α -ліпопротеїдів становить 2,6, а β -ліпопротеїдів — 3,6 г/л. Підвищений вміст β -ліпопротеїдів спостерігається під час серцево-судинних захворювань (гіпертонія, атеросклероз). Вміст α -ліпопротеїдів знижується від час цирозу печінки.

3.5. Властивості білків

Білки мають велику молекулярну масу — від 6 000 (інсулін) до кількох мільйонів (40 000 000 — вірус тютюнової мозаїки).

Більшість білків набухають і розчиняються у воді, утворюючи колоїдні розчини. Світло, пропущене через колоїдний розчин білка, розсіюється (ефект Тіндала).

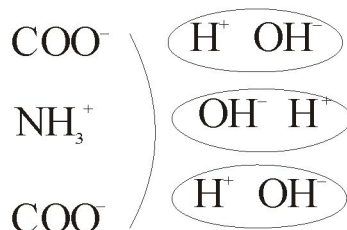
Молекули білка не здатні проходити через напівпроникні штучні мембрани (целофан, пергамент), а також біомембрани рослинних і тваринних тканин. Тобто білки не здатні до *діалізу*. Під час хвороб нирок капсули ниркових клубочків стають проникними для білків сироватки крові, тому вони з'являються в сечі.

Білки, як і амінокислоти, виявляють *амфотерні властивості* завдяки наявності вільних аміно- та карбоксильних груп і характеризуються властивостями кислот і лугів.

Залежно від реакції середовища та співвідношення кислих та основних амінокислот білки у розчині мають позитивний або негативний заряд, завдяки чому рухаються в електричному полі.

Розчинність білків у воді зумовлюється двома *факторами стабілізації*: наявністю заряду та гідратної оболонки.

Гідратна (водна) оболонка виникає навколо молекули білка завдяки наявності у її складі гідрофільних груп (карбоксильних, аміно, гідроксильних тощо), які притягують до себе дипольні молекули води. Найбільшу гідрофільність має карбоксильна група, яка зв'язує чотири молекули води, амінна група — лише одну.



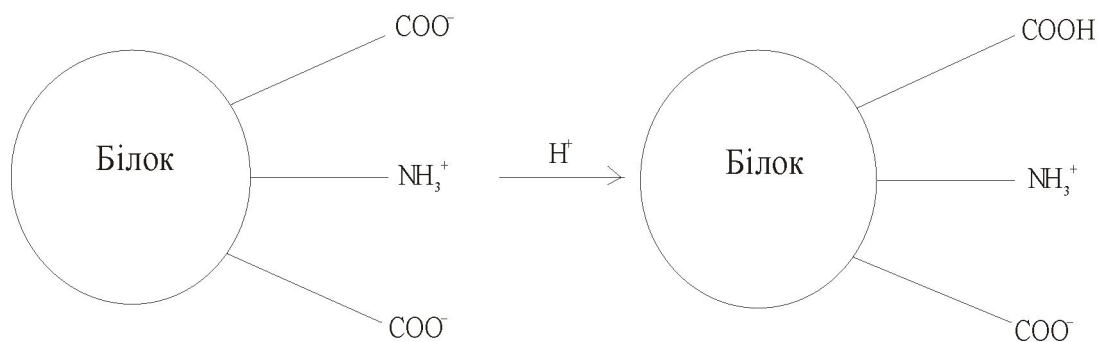
Величина і знак заряду молекули білка залежать від кількості вільних іонізованих карбоксильних та аміногруп амінокислот, які входять до його складу. Переважання тих чи інших груп визначає сумарний заряд молекули. Іонізація карбоксильних груп глютамінової та аспарагінової кислот надають білковій молекулі негативного заряду, а іонізація аміногруп лізину та аргініну — позитивного. Більшість білків має негативний заряд, тобто є кислими білками.

Молекули білка з однаковими зарядами в розчині відштовхуються одна від одної, що перешкоджає їх злипанню та випаданню в осад.

Зі зниженням значення рН (кисле середовище) пригнічується дисоціація карбоксильних груп і молекула білка набуває сумарного позитивного заряду. З підвищенням значення рН (лужне середовище) пригнічується іонізація аміногруп і білок набуває негативного заряду.

За певного значення рН кількість позитивно та негативно заряджених груп у складі молекули білка урівноважується, молекула стає електронейтральною. Таке значення рН називається *ізоелектричною точкою*. Електростатичні сили між часточками відсутні, білкові молекули при цьому не відштовхуються, злипаються і випадають в осад, що визначається візуально за помутнінням розчину.

Кожен білок має своє значення ізоелектричної точки. Так, для пепсину вона становить менш як 1, альбуміну яйця — 4,6, зеїну кукурудзи — 6,2, цитохрому *c* — 10,6.



Для осадження білка слід ліквідувати заряд і водну оболонку.

Для ліквідації заряду змінюють рН середовища з метою досягнення ізоелектричної точки.

Ліквідація заряду не завжди є достатньою умовою для повного переведення білка в осад, цьому може перешкоджати гідратна оболонка. Для її зняття слід додати гідрофільні речовини (ацетон, етанол, амоній сульфат, натрій хлорид). Осадження білків концентрованими розчинами нейтральних солей називається *висолюванням*.

Денатурація — порушення структури нативної молекули білка, що зумовлює втрату його біологічної активності. Повністю руйнуються четвертинна, третинна та частково вторинна структури. Руйнуються усі види зв'язків, крім пептидних, які є кістяком поліпептидного ланцюга.

Спочатку розпушується молекула білка, розриваються внутрішньомолекулярні зв'язки, ланцюг розкручується, утворюється нитка, яка потім безладно знову скручується, білок переходить у хаотичний стан.

Зовнішній прояв денатурації: втрата розчинності, підвищення в'язкості, зміна характеру розсіювання променів.

Денатурацію спричиняють нагрівання або дія різних типів випромінювання, сильні кислоти, луги чи концентровані розчини солей, важкі метали, що утворюють малорозчинні солі з білками, органічні розчинники.

Денатурація не завжди є необоротним процесом — за недовготривалої дії денатуруючого агента білок можна повернути у попередній нативний стан. Цей процес називається *ренатурацією*.

Для визначення біологічної цінності харчових продуктів застосовують метод амінокислотного скору. Він ґрунтується на порівнянні амінокислотного складу білка певного продукту із амінокислотним складом стандартного (ідеального) білка за формулою

$$AC = (C_{\text{дослід}} / C_{\text{станд}})100,$$

де $C_{\text{дослід}}$, $C_{\text{станд}}$ — вміст амінокислоти відповідно в досліджуваному і стандартному білку, мг/г.

Одночасно із визначенням амінокислотного скору виявляють лімітуючу для даного білка незамінну амінокислоту, тобто ту, для якої скор найменший. Приклад визначення амінокислотного скору білків коров'ячого молока та рису наведено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Амінокислотний склад і хімічний скор деяких білків

Амінокислоти	Амінокислотний зразок ФАО/ВООЗ		Білок коров'ячого молока		Білок рису	
	A*	AC**	A*	AC**	A*	AC**
Ізолейцин	40	100	47	117,5	44	110
Лейцин	70	100	95	136	86	123
Лізін	55	100	78	142	38	69
Метіонін+цистеїн	35	100	33	94	38	108
Фенілаланін+тирозин	60	100	102	170	86	143
Треонін	40	100	44	110	35	87
Триптофан	10	100	14	140	14	140
Валін	50	100	64	128	61	122

A* — вміст амінокислоти у білку, мг/г;

AC** — амінокислотний скор відносно зразка, %.

Очевидно, що білок коров'ячого молока лімітований за сульфурвмісними амінокислотами (метіонін+цистеїн), а білок рису — за лізином.

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягає біологічна роль білків?
2. Класифікація амінокислот.
3. Охарактеризуйте основні властивості амінокислот.
4. Охарактеризуйте структури білків.
5. Класифікація білків.
6. Назвіть основні властивості білків.