

О.П. Чигвінцева, А.В. Шокар

ХАРЧОВА ХІМІЯ

Навчальний посібник

*Дніпропетровськ,
«Принтхаус Рімм»,
2014*

УДК 664
ББК 36-1

Ч 58

Рекомендовано до друку науково-методичною радою Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету (протокол № 10 від 14.05.2014 р.

Рецензенти:

Ю.О. Чурсінов, доктор технічних наук, професор
(Дніпропетровський державний
аграрно-економічний університет)

М.В. Луценко, кандидат технічних наук, доцент,
(«Дніпропетровський національний університет ім. О.Гончара»)

Чигвінцева О.П., Токар А.В.

Ч 58 Харчова хімія: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ:
ТОВ «Принтхаус Римм», 2014. – 256 с.
ISBN 978-966-974-20-5-6

Книга є навчальним посібником для студентів технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації і призначена для систематичного вивчення курсу харчової хімії.

У посібнику викладено теоретичні основи харчової хімії – біологічні функції, харчова цінність та основні перетворення, які відбуваються під час виробництва та зберігання харчових продуктів, білкових речовин, ферментів, жирів, вуглеводів, вітамінів та мінеральних речовин. Особлива увага приділена харчовим добавкам, що забруднюють харчову сировину та продукти. Відповідає типовій програмі з харчової хімії і містить матеріал, необхідний для підготовки фахівців напрямку "Харчові технології та інженерія".

УДК 664

ББК 36-1

ISBN 978-966-974-20-5-6

© Чигвінцева О. П., Токар А. В., 2014

ВСТУП

Предмет і завдання дисципліни

Проблема їжі завжди була однією із найважливіших проблем, що стоять перед людським суспільством.

Життя на нашій планеті влаштоване таким чином, що для його продовження необхідно надходження поживних речовин із навколишнього середовища. Усі живі організми можуть існувати до тих пір, поки здійснюється прогрес обміну речовин із навколишнім середовищем. При цьому із середовища в організм потрапляють поживні речовини, а з організму в навколишнє середовище надходять продукти життєдіяльності. Живий організм – це відкрита система, що має вхід і вихід. Як тільки припиниться обмін речовинами між організмом і середовищем, організм гине. Без повітря людина може прожити приблизно 3 хвилини; без води – 3 дні, без їжі – трохи більше 30 діб. Маса їжі, яку людина споживає за рік, перевищує її власну масу у 6-7 разів. Харчування – фізіологічна потреба людини. Сократові належить відомий афоризм: *«Ми живемо не для того, щоб їсти, а їмо для того, щоб жити»*.

Їжа є вихідним матеріалом для побудови і відновлення людського організму, джерелом для життя і роботи. Про те, що правильне харчування дуже важливе для організму, знали ще лікарі стародавності: Гіппократ, Гален та ін.

Харчування є одним з найважливіших факторів зв'язку людини із зовнішнім середовищем. Втручання у навколишнє середовище зумовлює забрудненість харчової сировини і продуктів харчування токсичними речовинами. Отруйні і шкідливі речовини, потрапивши в екосистему, не зникають безслідно. Навіть низькі їх концентрації, діючи тривалий час, можуть нашкодити людині і тваринам, оскільки здатні передаватися за харчовими ланцюгами і мережами. Крім того, в окремих ланках ланцюга може

відбуватися накопичення отрут, якщо вони не розкладаються і не виводяться з організму.

Серед основних проблем, що постають перед людським суспільством, найважливішим є забезпечення населення продуктами харчування. Інгредієнти харчових речовин, потрапляючи в організм людини з їжею і перетворюючись в процесі метаболізму в результаті складних біохімічних перетворень у структурні елементи клітин, забезпечують наш організм пластичним матеріалом і енергією, створюють необхідну фізіологічну і розумову працездатність, визначають здоров'я, активність і термін життя людини, її здатність до відтворення. Організація здорового харчування населення вимагає вдосконалення технології отримання традиційних продуктів і створення нового покоління харчових продуктів, що відповідають можливостям і реаліям сьогодення. Це продукти зі збалансованим складом, низькою калорійністю, зі знизеним вмістом цукру і жиру та підвищеним – корисних для здоров'я інгредієнтів, функціонального і лікувального призначення, зі збільшеним терміном зберігання, продукти швидкого приготування і, звичайно, абсолютно безпечні для людини. Значне місце у реалізації цих питань належить харчовій хімії.

Харчова хімія – це наука про хімічний склад харчових систем (сировина, напівпродукти, готові харчові продукти), його зміни в процесі технологічного потоку під впливом різноманітних факторів (фізичних, хімічних, біохімічних тощо), про загальні закономірності цих змін. Вона містить у собі вивчення взаємозв'язку структури і властивостей харчових речовин і їх вплив на властивості і харчову цінність продуктів харчування. Ця дисципліна розглядає основні компоненти харчів, їх роль в організмі людини і перетворення у технологічних процесах переробки сировини у готовий продукт. Вона знайомить із теоріями харчування та принципами раціонального харчування, що включає вивчення біохімії травлення в організмі людини. Харчова хімія також приділяє багато уваги методам виділення та

очистки харчових речовин та їх каталітичній модифікації. Невід'ємною частиною харчової хімії є розділи, присвячені харчовим та біологічно активним добавкам, які забруднюють харчову сировину і продукти.

Харчова хімія ґрунтується на досягненнях фундаментальних дисциплін, науки про харчування і тісним чином взаємодіє з біотехнологією та мікробіологією.

До основних напрямків розвитку дисципліни “Харчова хімія” належать наступні:

1. Хімічний склад сировини і харчових систем. Повноцінність та безпечність. Він займається вивченням хімічного складу харчових систем (сировина, напівпродукти, готові продукти), їх повноцінності і екологічній безпеці. Поряд із вивченням вмісту основних макро- і мікронутрієнтів, останнім часом все більша увага надається харчовим речовинам, які організм людини не здатний синтезувати (так звані незамінні чинники живлення): незамінним амінокислотам, поліненасиченим жирним кислотам, вітамінам, харчовим волокнам, а також вмісту шкідливих речовин (важкі метали, пестициди, антибіотики та ін.), а також джерелам радіаційного зараження сировини і готових продуктів;

2. Загальна концепція перетворення макро- і мікронутрієнтів, неаліментарних речовин у технологічному потоці. Цей напрямок присв'ячений перетворенням макро- і мікронутрієнтів, харчових і біологічно активних добавок, а також сторонніх речовин, у технологічному потоці, що забезпечує перетворення сировини у готовий продукт. Особливу увагу харчова хімія надає розробці загальної концепції перетворень аліментарних і неаліментарних речовин у технологічному потоці. Вона вивчає вплив особливостей будови компонентів на їх взаємодію між собою, характер виникаючих зв'язків, механізми утворення стійких сполук і комплексів. Вплив на ці перетворення основних технологічних чинників і уміння

керувати цими процесами – один з найважливіших напрямів сучасної харчової хімії;

3. Теоретичні основи виділення, фракціонування компонентів сировини і харчових систем та їх модифікація. Ці прийоми широко використовуються у харчовій технології. Не дивлячись на велике значення цих процесів, на практиці їм не завжди надається належна увага, особливо сучасним методам комплексного виділення основних компонентів із харчової сировини, отримання вторинних продуктів, модифікації виділених компонентів;

4. Наукові основи технології отримання і застосування харчових добавок та БАДів. Одночасно з пошуком і розробкою технології отримання цих речовин повинні проводитися глибокі медичні дослідження з їх безпеки, вивчення технології їх введення у продукти харчування, яке повинне узгоджуватися з вимогами медицини.

5. Методи аналізу та дослідження харчових систем, їх компонентів та добавок. Це один з найбільш важливих розділів харчової хімії, що тісно взаємодіє з іншими галузями знань (аналітичною хімією, фізичною і колоїдною хімією та ін.) і забезпечує безпеку продуктів харчування. Безпека є першою умовою під час виробництва будь-якої харчової продукції: їжа повинна бути вільною від будь-яких шкідливих хімічних або мікробних забруднень у момент її споживання. Ця проблема актуальна не лише для фахівців харчової галузі, але й, насамперед, для споживачів.

Харчова хімія – дисципліна, значення якої з кожним роком все більше зростає. Знання основ харчової хімії надає можливість технологам вирішити одне з найважливіших питань сучасності – забезпечення населення планети якісними продуктами харчування. У зв'язку з цим аж ніяк не втратила своєї актуальності думка І.П. Павлова, сформульована ним у 1904 р. при врученні йому Нобелівської премії: "...над всіма явищами людського життя панує турбота про насущний хліб".

Харчування людини як складний фізіолого-біохімічний процес

Харчування – це складний процес надходження, травлення, всмоктування, асиміляції у організмі харчових речовин, необхідних для покриття його енергетичних витрат, побудови нових і відновлення загиблих клітин і тканин тіла, а також для регуляції процесів, що протікають у живому організмі.

У процесі живлення фактори зовнішнього середовища (продукти харчування), вступають в контакт з травними органами, цілеспрямовано змінюються під дією травних ферментів, що надходять в лімфу і кров, перетворюються на фактори внутрішнього середовища організму, його клітин і тканин, тобто засвоюються. Цей процес називається ***асиміляцією***. Одночасно зі створенням клітин і тканин в організмі постійно відбувається часткове їх руйнування. Процес розпаду речовин, що входять до складу клітин і тканин, називається ***дисиміляцією*** і відбувається з виділенням енергії, яка витрачається на усі види роботи органів. Обидва процеси перебувають у тісній взаємодії, їх сукупність називається ***обміном речовин***.

У дорослому організмі при постійних життєвих умовах, процеси асиміляції і дисиміляції перебувають у стані динамічної рівноваги. Якщо за будь-якими причинами, протягом тривалого часу порушується рівновага між надходженням речовин, синтезом і виділенням речовин із організму, тобто якщо порушується обмін речовин, виникають такі захворювання, як атеросклероз, надмірна повнота, передчасне старіння. Продукти, що вживаються людиною у їжу в натуральному чи переробленому вигляді (харчові продукти), являють собою складні системи з єдиною внутрішньою структурою і загальними фізико-хімічними властивостями.

РОЗДІЛ 1. ВОДА У СИРОВИНІ ТА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ

1.1. Значення води для людського організму

Вода не виконує роль живильної речовини, але є життєво необхідною для людини. Вода як розчинник органічних і мінеральних речовин є головним компонентом людського тіла і становить за масою 60% у зрілому і 67-70% – у ранньому віці.

Важлива роль води в біологічних системах обумовлена здатністю її молекул утворювати множинні водневі зв'язки. Вони і пояснюють особливі фізичні та хімічні властивості води, такі як точки кипіння і замерзання, висока діелектрична проникність, універсальність води як розчинника, здатність утворювати іони H^+ і OH^- та брати участь в якості структурного елементу макромолекул.

У живих системах (у тому числі в тілі людини) вода є основним компонентом внутрішнього середовища, бере участь у процесах транспорту та утворення структур і виконує функцію ізолятора. Лише невелика частина води, наявної в тілі, знаходиться в істинно мобільному стані, характерному для неживої природи. Основна частина води є компонентами структур, причому не тільки клітинних, але і позаклітинних. Вода знаходиться в організмі між двома основними просторами: внутрішньоклітинним (внутрішньоклітинна рідина) і позаклітинним (позаклітинна рідина – плазма, лімфа). Вода вільно дифундує між цими просторами, тоді як рух розчинених у ній речовин суворо регламентується. Вода виконує в організмі такі функції:

- розчиняє речовини, що надходять в організм, і допомагає проходженню хімічних реакцій;
- усі реакції гідролізу складних органічних речовин в організмі протікають з обов'язковою участю води;
- вимиває відходи з клітин;

- слугує мастильним матеріалом у суглобах та інших місцях, де стикаються при роботі різні органи;
 - оберігає організм від перегріву і охолодження, рівномірно розподіляючи тепло, що надходить;
 - входить до складу всіх органів і тканин нашого організму.
- У різних тканинах тіла вміст води є неоднаковим.

Вона входить до складу кісток і зубів – 10-20%, в серці та легенях води понад 79%, в лімфі – близько 96%.

Втрата організмом 10% води (від загальної її кількості) викликає припинення сечовиділення, а при втраті 20% води людина гине. Добова потреба людини у воді близька до 40 г на кожен кілограм маси її тіла, що для дорослої людини становить близько 2,5 л. Добовий кругообіг води в тілі людини представлений нижче.

Надходження води, мл/добу:

питво	1300
їжа	850
метаболічна вода	350
<hr/>	
Разом	2500

Вихід води, мл/добу:

сеча	1500
видихається з повітрям	400
піт	500
фекалії	100
<hr/>	
Разом	2500

Вміст води у організмі визначається рівновагою між її надходженням і виходом. Основна частина води надходить з питвом та харчами. Вода, що утворюється в метаболічних процесах окиснення вуглеводів, жирів і білків, становить лише невелику частину. Так, при окисненні 100 г вуглеводів

утворюється 55 мл води, 100 г жиру – 107 мл води, 100 г білка – 41 мл води.

При нестачі води в організмі відбувається деяке згущення крові, що негативно позначається на постачанні організму кисню та харчових речовин, ускладнюється робота нирок, погіршується робота мозку (він містить 80% води). При надлишку води в організмі посилюється робота нирок, з великим навантаженням працює серце, тому що збільшується об'єм крові.

З водою можуть вноситися у організм людини і харчові продукти, різні мінеральні речовини.

Вміст у воді мінеральних речовин:

Кальцій	- 4,5 мг %;
Магній	- 1 мг %;
Сульфур	- 1 мг %;
Хлор	- 1,4 мг %;
Залізо	- 1,2 мкг %;
Манган	- 1,6 мкг %;
Купрум	- 0,6 мкг %.

1.2. Значення води для харчових продуктів

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

До складу усіх харчових продуктів входить вода. До складу фруктів і овочів вона входить у кількості до 90%, у хлібних виробах – 35-50%, у круп'яних виробах – 12-15%.

Показник вологості харчових продуктів є показником їх калорійності. Чим більша вологість продукту, тим нижча його калорійність.

Вода підтримує хімічні реакції, вона є прямим учасником у гідролітичних реакціях. Тому видалення вологи із харчових продуктів або зв'язування її збільшенням вмісту солі або цукру, уповільнює біохімічні реакції та інгібує ріст мікроорганізмів. Таким чином, збільшується тривалість зберігання багатьох харчових продуктів.

Завдяки тому, що багато видів харчових продуктів містять значну кількість вологи, потрібні ефективні способи для їх тривалого зберігання. Видалення вологи істотно змінює біологічні речовини і природні властивості продукту. Вміст вологи у харчових продуктах знаходиться в широких межах.

1.3. Вільна та зв'язана вода

Вода в харчових продуктах має важливе значення з точки зору її зв'язку із продуктом.

Загальна вологість продукту вказує на кількість вологи у продуктах, але не характеризує її причетність до хімічних та біологічних змін. З точки зору стійкості продукту при зберіганні важливе значення має співвідношення вільної і зв'язаної вологи.

Вільна волога – це волога, не пов'язана з полімерами і доступна для протікання хімічних, біохімічних і мікробіологічних реакцій.

Зв'язана волога – це волога, міцно пов'язана з різними компонентами (білками, ліпідами, вуглеводами) за рахунок хімічних і фізичних зв'язків. Можна дати більш точне визначення зв'язаної вологи. Зв'язана волога – це волога, яка існує поблизу розчиненої речовини та інших неводних компонентів, має зменшену молекулярну рухливість і не замерзає при -40°C . Певна частка міцно зв'язаної вологи не замерзає навіть при -60°C .

Кількість і міцність зв'язування води з іншими компонентами залежить від деяких факторів: природи неводного компоненту, складу солі, рН, температури.

Наприклад: вологість зерна складає 15-20%. При цьому 10-15% – це зв’язана вода. Якщо вологість більша, тоді з’являється вільна волога, і буде спостерігатися посилення біохімічних процесів (наприклад, при пророщуванні зерна). Плоди і овочі мають вологість 75-95%. В основному, це вільна волога і тільки приблизно 5% утримується клітинними колоїдами у зв’язаному стані. Це дуже міцно зв’язана волога, тому овочі і плоди легко висушувати до вмісту вологи 10-12%, а для висушування до більш низької вологості потрібні спеціальні методи сушіння.

1.4. Фізичні та термодинамічні характеристики води

Чиста вода за звичайних умов – це безбарвна, прозора рідина без запаху та смаку. У товстих шарах має блакитний колір. При температурі +4°C вода має густину 1 г/см³, тобто 1 мл води важить 1 г. При вищих та нижчих температурах густина води менше цієї величини. Температура замерзання води 0°C і температура кипіння 100°C стали відправними точками температурної шкали за Цельсієм.

Деякі фізико-хімічні властивості води наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Фізико-хімічні властивості води

Питома електропровідність при 18°C	4,3·10 ⁻⁸ Ом ⁻¹ · см ⁻¹
Температура замерзання при 760 мм рт. ст.	0,00°C
Температура кипіння	100,00°C
Діелектрична проникність:	
– при 0°C	88,3
– при 18°C	81,0
Теплопровідність	0,00143 кал · см ⁻¹ · с ⁻¹ · град ⁻¹

Теплопровідність води дуже незначна у порівнянні з теплопровідністю інших речовин: наприклад, теплопровідність пробки дорівнює 0,1, азбесту – 0,3-0,6; бетону – 2-3; дерева – 0,3-1,0; цегли – 1,5-2,0 кал·см⁻¹·с⁻¹·град⁻¹.

Мала теплопровідність води і велика теплоємність обумовлюють її використання як теплоносія.

Хімічно чиста вода має деякі властивості, що різко відрізняють її від інших природних речовин. Ці особливі властивості відомі під назвою **аномалій води**. Попри те, що вода – речовина, прийнята як еталон міри густини, об'єму і т.д. для інших речовин, сама вона є найбільш аномальною серед них. Досить сказати, що вода за своєю природою є і кислотою, і лугом, і гарним розчинником для багатьох речовин. Вона має унікальну особливість, що виражається у залежності густини від температури. Якби було інакше, тобто її густина при $+4^{\circ}\text{C}$ не була максимальною, то, напевно, не було б і життя на Землі. І навпаки: при затвердінні, коли усі речовини в основному збільшують свою густину, вода її зменшує, і за рахунок цього лід плаває і зберігає усе живе, що знаходиться у воді. До основних аномальних властивостей води відносяться: густина, температури кипіння і замерзання, теплоємність води, високі діелектрична проникність і поверхневий натяг.

1. Густина. Вода – єдина рідина, тверда фаза якої має меншу густину, ніж її рідка фаза: лід плаває на поверхні води, у той же час для усіх інших речовин густина твердої фази більша за густину рідкої.

Зміна густини води при зміні температури (рис. 1.1) показує, що при температурі $+4^{\circ}\text{C}$ вона найвища – 1 г/см^3 . Вище та нижче цієї температури вона менша за одиницю, що є аномальним явищем.

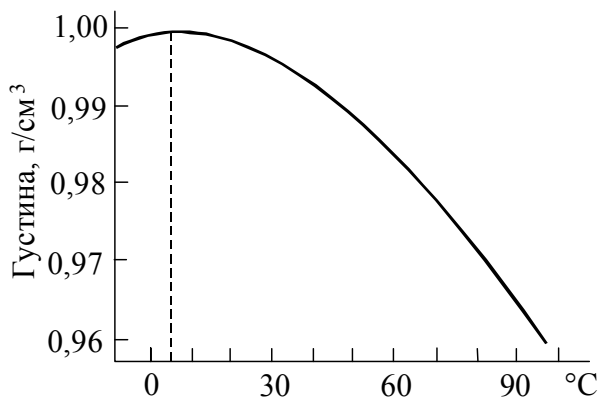


Рис. 1.1. Зміна густини води в залежності від температури

Лід плаває на поверхні води. Це пояснюється тим, що при температурі $+4^{\circ}\text{C}$, вода знаходиться у вигляді подвійних молекул $(\text{H}_2\text{O})_2$, сполучених водневими зв'язками і відсутність порожніх місць між ними дає найбільшу густину. При вищих та нижчих температурах існують інші структури, не такі щільні, і густина води зменшується.

2. Температури кипіння і замерзання. Якщо узяти ряд водневих сполук елементів VIA групи періодичної системи Д.І. Менделєєва (H_2O , H_2S , H_2Se , H_2Te), то виявляється, що у води спостерігається відхилення від закономірностей у зміні температури плавлення і кипіння цих сполук залежно від їх молярних мас (рис. 1.2). Як найлегший гідрид VIA групи, вода повинна була б мати температуру замерзання -90°C та температуру кипіння -70°C . На практиці температура замерзання води вища на 90°C , а температура кипіння – на 170°C . Причиною аномально високих температур плавлення і кипіння води є асоціація молекул внаслідок утворення водневого зв'язку, що вимагає додаткової енергії на відрив молекул одна від одної.

Температура замерзання води зі збільшенням тиску знижується, а не підвищується, як це слід було б очікувати. Вода при замерзанні розширюється, а не стискається, як усі інші тіла, густина її зменшується.

3. Теплоємність води. Теплоємність води у 5-30 разів вища, ніж у інших речовин (тільки у водню і амоніаку теплоємність вища, ніж у води).

В усіх тіл, окрім води і ртуті, при підвищенні температури питома теплоємність підвищується. У води в інтервалі від 0 до 35°C вона знижується, а потім підвищується. Висока теплоємність води свідчить про те, що у порівнянні з іншими речовинами вода здатна брати значно більше тепла, істотно не нагріваючись. Це пояснюється тим, що при нагріванні частина теплоти витрачається на розрив водневих зв'язків. Здатність води накопичувати великі запаси теплової енергії дозволяє згладжувати різкі температурні коливання на прибережних ділянках у різні пори року і в різну пору доби: вода є регулятором температури на нашій планеті.

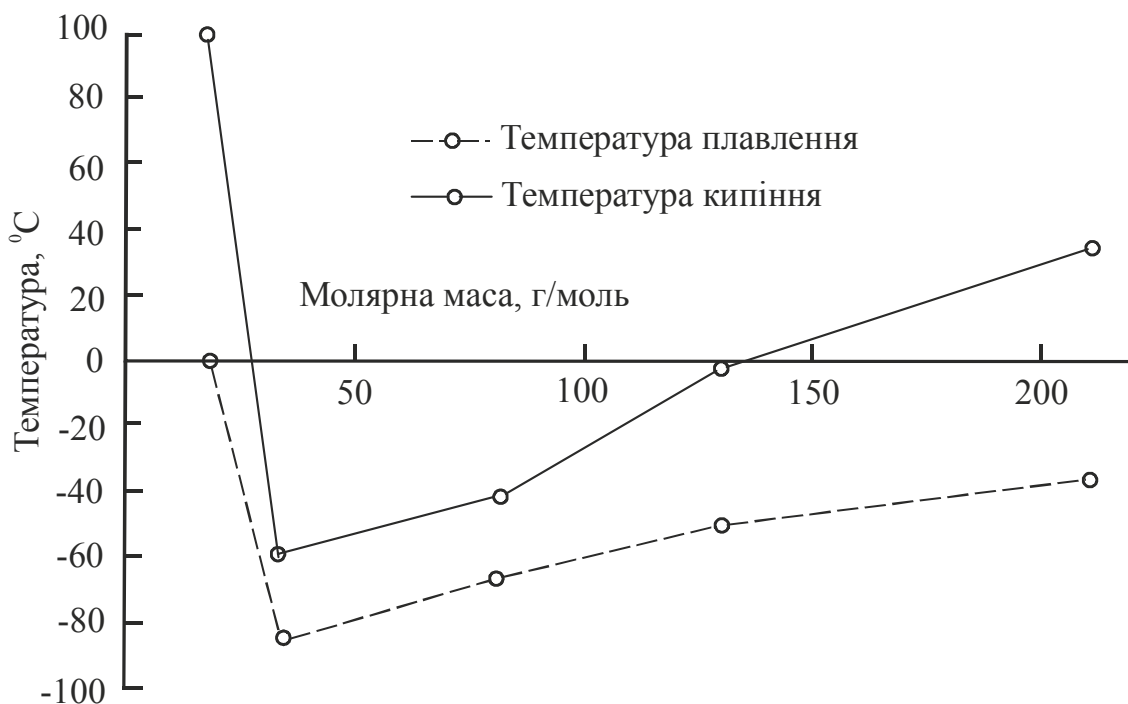


Рис. 1.2. Залежність температур плавлення та кипіння гідридів VIА групи елементів

4. Висока діелектрична проникність. У води усіх видів достатньо висока діелектрична проникність – при 25°C вона складає 78,5 (у $H_2S < 10$). Це означає, що два електричні заряди притягуються або відштовхуються приблизно у 80 разів слабкіше, ніж у вакуумі. Це пояснюється тим, що полярні молекули води прагнуть нейтралізувати електричне поле, і під впливом диполів води на поверхні занурених в неї речовин міжатомні або міжмолекулярні сили слабшають. Внаслідок високої діелектричної сталої вода має в порівнянні з іншими рідинами більшу розчинювальну здатність та схильність до дисоціації.

5. Високий поверхневий натяг. Поверхнєве натягнення чисельно дорівнює роботі, що витрачається на ізотермічне і оборотне утворення одиниці нової поверхні розділу фаз і дорівнює зміні енергії Гіббса у відповідному процесі. Для більшості чистих рідин на межі з повітрям, насиченим їх парами, поверхневий натяг змінюється у межах $(1-5) \cdot 10^{-2}$ Дж/м², а для води при 20°C – $7,275 \cdot 10^{-2}$ Дж/м². Тобто, вода має найбільший поверхневий натяг із усіх рідин (окрім ртуті). Це також обумовлено асоціативністю води внаслідок утворення водневого зв'язку між молекулами.

Висока діелектрична проникність та схильність до утворення водневих зв'язків пояснюють здатність води бути універсальним розчинником. Вода розчиняє різноманітні за хімічною природою речовини з утворенням водних розчинів. Саме у водних розчинах розвинулися перші живі організми, що зберігають на вищій стадії свого розвитку водний розчин у вигляді плазми крові, міжклітинної рідини і т.д. Макромолекулярна структура води з великою кількістю порожнин, а також будова молекули, що є диполем, дозволяє приєднувати молекули і частини молекул інших речовин, тим самим сприяючи їх розчиненню. Серед властивостей, що пояснюють високу розчинювальну здатність води, провідне місце займають яскраво виражені електронодонорні і електроноакцепторні властивості молекул води. Цікаво, що вода, допомагаючи речовинам, що контактують з нею, розпадатися на іони, сама проявляє велику стійкість. Вода хімічно не змінюється під впливом більшості тих сполук, які вона розчиняє, тобто є інертним розчинником. Це важливо для усіх живих організмів на нашій планеті, оскільки необхідні їм тканинам поживні речовини надходять у водних розчинах у майже незмінному вигляді. Про велику стійкість води свідчать досить високі негативні значення ΔG утворення рідкої і пароподібної води ($\Delta G^{\circ}_{\text{утв.}}$):

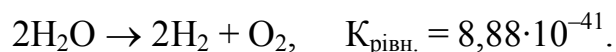
$$\Delta G^{\circ}_{\text{утв.}} (\text{H}_2\text{O}(\text{р})) = -237,57 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G^{\circ}_{\text{утв.}} (\text{H}_2\text{O}(\text{г})) = -228,94 \text{ кДж/моль}.$$

У чистому вигляді вода містить дуже мало іонів. Тому вода – поганий провідник струму, тобто відноситься до слабких електролітів:



Молекули води мають дуже велику термічну стійкість. Розклад води на водень і кисень розпочинається лише при температурі вище 1000°C :



При 2000°C міра термічної дисоціації складає лише 1,8%. Лише при 5000°C водяна пара із вибухом повністю розкладається на прості речовини – водень та кисень.

1.5. Активність води та стабільність харчових продуктів

Відомо, що існує взаємозв'язок, хоча далеко і не досконалий, між вмістом вологи у харчових продуктах і тривалістю їх зберігання (або псування). Тому здавна були відомі методи для збільшення термінів зберігання харчових продуктів, засновані на зменшенні утримання вологи шляхом концентрування або дегідрування.

Однак, часто різні харчові продукти із одним і тим же вмістом вологи псуються по-різному. Щоб врахувати це, був введений показник **активності води**. Цей показник добре коригує зі швидкістю багатьох руйнівних реакцій, його можна виміряти і використовувати.

Активність води (a_w) – це відношення тиску парів води над даним продуктом до тиску парів над чистою водою при тій же температурі:

$$a_w = \frac{P_w}{P_o} = \frac{P_{BB}}{100}, \quad (1.1)$$

де P_w – тиск водяної пари в системі харчового продукту; P_o – тиск пари чистої води; P_{BB} – відносна вологість у стані рівноваги, при якій продукт не вбирає і не втрачає вологу.

Активність води характеризує стан води в харчових продуктах, її причетність до хімічних і біологічних змін.

За величиною a_w розрізняють:

- продукти з високою вологістю, $a_w = 0,9-1,0$;
- продукти з проміжною вологістю, $a_w = 0,6-0,9$;
- продукти з низькою вологістю, $a_w = 0,0-0,6$.

У табл. 1.2 наведені мінімальні значення активності вологи у харчових продуктах, за яких починається активний розвиток мікроорганізмів. Таким чином, псування харчових продуктів відбувається при досягненні у продукті відповідних значень відносної вологості та активності води.

Таблиця 1.2. Активність води у харчових продуктах

Продукт	Вологість, %	a_w
<i>Висока вологість</i>		
Фрукти	90-95	0,97
Яйця	70-80	0,97
М'ясо	60-70	0,97
Сир	40	0,96
Хліб	40-50	0,95
<i>Проміжна вологість</i>		
Джем	30-35	0,82-0,94
Кекс	20-28	0,83
Мука	16-19	0,80
Мед	10-15	0,75
<i>Низька вологість</i>		
Карамель	7-8	0,65
Печиво	6-9	0,60
Шоколад	5-7	0,40
Цукор	0-0,15	0,10

Стабільність харчових продуктів і активність води тісно пов'язані між собою. Взаємозв'язок між активністю води і стабільністю харчових продуктів виявляється в наступному:

1. У продуктах з низькою вологістю може відбуватися окиснення жирів, неферментативне потемніння, втрата водорозчинних речовин (вітамінів), псування, викликане ферментами. Активність мікроорганізмів тут пригнічена.

2. У продуктах з проміжною вологістю можуть протікати різні процеси, в тому числі за участю мікроорганізмів.

3. У продуктах з високою вологістю мікроорганізмам належить вирішальна роль.

Таким чином, при зберіганні харчових продуктів можуть відбуватися такі зміни:

1. Максимальне потемніння продукту за рахунок реакції неферментативного потемніння, $a_w = 0,6-9,75$;

2. Ферментативні реакції можуть протікати при більш високому вмісті вологи, тобто коли є вільна вода. Вона необхідна для перенесення субстрату, тому що швидкість ферментативної реакції залежить від a_w ;

3. Ферментативні процеси під дією ліпаз мають місце навіть при $a_w = 0,1-0,2$, що пов'язано з тим, що ліпіди у меншій мірі потребують води як транспортного засобу, і рухливість ліпідів достатня, щоб утворити фермент-субстратний комплекс.

4. Більшість бактерій розмножуються при $a_w = 0,85-0,95$, цвілі – при $a_w = 0,6-0,8$, дріжджі – при $a_w = 0,8-0,9$, тому низьке значення активності води гальмує процеси росту мікроорганізмів.

В основному псування продуктів з проміжною вологістю викликають дріжджі та плісняви, меншою мірою бактерії. Дріжджі викликають псування сиропів, кондитерських виробів, джемів, висушених фруктів. Цвілі – м'яса, джемів, тістечок, печива, висушених фруктів.

Окрім впливу на хімічні реакції і ріст мікроорганізмів, активність води має значення і для текстури продуктів. Наприклад, у сухих продуктах (сухе молоко, крекери та ін.) максимальна a_w повинна бути 0,35-0,5. Більша a_w необхідна для продуктів м'якої текстури, які не повинні бути крихкими.

Харчові продукти значно розрізняються за вмістом води. Наприклад, у зерні та борошні її міститься 12-15%, у хлібі – 23-48%, у цукрі – 0,15-0,40%, у висушених плодах – 12-25%, у свіжих плодах – 75-90%, у свіжих овочах – 65-90%, у яловичині – 58-74%, у рибі – 62-84%, у молоці – 87-90%.

Для попередження багатьох хімічних реакцій і мікробіологічних процесів, які погіршують якість харчових продуктів, при зберіганні ефектив-

ним засобом є зниження активності води в харчових продуктах. Для цього використовують сушку, в'ялення, додавання різних речовин (цукор, сіль тощо), заморожування.

Заморожування є найбільш поширеним способом консервації (зберігання) багатьох харчових продуктів. Необхідний ефект при цьому досягається, більшою мірою, від дії низької температури, ніж від утворення льоду. Утворення льоду у клітинних структурах харчових продуктів і гелях має два важливі наслідки:

а) неводні компоненти концентруються у фазі, що не замерзає (вона існує у харчових продуктах при усіх температурах зберігання);

б) уся вода, що перетворилася на лід, збільшується на 9% у об'ємі.

Під час заморожування вода переходить у кристали льоду різного, але досить високого ступеня чистоти. Тому усі неводні компоненти концентруються у зменшеній кількості води, що не замерзла. Завдяки цьому ефекту не замерзла фаза істотно змінює свої властивості, такі як pH , титруюча кислотність, іонна сила, в'язкість, точка замерзання, поверхневий натяг, окисно-відновний потенціал.

Ці зміни можуть збільшити швидкість деяких реакцій. Наприклад, при заморожуванні спостерігається збільшення швидкості реакцій неферментативного потемніння при кислотному гідролізі сахарози або у процесі окиснення аскорбінової кислоти, вершкового масла, ліпідів – у яловичині, бета-каротину та вітаміну A – у жирах.

Чинник можливості збільшення швидкості різних реакцій у заморожених продуктах необхідно враховувати при їх зберіганні, оскільки він може впливати на якість продукту. Як правило, істотне зниження швидкості реакцій (більш ніж у 2 рази) має місце при зберіганні харчових продуктів в умовах достатньо низької температури (-18°C). При негативних температурах, близьких до температури замерзання води (0°C), має місце збільшення частки денатурації білка. При температурі -18°C денатурація білка

зменшується істотно, це створює оптимальні умови для зберігання продуктів. Усі нормативні документи про харчові продукти регламентують визначення вологості товару.

Для отримання певної (бажаної) активності води у продукті застосовують такі технологічні прийоми:

1. **Адсорбція** – продукт висушують, а потім зволожують до певного рівня вологості;

2. **Сушка шляхом осмосу** – харчові продукти занурюють у розчин, активність води в якому менша активності води їстівних продуктів. Часто для цього використовують розчини цукру або солі. У цьому випадку має місце два протитоку: з розчину в продукт дифундує розчинена речовина, а з продукту у розчин – вода;

3. **Використання потенційних зволожувачів.** За їх допомогою можливо збільшити вологість продуктів, але знизити активність води a_w . Потенційні зволожувачі для харчових продуктів – крохмаль, молочна кислота, цукор, гліцерин та ін.

1.6. Рівноважна та гігроскопічна вологість харчових продуктів

Гігроскопічні властивості харчових продуктів мають надзвичайно велике значення. Вологість продукту – один з найважливіших факторів, що обумовлює його стійкість при зберіганні. Вологообмін між продуктом і повітрям може відбуватися у двох протилежних напрямках: десорбція – передача вологи від продукту повітрю, коли парціальний тиск пари над поверхнею продукту вищий, ніж у повітрі; сорбція – прийняття вологи із повітря. Вологообмін між продуктом і повітрям припиниться, коли парціальний тиск водяної пари у повітрі і над поверхнею продукту буде однаковим, тобто настане динамічна рівновага. Вологість продукту, що відповідає цьому стану, називається **рівноважною** і підвищується зі збільшенням вологості навколишнього середовища. Рівноважна вологість

при стаціонарних умовах навколишнього середовища (постійної вологості і температури) – величина постійна. Залежно від змін зовнішнього середовища її значення може змінюватися від 7 до 36%. Вологість продукту, що дорівнює 1%, є рівноважною для повітря з вологістю 15-20%, а 33-36% – для повітря, повністю насиченого водяними парами. Величина рівноважної вологості залежить від хімічного складу продукту. Наприклад, у масляних культур при усіх рівних умовах величина рівноважної вологості майже вдвічі менша, ніж у зернових. Це пояснюється меншим вмістом у олійному насінні гідрофільних колоїдів. Рівноважна вологість також залежить від відносної вологості навколишнього повітря (чим вона більша, тим вища рівноважна вологість) і температури повітря (при однаковій відносній вологості повітря із підвищенням його температури рівноважна вологість знижується).

Крива, що зображує залежність ступеня вологості матеріалу від відносної вологості повітря при певній температурі, називається *ізотермою або кривою рівноважної вологості*. Якщо відома крива рівноважної вологості, можна встановити заздалегідь, як буде змінюватися вологість матеріалу в конкретних умовах, а отже, режими зволоження і зберігання.

Рівноважна вологість матеріалу при повному насиченні повітря вологою, тобто при відносній вологості повітря 100%, називається *гігроскопічною вологістю*. Волога поглинається матеріалом понад максимальну гігроскопічну вологомісткість лише при безпосередньому зіткненні його із рідиною. Із підвищенням температури значення гігроскопічної вологомісткості зменшується. Гігроскопічний стан харчових продуктів охоплює значний діапазон вологості і на видалення цієї вологи припадає значна частина часу висушування, тому що в цей період видаляється найбільш міцно зв'язана волога. Значення гігроскопічної вологомісткості для деяких плодів та овочів наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Гігроскопічна вологомiсткiсть для плодiв та овочiв

Найменування	Гiгроскопiчна вологомiсткiсть
Картопля	50-130
Морква	47-80
Цибуля	53-90
Буряк столовий	80-100
Зелений горошок	47-82
Яблука	42-74
Абрикоси	63-80
Хурма	40-110

Важливим для практики є те, що вологiсть продуктiв змiнюється нерiвномiрно. Найбiльш значно зростає вологiсть продукту при вiдноснiй вологостi повітря у межах 80-100%. При вологостi повітря 75% рiвноважна вологiсть злакових складає 15-16%, а в бiльш насиченому вологою повітрі вона збiльшується вдвiчі і досягає 32-36%. Рiвноважна вологiсть залежить вiд температури навколишнього повітря. Зi зниженням температури повітря величина рiвноважної вологостi зростає (при зниженнi з 30 до 0°С приблизно на 1,5%). Крім цього має значення і так зване явище сорбцiйного гiстерезису, що виражається у розбiжностi iзотерм сорбцiї та десорбцiї. Кривi рiвноважної вологостi показують, що рiзні проби одного і того ж продукту, перебуваючи в станi рiвноваги з одним і тим же середовищем, можуть мати рiзну вологiсть.

Одним iз показникiв, що застосовуються для визначення ступеня зв'язування води, є *iзотерма сорбцiї* харчового продукту – залежнiсть мiж вологiстю продуктiв і вологiстю повітря при постiйнiй температурi. Iзотерму можна роздiлити на три дiлянки: дiлянка сильного зв'язування водних молекул з окремими дiлянками полiмерiв, так звану дiлянку мономолекулярного шару; дiлянку, у якiй ступiнь зв'язування зменшується та вища дiлянка, в якiй вода легко заморожується і має тиск пари, рiвний тис-

ку пари вільної води. Аналізуючи цю воду, можна виявити, що незважаючи на зв'язаний стан води, вона доступна для хімічних і біологічних реакцій. Вода у кількості, меншій за мономолекулярний шар, не діє як звичайна вода-розчинник. Вище моношару розчинні речовини можуть розчинятися і реагувати у розчині. Швидкість реакції збільшується в міру збільшення кількості розчинених речовин, а також у міру збільшення a_w , так як при цьому внаслідок зниження в'язкості рухливість розчинених речовин може збільшуватися. Однак при високому вмісті води швидкість реакції може знижуватися в результаті розбавлення. При дуже високому значенні a_w вода здається фізично зв'язаною і не може бути виділена із гелеподібних систем.

На рис. 1.3 зображена ізотерма вологи для звичайного типу харчових продуктів. Її можна розділити на три частини. Верхня частина кривої пока-

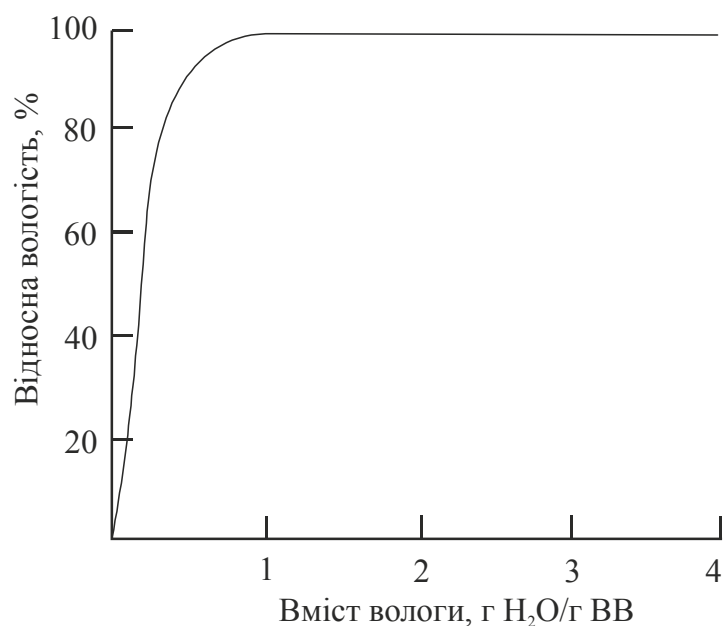


Рис. 1.3. Загальна ізотерма продукту: залежність рівноважної відносної вологості від вмісту води

зує значення a_w , близьке для широких меж вмісту води у таких продуктах, як м'ясо, риба, овочі, фрукти, супи, напої та ін. Нижня частина кривої ($a_w < 0,5$) характеризує більшість висушених продуктів, таких як сухе молоко, пасти, зернові, розчинна кава та ін. Вплив води на стійкість і струк-

туру продукту значною мірою різна у цих двох частинах ізотерми. Середня частина кривої характеризує продукти із проміжною вологістю (джеми, цукерки, в'ялена яловичина, нещодавно розроблені корми для тварин).

1.7. Показники якості води

Одним з найважливіших факторів здорового життя та побуту людини є питна вода. Проблема забезпечення населення якісною водою постає не лише перед Україною, а й в усьому світі. На підприємствах харчової промисловості використовують воду, яка відповідає за своїм основним складом показникам державного стандарту ДСанПіН 2.2.4-171-10.

У табл. 1.4-1.6 наведені вимоги ДСанПіН України до вмісту мінеральних компонентів, мікробіологічних показників та показників фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води.

Таблиця 1.4. Вміст мінеральних компонентів питних вод за вимогами ДСанПіН України

Показник, мг/дм ³	ДСанПіН України
Алюміній	≤ 0,1
Амоній	≤ 0,1 (0,5) ⁴
Барій	0,1
Берилій	≤ 0,0002
Бор	≤ 0,5
Залізо	≤ 0,2
Кадмій	≤ 0,2
Кобальт	≤ 0,1
Манган	≤ 0,05
Мідь	≤ 1,0
Молібден	≤ 0,07
Арсен	≤ 0,01

Продовження табл. 1.4.

Показник, мг/дм ³	ДСанПіН України
Натрій	≤ 200
Нікол	≤ 0,02
Нітрати	≤ 10 (50) ⁴
Нітрити	≤ 0,5 (0,1) ⁷
Ртуть (загальна)	≤ 0,0005
Свинець	≤ 0,010
Селен	≤ 0,01
Срібло	≤ 0,025
Стронцій	≤ 7,0
Сульфати	≤ 250
Сурьма	≤ 0,005
Хром	≤ 0,05
Ціаніди	≤ 0,050

Таблиця 1.5. Мікробіологічні показники якості питної води

Показник	ДСанПіН України
Загальне мікробне число – 37°C (КУО/мл)	≤ 20
Загальне мікробне число – 22°C (КУО/мл)	≤ 100
Загальні коліформи бактерій	Відсутні в 100 мл
Термотолерантні коліформи бактерій	Відсутні в 100 мл
Ентерококи	Відсутні в 100 мл
Патогенні мікроорганізми	Відсутні в 1 л
Коліфаги	Відсутні в 1 л

**Таблиця 1.6. Показники фізіологічної повноцінності
мінерального складу питної води**

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи
1	Загальна жорсткість	ммоль/дм ³	1,4-7,0
2	Загальна лужність	ммоль/дм ³	0,5-6,5
3	Йод	мкг/дм ³	20-30
4	Калій	мг/дм ³	2-20
5	Кальцій	мг/дм ³	25-75
6	Магній	мг/дм ³	10-50
7	Натрій	мг/дм ³	2-20
8	Сухий залишок	мг/дм ³	200-500
9	Фториди	мг/дм ³	0,7-1,2

Вода вважається фізіологічно повноцінною та придатною до вживання, якщо величина сухого залишку, загальна жорсткість, загальна лужність та вміст йоду, калію, кальцію, магнію та натрію знаходяться у межах, зазначених у нормативному документі.

1.8. Лабораторна робота № 1

Дослід 1. Визначення вологості зерна злакових культур

Визначення засноване на зміні показника заломлення гліцерину при його розбавлянні водою, яка вивільнюється із подрібнених зерен злакових культур. Аналіз характеризується швидкістю виконання.

Реактиви, посуд та обладнання: гліцерин (ч.д.а.); градуйована піпетка місткістю 1 мл; капіляр; пробірка для центрифугування; фарфорова ступка з товкачиком; центрифуга; річковий пісок, промитий дистильованою водою та прожарений у муфельній печі; технічні терези; рефрактометр; термостат; зерно для аналізу (пшениця, ячмінь, жито).

Техніка виконання. Пробу зерна (1-2 г) розтирають у фарфоровій ступці з 1 мл гліцерину та приблизно 1 г річкового піску. Розтерту масу поміщають у пробірку, центрифугують протягом 5 хвилин та капіляром відбирають 1-2 краплі гліцерину з розчищеною у ньому водою. Рідину наносять капіляром на нижню призму рефрактометра та вимірюють показник заломлення за температури $20 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Вимірювання повторюють 3-4 рази та розраховують середнє арифметичне значення показника заломлення.

Вміст вологи у зерні $[\omega, \% (\text{мас.})]$ розраховують за формулою:

$$\omega = \frac{Vd(n_1 - n)}{m(n - n_g)}, \quad (1.2)$$

де V – взятий для аналізу об'єм гліцерину, см^3 ; d – густина води при 20°C ($d = 0,998 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$); m – маса наважки зерна, г; n_1 – показник заломлення гліцерину при 20°C ($n_1=1,4740$); n – показник заломлення розчину води у гліцерині; n_g – показник заломлення води при 20°C ($n_g = 1,3330$).

Дослід 2. Визначення масової частки вологи прискореним методом висушування

Одним з найбільш точних методів визначення вологи є арбітражний метод. Суть методу – висушування наважки харчового продукту до постійної маси при температурі від 95 до 105°C , в залежності від виду продукту. Даний метод точний, але трудомісткий і тривалий, тому при визначенні вмісту вологи часто використовують прискорений метод висушування при підвищених температурах.

Реактиви, посуд та обладнання: бюкс; сушильна шафа; харчовий продукт; водяна баня; електрична плитка; муфельна піч; розчин гідроген пероксиду.

Техніка виконання. У попередньо висушений до постійної маси і зважений бюкс поміщають наважку подрібненого зразку. Наважку беруть залежно від виду продукту, згідно з табл. 1.7.

Бюкси з наважками поміщають у сушильну шафу, нагріту до температури 140-145°C, кришки у бюксах повинні бути відкриті і підкладені під дно. При встановленні бюкса температура шафи швидко знижується до 125-127°C. Протягом 10-15 хвилин її доводять до необхідної температури, залежно від виду продукту (табл. 1.7) і цей момент вважають початком сушіння. Бюкс з наважкою витримують чітко встановлений час для кожного виду продукту.

Масову частку вологи W (у %) розраховують за формулою:

$$W = \frac{(M - M_1) \times 100}{M}, \quad (1.3)$$

де M – маса зразка до висушування, г; M_1 – маса зразка після висушування, г. Результати проведених досліджень оформіть у вигляді табл. 1.8, наведіть розрахунки та зробіть висновки.

Дослід 3. Визначення золи

Мінеральні речовини є природною складовою частиною структурних елементів всіх клітин і тканин. Крім макроелементів – кальцію, магнію, фосфору, хлору, сульфуру, в них містяться мікроелементи – Купрум, Ферум, Іод, Кобальт, Цинк, Нікол, Ванадій та інші. Їх вміст у харчових продуктах рослинного і тваринного походження залежить від ряду факторів: виду, сорту, агротехніки, кліматичних умов, а також технології переробки. Загальні уявлення про вміст мінеральних речовин дає масова частка золи. Зольність багатьох харчових продуктів є нормованим показником.

Техніка виконання. Наважку аналізованого продукту масою 1,5-25 г (1,5-2,0 г – для зерна, борошна, висівок; 3-5 г – для м'ясо-рибного і консервованого продукту; 5-10 г – для кондитерських виробів, крохмалю; 10 г – для фруктів та овочів; 25 г – для молока) поміщають в прожарений до постійної маси тигель (прожарювання проводять при 500°C). Якщо в продукті міститься багато вологи, то вміст тигля випарюють на водяній бані до сухого залишку, підсушують в сушильній шафі при температурі

100-150°C. Обережно обвуглюють на електричній плитці або інфрачервоною лампою і прожарюють у муфельній печі при температурі 500-550°C. При роботі зі зразком не можна допускати його спалахування або розбризкування. Для прискорення озолення можна у тигель після охолодження

Таблиця 1.7.

Харчовий продукт	Наважка та точність зважування	Температура висушування, °С	Тривалість висушування, хв.
Зерно, борошно, крупи, хліб та хлібобулочні вироби, макаронні вироби	5 ± 0,01	130 ± 2	40
Кондитерські вироби та напівфабрикати: – печиво усіх видів, вафлі; – пряники, кекси, рулети, східні солодощі – інші вироби	3 ± 0,01	130 ± 2	30
	3 ± 0,01	130 ± 2	40
	3 ± 0,01	130 ± 2	50
Чай	3 ± 0,01	120 ± 2	60
М'ясні продукти	3 ± 0,0002	150 ± 2	60

Таблиця 1.8.

№ з/п	Харчовий продукт	Наважка, г	Температура висушування, °С	Тривалість висушування, хв.	Маса продукту після висушування, г	W, %

додати декілька крапель розчину гідроген пероксиду (H₂O₂), який потім необхідно видалити в сушильній шафі при температурі 90-100°C, а сухий залишок знову прожарити у муфельній печі до повного озолення проби.

Отримана зола повинна бути пухкою, білого або світло-сірого кольору, без обвуглених частинок. Масову частку золи X_3 (у %) обчислюють за формулою:

$$X_3 = \frac{(m_1 - m) \times 100}{m_2}, \quad (1.4)$$

де m_1 – маса тигля із золюю, г; m – маса тигля, г; m_2 – маса наважки продукту, г. Розбіжність між результатами декількох дослідів не повинна перевищувати 5%. Результати проведених досліджень оформити у вигляді табл. 1.9, нижче наведіть розрахунки та зробіть висновки.

Таблиця 1.9.

№ з/п	Харчовий продукт	Наважка, г	Температура озолення, °С	Тривалість озолення, хв.	Маса золи, г	X_3 , %

1.9. Контрольні запитання

1. Які функції виконує вода у організмі людини ?
2. Пояснити функції води у харчових продуктах.
3. Поняття про вільну та зв'язану вологу.
4. Що таке активність води ? Яким чином розрізняють харчові продукти в залежності від величини активності води ?
5. Які процеси протікають при зберіганні у продуктах з різною активністю води ? Які технологічні методи дозволяють знизити величину активності води ?

РОЗДІЛ 2. БІЛКОВІ РЕЧОВИНИ ТА ФЕРМЕНТИ У СИРОВИНІ ТА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ

2.1. Білки – високомолекулярні природні полімери

Білки – це високомолекулярні нітрогеновмісні органічні сполуки, молекули яких побудовані із залишків амінокислот. У природі існує приблизно $10^{10} - 10^{17}$ різноманітних білків, що складають основу $1,2 \cdot 10^6$ видів живих організмів. Величезне розмаїття білків обумовлене здатністю двадцяти протеїногенних α -амінокислот взаємодіяти одна з одною з утворенням полімерних молекул з молекулярною масою від 5 тисяч до мільйону і більше.

Серед біоорганічних речовин білки посідають особливе місце, оскільки це основні структурні елементи органів і тканин. Вони можуть мати ферментативну активність (ферменти), брати участь у регуляції метаболізму (гормони), процесах скорочення м'язів і руху, а також брати участь у імунних процесах.

Білки складають основу процесів життєдіяльності організму. Необхідність їх постійного оновлення лежить в основі обміну речовин. Дефіцит білка у харчовому раціоні підвищує чутливість організму до інфекційних захворювань, порушує процеси кровотворення, обмін ліпідів, вітамінів та ін. У дітей при білковій недостатності сповільнюється зростання та розумовий розвиток.

Тривалий надлишок білка також позначається на життєдіяльності організму, викликаючи перезбудження нервової системи, порушення обмінних процесів, переобтяження печінки і нирок.

Основними джерелами білка у харчуванні людини є, насамперед, продукти тваринного походження: м'ясо, риба, молочні продукти, яйця. Однак певну харчову цінність також мають білки рослинної сировини: бобових, зернових культур та овочів. У цих продуктах міститься найбільше білків, що мають високу біологічну цінність та обумовлюють специфічні власти-

вості (смак, запах, структуру, колір тощо) харчових продуктів в процесі технологічної обробки сировини.

Вміст білка у продуктах харчування наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Вміст білка у продуктах харчування, %

Сир	25
Горох, квасоля	22-23
М'ясо	16-20
Яйця	13
Вівсяна крупа, пшоно	12
Макарони	10-11
Хліб	5-8
Молоко	2,9
Риба	17-25

2.2. Основні біологічні функції білків

Білки є невід'ємною частиною живих організмів, в яких вони виконують багато функцій, невластивих або лише частково властивих іншим класам біополімерів (полісахаридам, молекулам ДНК). Основні функції білків представлено на рис. 2.1.

Каталітична функція виконується великою групою білків, які називають ферментами (ензимами). Ця функція білків визначає швидкість хімічних реакцій у біологічних системах. До 1995 року було ідентифіковано понад 3400 ферментів. Більшість відомих у даний час ферментів, які називаються біологічними каталізаторами, за своєю природою є білками.

Транспортну функцію здійснюють білки-переносники. Дихальна функція крові, зокрема перенесення кисню та інших газів, здійснюється молекулами гемоглобіну – білка еритроцитів. У транспортуванні ліпідів беруть участь альбуміни сироватки крові. Деякі інші сироваткові білки утворюють комплекси із жирами, Купрумом, Ферумом, тироксином, вітаміном

А та іншими сполуками, забезпечуючи їх надходження у відповідні органи.

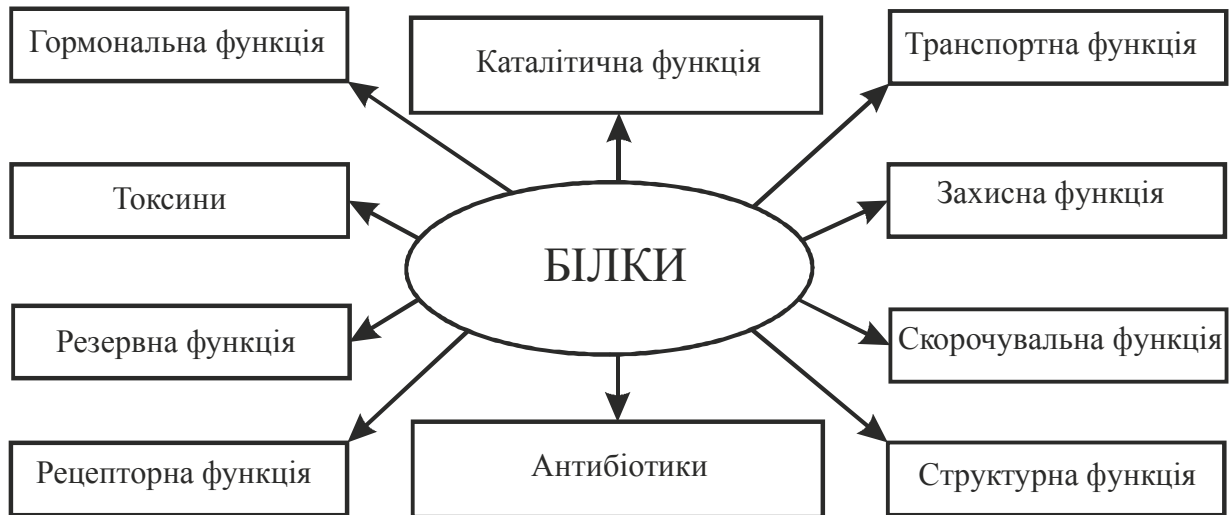


Рис. 2.1. Основні біологічні функції білків

Білки виконують в живих організмах також **захисну функцію**. Захисні білки-антитіла синтезує імунна система у відповідь на надходження в організм бактерій, токсинів, вірусів або сторонніх білків. Висока специфічність взаємодії антитіл з антигенами (сторонніми речовинами) за типом «білок – білкові взаємодії» сприяє розпізнаванню та нейтралізації біологічної дії антигенів. Захисна функція білків проявляється й у здатності ряду білків плазми крові, зокрема фібриногену, до згортання. У результаті згортання фібриногену утворюється згусток крові, що захищає від її втрат при пораненнях.

В акті м'язового скорочення та розслаблення бере участь безліч білкових речовин. Однак головну роль у цих життєво важливих процесах відіграють актин та міозин – специфічні білки м'язової тканини. **Скорочувальна функція** властива не лише м'язовим білкам, але й білкам цитоскелету, що забезпечує найтонкіші процеси життєдіяльності клітин (наприклад, розходження хромосом у процесі мітозу).

Білки, які виконують **структурну (опорну) функцію**, посідають за своєю чисельністю перше місце серед інших білків тіла людини. Серед них найважливішу роль відіграють, зокрема, колаген сполучної тканини, кератин волосся, нігтів, шкіри, еластин судинних стінок та ін. Велике значення мають комплекси білків із вуглеводами, що беруть участь в утворенні ряду секретів (мукоїдів, муцину та ін.). У комплексі із ліпідами (зокрема, з фосфоліпідами) білки беруть участь в утворенні біомембран клітин.

Гормональна функція. Обмін речовин в організмі регулюється різними механізмами. У цьому регулюванні важливе місце посідають гормони, серед яких є білки або поліпептиди, наприклад гормони гіпофізу, підшлункової залози та ін. Деякі гормони є похідними амінокислот.

Харчову (резервну) функцію виконують так звані резервні білки, які є джерелами живлення для плоду, наприклад білки яйця (овальбуміни). Основний білок молока (казеїн) також виконує переважно харчову функцію. Деякі інші білки використовуються у організмі як джерело амінокислот, які, в свою чергу, є попередниками біологічно активних речовин, що регулюють процеси метаболізму.

Крім перелічених функцій білки беруть участь у реалізації генетичної інформації, генеруванні та передачі нервових імпульсів. Вони здатні підтримувати осмотичний тиск та фізіологічне значення рН у клітинах крові.

Таким чином, з цього далеко не повного переліку основних функцій білків видно, що зазначеним біополімерам належить виняткова та різноманітна роль у живому організмі. Якщо спробувати виділити головну, вирішальну властивість, яка забезпечує багатогранність біологічних функцій білків, то слід було б назвати їх здатність вибірково приєднуватися до багатьох речовин. Зокрема, ця висока специфічність білків забезпечує взаємодію ферментів із субстратами, антитіл з антигенами та ін. Вона базується на принципі біоспецифічного розпізнавання, що завершується зв'язуванням ферменту із відповідною молекулою субстрату та сприяє протіканню хімічної реакції. Високою специфічністю дії наділені також білки, що беруть участь у таких процесах, як диференціювання та поділ

клітин, а також розвиток в цілому живих організмів, визначаючи їх біологічну індивідуальність.

У організмі людини і тварин майже немає резерву білків, тому вони абсолютно незамінні у щоденному харчуванні.

Враховуючи те, що білки складають значну частину сухої речовини не лише живих організмів, але й продуктів харчування, а також те, що вони мають деякі специфічні властивості і функції, які не є характерними для інших класів сполук, визначення складу та структурно-функціональної організації поліпептидів містить у собі відповідь на вирішення багатьох важливих проблем не лише у біології та медицині, але й у виробництві, зберіганні та споживанні харчових виробів.

2.3. Класифікація білків

На сьогоднішній день використовується декілька різних принципів класифікації білків, які досить часто перетинаються та в багатьох відношеннях є недосконалими.

Перший тип класифікації білків базується на їх *походженні*. З цієї точки зору розрізняють рослинні, тваринні, вірусні та бактеріальні білки. З позицій *органів та клітинних органел* розрізняють білки плазми, м'язові білки, білки молока, яєць, рибосомні білки, білки клітинного ядра, мікросом і мембран.

Наступний тип класифікації ґрунтується на *загальних біологічних функціях* білків. За цією класифікацією існують білки:

- ферментні (білки, що мають каталітичну активність);
- транспортні – білки плазми крові, що зв'язують та переносять специфічні молекули чи іони із одного органу в інший (гемоглобін – кисень, ліпопротеїди – ліпіди із печінки в інші органи);
- харчові та резервні (відкладаються у насінні рослин);
- скорочувальні та рухові – надають клітині чи організму здатність скорочуватися, змінювати форму чи рухатись (міозин у скорочувальній системі скелетного м'язу);
- структурні (виконують опірну функцію, скріплюючи біологічні

структури та надають їм міцності (наприклад, кератин – білок, із якого складається волосся, нігті, пір'я);

– захисні – захищають організм від вторгнення інших організмів або оберігають його від ушкоджень (наприклад, імуноглобулін, що розпізнає бактерії, віруси чи сторонні білки, які проникли у організм та нейтралізує їх);

– регуляторні (беруть участь у системі регуляції клітинної чи фізіологічної активності; наприклад, гормон інсулін);

– існує велика кількість інших білків, функції яких доволі незвичні, що ускладнює їх класифікацію (наприклад, білки із властивостями антифризу – запобігають замерзанню крові риб у льодяній воді).

За *будовою молекул* білки поділяють на глобулярні (сферопротеїни), фібрилярні (склеропротеїни) та мембранні білки.

Глобулярні білки розчинні у воді та розбавлених сольових розчинах і мають сферичну форму молекули. Компактна структура виникає при певному згортанні поліпептидного ланцюга, яка тримається за рахунок гідрофобної взаємодії неполярних бічних ланцюгів амінокислот. Також значну роль відіграють водневі зв'язки і, в деякій мірі, іонні взаємодії. Гарна розчинність глобулярних білків пояснюється наявністю на поверхні глобули заряджених амінокислотних залишків, які здатні до гідратації, і таким чином сприяють розчиненню. До глобулярних білків відносяться всі ферменти і більшість інших біологічно активних білків (за винятком структурних).

У залежності від розчинності, розподілу зарядів та амінокислотного складу глобулярні білки поділяються на альбуміни, глобуліни, гістони, проламіни, протаміни, глутеліни.

Фібрилярні білки практично нерозчинні у воді та сольових розчинах, вони мають волокнисту структуру. Поліпептидні ланцюги, що розташовані паралельно один одному у формі довгих волокон, утворюють структурні елементи сполучних тканин. Найважливішими представниками структурних білків є колаген, кератини та еластини.

Мембранні білки мають складову частину, яка перетинає клітинну мембрану, але окремі ділянки молекули виступають у міжклітинне оточення і цитоплазму клітини. Мембранні білки виконують функцію рецепторів, тобто здійснюють передачу сигналів, а також забезпечують трансмембранний перенос різних речовин. Білки-транспортери є досить специфічними, кожен з них пропускає крізь мембрану тільки певні молекули або певний тип сигналу.

За хімічним складом розрізняють протеїни, що складаються виключно з протеїногенних амінокислот, і протеїди (складні білки). Останні містять крім білкової частини небілковий, органічний або неорганічний компонент, необхідний для їх функціонування. Він може бути пов'язаний із поліпептидним ланцюгом ковалентно, гетерополярно чи координаційно і разом з амінокислотами зазвичай присутній у гідролізаті. Найважливіші представники складних білків: глікопротеїни (містять нейтральні цукри, аміноцукри або кислі похідні моносахаридів), ліпопротеїни (містять тригліцериди, фосфоліпіди і холестерин), металопротеїни (іони металу), фосфопротеїни (пов'язані ефірним зв'язком через залишок серину або треоніну з фосфатною кислотою), нуклеопротеїни, що асоціюються із нуклеїновими кислотами в рибосомах чи вірусах, а також хромопротеїни, що містять як простетичну групу забарвлений компонент.

2.4. Біологічна цінність білків як компонентів їжі

Тваринні та рослинні білки помітно відрізняються за біологічною цінністю. Амінокислотний склад тваринних білків є близьким до амінокислотного складу білків людини.

Тваринні білки є **повноцінними**, тоді як рослинні – через відносно низький вміст у них лізину, триптофану, треоніну та ін. порівняно з м'ясом, молоком та яйцями – є **неповноцінними**. При цьому тваринні білки мають більш високу засвоюваність, ніж рослинні. Із тваринних білків у кишечнику всмоктується більше 90% амінокислот, а з рослинних – лише 60-80%. В

порядку зменшення швидкості засвоєння білків у шлунково-кишковому тракті харчові продукти розташовуються наступним чином:

Риба > молочні продукти > м'ясо > хліб > крупи.

Однією з причин більш низької засвоюваності рослинних білків є їх взаємодія з полісахаридами (целюлозою, геміцелюлозою), які ускладнюють підхід перетравлюючих ферментів до поліпептидів.

При нестачі у їжі вуглеводів та жирів вимоги до білка (як носія харчової цінності) особливо зростають, оскільки поряд із біологічною роллю він починає виконувати ще й енергетичну. З іншого боку, при надмірному вмісті білків (на фоні необхідної кількості основних енергетичних компонентів) виникає небезпека синтезу ліпідів та ожиріння організму.

Біологічну цінність білків визначає:

– наявність у них десяти незамінних амінокислот та їх співвідношення із заміними;

– здатність до перетравлювання ферментами у травній системі.

У організмі людини і тварин майже немає резерву білків тому вони абсолютно незамінні в щоденному харчуванні.

2.5. Рівні структурної організації білкових молекул

У побудові білків беруть участь α -амінокислоти, в молекулі яких аміногрупа розташована біля сусіднього з карбоксильною групою атома Карбону. Серед природних амінокислот (їх близько 150) виділяють 20 протейногенних, які входять до складу білків. У молекулі білка α -амінокислоти зв'язані між собою пептидними зв'язками.

Розрізняють чотири рівні структурної організації білкової молекули – первинний, вторинний, третинний та четвертинний.

Під первинною структурою розуміють порядок сполучення L- α -амінокислот у білковій молекулі або послідовність амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюзі. Первинну структуру називають також ковалентною структурою або першим рівнем організації білкової молекули. В ос-

нові утворення первинної структури лежить пептидний зв'язок, що являє собою міцний ковалентний зв'язок, який руйнується тільки за жорсткої хімічної або фізичної дії, наприклад при кип'ятінні в сильно кислому або лужному середовищі, під дією протеолітичних ферментів.

Вторинна структура – це конформація окремих ділянок поліпептидного ланцюга, яка обумовлена взаємодією пептидних $-NHCO-$ груп. Вторинна структура молекули білка формується за рахунок водневого зв'язку, який виникає між групами даного поліпептидного ланцюга та призводить до його просторового упорядкування у вигляді спіральної або складчастої структури (рис. 2.2, 2.3), яку вперше встановили Л. Полінг та Р. Корі (1951). Їх назвали α -спіраллю та β -структурою. Ділянку вторинної структури білкової молекули наведено на рис. 2.4.

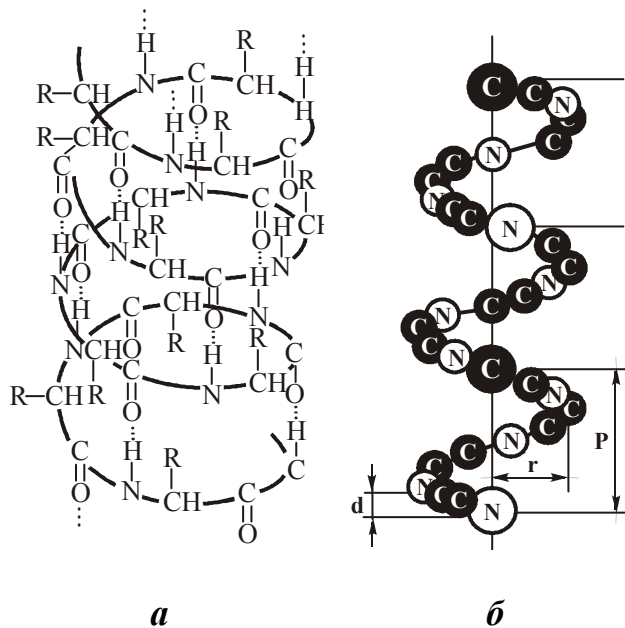


Рис. 2.2. α -Спіраль у молекулах поліпептидів і білків: а – реальне розміщення атомів; б – схема розміщення атомів α -спіралі

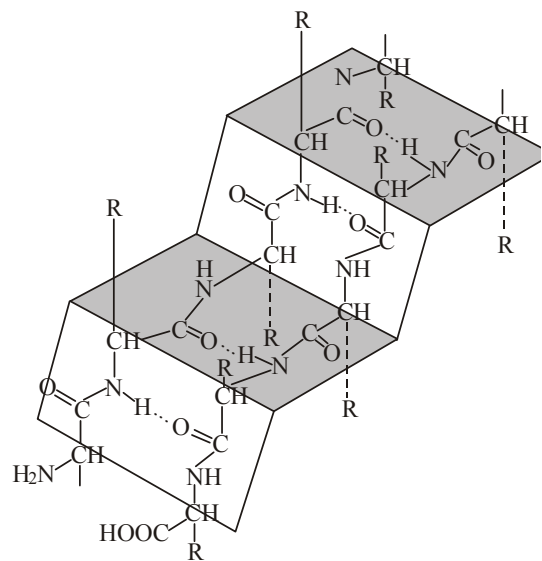


Рис. 2.3. β -Структура в молекулі колагену

Завдяки великій кількості водневих зв'язків поліпептидні ланцюги білкових молекул закручуються у спіраль, що енергетично вигідніша за ланцюг. Сульфідні зв'язки та деякі амінокислотні залишки заважають

утворенню спіралі. Таким чином, первинна структура (амінокислотний склад) визначає вторинну структуру білка.

Третинна структура молекули білка утворюється внаслідок взаємодії між боковими відгалуженнями поліпептидних ланцюгів. Це призводить до формування водневих, дисульфідних, іонних (сольових), ван-дер-ваальсових та інших зв'язків. Поліпептидні ланцюги згортаються у певному порядку, що призводить до утворення просторової конфігурації білкової молекули (рис. 2.5).

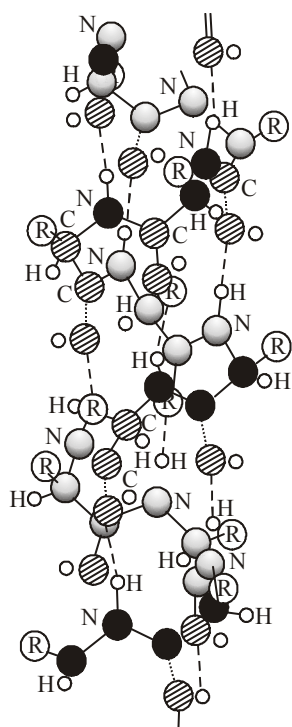


Рис. 2.4. Схема ділянки вторинної структури білкової молекули

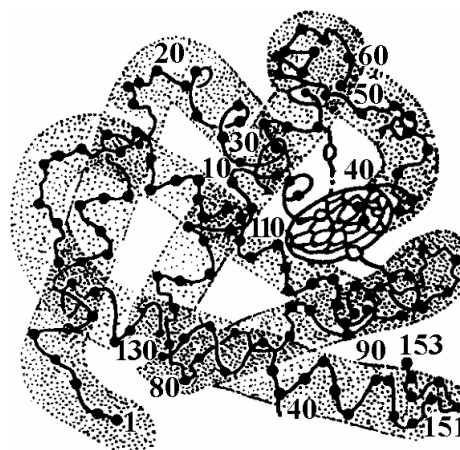


Рис. 2.5. Схема третинної структури молекули міоглобіну (за М.Ф. Перуцем)

При цьому гідрофобні радикали “втягуються” всередину молекули, формуючи сухі зони, а гідрофільні орієнтуються в бік розчинника, створюючи енергетично вигідну конфігурацію білкової молекули. Вона детально вивчена для РНКаз, міо- і гемоглобінів та інших білків.

Четвертинна структура білкової молекули є асоціацією (сполученням) декількох субодиниць поліпептидної природи, що мають власну первинну, вторинну і третинну структури, або глобул, що з'єднані у єдину складну молекулу. Такі субодиниці називають протомерами, а їх комплекс – мультимером. Число протомерів, що утворюють мультимер, буває різним – від чотирьох (наприклад, гемоглобін) до кількох тисяч (білок тютюнової мозаїки). Таке об'єднання відбувається за рахунок хімічних зв'язків, що діють на поверхні поліпептидних ланцюгів – водневих, іонних та ін. Структура молекули білка дуже лабільна й легко змінюється під впливом різних факторів (фізичних та хімічних), що призводить до змін їх нативних (природних) властивостей – фізичних, фізико-хімічних та біологічних.

2.6. Функціонально-технологічні властивості білків та способи їх регулювання

Білки та білкові концентрати знаходять широке застосування у виробництві харчових продуктів завдяки притаманним їм унікальним функціональним властивостям, під якими розуміють фізико-хімічні характеристики, що визначають поведінку білків при переробці у харчові продукти і забезпечують певну структуру, технологічні та споживчі властивості готового продукту.

До фізичних та хімічних властивостей, які регулюють функціональні властивості білків відносяться:

- розмір, форма, амінокислотний склад та послідовність; чистий заряд та розподіл зарядів;
- гідрофобність/гідрофільність;
- вторинна, третинна та четвертинна структури;
- молекулярна гнучкість/жорсткість;
- здатність взаємодіяти/реагувати з іншими компонентами.

Враховуючи те, що білки мають безліч фізичних та хімічних властивостей, важко визначити кожен з них окремо по відношенню до даної функціональної властивості.

До найбільш важливих функціональних властивостей білків (табл. 2.2) відносять розчинність, водозв'язуючу та жирозв'язуючу здатність, здатність стабілізувати дисперсні системи (емульсії, піни, суспензії), утворювати гелі та плівки, а також в'язкість, еластичність, здатність до прядіння та текстурування. Білки з високими функціональними властивостями добре розчиняються у воді, утворюють стійкі гелі, стабілізують емульсії та піни; білки з низькими функціональними властивостями не набухають у воді, не здатні утворювати в'язкі, еластичні маси, гелі, не стабілізують піни та емульсії. Деякі відомі білки не підпадають під вказані вище закономірності. Ці відхилення, зумовлені специфікою технологічних процесів, а тому функціональні властивості білків оцінюються для конкретних харчових систем у межах зворотного напрямку – шляхом порівняння їх властивостей з властивостями традиційних або інших відомих білків.

Таблиця 2.2. Функціональні властивості білків

Функція	Механізм	Їжа	Тип білка
1	2	3	4
Розчинність	гідрофільність	напої	сироваткові білки
В'язкість	гідродинамічні розміри і форма	супи, соуси, салатні заправки, десерти	желатин
Вологозв'язування (гідратація)	водневі зв'язки, іонна гідратація	м'ясо, ковбасні вироби, торти, тістечка, хліб	м'язові білки, збиті білки
Гелеутворення	набрякання, формування сітки молекул	м'ясо, гелі, торти, тістечка, кондитерські вироби, сир	м'язові білки, яєчні білки і молочні протеїни

Продовження табл. 2.2.

1	2	3	4
Когезія/адгезія	гідрофобні, іонні і водневі зв'язки	м'ясо, ковбаси, макаронні вироби, хлібобулочні вироби	м'язові білки, збиті білки, сироваткові білки
Еластичність	гідрофобні зв'язки, дисульфідні містки	м'ясо, хлібобулочні вироби	м'язові білки, зернові протеїни
Емульгування	адсорбція і утворення плівки на поверхні	ковбаси, супи, пиріжки	м'язові білки, збиті білки, протеїни молока
Піноутворення	поверхнева адсорбція і утворення плівки	збивання сиру, вершків, морозива, тортів, тістечок, десертів	ячні білки, протеїни молока
Жиро- та смакозв'язування	гідрофобні зв'язки	нежирні хлібобулочні вироби, пончики	молочні білки, збиті ячні білки, зернові протеїни

Розчинність та водоутримувальна здатність білків. Розчинність – це первинний показник оцінки функціональних властивостей білків, який характеризується кількістю білка, що переходить у розчин. Розчинність залежить від багатьох факторів, у першу чергу, від технологічних параметрів одержання білків. Цей показник використовують як один із перших показників якості харчових білків. Кількісно розчинність білків оцінюють за *коефіцієнтом розчинного азоту* (КРА) та *коефіцієнтом дисперсності білка* (КДБ).

Розчинність білків є змінною величиною, що залежить від кількості полярних і аполярних груп та їх розташування у молекулі. Як правило, бі-

лки розчинні лише у цілком полярних розчинниках, таких як вода, гліцерин, формаїд, диметилформаїд чи мурашина кислота.

Білки, зв'язуючи воду, тобто виявляючи гідрофільні властивості, набрякають; при цьому збільшується їх маса та об'єм. Набухання білка супроводжується його частковим розчиненням. Гідрофільність окремих білків залежить від їх будови. Розташовані на поверхні білкової макромолекули гідрофільні $-\text{CONH}-$, амінні $-\text{NH}_2$ та карбоксильні $-\text{COOH}$ групи притягують до себе молекули води, орієнтуючи їх на поверхні молекули.

Гідратна оболонка, що оточує білкові глобули, перешкоджає агрегації, а отже сприяє стійкості розчинів білка та заважає його осадженню.

У ізоелектричній точці білки мають найменшу здатність зв'язувати воду; при цьому відбувається руйнування гідратної оболонки навколо білкових молекул, тому вони з'єднуються, утворюючи агрегати. Агрегація білкових молекул відбувається також при їх зневодненні за допомогою деяких органічних розчинників, наприклад, етилового спирту. Це приводить до випадіння їх у осад. При зміні рН середовища макромолекула білка стає зарядженою, і його гідратаційна здатність змінюється. При обмеженому набуханні концентровані білкові розчини утворюють складні системи, які називаються *студнями*. Студні не мають плинності, вони пружні, пластичні, мають механічну міцність, здатні зберігати свою форму. Глобулярні білки можуть повністю гідратуватися, розчиняючись у воді (наприклад, білки молока), утворюючи розчини з невисокою концентрацією.

Гідрофільні властивості білків, тобто їх здатність набрякати, утворювати студні, стабілізувати суспензії, емульсії та піни має велике значення у біології та харчовій промисловості. Дуже рухомим студнем, побудованим переважно з молекул білка, є цитоплазма – напіврідкий вміст клітини. Сильно гідратований студень – сира клейковина, виділена з пшеничного борошна, містить до 65% води. Різна гідрофільність білків клейковини – одна із ознак, що характеризують якість зерна пшениці і одержуваного з нього

борошна (так звані, сильні та слабкі пшениці). Гідрофільність білків зерна та борошна відіграє важливу роль при зберіганні і переробці зерна, у хлібопеченні. Тісто, яке одержують у хлібопекарському виробництві та при виготовленні борошняних кондитерських виробів, є набряклим у воді білком, концентрованим студнем, що містить зерна крохмалю.

Водозв'язуюча здатність характеризується адсорбцією води за участю гідрофільних залишків амінокислот, **жировозв'язуюча здатність** – адсорбцією жиру за рахунок гідрофобних залишків. У середньому 1 г білка може зв'язувати і утримувати на своїй поверхні 2-4 г води чи жиру.

Жироемульгуюча та піноутворююча здатність білків широко використовується при отриманні жирових емульсій і пін, тобто гетерогенних систем “вода – масло”, “вода – газ”. Завдяки наявності у білкових молекулах гідрофільних і гідрофобних зон вони взаємодіють не лише з водою, але із маслом та повітрям, виконуючи роль оболонки на межі розділу двох середовищ, сприяють їх розподілу один в одному, тобто створенню стійких систем. Піноутворювальні властивості білків характеризуються їх здатністю утворювати висококонцентровані системи “рідина – газ”. Стійкість піни, в якій білок є піноутворювачем, залежить не лише від його природи та концентрації, а також і від температури.

З урахуванням жироемульгуючих властивостей рослинні та тваринні білки використовуються у виробництві хлібобулочних кондитерських виробів, низькокалорійних маргаринів, майонезів, паст, м'ясних продуктів, а піноутворюючі властивості є основою виробництва таких кондитерських виробів як бісквіти, десерти, креми, пастила, зефір, суфле тощо. Структуру піни має хліб, і це впливає на його органолептичні властивості.

Гелеутворюючі властивості білків характеризуються здатністю їх колоїдного розчину із вільного диспергованого стану переходити у зв'язнодисперсний з утворенням гелів. Білок як гелеутворювач повинен утворювати гелі у широкому діапазоні рН, іонної сили та при мінімальній

концентрації. Використання гелеутворювачів дозволяє значно збільшити термін зберігання багатьох харчових продуктів.

В'язко- та еластично-пружні властивості білків залежать від їх природи (глобулярні або фібрилярні), а також наявності функціональних груп, якими білкові молекули зв'язуються між собою або з розчинником.

Регулювання властивостей функціонально-технологічних білків досягається фізико-хімічним, ферментативним або хімічним впливом. Наприклад, проводять розчинення білків у кислоті чи основі, термоденатурацію, дезамінування, ацилювання аміногруп янтарним, оцтовим чи іншими ангідридами. Функціональні властивості білків змінюються за рахунок обробки їх речовинами ліпідної, вуглеводної природи чи мінеральними речовинами.

2.7. Загальна характеристика та властивості ферментів

Ферментами, або ензимами (ензим від *enzyme* – «у дріжджах», фермент від лат. *fermentum* – закваска), називають складні біологічні каталізатори білкової природи, що змінюють швидкість хімічної реакції. Ферменти відіграють дуже важливу роль у харчовій промисловості, в окремих випадках здійснюючи або допомагаючи здійснити багато технологічних процесів, в інших – ускладнюючи їх проведення. Досить нагадати, що перетворення початкової сировини у готові продукти в таких галузях харчової промисловості, як виноробство, пивоваріння, виробництво спирту, хлібопечення, сироваріння, виробництво ряду кисломолочних продуктів, здійснюється за безпосередньої участі ферментів.

У природі налічується декілька десятків ферментів, що складаються з порівняно невеликих молекул (з молекулярною масою до 50 тис.). Проте більшість ферментів представлено білками вищої молекулярної маси, що побудовані з субодиниць. Важливим є те, що побудований з субодиниць фермент виявляє максимальну каталітичну активність саме у вигляді мультимера: дисоціація на протомери різко знижує активність ферменту.

Ферменти являють собою специфічні каталізатори. Їх застосування дає можливість знизити енергію активації (енергетичний бар'єр), здійснивши перетворення вихідної речовини у кінцеву через проміжний стан або стан активного комплексу, що енергетично є значно більш вигідним. При цьому ферменти суттєво відрізняються від звичайних хімічних каталізаторів, а саме:

1. Це надзвичайно сильні каталізатори: ферментативна реакція протікає в 10^6 – 10^{12} разів швидше, ніж спонтанний некаталізований процес.

2. У живих організмах в присутності ферментів за секунди, а іноді й за частки секунд, здійснюються складні послідовні реакції, для проведення яких в хімічній лабораторії необхідні були б дні, тижні, а часто й місяці роботи.

3. Реакції, що каталізуються ферментами, на відміну від хімічних реакцій органічних речовин, що відбуваються в лабораторних умовах, йдуть без утворення побічних продуктів, майже зі 100%-вим виходом.

4. Ферменти забезпечують одну з основних властивостей біологічних процесів – *ступінчастість*. Завдяки цьому обмін речовин регулюється на рівні проміжних продуктів реакцій, при цьому енергія вивільнюється невеликими порціями й легше протікає синтез біополімерів.

Ферменти мають *термолабільний* характер. Активність ферментів збільшується за температури від 0° до 40 – 50°C . При подальшому підвищенні температури до 50 – 70°C активність ферментів падає; за температури вище 80°C більшість ферментів втрачає свою активність. Дуже сильно падає активність ферментів за температури нижче 0°C . Усі ферменти здатні працювати у відносно м'яких умовах, за температури 25 – 40°C .

Детальні дослідження зростання активності ферментів з підвищенням температури, проведені останнім часом, показали складний характер цієї залежності: у багатьох випадках вона не відповідає загальновідомому правилу подвоєння активності на кожні 10°C , в основному через поступово

наростаючі конформаційні зміни в молекулі ферменту. Температура, при якій каталітична активність фермента є максимальною, називається його **температурним оптимумом**. Температурний оптимум для різних ферментів неоднаковий. Загалом для ферментів тваринного походження він лежить між 40 і 50°C, а рослинного – між 50 і 60°C. Проте є ферменти з вищим температурним оптимумом, наприклад, у *панаїну* (ферменту рослинного походження, який прискорює гідроліз білка) оптимум знаходиться при 80°C. В той же час у *каталази* (ферменту, що прискорює розпад H₂O₂) оптимальна температура дії знаходиться між 0 та -10°C, а при вищих температурах відбувається енергійне окиснення ферменту та пов'язана із цим його інактивація.

Усі ферменти чутливі по відношенню до характеру середовища. Зміна концентрації іонів Гідрогену у середовищі, де відбувається ферментативна реакція, супроводжується значною зміною її швидкості. Кожний фермент максимально виявляє свою дію за певного значення рН, яке називається **рН-мінімумом**. Незначні зміни рН знижують дію ферментів або зовсім її припиняють. Більшість ферментів виявляють активність у слабко лужному середовищі, за винятком пепсину, який має активність в кислому середовищі.

Вплив концентрації іонів H⁺ на каталітичну активність ферментів полягає у дії на їх активний центр. При різних значеннях рН в реакційному середовищі активний центр може бути слабкіше або сильніше іонізованим, більш або менш екранованим сусідніми з ним фрагментами поліпептидного ланцюга білкової частини ферменту і т.д. Крім того, рН середовища впливає на ступінь іонізації субстрату, фермент-субстратного комплексу і продуктів реакції, сильно впливає на стан самого ферменту, визначаючи співвідношення в ньому катіонних і аніонних центрів, що позначається на третинній структурі білкової молекули.

Білкова природа ферментів обумовлює ще одну важливу їх власти-

вість – високу *специфічність*. Вона полягає в тому, що кожний фермент каталізує певну хімічну реакцію або тип хімічної реакції. На відміну від неорганічних каталізаторів чи каталізаторів із простою молекулярною будовою, ферменти мають високу субстратну специфічність, тобто специфічні до певного субстрату або групи близьких за хімічною будовою субстратів. Субстратна специфічність значною мірою визначає координацію ряду хімічних перетворень у обміні речовин. Завдяки своїй високій специфічності ферменти обирають із ряду термодинамічно можливих хімічних реакцій лише деякі й тому не тільки прискорюють біохімічні перетворення, а й часто визначають загальний напрямок метаболічних процесів.

За образним виразом, що нерідко вживається в біохімічній літературі, фермент підходить до субстрату, як “ключ до замку”. Це правило було сформульоване Е. Фішером у 1894 р. виходячи з того, що специфічність дії ферменту зумовлюється суворою відповідністю геометричної структури субстрату і активного центру ферменту. У 50-ті роки ХХ сторіччя це статичне уявлення було замінено гіпотезою Д. Кошланда про індуковану відповідність субстрату і ферменту. Суть її зводиться до того, що просторова відповідність структури субстрату і активного центру ферменту створюється у момент їх взаємодії один з одним, що може бути виражене формулою “рукавичка – рука”. При цьому в субстраті вже деформуються деякі валентні зв’язки і він, таким чином, готується до подальшої каталітичної видозміни, тоді як в молекулі ферменту відбуваються свої конформаційні перебудови. В цілому, гіпотеза Кошланда заснована на припущенні про гнучкість активного центру ферменту і задовільно пояснювала активацію та інгібування дії ферментів й регуляцію їх активності при дії різних чинників.

На даний час гіпотеза Кошланда поступово витісняється гіпотезою *топохімічної відповідності*. Зберігаючи основні положення гіпотези взаємоіндукційного налаштування субстрату та ферменту, вона зосереджує

увагу на тому, що специфічність дії ферментів пояснюється в першу чергу розпізнаванням тієї частини субстрату, яка не змінюється при каталізі. Між цією частиною субстрату та субстратним центром ферменту виникають численні точкові гідрофобні взаємодії та водневі зв'язки.

2.8. Будова ферментів

Молекула ферменту може складатися тільки з білка або з білкової та небілкової частин. Остання отримала назву *кофактора* або простетичної групи. Білкова частина молекули ферменту може бути побудована із одного або декількох поліпептидних ланцюгів, що утворюють складні комплекси. Кофактори, як правило, мають невелику молекулярну масу і є активними ділянками ферменту. Ними також можуть бути похідні вітамінів, нуклеотидів або іони металів. Одні й ті ж кофактори можуть бути тісно пов'язані з білком чи утворювати комплекси, що легко дисоціюють. Одні й ті ж кофактори можуть входити до складу молекул різних ферментів.

Деякі ферменти крім активних центрів мають додаткові, так звані алостеричні регуляторні центри. Біосинтез ферментів знаходиться переважно під контролем генів. Розрізняють *конститутивні ферменти*, що постійно присутні в клітинах, та *індуковані ферменти*, біосинтез яких активується під впливом відповідних субстратів. Деякі функціонально взаємозв'язані ферменти утворюють в клітині структурно-організовані поліферментні комплекси. Багато ферментів разом з ферментними комплексами міцно зв'язані у мембранах клітин або їх органоїдах і беруть участь у активному транспорті речовин через мембрани.

Характерною особливістю *двокомпонентних ферментів* є те, що ні білкова частина, ні додаткова група окремо не мають помітної каталітичної активності. Тільки їх комплекс має ферментативні властивості. При цьому білок різко підвищує каталітичну активність додаткової групи, властиву їй у вільному стані у дуже малому ступені; додаткова ж група стабілізує білкову частину і робить її менш уразливою до денатуруючих агентів. Та-

ким чином, хоча безпосереднім виконавцем каталітичної функції є простетична група, що утворює каталітичний центр, її дія неможлива без участі поліпептидних фрагментів білкової частини ферменту. Більше того, в апоферменті є ділянка, що характеризується специфічною структурою, яка вибірково зв'язує кофермент. Це так званий кофермент-зв'язуючий домен; його структура у різних апоферментів, що з'єднуються із одним і тим же коферментом, дуже схожа. Такі, наприклад, просторові структури нуклеотид-зв'язуючих доменів ряду дегідрогеназ.

По-іншому йде справа у *однокомпонентних ферментів*, що не мають додаткової групи, яка могла б входити у безпосередній контакт із перетворюваною сполукою. Цю функцію виконує частина білкової молекули, яка називається каталітичним центром. Припускають, що каталітичний центр однокомпонентного ферменту є унікальним поєднанням декількох амінокислотних залишків, розташованих в певній частині білкової молекули.

Частіше за все в каталітичних центрах однокомпонентних ферментів зустрічаються залишки гістидину, треаніну, аргініну, цистеїну, аспарагіну, глютамінової кислоти та тирозину. Радикали перерахованих амінокислот виконують ту ж функцію, що і кофермент у складі двокомпонентного ферменту. Амінокислотні залишки, які створюють каталітичний центр однокомпонентного ферменту, розташовані у різних точках єдиного поліпептидного ланцюгу. Тому каталітичний центр виникає в той момент, коли білкова молекула набуває властивої їй третинної структури. Отже, зміна третинної структури ферменту під впливом тих або інших чинників може призвести до деформації каталітичного центру і зміни ферментативної активності.

Окрім каталітичного центру, утвореного поєднанням амінокислотних радикалів або приєднанням кофермента, у ферментів розрізняють ще два центри: *субстратний* та *алостеричний*. Під субстратним центром

розуміють ділянку молекули ферменту, що відповідає за приєднання речовини (субстрату), яка піддається ферментативному перетворенню. Часто цю ділянку називають «якірним майданчиком» ферменту, де, як судно на якір, стає субстрат. У багатьох випадках прикріплення субстрату до ферменту йде за рахунок взаємодії з аміногрупою радикалу лізину, розташованого в субстратному центрі. Цю ж роль може виконувати карбоксильна група глутаміну, а також сульфгідрильна група цистеїну. Проте, роботи останніх років показали, що набагато більше значення тут мають сили гідрофобних взаємодій і водневі зв'язки, що виникають між радикалами амінокислотних залишків субстратного центру ферменту і відповідними угрупованнями в молекулі субстрату.

2.9. Номенклатура ферментів

Ферментологія дуже довго не мала в своєму розпорядженні суворо встановленої наукової номенклатури ферментів. Найменування ферментам давали за випадковими ознаками (тривіальна номенклатура), за назвою субстрату (раціональна), за хімічним складом ферменту, нарешті, за типом каталізованої реакції та характером субстрату.

Прикладами тривіальної номенклатури можуть слугувати назви таких ферментів, як пепсин (від грец. *pepsis* – травлення), трипсин (від грец. *trypsis* – розріджую) і папаїн (від назви динного дерева *Carica papaya*, із соку якого він виділений). За своєю дією усі ці ферменти є протеолітичними, тобто прискорюють гідроліз протеїнів (білків). Характерна назва була надана групі забарвлених внутрішньоклітинних ферментів, які прискорюють окисно-відновні реакції у клітині, – цитохроми (від лат. *citos* – клітина та *chroma* – колір).

Найбільшого поширення набула раціональна номенклатура, згідно з якою назва ферменту складається з назви субстрату з характерним закінченням – *аза*. Вона була запропонована більше сторіччя тому, у 1883 р. Е. Дюкло – учнем Л. Пастера. Так, фермент, який прискорює реакцію гід-

ролізу крохмалю, одержав назву амілаза (від грец. *амілон* – крохмаль), гідролізу жирів – ліпаза (від грец. *ліпос* – жир), білків (протеїнів) – протеаза, сечовини – уреаза (від грец. *уреа* – сечовина) і т.д.

Коли методами аналітичної хімії були досягнуті відомі успіхи у розшифруванні хімічної природи простетичних груп, виникла нова номенклатура ферментів. Їх почали іменувати за назвою простетичної групи, наприклад, гемінфермент (простетична група – гем), піридоксальфермент (простетична група – піридоксаль) і т.ін. Потім у назві ферменту стали вказувати як на характер субстрату, так і на тип реакції, яку він каталізує. Наприклад, фермент, що віднімає Гідроген від молекули бурштинової кислоти, називають сукцинатдегідрогеназою, підкреслюючи цим одночасно і хімічну природу субстрату, і відняття атомів Гідрогену в процесі ферментативної дії.

У 1961 р. Міжнародна комісія з номенклатури ферментів представила V Міжнародному біологічному конгресу проект номенклатури, побудований на суворо наукових принципах. Проект був затверджений конгресом, і нова номенклатура міцно увійшла у ферментологію. Згідно з цією (Московською) номенклатурою, назву ферментів складають з хімічної назви субстрату і назви тієї реакції, яка здійснюється цим ферментом. Якщо хімічна реакція, яка прискорена ферментом, супроводжується перенесенням угруповання атомів від субстрату до акцептора, назва ферменту включає також хімічне найменування акцептору. Наприклад, піридоксальфермент, який каталізує реакцію переамінування між *L*-аланіном та α -кетоглутаровою кислотою, називається *L*-аланін: 2-оксо-глутарат амінотрансфераза. У цій назві відзначені відразу три особливості: 1) субстратом є *L*-аланін; 2) акцептором слугує 2-оксоглутарова кислота; 3) від субстрату до акцептора передається аміногрупа.

У зв'язку із значним ускладненням наукових назв у новій номенклатурі допускається збереження разом з новими застарілих тривіальних, ро-

бочих назв ферментів. Міжнародною комісією був складений детальний список усіх відомих на той час ферментів, істотно доповнений у 1972 р. при перегляді як класифікації, так і номенклатури деяких ферментів, де поряд із новою науковою назвою кожного ферменту наведено стару, а також вказаний хімізм реакції, що каталізується ферментом, а в деяких випадках – і природа ферменту. Таким чином, виключається можливість плутанини у найменуванні ферментів. У 1964 р. список містив 874 ферменти; у подальшому він був істотно доповнений і зріс до 1770 ферментів у 1972 р. та до 2003 ферментів – у 1979 р.

Кожному ферменту у вказаному списку присвоєно індивідуальний номер (шифр). Наприклад, шифр уреазы виражається цифрами 3.5.1.5. Це означає, що уреазы відноситься до 3-го класу (перша цифра) ферментів, всі представники якого каталізують реакції гідролізу. Друга цифра (5) говорить про те, що уреазы належить до 5-го підкласу цього класу, куди зараховані усі ферменти, які прискорюють гідроліз С–N-зв'язків, що не є пептидними. Третя цифра шифру (1) вказує на приналежність уреазы до підрозділу 5-го підкласу, члени якого прискорюють гідроліз лінійних амідів, а остання цифра (5) – порядковий номер уреазы у цьому підрозділі.

2.10. Класифікація ферментів

За першою в історії вивчення ферментів класифікацією їх розділили на дві групи: *гідролази*, які прискорюють гідролітичні реакції, і *десмолази*, які прискорюють реакції негідролітичного розпаду. Потім була зроблена спроба розбити ферменти на класи за числом субстратів, що беруть участь у реакції. Відповідно до цього ферменти класифікували на три групи:

1. Перетворення двох субстратів, що каталізують одночасно в обох напрямках ($A + B \leftrightarrow C + D$);
2. Ферменти, що прискорюють перетворення двох субстратів в прямій реакції і одного в зворотній ($A + B \leftrightarrow C$);

3. Ферменти, що забезпечують каталітичну видозміну одного субстрату як у прямій, так і у зворотній реакції ($A \leftrightarrow B$).

Одночасно розвивався напрямок, де за основу класифікації ферментів був встановлений тип реакції, що піддається каталітичному взаємозв'язку. Разом із ферментами, які прискорюють реакції гідролізу (гідролази), були вивчені ферменти, що беруть участь у реакціях перенесення атомів і атомних груп (трансферази), в ізомеризації (ізомерази), розщеплюванні (ліази), різних синтезах (синтетази) і т.д. Цей напрямок у класифікації ферментів став найбільш плідним, оскільки об'єднував ферменти у групи не за надуманими, формальними ознаками, а за типом найважливіших біохімічних процесів, що лежать в основі життєдіяльності будь-якого організму. За цим принципом усі ферменти поділяють на шість класів:

1. Оксидоредуктази, або окисно-відновні ферменти. Це велика група, що складається з 180-200 ферментів. Оксидоредуктази каталізують окиснення або відновлення різних хімічних речовин. Так, фермент, що відноситься до цього класу алкогольдегідрогеназа каталізує відновлення оцтового альдегіду у етиловий спирт та відіграє значну роль в процесі спиртового бродіння. Фермент ліпооксигеназа окиснює киснем повітря ненасичені жирні кислоти та їх естери. Його дія є однією з причин згіркнення борошна та крупи. Він бере участь у руйнуванні каротиноїдів при сушінні та зберіганні продуктів рослинного походження. Фермент монофенолмонооксигеназа окиснює амінокислоту тирозин з утворенням меланінів, які мають темний колір. Дією цього ферменту пояснюється темний колір житнього хліба, потемніння макаронів при сушінні та ін.

2. Трансферази. Представники цієї групи ферментів каталізують перенесення різних груп від однієї молекули до іншої, наприклад фосфорилування, переамінування. Ці ферменти беруть участь у складних біохімічних процесах, що перебігають у клітинах.

3. Гідролази. Ферменти цієї групи відіграють особливо важливу роль

у травленні та у процесах харчової технології. До них відноситься велика група протеолітичних ферментів, що каталізують гідроліз білків і пептидів. Велике значення в біохімії травлення належить протеолітичним ферментам (пепсин, хімотрипсин, амінопептидаза, карбоксипептидаза та ін.), що здійснює деполімеризацію молекул білка по мірі їх руху по травному тракту. Протеолітичні ферменти беруть участь у процесах, що відбуваються при переробці м'яса, в хлібопеченні. За їх допомогою проводять пом'якшення м'яса та шкіри, їх застосовують при отриманні сирів. Дія протеаз дуже вибіркова. Одні протеази руйнують пептидні зв'язки всередині молекул білка (ендопептидази) та у кінці їх молекул (екзопептидази), тобто відщеплюють амінокислоти з N- або C-кінця, інші розщеплюють пептидні зв'язки тільки між окремими амінокислотами. Так, трипсин руйнує пептидний зв'язок між лізином або аргініном та іншими амінокислотами, пепсин – між амінокислотами з гідрофобними радикалами, наприклад між валіном і лейцином. Фермент хімотрипсин гідролізує пептидний зв'язок між триптофаном, тирозином та іншими амінокислотами. Отже, для повного гідролізу білкової молекули необхідний цілий набір ферментів. Ренін, що належить до розряду сичужних ферментів, викликає згортання молока. Він широко застосовується при виготовленні сирів.

Представниками групи гідролаз є карбогідрази, які каталізують гідроліз полісахаридів; важливе місце серед них займають: мальтаза, що розщеплює α -глікозидний зв'язок в дисахаридах (мальтозі), інвертаза, що розщеплює сахарозу на глюкозу і фруктозу. Амілази – група ферментів, які гідролізують крохмаль з утворенням декстринів і мальтози. За характером дії розрізняють α -амілазу, β -амілазу та глюкоамілазу. Окремо ні α -амілаза, ні β -амілаза не можуть забезпечити повний гідроліз крохмалю чи глікогену з утворенням мальтози. Спільно вони здійснюють його на 95%. α -Глюкоамілаза забезпечує гідроліз крохмалю з утворенням головним чином глюкози та невеликої кількості декстринів. Целюлази проводять гідроліз це-

люлози, геміцелюлаза – геміцеллюлоз. Гідроліз пектинових речовин протікає за участю пектолітичних ферментів. Їх застосування дає можливість підвищувати вихід продукту та освітлювати плодово-ягідні соки. Ферменти, що здійснюють гідроліз полісахаридів (особливо амілази), відіграють важливу роль у хлібопеченні, технології цукристих речовин, бродильного виробництва, отриманні спирту. До гідролаз відноситься ліпаза, що каталізує гідроліз жирів з утворенням вільних жирних кислот та гліцерину. Цей процес має велике значення при зберіганні зерна і зернопродуктів, олійної і тваринної сировини.

4. Ліази. Ці ферменти каталізують реакції розщеплення між атомами Карбону та Оксигену, Карбону та Нітрогену, Карбону та галогенів. До ферментів цієї групи відносяться декарбоксилази, які відщеплюють молекулу CO_2 від органічних кислот.

5. Ізомерази. Ферменти цієї групи каталізують структурні зміни в межах однієї молекули органічної сполуки. Їх використовують при отриманні глюкозо-фруктозних сиропів.

6. Лігази. Ці ферменти каталізують утворення зв'язків (C–O), (C–S), (C–N), (C–C). Саме до цієї групи відносяться ферменти, що беруть участь у перетвореннях амінокислот (аспарагінсинтетаза, глютамінсинтетаза та карбоксилаза), а також у подовженні карбонового ланцюга органічних сполук. На даний час налагоджено промислове виробництво цілої низки ферментних препаратів. Застосування їх у харчовій промисловості дає можливість вдосконалити технологію та отримувати нові продукти з великим економічним ефектом.

Слід зауважити, що кожний клас ферментів у свою чергу поділяється на певні підкласи. Так, оксидоредуктази класифікують за природою хімічних груп, які окиснюються в молекулі донора (наприклад спиртова, альдегідна або кетонна група, аміногрупа тощо). Трансферази класифікують за типом залишків, які транспортуються (ацильні, альде-

гідні, глікозильні групи та ті, що містять атоми Сульфуру, Фосфору тощо). Гідролази поділяють за типом зв'язків, які гідролізуються (глікозидні, альдегідні, амідні тощо), ліази – за природою зв'язків, які розриваються (C–C, C–O, C–N, C–S-ліази тощо); ізомерази – за типом реакції ізомеризації (рацемізація, *цис/транс*-ізомеризація, внутрішньо-молекулярна міграція груп); лігази – за природою зв'язків, що утворюються (C–C, C–O, C–N, C–S) та ін.

2.11. Особливості ферментативних реакцій

Ферментативний каталіз істотно відрізняється від неферментативного, у зв'язку із чим у кінетиці ферментативних реакцій спостерігаються цілком особливі закономірності. Вони дозволяють виділити ферментативну кінетику в самостійний розділ, у якому вивчається залежність швидкості реакцій, що каталізуються ферментами, від концентрації реагуючих речовин (ферментів та субстратів), а також від умов їх взаємодії (температури, кислотності середовища, концентрації коферментів і кофакторів, наявності активаторів чи інгібіторів).

Вивчення кінетики ферментативної дії має важливе теоретичне значення, оскільки лише з позицій кінетики можна підійти до вирішення питання про механізм ферментативної дії ензиму. У той самий час це питання також є необхідним із практичних позицій, оскільки лише маючи певні відомості про кінетику дії того чи іншого ферменту, можна підібрати оптимальні умови для його роботи, а також впливати на його активність, що проявляється у заданому напрямку на різних стадіях технологічного процесу. Наявність ферменту у розчині чи екстракті можна визначити, виходячи із швидкості реакції, яку він каталізує, про яку можна судити, спостерігаючи за накопиченням продуктів реакції, або за витратою субстрату. У більшості випадків ферментативні реакції є реакціями змішаного порядку.

Приклад типової кривої перебігу ферментативної реакції наведено на рис. 2.6. Таким чином, перебіг ферментативної реакції з часом не може бути описаний одним математичним рівнянням, оскільки усі ферментативні реакції із самого початку свого протікання (коли є надлишок субстрату та утворилося

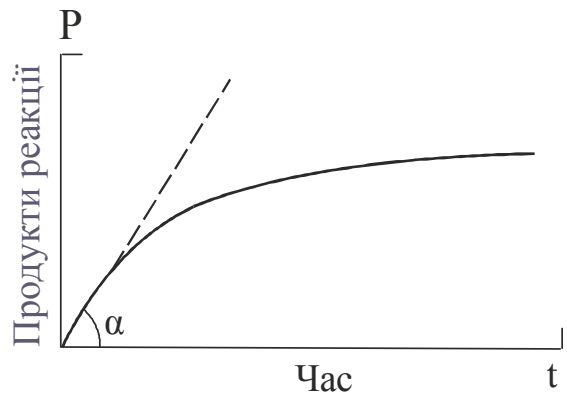
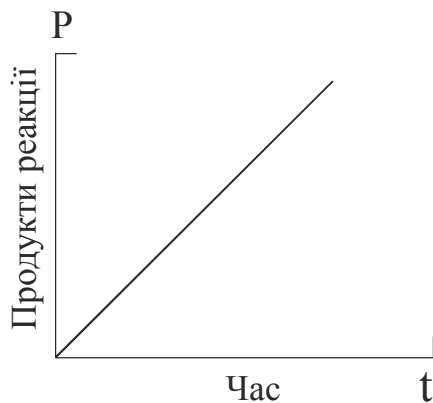
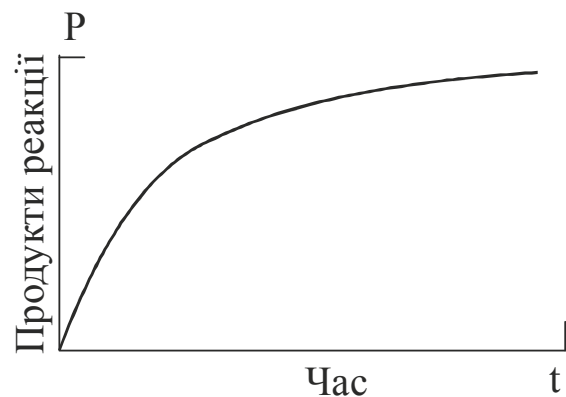


Рис. 2.6. Крива перебігу ферментативної реакції з часом

мало продуктів реакції) є реакціями нульового порядку, і лише потім вони набувають характеру реакції першого чи другого порядку. Швидкість реакції нульового порядку з часом не змінюється, а залежність кількості утвореного продукту з часом залишається прямо пропорційною (рис. 2.7а). Для реакцій першого порядку швидкість реакції в кожен даний момент часу пропорційна концентрації субстрату, що є у наявності, а отже, спостерігається постійне падіння швидкості реакції з часом (рис. 2.7б).



а



б

Рис. 2.7. Графічне зображення реакції нульового (а) та першого (б) порядку

Для того щоб правильно визначити потенційні можливості даного ферменту як каталізатора, потрібно враховувати швидкість ферментативної реакції у той момент часу, коли фактори, що її уповільнюють

(нестача субстрату, специфічне інгібування продуктами реакції, часткова теплова денатурація ферменту та ін.), не встигають проявити свою дію і спостерігається пряма пропорційна залежність між концентрацією продуктів реакції та часом. Така швидкість називається початковою швидкістю ферментативної реакції і позначається V_0 . На практиці V_0 визначають графічним методом, для чого будують криву протікання ферментативної реакції з часом. Початкова швидкість визначається як тангенс кута нахилу дотичної, яка проведена із початку координат до кривої протікання ферментативної реакції. При роботі з конкретним ферментом тривалість реакції необхідно обирати виходячи з експериментальних даних, за початковою швидкістю реакції.

2.12. Інгібітори ферментів

Речовини, які підвищують активність ферментів, називаються **активаторами**, а ті, що пригнічують дію ферментів, – **інгібіторами**, або паралізаторами. За характером дії інгібітори ферментів поділяються на необоротні та оборотні.

Необоротні інгібітори хімічно модифікують важливі для активності функціональні групи ферменту. Природно, що після видалення вільного інгібітору шляхом діалізу активність модифікованого ферменту не відновлюється. У ряді випадків її можна відновити, видаливши необоротний інгібітор шляхом відповідної хімічної реакції. Цей процес прийнято називати реактивацією.

Оборотні інгібітори взаємодіють з ферментом без утворення ковалентного зв'язку. Активність ферменту повністю відновлюється лише після видалення вільного інгібітора шляхом діалізу. Розрізняють два види оборотних інгібіторів – **конкурентні** та **неконкурентні**. Характерна риса конкурентного інгібування полягає у тому, що його ефективність залежить від співвідношення концентрацій субстрату та інгібітору (а не від абсолю-

тної концентрації останнього). Неконкурентні інгібітори можуть оборотно зв'язуватися як з вільним ферментом, так і з фермент-субстратним комплексом. Ефективність неконкурентного інгібування визначається концентрацією інгібітору і не залежить від співвідношення концентрацій інгібітору та субстрату.

Багато ферментів активуються в присутності сполук, що містять сульфгідрильну групу ($-SH$). До них належить амінокислота цистеїн та трипептид глутатіон, що містяться у кожній живій клітині. Особливо сильну активуючу дію глутатіон надає деяким протеолітичним та окисним ферментам.

Неспецифічне пригнічування (інгібування) ферменту відбувається під дією різних речовин, що дають із білками нерозчинні осадки або блокують у них які-небудь важливі функціональні групи (наприклад, $-SH$). Існують більш специфічні інгібітори ферментів, пригнічування якими засноване на специфічному зв'язуванні цих інгібіторів з певними хімічними угрупованнями в активному центрі ферменту. Так, карбон (II) оксид специфічно інгібує ряд окисних ферментів, що містять в активному центрі атоми Феруму або Купруму. Зв'язуючись з цими металами, молекула CO блокує активний центр ферменту і, внаслідок цього він втрачає свою каталітичну активність. Розрізняють оборотне і необоротне інгібування ферментів. У разі оборотного інгібування (наприклад, при дії малонової кислоти на сукцинатдегідрогеназу) активність ферментів відновлюється при видаленні інгібітору діалізом чи іншим способом. При необоротному інгібуванні дія інгібітору, навіть при дуже низьких його концентраціях, посилюється із часом і врешті-решт настає повне гальмування активності ферменту. Інгібування ферменту може бути конкурентним і неконкурентним. При конкурентному інгібуванні інгібітор і субстрат конкурують між собою, прагнучи витіснити один одного із фермент-субстратного комплексу. Дія конкурент-

тного інгібітору знімається високими концентраціями субстрату, тоді як дія неконкурентного інгібітору в цих умовах зберігається. Дія на фермент специфічних активаторів та інгібіторів має величезне значення для регулювання ферментативних процесів у організмі.

2.13. Використання ферментів у харчових технологіях

Ферментативні процеси є основою багатьох виробництв: хлібопечення, виноробства, пивоваріння, сироваріння, виробництва спирту, чаю, оцту та ін. З початку ХХ ст. за пропозицією японського ученого *Д. Такаміне* у спиртовій та інших галузях промисловості почалося застосування ферментних препаратів, одержуваних із цвілевих грибів чи бактерій. У ряді країн цей спосіб широко використовується для оцукрювання за допомогою амілаз крохмальвмісної сировини з метою отримання кристалічної глюкози або її зброджування у спирт. Концентровані амілолітичні препарати ферментів із цвілевих грибів при додаванні у тісто приводять до поліпшення якості хліба і прискорення технологічного процесу. Препарати мікробних пектолітичних ферментів широко використовують при виробництві соків (вихід плодового соку підвищується на 10-20%).

Використання реакцій, які ферментативно каталізуються, у харчових технологіях здійснювалося із давніх часів. Ферменти або є невід'ємною частиною їжі, або можуть бути отримані за допомогою мікроорганізмів. Однак, використання збагачених чи очищених ферментних препаратів тваринного, рослинного або, тим більш, мікробного походження, є наведеною практикою. Більшість з цих ферментів виробляється із мікроорганізмів, які були генетично модифіковані.

Ферментні препарати дозволяють значно прискорювати технологічні процеси, збільшувати вихід готової продукції, підвищувати її якість, економити цінну сільськогосподарську сировину, покращувати умови праці

на виробництві. У технології харчових продуктів застосовуються ферментні препарати з амілолітичною, протеолітичною, ліполітичною, оксидазною активністю. Вони використовуються у пивоварінні, виноробстві, виробництві спирту, фруктових і овочевих соків, хлібопеченні, виробництві дріжджів, сиру, м'ясо- та рибопродуктів, переробці крохмалю, виробництві білкових гідролізатів та інвертного сиропу (Додаток 1).

У основі промислової переробки крохмалю і крохмальвмісної сировини (картоплі, насіння хлібних злаків) лежить перетворення цього полісахариду в цукри і декстрини, які використовуються у виготовленні великої кількості харчових продуктів і напоїв, а також є джерелом вуглецю при ферментаціях. Ферментативний гідроліз крохмалю здійснюється за допомогою амілаз.

Основною операцією в технології хлібобулочних виробів є бродіння тіста, що викликається дріжджами; його мета – розпушування за рахунок вуглекислого газу, що виділяється при зброджуванні цукрів. У цьому процесі амілази відіграють вирішальну роль. Активність амілаз у борошні обумовлює його цукроутворюючу здатність; від неї залежить інтенсивність бродіння тіста, кількість залишкових цукрів у ньому і, зрештою, якість хлібобулочних виробів.

Гідроліз крохмалю в технології продуктів бродіння (пива та спирту) здійснюється під дією амілаз солоду. Для економії солоду у пивоварінні застосовують несолоджену сировину. Несприятливі зміни та ускладнення в процесі приготування пивного суслу на несолодженій сировині можна усунути за допомогою ферментних препаратів. Досягти найбільш повного перетворення крохмалю в технології спирту дозволяють грибні амілази.

Виробництво фруктозно-глюкозних сиропів у даний час набуло широкого розповсюдження у багатьох країнах світу. Каталізатором інверсії сахарози і полісахаридів при цьому є фермент інвертаза.

При переробці фруктів і овочів широко використовуються пектолітичні ферменти, що специфічно розщеплюють пектинові речовини. Основною метою у виробництві фруктових і овочевих пюре, соків, у виноробстві є розщеплення розчинного пектину та його попередника – нерозчинного протопектину, що приводить до руйнування міжклітинної структури та до істотного збільшення соковіддачі фруктів і овочів, які переробляються. До ферментів, що каталізують розщеплення пектинових речовин, відносяться пектинестерази, пектинази та пектинліази.

Із протеолітичних ферментів, що містяться у різних органах і тканинах тварин, широке застосування у харчовій промисловості одержали ренін і пепсин. Вони здатні розщеплювати казеїн молока і використовуються у виробництві сирів. З рослинних протеаз застосовують протеази насіння злаків, папаїн, бромелін та фіцін. Ці протеази мають більш широкую специфічність у порівнянні з реніном і пепсином. Їх використовують в переробці м'яса, риби, у хлібопеченні.

Оксидоредуктази відіграють важливу роль у формуванні смаку, кольору і аромату харчових продуктів, хоча деякі з них можуть справляти й негативний вплив. Зокрема, глюкозооксидаза дозволяє видаляти з продукту кисень та глюкозу, запобігаючи тим самим його окисненню. Під дією о-дифенолоксидази дубильні речовини чайного листа окиснюються киснем повітря до темно-забарвлених сполук, що визначають смак, колір і аромат чорного чаю. При цьому та ж дія о-дифенолоксидази у макаронних виробках призводить до їх небажаного потемніння.

Ліпооксигеназа відіграє негативну роль при зберіганні і переробці зерна, борошна та крупи, викликаючи їх згіркнення. Для його запобігання застосовують обробку зерна паром. Аскорбінооксидаза знижує вміст у плодах і овочах аскорбінової кислоти. Для зменшення активності ферменту використовують бланшування.

2.14. Перетворення білків харчової сировини під час виробництва та зберігання харчових продуктів

У процесі технологічної обробки харчових продуктів білки підлягають суттєвим змінам, які впливають на органолептичні властивості, біологічну цінність, структурно-механічні та інші показники якості продуктів. Глибина фізико-хімічних змін білків залежить від виду продукту, характеру зовнішнього впливу, концентрації білка. До основних змін білків харчових продуктів при різноманітних видах технологічної обробки відносяться денатурація та деструкція.

Денатурація. Нативна тривимірна структура білків підтримується різноманітністю внутрішньо- і міжмолекулярних сил. Будь-яка зміна умов середовища в технологічних потоках виробництва харчових продуктів впливає на нековалентні зв'язки молекулярної структури і призводить до руйнування четвертинної, третинної та вторинної структури. Руйнування нативної структури, що супроводжується втратою біологічної активності (ферментативної, гормональної), називають **денатурацією**. З фізичної точки зору денатурацію розглядають як порушення конформації поліпептидного ланцюга без зміни первинної структури. При денатурації білка відбуваються наступні основні зміни:

- різко зменшується розчинність білків;
- втрачається біологічна активність, яка призводить до інактивації ферментів та відмирання мікроорганізмів;
- знижується видова специфічність білків;
- збільшується активність деяких хімічних груп, що призводить до полегшення дії на білок протеолітичних ферментів;
- змінюється форма білкової молекули, відбувається її агрегація.

Більшість білків підлягають денатурації у присутності сильних мінеральних кислот або основ, при нагріванні, охолодженні, обробці поверхнево-активними речовинами (додецилсульфатом), сечовиною, гуанідіном,

солями важких металів (Ag^+ , Pb^{2+} , Hg^{2+}) або органічними розчинниками (етанолом, метанолом, ацетоном). Широке застосування кислот, основ, солей, органічних розчинників передбачається у практиці виділення білків із харчової сировини і готових продуктів, при вивченні їх властивостей та структурних особливостей, а також при екстракції і очищенні в технології виділення концентратів та ізолятів. Денатурація білків може викликатися і механічною дією (тиском, розтиранням, струшуванням, ультразвуком).

Денатуровані білки зазвичай менш розчинні у воді, оскільки їх поліпептидні ланцюги настільки сильно переплетені між собою, що ускладнюється доступ молекул розчинника до радикалів амінокислотних залишків. Значна частина білків підлягає денатурації при $60\text{-}80^\circ\text{C}$, однак зустрічаються і термостабільні білки, наприклад, α -лактоглобулін молока та α -амілази деяких бактерій. Підвищена стійкість білків до нагрівання часто обумовлюється наявністю у їх складі великої кількості дисульфідних зв'язків. Однак, ступінь денатуруючого впливу температури на білки залежить й від їх вологості, реакції середовища та його сольового складу, а також від присутності небілкових сполук. Наприклад, температура денатурації білків сої та соняшнику істотно знижується в присутності кислот жирного ряду, у кислому і вологому середовищі, але підвищується в присутності сахарози і крохмалю. Чинники, що викликають денатурацію білків, мають особливо важливе значення для регулювання активності ферментів. Будь-які дії, спрямовані на стабілізацію вторинної та третинної структури, приводять до підвищення активності ферментів, а ті, які руйнують нативну структуру, – до їх інактивації.

При температурі від $40\text{-}60$ до 100°C зі значною швидкістю відбувається взаємодія білків з відновлюючими вуглеводами, що супроводжується утворенням карбонільних сполук і темно-забарвлених продуктів – меланоїдинів (реакція Майяра). Сутність реакцій меланоїдиноутворення полягає у взаємодії групи $-\text{NH}_2$ амінокислот із глікозидним гідроксилом вуглеводів.

Здійснення вуглеводамінних реакцій є причиною не лише потемніння харчових продуктів, а й зменшення в них сухої речовини та втрати незамінних амінокислот (лізину, треоніну). Меланоїдини знижують біологічну цінність виробів, оскільки знижується засвоюваність амінокислот через те, що вуглеводамінні комплекси не піддаються гідролізу ферментами травного тракту. До того ж, кількість незамінних амінокислот зменшується. Це зменшення відбувається не лише за рахунок взаємодії їх з відновлюючими вуглеводами, але і за рахунок взаємодії між собою функціональних груп $-NH_2$ та $-COOH$ самого білка. Реакції протікають з утворенням внутрішніх ангідридів, циклічних амідів та ω, ϵ -ізопептидних зв'язків.

Теплова денатурація білків є одним з основних фізико-хімічних процесів, на яких базується випічка хліба, печива, бісквітів, тістечок, сухарів, сушіння макаронних виробів, отримання екструдатів та сухих сніданків, варіння, смаження овочів, риби, м'яса, консервування, пастеризація та стерилізація молока. Цей вид перетворень відноситься до корисних, оскільки він прискорює перетравлювання білків у шлунково-кишковому тракті людини (полегшуючи доступ до них протеолітичних ферментів) і обумовлює споживчі якості харчових продуктів (текстуру, зовнішній вигляд, органолептичні властивості). У зв'язку з тим, що ступінь денатурації білків може бути різним (від незначної до повної зміни розташування пептидних ланцюгів з утворенням нових ковалентних $-S-S-$ зв'язків), засвоюваність полімерів може не лише поліпшуватися, але і погіршуватися. Паралельно можуть змінюватися фізико-хімічні властивості білків.

Теплова денатурація білків має особливе практичне значення у харчовій технології. Ступінь теплової денатурації білків залежить від температури, тривалості нагріву та вологості. Про це слід пам'ятати при розробці режимів термообробки харчової сировини, напівфабрикатів, а іноді і готових продуктів. Особливу роль процеси теплової денатурації виконують

при бланшуванні рослинної сировини, висушуванні зерна, при випічці хліба, виготовленні макаронних виробів.

Деякі особливості має **денатурація білків у розчинах**. Якщо ми маємо справу із білковими розчинами (виробництво напоїв, молока), тоді денатурація розпочинається із дегідратації білкової молекули і переходу її у суспензію, тобто відбувається перетворення гідрофільного золю на гідрофобний. Денатуровані білки утримуються у стані суспензії завдяки власним електричним зарядам, які не дозволяють наближатися окремим молекулам білка. Денатурація розчинів ззовні характеризується появою помутніння. Коли сили міжмолекулярного притягання долають сили електростатичного відштовхування міцел, дегідратовані міцели злипаються і настає друга стадія – коагуляція. Денатурація у розчинах має оборотний характер і може відбуватися при будь-якому значенні рН. Коагуляція – необоротний процес, що найлегше протікає поблизу ізоелектричної точки.

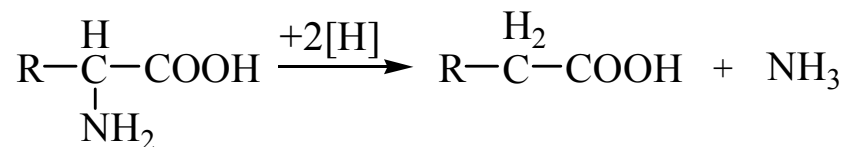
Денатурацію білків у розчинах викликає нагрівання, дія кислот, лугів, іонів важких металів, органічних розчинників та ін. Коагуляція білка є важливим процесом, що сприяє підвищенню стійкості напоїв.

Деструкція. Термічна обробка білкововмісної їжі при 100-120°C призводить не до денатурації, а до руйнування (деструкції) макромолекул білка із відщепленням функціональних груп, розщепленням пептидних зв'язків і утворенням гідроген сульфідів, амоніаку, вуглекислого газу та ряду більш складних сполук небілкової природи. Молекула білків під впливом ряду чинників може руйнуватися або вступати у взаємодію із іншими речовинами з утворенням нових продуктів.

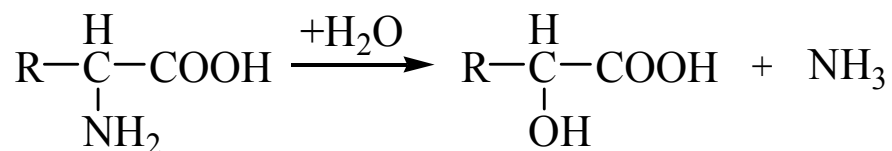
Утворення меланінів. При окисненні амінокислоти тирозину киснем повітря під дією ферменту поліфенолоксидази утворюються темно-зabarвлена сполука – меланін. Темний колір житнього хліба, потемніння макаронів у процесі сушки, потемніння розрізаних овочів і фруктів (картопля,

яблуку) пов'язані саме з цим процесом. Механізм реакції до кінця не вивчений, відомі лише перші етапи синтезу меланінів. Вільні амінокислоти, що утворилися при гідролізі білка, можуть піддаватися самостійному розпаду.

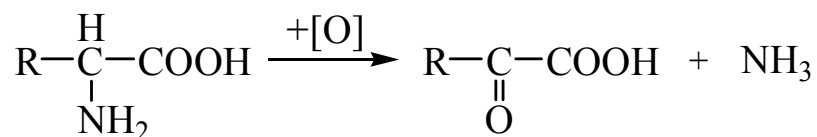
Дезамінування та декарбоксілювання амінокислот. Залежно від умов проходження, ці реакції можуть привести до утворення з амінокислот великої кількості безнітрогенних сполук. Ці процеси відбуваються у виробництві напоїв, сирів і сприяють утворенню специфічного аромату та смаку. В результаті відновного дезамінування амінокислот утворюються жирні кислоти:



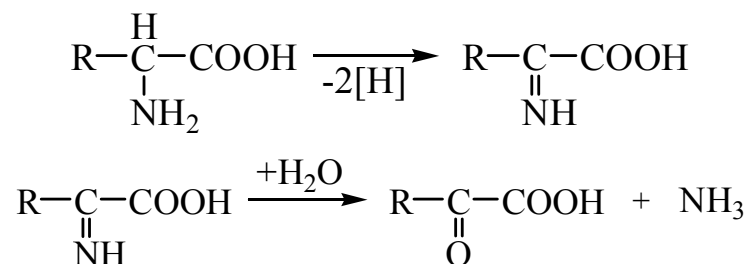
Гідролітичне дезамінування амінокислот викликає утворення оксикислот:



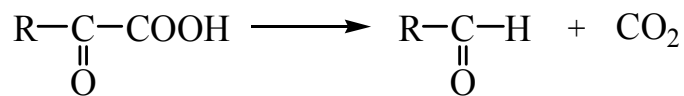
У процесі окисного дезамінування амінокислот утворюються кетокислоти:



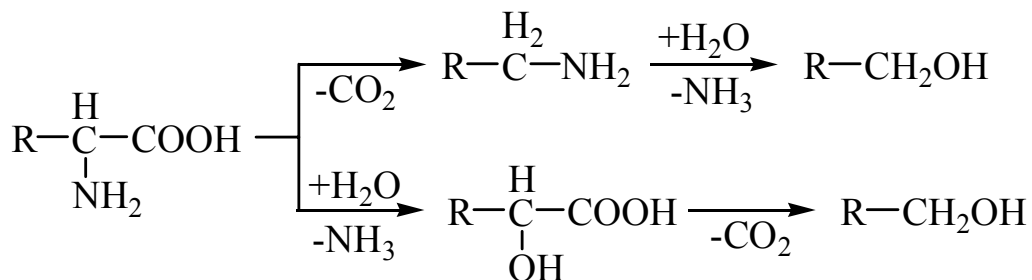
У даному випадку реакція відбувається у два етапи – через утворення імінокислоти:



У результаті наступного декарбоксілювання із кетокислоти може утворитися альдегід:



Амінокислоти беруть участь в утворенні сивушних спиртів:



Серед продуктів термічного розпаду білків зустрічаються сполуки, які надають їм мутагенних властивостей. Термічно індуковані мутагени утворюються у білкововмісній їжі в процесі її обсмажування в олії, випічки, копчення в диму та сушіння. Мутагени містяться в бульйонах, смаженій яловичині, свинині, домашній птиці, смажених яйцях, копченій та в'яленій рибі. Деякі з них викликають спадкові зміни у ДНК, і їх вплив на здоров'я людини може бути від незначного до фатального.

Як свідчать результати досліджень, найбільш важливі фактори формування мутагенних хімічних речовин – це температура та тривалість процесу кулінарної обробки. Мутагенна активність м'ясного фаршу, обробленого основним способом при 200°C, майже у 2 рази вища, ніж у такого ж зразку, але обробленого при 150°C. Крім того, рівень мутагенів суттєво збільшується у випадку здійснення процесу протягом більш ніж 10 хвилин.

Токсичні властивості білків при термічній обробці понад 200°C чи при більш низьких температурах, але у лужному середовищі, можуть обумовлюватися не лише процесами деструкції, а й реакціями ізомеризації залиш-

ків амінокислот із L- в D-форму. Присутність D-ізомерів знижує засвоюваність білків.

Гідроліз білків під дією ферментів. Важливе значення у харчовій технології має розщеплення білків під дією відповідних ферментів на пептиди і, зрештою, на амінокислоти. Процес гідролізу білка відбувається при дозріванні м'яса та сиру, позитивно впливаючи на їх смак, запах та засвоюваність організмом.

Гниття білка. Під дією гнильних бактерій розпад білка йде значно глибше, амінокислоти руйнуються до амоніаку, азоту і білкових отрут – індолу, меркаптану. Цей процес називається гниттям білків. Гнильні бактерії бувають аеробними та анаеробними. Останні зустрічаються у м'ясних і рибних консервах із порушеним режимом стерилізації. Прикладом може слугувати паличка бутулінус, що виділяє сильний токсин (мікробну отруту). За наявності у молоці гнильних бактерій і мікрококів відбувається розпад білків молока і з'являється неприємний гіркий присмак.

2.15. Лабораторна робота №2

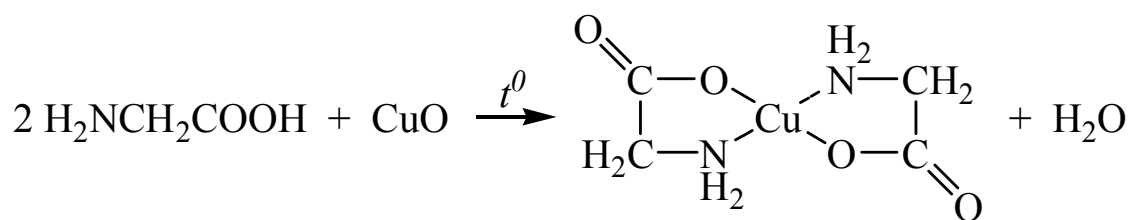
Білкові речовини

Дослід 1. Утворення солі купрум (II) аміноацетатної кислоти

Реактиви, посуд та обладнання: купрум (II) оксид; 2%-вий розчин аміноацетатної кислоти (гліцину); 10%-вий розчин натрій гідроксиду; стакан з крижаною водою; пробірки; штатив для пробірок; пробіркотримач; пальник; лопатка для насипання сухих речовин.

У пробірці нагрівають при струшуванні суміш 0,5 г купрум (II) оксиду та 2-3 мл 2%-вого розчину аміноацетатної кислоти. Через 2-3 хвилини пробірку ставлять у штатив. Після відстоювання добре видно синє забарвлення розчину. Відливають приблизно 0,5 мл розчину та додають до нього 1-2 краплі 10%-вого розчину натрій гідроксиду. Чи випадає осад купрум

(II) гідроксиду? Решту рідини зливають у пробірку та охолоджують її у стакані з крижаною водою. Поступово випадають кристали важкорозчинної солі купрум (II) аміноацетатної кислоти:

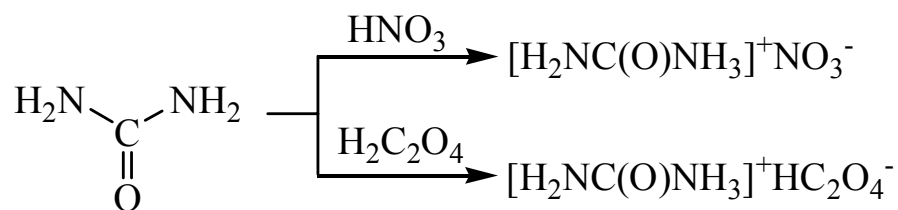


У комплексній солі купрум (II) аміноацетатної кислоти двовалентний купрум, зв'язаний ковалентними зв'язками з атомами Оксигену карбоксильних груп та додатковими зв'язками з неподіленими парами електронів аміногруп. У розчині відсутні іони Cu^{2+} , тому при додаванні розчину лугу осад купрум (II) гідроксиду не утворюється.

Дослід 2. Утворення солей сечовини

Реактиви, посуд та обладнання: сечовина (крист.); нітратна кислота (конц.); розчин оксалатної кислоти (насич.); пробірки; штатив для пробірок; лопатка для насипання сухих речовин.

У пробірку поміщають 0,5 г кристалічної сечовини та поступово додають воду до повного її розчинення. Отриманий концентрований розчин ділять на дві частини. До однієї частини розчину додають декілька крапель концентрованої нітратної кислоти, до іншої – декілька крапель насиченого розчину оксалатної кислоти. У обох випадках випадають осад важкорозчинних солей сечовини:

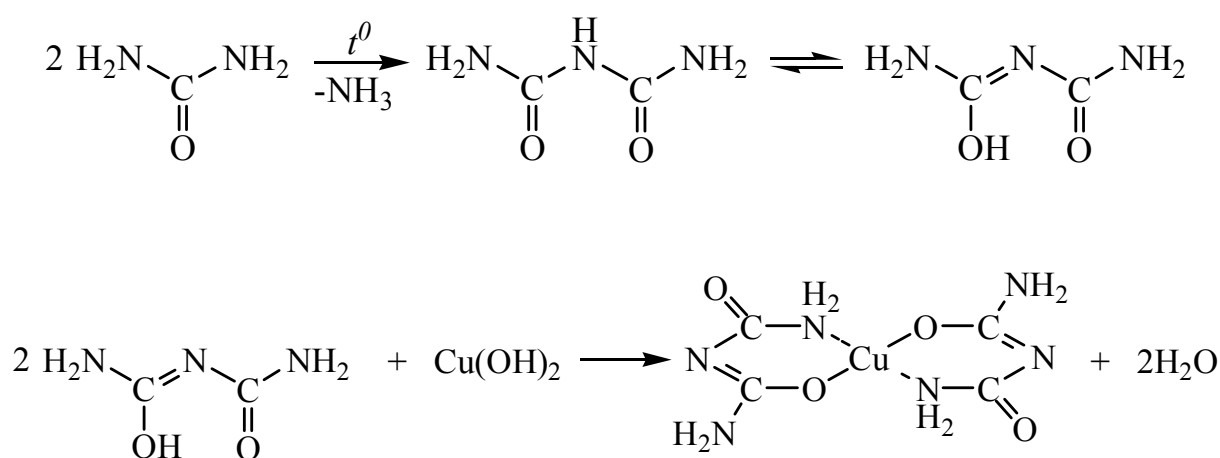


Сечовина має слабо виражені основні властивості, які виявляються у здатності утворювати солі з одним еквівалентом кислоти.

Дослід 3. Утворення біурету сечовини

Реактиви, посуд та обладнання: сечовина (крист.); 10%-вий розчин натрій гідроксиду; 1%-вий розчин купрум (II) сульфату; універсальний індикаторний папір; пробірки; штатив для пробірок; пробіркотримач; пальник; лопатка для насипання сухих речовин.

У сухій пробірці нагрівають 0,2 г сечовини. Спочатку вона плавиться (133°C), потім при подальшому нагріванні розкладається з виділенням амоніаку, який відкривають за запахом (обережно!) та посинінням вологого червоного лакмусового папірця, піднесеного до отвору пробірки. Через деякий час розплав у пробірці твердне, не дивлячись на подальше нагрівання. Пробірку охолоджують, додають 1-2 мл води і при слабкому нагріванні розчиняють біурет. У розчині, окрім останнього, міститься невелика кількість важкорозчинної у воді ціанурової кислоти, тому розчин виходить каламутним. Коли осад осяде, зливають з нього розчин біурету у іншу пробірку, додають декілька крапель 10%-вого розчину натрій гідроксиду та 1-2 краплі 1%-вого розчину купрум (II) сульфату. Розчин забарвлюється у рожево-фіолетовий колір. Надлишок купрум (II) сульфату маскує характерне забарвлення, викликаючи посиніння розчину, тому його слід уникати.



Дослід 4. Біуретова реакція білків

Реактиви, посуд та обладнання: розчин яєчного білка (альбумінів); розчин натрій гідроксиду (конц.); 1%-вий розчин купрум (II) сульфату; пробірка.

До 1-2 мл розчину яєчного білка додають рівний об'єм концентрованого розчину лугу і потім краплю (не більше!) розчину купрум (II) сульфату. Рідина забарвлюється у яскраво-фіолетовий колір.

Біуретова реакція відкриває наявність в молекулі білку пептидних груп (CONH). Продукти розпаду білка – поліпептиди також дають біуретову реакцію, причому колір мідних комплексів, що утворюються, визначається числом амінокислот, зв'язаних пептидним зв'язком. Дипептиди дають синє забарвлення, трипептиди – фіолетове, а тетрапептиди та більш складні структурні аналоги – червоне.

Дослід 5. Ксантопротеїнова реакція білків

Реактиви, посуд та обладнання: розчин яєчного білка (альбумінів); нітратна кислота (конц.); розчин натрій гідроксиду або амоніаку (конц.); пробірка; штатив для пробірок; пробіркодержач; пальник.

До 1 мл розчину яєчного білка додають 0,2–0,3 мл концентрованої нітратної кислоти; з'являється білий осад або каламутний розчин. Потім нагрівають суміш на пальнику до кипіння та кип'ятять протягом 1–2 хвилин; при цьому розчин та осад забарвлюються у яскраво-жовтий колір. При кип'ятінні осад може частково чи повністю розчинитися в результаті гідролізу, але характерне жовте забарвлення розчину зберігається. Охолодивши суміш, обережно, по краплях, додають до кислої рідини надлишок (1–2 мл) концентрованого розчину лугу. Випадає осад кислотного Альбумінату, утворюючи з надлишком лугу яскраво-оранжевий розчин.

Ксантопротеїнова реакція відкриває наявність у білку одиночних або

конденсованих ароматичних ядер, тобто залишків таких кислот, як фенілаланін, тирозин, триптофан. Жовте забарвлення з'являється у результаті нітрування цих ядер нітратною кислотою та утворення полінітросполук. Перехід у лужному середовищі жовтого забарвлення подібних речовин у оранжеве, обумовлений утворенням більш інтенсивно забарвлених аніонів. Слід відмітити, що замість їдкого лугу можна застосовувати й водний розчин амоніаку.

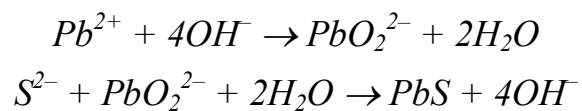
Дослід 6. Розщеплення білка дією лугу

Реактиви, посуд та обладнання: розчин яєчного білку (альбумінів); розчин натрій гідроксиду (конц.); 10%-вий розчин плюмбум (II) ацетату; пробірка; пробіркодержач; пальник.

До 1-2 мл досліджуваного розчину білка додають подвійний об'єм концентрованого розчину лугу та кип'ятять суміш протягом 2–3 хвилин. При цьому випадає осад (іноді незначний), що розчиняється при подальшому кип'ятінні, та виділяється амоніак, запах якого помітний при застосуванні не дуже розбавлених розчинів білка; особливо чітко виявляється амоніак при кип'ятінні з лугом проб розчинів яєчного білку, казеїну та витяжки з м'яса.

До одержаного гарячого лужного розчину додають 1 мл розчину солі плюмбуму (II) та знову кип'ятять суміш; білий осад плюмбум (II) гідроксиду, що утворюється спочатку, пізніше розчиняється у надлишку лугу. Якщо білок при дії лугу відщеплює атоми Сульфуру, то утворюється плюмбум (II) сульфід, що призводить до поступового забарвлення прозорої рідини у коричневий колір; при відносно високому вмісті відщеплюваного Сульфуру випадає темно-коричневий або чорний осад плюмбум (II) сульфід. Під дією їдких лугів білки зазнають глибоких змін. Крім часткового гідролізу за пептидними зв'язками, спостерігається відщеплення частини аміногруп у вигляді амоніаку. За наявності у моле-

кулі білка цистину або цистеїну з цих амінокислот поступово відщеплюється також Сульфур у вигляді гідроген сульфїду, що переходить у лужному середовищі у сульфїд; його утворення відкривається дією солей плюмбуму (II) за інтенсивним забарвленням нерозчинного у лугах плюмбум (II) сульфїду:



Білки при дії їдких лугів перетворюються на лужні альбумінати, що різко відрізняються від вихідного білку як за складом, так і за властивостями. Вони мають кислотний характер, добре розчинні у розчинах лугів та розбавлених кислотах і не випадають із лужних розчинів ні при кип'ятінні, ні при висолюванні.

2.16. Контрольні запитання

1. Основні біологічні функції білків у живому організмі.
2. Класифікація білків.
3. Рівні структурної організації білкових молекул.
4. Функціонально-технологічні властивості білків та способи їх регулювання.
5. Ферменти: будова, номенклатура та класифікація.
6. Особливості ферментативного каталізу.
7. Інгібітори ферментів.
8. Використання ферментів у харчових технологіях.
9. Перетворення білків харчової сировини під час виробництва та зберігання харчових продуктів.

РОЗДІЛ 3. ВУГЛЕВОДИ

3.1. Загальна характеристика та фізіологічні функції вуглеводів

Вуглеводи являють собою клас органічних сполук, які широко розповсюджені у природі та складають основну частину органічної речовини нашої планети. Вони утворюються у рослинах під час фотосинтезу завдяки асиміляції хлорофілом вуглекислого газу повітря під дією сонячного випромінювання та є першими органічними речовинами у кругообігу Карбону у природі. При цьому утворений кисень виділяється в атмосферу. Вуглеводи зустрічаються у вільному або зв'язаному вигляді у всіх клітинах – рослинних, тваринних та бактеріальних. Для живих організмів вуглеводи є джерелом та акумулятором енергії, в рослинах (на їх долю припадає до 90% сухої речовини) та деяких тваринах (до 20%) виконуючи роль опірною матеріалу, входять до складу багатьох природних сполук, виконують роль регуляторів важливих біохімічних реакцій.

Вуглеводи як первинні продукти фотосинтезу у кругообігу речовин в природі відіграють роль своєрідного містка між неорганічним та органічним світом. Хімічна енергія, яка виділяється при біологічному окисненні вуглеводів, використовується в реакціях синтезу, активному транспортуванні речовин через клітинні мембрани, перетворюється на механічну роботу. Проміжні продукти розпаду вуглеводів слугують вихідними речовинами для синтезу інших сполук, необхідних живій клітині.

Вуглеводи – складні природні сполуки, переважно солодкі на смак, хімічний склад більшості з яких відповідає загальній формулі $C_m(H_2O)_n$. До класу вуглеводів відносяться як низькомолекулярні речовини, які містять декілька атомів Карбону, так і речовини, молекулярна маса яких сягає декількох мільйонів. Вуглеводи є одним з перших класів органічних сполук, які було отримано у чистому вигляді та синтезовано хімічним шляхом, здійснено їх кислотний та ферментативний гідроліз, а також зброджування мікроорганізмами. Значний внесок у вивчення будови та хімії вуглеводів зробили О.М. Бутлеров, Е. Фішер, В. Хеуорс.

Серед найбільш важливих фізіологічних функцій, які виконують вуглеводи, слід відзначити наступні:

1. Енергетична функція. Вуглеводи є головним джерелом енергії для організму людини, необхідної для життєдіяльності усіх клітин, тканин та органів, особливо мозку, серця та м'язів. В результаті біологічного окиснення вуглеводів виділяється енергія, яка акумулюється у вигляді високоенергетичних сполук, наприклад, аденозинтрифосфатної кислоти (АТФ), що бере участь у забезпеченні значних енергетичних потреб організму. При окисненні 1 г вуглеводів в організмі утворюється 16,7 кДж енергії.

2. Пластична функція. Вуглеводи використовуються для синтезу нуклеїнових кислот, амінокислот, білків та входять до складу різних тканин і рідин, виконуючи роль пластичного матеріалу.

3. Захисна функція. Вуглеводи відіграють важливу роль у захисних реакціях організму, особливо у тих, що відбуваються у печінці. Наприклад, глюкуронова кислота в результаті поєднання з деякими токсичними речовинами утворює нетоксичні складні ефіри (естери), які розчиняються у воді та виводяться з організму разом із сечею. В'язучі секрети, які виділяються різними залозами та багаті на мукополісахариди, захищають стінки деяких порожнистих органів від механічних пошкоджень та від проникнення патогенних бактерій і вірусів. Вуглеводи також є головними компонентами оболонок рослинних тканин та беруть участь в утворенні клітинних мембран.

4. Опорна функція. Клітковина та інші полісахариди утворюють міцний каркас рослин, складають їх механічні та опорні тканини. Разом з білками вуглеводи входять до складу хрящів, які виконують опорну функцію у організмі людини та тварин.

5. Регуляторна функція. Вуглеводи протидіють накопиченню кетонних тіл, які утворюються при окисненні жирів. При порушенні обміну вуглеводів, наприклад, при цукровому діабеті, розвивається ацидоз. Моносахариди відіграють також значну роль у регуляції осмотичних процесів.

6. Спеціалізовані функції. Деякі вуглеводи та їх похідні проявляють біологічну активність, виконуючи в організмі спеціалізовані функції. Так, гепарин попереджає зсідання крові у судинах, а гіалуронова кислота запобігає прониканню бактерій через клітинну оболонку. Окремі представники вуглеводів виконують в організмі особливі функції, наприклад, беруть

участь у проведенні нервових імпульсів, утворенні антитіл, забезпечують специфічність груп крові, а також нормальну діяльність центральної нервової системи.

Запаси вуглеводів в організмі людини є обмеженими. Їх кількість зазвичай не перевищує 1% від маси тіла, а під час інтенсивної роботи цей запас досить швидко вичерпується. Тому вуглеводи повинні постійно надходити до організму з їжею. Добова потреба людини у вуглеводах складає 400-500 г. Вуглеводи за своєю харчовою цінністю поділяються на такі, що перетравлюються в організмі, та баластні речовини. До першого типу вуглеводів відносяться моносахариди, олігосахариди та полісахариди – глікоген, декстрини, крохмаль. До баластних речовин (або харчових волокон) відносяться такі полісахариди, як клітковина, геміцелюлози, пектинові речовини, інулін, слизи. Вуглеводи першого типу, за виключенням моносахаридів, у травному тракті розщеплюються, всмоктуються, а потім безпосередньо утилізуються у вигляді глюкози або перетворюються на жир чи відкладаються у вигляді глікогену на збереження.

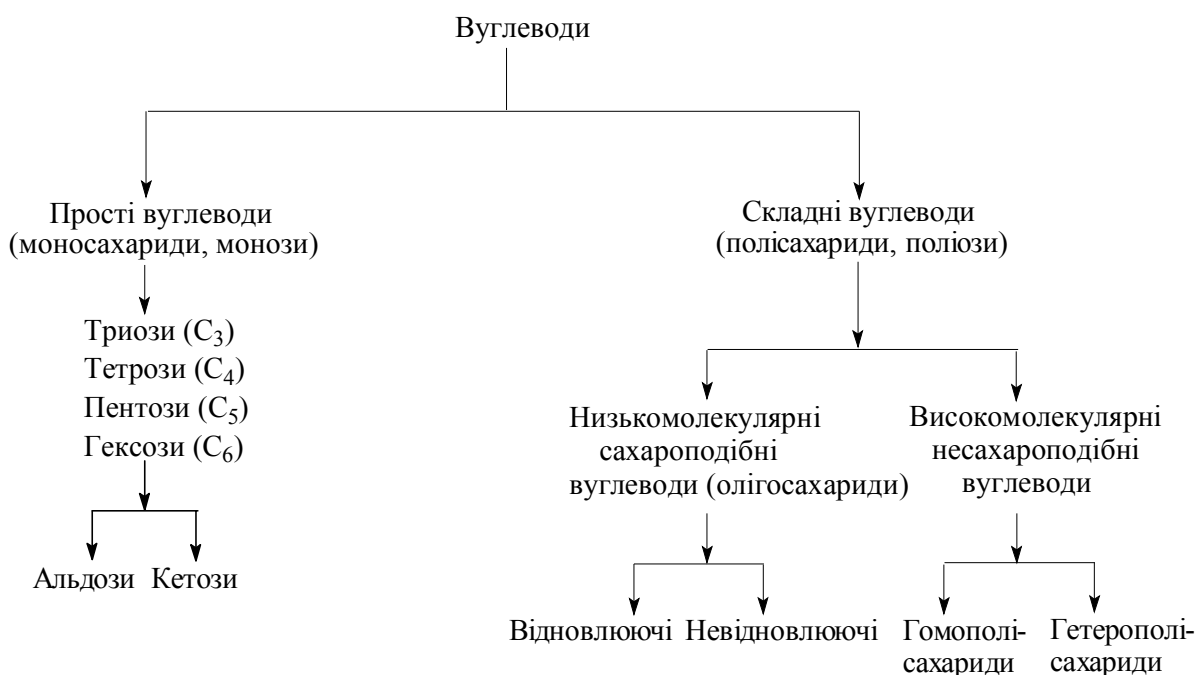
Вуглеводи у вигляді глюкози циркулюють у крові та забезпечують потреби організму. Нормальний вміст глюкози у крові складає 80-120 мг у 100 мл, або 3,3-5,5 од. Надлишок вуглеводів перетворюється на глікоген, який використовується в якості джерела глюкози при недостатній кількості вуглеводів у їжі. При порушенні функції підшлункової залози, яка починає виробляти недостатню кількість гормону інсуліну, процеси утилізації глюкози уповільнюються, рівень глюкози у крові значно підвищується та у сечі виявляють цукор. Таке захворювання має назву цукровий діабет. При цьому захворюванні вживають замість цукру фруктозу, тому що цей моносахарид більше затримується печінкою, у крові швидше вступає в процеси обміну та для його утилізації не потрібний інсулін.

3.2. Класифікація вуглеводів

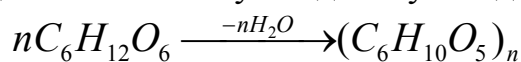
Усі вуглеводи можна поділити на дві великі групи.

1. Прості вуглеводи (моносахариди, або монози). Ці вуглеводи не підлягають гідролізу з утворенням більш простих вуглеводів. В залежності від числа атомів Карбону в молекулі моносахаридів розрізняють тетрази

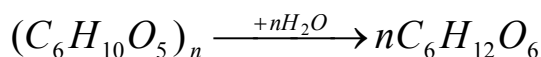
(C₄), пентози (C₅), гексози (C₆) та ін. Якщо моносахариди містять в своєму складі альдегідну групу, то вони належать до класу альдоз (альдегідоспиртів), якщо кетонну – до класу кетоз (кетоспиртів).



2. Складні вуглеводи (полісахариди, або поліози). Полісахариди отримують із моносахаридів при конденсації їх в процесі біосинтезу. Реакція супроводжується виділенням молекул води та ускладненням системи:



При гідролізі полісахаридів спостерігається зворотне явище: приєднання молекул води, розрив ланцюга в місцях знаходження оксигенових містків та спрощення системи:



Низькомолекулярні полісахариди містять в молекулі невелику кількість залишків моноз (від 2 до 10). Зазвичай вони добре розчиняються у воді, мають солодкий смак та яскраво виражену кристалічну будову. Одні з них (мальтоза, лактоза) легко відновлюють іони купруму (II) (фелінгову рідину), тому їх ще називають відновлюючими. Інші (сахароза, трегалоза) не відновлюють реактив Фелінга, і тому їх відносять до невідновлюючих олігосахаридів.

Високомолекулярні полісахариди містять до декількох десятків тисяч залишків моноз; зазвичай вони нерозчинні у воді, не мають яскраво вираженого смаку та кристалічної будови. В залежності від хімічного складу

полісахариди можна поділити на дві групи – *гомopolісахариди*, що складаються із залишків одного й того ж моносахариду, та *гетерopolісахариди*, які складаються із залишків різних моносахаридів. За фізико-хімічними властивостями вуглеводи поділяють також на *нейтральні* (містять лише гідроксильні та карбонільні групи); *основні* (додатково мають у своєму складі ще й аміногрупу) та *кислі* (мають у своєму складі крім гідроксильних та карбонільних груп також карбоксильні групи).

3.3. Харчова цінність та норми споживання вуглеводів

Вуглеводи можна вважати основою існування більшості живих організмів. У таких вуглеводах, як сахароза та крохмаль, закладено основну кількість калорій, які людина отримує з їжею. Центральне місце вуглеводи займають у метаболізмі рослин та інших організмів, які беруть участь у фотосинтезі та утилізують сонячну енергію для синтезу вуглеводів із вуглекислого газу та води. Значні кількості крохмалю та інших вуглеводів, що утворюються в результаті фотосинтезу, виконують роль головних джерел енергії та Карбону для нездатних до цього процесу клітин тварин, рослин і мікроорганізмів.

Вуглеводи слугують основним джерелом енергії для організму людини. При цьому глюкоза є єдино можливим енергетичним субстратом для діяльності мозку. В усіх без виключення органах і тканинах присутні вуглеводи та їх похідні. Вони входять до складу оболонок клітин та субклітинних утворень, беруть участь у синтезі багатьох найбільш важливих речовин, таких як нуклеопротейди, ліпоїди, складні ферменти та ін. Вуглеводи накопичуються в організмі тварин у вигляді глікогену, який переважно відкладається у печінці та м'язах. При повноцінному живленні у печінці може накопичуватися до 10% (від маси печінки) глікогену, а за несприятливих умов живлення його вміст може зменшуватися до 0,2%. У м'язах масовий вміст глікогену в середньому досягає 2%.

Усі відомі функції вуглеводів підкреслюють необхідність оптимального забезпечення організму цими речовинами за допомогою продуктів харчування. При цьому слід враховувати стать, вік, професійну орієнтацію людини. Відповідно до сучасної теорії харчування, надзвичайно важливим

є співвідношення основних компонентів їжі – вуглеводів, білків та жирів. Для дорослої людини ця пропорція складає 4:1:1. У раціоні необхідною також є присутність фізіологічно активних полісахаридів (харчових волокон) у кількості не менше 25 г на добу. При цьому на долю вуглеводів повинно припадати 60-70% усього харчового раціону.

Основними джерелами харчових вуглеводів є зернові та бобові культури, картопля, цукровий буряк, плоди та овочі. Основним вуглеводом при цьому слугує крохмаль. На частку крохмалю припадає приблизно 80% усіх вуглеводів, що споживаються людиною. Його особливо багато у насінні кукурудзи (70% від сухої маси), пшениці (60%) та рису (64%). Моносахариди та олігосахариди, у тому числі й сахароза, присутні в зернових у відносно малих кількостях (табл. 3.1, 3.2). Залежно від сорту та умов вирощування вміст крохмалю в зернових може коливатися.

Таблиця 3.1. Вуглеводи зерна та продуктів його переробки (у %)

Продукт	Крохмаль	Вуглеводи	Клітковина, геміцелюлоза та ін.	Всього
Пшениця	52-55	2-3	8-14	60-70
Борошно пшеничне	67-68	1,7-1,8	0,1-0,2	73-74
Макарони	62-69	1,7-4,6	0,1-0,2	72-75
Рис	55	3	4-10	63-64
Гречка	63-64	2	1-2	67-68
Кукурудза	57	2,5-3	6-10	67-70

Таблиця 3.2. Вуглеводи жита та пшениці (у %)

Вуглеводи	Пшениця	Жито
Глюкоза	0,01-0,09	0,05
Фруктоза	0,02-0,09	0,06
Сахароза	0,19-0,57	0,41
Мальтоза	0,06-0,15	0,14
Інші олігосахариди	0,67-1,26	2,03

Сахароза зазвичай надходить в організм людини із продуктами, у які вона додається (кондитерські вироби, напої, морозиво та ін.). Беручи до уваги той факт, що сахароза в значній мірі сприяє зростанню рівня глюкози у крові, слід зазначити, що продукти з високим вмістом цукру (у першу чергу, кондитерські вироби) є найменш цінними із усіх вуглеводоємних продуктів.

На даний час можна вважати доведеним, що необхідно збільшувати в раціоні кількість харчових волокон. Джерелом їх є житні та пшеничні висівки, овочі, фрукти. Хліб із цільного зерна, з точки зору вмісту харчових волокон, набагато більш цінний, ніж хліб із борошна вищих сортів, що не містять алейронового шару й зародка (табл. 3.3).

**Таблиця 3.3. Хімічний склад продуктів помелу пшениці
(у % від маси сухої речовини)**

Продукт	Вихід	Зола	Клітковина	Пентозани	Крохмаль
Зерно	100,0	1,7	2,5	6,4	53,0
Борошно в/г	10,1	0,5	0,1	1,6	80,1
Борошно п/г	22,4	0,6	0,2	1,8	77,8
Борошно д/г	47,5	1,2	0,5	3,4	72,5
Висівки	18,4	5,4	8,4	22,1	13,8

Важливим джерелом вуглеводів у харчуванні є цукровий буряк. З нього отримують харчовий цукор. У ньому вміст сахарози в середньому досягає 16-20% сирої маси. Накопичення її розпочинається у коренеплодах, які розвиваються після появи листя з фотосинтетичним апаратом. Середній вміст вуглеводів у плодах та овочах становить 8-20%. У період формування та росту плодів на материнській рослині проходить синтез крохмалю, потім при дозріванні крохмаль майже повністю перетворюється на сахарозу, яка при подальшому зберіганні плодів під дією ферменту β -фруктофуранозідази перетворюється на глюкозу та фруктозу. У більшості овочевих культур (капуста, огірки, томати, перець) цукру накопичуються до 3-5%, а в деяких сортах цибулі – до 15% сирої маси. Вуглеводи плодів (табл. 3.4) представлені переважно сахарозою, глюкозою та фруктозою, а також клітковиною й пектиновими речовинами.

Таблиця 3.4. Вміст різних вуглеводів у плодах (у %)

Вид	Вуглеводи (цукри)			Пектинові речовини	Кліткови-на	Всього вуглеводів
	Сахароза	Глюкоза	Фруктоза			
Яблука	3,0	3,8	8,1	1,1	0,6	11-17
Персики	6,3	5,1	4,4	0,6	1,0	17-18
Виноград	0,6-4,0	8-10	7-10	0,6	0,6	17-25
Лимони	0,9	0,6	0,6	1,1	0,5	3-4
Суниця	0,4	2,8	3,3	1,6	1,4	9-10

Вуглеводи також містяться й у продуктах тваринного походження. Вуглеводний склад м'язової тканини представлений переважно глікогеном. У свіжих м'язах забійних тварин міститься від 0,3 до 2,0% глікогену та 0,5% глюкози. Рівень вуглеводів залежить від ступеня вгодованості та тренуваності тварин. У м'язах погано вгодованих, виснажених, голодних та хворих тварин у 2-3 рази менше глікогену, ніж у тварин нормального фізіологічного стану. М'ясний та печінковий глікогени подібні за будовою до крохмального амілопектину й засвоюються так само, як крохмаль.

3.4. Засвоювані та незасвоювані вуглеводи

З точки зору харчової цінності вуглеводи поділяються на засвоювані та незасвоювані. Засвоювані вуглеводи – моно- та олігосахариди, крохмаль, глікоген. Незасвоювані – целюлоза, геміцелюлози, інулін, пектинові речовини, камеді. При надходженні в травний тракт засвоювані вуглеводи, за винятком моносахаридів, розщеплюються, всмоктуються, а потім або безпосередньо утилізуються (у вигляді глюкози), або перетворюються на жир чи відкладаються на тимчасове зберігання (у вигляді глікогену). Накопичення жиру є особливо вираженим при надлишку у дієті простих цукрів за одночасної відсутності значних витрат енергії.

Обмін вуглеводів в організмі людини складається переважно з наступних процесів:

1. Розщеплення у шлунково-кишковому тракті полісахаридів та дисахаридів, що надходять з їжею, до відповідних моносахаридів. Всмоктування моносахаридів із кишечника у кров.

2. Синтез та розпад глікогену в тканинах, насамперед, у печінці.
3. Анаеробне розщеплення глюкози – *гліколіз*, що призводить до утворення пірувату.
4. Аеробний метаболізм пірувату (дихання).
5. Вторинні шляхи катаболізму глюкози (пентозофосфатний шлях).
6. Взаємоперетворення гексоз.
7. *Глюконеогенез*, або утворення вуглеводів з неуглеводних продуктів. Такими продуктами є у першу чергу пірвиноградна та молочна кислоти, гліцерин, амінокислоти та ряд інших сполук.

Незасвоювані вуглеводи людським організмом не утилізуються, але вони є надзвичайно важливими для травлення і складають (разом з лігніном) так звані *харчові волокна*. Останні виконують такі функції в організмі людини:

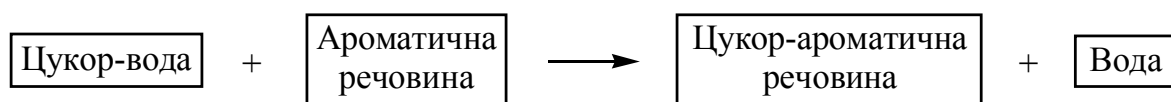
- стимулюють моторну функцію кишечника;
- перешкоджають всмоктуванню холестерину;
- відіграють позитивну роль у нормалізації складу мікрофлори кишечника, у інгібуванні процесів гниття;
- впливають на ліпідний обмін, порушення якого призводить до ожиріння;
- адсорбують жовчні кислоти;
- сприяють зниженню рівня токсичних речовин – продуктів життєдіяльності мікроорганізмів та виведенню токсичних елементів.

При недостатньому вмісті в їжі незасвоюваних вуглеводів спостерігається збільшення серцево-судинних захворювань, злоякісних утворень прямої кишки. Добова норма харчових волокон становить 20-25 г. Недостатність у раціоні харчових волокон призводить до порушень обміну речовин, погіршення травлення та загального ослаблення організму. Характерними хворобами при дефіциті харчових волокон є виразкова хвороба шлунку та дванадцятипалої кишки, сечокам'яна хвороба та подагра. Водночас, переважання у їжі грубих овочів, які містять багато харчових волокон (Додаток 2), також є небажаним, оскільки призводить до неповного перетравлювання їжі та порушень всмоктування мінеральних речовин.

3.5. Функції вуглеводів у харчових продуктах

Однією з головних властивостей вуглеводів, корисних для харчування, є їх **гідрофільність** – здатність зв'язувати воду та контролювати активність води у харчових продуктах. Гідрофільність обумовлена наявністю значної кількості гідроксильних груп. Ці групи взаємодіють з молекулами води, що призводить до сольватації та розчинення вуглеводів. Ця властивість обумовлює необхідність у контролі надходження вологи до продукту, що містить вуглеводи. Наприклад, заморожені пекарські продукти не повинні містити значної кількості вологи, тому доцільно замість сахарози використовувати мальтозу або лактозу. В інших випадках потрібен додатковий контроль активності води, щоб запобігти втраті вологи під час зберігання при використанні гігроскопічних вуглеводів, фруктових сиропів, інвертного цукру та ін.

Вуглеводи мають властивість зв'язувати ароматичні речовини. Для більшості харчових продуктів, під час виготовлення яких використовуються різні види сушіння, вуглеводи є важливим компонентом, вміст яких сприяє збереженню кольору та летких ароматичних речовин. Це обумовлено заміною взаємодії “сахароза – вода” на взаємодію “сахароза – ароматична речовина”:



Леткі ароматичні речовини – це велика група карбонільних сполук та похідних карбонових кислот. Здатність зв'язувати ароматичні речовини у більшій мірі виявляють саме дисахариди. Ефективними фіксаторами аромату є, наприклад, великі вуглеводневі молекули гуміарабіку. Утворюючи плівку навколо ароматичних речовин, вони запобігають витрачання вологи за рахунок випаровування або хімічного окиснення. Вуглеводи також беруть участь в утворенні продуктів неферментативного потемніння. Ці реакції дають меланоїдинові пігменти та різноманітні леткі компоненти, які впливають на якість продуктів харчування.

Солодкість. Відчуття солодкого смаку під час вживання вуглеводів характеризує ще одну важливу їх функцію, яку вони виконують у харчових продуктах. В табл. 3.5 наведені характеристики відносної солодкості (ВС) різних вуглеводів у порівнянні з сахарозою, солодкість якої приймається за еталонні 100 одиниць.

Таблиця 3.5. Відносна солодкість деяких цукрів та підсолоджувачів у порівнянні з сахарозою

Цукор	ВС	Підсолоджувач	ВС
Сахароза	100	Сорбіт	63
β -D-фруктоза	180	Ксиліт	90
α -D-глюкоза	74	Аспартам	180
β -D-глюкоза	82	Сахарин	500

Полісахариди, які присутні у харчових продуктах у великих кількостях, виконують важливу функцію у забезпеченні їх якості та структури – зокрема, твердості, крихкості, щільності, згущування, в'язкості, липучості та здатності до утворення драглів. Саме завдяки полісахаридам утворюється потрібна структура харчового продукту.

Вуглеводи не належать до незамінних чинників харчового раціону, однак зниження їх споживання до 50-60 г на добу може спричинити порушення метаболічних процесів: посилення окиснення ендогенних ліпідів, що пов'язане із накопиченням кетонових тіл; збільшення розщеплення м'язових білків, що витрачаються на глюконеогенез; зниження детоксикаційної функції печінки. Необхідно також враховувати, що використання у харчовому раціоні рафінованих моно- та дисахаридів призводить до надходження «порожніх» калорій, які не збагачують раціон вітамінами, мінеральними елементами та іншими біологічно активними речовинами, гіперхолестеринемії, розвитку карієсу внаслідок зменшення рН слини та ін.

3.6. Перетворення вуглеводів під час виробництва та зберігання харчових продуктів

Вуглеводи при зберіганні харчової сировини та її переробці у готові продукти зазнають різноманітних і складних перетворень. До них відносяться: структурно-механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, ферментативні та інші зміни.

Структурно-механічним змінам підлягають полісахариди крохмаль та целюлоза. Вони відбуваються на стадії подрібнення (зерно, картопля, виноград), пресування (виноград, плодово-ягідна та інша ароматична сировина). Залежно від технології виробництва тих або інших продуктів мета цих операцій буває різною: підготовка сировини до оцукрювання, вилучення екстрактних речовин та ін. Прикладом може слугувати руйнування крохмальних зерен при перемелюванні зерна на борошно. При порушенні структури зерен крохмалю збільшується їх вологопоглинаюча здатність, що впливає на якість готової продукції.

Фізичні та фізико-хімічні зміни пов'язані із процесами розчинення простих цукрів, поглинанням води крохмалем (набрякання крохмальних зерен), частковим розчиненням геміцелюлоз, пектинових речовин, клейстеризацією крохмалю, дифузією та осмосом при вилученні екстрактних речовин водно-спиртовими розчинами.

Хімічним змінам підлягають переважно прості цукри (моно- або дисахариди). Основними їх хімічними перетвореннями є реакції карамелізації, меланоїдиноутворення, оксиметилфурфурольного розкладання гексоз, реверсії та інверсії цукрів.

Ферментативні зміни. Основні ферментативні зміни вуглеводів включають процеси гідролізу, дихання та бродіння.

3.6.1. Фізичні та фізико-хімічні перетворення вуглеводів.

Клейстеризація крохмалю

Крохмаль є важливим компонентом харчових продуктів, виконуючи роль загусника та зв'язуючого агента. У одних випадках він присутній у сировині, яка переробляється у харчові продукти (наприклад, хлібобулочні

вироби). У інших його додають для надання продукту тих або інших властивостей. Крохмаль широко застосовується у виробництві пудингів, концентратів, супів, киселів, соусів, салатних приправ та майонезу; один з компонентів крохмалю (амілоза) використовується для утворення харчових оболонок та покриттів.

Крохмальні зерна за звичної температури не розчиняються у воді, але в ході технологічної обробки під дією вологи і тепла вони здатні адсорбувати вологу та набрякати, утворюючи в'язкий колоїдний розчин. При його охолодженні утворюється стійкий гель. Цей процес одержав назву **клейстеризації крохмалю**.

При набуханні відбувається підвищення осмотичного тиску всередині зерна, а приток води, що викликається цим тиском, в певному температурному інтервалі призводить до розриву оболонки крохмального зерна і порушення його цілісності. Для крохмального клейстеру характерним є неупорядковане розташування макромолекул та значне порушення кристалічної структури.

Температура клейстеризації залежить переважно від природи крохмалю, величини зерен, наявності у воді солей та інших чинників. Для пшеничного крохмалю температура клейстеризації складає 54-62°C, житнього – 50-55°C, кукурудзяного – 65-75°C. Як правило, великі крохмальні зерна клейстеризуються за більш низьких температур, ніж дрібні. Високий вміст цукру зменшує швидкість клейстеризації, причому дисахариди є ефективнішими з погляду її уповільнення, ніж моносахариди. Крім того, цукор зменшує силу крохмальних гелів, виконуючи роль пластифікатора та втручаючись в утворення зон скріплення.

Жири, які можуть утворювати комплекси з амілозою, гальмують набухання крохмальних зерен та перешкоджають доступу води у гранулу. Завдяки нейтральному характеру крохмалю низькі концентрації солей, як правило, не впливають на клейстеризацію або процеси утворення гелю. Явище **ретроградації** крохмалю – це процес, що є зворотним по відношенню до його клейстеризації. В процесі зберігання крохмального клейстеру може відбуватися часткове відновлення його кристалічної структури,

що супроводжується виділенням деякої кількості води. Саме з процесом ретроградації пов'язують черствіння хлібних виробів.

Гелеутворююча здатність пектинових речовин. При нагріванні у водному середовищі та подальшому охолодженні пектинові речовини в присутності цукру і кислоти мають властивість утворювати гелі, які широко використовуються у кондитерській промисловості при виробництві фруктових та желейних мас. Ця властивість пов'язана зі здатністю пектинових речовин утворювати просторову сітку.

Під впливом цукру відбувається дегідратація частинок пектину, що супроводжується появою деякої кількості оголених ділянок, позбавлених полярності. Утворення структурного каркасу спостерігається також при зчепленні окремих частинок по дегідратованих ділянках за рахунок сил міжмолекулярної взаємодії. Зміцнення каркасу здійснюється за рахунок водневих зв'язків, що виникають між карбоксильними та гідроксильними групами суміжних ланцюгів пектинових молекул. В результаті такої взаємодії між пектиновими частинками утворюється комірчаста структура.

3.6.2. Хімічні перетворення вуглеводів

Гідроліз вуглеводів. У багатьох харчових виробництвах має місце гідроліз глікозидів, оліго- та полісахаридів. Перебіг гідролізу залежить від багатьох факторів: рН середовища, температури, аномерної конфігурації, комплексу застосовуваних ферментів. Він є важливим не лише для процесів вироблення харчових продуктів, але й для їх зберігання. В останньому випадку реакції гідролізу можуть призводити до небажаних змін кольору або, у разі полісахаридів, до їх нездатності утворювати гелі.

Значної уваги зараз приділяють також одержанню різноманітних зернових цукрових сиропів з дешевої крохмальвмісної сировини (жито, кукурудза). Їх отримання зводиться до використання різних комбінацій амілолітичних ферментних препаратів (α - та β -амілази, глюкоамілази та ін.). Отримання в такий спосіб глюкози з подальшим застосуванням ферменту глюкозоізомерази дає можливість одержувати глюкозно-фруктозні сиропи, використання яких дозволяє замінювати сахарозу у багатьох виробницт-

вах. При отриманні цукрових сиропів із крохмалю ступінь конверсії останнього в α -D-глюкозу вимірюють в одиницях глюкозного еквіваленту (ГЕ), що відображає вміст (у %) утворених редуруючих цукрів.

Гідроліз крохмалю. При гідролізі крохмалю під дією кислот спочатку має місце ослаблення та розрив зв'язків між макромолекулами амілози та амілопектину. Цей процес супроводжується порушенням структури крохмальних зерен та утворенням гомогенної маси. Далі йде розрив α -D-(1,4)- та α -D-(1,6)-зв'язків з приєднанням за місцем розриву молекули води. У процесі гідролізу зростає кількість вільних альдегідних груп та зменшується ступінь полімеризації. По мірі зростання кількості редуруючих речовин вміст декстринів зменшується, а глюкози, навпаки, – збільшується; при цьому концентрація мальтози, три- та тетрацукрів спочатку наростає, а потім їх кількість знижується. Кінцевим продуктом гідролізу є глюкоза. Певному значенню глюкозного еквіваленту відповідає певне співвідношення цих продуктів, і, варіюючи тривалість гідролізу та умови його проведення, можна отримувати різні співвідношення окремих продуктів гідролізу.

Кислотний гідроліз довгий час був головним при отриманні глюкози з крохмалю. Цей спосіб має ряд істотних недоліків, які пов'язані із використанням високих концентрацій кислот та високої температури, що призводить до утворення продуктів термічної деградації та дегідратації вуглеводів. Слід зауважити, що крохмаль гідролізується також й під дією амілолітичних ферментів. Зокрема, α -амілаза, діючи на ціле крохмальне зерно, атакує його, розпушуючи поверхню й утворюючи канали і борозенки, тобто як би розколює зерно на частини (рис. 3.1). Клейстеризований крохмаль гідролізується нею з утворенням незабарвлених йодом продуктів – переважно низькомолекулярних декстринів. Процес гідролізу крохмалю є багатостадійним. В результаті впливу α -амілази на перших стадіях процесу у гідролізаті накопичуються декстрини, потім з'являються незабарвлені йодом тетра- та тримальтоза, які дуже повільно гідролізуються α -амілазою до ди- і моносахаридів.

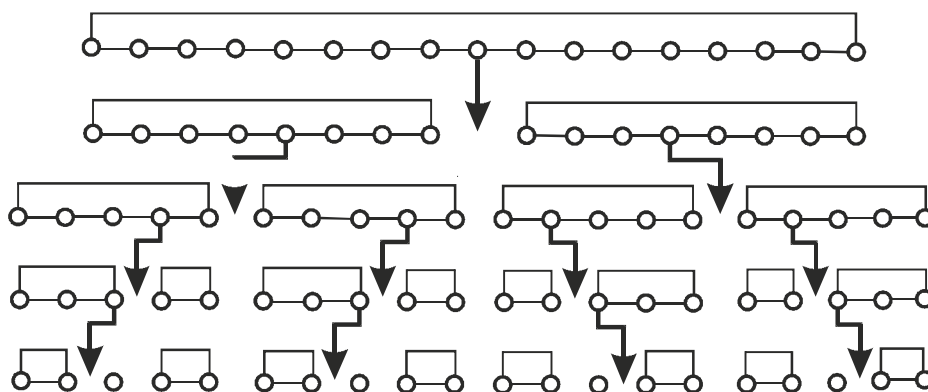
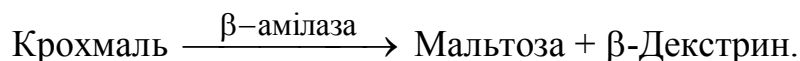


Рис. 3.1. Гідроліз амілази

Схему гідролізу крохмалю (глікогену) α -амілазою можна зобразити наступним чином:



На відміну від α -амілази, β -амілаза практично не гідролізує нативний крохмаль; клейстеризований крохмаль гідролізується до мальтози з β -конфігурацією. Схему процесу можна зобразити наступним чином:



Ферментативний гідроліз крохмалю застосовується у багатьох харчових технологіях:

- у хлібопеченні (процес приготування тіста та випічки хліба);
- у виробництві пива (отримання пивного сусла, сушка солоду);
- у виробництві квасу (отримання квасних хлібців);
- у виробництві спирту (підготовка сировини для бродіння);
- у виробництві цукристих продуктів (глюкози, патоки, цукрових сиропів та ін.).

Гідроліз сахарози. Оскільки сахароза як сировина використовується в багатьох виробництвах, необхідно враховувати її виняткову здатність до гідролізу. Цей процес може мати місце при нагріванні в присутності невеликої кількості харчових кислот. Утворені при цьому редуруючі цукри (глюкоза, фруктоза) можуть брати участь у реакціях дегідратації, карамелізації та меланоїдиноутворення, даючи забарвлені та ароматичні речовини. В ряді випадків ці процеси можуть бути небажаними.

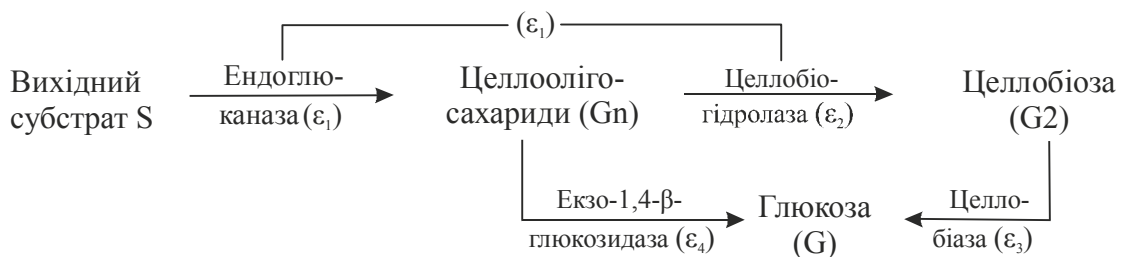
Ферментативний гідроліз сахарози під дією β -фруктофуранозидази (сахарази, інвертази) відіграє позитивну роль у ряді харчових технологій.

При дії β -фруктофуранозидази на сахарозу утворюються глюкоза та фруктоза. Завдяки цьому у кондитерських виробках (зокрема, в помадних цукерках) додавання ферменту попереджає їх черствіння, а у хлібопекарських виробках – сприяє поліпшенню аромату. Інверсія сахарози під дією β -фруктофуранозидази має місце на початковій стадії виробництва виноградних вин. Інвертні сиропи, отримані дією цього ферменту на сахарозу, використовуються при виробництві безалкогольних напоїв.

Ферментативний гідроліз некрохмальних полісахаридів. При гідролізі некрохмальних полісахаридів утворюється різноманітний набір сполук: глюкоза, фруктоза, маноза, галактоза, ксилоза, арабіноза, глюкуронова та галактуронова кислоти. Гідроліз сахарози одержав назву **інверсії**, а суміш рівних кількостей глюкози та фруктози, що при цьому утворюється, – інвертним цукром.

Кислотний гідроліз сахарози проводять при температурі 70°C , використовуючи як каталізатори оцтову, молочну або хлоридну кислоти. З використанням цієї реакції в кондитерському виробництві одержують інвертний сироп, який застосовують при утворенні карамелі, помадних цукерок та інших видів кондитерських виробів як замітник крохмальної патоки, при виробництві безалкогольних напоїв.

При гідролізі **мальтози** утворюється дві молекули глюкози. Цей процес під дією ферменту α -глюкозидази відіграє важливу роль в харчовій технології, наприклад, при бродінні тіста, пророщуванні зерна та ін. **Лактоза** гідролізується ферментом β -галактозидазою до глюкози та галактози. Цей процес спостерігається при отриманні кисломолочних продуктів, при заквасці молока спеціальними молочнокислими бактеріями. У подальшому глюкоза та галактоза під дією ферментів перетворюються на молочну кислоту (молочнокисле бродіння). Гідроліз **целюлози** відбувається під дією комплексу целюлолітичних ферментів:



Реакції дегідратації та термічної деградації вуглеводів. При переробці харчової сировини у харчові продукти ці реакції займають важливе місце. Вони каталізуються кислотами та лугами, і багато з них йдуть за типом β -елімінації. Пентози, як головний продукт дегідратації, утворюють фурфурол, гексози – оксиметилфурфурол та інші продукти, такі як 2-гідроксиацетилфуран, ізомальтол та мальтол. Фрагментація карбонових ланцюгів цих продуктів дегідратації призводить до утворення левулінової, мурашиної, молочної, оцтової кислот та ряду інших сполук. Деякі з продуктів, що утворюються, мають певний запах і тому можуть надавати харчовому продукту бажаний або, навпаки, небажаний аромат. Ці реакції потребують високих температур.

Ключовою сполукою в реакції дегідратації є 3-дезоксиглюкозон, утворення якого із D-глюкози зображено на рис. 3.2.

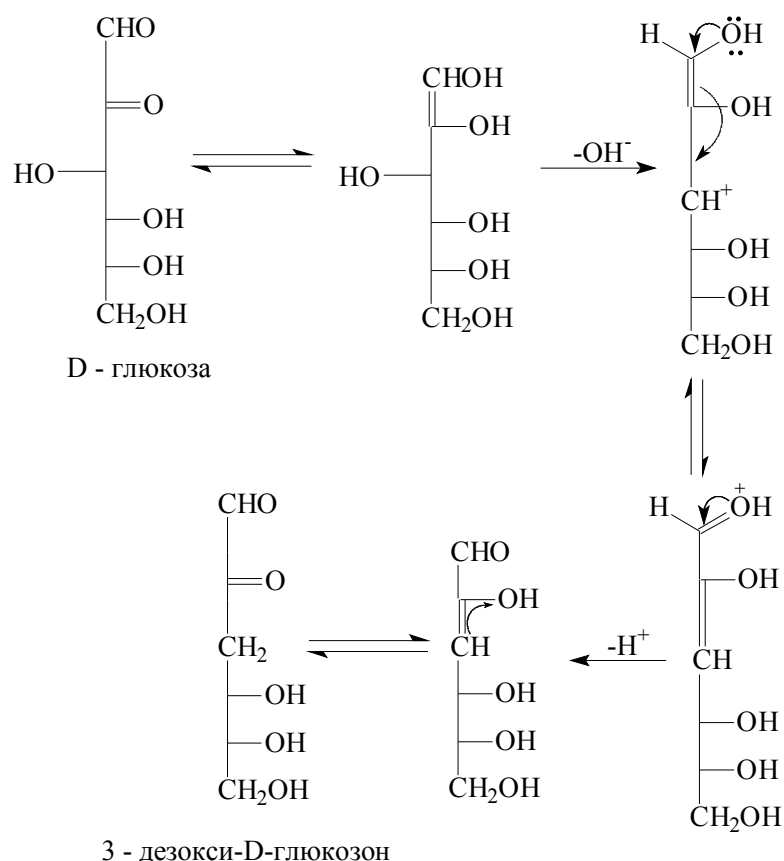
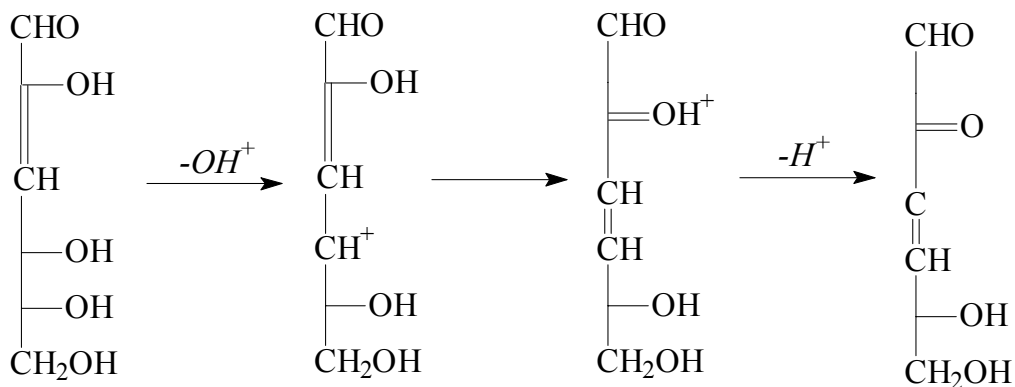


Рис. 3.2. Перетворення D-глюкози в 3-дезоксиглюкозон

Реакція β -елімінації може відбуватися й з енольною формою 3-дезоксиглюкозону (рис. 3.3).



3 - дезокси-D-глюкозон
(єнольна форма)

Рис. 3.3. Утворення проміжних продуктів при дегідратації цукрів

Кінцевим продуктом є оксиметилфурфурол (рис. 3.4).

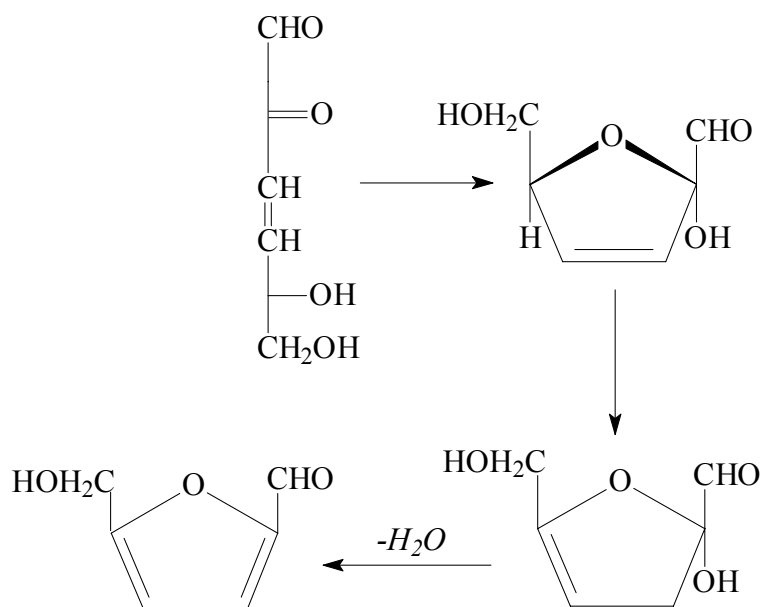


Рис. 3.4. Утворення оксиметилфурфуролу

При тепловій обробці деяких харчових продуктів можуть утворюватись в значній кількості ангідроцукри, особливо при обробці у сухому вигляді продуктів, що містять D-глюкозу або полімери на основі D-глюкози (рис. 3.5). Реакції з розривом С-С-зв'язків призводять до утворення летких кислот, кетонів, дикетонів, фуранів, спиртів, ароматичних речовин, оксиду та діоксиду карбону. Багато з цих продуктів ідентифіковані методами газової хроматографії та хроматомаспектроскопії.

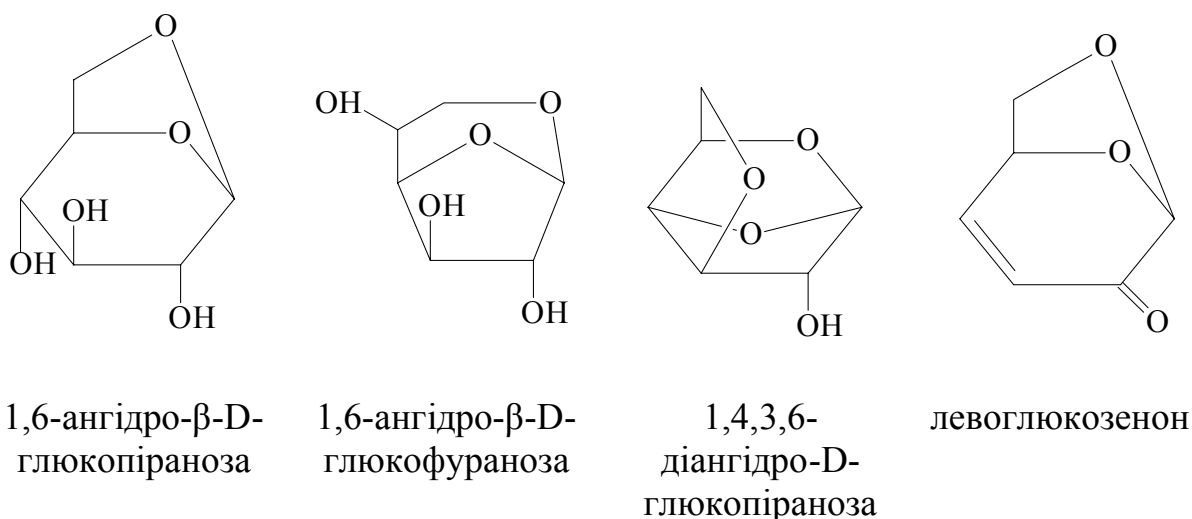


Рис. 3.5. Продукти термічної деградації D-глюкози або полімерів, що містять D-глюкозу

Реакції утворення коричневих продуктів. Потемніння харчових продуктів може мати місце в результаті окисних чи неокисних реакцій. Окисне або ферментативне потемніння – це реакція між фенольним субстратом та киснем, що каталізується ферментом поліфенолоксидазою. Це потемніння, що має місце на зрізах яблук, бананів, груш та не пов’язане з реакціями вуглеводів. Неокисне або неферментативне потемніння представлено в харчових продуктах дуже широко. Воно безпосередньо пов’язане із реакціями вуглеводів та включає явище карамелізації, а також взаємодію вуглеводів з білками або амінами. Остання відома під назвою реакції меланоїдиноутворення Майяра.

Карамелізація. Безпосередній нагрів вуглеводів, особливо цукрів та цукрових сиропів, сприяє протіканню комплексу реакцій, об’єднаних під спільною назвою карамелізації. Нагрівання моно- та дисахаридів за температури 100°C й вище призводить до зміни їх хімічного складу. В цьому випадку підвищується кольоровість продуктів. Реакції каталізуються невеликими концентраціями кислот, лугів та деяких солей. При цьому утворюються коричневі продукти з типовим карамельним ароматом. Глибина цих процесів залежить від складу вуглеводів, їх концентрації, ступеня та тривалості теплової дії, рН середовища, присутності домішок. Змінюючи умови, можна спрямувати перебіг реакції на переважне отримання аромату або ж у бік утворення забарвлених продуктів.

У харчовому виробництві важливе місце займає карамелізація сахарози, глюкози та фруктози. Основний вуглеводний компонент кондитерських виробів – сахароза, при нагріванні в ході технологічного процесу у слабкокислому або нейтральному середовищі підлягає частковій інверсії з утворенням глюкози та фруктози, які також здатні до подальших перетворень. При відщепленні двох молекул води від сахарози утворюється **карамелан** (розчинна у воді сполука жовтого кольору), при відщепленні трьох молекул води – **карамель** (має яскраво-коричневий колір), в подальшому ж утворюється **карамелин** (важко розчинна у воді сполука). При цьому ступінь полімеризації утворених продуктів може бути різним.

Схематично процес перетворення вуглеводів при нагріванні зображено на рис. 3.6.

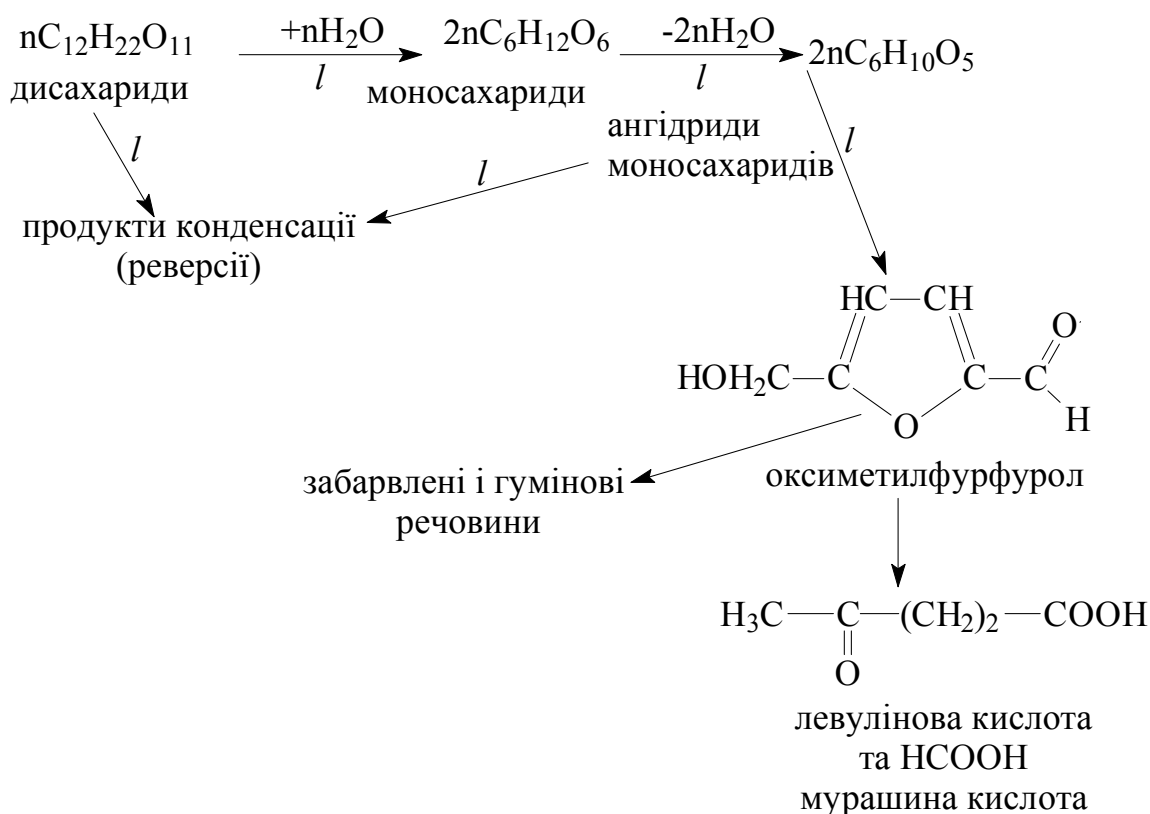


Рис. 3.6. Процеси перетворення вуглеводів при нагріванні

Під час виготовлення кондитерських виробів, наприклад карамелі, під дією високої температури відбуваються перетворення концентрованих розчинів вуглеводів (із масовою часткою до 80%), тому основними продуктами карамелізації є ангідриди та продукти їх конденсації. Під час їх взаємодії з металами та амінокислотами утворюються різні за складом сполу-

ки, які погіршують якість, підсилюють забарвленість та гігроскопічність готових харчових продуктів.

Реакція меланоїдиноутворення. Під меланоїдиноутворенням розуміють взаємодію відновлюючих цукрів з аміносполуками, що мають вільні амінні групи (амінокислоти, пептиди) з утворенням темнозабарвлених продуктів (меланоїдинів). Це окисно-відновний процес, що супроводжується утворенням великої кількості проміжних продуктів, які на наступних етапах взаємодіють між собою та з вихідними речовинами. Через значні складності реакція меланоїдиноутворення до кінця не є дослідженою; добре вивчено лише її початкову стадію – реакцію Майяра. Для протікання цієї реакції необхідною умовою є наявність редуційного цукру, аміної сполуки (амінокислоти або білку) та невеликої кількості води. Усі процеси, що відбуваються при потемнінні харчових продуктів, наведено на рис. 3.7. Встановлено, що окрім реакції Майяра має місце дегідратація з утворенням оксиметилфурфуролу, розрив ланцюгів, утворення дикарбонільних сполук, а також меланоїдинових пігментів, що виникають на кінцевих стадіях та мають забарвлення від червоно-коричневого до темно-коричневого. Якщо на перших стадіях можливою є незначна деколоризація продукту, особливо при додаванні відновників (наприклад, сульфїту та ін.), то на кінцевому етапі це вже є принципово неможливим.

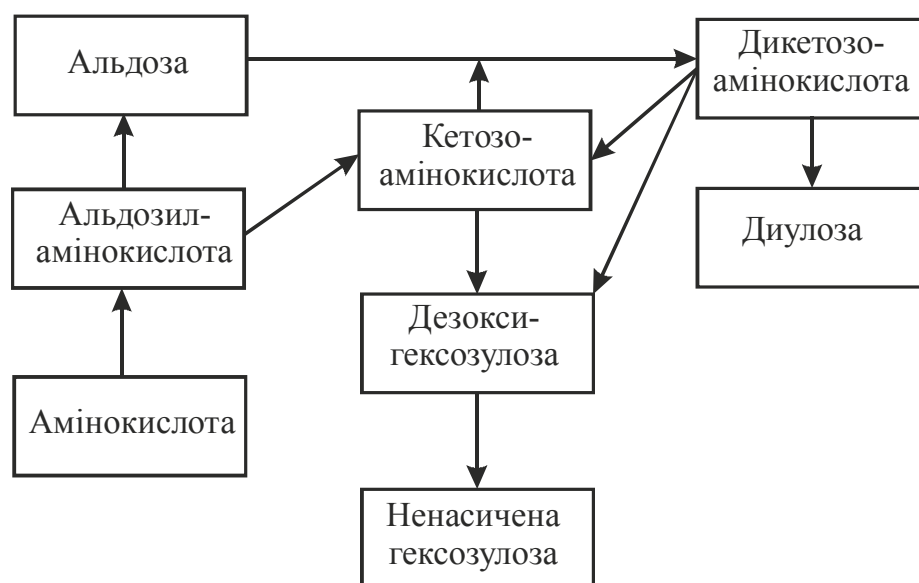


Рис. 3.7. Схематичне зображення перетворень при потемнінні харчових продуктів

Колоїдні, погано розчинні у воді меланоїдини з характерним карамелеподібним ароматом є результатом альдольної конденсації та полімеризації. Карбонільний атом Карбону редукуючого цукру у відкритому ланцюзі підлягає нуклеофільній атаці вільною електронною парою амінного Нітрогену. Цей процес супроводжується втратою молекули води та замиканням кільця з утворенням глюкозоаміну (рис. 3.8).

В присутності надлишку редукуючого цукру може утворюватись диглюкозоамін, який підлягає перегрупуванню за Амадорі та переходить у амінокислоту – фруктозоамін (рис. 3.9). Останній був ідентифікований у ряді харчових продуктів, зокрема у сухофруктах (персики, абрикоси), сушених овочах, сухому молоці. Якщо ж на початковій стадії присутня кетоза, тоді також має місце утворення глюкозоаміну, але за рахунок перегрупування Хейтса (рис. 3.10). Слід зауважити, що з амінокислотами можуть взаємодіяти лише відновлюючі цукри. Найбільш активно реагують ксилоза, арабіноза, глюкоза, галактоза та фруктоза. Чим більше в суміші міститься цукру, тим інтенсивнішим є утворюване забарвлення. Оптимальне молярне співвідношення цукру до амінокислоти складає (2 : 1) або (3 : 1), що в значній мірі залежить від температури, за якої здійснюється процес.

Усі відомі амінокислоти здатні до взаємодії з цукрами. При цьому найбільш реакційно здатними є водорозчинні амінокислоти: глікокол, аланін, валін, лейцин, метіонін, аспарагін та глютамінова кислота. На реакційну здатність амінокислот в значній мірі впливає також віддаленість аміногрупи від карбоксилу у їх молекулах. Моноамінокислоти, що містять аміногрупу в α -положенні, викликають у присутності цукру лише невелике потемніння у порівнянні з кислотою, що містить групу $-NH_2$ у кінцевому положенні або зі структурами, які містять одразу дві аміногрупи.

На швидкість реакції впливає довжина ланцюга амінокислоти. Із збільшенням кількості атомів Карбону з двох до чотирьох інтенсивність забарвлення розчинів глюкози зростає, а при більшій довжині, навпаки, зменшується. Швидкість збільшується також зі зростанням основності амінокислот. Реакція перебігає як у лужному, так й у кислому середовищі. Найбільш інтенсивно меланоїди утворюються при рН 7,8-9,2. Проте встановлено, що окремі амінокислоти можуть реагувати й у кислому середовищі.

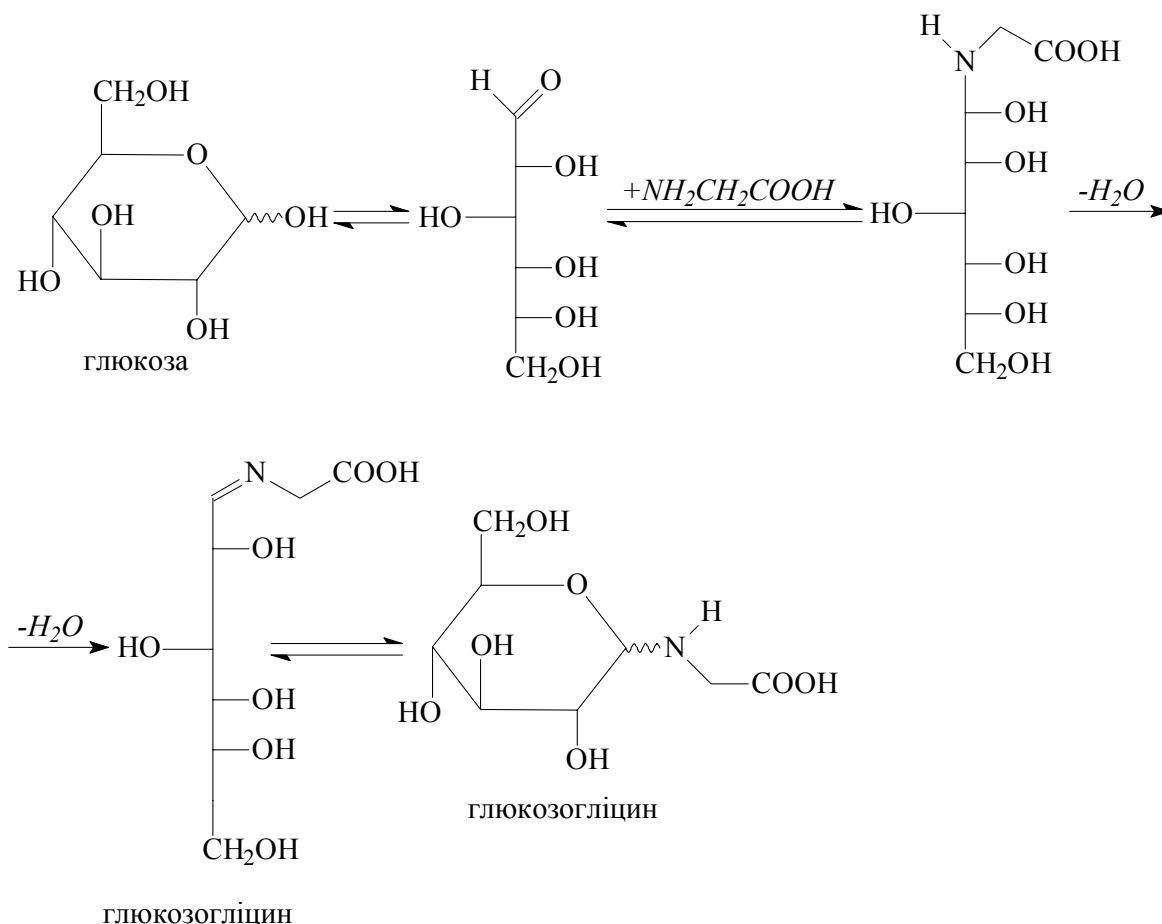


Рис. 3.8. Утворення глюкозаміну – початкова стадія реакції Майяра

При дуже низькому та дуже високому вмісті води ($a_w = 0$ або 1) потемніння харчових продуктів зазвичай не спостерігається. Максимальне потемніння має місце при проміжній вологомісткості. Із збільшенням температури швидкість реакції зростає, причому за різних температур можуть утворюватися неоднакові продукти реакції. При високій температурі легко утворюються темнозбарвлені меланоїди, які мають гіркий смак та неприємний запах.

Процеси бродіння моносахаридів широко застосовуються у харчових технологіях, зокрема у виробництві хліба, пива, квасу, спирту, вина тощо. Бродіння – це процес розщеплення моносахаридів під дією різних факторів, а також при застосуванні мікроорганізмів. Бродіння розрізняють – спиртове, молочнокисле, маслянокисле та лимоннокисле.

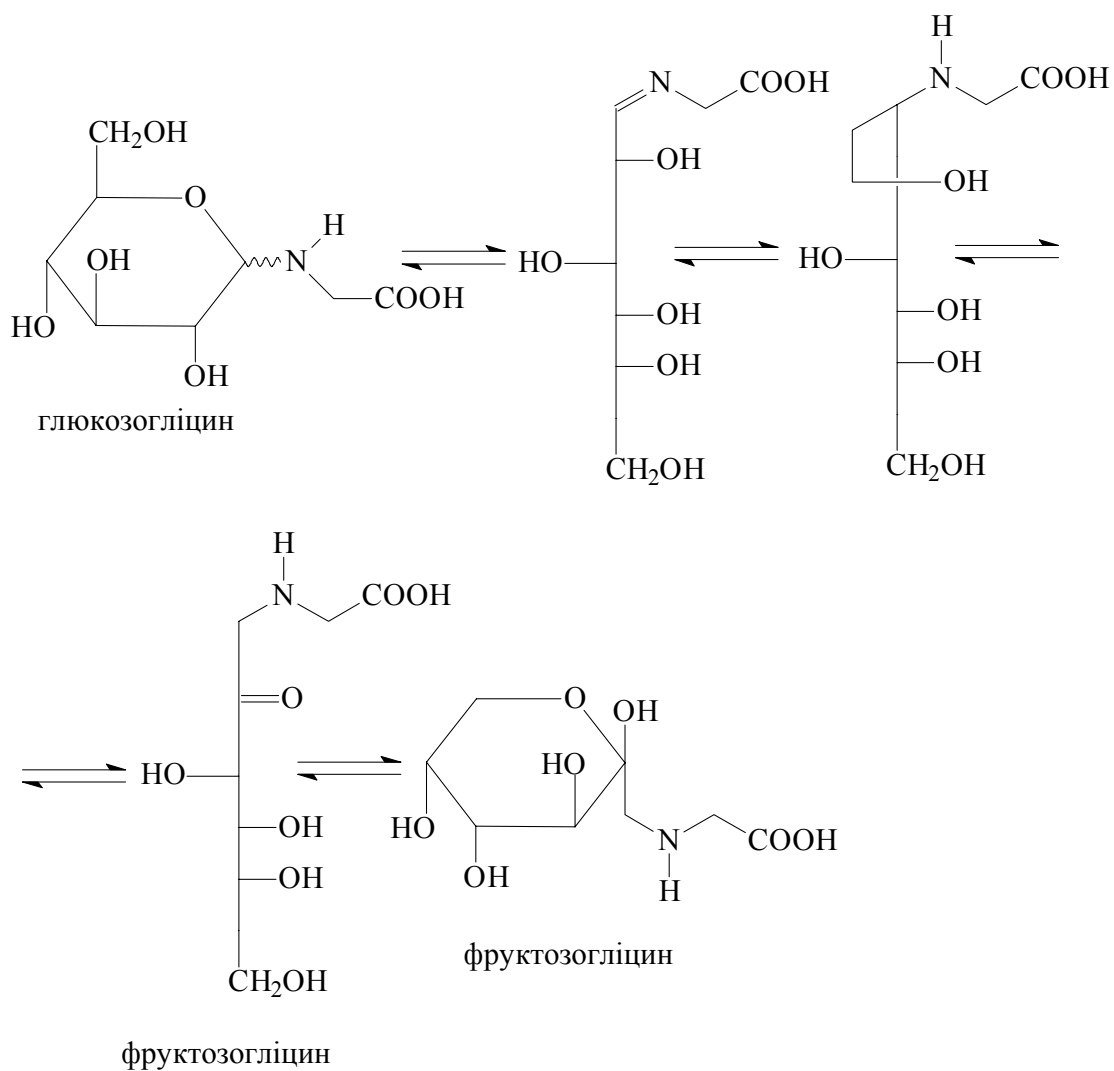


Рис. 3.9. Утворення кетозоаміну (перегрупування за Амадорі)

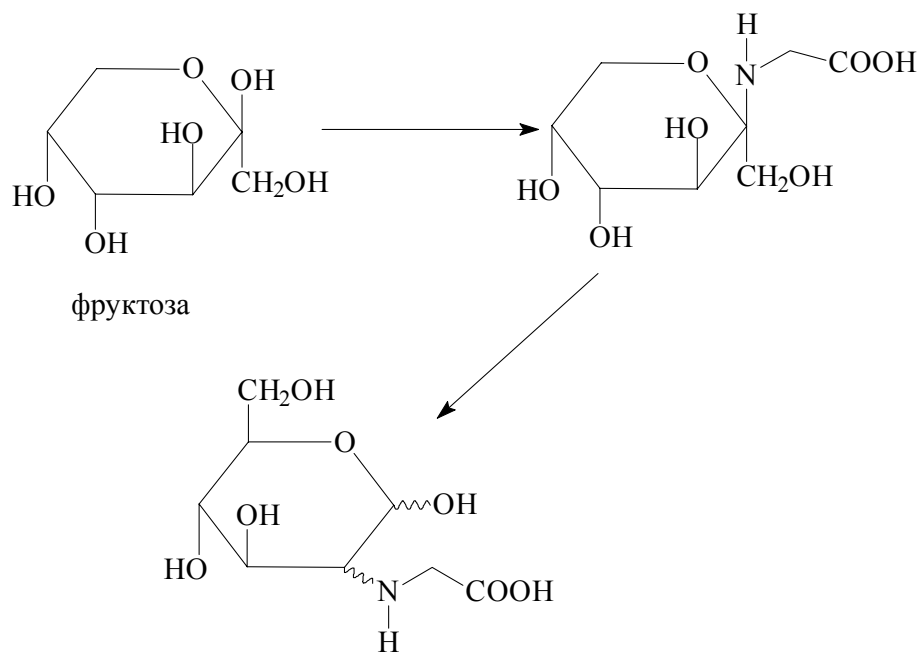
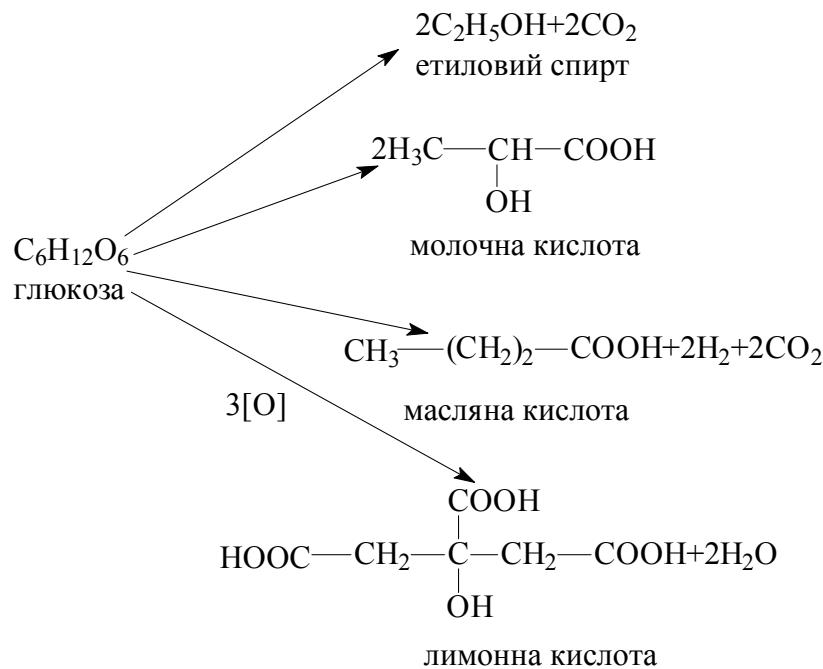


Рис. 3.10. Перегрупування Хейтса (утворення глюкозоаміну із кетоз)

Спиртове бродіння протікає під впливом мікроорганізмів та відіграє важливу роль у виробництві спирту, вина, хлібобулочних виробів. Поряд з основними продуктами, які одержують під час спиртового бродіння (етилового спирту та діоксиду карбону), в результаті процесу утворюються такі сполуки, як гліцерин, янтарна кислота, оцтова кислота, ізоаміловий та ізопропіловий спирти та ін. Ці продукти суттєво впливають на смак та аромат харчових систем.

Молочнокисле бродіння відбувається під час одержання кефіру та інших молочнокислих продуктів, сиру, квашенні капусти. Відомі дві групи молочнокислих бактерій. У першу з них входять гомоферментативні бактерії, які утворюють тільки молочну кислоту. Молочнокислі бактерії другої групи (гетероферментативні) утворюють, окрім молочної, ще й оцтову кислоту, а також етиловий спирт (нерідко в досить значних кількостях), вуглекислий газ, мурашину кислоту та інші продукти.



В результаті **маслянокислого бродіння** утворюється масляна кислота. Цей процес відбувається під час тривалого зберігання харчових продуктів. Масляна кислота має гіркий присмак, тому її накопичення у складі продуктів погіршує їх смакові якості. **Лимоннокисле бродіння** відбувається під дією пліснявих грибків. Промислове одержання лимонної кислоти відбувається шляхом зброджування грибом *Aspergillus niger* розчину сахарози.

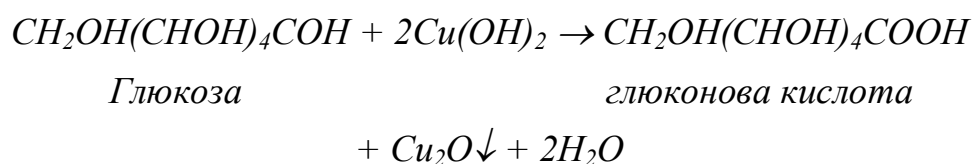
3.7. Лабораторна робота № 3

Вуглеводи

Дослід 1. Окиснення моно- та дисахаридів реактивом Фелінга

Реактиви, посуд та обладнання: 1%-ві розчини глюкози, фруктози, сахарози, мальтози, лактози; реактив Фелінга; пробірки; штатив для пробірок; пробіркотримач; пальник; скляна паличка.

Наливають у дві пробірки по 1,5-2 мл розчинів моносахаридів: у одну пробірку – 1%-вий розчин глюкози, в іншу – 1%-вий розчин фруктози. Потім в кожен пробірку додають рівний об'єм реактиву Фелінга, вміст пробірок перемішують і нагрівають верхню частину розчину до початку кипіння. У верхній частині рідини в обох пробірках з'являється жовтий осад купрум (I) гідроксиду, який згодом переходить у червоний осад купрум (I) оксиду; нижня частина рідини, яку не нагрівали, залишається синьою:



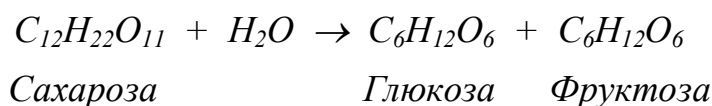
У три пробірки наливають по 1,5-2 мл 1%-вих розчинів сахарози, мальтози та лактози. Потім у кожен пробірку додають рівний об'єм реактиву Фелінга, рідини перемішують, згодом нагрівають у полум'ї пальника верхню частину розчинів до початку кипіння. Нижня частина розчинів не повинна нагріватися.

Реактивом Фелінга користуватися зручніше, ніж купрум (II) гідроксидом, оскільки при нагріванні його суміші з розчином моносахариду не відбувається утворення чорного осаду купрум (II) оксиду, який маскує червоний колір Cu_2O . Реакція з фелінговою рідиною протікає швидше та більш чітко. Цією реакцією широко користуються для якісного та кількісного аналізу моносахаридів, а також для розпізнавання відновлюючих та невідновлюючих дисахаридів.

Дослід 2. Гідроліз сахарози

Реактиви, посуд та обладнання: 1%-вий розчин сахарози; 10%-вий розчин сульфатної кислоти; натрій гідрогенкарбонат (крист.); реактив Фелінга; пробірки; штатив для пробірок; пробіркотримач; пальник; скляна паличка.

У пробірку наливають 3 мл 1%-вого розчину сахарози та додають 1 мл 10%-вого розчину сульфатної кислоти. Одержаний розчин кип'ятять протягом 5 хвилин, потім охолоджують та ділять на дві частини. Половину розчину нейтралізують сухим натрій гідрогенкарбонатом, додаючи його невеликими порціями при перемішуванні. (Обережно, рідина спінюється від карбон (IV) оксиду!) Після нейтралізації, коли припиниться виділення CO₂, приливають рівний об'єм реактиву Фелінга та нагрівають верхню частину рідини до початку кипіння. Чи змінюється забарвлення реакційної суміші? У іншій пробірці нагрівають суміш 1,5 мл 1%-вого розчину сахарози з рівним об'ємом реактиву Фелінга. Порівнюють результати дослідів – реакцію сахарози до та після здійснення гідролізу.



Дослід 3. Реакція крохмалю з йодом

Реактиви, посуд та обладнання: 1%-вий розчин крохмального клейстеру; 1%-вий розчин глікогену; розбавлений розчин йоду у калій йодиді; пробірки; штатив для пробірок; пробіркотримач; пальник; піпетка.

У дві пробірки наливають по 1 мл 1%-вих розчинів крохмального клейстеру та глікогену і додають до них по декілька крапель сильно розбавленого водного розчину йоду у калій йодиді (світло-жовтого кольору). У пробірці з розчином крохмалю з'являється інтенсивне синє забарвлення. При нагріванні цього розчину до кипіння синє забарвлення зникає, при охолодженні розчину знову з'являється. Глікоген з розчином йоду дає червоно-буре забарвлення. Йодокрохмальна реакція застосовується у аналіти-

чній хімії для відкриття як крохмалю, так і йоду. Крохмаль широко застосовується як індикатор у йодометрії.

Дослід 4. Гідроліз крохмалю

Реактиви, посуд та обладнання: 1%-вий розчин крохмального клейстеру; 10%-вий розчин сульфатної кислоти (або ферментного препарату); розбавлений розчин йоду у калій йодиді (світло-жовтого кольору); 10%-вий розчин натрій гідроксиду; фенолфталеїновий індикаторний папір; реактив Фелінга; конічна колба (50 мл); мірний циліндр (50 мл); піпетки; пробірки; штатив для пробірок; пробіркодержач; пальник.

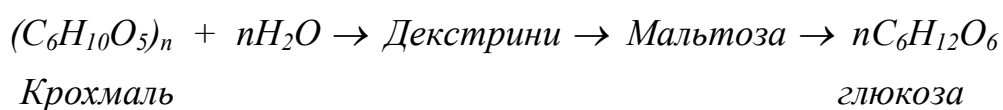
У конічну колбу місткістю 50 мл наливають 20-25 мл 1%-вого крохмального клейстеру та 3-5 мл 10%-вого розчину сульфатної кислоти (або ферментного препарату). У 7-8 пробірок наливають по 1 мл дуже розбавленого розчину йоду у калій йодиді, пробірки ставлять у штатив. У першу пробірку вносять 1-3 краплі підготовленого для досліду розчину крохмалю. Відзначають забарвлення, що утворилося. Потім колбу нагрівають на азбестовій сітці невеликим полум'ям пальника. Через 30 секунд після початку кипіння відбирають піпеткою другу пробу розчину, яку вносять у другу пробірку з розчином йоду, після струшування відзначають колір розчину. Надалі відбирають проби розчину через кожні 30 секунд та вносять їх у наступні пробірки з розчином йоду. Відзначають зміну забарвлення розчинів при реакції з йодом (табл. 3.6).

Таблиця 3.6. Забарвлення йоду у реакціях

з крохмальним клейстером та продуктами його гідролізу

Номер проби	Забарвлення з йодом	Номер проби	Забарвлення з йодом
1	Синє	4	Червонувато-буре
2	Синьо-фіолетове	5	Оранжеве
3	Червоно-фіолетове	6	Оранжево-жовте

Після того, як реакційна суміш перестане давати забарвлення з йодом, суміш кип'ятять ще 2-3 хвилини, після чого її охолоджують та нейтралізують 10%-вим розчином натрій гідроксиду, додаючи його по краплях до лужної реакції середовища (появи рожевого забарвлення на фенолфталеїновому індикаторному папері). Частину лужного розчину переливають у пробірку, змішують з рівним об'ємом реактиву Фелінга та нагрівають верхню частину рідини до початку кипіння. Чи випадає червоний осад купрум (І) оксиду?



При нагріванні з розбавленою мінеральною кислотою або ферментним препаратом крохмаль гідролізується. При цьому гідроліз відбувається ступінчасто з утворенням проміжних продуктів – декстринів. В залежності від ступеня гідролізу вони дають з йодом забарвлення від синьо-фіолетового до оранжевого; фіолетовий колір дають амілодекстрини, червоно-бурий – еритродекстрини, не змінюють забарвлення йоду ахродекстрини. Кислотний гідроліз крохмалю широко використовують у харчових технологіях для одержання патоки: у ній, крім глюкози, міститься невелика кількість мальтози та декстринів.

Дослід 5. Розчинення целюлози у реактиві Швейцера

Реактиви, посуд та обладнання: купрум-амоніачний розчин (реактив Швейцера); гігроскопічна вата (целюлоза); розчин сульфатної кислоти або натрій гідроксиду (конц.); стакан з теплою водою; пробірка; штатив для пробірок; скляна паличка.

У пробірку наливають 5 мл купрум-амоніачного розчину, опускають у нього дуже маленький шматочок гігроскопічної вати (целюлози) та ретельно перемішують вміст пробірки скляною паличкою до повного розчинення вати. Утворюється в'язка прозора рідина яскраво-синього кольору. Її виливають у стакан, що містить близько 100 мл теплої води, підкисленої

2-3 мл мінеральної кислоти (або із додаванням концентрованого розчину лугу). Целюлоза виділяється з розчину у вигляді пластівців.

Здатністю целюлози розчинятися у реактиві Швейцера користуються при виробництві купрум-амоніачного штучного шовку. Виділена в такий спосіб целюлоза є цілком аналогічною до вихідного матеріалу за складом, але вже не має характерної для природної целюлози волокнистої будови, хоча й може бути отримана у вигляді ниток заданої товщини. Целюлозу можна виділити з купрум-амоніачного розчину не лише за допомогою кислот, але й концентрованими розчинами лугів, а також розчинами солей.

3.8. Контрольні запитання

1. Які сполуки відносяться до вуглеводів ? Охарактеризуйте основні групи, на які поділяють цей клас біоорганічних сполук відповідно до сучасної класифікації.
2. Дайте визначення поняттям:
 - а) відновлюючі та невідновлюючі цукри;
 - б) засвоювані та незасвоювані вуглеводи. Відповідь поясніть.
3. Зазначте основні фізіологічні функції вуглеводів, які вони виконують у організмі людини.
4. Визначте особливості структури крохмалю. Якою є його харчова цінність? Наведіть приклади харчової сировини, яка є багатою на крохмаль.
5. Які перетворення відбуваються з вуглеводами у технологічному потоці та під час зберігання харчових продуктів ?
6. Що являють собою процеси карамелізації та мелаїдиноутворення ?

РОЗДІЛ 4. ЛІПІДИ

4.1. Ліпіди у сировині та харчових продуктах

Ліпідами називають складну суміш органічних речовин з близькими фізико-хімічними властивостями, яку виділяють з об'єктів рослинного, тваринного та мікробіологічного походження. Як правило, це природні похідні вищих жирних кислот, спиртів та альдегідів, які пов'язані естерним, етерним, амідним або глікозидним зв'язками. До них також відносять естери трьохатомного спирту гліцерину та вищих жирних кислот. *Ліпіди* – це гідрофобні речовини, що не розчиняються у воді, але добре розчиняються у органічних розчинниках (бензені, етері, хлороформі, ацетоні тощо). Разом з вуглеводами та білками ліпіди складають основну масу органічних речовин усіх живих організмів та виконують роль структурних компонентів клітин, запасних та захисних речовин. Одна з головних груп ліпідів позначається загальним терміном – *жири* (від грецького *lipos* – жир), тоді як інші представники складають окрему групу жироподібних речовин.

Ліпіди дуже поширені у природі. За своїм походженням вони поділяються на *тваринні* та *рослинні*. У рослинах вони накопичуються головним чином у насінні та плодах (до 50% й більше), а також у вегетативних частинах рослин (не більше 5%). Вміст ліпідів у окремих видах рослин залежить від сорту, місця та умов зростання. У тварин та риб ліпіди накопичуються переважно у тканинах, що оточують важливі органи (серце, нирки), а також підшкірній, мозковій та нервовій тканинах. Вміст ліпідів у тварин залежить від виду, складу кормів, умов утримання та ряду інших факторів. У табл. 4.1 наведено вміст ліпідів у різних природних об'єктах.

Тваринні та рослинні жири мають різні фізичні властивості й склад. Тваринні жири – це тверді речовини, до складу яких входить велика кількість насичених жирних кислот. Рослинні олії, як правило, є рідкими речовинами, що містять переважно ненасичені жирні кислоти (за винятком кокосового жиру та какао-масла). Джерелом рослинних жирів для людини є різноманітні масла та горіхи. Джерелом тваринних жирів слугує свинячий шпик та вершкове масло (табл. 4.2). Такі продовольчі товари, як

олія та сало на 99-100% складаються з ліпідів.

Таблиця 4.1. Вміст ліпідів у рослинних та тваринних організмах

Природний об'єкт	Вміст ліпідів, %	Природний об'єкт	Вміст ліпідів, %
Насіння соняшнику	30-58	Кукурудза	5,6
Насіння бавовнику	20-29	Рис	2,9
Коров'яче молоко	3,5-4,0	Какао-боби	49-57
Насіння льону	30-48	Кедрові горіхи	26-28
Ядро арахісу	50-61	Осетрові риби	20-25
Оливки	28-50	Свинина	33
Насіння коноплі	32-38	Яловичина	9,8

Таблиця 4.2. Вміст ліпідів у харчових продуктах (%)

Соняшникова олія	99,9
Горіхи	55-65
Вівсяна крупа	6,9
Гречана крупа	3,3
Свинячий шпик	90-92
Вершкове масло	72-82
Жирна свинина	49
Ковбаса	20-40
Сметана	30
Сири	15-30

У харчовому раціоні повинні поєднуватися жири як рослинного, так і тваринного походження. Краще за все, якщо в добовому раціоні передбачається вміст 70% тваринних та 30% рослинних жирів. Це означає, що при нормі споживання 100-105 г жирів на день, 70-75 г повинні приходиться на

тваринні, а 30 г – на рослинні жири. При цьому найкращим співвідношенням жирних кислот в раціоні буде таке поєднання: 10% – поліненасичених, 30% – насичених та 60% – мононенасичених кислот. Згідно із сучасними уявленнями, найбільш доцільним є споживання в кожен окремий прийом їжі жирів збалансованого складу, а не вживання різноманітних жирових продуктів протягом доби.

Таким чином, жири є необхідними у харчуванні людини, в першу чергу, з точки зору енергетичного та структурного матеріалу, який вони можуть надати для організму. Однак їх надлишок також є небажаним, тому що при цьому порушується обмін холестерину, посилюється здатність крові до зсідання, виникають умови, що сприяють розвитку ожиріння, жовчно-кам'яної хвороби та атеросклерозу. При нестачі жирів порушується діяльність центральної нервової системи, знижується імунітет та скорочується тривалість життя.

4.2. Фізіологічні функції та харчова цінність жирів

Жири відіграють надзвичайно важливу роль у житті тваринного та рослинного світу. Ліпіди є необхідними компонентами їжі, які у поєднанні з іншими біополімерами харчової сировини та продуктів забезпечують нормальне функціонування організму та здоров'я людини.

В організмі людини при нормальній вазі жирова тканина складає в середньому у чоловіків – 10-15, а у жінок – 15-25% від маси тіла. Один кілограм жирової тканини містить близько 800 г жиру; залишок становить вода, білок та інші речовини. В цілому, це складає близько 7200 ккал, тобто стільки треба спалити жиру, щоб позбутися від 1 кг зайвої ваги. У людей, що страждають на ожиріння, жирова тканина може складати 50% і більше від маси тіла.

Ліпіди виконують важливу роль в організмі людини. Серед важливих фізіологічних функцій ліпідів слід відзначити наступні:

1. Енергетична функція – ліпіди є найбільш енергомісткими поживними речовинами і незамінним джерелом поліненасичених жирних кислот та розчинних у жирах вітамінів А, D, Е, К. При окисненні в організмі 1 г жиру виділяється 38,9 кДж енергії. При окисненні вуглеводів

та білків утворюється лише 4 ккал, тобто ліпіди – це основний резервний матеріал, який використовується при погіршенні харчування та різноманітних захворюваннях. За рахунок жирів забезпечується 25-35% добової потреби людини в енергії.

2. Регуляторна функція – ліпіди є важливими факторами регулювання обміну води в організмі. При окисненні 100 г жиру виділяється 107 г ендогенної води, що має особливе значення в екстремальних умовах (наприклад, при недостатньому надходженні води ззовні).

3. Пластична функція – ліпіди входять до складу клітинних мембран та позаклітинних структур усіх тканин у вигляді ліпопротеїдів й таким чином беруть участь у окисно-відновних процесах, біосинтезі білку та транспорті речовин у клітині. Із ліпідів утворюються деякі гормони (статеві, надниркові та ін.), а також вітаміни групи D.

4. Захисна функція – ліпіди шкіри та внутрішніх органів захищають організм людини і тварин від переохолодження (заважають тепловіддачі), а також від механічних ушкоджень окремих органів. Ліпіди, що виділяються сальними залозами, надають шкірі еластичності та захищають її від пересихання.

5. Структурна функція – протоплазматичний жир, який містить фосфоліпіди, утворює міцні сполуки з білками (ліпопротеїнові комплекси). Вони містяться у крові, беруть участь у побудові клітинних органел (ядра, рибосом, мітохондрій). Протоплазматичний жир знаходиться у органах і тканинах у постійній кількості (близько 25% усіх ліпідів), яка не змінюється навіть при повному голодуванні.

6. Резервна функція – резервний жир відкладається у “жирових депо” (підшкірна клітковина, жирова капсула нирок та ін.). Він також утворює нестійкий ліпопротеїновий комплекс, через що його кількість швидко зменшується при голодуванні, а також при деяких нервових та гуморальних порушеннях.

7. Ліпіди є розчинниками та переносниками вітамінів А, D, Е, К.

8. Беруть участь у синтезі статевих гормонів, які забезпечують пристосування організму до різних стресових ситуацій.

4.3. Класифікація ліпідів

Ліпіди зазвичай поділяють на дві основні групи: запасні (резервні) та структурні (протоплазматичні).

Запасні ліпіди, переважно жири, мають високу калорійність, є енергетичним та будівельним резервом організму. В екстремальних ситуаціях за їх рахунок організм може існувати протягом декількох тижнів. У рослинних організмах запасні ліпіди допомагають переносити несприятливі умови існування. До 90% усіх видів рослин містять запасні ліпіди у насінні. Запасні ліпіди тварин та риб, концентруючись у підшкірній клітковині, захищають організм від травм.

В організмі людини резервні (запасні) ліпіди накопичуються під шкірою, у черевній порожнині та в області нирок. Накопичення жиру залежить від характеру харчування, рівня енерговитрат, віку, статі, конституційних особливостей, діяльності залоз внутрішньої секреції. До запасних ліпідів можна віднести також воски, які виконують захисну функцію. У запасних ліпідах постійно відбуваються процеси синтезу та розпаду, тому вони є основним джерелом оновлення внутрішньоклітинних структур.

Структурні ліпіди утворюють складні комплекси з білками і вуглеводами, з яких побудовані мембрани клітин та позаклітинних структур. Вони беруть участь у складних процесах, що протікають всередині клітини. За масою ці сполуки значно поступаються запасним ліпідам. Наприклад, у насінні олійних культур запасні ліпіди складають 95-96%, а структурні – лише 3-5%. Останні відносять до так званих “зв’язаних” та “міцно зв’язаних” ліпідів.

За хімічним складом ліпіди зазвичай поділяють на прості та складні (рис. 4.1). До **простих ліпідів** відносяться сполуки, які не містять атомів Нітрогену, Фосфору та Сульфуру. Це переважно похідні одноатомних вищих карбонових кислот, а також одно- та багатоатомних спиртів. Найбільш поширеними та важливими представниками простих ліпідів є ацилгліцерини та воски. Ацилгліцерини (гліцериди) – це естери високомолекулярних карбонових кислот та гліцерину. Вони складають основну масу ліпідів (до 95-96%) і саме їх називають жирами та маслами.

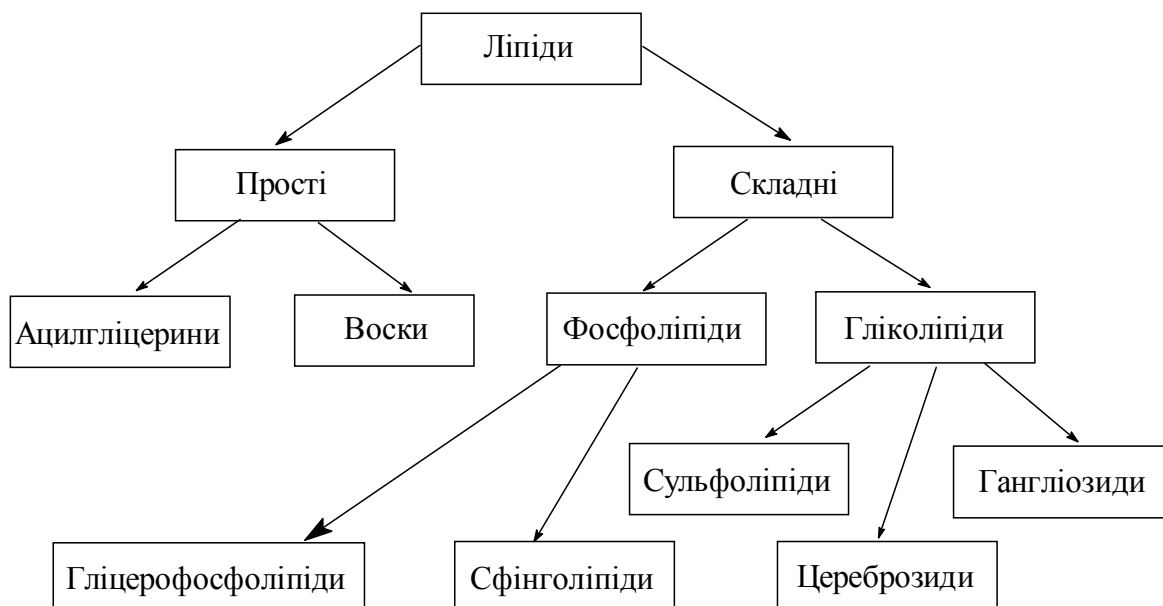


Рис. 4.1. Класифікація ліпідів за їх хімічним складом

Властивості конкретних жирів та масел визначаються складом жирних кислот, а також положенням, яке займають їх залишки у молекулах ацилгліцеринів. У жирах та маслах в цілому виявлено до 300 карбонових кислот, найбільш поширені з яких містять від 12 до 18 атомів Карбону та мають нерозгалужені карбонові ланцюги (табл. 4.3). Зокрема, стеаринова та пальмітинова кислоти входять до складу практично усіх природних жирів. До складу більшості масел входять також олеїнова, ліолева та ліноленова жирні кислоти. Ненасичені кислоти природних жирів та масел мають, як правило, *цис*-конфігурацію, тобто замісники в їх молекулах розташовані по один бік від площини подвійного зв'язку.

Таблиця 4.3. Карбонові кислоти, що входять до складу жирів та масел

Кислота	Число атомів Карбону	Формула	Умовне позначення
1	2	3	4
<i>Насичені кислоти</i>			
Лауринова	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	C_{12}^0
Міристинова	14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	C_{14}^0
Пальмітинова	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	C_{16}^0
Стеаринова	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	C_{18}^0

Продовження табл. 4.3

1	2	3	4
<i>Ненасичені кислоти</i>			
Олеїнова	18	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	C_{18}^1
Ерукова	22	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{COOH}$	C_{22}^1
Лінолева	18	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	C_{18}^2
Ліноленова	18	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH})_3-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	C_{18}^3
Арахідонова	20	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH})_4-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH}$	C_{20}^4
<i>Оксикислоти</i>			
Рицинолева	18	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	

Кислоти, які мають розгалужені карбонові ланцюги, містять гідроксильні, кетоніві та інші групи; у складі ліпідів рослин, тварин і риб вони містяться у незначній кількості. Виключенням є рицинолева кислота, яка міститься у касторовій олії. Слід відзначити, що такі поліненасичені кислоти, як лінолева та ліноленова, не синтезуються у організмі. Арахідонова кислота синтезується із лінолевої кислоти за участю вітаміну В₆. Тому ці кислоти отримали назву *незамінних*. Незамінні кислоти відіграють важливу роль в організмі:

- підвищують резистентність до різних інфекцій;
- знижують чутливість до радіоактивного випромінювання;
- утворюють сполуки з холестерином та перешкоджають його відкладанню у стінках судин, попереджаючи тим самим атеросклероз;
- підтримують розумову активність, сприяють функціонуванню головного мозку та нервів.

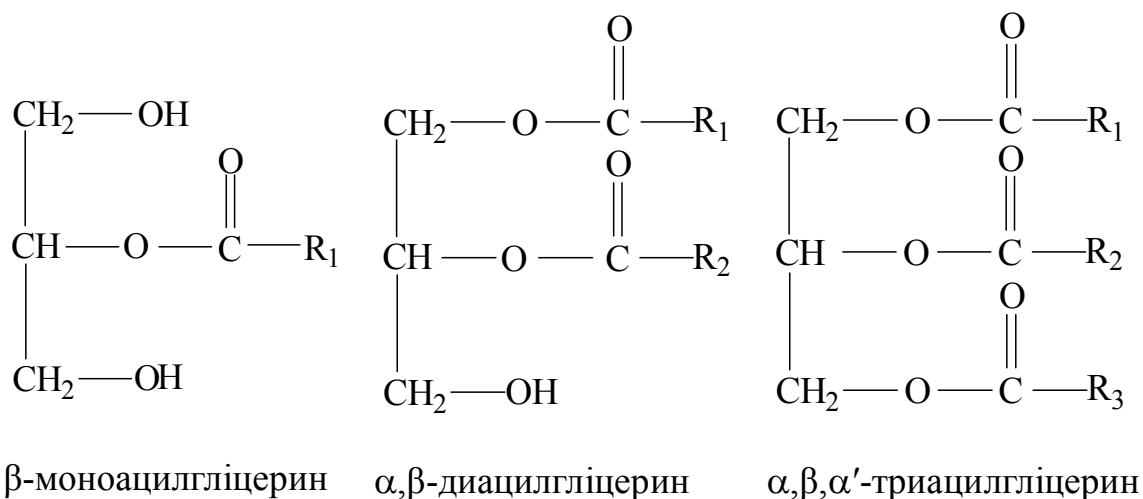
Основними джерелами лінолевої та α -ліноленової кислот є конопляна, льняна, соняшникова олії, олія з насіння ріпаку, з волоського горіха та зерен пшениці, кукурудзяна олія і олія з виноградних кісточок. Джерелом арахідонової кислоти, яку також називають вітаміном F, є свиняче сало та ячний жовток. Недостатність в організмі лінолевої кислоти може привести до уповільнення зростання та змін в клітках шкіри, залоз внутрішньої секреції та статевих органів. Недостатність α -ліноленової кислоти призводить до зниження здатності дитини до навчання, відхилень у передачі

нервових імпульсів, збільшення небезпеки виникнення тромбозу, а також зниження опірності до алкоголю.

Поліненасичені жирні кислоти входять до складу родини омега-3 та омега-6. Науковими дослідженнями доведено, що жири омега-3 запобігають та покращують стан при екземі, алергії, астмі, хворобі Альцгеймера, депресії та нервових хворобах, цукровому діабеті, гіперактивності дітей, псоріазі, остеопорозі, артрозі, а також раку простати. Ненасичені кислоти на відміну від насичених, необмежено розчиняються у неполярних розчинниках, і тому протидіють відкладенню холестерину на стінках кровоносних судин та інших утворень ліпідної природи.

Насичені жирні кислоти містяться в основному у ліпідах тваринного походження: у м'ясі, свинині, вершковому маслі, молоці та всіх молочних продуктах, а також в деяких сортах сиру, курячому жирі, яйцях, маслі какао, шоколаді та ін. У більшості продуктів харчування міститься звичай суміш різних жирних кислот. Пальмове та кокосове масла відносяться до групи рослинних масел, що містять у великій кількості насичені жири. Помітною особливістю насичених жирних кислот з рослинних джерел є їх висока стійкість до дій зовнішнього середовища. Продукти, що їх містять, довго зберігаються, не набуваючи згірклого смаку. У зв'язку з цим пальмове масло активно використовується у виробництві маргарину та сумішевих масел для поліпшення товарного вигляду і подовження термінів придатності продуктів. Тим часом вигідні для товаровиробників насичені жири зовсім не корисні для здоров'я людини, тому що вони підвищують рівень холестерину у крові, сприяючи розвитку атеросклерозу. При надмірному їх вживанні збільшується також ризик розвитку серцевих захворювань.

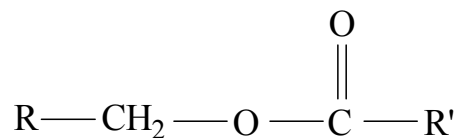
В залежності від кількості естерифікованих гідроксильних груп Гліберину розрізняють моно-, ди- та триацилгліцерини. Триацилгліцерини, молекули яких містять залишки однієї і тієї ж кислоти, називають *простими*, а у випадку різних кислот – *змішаними*. Природні жири та олії містять переважно змішані тригліцериди.



де $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{—C—R}_1 \end{array}$, $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{—C—R}_2 \end{array}$, $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{—C—R}_3 \end{array}$ — залишки жирних кислот (ацили).

У природних тваринних триацилгліцеридах положення α- та α'- зайняті переважно ацилами насичених жирних кислот, а також β-ацилом ненасиченої кислоти. У рослинних жирах може бути й навпаки. Значна кількість різних триацилгліцеринів пов'язана з різною будовою і положенням α,β,α'-ацилів жирних кислот у молекулах триацилгліцеринів. Положення залишків жирних кислот в ацилгліцеридах сильно впливає на їх фізико-хімічні властивості.

Ацилгліцерини в залежності від консистенції – це рідкі або тверді речовини з низькими температурами плавлення (до 40°C) та високими температурами кипіння, значною в'язкістю, зазвичай без кольору та запаху; як правило, вони є легшими за воду та нелеткими. Завдяки високим температурам кипіння на них можна смажити їжу. При цьому жири не випаровуються зі сковороди, а завдяки низьким температурам плавлення мають приємний смак. Ацилгліцерини добре розчиняються в органічних розчинниках й погано – у воді. Слід зауважити, що до простих жирів відносяться також й **воски**. Восками називають естери високомолекулярних одноосновних карбонових кислот (C₁₈-C₃₀) та одноатомних високомолекулярних спиртів (C₁₆-C₃₀). У табл. 4.4 наведено структури деяких з них, які можуть входити до складу восків.



Таблиця 4.4. Основні одноатомні спирти у складі ліпідів

Назва	Формула
Міристиновий	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{CH}_2\text{OH}$
Цетиловий	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{CH}_2\text{OH}$
Стеариловий	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{CH}_2\text{OH}$
Карнаубіловий	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{22}-\text{CH}_2\text{OH}$
Цериловий	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{24}-\text{CH}_2\text{OH}$
Мірициловий	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{26}-\text{CH}_2\text{OH}$
Мелісиловий	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{29}-\text{CH}_2\text{OH}$
Олеїловий	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_2\text{OH}$

Воски широко розповсюджені у природі. У рослин вони вкривають тонким шаром листя, стебла, плоди та оберігають їх від змочування водою, висихання або дії мікроорганізмів. Бджолиний віск зберігає мед та личинок бджіл. Ланолін – тваринний віск – оберігає волосся та шкіру від дії води. У фітопланктону воски виконують функцію клітинного палива.

Розрізняють рослинні та тваринні, тверді та м'які воски. Рослинний віск є складною сумішшю органічних сполук з великою молекулярною масою, він покриває листя та стебла рослин у тропічних та посушливих районах й зменшує випаровування води. Прикладом рослинного воску є карнаубський віск, котрий вкриває листя восконосної пальми карнауби (*Copreticia prunifera*) родини пальмових (*Arecaceae*), яка росте вздовж берегів річок у Бразилії. Її листя ріжуть та розбивають, щоб зібрати віск. Його використовують для натирання підлоги, автомобільних кузовів, виготовлення копіювального паперу, кремів для взуття та шкіри, застосовують у фармації та косметичці. Цей віск на 80% складається з естерів вищих жирних кислот та вищих спиртів. Їх вміст у зерні та плодах є невеликим і становить десяті й соті частки відсотка від маси оболонки.

Бджолиний віск – це біла або жовтувата пластична речовина, яка

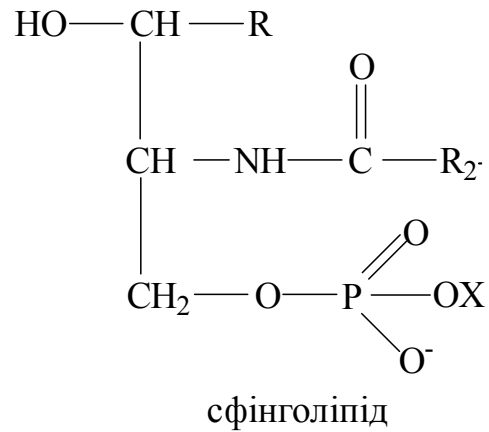
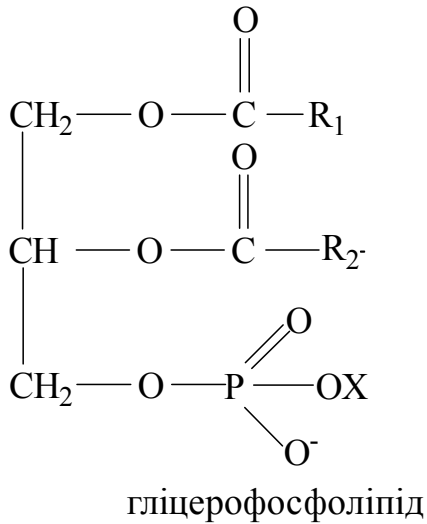
виробляється восковими залозами бджіл. Віск добувається з бджолиних стільників і є сумішшю, яка на 72% складається з естерів вищих жирних кислот та вищих спиртів (з них 33% мірицилпальмітату $C_{15}H_{31}COOC_{30}H_{61}$), а також містить 13,5% вільних кислот й 12-12,5% вуглеводнів.

До *складних ліпідів* відносяться речовини, молекули яких окрім залишків жирних кислот і спиртів містять також похідні ортофосфатної кислоти (фосфоліпіди), залишки вуглеводів (гліколіпіди), азотисті сполуки – холін, коламін, серин. Вони присутні у кожній клітині (містяться переважно у клітинних мембранах) мозкової та нервової тканин, а також зустрічаються в усіх природних оліях, маслах та вершках. Важливими представниками складних ліпідів є *фосфоліпіди*. Це обов'язковий компонент клітин (табл. 4.5). Разом із білками та вуглеводами фосфоліпіди беруть участь у побудові клітинних перетинок та субклітинних структур, виконуючи роль несучих конструкцій. На фосфоліпіди багата нерафінована олія. Вони містяться також й у продуктах тваринного походження – м'ясі, печінці, жовтках, вершках, сметані. Додаткова потреба людини у цих речовинах складає 5-10 г. Фосфоліпіди, виділені в якості побічних продуктів при отриманні масел, проявляють властивості типових емульгаторів. Вони застосовуються у хлібопекарській та кондитерській промисловості, а також при виробництві маргаринів.

Таблиця 4.5. Фосфоліпіди рослин, молока, м'яса та яєць

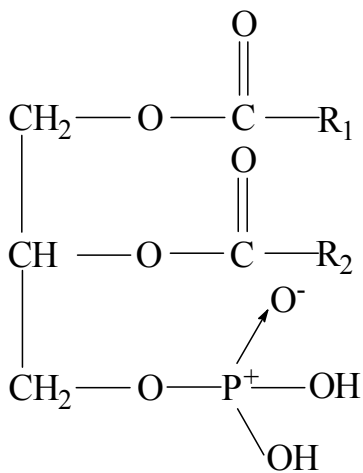
Культура	Вміст фосфоліпідів	Продукт	Вміст фосфоліпідів
Соя	1,8	Яловичина	0,9
Бавовник	1,7	Свинина	1,23
Соняшник	0,7	Печінка	2,5
Пшениця	0,54	Яйце (куряче)	2,39
Овес	0,6	Молоко	0,03
Кукурудза	0,9	Сир	0,05

В залежності від складу гліцерофосфатида поділяють на фосфатидні кислоти, лецитини, кефаліни, серинфосфатида, ацетальфосфатида та фосфоїнозитида. Загальні формули фосфоліпідів, які містять залишки гліцерину та сфінгозину мають такий вигляд:

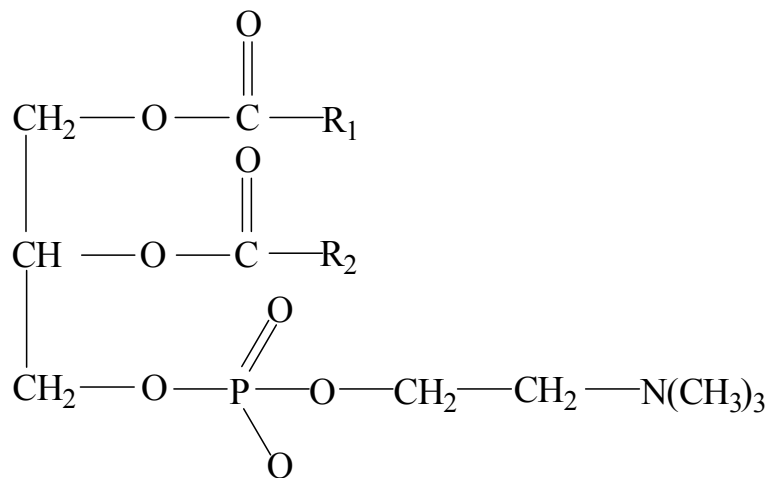


де R_1 та R_2 – вуглеводневі радикали.

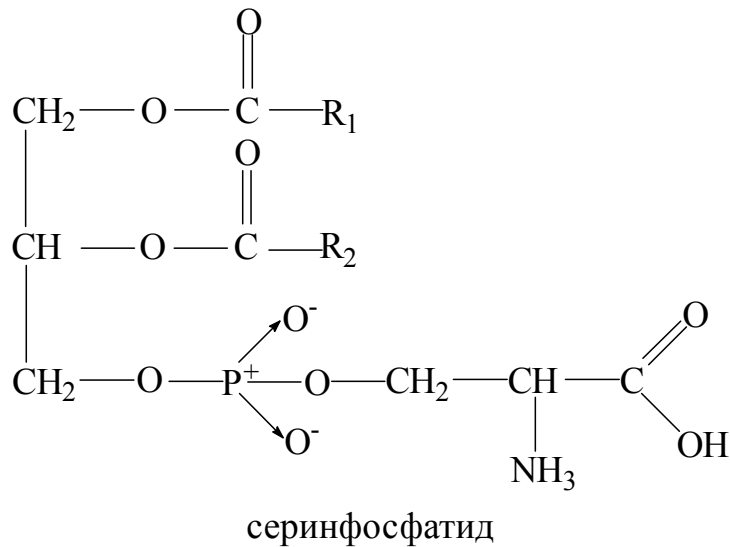
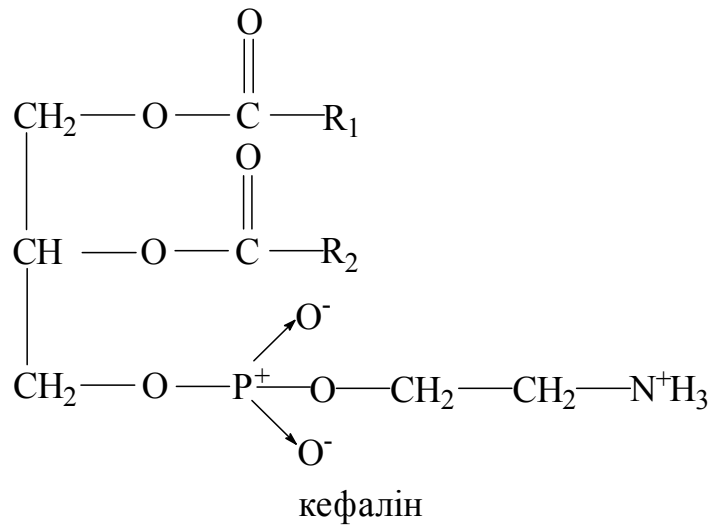
Гліцерофосфатида – це естери, утворені гліцерином, фосфатною кислотою та жирними карбоновими кислотами. Серед останніх найчастіше у складі гліцерофосфатидів зустрічаються міристинова, пальмітинова, стеаринова, пальмітоолеїнова, олеїнова та арахідонова кислоти.



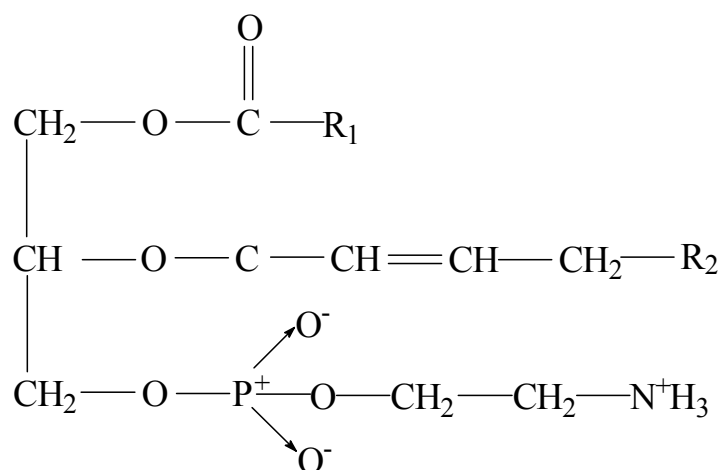
α -фосфатидна кислота



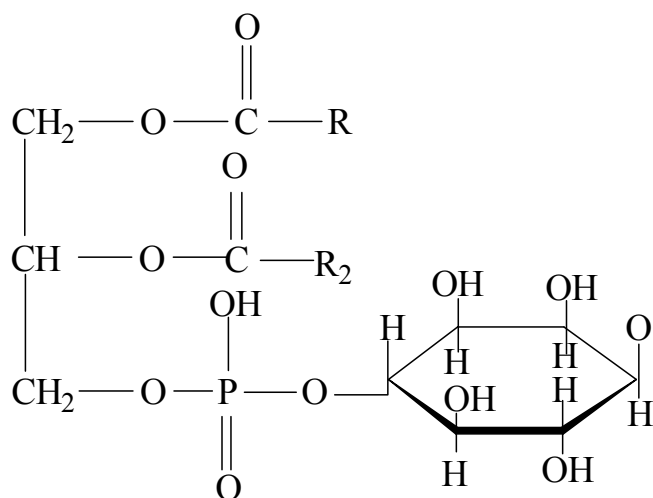
лецитин



Фосфатидні кислоти широко розповсюджені у природі. Для них існують так звані α - та β -ізомери. У вигляді калієвих та натрієвих солей фосфатидні кислоти містяться у зелених частинах рослин. Лецитини входять до складу жовтку курячого яйця (до 10%), молочного жиру (до 1,4%), мозкової та нервової тканин, а також насіння та паростків рослин. Лецитини мають здатність набрякати та створювати емульсії. Завдяки цьому вони знайшли широке використання як емульгатори у виробництві майонезу, маргарину та ін. Кефаліни містяться у тканинах головного мозку. Серинфосфатиди знаходяться у продуктах тваринного та рослинного походження. Важливою речовиною для тканин головного мозку є фосфатидисерин. Ацетальфосфатиди (плазмологени) входять до складу ліпідів головного мозку та м'язів великої рогатої худоби.



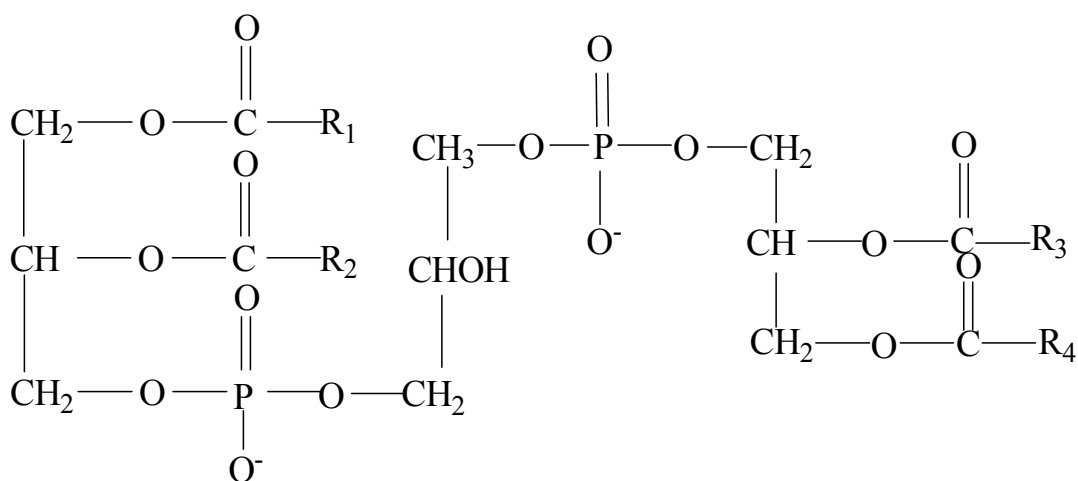
ацетальфосфатид



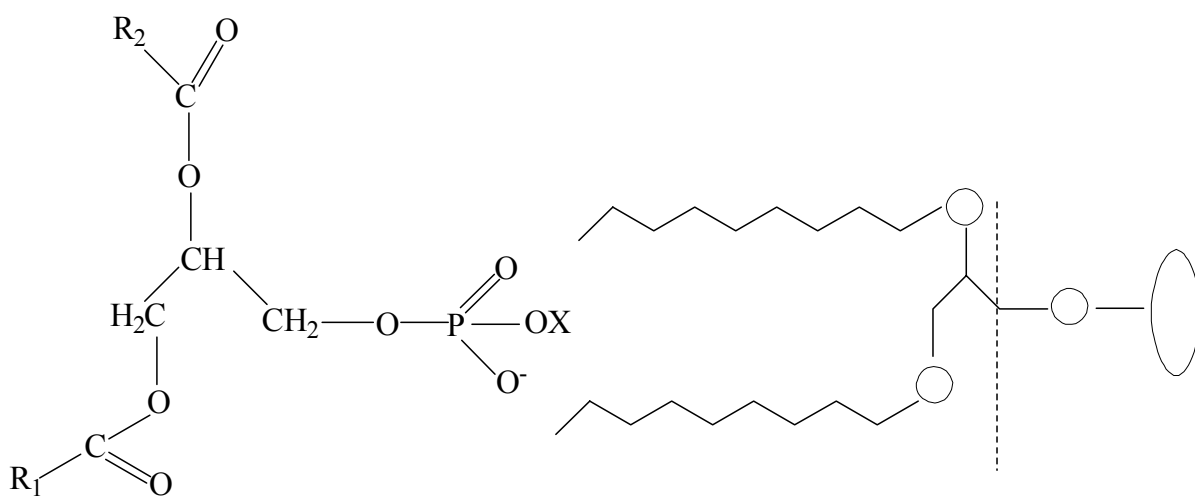
фосфоїнозитид

Кардіоліпіни є “подвоєними” гліцерофосфатидами. В їх молекулах два залишки фосфатидної кислоти об’єднуються між собою за допомогою гліцеролового “містку”. Молекули більшості фосфоліпідів побудовані таким чином, що до їх складу входять, з одного боку, гідрофобні (неполярні) групи, а з іншого – гідрофільні (полярні). До останніх належать залишки фосфатної кислоти та азотистої основи, до перших – вуглеводневі радикали. Тому фосфоліпіди є амфифільними сполуками, тобто мають спорідненість як до полярних, так і до неполярних розчинників.

Схематичну структуру фосфоліпіду (на прикладі гліцерофосфоліпіду) представлено нижче. Завдяки своїй амфифільності молекули такого типу здатні до утворення міцел, причому у неполярних розчинниках вони побудовані таким чином, що їх гідрофобні частини утворюють зовнішній шар, а гідрофільні – внутрішній шар міцели. У полярних розчинниках спостерігається зворотня тенденція.



кардіоліпін



гідрофобні вуглеводневі залишки

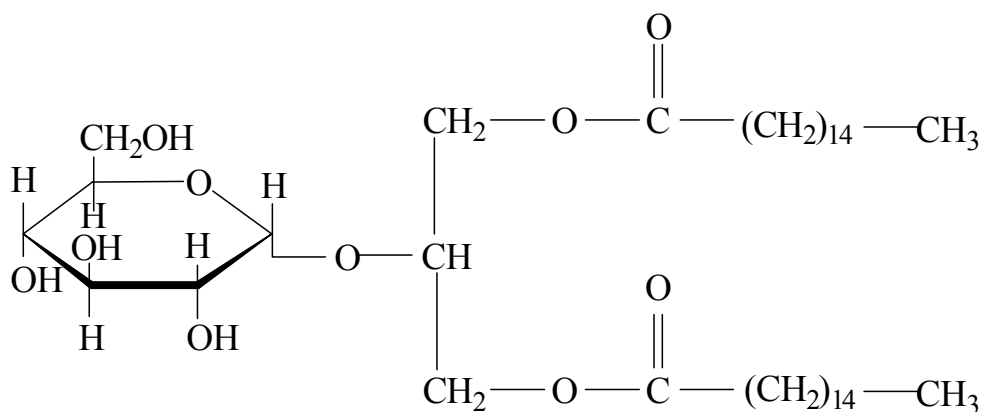
хвости

ланка

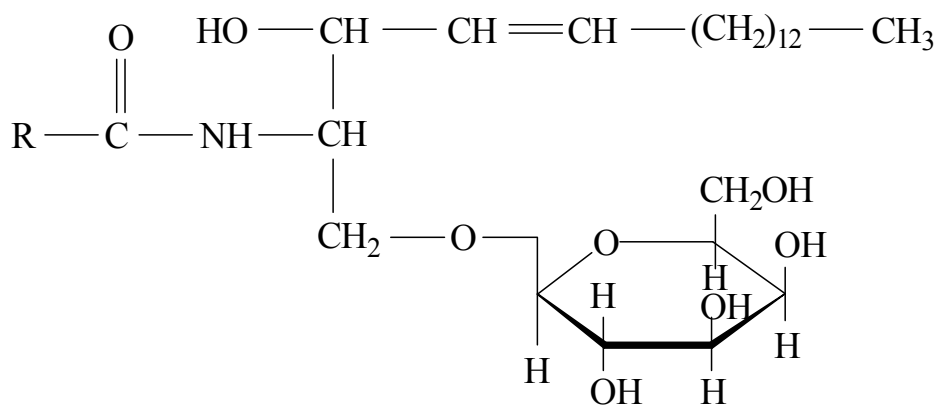
голова

Гліколіпіди – різноманітна за будовою група ліпідів, до складу яких входять залишки моносахаридів. Гліколіпіди у невеликій кількості містяться у рослинних та тваринних організмах і виконують структурні функції, беручи участь у побудові клітинних мембран. Цим сполукам також належить важлива роль у формуванні клейковинних білків пшениці, які визначають хлібопекарську якість борошна.

В молекулах гліколіпідів роль полярного компоненту виконує не фосфат, а залишок вуглеводу (галактози, глюкози, манози або олігосахариду), з'єднаний з центральною ланкою за допомогою етерного зв'язку. Центральною ланкою може бути залишок гліцерину (такі гліколіпіди знайдені у бактеріях та зелених рослинах), або сфінгозину у цереброзидах та гангліозидах. Серед моносахаридів у складі гліколіпідів досить часто зустрічаються глюкоза, маноза та галактоза D-стереохімічного ряду.

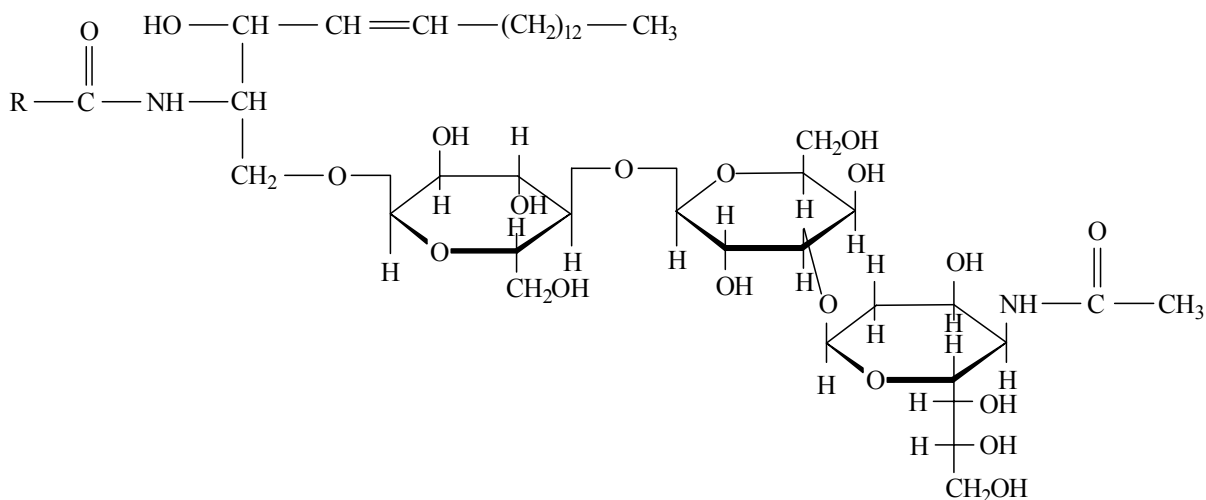


глюкозил-дипальмітид-гліцерин



цереброзид

До складу гангліозидів входять складні розгалужені олігосахариди, що містять хоча б один залишок N-ацетилнейрамінової (сіалової) кислоти. У клітинних мембранах знайдено більш ніж 15 різних класів гангліозидів.



N-ацетилнейрамінова кислота

Сульфоліпіди можна розглядати як похідні гліколіпідів, в молекулах яких залишок сульфату утворює етерний зв'язок з гідроксильною групою вуглеводневого компонента.

Гліколіпіди у великих кількостях містяться у нервовій тканині – мієлінових оболонках нервів та сірій речовині мозку, хоча є досить поширеними й у інших тканинах. При деяких хворобах гліколіпіди накопичуються у аномально великих кількостях, що пов'язано з обміном речовин. Гангліозиди входять до складу рецепторних ділянок мембран.

4.4. Біологічна роль поліненасичених жирних кислот

У харчуванні людини важливе значення має не лише кількість, але й хімічний склад ліпідів, особливо вміст поліненасичених жирних кислот (ПНЖК). Особливе фізіологічне значення мають такі кислоти, що містять у своїх молекулах два чи більшу кількість подвійних зв'язків. Зокрема, лінолева та ліноленова кислоти не синтезуються в організмі людини, тоді як арахідонова кислота може утворюватися з лінолевої в присутності вітаміну В₆ та біотину. Тому ці сполуки отримали назву **“незамінних”** або **“есенціальних”** кислот. Комплекс ненасичених жирних кислот (лінолевої та ліноленової) за їх біологічним значенням прирівнюють до вітаміну F.

Ще понад 50 років тому було показано необхідність цих найважливіших структурних компонентів ліпідів для нормального функціонування та розвитку організму. Ненасичені жирні кислоти необхідні для росту та обміну речовин, оскільки:

- вони є структурними елементами фосфоліпідів та ліпопротеїнів клітинних мембран, а також входять до складу сполучної тканини та оболонок нервових клітин;

- беруть участь у транспортуванні та окисненні холестерину;

- запобігають виникненню тромбів;

- забезпечують еластичність судин;

- беруть участь в обміні вітамінів групи В;

- стимулюють захисні функції організму;

- беруть участь в утворенні гормонів та гормоноподібних речовин (простагландинів), які регулюють різноманітні процеси у організмі.

Поліненасичені жирні кислоти поділяються на різні родини в залежності від положення першого подвійного зв'язку відносно метильного кінця молекули кислоти. Якщо подвійний зв'язок розташований на

шостому місці від метильного кінця, тоді ПНЖК відноситься до родини ω -6. Такі жирні кислоти переважають у рослинних оліях – це лінолева та ліноленова кислоти. ПНЖК родини ω -3 містяться головним чином в жирах морських риб та ссавців: α -лінолева, ейкозапентанова, докозагексаєнова та докозапентаєнова кислоти. ω -6 та ω -3 кислоти у раціоні здорової людини повинні становити співвідношення (10:1), тоді як для лікувального харчування – від (3:1) до (5:1), зокрема, при бронхіальній астмі, гіпертонії, цукровому діабеті, шкірних захворюваннях, імунодефіцитному стані. Вміст ПНЖК в деяких продуктах харчування наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Вміст поліненасичених жирних кислот у продуктах

Назва продукту	ПНЖК, %
вершкове масло	3
свинячий жир	7
яловичий жир	3
оливкова олія	7
арахісове масло	32
бавовняна олія	45
соєва олія	50
соняшникова олія	62
кукурудзяна олія	70

Недостатня кількість ПНЖК викликає небезпечні зміни в організмі людини. Все починається із шкірних симптомів, потім випадає волосся, настає облісіння, виникають екземи, тяжкі мігрені, безпліддя, підвищена спрага, значна чутливість до інфекційних захворювань, порушення транспортування холестерину, пошкодження нирок. При повній відсутності ПНЖК у харчуванні спостерігається припинення росту, з'являються некротичні ураження шкіри, спостерігається зміна проникності капілярів. Для появи в організмі змін, характерних для дефіциту ПНЖК, людина повинна перебувати на безжировій дієті більше півроку.

Біологічна активність ПНЖК є неоднаковою. Найбільшу активність

має арахідонова кислота, достатньо високу – лінолева, причому активність останньої є значно нижчою за ліноленову (у 8-10 разів). Серед продуктів харчування найбільш багатими на ПНЖК є рослинні олії, особливо кукурудзяна, соняшникова, соєва (вміст лінолевої кислоти сягає 50%), у маргарині – до 20%. У тваринних жирах цих кислот мало (яловичий жир – 0,6%). Суттєвим постачальником речовин такого типу є також борошняні продукти, й у першу чергу, темний хліб із борошна грубого помелу.

Арахідонова кислота в продуктах харчування міститься у незначних кількостях, в рослинних оліях вона цілком відсутня. У найбільшій кількості вона міститься у яйцях – 0,5, субпродуктах – 0,2-0,3, у мізках – 0,5%. Потреба у ПНЖК для людини складає 3-6 г на добу. ПНЖК застосовуються також як біологічно активні добавки до їжі. Добова потреба людини у лінолевій кислоті складає 4-10 г, що становить 20-30 г рослинних масел.

Для людей похилого віку та хворих на серцево-судинні захворювання вміст лінолевої кислоти має становити близько 40%, а співвідношення ПНЖК та насичених – відповідати пропорції (2:1); співвідношення лінолевої та ліноленової становитиме більше (10:1). За сучасними уявленнями, збалансованим вважають наступний жирно-кислотний склад триацилгліцеролів: поліненасичені жирні кислоти – 10%; мононенасичені – 60%; насичені – 30%. Таке співвідношення забезпечується вмістом у раціоні 1/3 рослинних масел та 2/3 тваринних жирів.

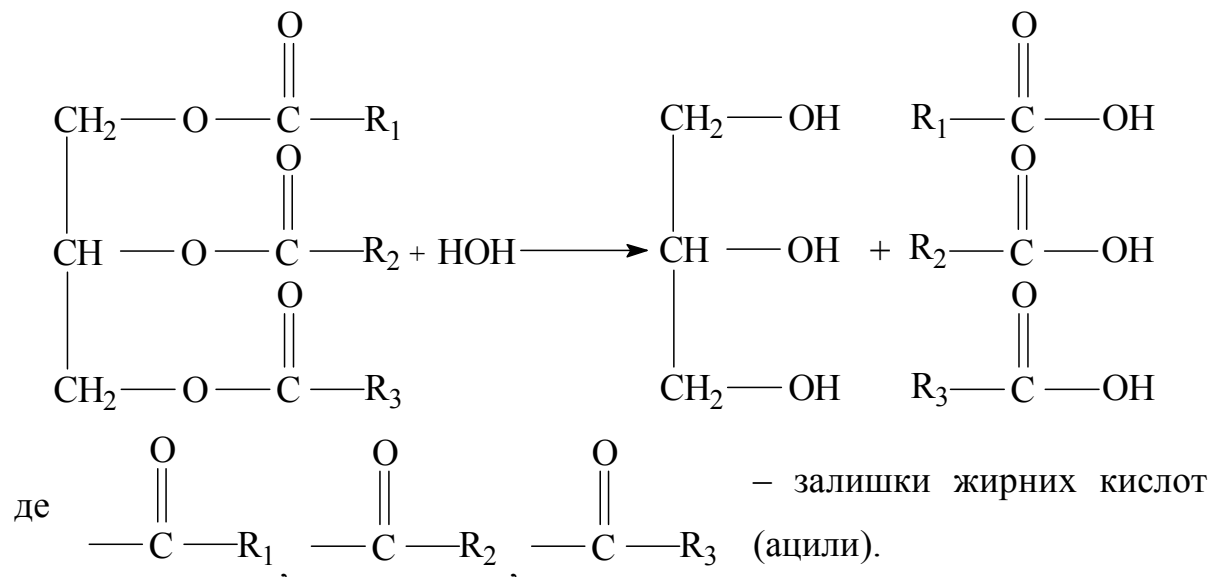
4.5. Основні перетворення жирів та ліпідів під час виробництва та зберігання харчових продуктів

При отриманні харчових продуктів як у промисловості, так і в домашніх умовах ліпіди вихідної сировини (зерно, м'ясо та молоко, жири й олії, плоди та овочі тощо) зазнають різноманітних перетворень. Значні зміни відбуваються й у ліпідному комплексі продуктів, що зберігаються. Все це істотно позначається на їх складі, а отже, на харчовій та біологічній ефективності готових харчових продуктів.

Ліпіди в залежності від особливостей їх будови вступають у різні перетворення. Для ацилгліцеринів, які складають основну масу олій та жирів, характерні гідроліз, переестерифікація (обмін ацилів жирних кислот

у складі молекул жирів), алкоголіз, ацидоліз, гідрування та окиснення ненасичених ацилгліцеринів.

Гідролітичний розпад. Під впливом ферменту ліпази, кислот чи лугів триацилгліцерини гідролізують з утворенням ди-, потім моногліцеридів й у кінцевому результаті – жирних кислот та гліцерину. Схема повного гідролізу має такий вигляд:



Лужний гідроліз одержав назву **омилення**, тому що в результаті утворюється гліцерин та солі жирних кислот (калійні солі – рідкі мила та натрієві солі – тверді мила). Гідролітичний розпад жирів та олій, ліпідів зерна та продуктів його переробки, а також м'яса та риби є однією з причин погіршення їх якості та псування. Цей процес прискорюється із збільшенням вологості продуктів, що зберігаються, підвищенням температури, активності ферменту ліпази. Гідролітичний розпад ліпідів та жиромісних продуктів відбувається й у багатьох технологічних процесах, а також під час кулінарної обробки продуктів.

Кількість вільних жирних кислот, які містяться у продуктах і утворюються при гідролізі жирів, визначається кислотним числом. **Кислотне число** – це маса (у мг) калій гідроксиду, необхідна для нейтралізації вільних жирних кислот, які містяться в 1 г жиру. Кислотне число жиру для

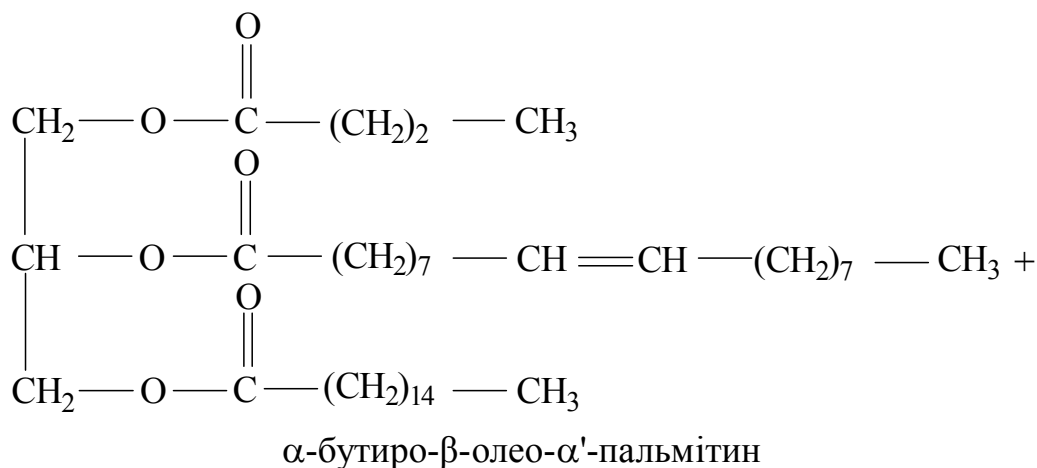
деяких харчових продуктів нормується стандартами та є одним з показників, що характеризують їх якість (табл. 4.7).

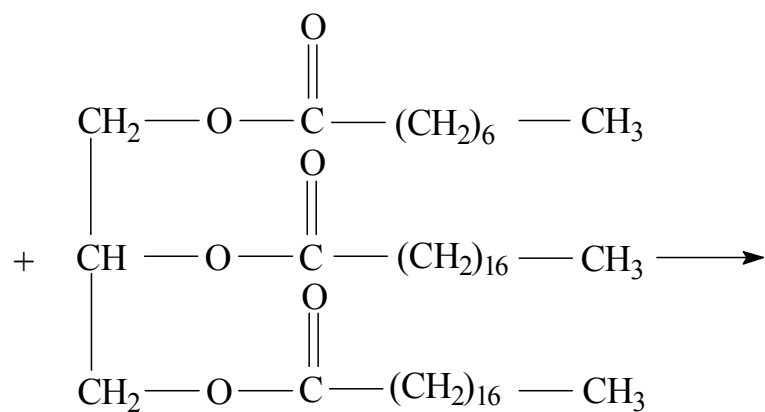
Таблиця 4.7. Кислотне число деяких харчових продуктів

Об'єкт	Кислотне число, мг КОН
Пшениця	5,1-24,4
Овес	9,4-13,2
Соняшник	1,3-4,0
Масла рослинні	0,4-2,25
Масла жовтка	1,5
Саломаси	2,0
Маргарини	2,0

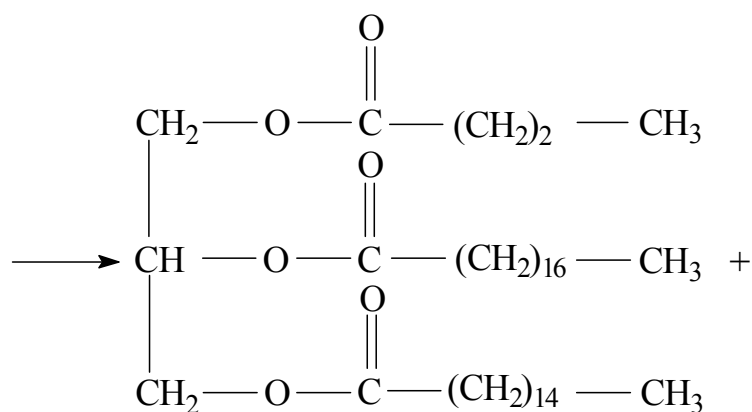
Переестерифікація. Ацилгліцерини у присутності каталізаторів (натрій метилат або етилат, натрій гідроксид, ферменти), здатні до обміну/міграції залишків жирних кислот. Цей процес отримав назву переестерифікації. При цьому сильно змінюється ацилгліцериновий склад жиру, а отже, і його фізико-хімічні властивості.

Обмін кислотних залишків може відбуватися між молекулами ацилгліцеринів (так звана міжмолекулярна переестерифікація) та у межах однієї молекули (внутрішньомолекулярна переестерифікація). Міжмолекулярний різновид цього процесу, який реалізується за участю молекул різних ацилгліцеринів, представлено нижче:

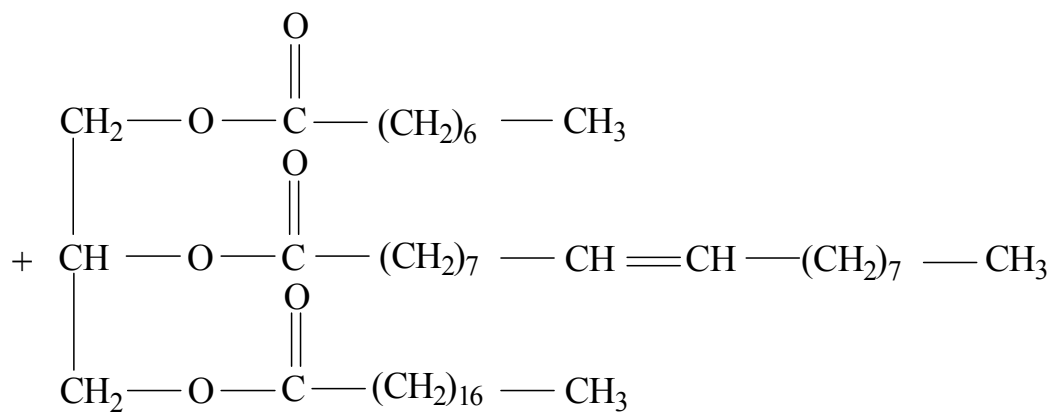




α -каприло- β -стеарино- α' -стеарин

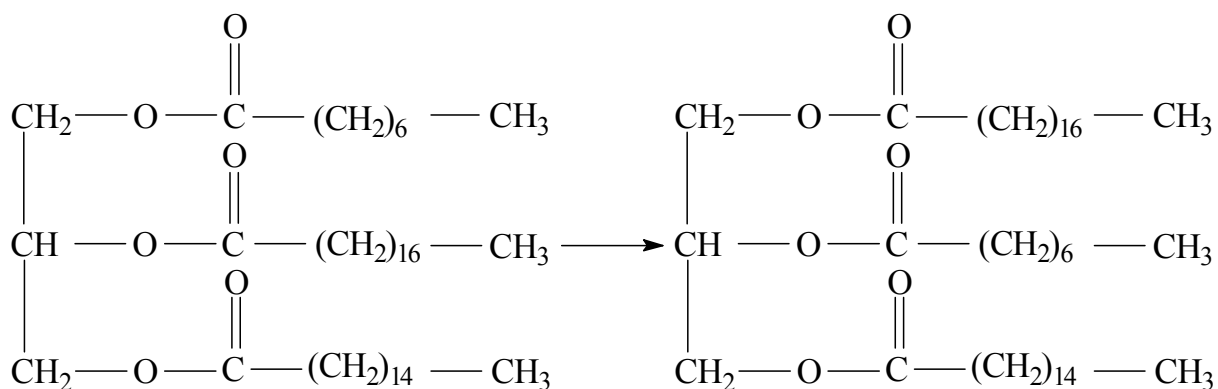


α -бутиро- β -стеарино- α' -пальмітин



α -каприло- β -олео- α' -стеарин

Реакція внутрішньомолекулярної переестерифікації для ацилгліцерину записується таким чином:

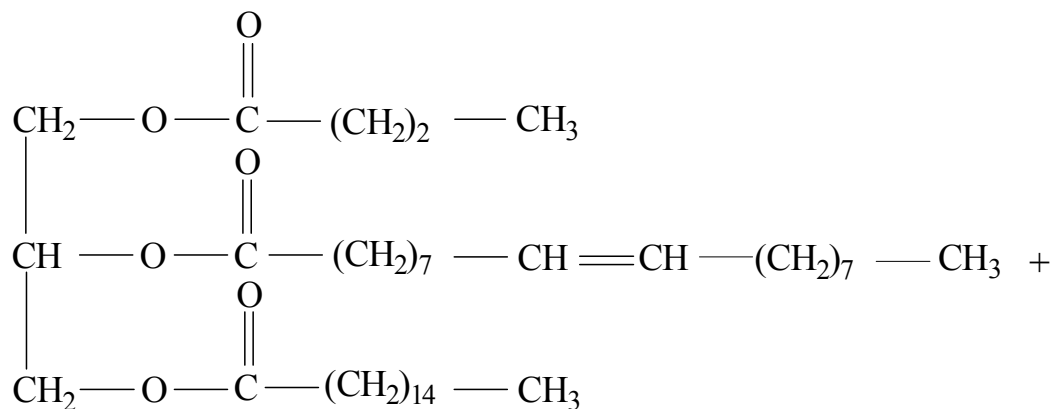


α -каприло- β -стеарино- α' -пальмітин

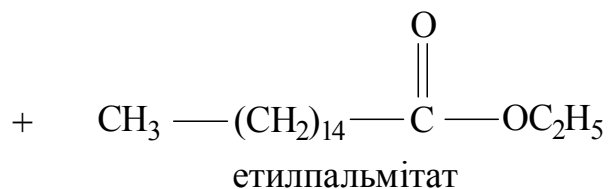
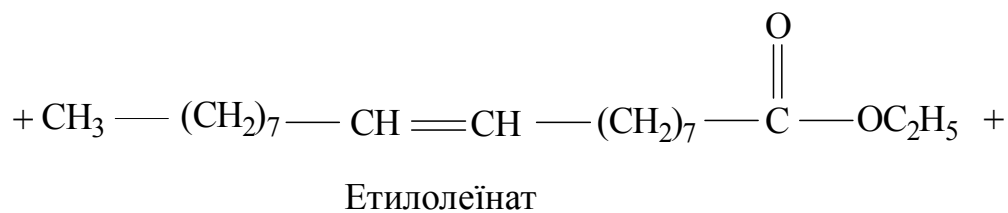
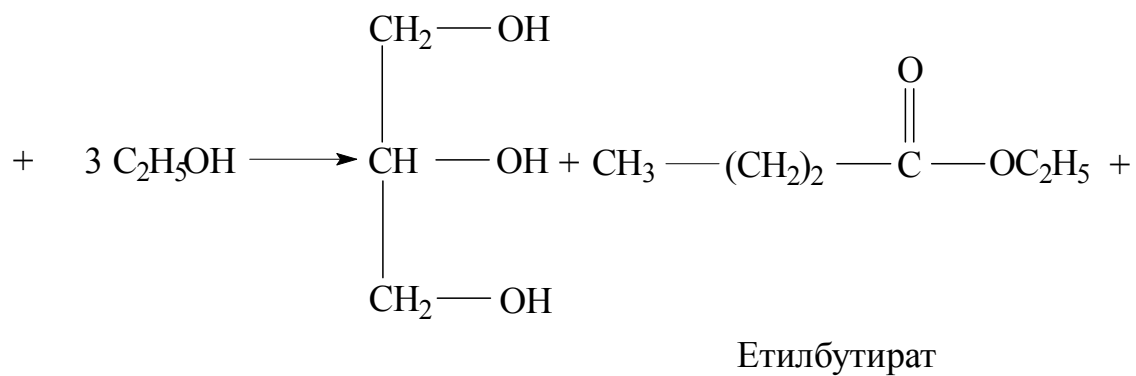
α -стеарино- β -каприло- α' -пальмітин

Зміна ацилгліцеринового складу жирів призводить до зміни їх фізико-хімічних властивостей. Переестерифіковані жири спеціального призначення використовуються у хлібопекарському виробництві, при одержанні аналогів молочного та кондитерського жиру, а також комбінованих жирів. Переестерифікація тваринних та рослинних жирів з високими температурами плавлення разом з рідкими рослинними оліями дає можливість одержати харчові жири з високим вмістом важливої для організму людини лінолевої кислоти.

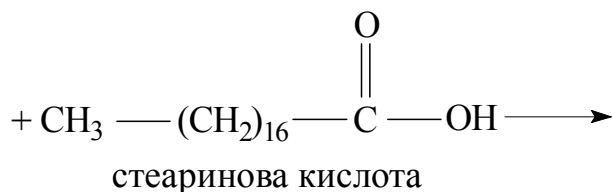
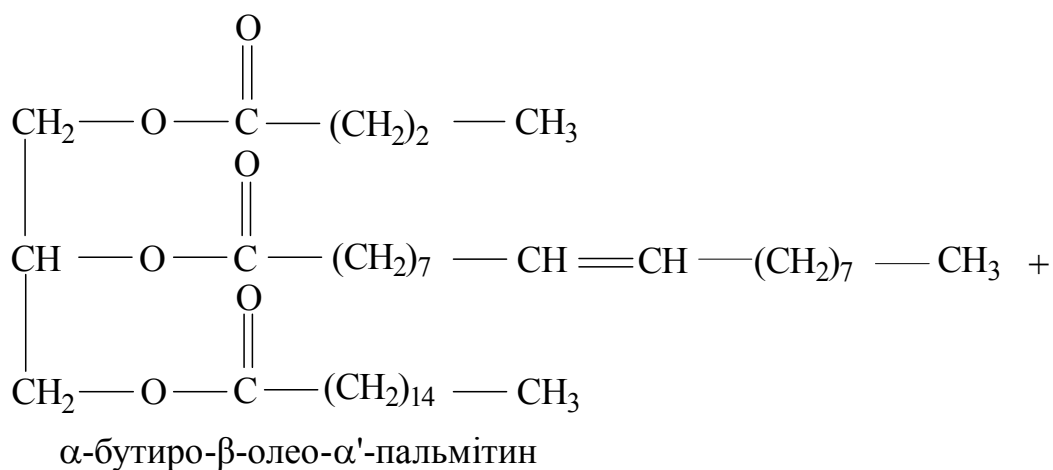
Під час нагрівання ацилгліцеринів зі спиртами (етиловий, метиловий та ін.) утворюється гліцерин та естери жирних кислот з відповідними спиртами. Такі перетворення одержали назву *алкоголізу*. Алкоголіз широко використовується під час промислового та лабораторного одержання естерів жирних кислот:

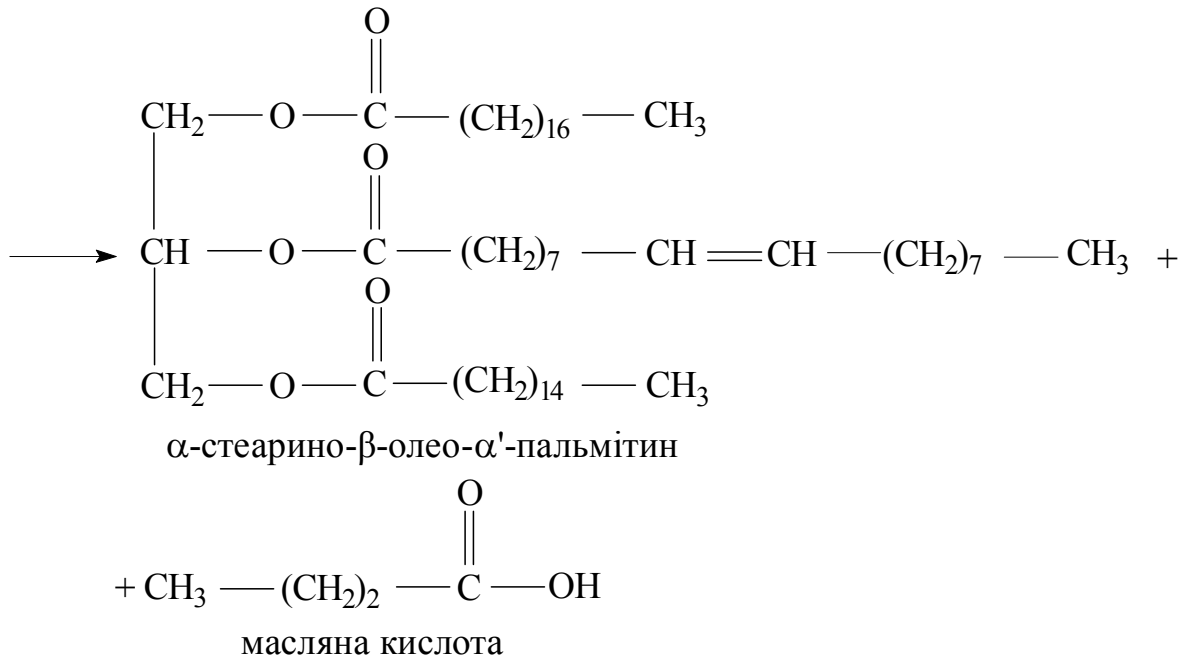


α -бутиро- β -олео- α' -пальмітин

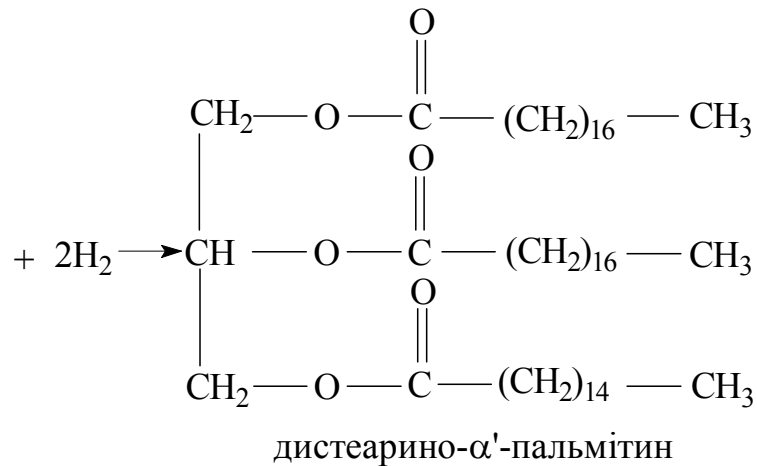
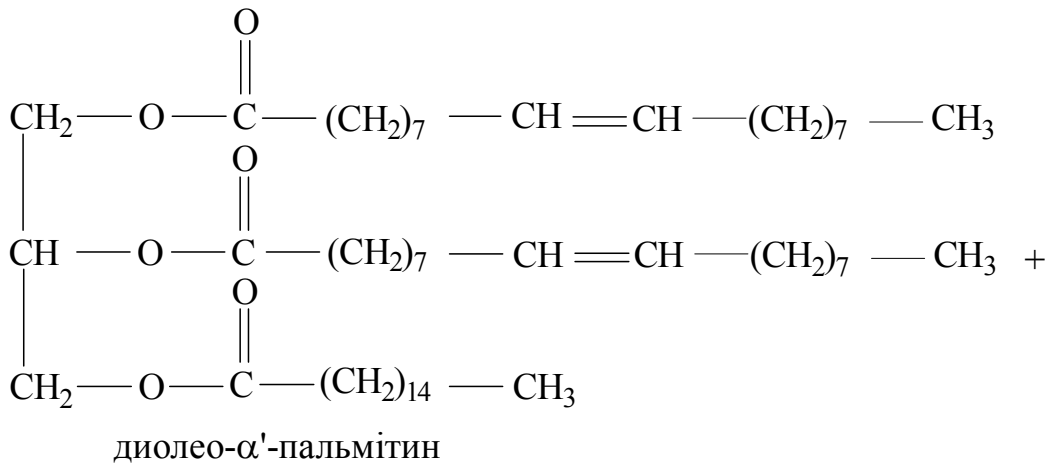


Нагрівання ацилгліцеринів з вільними жирними кислотами до температури 250-300°C приводить до обміну ацильними групами:





Гідрогенізація – це процес приєднання Гідрогену за місцем подвійних зв'язків у залишках ненасичених жирних кислот. Гідрогенізація приводить до зміни жирнокислотного складу жирів та олій і дозволяє одержати продукти з більшою температурою плавлення, твердістю, стійкістю до окиснення та пластичністю (саломас):



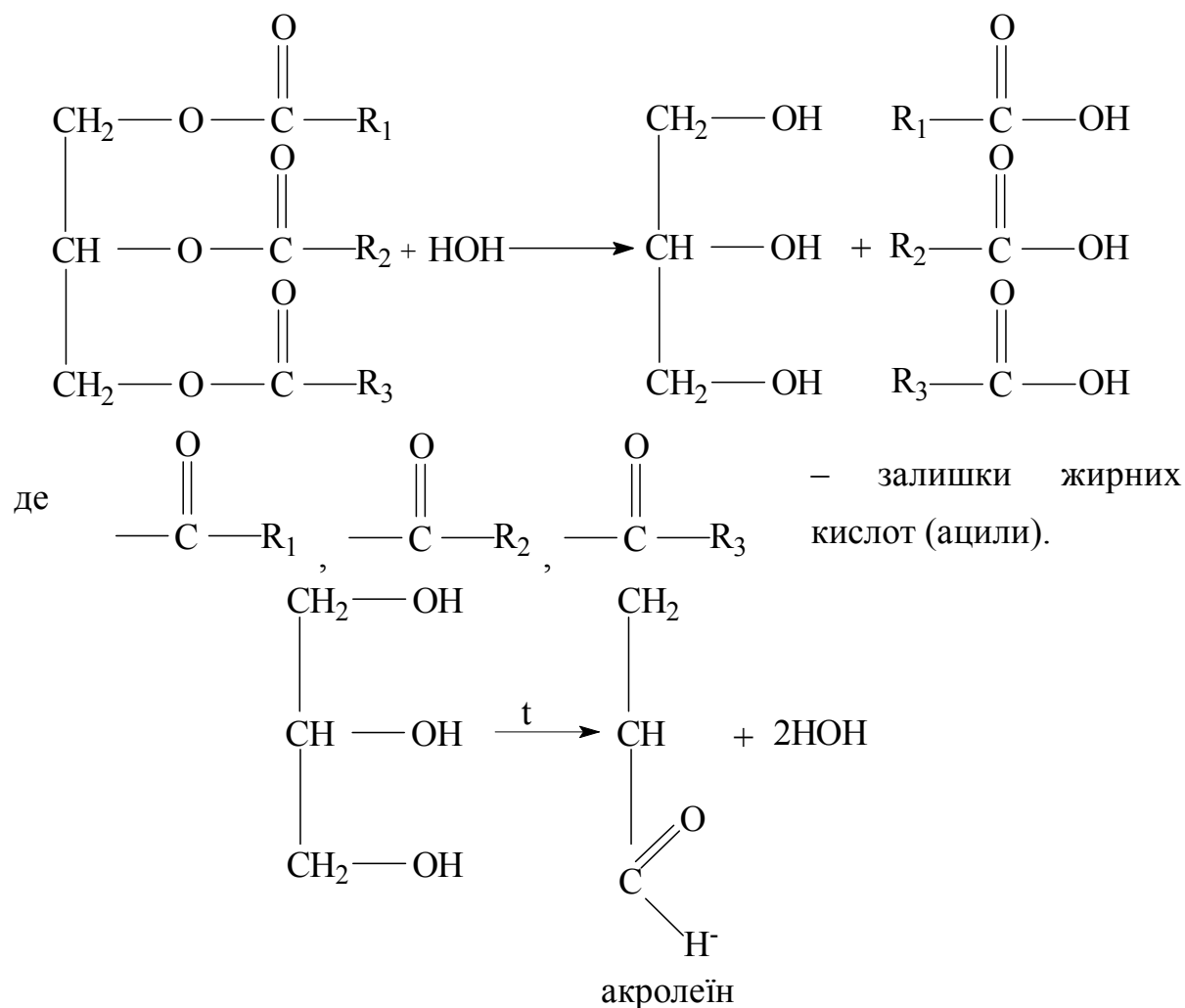
Проте в результаті гідрогенізації можуть утворюватися *транс*-ізомери ацилів жирних кислот. Це пов'язано з тим, що атоми та функціональні групи при подвійному зв'язку можуть розташовуватися як по один бік від площини зв'язку (*цис*-ізомери), так і по різні боки від неї (*транс*-ізомери). Останні можуть утворюватися як природним шляхом (в результаті життєдіяльності бактерій шлунку жуйних тварин), так і внаслідок промислової гідрогенізації рослинних олій. Джерелами *транс*-ізомерів є молочні продукти, м'ясо та жир великої рогатої худоби, а також продукти техногенного походження.

В організмі людини в результаті метаболізму перетворення *транс*-ізомерів жирних кислот відбуваються інакше, ніж для *цис*-ізомерів. Дослідження показали, що вживання лише *транс*-ізомерних продуктів приводить до дефіциту незамінних жирних кислот. Тому склалося поняття про неповноцінність *транс*-ізомерних жирних кислот, яку можна скоригувати шляхом додавання рослинних олій. Одержання багатьох видів маргаринової продукції базується саме на цьому принципі.

З 1995 р. у 14 європейських країнах у рамках проекту TRANSFAIR почали проводитися фундаментальні дослідження з метою визначення ролі *транс*-ізомерів у харчуванні сучасної людини. Було виявлено, що більша частина *транс*-жирів потрапляє в організм в результаті вживання гідрогенізованих жирів, одержаних в процесі промислової переробки рослинних олій. *Транс*-ізомери містяться у значній кількості у фритюрних жирах та продуктах, одержаних на їх основі, порошкоподібних гідрогенізованих жирах, які використовуються у приготуванні різних страв у системі громадського харчування. Значна кількість *транс*-ізомерів міститься у жирах, які використовуються у кондитерській промисловості, у виробництві морозива та ін. Наприклад, чіпси містять – 30% *транс*-ізомерів, картопля фрі – близько 40%. Доведено, що у кондитерській продукції, яка випікається на маргарині, вміст *транс*-ізомерів сягає 30-50%. У самому ж маргарині міститься до 24-29% *транс*-ізомерів. Комбіновані жири після жарки містять до 33% *транс*-ізомерів, оскільки в процесі їх перетоплювання відбувається часткова “мутація” молекул, що сприяє утворенню додаткової кількості *транс*-ізомерів.

За результатами досліджень останніх років, *транс*-ізомери блокують дію ліпопротеїдів високої густини, що ініціює відкладання холестеринових бляшок на стінках кровоносних судин людини. Ці сполуки провокують розвиток атеросклерозу та впливають на зміни структури фосfolіпідів мембран. Одержана інформація про негативний вплив *транс*-ізомерів жирних кислот на організм людини обумовлює необхідність контролю за їх вмістом у харчових продуктах та відповідного маркування продукції із відзначенням кількісного вмісту *транс*-ізомерів.

Як відомо, жири не можна нагрівати до високої температури. В залежності від складу, ці сполуки при нагріванні розпадаються, виділяючи їдкий дим. Під час варіння та смаження жирів відбувається їх частковий гідроліз. Продукт гідролізу – гліцерин у подальшому перетворюється на шкідливий для здоров'я людини акролеїн в результаті перебігу процесів дегідратації. Акролеїн має різкий неприємний запах, викликає сльозовиділення:



При нагріванні до високої температури в першу чергу руйнуються жирні кислоти та вітаміни, що містяться у жирі. Для рослинних олій ця температура відповідає 250°C, для сала – 200°C, для масел та маргарину – 150°C. Тому ніколи не треба нагрівати жир до появи диму, інакше він буде гірше перетравлюватись та втратить свою біологічну цінність. Висока точка розпаду олій та твердих жирів дає змогу готувати страви, обсмажуючи або запікаючи продукти. Слід пам'ятати, що надто темні смажені продукти можуть містити канцерогенні смоли.

Жири є нестійкими при зберіганні. Під дією кисню повітря, світла, ферментів вони поступово змінюють свої властивості. Характер змін смаку та запаху залежить від виду жиру і пов'язаний з накопиченням у ньому речовин різної природи, до яких відносяться шкідливі для організму продукти окиснення жирів. До таких змін відносять прокисання, згіркнення та осалювання.

Прокисання є початковою стадією псування жирів. На цій стадії відбувається їх гідроліз, накопичення вільних жирних кислот, в результаті чого виникає кислуватий присмак жиру.

Згіркнення жирів. Жири є найбільш лабільними компонентами харчової сировини та готових харчових продуктів. Нестійкість жирів – наслідок особливостей їх будови, які вже було розглянуто нами раніше. При зберіганні рослинні масла та тваринні жири, жировмісні продукти (олійне насіння, борошно, крупи, кондитерські вироби, риба, м'ясні продукти та ін.) під впливом кисню повітря, світла, ферментів поступово змінюють притаманні їм властивості, й у першу чергу – органолептичні. Характер змін смаку та запаху залежить від виду жиру, особливостей процесів, які протікають у ньому, і пов'язаний з переважним накопиченням у продукті тих чи інших хімічних речовин, що мають різну природу. Органолептична оцінка цих змін є досить суб'єктивною. При дегустації використовують терміни: згіркнення, осалювання, наявність “металевого”, сирного або рибного присмаку. Одночасно у жирах накопичуються шкідливі для організму людини продукти окиснення ліпідів. В результаті знижується їх харчова та фізіологічна цінність і, зрештою, вони можуть виявитися цілком непридатними для споживання.

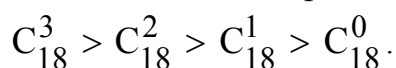
Згіркнення жирів та жировмісних продуктів – результат складних хімічних та біохімічних процесів, що протікають у ліпідному комплексі. Залежно від характеру основного процесу, розрізняють *гідролітичне* та *окисне* згіркнення. Кожен із них, у свою чергу, може бути розділений на *автокаталітичне* (неферментативне) та *ферментативне* (біохімічне) згіркнення.

При гідролітичному згіркненні відбувається гідроліз жиру (триацилгліцеринів) з утворенням вільних жирних кислот. Автокаталітичний гідроліз протікає за участю розчиненої у жирі води; швидкість цього процесу за звичайних умов є невеликою. Ферментативний гідроліз відбувається за участю ферменту ліпази на поверхні стикання жиру та води і в значній мірі зростає при емульгуванні. У багатьох процесах харчової технології ліпази досить часто інактивуються, тобто втрачають свою активність, тому гідролітичне згіркнення активно протікає при зберіганні ліпидовмісної сировини та деяких продуктів, хоча і не справляє помітного впливу на якість жирів та масел. Необхідно також відзначити, що набуття неприємного смаку та запаху спостерігається при гідролізі жирів, що містять низько- та середньомолекулярні кислоти (наприклад, кокосового та пальмового масел). Високомолекулярні кислоти смаку і запаху не мають (а саме вони містяться у більшості масел і жирів), тому підвищення їх вмісту не призводить до помітної зміни смакових якостей харчової сировини.

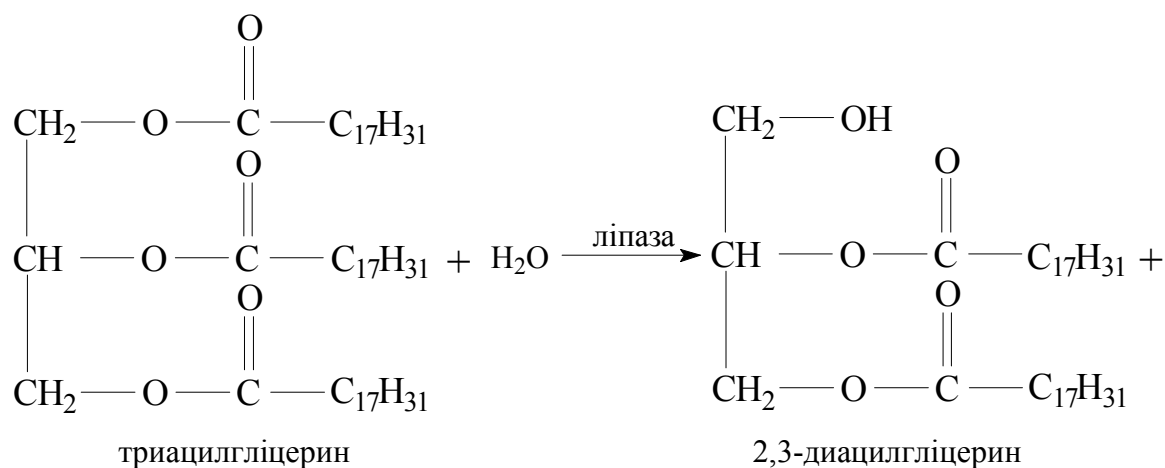
Жири та олії, особливо ті, що містять залишки ненасичених жирних кислот (лінолевої, ліноленової, олеїнової та ін.), легко окиснюються киснем повітря. Початковими продуктами окиснення є різноманітні за будовою пероксиди та гідрпероксиди, які отримали назву *первинних* продуктів окиснення. В результаті подальших складних перетворень вони дають *вторинні* продукти: спирти, альдегіди і кетони, кислоти з карбоновим ланцюгом меншої довжини, ніж у вихідному жирі, а також їх різноманітні похідні. Саме вторинні продукти окиснення, особливо карбонільмісні речовини, викликають появу неприємного присмаку (згіркнення), тоді як леткі сполуки, що входять до його складу, обумовлюють одночасно й погіршення запаху. Утворювані продукти можуть змінювати фізичні властивості жиру, призводити до спінювання фритюрних масел, сприяти

розпаду вітамінів, справляти токсичну дію на організм людини та викликати небажані процеси у травному тракті.

Автокаталітичне згірнення жирів. Основою цього виду згірнення є ланцюгові радикальні процеси, в яких бере участь кисень повітря та ненасичені жирні кислоти або їх залишки, що містяться у молекулах ацилгліцеринів. Окиснювальне автокаталітичне згірнення жирів є основним процесом, що знижує їх харчову якість при зберіганні. На автоокиснення в значній мірі впливає склад жиру, наявність кисню, вплив речовин, що прискорюють процеси окиснення (каталізаторів) або, навпаки, уповільнюють їх (інгібіторів). Встановлено також, що чим вищим є ступінь ненасиченості залишків жирних кислот, тобто чим більше подвійних зв'язків вони містять, тим більшою є швидкість окиснення такого жиру. Кислоти за їх сумарною здатністю до окиснення можна розмістити у наступний ряд:

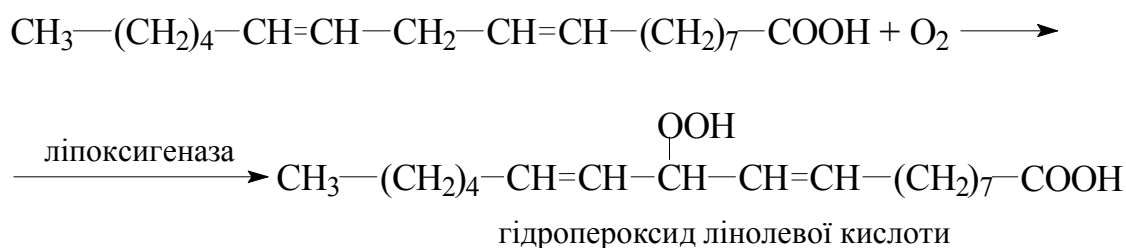


Швидкість автоокиснення жирів зростає при збільшенні вмісту кисню у навколишньому середовищі. На цьому заснований один із способів зберігання масел та жирів у середовищі з підвищеним вмістом азоту. Окиснення жирів прискорюється також зі зростанням температури та під впливом світлової енергії. Іони металів змінної валентності, такі як Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} та Ni^{2+} можуть сприяти як каталітичній, так і інгібуючій дії на процес автоокиснення. Більш суттєвий вплив на швидкість реакції справляють антиоксиданти, й у першу чергу – речовини фенольної природи, наприклад, бутилокситолуол. Інгібуючу активність мають деякі природні сполуки, що переходять у масла та олії при їх екстракції з олійного насіння (токофероли, госсипол), а також утворювані ними похідні – меланоїдини, меланофосфоліпіди та ін. Ферментативне окиснювальне згірнення в більшій мірі властиве олійному насінню, зерну, продуктам їх переробки, а також харчовим системам, для яких притаманний розвиток небажаної мікрофлори. Ці процеси перебігають за участю ферментів ліпази та ліпоксигенази.

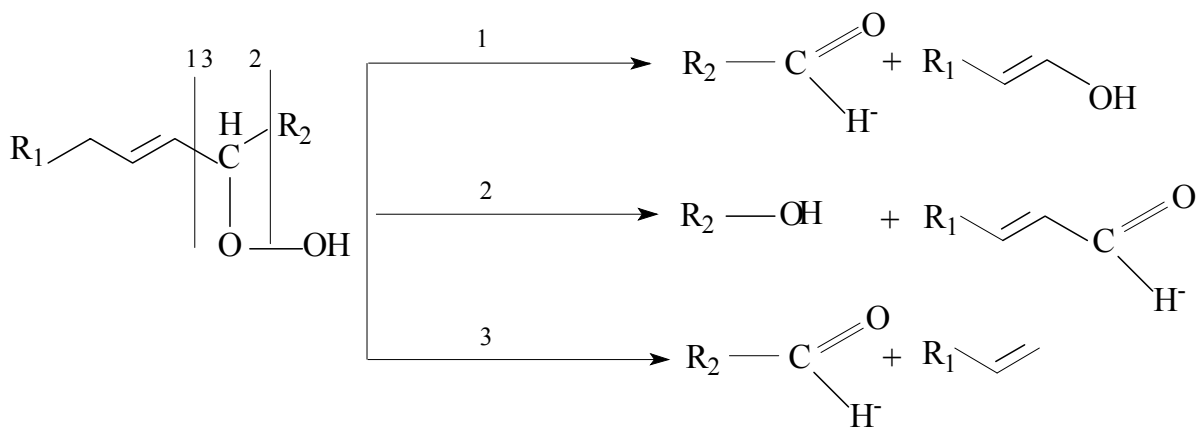


+ C₁₇H₃₁COOH
лінолева кислота

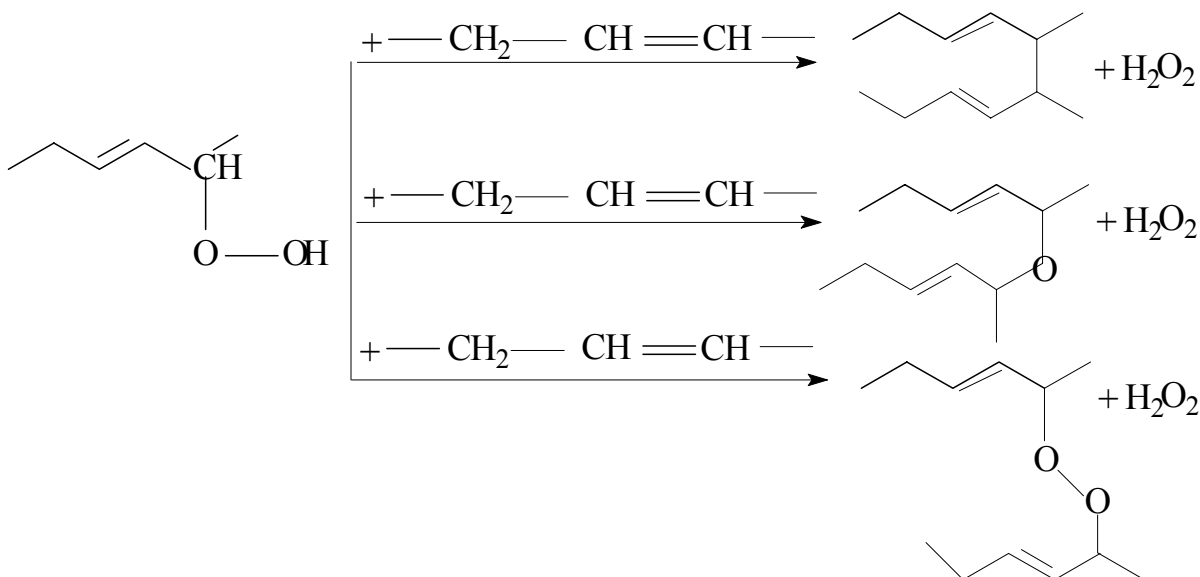
Ліпаза здійснює гідроліз триацилгліцеринів, тоді як ліпоксиколагеназа каталізує утворення гідропероксидів ненасичених жирних кислот (переважно лінолевої та ліноленової). Ферментативні згіркнення розпочинаються з гідролітичного розщеплення жиру ліпазою. Утворена при цьому лінолева кислота окиснюється за участю ліпоксигенази:



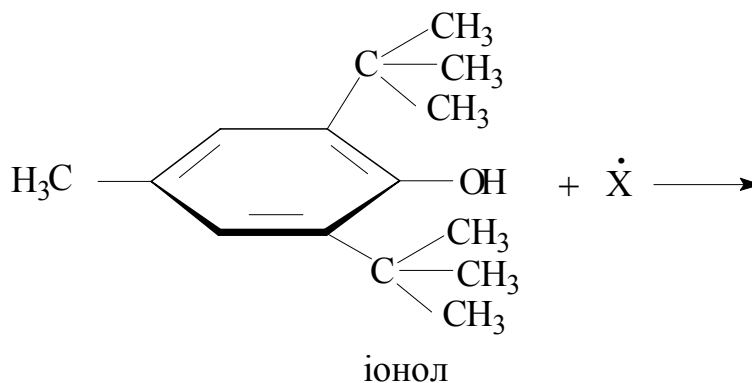
Окиснення ліпідів не лише призводить до погіршення якості харчових продуктів та зниження їх харчової цінності, а й до значних матеріальних втрат. Тому необхідно застосовувати заходи щодо запобігання чи уповільнення процесів згіркнення жирів та жировмісних продуктів харчового призначення. Останні, як правило, мають неоднакові терміни зберігання, що в значній мірі залежать від їх жирнокислотного складу, характеру домішок, наявності та активності антиоксидантів, а також від особливостей технології їх отримання. Все це визначає умови пакування, режиму та тривалості зберігання харчових продуктів.

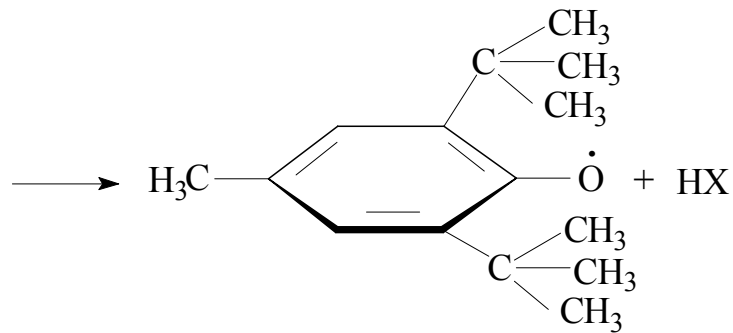


В результаті полімеризації та поліконденсації продуктів окиснення відбувається так зване “зшивання” молекул та обрив ланцюга, що приводить до утворення низькомолекулярних сполук.



На швидкість окиснення значно впливає наявність антиоксидантів. Ці речовини переривають ланцюг реакцій окиснення жирів шляхом перетворення активних радикалів, що ініціюють процеси окиснення, на стабільні та неактивні радикали. Серед антиоксидантів важливе місце займають сполуки фенольної природи – інол, бутилгідроксианізол, а також естери галової кислоти.





де $X = \dot{O}H, \dot{O}R, \dot{O}OH$.

До природних антиоксидантів відносяться токофероли, сезамол, гопіол та ін. Після введення антиоксиданту у кількості 0,01% стійкість жирів до окиснення зростає у 10-15 разів. Активність та тривалість дії антиоксидантів збільшується у присутності синергістів. Останні дезактивують іони металів змінної валентності (Pb^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} та ін.), які виконують роль каталізаторів окиснення. Активними синергістами є комплекси – окси- та амінокислоти, похідні фосфатної та фосфонової кислот, лимонна та аскорбінова кислоти, фосфоліпіди.

Загальну схему перетворень ліпідів у ході технологічного потоку під час виготовлення готових продуктів харчування наведено на рис. 4.2.

Завдяки низькій вологості та відсутності мінеральних речовин ліпіди не піддаються дії мікроорганізмів й у темряві можуть зберігатися відносно тривалий час. Оптимальними умовами для зберігання є температура 4-6°C та відносна вологість повітря 75%. У побуті необхідно зберігати жири у закритій скляній тарі у темряві, залишаючи мінімальний повітряний простір. Тваринні жири, хоч і мають незначний вміст ненасичених жирних кислот, але не містять антиоксидантів, що знижує їх стійкість при зберіганні. Найбільш нестійким з цієї точки зору є вершкове масло, яке має високу вологість, містить білкові та мінеральні речовини, що сприяють розвитку мікрофлори, а отже й інтенсивним процесам біохімічного згірнення. Під час зберігання пшеничного борошна відбуваються процеси гідролітичного та окисного згірнення, через що у ньому накопичуються небажані для організму людини шкідливі речовини. Тому захист ліпідів від окиснення є важливою технологічною задачею.



Рис. 4.2. Перетворення ліпідів у ході технологічного потоку

4.6. Лабораторна робота № 4

Жири та масла

Дослід 1. Емульгування жирів та масел

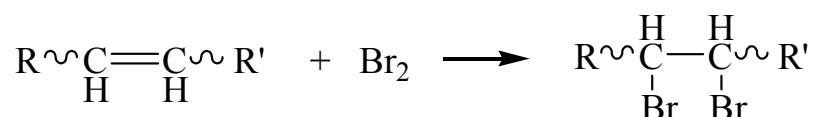
Реактиви, посуд та обладнання: соняшникова олія (нерафінована або інше рослинне масло); 5%-вий розчин натрій гідроксиду; 5%-вий розчин натрій карбонату; 1%-вий розчин мила; розчин білка; пробірки; штатив для пробірок.

У п'ять пробірок вносять по 2-3 краплі соняшникової олії, потім додають у першу пробірку 3 мл води, у другу – 3 мл 5%-вого розчину натрій гідроксиду, у третю – 3 мл 5%-вого розчину натрій карбонату, у четверту – 3 мл розчину мила, у п'яту – 3 мл розчину білка. Вміст усіх пробірок енергійно струшують, відбувається утворення емульсій. Пробірки ставлять у штатив на 3-5 хвилин, після чого відзначають, у яких пробірках утворилася стійка емульсія, а в яких – нестійка (відбулося розшарування, що призводить до появи шару масла на поверхні рідини).

Дослід 2. Визначення ступеня ненасиченості жиру реакцією з бромною водою

Реактиви, посуд та обладнання: соняшникова олія (нерафінована або інше рослинне масло); свинячий (яловичий або баранячий) жир; карбон тетрахлорид; бромна вода (насичена); 3%-вий розчин бром у CCl_4 ; пробірки; штатив для пробірок; бюретка.

У пробірку наливають 0,5 мл соняшникової олії та 3 мл бромної води. Вміст пробірки енергійно струшують. Що відбувається з бромною водою? Для порівняння ступеня ненасиченості рослинного масла та тваринного жиру діють наступним чином. В одну пробірку наливають 2 краплі соняшникової олії, в іншу – 2 краплі розтопленого тваринного жиру (свинячого сала, яловичого або баранячого жиру). Розчиняють масло та жир, додаючи у пробірки по 1 мл CCl_4 . Потім приливають з бюретки 3%-вий розчин бром у CCl_4 доти, поки не з'явиться стійке жовте забарвлення бром у. Порівнюють, яка кількість розчину бром витрачається на бромовання соняшникової олії та тваринного жиру, і роблять висновок про ступінь ненасиченості досліджуваних жирів.

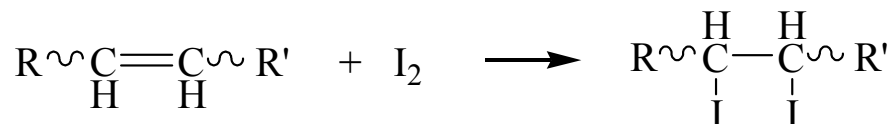


При струшуванні соняшникової олії з бромною водою відбувається знебарвлення останньої. Ця реакція слугує доказом наявності залишків ненасичених кислот у рослинному маслі. При цьому на титрування розчину соняшникової олії витрачається більша кількість розчину бром, ніж на титрування розчину тваринного жиру.

Дослід 3. Визначення ступеня ненасиченості жиру йодним числом

Реактиви, посуд та обладнання: свинячий (яловичий або баранячий) жир; соняшникова олія (нерафінована або інше рослинне масло); 96%-вий етиловий спирт або хлороформ; 0,2 н. спиртовий розчин йоду; 0,1 н. розчин натрій тіосульфату; 1%-вий розчин крохмалю; конічна колба (50-100 мл); мірний циліндр (50 мл); бюретка; термометр; водяна баня; пальник.

Йодне число – це кількість йоду (у г), що приєднується до 100 г жиру. Чим більша величина йодного числа, тим більше подвійних зв'язків знаходиться у залишках вищих кислот, що входять до складу тригліцеридів (жиру або масла):



У конічну колбу з притертою пробкою відважують 0,1 г твердого жиру (або олії), який попередньо розтоплюють на водяній бані, нагрітій до 50-60°C. Потім доливають 30-40 мл 96%-вого етилового спирту або 10 мл хлороформу. Для повного розчинення жиру колбу ставлять на водяну баню з температурою 40-50°C при виключеному пальнику. Розчин жиру охолоджують до кімнатної температури, додають 25 мл 0,2 н. спиртового розчину йоду та 200 мл дистильованої води. Колбу закривають пробкою, вміст добре перемішують та залишають стояти на 5 хвилин, після чого швидко відтитровують 0,1 н. розчином натрій тіосульфату. Коли розчин набуде світло-жовтого кольору, до нього доливають 0,5-1 мл 1%-вого розчину крохмалю та проводять титрування до повного знебарвлення.

Паралельно проводять контрольний дослід (без жиру). Йодне число обчислюють за формулою:

$$\text{Й.ч.} = \frac{(A - B) \times 0,0127}{m} \times 100,$$

де A – кількість 0,1 н. розчину натрій тіосульфату, витраченого на титрування контрольного розчину в мл; B – кількість 0,1 н. розчину натрій тіосульфату, витраченого на титрування досліджуваної проби в мл; 0,0127 – кількість йоду (у г), еквівалентна 1 мл 0,1 н. розчину натрій тіосульфату; 100 – коефіцієнт перерахунку у відсотки; m – наважка жиру (у г).

Дослід 4. Визначення кислотного числа олії

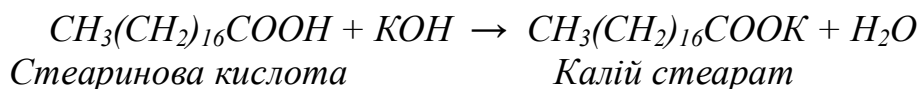
Реактиви, посуд та обладнання: соняшникова олія (нерафінована або інше рослинне масло); суміш етилового спирту з бенzenом (1:1); 0,1 н. розчин калій гідроксиду; 1%-вий спиртовий розчин фенолфталеїну (у крапельниці); конічна колба (50 мл); бюретка.

Кислотним числом називають число мг калій гідроксиду, що необхідне для нейтралізації вільних кислот в 1 г жиру. Кислотне число визначають за формулою:

$$K.ч. = \frac{a \times 5,61}{m},$$

де a – об'єм 0,1 н. КОН (у мл), що витрачається на титрування m (у г) олії; 5,61 – коефіцієнт перерахунку мл 0,1 н. розчину КОН у мг.

Кислотне число характеризує якість олії. Наприклад, у харчової нерафінованої соняшникової олії воно не перевищує 4-6. У процесі титрування олії лугом відбувається нейтралізація вільних жирних кислот, наприклад:



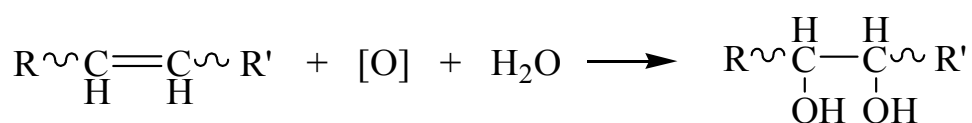
У конічній колбі ємністю 50 мл розчиняють 2 г рослинної олії у суміші спирту з бенzenом (1:1) та додають 2 краплі спиртового розчину фенолфталеїну. До розчину олії по краплях при струшуванні додають з бюретки 0,1 н. розчин калій гідроксиду до появи блідо-рожевого забарвлення, що не зникає після збовтування. Визначте, скільки (у мл) 0,1 н. розчину калій гідроксиду витрачено на нейтралізацію вільних жирних кислот, що містяться у 2 г олії. Розрахуйте кислотне число досліджуваного жиру. З якою метою його визначають? Які реакції перебігають у процесі титрування олії калій гідроксидом?

Дослід 5. Взаємодія рослинної олії

з водним розчином калій перманганату (реакція Вагнера)

Реактиви, посуд та обладнання: соняшникова олія (нерафінована або інше рослинне масло); 10%-вий розчин натрій карбонату; 2%-вий розчин калій перманганату; пробірка.

У пробірку наливають приблизно 0,5 мл соняшникової олії, 1 мл 10%-вого розчину натрій карбонату та 1 мл 2%-вого розчину калій перманганату. Енергійно струшують вміст пробірки. Фіолетове забарвлення калій перманганату зникає:



Дослід 6. Омилення жиру спиртовим розчином натрій гідроксиду

Реактиви, посуд та обладнання: свинячий (яловичий або баранячий) жир; 15%-вий розчин натрій гідроксиду (у спирті); натрій хлорид (насичений розчин); конічна колба (50-100 мл); повітряний холодильник; термометр; водяна баня.

У конічну колбу ємністю 50-100 мл поміщають 1,5-2 г твердого жиру та приливають 6 мл 15%-вого спиртового розчину натрій гідроксиду. Колбу закривають пробкою з повітряним холодильником, перемішують реакційну суміш та нагрівають колбу на водяній бані при струшуванні протягом 10-12 хвилин (температура води у бані близько 80°C). Для визначення кінця реакції декілька крапель гідролізату виливають у 2-3 мл гарячої дистильованої води: якщо гідролізат розчиняється повністю, без виділення крапель жиру, то реакцію можна вважати завершеною. Після завершення омилення із гідролізату висолюють мило додаванням 6-7 мл гарячого насиченого розчину натрій хлориду. Виділене мило спливає, утворюючи на поверхні розчину шар. Після відстоювання суміш охолоджують холодною водою, стверділе мило відділяють.

4.7. Контрольні запитання

1. Наведіть основні підходи до класифікації ліпідів, поясніть особливості їх будови та принципові властивості.
2. Дайте визначення поняттям: а) прості та складні жири; б) вільні та зв'язані ліпіди; в) запасні та структурні ліпіди; г) омилювані та неомилювані жири. Відповідь поясніть.
3. Перелічіть основні біологічні функції жирів. Що таке насичені та ненасичені жирні кислоти? У чому полягає їх головне фізіологічне призначення?
4. Які жирні кислоти ліпідів є незамінними факторами харчування? У чому полягає їх біологічна роль в організмі людини?
5. Складіть структурні формули та назвіть головні карбонові кислоти, що входять до складу жирів та масел.
6. У двох пробірках містяться жири різного походження. При взаємодії з бромною водою у першій пробірці спостерігається повне знебарвлення розчину. Про що свідчить ця реакція?
7. У чому полягає сутність процесу згіркнення жирів? Поясніть, яких умов слід дотримуватися для запобігання цьому процесу.
8. Охарактеризуйте процес гідролітичного розпаду жирів. Поняття про кислотне число.
9. Охарактеризуйте процес переестерифікації ліпідів.
10. Охарактеризуйте процес гідрогенізації ліпідів.
11. Поняття про прокисання жирів.
12. Види згіркнення жирів. Автокаталітичне згіркнення жирів.
13. Осалювання жирів.

РОЗДІЛ 5. ВІТАМІНИ ТА МІНЕРАЛЬНІ РЕЧОВИНИ

5.1. Роль вітамінів у харчуванні людини

Людам ще в глибокій давнині було відомо, що відсутність деяких продуктів у харчовому раціоні може бути причиною захворювань (бері-бері, “курячої сліпоті”, цинги, рахіту), але лише у 1880 році російським ученим Н.І. Луніним була експериментально доведена необхідність невідомих у той час компонентів їжі для нормального функціонування організму. Свою назву вони одержали, за пропозицією польського біохіміка К. Функа (від лат. *vita* – життя), що виділив необхідний для життєдіяльності людини чинник з рисових висівок (вітамін В₁), який виявився аміном. Нині доведено, що термін “вітамін” не цілком відповідає структурі цих речовин відповідно до сучасного поняття, оскільки багато з них не містять аміногрупу.

Встановлено, що вітамін не виконують ні енергетичних, ні пластичних функцій. Було зроблено припущення, що вони виявляють свою дію, беручи участь у побудові ферментів. У 1921 році М.Д. Зелінський писав: “Ці речовини викликають у клітинах організму діяльність, подібну до тієї, яка обумовлюється ферментами. Зв’язок між ферментами та вітамінами, можливо виражається у тому, що останні потрібні як будівельний матеріал для перших”. Сьогодні можна констатувати, що ці припущення повною мірою підтверджуються.

Вітамін – необхідний елемент їжі для людини та цілого ряду живих організмів, оскільки вони синтезуються у недостатній кількості. За відсутності необхідних вітамінів можливості людського організму щодо виділення з їжі та використання поживних речовин послаблюються. Вітамін можуть бути віднесені до групи біологічно активних сполук, що впливають на обмін речовин у мізерних концентраціях.

Сучасна наукова інформація свідчить про найрізноманітнішу участь вітамінів у процесі забезпечення життєдіяльності людського організму. Одні з них є обов’язковими компонентами ферментних систем та гормонів, що регулюють численні етапи обміну речовин в організмі, інші є початковим матеріалом для синтезу тканинних гормонів. Вітамін у значній мірі забезпечують нормальне функціонування нервової системи, м’язів та ін-

ших органів і багатьох фізіологічних систем. Від рівня вітамінної забезпеченості організму залежить рівень розумової та фізичної працездатності, витривалості і стійкості організму до впливу несприятливих чинників зовнішнього середовища, включаючи інфекції та дію токсинів.

Із вітамінів утворюються коферменти або простетичні групи ферментів, деякі з вітамінів беруть участь у транспортних процесах через клітинні бар'єри, в захисті компонентів біологічних мембран, тощо.

Деякі рекомендовані норми добового споживання вітамінів для дорослих та дітей наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Рекомендовані норми добового споживання вітамінів

Групи вітамінів	Діти	Дорослі
Вітамін А	0,7 (мг)	1,0 (мг)
Вітамін Е	8,0	10,0
Вітамін В ₁	1,0	1,5
Вітамін В ₂	1,2	1,7
Вітамін В ₆	1,4	2,0
Вітамін С	45,0	60,0
Нікотинамід РР	13,0	19,0

Зараз відомо понад тридцять сполук, що відносяться до вітамінів. Розрізняють власне вітаміни та **вітаміноподібні сполуки** (повна незамінність яких не завжди є доведеною). До них відносяться біофлавоноїди (вітамін Р), пангамова кислота (вітамін В₁₅), параамінобензойна кислота (вітамін Н₁), оротова кислота (вітамін В₁₃), холін (вітамін В₄), інозит (вітамін Н₃), метилметіонінсульфоній (вітамін U), ліпоева кислота, карнітин. Вітаміноподібні сполуки можуть бути віднесені до важливих біологічно активних компонентів їжі, що виконують різноманітні функції. У окремих продуктах містяться **провітаміни** – сполуки, здатні перетворюватися в організмі людини у вітаміни, наприклад β-каротин, що перетворюється на вітамін А; ергостероли, які під дією ультрафіолетового випромінювання перетворюються на вітамін D. За своїми функціями ці сполуки близькі до інших незамінних харчових речовин (наприклад, поліненасичених жирних кислот, незамінних амінокислот та ін.).

Оскільки хімічна природа вітамінів була відкрита після встановлення їх біологічної ролі, їх умовно позначили буквами латинського алфавіту (А, В, С, D та ін.); вони збереглися й до теперішнього часу для позначення груп сполук, споріднених за структурою із загальними біохімічними функціями (вітамери).

У рослинах та мікроорганізмах зустрічаються речовини, які самі по собі не проявляють біологічної активності, але є попередниками утворення вітамінів в організмі людини або тварин. До них відносять каротиноїди, деякі стероли (наприклад, ергостерол, 7-дегідрохолестерол) та інші. Вони отримали назву **провітамінів**.

Ряд вітамінів представлений декількома сполуками, називають **вітамерами** і відповідно до рекомендацій Міжнародного союзу наук про харчування позначають буквами (вітамін D, E і т. ін.). Для позначення вітамерів рекомендується використовувати раціональні назви, що відбивають їх хімічну сутність, наприклад ретиналь – альдегідна форма вітаміну А, егокальциферол і холекальциферол – форми вітаміну D.

Вітаміни – низькомолекулярні органічні сполуки різної хімічної природи, біорегулятори процесів, що протікають у живому організмі. Це найважливіший клас незамінних харчових речовин. Для нормальної життєдіяльності людини вітаміни необхідні в невеликих кількостях, але оскільки вони не синтезуються організмом людини, тому повинні потрапляти з їжею як її обов'язковий компонент. Із вітамінів утворюються коферменти або простетичні групи ферментів, деякі з них беруть участь в транспортних процесах через клітинні бар'єри, у захисті компонентів біологічних мембран і т.ін.

Відсутність чи недостатня кількість вітамінів в організмі викликає хвороби недостатності: **гіповітаміноз** (хвороби в результаті тривалої недостатності) та **авітамінози** (хвороби в результаті відсутності або різко вираженого глибокого дефіциту вітамінів).

Гіповітаміноз протікає більш легко, його прояви нечіткі, менш виражені, до того ж існують й приховані форми такого стану, коли погіршується самопочуття та знижується працездатність без характерних симптомів. Поширеність явно виражених гіповітамінозних станів та їх прихованих

форм зумовлена багатьма причинами, але найчастіше – орієнтацією індивідуального харчування виключно на задоволення смакових вимог без урахування конкретного значення вітамінів для здоров'я, потреб у них організму та вмісту їх в продуктах харчування. Потрібно також враховувати, що гіповітамінозні стани можуть виникнути при тривалому або неправильному прийомі антибіотиків, сульфаніламідів та інших медичних форм, які придушують діяльність корисної мікрофлори кишечника, що синтезує істотні кількості деяких вітамінів. Причиною гіповітамінозів може бути також підвищена потреба у вітамінах при посиленій фізичній та розумовій праці, за умов впливу на організм несприятливих чинників. Такими можуть бути переохолодження, перегрівання, стресові ситуації тощо. Аналогічно їх причиною можуть бути й фізіологічні стани, що пред'являють до організму підвищені вимоги, наприклад, вагітність та годування дитини. Прийом вітамінів потрібно проводити відповідно до рекомендацій або під наглядом лікаря. Надмірне споживання харчових продуктів, надзвичайно багатих на вітаміни, або самостійний зайвий прийом вітамінних препаратів може призвести до *гіпервітамінозів*.

До основних причин гіпо- та авітамінозів відносять:

- недостатнє надходження вітамінів з їжею, пов'язане з їх низьким вмістом в раціоні, зниженням загальної їх кількості у вживаних продуктах харчування, втратами вітамінів під час технологічного процесу;
- пригнічення мікрофлори кишечника, яка продукує деякі вітаміни;
- порушення процесу асиміляції вітамінів;
- підвищена потреба у вітамінах, пов'язана з особливостями фізіологічної будови організму або з інтенсивним фізичним навантаженням, особливими кліматичними умовами тощо;
- тривала відмова людини від їжі;
- вроджені, генетично зумовлені порушення обміну та функцій вітамінів.

Потреба людини у вітамінах залежить від її віку, стану здоров'я, характеру діяльності, пори року, вмісту в їжі основних мікрокомпонентів живлення. Абсолютна потреба у вітамінах призвела до сучасної вітамінної терапії в мегадозах. Важливим у безпеці харчування також є розгляд токсичності деяких ефектів, які можуть спостерігатися при надмірному спо-

живанні вітамінів. Потенційна токсичність надлишку вітамінів в організмі людини може бути достатньо різною.

В основному вітаміни синтезуються рослинами, але тварини, які харчуються рослинною їжею, також здатні накопичувати вітаміни в окремих тканинах та органах. Тому джерелом вітамінів для людини є не лише рослинні продукти, але й тваринні. Як одиницю виміру кількості вітамінів використовують міліграми ($1 \text{ мг} = 10^{-3} \text{ г}$), мікрограми ($1 \text{ мкг} = 10^{-6} \text{ г}$) на 1 г продукту або мг% (мг вітаміну на 100 г продукту).

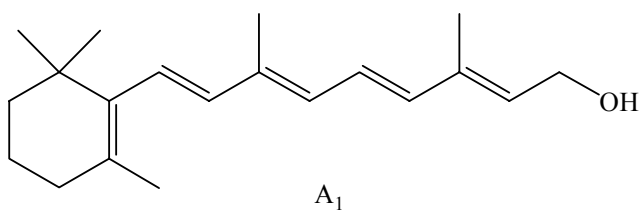
Вітаміни поділяють на водо- та жиророзчинні вітаміни (Додаток 3).

Жиророзчинні вітаміни (A, D, E, K) – здатні накопичуватися у жировій тканині організму, прийом їх в результаті надмірного споживання окремих продуктів або у вигляді препаратів вітамінів може призвести до появи симптомів токсичної дії. Це типові гідрофобні сполуки з яскраво вираженою циклічною та ациклічною структурою.

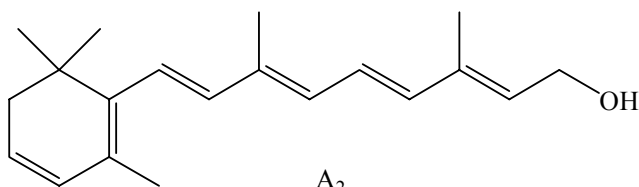
Водорозчинні вітаміни (B, PP, C та ін.) – речовини різноманітної хімічної природи, добре розчинні у воді, що характеризуються високою гідрофільністю. Надмірний прийом водорозчинних вітамінів призводить до виділення їх надлишку з організму. Проте, при великому передозуванні, ці вітаміни також можуть бути небезпечними для організму людини: наприклад, надлишок ніацину призводить до пошкодження печінки.

Норми споживання вітамінів наводяться у відповідних нормативних документах. Деякі відомості про потреби дорослої людини у вітамінах наведено у Додатку 4. Усереднені дози вітамінів добре співвідносяться із щоденною нормою живлення та іноді вказуються на етикетках харчових продуктів.

5.2. Жиророзчинні вітаміни



A₁



A₂

Вітамін А. Вітамін А був вперше відкритий у 1912 році із фракції жирів, що не підлягає омиленню. Роль вітаміну А як необхідного фактора живлення вперше встановив у 1915 році Е. Мак-

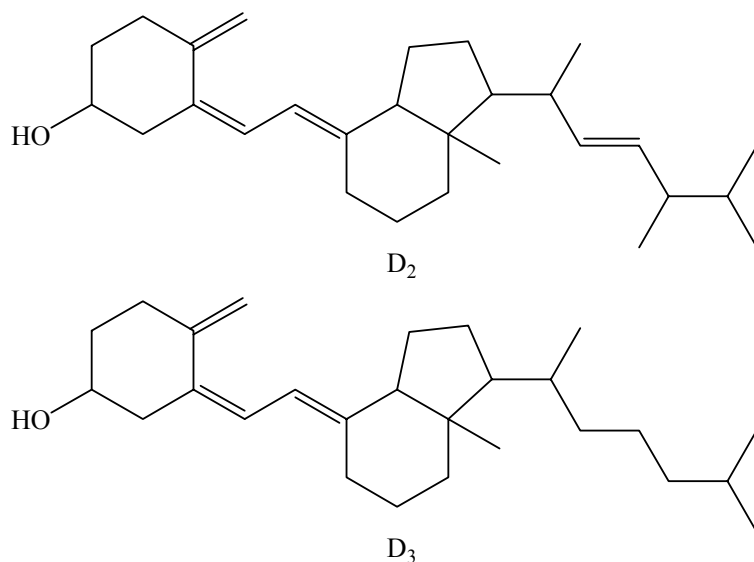
Коллум. Пізніше він виділив цей вітамін з жиру, що міститься у печінці риб. Вітамін *A* зустрічається у вигляді чотирьох індивідуальних представників: ретинолу ($R=CH_2OH$), ретину або його ацетату, ретиналю ($R=CHO$) та ретиноевої кислоти ($R=COOH$). Ретинол у хімічному відношенні являє собою ненасичений одноатомний спирт, що складається з β -іонного кільця та бічного ланцюга, який у свою чергу складається з двох залишків ізопре-ну, що мають первинну спиртову групу. Вітамін *A* має два вітамери – A_1 та A_2 (у A_2 – додатковий подвійний зв'язок у β -іонному кільці). Очищений вітамін A_1 утворює великі кристали світло-жовтого кольору. Подвійні зв'язки в ізопренових групах знаходяться в транс-конфігурації. Він бере участь в біохімічних процесах, пов'язаних з діяльністю мембран клітин функціонування органів зору.

Очищений вітамін A_1 утворює кристали світло-жовтого кольору. Подвійні зв'язки в ізопренових групах знаходяться у *транс*-конфігурації. Функціональні групи вітаміну A_1 надають йому хімічну та біологічну активність. Він є стійким у лужному середовищі, але легко руйнується в кислому, особливо на світлі та під дією кисню повітря. Ці властивості вітаміну використовують при виробництві харчових продуктів, де він відіграє роль природного антиоксиданту. Його виділяють з природних джерел або синтезують хімічним шляхом.

При недостатній кількості ретинолу уповільнюється ріст організму, що розвивається, порушується зір (ксерофтальмія – сухість рогових оболонок; “куряча сліпота”), особливо його адаптація до різної освітленості (гемералопія), проходить ороговіння слизових оболонок, з'являються тріщини шкіри. Знайдено вітамін *A* лише у продуктах тваринного походження, особливо багато його у печінці морських тварин та риб. У риб'ячому жирі – 15, печінці тріски – 4, у вершковому маслі – 0,5, молоці – 0,025 мкг% вітаміну *A*. Потреба людини у вітаміні може бути задоволена й за рахунок рослинної їжі, у якій містяться його провітаміни – каротини. З молекули β -каротину в організмі людини утворюється дві молекули вітаміну *A*. β -Каротину (мкг%) найбільше у моркві – 9,0, червоному перці – 2,

помідорах – 1, вершковому маслі – 0,2-0,4. При кулінарній обробці руйнується до 30% вітаміну А.

Вітаміни групи D. У 1936 році А. Віндаус виділив із риб'ячого жиру препарат, що виліковує рахіт. Він був названий вітаміном D₃, оскільки раніше А. Тесом та М. Вейнгітоком із рослинних жирів був виділений ергостерол, що отримав назву вітаміну D₁. Ергостерол – похідне одноатомних циклічних спиртів, зокрема циклопентанпергідрофенантрону. У рослинах широко поширений сам ергостерол, у тваринних тканинах – 7-дигідрохолестерол. Ці сполуки відіграють роль провітаміну D. При дії УФ-променів у результаті просторового перегрупування вони перетворюються на вітамін D. При опроміненні ергостерол перетворюється на вітамін D₂ (ергокальциферол), а 7-дегідрохолестерол – у вітамін D₃ (холекальциферол).



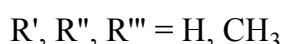
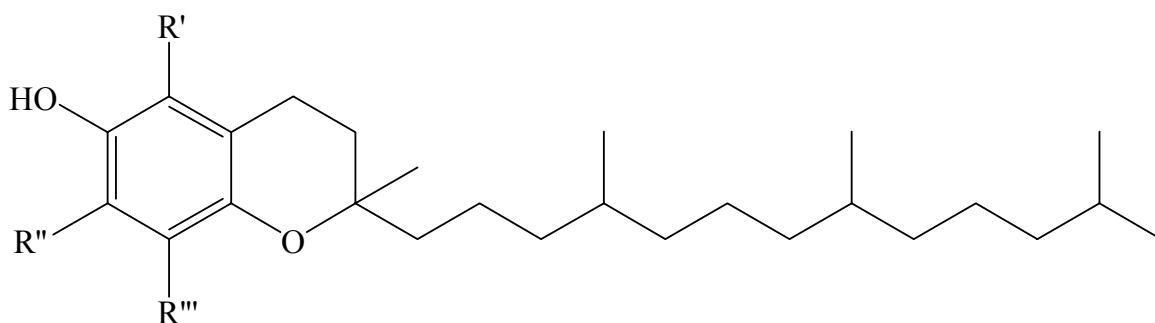
Перший є продуктом рослинного, другий – тваринного походження.

Вітамін D регулює вміст кальцію та неорганічного фосфору у крові, бере участь у мінералізації кісток та зубів. Цим й пояснюється його друга назва: кальциферол, або

той, що несе кальцій. Хронічний дефіцит його приводить до розвитку рахіту у дітей та розрідження кісток (остеопорозу) у дорослих. Кальциферол міститься в продуктах тваринного походження (мкг%): риб'ячому жирі – 125, печінці тріски – 100, яловичій печінці – 2,5, яйцях – 2,2, молоці – 0,05, вершковому маслі – 1,3-1,5. Потреба в цьому вітаміні у дорослої людини задовольняється за рахунок опромінення шкіри під впливом ультрафіолетових променів з відповідних провітамінів, наприклад 7-дегідрохолестерину. У дітей добова потреба в цьому вітаміні вища, ніж у дорослих – 12-25 мкг, а при гіпо- або авітамінозі необхідним є його підвищене надходження з їжею або зі спеціальними препаратами. При надлишку вітаміну D

у дітей та дорослих (гіпервітаміноз) розвивається вітамінна інтоксикація. Вітамін D не руйнується при кулінарній обробці, дуже чутливий до світла, дії кисню, іонів металів. У промисловості його отримують із дріжджів.

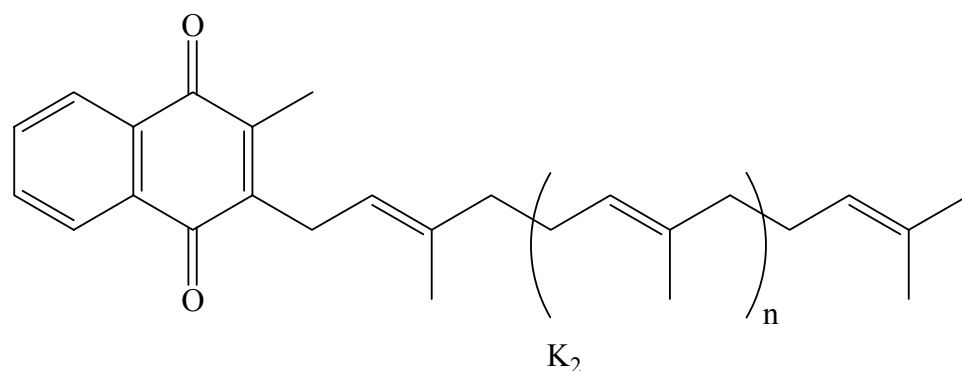
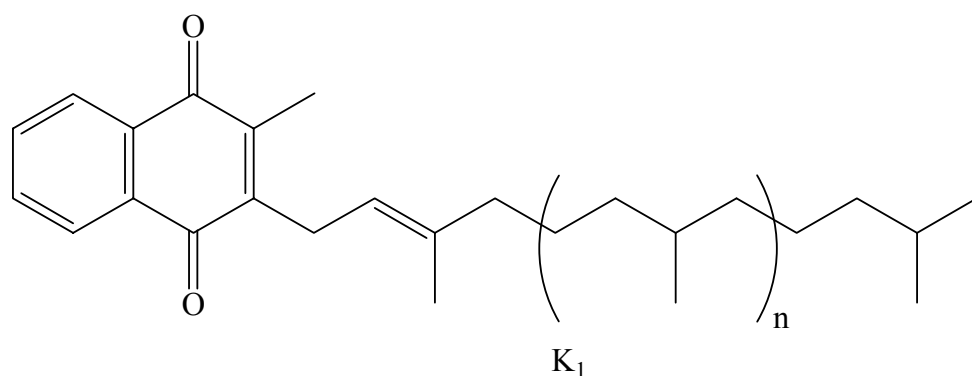
Вітамін E (токоферолі). У 1938 році токоферол був синтезований хімічним шляхом. Однак між природним та синтетичним вітаміном E існують відмінності, що відображені у класифікації вітамінів. Найбільшу біологічну активність серед сполук цієї групи має α -токоферол, який у чистому вигляді вперше був виділений у 1936 році із зародків пшениці. Відомо ще декілька представників цієї групи (токоферолі, метилтоколи), які мають меншу кількість метильних груп в ароматичному ядрі та їх аналоги (токотрієнолі) з ненасиченим бічним ланцюгом. Токоферолі являють собою в'язку світло-жовті рідини. Їх розчини у органічних розчинниках проявляють інтенсивну флуоресценцію та є стійкими у кислому середовищі.



Токоферолі регулюють інтенсивність вільно-радикальних реакцій в живих клітинах, запобігають окисненню ненасичених жирних кислот в ліпідах мембран, впливають на біосинтез ферментів. При авітамінозі порушуються функції розмноження, спостерігається ураження міокарду, судинної та нервової систем. Вітамін E виконує не тільки вітамінну, але й антиоксидантну функції, тому застосовується для профілактики онкологічних захворювань при радіаційній та хімічній дії на організм. Позитивно впливає на функції статевих залоз. Застосовується для профілактики ішемічної хвороби серця, простатиту, при зниженні сексуальної активності. Поширені токоферолі у рослинних об'єктах, в першу чергу у маслах (мг%): соєвому – 115, бавовняному – 99, соняшниковому – 42, у хлібі – 2-4,

крупах – 2-15. Вітамін Е відносно стійкий при нагріванні, руйнується під впливом ультрафіолетового випромінювання, а також при дії кисню.

Вітамін К (від нім. *Koagulationsvitamin* – вітамін коагуляції) вперше був відкритий у 1929 році як антигеморагічний чинник, необхідний людині для нормалізації або прискорення згортання крові. За хімічною природою вітамін К є хіноном з бічним ізопреноїдним ланцюгом. Існує два ряди вітамінів групи К – філохінону (вітамін К₁-ряду) та менахінону (вітамін К₂-ряду).

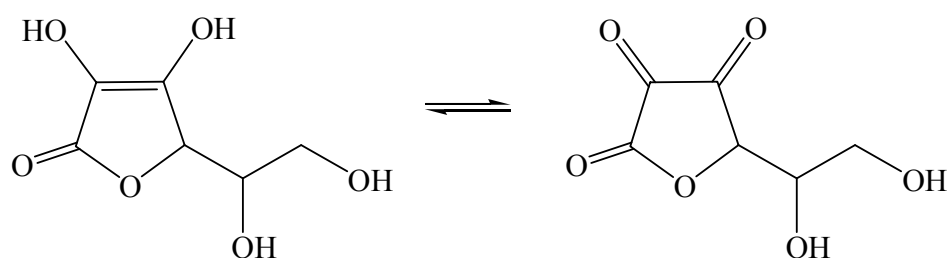


Вони являють собою похідні нафтохінону з вуглеводневими ланцюгами різної довжини, структурною одиницею яких є група ізопрену. Вітамін К₁ (філохінон, $n \approx 4$) виявлено у рослинах. Вітамін К₂ (менахінон, $n \approx 6-13$) виявлено у тваринних організмах. Шляхом хімічного синтезу отримано вітамін К₃ ($n = 0$). У людини та тварин присутній в основному один з менахінонів – фарнахінон ($n = 6$), на який можуть перетворюватися усі інші вітамери. Вітамін К – в'язка жовта рідина, нерозчинна у воді, але розчинна в органічних розчинниках; нестійкий до дії кислот, розчинів лугів, кисню та УФ-світла. Вітамін К₁ зустрічається переважно в зелених частинах рослин. Із харчових продуктів на нього багаті шпинат, синя та білокачанна капуста, томати. Вітамін К₂ синтезується мікроорганізмами,

він є найбільш активним. Внаслідок досить широкого поширення його у харчових продуктах та синтезу мікрофлорою кишкового недостатність цього вітаміну у людини зустрічається відносно рідко. Вітамін К регулює процес згортання крові та бере участь в утворенні компонентів її системи (протромбін та ін.). При недостатності вітаміну К спостерігається підвищена кровотеча, особливо при порізах. Основні джерела цього вітаміну – кріп, шпинат, капуста. Вітамін К стійкий до дії підвищених температур, легко руйнується на світлі та у лужному середовищі.

5.3. Водорозчинні вітаміни

Вітамін С (*L*-аскорбінова кислота). Вперше виділена з лимону. У хімічному відношенні є γ -лактоном 2,3-дегідро-4-гулонової кислоти, легко переходить в окиснену форму – *L*-дегідроаскорбінову кислоту. Аскорбінова кислота являє собою білий кристалічний порошок кислого смаку, добре розчинний у воді. Він є стабільним у сухому вигляді та повинен зберігатись у темряві. У водних розчинах, особливо у лужному середовищі, аскорбінова кислота швидко, але обернено окиснюється до дегідроаскорбінової кислоти, яка має таку ж вітамінну активність, що й аскорбінова кислота:



Вихідною сполукою для промислового синтезу аскорбінової кислоти слугує *D*-глюкоза, яка в результаті каталітичного гідрування перетворюється на сорбіт. *D*-сорбіт підлягає біохімічному окисненню під дією *Acetobacter suboxydans* з утворенням *L*-сорбози. Остання окиснюється киснем до 2-кето-гулонової кислоти, яка при нагріванні з розведеними кислотами в результаті дегідратації утворює аскорбінову кислоту.

Вітамін С є необхідним для нормальної життєдіяльності людини. Він слугує протицинговим чинником, бере участь в багатьох видах окисно-відновних процесів, позитивно діє на центральну нервову систему, підви-

щуче опір людського організму до дії екстремальних факторів, бере участь у забезпеченні нормальної проникності стінок капілярних судин, підвищує їх міцність та еластичність, сприяє кращому засвоєнню заліза, нормальному кровотворенню. При недостатці вітаміну С спостерігається сонливість, втомлюваність, знижується резистентність організму людини до простудних захворювань, при авітамінозі розвивається цинга. Встановлено важливу роль вітаміну у синтезі ряду гормонів, у метаболізмі фолієвої кислоти та амінокислот, його антиоксидатні функції, які посилюються у присутності типових антиоксидантів: вітаміну Е та β -каротину. Широке застосування у харчовій промисловості знайшли кальцій аскорбат та аскорбілпальмітат.

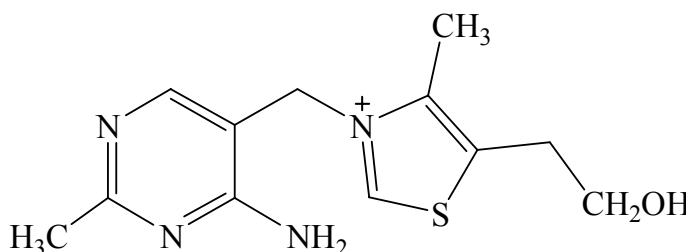
Всю необхідну кількість вітаміну С людина одержує з їжею. Основні його джерела – це овочі, фрукти, ягоди: у свіжій шипшині – 300-20000 мг%, чорній смородині – 200-500 мг%, капусті – 50-70 мг%, молодій картоплі – 20-30 мг%. Вітамін С украй нестійкий, легко руйнується киснем повітря у присутності слідів заліза та міді, більш стійкий в кислому середовищі, ніж у лужному, мало чутливий до дії світла. Через нестійкість його вміст у овочах і плодах при їх зберіганні швидко знижується. Виключення складає лише свіжа та квашена капуста. При тепловій обробці їжі вітамін С руйнується на 25-60%. Він також використовується для збагачення соків, водорозчинних напоїв, сухих сніданків, молока, для збереження кольору м'ясних продуктів сумісно з нітратами та нітритами.

Під час приготування їжі може втрачатися до 50% аскорбінової кислоти. Ще більше її втрачається при зберіганні готової продукції. При сушці і консервуванні плодів та овочів аскорбінова кислота також легко руйнується. Руйнування її відбувається у результаті окиснення і особливо сильно в присутності аскорбінази і поліфенолоксидази. Ці ферменти проявляють свою присутність при очищенні і подрібненні овочів, при зберіганні у зазначеному вигляді, при закладці їх у холодну воду, що містять у достатній кількості розчинений кисень. Підвищення температури активізує руйнівну дію окислювальних ферментів. Тому найбільш правильно варити овочі опускаючи їх відразу в киплячу воду. Кипляча вода практично містить розчинений кисень, а її висока температура; призводить

до швидкої інактивації ферментів. У консервній промисловості з метою інактивації ферментів нарізані овочі, плоди заздалегідь бланшують, тобто обробляють киплячою водою або парою.

Аскорбінова кислота має досить високу стійкість у кислому середовищі (рН 4-6), тому з метою її довгого зберігання широко використовується молочнокисле бродіння, яке є основним процесом при квашенні капусти, засоленні огірків і томатів, мочіння яблук, виробництво кисло-молочних продуктів. Гарний метод зберігання аскорбіної кислоти – заморожування овочів і плодів, а також варіння фруктів з цукром.

Вітамін B₁ (тіамін) був вперше відкритий польським ученим К. Функом у 1912 році. Тіамін є

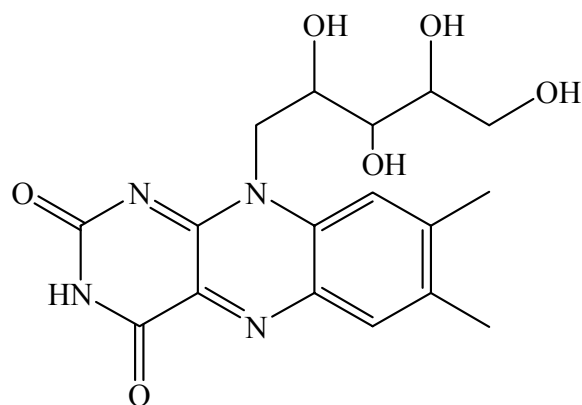


похідним піримідину та тіазолу, стійкий у формі катіону, найчастіше у вигляді хлориду. Тіамін добре роз-

чиняється у воді (100 г на 100 см³). Вологість, дія кисню повітря, нагрівання знижують стійкість вітаміну. Він є досить стабільним у кислому середовищі, проте легко руйнується в нейтральному та лужному. Саме аміногрупа, що міститься у піримідиновому кільці, є причиною того, що тіамін був названий вітаміном, тобто “аміном життя”. Хімічний синтез тіаміну в промислових умовах здійснюється реакцією конденсації похідних піримідину та тіазолу. Біологічний спосіб синтезу з використанням ферментів для отримання чистих препаратів тіаміну досі не розроблений. Крім дріжджів, рисових та пшеничних висівок тіамін міститься в достатній кількості у внутрішніх органах тварин (серце, печінка, нирки). У очищеному рисі він практично відсутній. Тіамін міститься у житньому хлібі, гречаній та вівсяній крупах. Кращим джерелом вітаміну є цільні зерна злаків, плоди бобових рослин, горіхи, дріжджові напої, хлібний квас. Тіамін бере участь у регулюванні вуглецевого та енергетичного обміну. Недостатність його викликає порушення у роботі нервової, серцево-судинної, травної систем, поліневрит (“бері-бері”).

Діючою в організмі формою вітаміну В₁ є тіаміндифосфат (ТДФ, ко-карбоксилаза). Основні джерела вітаміну В₁ – продукти із зерна: пшеничний та житній хліб, у т.ч. хліб з висівок, деякі крупи (у вівсяній – 0,5 мг%, ядриці – 0,4 мг%), боби (у гороху – 0,8 мг%, квасолі – 0,5 мг%), свинина – 0,5-0,6 мг%, шрот соєвий – 2,2 мг%. Вітамін В₁ міститься переважно у периферійних частинах зерна та при перемелюванні переходить у висівки. Для збільшення вмісту тіаміну проводять збагачення борошна вищого та першого гатунку синтетичним тіаміном. Вітамін В₁ використовують для збагачення продуктів з рису, дитячого харчування, молока та молочних продуктів, а також зернових продуктів швидкого приготування. Він стійкий до дії кисню, кислот, чутливий до дії світла, температури. У лужному середовищі легко руйнується, наприклад, при додаванні у тісто лужних розпушувачів: соди, вуглекислого амонію. Розщеплюється і під впливом ферменту тіамінази, який міститься у сирій рибі, але руйнується при її вариві.

Вітамін В₂ (рибофлавін) у промисловості одержують хімічним та мікробіологічним шляхом. Він бере участь як кофермент флавінмононуклеотиду у ферментних системах, що каталізують транспортування електронів



та протонів у окисно-відновних реакціях. Також бере участь у обміні білків та жирів, нормалізує функцію нервової та травної систем. Коферментам вітаміну В₂ належить важлива роль при перетвореннях вітаміну В₆ та фолієвої кислоти на їх активні коферментні форми. При недостат-

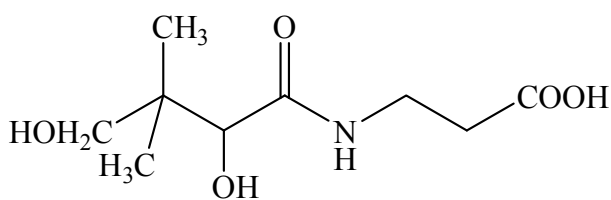
ній кількості рибофлавіну виникають захворювання шкіри (себорея, псоріаз), запалення слизової оболонки ротової порожнини, з'являються тріщини у кутках рота, розвиваються захворювання кровоносної системи та шлунково-кишкового тракту.

Джерела вітаміну В₂ (вміст, мг%): молоко – 0,15, сир – 0,4, яйця – 0,4, хліб – 0,1, ядриця – 0,2, м'ясо – 0,1-0,2, печінка – 2,2, боби – 0,15, овочі та

фрукти – 0,01-0,06. Деяка кількість вітаміну B₂ надходить у організм людини в результаті діяльності кишкової мікрофлори. Вітамін B₂ стійкий до дії підвищених температур та окиснення, не руйнується у кислому середовищі, але нестійкий до дії відновників у лужному. Під час кулінарної обробки харчових продуктів вітамін B₂ залишається у незмінному вигляді.

Вітамін B₃ (пантотенова кислота) – дуже поширений вітамін (від грец. – “усюдисущий”). Вперше відкритий Р. Вільямсом у 1933 році, а десять років потому – отриманий синтетичним шляхом. Вільна пантотенова кислота – нестійка та надзвичайно гігроскопічна сполука. Зазвичай вона використовується у формі солей кальцію та натрію. Велике значення має пантенол – похідне пантотенової кислоти, що має у залишку β-аланіну замість карбоксильної гідроксильну групу. Пантенол є так само біологічно активним, як і пантотенова кислота. Кальцієві та натрієві солі пантотенової кислоти добре розчинні у воді (40 г/100 см³). Вони стійкі при дії кисню повітря та світла, нестабільні при нагріванні, швидко гідролізуються, особливо у кислому та лужному середовищах.

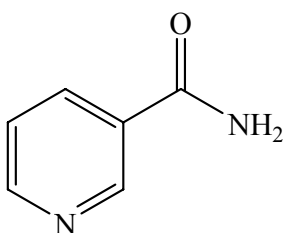
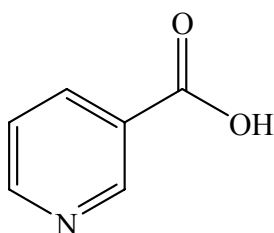
В процесі термічної обробки харчових продуктів втрати вітаміну можуть досягати 25-50%, у зв'язку з чим може спостерігатися дефіцит пантотенової кислоти в організмі людини. Відсутність пантотенової кислоти



в організмі викликає млявість, дерматит, випадіння волосся, заміління пальців ніг. Ознаки гіповітамінозу у людини спостерігаються

рідко, оскільки кишкова паличка синтезує вітамін B₃. Пантотенова кислота широко розповсюджена у природі, її основні джерела (мг%) складають: печінка та нирки – 2,5-9, гречка – 2,6, рис – 1,7-2,1, овес – 2,5, яйця – 1,4-2,7.

Вітамін PP (ніацин) вперше був виділений К. Евельгеймом у 1937



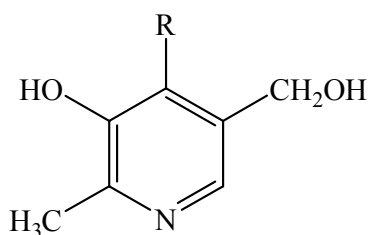
році. В основі структури цього вітаміну лежить піридинова основа. Під цією назвою мають на увазі дві речовини, що мають

практично однакову вітамінну активність: ніотинову кислоту та її амід (нікотинамід). Вітамін РР стійкий у водних розчинах до дії кисню, повітря, світла, до підвищених температур. Він стійкий при консервуванні та сушці харчових продуктів. Ніацин є коферментом нікотинамідаденіндинуклеотиду (НАД) та нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату (НАДФ), великої групи НАД- та НАДФ-залежних ферментів дегідрогенази, що беруть участь у окисно-відновних реакціях. Нікотинамідні коферменти відіграють важливу роль у процесах тканинного дихання. При недостатній кількості вітаміну РР в організмі спостерігається млявість, швидка втомлюваність, безсоння, серцебиття, знижена резистентність по відношенню до інфекційних захворювань. Ніацин сприяє засвоєнню рослинного білка, тому він є дуже важливим для осіб, що не вживають тваринні білки. Він також бере участь у вуглеводному обміні та сприяє діяльності шлунково-кишкового тракту.

При значній недостатності розвивається пелагра (від італ. *pella* – шорстка шкіра) – тяжке захворювання, що призводить до розладу слизової порожнини рота та шлунку, з'являються плями на шкірі, порушуються функції нервової та серцево-судинної систем. Потреба у ніацині покривається за рахунок його надходження з їжею та утворення з триптофану (з 60 мг триптофану, що потрапляє із їжею, утворюється 1 мг ніацину). Це необхідно враховувати при оцінці харчових продуктів, як джерел вітаміну РР. Наприклад, у районах, в яких важливим джерелом живлення є бідні триптофаном кукурудза та сорго, спостерігається РР-вітамінна недостатність та захворювання пелагрою.

Джерела вітаміну РР – м'ясні продукти (особливо печінка та нирки, мг%): яловичина містить його – 4,7, свинина – 2,6, баранина – 3,8, субпродукти – 3,0-12,0. Багата ніацином й риба: 0,7-4,0 мг%. Молоко та молочні продукти, а також яйця бідні вітаміном РР, але з урахуванням вмісту триптофану вони цілком задовольняють його потребу. У ряді злакових та одержуваних з них продуктів вітамін РР знаходиться у зв'язаній формі та практично не засвоюється організмом. Вміст ніацину у овочах та бобах є досить невеликим. При перемелюванні зерна втрачається до 80% ніацину.

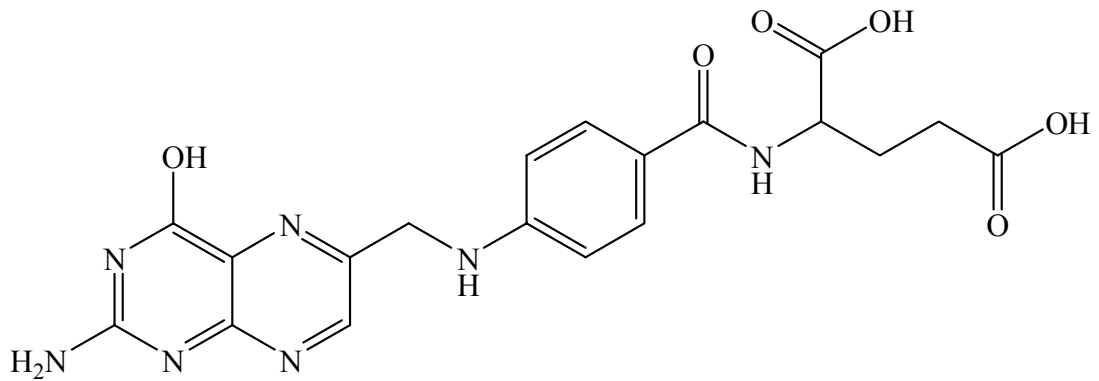
Вітамін В₆ (піридоксин) був вперше відкритий у 1934 році А. Сент-Д'єрді та незабаром синтезований штучним шляхом. Існує у трьох різних хімічних формах: піридоксину (R=CH₂OH), піридоксалю (R=CHO) та піри-



доксаміну (R=CH₂NH₂). В основі структури вітаміну В₆ лежить кільце піридину. Зазначені вітамери добре розчиняються у воді, легко утворюють солі з хлоридною кислотою, які є стабільними до дії підвищених температур та кисню повітря. У лужних та нейтральних розчинах вони руйнуються, особливо на світлі. Піридоксин бере участь у синтезі та перетвореннях аміно- та жирних кислот, як кофермент піридоксальфосфату (ПАЛФ) у піридоксальних ферментах азотного обміну. Необхідний для нормальної діяльності нервової системи, органів кровотворення та печінки. Недостатність вітаміну В₆ викликає дерміти.

Вітамін В₆ широко розповсюджений у природі. Основні його джерела для людини (мг%): м'ясні продукти – 0,3-0,4, риба – 0,1-0,2, соя та квасоля – 0,9, крупи (ядриця) – 0,4, пшоно – 0,52, картопля – 0,30. Він стійкий до підвищених температур, кислот, руйнується на світлі та у лужних середовищах. Деяка кількість вітаміну В₆ потрапляє в організм в результаті діяльності кишкової мікрофлори. Вітамін В₆ у вигляді піридоксин гідрохлориду використовується для збагачення борошна, виробів із зерна, молочних продуктів, продуктів лікувально-профілактичного та дитячого харчування.

Вітамін В₉ (фолієва кислота, фолацин). Під назвою фолацин застосовуються два вітаміни: власне фолієва кислота та тетрагідрофолієва кислота. Назва походить від лат. *folium* – лист. Чиста фолієва кислота має вигляд жовтої дрібнокристалічної речовини без смаку та запаху, дуже погано розчинної у воді, але добре розчинної у слабколужних розчинах. Вона бере участь у процесах кровотворення, перенесенні одновуглецевих радикалів, синтезі аміно- та нуклеїнових кислот, холіну, пуринових та піримідинових основ, як коферменту тетрагідрофолієвої кислоти (ТГФК) відповідних ферментів. Фолієва кислота необхідна для ділення клітин, росту органів, нормального розвитку зародку й плоду, функціонування нервової системи.



Фолієва кислота широко розповсюджена у природі. Багато її міститься (мкг%) у зелені та овочах (петрушка – 110, салат – 48, квасоля – 3, шпинат – 80), у печінці – 240, нирках – 56, хлібі – 16-27, сирі – 35-40, мало у молоці – 5 мкг%. У значних кількостях вона виробляється мікрофлорою кишечника. Недостатність фолієвої кислоти виявляється у порушеннях кровотворення (анемія, лейкемія), роботі травної системи, зниженні резистентності організму до захворювань. Застосовується для боротьби з хворобами кровотворної системи (злякисні анемії, променеві захворювання, лейкоз, гастроентероколіти). Фолієва кислота руйнується при термообробці та дії світла. При пастеризації молока втрачається 75% фолієвої кислоти, вона також легко руйнується у овочах при їх переробці (до 90%). Проте у м'ясопродуктах та яйцях вона є стійкою: при їх кулінарній обробці втрати вітаміну B₉ є невеликими.

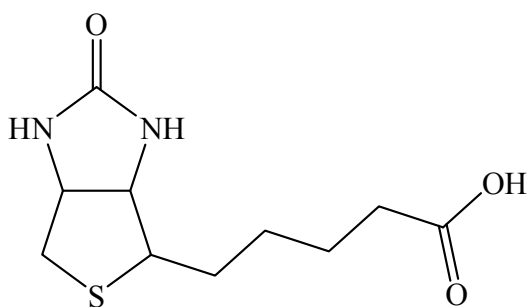
Вітамін B₁₂ (ціанокобаламін, оксикобаламін, антианемічний вітамін) – темно-червоний кристалічний порошок, розчинний у воді (1,2 г на 100 см³). Сам вітамін B₁₂ та його нейтральні або слабкокислі розчини є відносно стабільними при дії підвищених температур та кисню повітря, хоча й нестійкі до дії УФ-променів, а також лугів, сильних кислот та відновників.

Вітамін B₁₂ є найбільш складною хімічною сполукою серед усіх відомих вітамінів. При заміні групи –C≡N на групу –OH у молекулі ціанокобаламіну утворюється гідроксикобаламін, який останнім часом вважається істинним вітаміном B₁₂. У організмі людини кобаламіни перетворюються у кобаламід – кофермент B₁₂. Він бере участь у процесах кровотворення, перетвореннях амінокислот, біосинтезі нуклеїнових кислот (сумісно з фолієвою кислотою). При недостатності вітаміну B₁₂ настає слабкість, втрачається апетит, розвивається злякисне недокрів'я, порушується діяльність нервової системи. Для ефективного засвоєння цього вітаміну організмом

людини необхідний внутрішній фактор глікопротеїд (з молекулярною масою близько 9300) слизової оболонки шлунку (внутрішній чинник Костла), недостатня кількість якого перешкоджає його всмоктуванню.

Вітамін В₁₂ синтезується майже виключно мікроорганізмами, особливо актиноміцетами, синьо-зеленими водоростями. Він знайдений практично у всіх тваринних тканинах. Вітамін В₁₂ міститься у продуктах тваринного походження, на нього багаті (мкг%): печінка – 50-100, дріжджі – 50-60, нирки – 20-30, риба – 10, яловичина – 2-6, сир – 1-2, молоко – 0,4 мкг%. Вітамін застосовується при лікуванні анемії, для нормалізації функцій кровотворення, в неврології (поліневрит, радикуліт). Руйнується при тривалій дії світлового проміння, у кислому і лужному середовищі, термостабільний.

Вітамін Н (біотин). Вперше був виділений у 1935 році із яєчного жовтку. Свою назву (від грец. *bios* – життя) отримав через здатність сти-



мулювати ріст дріжджів та бактерій. У структурному відношенні вітамін Н є циклічним похідним сечовини з кільцем тіофену; являє собою білу кристалічну сполуку, малорозчинну у воді (приблизно 20 мг/100 см³). Сухий кристалічний біотин при нагріванні в присутності кис-

ню повітря залишається стійким, так само, як й у слабкокислих або слабколужних розчинах. При дії УФ-світла, навпаки, підлягає поступовому руйнуванню.

Отримують біотин методами хімічного синтезу. Він входить до складу ферментів, що каталізують оборотні реакції карбоксилювання-декарбоксилювання, бере участь у біосинтезі ліпідів, амінокислот, вуглеводів, нуклеїнових кислот. При недостатності цього вітаміну виникає депігментація та дерматит шкіри, нервові розлади та ін. Потреба у біотині задовольняється за рахунок продуктів харчування, а також його біосинтезу мікрофлорою кишечника. Біотин міститься в більшості харчових продуктів. Основні джерела біотину (мкг%): печінка та нирки – 80-140, яйця – 28, молоко та м'ясо – до 3 мкг%. Із рослинних продуктів багаті на біотин (мкг%): пшеничний хліб – 4,8, вівсяна крупа – 20, соя – 60, горох – 20. В процесі кулінарної обробки продуктів харчування біотин практично не руйнується. Використовується як стимулятор при рості хлібопекарських дріжджів.

5.4. Технологічне значення вітамінів. Вітамінізація харчових продуктів

Поживність та цінність харчових продуктів залежить не лише від їх калорійності, але й від вмісту вітамінів, які відносяться до груп речовин, що підвищують енергетичну цінність продукту. Вітаміни є біологічними елементами, що контролюють обмінні процеси в організмі. Організм не здатний самостійно виробляти цілий ряд необхідних йому елементів. Їх недостатність доповнюється споживанням вітамінів.

Вітаміни за своїм складом та спрямованістю дії значно відрізняються один від одного. В цілому, виділяють 13 вітамінів, які мають велике значення для збагачення продуктів харчування. При виробництві продуктів природні вітаміни руйнуються, тому необхідно доповнювати їх кількість шляхом збагачення. У ряді країн існує спеціальна законодавча база щодо застосування вітамінів для збагачення продуктів харчування. Прийнято вважати, що необхідною є вітамінізація наступних груп харчових продуктів (табл. 5.2):

Таблиця 5.2. Основні групи харчових продуктів для збагачення вітамінами

Продукти	Рекомендовані вітаміни
Дитяче харчування	Усі вітаміни
Сухі концентрати, напої	Усі, окрім А, D
Молочні продукти	А, D, E
Маргарин	А, D, E
Борошно та хлібобулочні вироби	Комплекс вітамінів В
Кукурудзяні та вівсяні пластівці	Комплекс вітамінів В
Продукти для живлення спортсменів	Усі, окрім А, D
Фруктові соки, цукерки	Усі, окрім А, D

- борошно для хлібопекарської промисловості;
- шліфований рис для приготування відповідних виробів;
- продукти дитячого харчування;
- молочні продукти та маргарин.

При вітамінізації можливими є також процеси мінералізації продуктів харчування. При їх збагаченні вітамінами необхідно досягати рівномірності у розподілі цих речовин. В основному, вітаміни мають певний запах, що також слід враховувати при їх додаванні у продукти харчування.

Вітамінізація, іноді у комплексі із збагаченням мінеральними мікроелементами, дозволяє підвищити якість їжі, скоротити медичні витрати, забезпечити соціально незахищені верстви населення вітамінами, відновити їх втрати, що відбуваються при отриманні харчових продуктів на стадії технологічного процесу чи кулінарної обробки. При цьому необхідними є наступні рішення:

- вибір продуктів для вітамінізації;
- визначення рівню вітамінізації;
- розробка системи контролю.

Хоча достатність та різноманітність продуктів харчування й гарантує населенню запобігання авітамінозу, але не завжди забезпечує постійне отримання вітамінів у кількостях, що відповідають фізіологічним потребам організму а, отже, не виключається можливість розвитку гіповітамінозних станів. Виникнення останніх особливо імовірно у зимово-весняний період, коли вміст вітамінів в овочах та фруктах різко знижується.

Важливим є те, що деякі вітаміни (головним чином, С та А) при кулінарній обробці та зберіганні харчових продуктів руйнуються. Таким чином, виникає питання про необхідність збагачення їжі цими вітамінами. З цієї точки зору найбільш доцільним є збагачення вітамінами харчових продуктів масового споживання. Проте, це питання не є таким простим, як може здатися на перший погляд. Визначення переліку продуктів, що підлягають вітамінізації, з урахуванням масовості їх споживання, фізико-хімічних властивостей, можливості технічно здійснити вітамінізацію, а також питання про те, які вітаміни вводити у ті або інші продукти, є предметом численних досліджень. На даний час у результаті проведених випробувань встановлено доцільність та технічну можливість збагачення вітамінами таких продуктів, як хліб та борошно, цукор, жири та молоко.

Вітаміни групи В (В₁, В₂, РР та ін.), що містяться у хлібних злаках, поступово втрачаються при переробці зерна та відсіванні висівок. Чим більш тонким є перемелювання борошна, тим менша кількість вітамінів групи В у ньому залишається. Значні втрати цих вітамінів неминучі в процесі випікання хліба під впливом високих температур. Введення у борошно та хліб препаратів вітамінів групи В значно підвищує харчову цінність хліба. Проведені експериментально роботи показали доцільність такого збагачення та добре зберігання вітамінів у хлібі. При його випічці з вітамінізованого борошна втрати складатимуть: для вітаміну В₁ – від 20 до 40%, для вітаміну В₂ – 30-50%, а для вітаміну РР – 15-25%.

Жири, що не містять вітаміну А (комбіжиру, рослинних масел, маргарину), збагачують цим вітаміном. Вітамін А у комбіжирі при жаренні на ньому овочів зберігається в межах 86-93%. Вітамін А у вітамінізованій олії в більшості перших та других страв зберігається на 70-80% при додатковому введенні вітаміну Е. Тому в жири та масла, що збагачують вітаміном А, необхідно вводити природні антиоксиданти. Задовільні результати одержані також при введенні вітаміну А у столовий маргарин. Він вже вітамінізується вітамінами А та D шляхом введення препаратів цих вітамінів в процесі виготовлення маргарину.

Є досвід вітамінізації молока, призначеного для дітей, препаратом вітаміну D₂. Цукор-рафінад збагачують вітаміном С, причому при зберіганні його впродовж 1-2 років вміст останнього залишається постійним. У весняний період, коли відчувається недостатність у свіжих овочах, можна вітамінізувати їжу синтетичною аскорбіною кислотою. Її вводять щодня у перші або треті страви у кількостях з розрахунку добової норми споживання. Для дітей рекомендується вітамінізувати аскорбіною кислотою молоко або кефір.

У весняні місяці для вітамінізації їжі вітаміном С можна також із успіхом використовувати дикорослі трави та бадилля овочів. Наприклад, молоду кропиву, лободу, бадилля моркви та буряку можна використовувати у перших стравах. У лободі вміст вітаміну С коливається від 70 до 151 мг%, в бадиллі буряку – від 61 до 71 мг%, в бадиллі моркви – 29,5-48,8 мг%, а в осінньому бадиллі – 122 мг%. Із городніх листових овочів джерелом віта-

міну С може слугувати листя щавлю городнього (32 мг%), листя та дрібні стебла петрушки городньої (164 мг%), листя люцерни (102 мг%), пір'я часнику (113 мг%), листя та дрібні стебла кропу (61 мг%), пір'я та головки цибулі зеленої (у середньому 40 мг%).

Для того, щоб забезпечити населення усіма вітамінами при недостатньому вмісті їх у раціоні харчування, необхідно здійснити низку заходів як в загальнодержавному масштабі, так й індивідуально. До числа таких заходів відносяться:

- збагачення деяких масових продуктів харчування (борошно, жири, цукор та ін.) вітамінними препаратами;
- вітамінізація готової їжі аскорбіновою кислотою;
- заходи щодо збереження вітамінів при кулінарній обробці та зберіганні харчових продуктів та готової їжі;
- широке використання вітамінних препаратів.

Асортимент продуктів масового споживання, які є збагаченими на вітаміни, постійно розширюється. Такі продукти орієнтовані на різні соціальні та фізіологічні групи населення з урахуванням вікових і статевих особливостей, а також природно-кліматичних та екологічних чинників. Доцільність збагачення вітамінами харчових продуктів масового споживання не викликає сумнівів, так само, як й нераціональність використання вітамінних препаратів для збагачення продуктів не масового споживання (наприклад, фруктових вод, цукерок, халви, джемів та ін.), оскільки ці продукти споживаються не систематично та не можуть щоденно забезпечити потребу людини у необхідних вітамінах.

5.5. Мінеральні речовини та мікроелементи

Багато елементів у вигляді мінеральних солей, іонів, комплексних сполук та органічних речовин входять до складу живої матерії і є незамінними нутрієнтами, які повинні щодня споживатися з їжею. Вміст мінеральних речовин в основних продуктах харчування наведено у Додатку 5.

Роль мінеральних речовин в організмі людини є надзвичайно різноманітною незважаючи на те, що вони не є обов'язковим компонентом харчування. Мінеральні речовини містяться у протоплазмі та біологічних

рідинах, відіграють основну роль у забезпеченні сталості осмотичного тиску, що є необхідною умовою для нормальної життєдіяльності клітин та тканин. Вони містяться у складних органічних сполуках (наприклад гемоглобіні, гормонах, ферментах), є пластичним матеріалом для побудови кісткової тканини та тканини зубів. У вигляді іонів мінеральні речовини беруть участь у передачі нервових імпульсів, забезпечують згортання крові та інші важливі фізіологічні процеси організму.

Залежно від кількості мінеральних речовин у організмі людини та харчових продуктах їх поділяють на *макро-* та *мікроелементи*. Якщо масова частка елемента в організмі перевищує 10^{-2} %, то його слід вважати *макроелементом*. Частка *мікроелементів* в організмі складає 10^{-3} - 10^{-5} %. Якщо вміст елемента є нижчим за 10^{-5} %, його вважають *ультрамикроелементом*.

До макроелементів відносять Калій, Натрій, Кальцій, Магній, Фосфор, Хлор та Сульфур. Вони містяться у кількостях, які вимірюються сотнями та десятками мг/100 г тканини або харчового продукту. Мікроелементи входять до складу тканин організму у концентраціях, які вимірюються десятими, сотими та тисячними долями мг та є необхідними для його нормальної життєдіяльності.

Мікроелементи умовно поділять на дві групи: абсолютно або життєво необхідні (Кобальт, Ферум, Купрум, Цинк, Манган, Йод, Бром, Флуор) і так звані ймовірно необхідні (Алюміній, Стронцій, Молібден, Селен, Нікол, Ванадій та ін.). Мікроелементи називають життєво необхідними, якщо при їх відсутності або нестачі порушується нормальна життєдіяльність організму. При малому надходженні елемента до організму останній зазнає істотної шкоди. При цьому він змушений функціонувати на межі виживання. В основному, це пояснюється зниженням активності ферментів, до складу яких входить цей елемент. При підвищенні дози елемента реакція організму на нього зростає й досягає своєї фізіологічної норми.

Калій. Близько 90% калію знаходиться всередині клітини. Він разом з іншими солями забезпечує осмотичний тиск, бере участь у передачі нервових імпульсів, регуляції водно-сольового обміну, сприяє виведенню води, а, отже, й шлаків з організму, підтримує кислотно-лужну рівновагу

внутрішнього середовища, бере участь в регуляторній діяльності серця та інших органів, є необхідним для функціонування цілого ряду ферментів. Калій добре всмоктується з кишечника, а його надлишок швидко видаляється із організму із сечею. Добова потреба в калії дорослої людини становить 2000-4000 мг. Вона збільшується при рясному потовиділенні, при вживанні сечогінних засобів, а також при захворюваннях серця та печінки.

Калій не є дефіцитним нутрієнтом в харчуванні людини та при споживанні різноманітних харчових продуктів недостатності у ньому не виникає. Дефіцит калію в організмі з'являється при порушеннях функцій нервової, м'язової та серцево-судинної систем, сонливості, зниженні артеріального тиску, порушеннях ритму серцевої діяльності. У таких випадках призначається калієва дієта. Велика частина калію надходить в організм з рослинними продуктами. Джерелами його є чорнослив, родзинки, шпинат, морська капуста, квасоля, горох, картопля та інші овочі й плоди (100-600 мг/100 г продукту). Значно менші кількості калію містяться у сметані, рисі, хлібі з борошна вищого ґатунку (100-200 мг/100 г).

Натрій. Метаболізм Натрію є всебічно вивченим завдяки його важливим фізіологічним властивостям для організму людини. Цей нутрієнт легко всмоктується з кишечника. іони Натрію викликають набрякання колоїдів тканин, що обумовлює затримку води в організмі та протидіє її виділенню. Рівень Натрію у позаклітинній рідині ретельно підтримується нирками під впливом ендокринних, серцево-судинних та автономних (регуляторних) механізмів. Контроль за балансом Натрію здійснюється за допомогою нервової та гормональної систем. Найбільш важливим джерелом солей Натрію є звичайна кухонна сіль (*NaCl*). Середня добова потреба організму у кухонній солі складає близько 10 г. У спекотні дні та при інтенсивній фізичній роботі людина повинна споживати більше солі (20-25 г). При надходженні в організм більших її кількостей виникають порушення у стані здоров'я. Велика кількість солей Натрію може перешкоджати швидкому загоєнню запальних процесів у тканинах, спричиняти затримку води та призводити до набряків, викликати перевантаження та виснаження нирок, а також затримку продуктів розпаду при обміні речовин, зменшувати розчинність солей сечової кислоти, викликати перезбудження шлункової сек-

реції, а також підвищувати артеріальний тиск.

Оцінка середньодобового надходження Натрію з їжею ускладнена тим, що його концентрація у продуктах харчування зазвичай широко варіюється. Крім того, люди досить часто звикають до підсолювання їжі. В такому випадку доросла людина щодня може споживати до 15 г кухонної солі й стільки ж виділяти її з організму. Ця кількість значно перевищує фізіологічну потребу й визначається, перш за все, смаковими якостями натрій хлориду, а також звиканням людини до солоної їжі. При цьому вміст кухонної солі в більшості випадків можна без шкоди для здоров'я знизити до 5 г на добу.

При захворюваннях нирок, за яких сіль не може виділятися з організму, так само як й при серцевих захворюваннях, у стадії декомпенсації настає затримка солі у тканинах та з'являються набряки. За таких станів призначають безсольову дієту. Тому всі види їжі слід готувати без солі, включаючи й хліб. Зрозуміло, що не можна говорити про абсолютно безсольову дієту, оскільки деякі кількості натрій хлориду містяться у молоці, м'ясі та інших харчових продуктах. В останні роки у деяких країнах виробляють продукти харчування, які зовсім не містять солі та ідеально підходять для безсольового режиму. Їх з успіхом застосовують при хронічних захворюваннях печінки (цироз), алергічних шкірних захворюваннях та ін.

Кальцій – це основний структурний компонент кісток та зубів, він входить до складу ядер клітин, тканинних рідин та є необхідним для згортання крові. Якщо у їжі відсутній Кальцій, то може наступити розм'якшення кісткового скелету – остеомалаяція чи рахіт. При цьому захворюванні кістки легко викривлюються чи ламаються. Кальцій утворює сполуки з білками, фосфоліпідами, органічними кислотами, бере участь у регуляції проникності клітинних мембран, в процесах передачі нервових імпульсів, в молекулярному механізмі м'язових скорочень, контролює активність ряду ферментів. Таким чином, Кальцій виконує не лише ряд пластичних функцій, але й впливає на біохімічні та фізіологічні процеси у організмі. Кальцій належить до елементів, які погано засвоюються. Лужна реакція середовища тонкого кишечника сприяє утворенню погано засвоюваних сполук Кальцію, і лише вплив жовчних кислот забезпечує його всмоктування.

Асиміляція Кальцію тканинами залежить не лише від його вмісту у продуктах, але й від співвідношення з іншими компонентами їжі й, в першу чергу, з жирами, білками, Магнієм та Фосфором. При надлишку жирів виникає конкуренція за жовчні кислоти та значна частина Кальцію виводиться з організму через товстий кишечник. На всмоктування Кальцію негативно впливає надлишок Магнію: рекомендоване співвідношення цих елементів становить 1:0,5. Якщо кількість Фосфору перевищує рівень Кальцію у їжі більш, ніж у 2 рази, тоді утворюються розчинні солі, які витягуються кров'ю із кісткової тканини. Кальцій надходить у стінки кровоносних судин, що обумовлює їх ламкість, а також у тканини нирок, що може сприяти виникненню нирково-кам'яної хвороби. Для дорослих рекомендованим співвідношенням Кальцію та Фосфору у їжі є пропорція 1:1,5. Складності дотримання такого співвідношення обумовлені тим, що більшість продуктів харчування є значно багатшими на Фосфор, порівняно з Кальцієм. Для правильного всмоктування Кальцію у кишечнику необхідною також є певна кількість жирів та жовчного соку. Якщо ці речовини відсутні (механічна жовтуха) або до організму надходить велика кількість жирів, в цьому випадку не можуть утворитися розчинні кальцієві сполуки, а генеруються переважно нерозчинні кальцієві мила, які не всмоктуються.

Добова потреба у Кальції складає для дорослої людини приблизно 0,7-1 г, а для дітей – 1-1,2 г. Під час вагітності, особливо у останні місяці, потреба у ньому збільшується. Кальцій всмоктується за участю вітаміну D. Головним джерелом Кальцію у їжі є молочні продукти та листяні овочі. Однак у великих містах населення часто не отримує необхідної кількості цих видів їжі, в результаті чого можуть створитися умови для масової недостатності Кальцію. Це призводить до руйнування зубів та порушень кісткової системи.

Магній необхідний для активності ряду ключових ферментів, що забезпечують метаболізм організму. Він бере участь у підтримці нормальному функціонуванню нервової системи та серцевого м'язу, має судино-розширювальну дію, стимулює жовчовиділення, підвищує рухову активність кишечника, що сприяє виведенню шлаків з організму (у тому числі, й холестерину). Засвоєнню Магнію заважають наявність фітину, надлишок жи-

рів та Кальцію у їжі. Щоденна потреба у Магнії точно не визначена, однак вважають, що доза 200-300 мг на добу запобігає проявам недостатності цього елемента (за умов, коли рівень всмоктування складає близько 30%). Відомі випадки вродженої недостатності всмоктування Магнію з кишечника, що вказує на наявність специфічного механізму засвоювання цього іону.

При нестачі Магнію порушуються процеси засвоювання їжі, затримується ріст, у стінках судин відкладається Кальцій, розвивається ряд інших патологічних явищ. Значні втрати цього елемента можуть спостерігатися й при діареї. Коли концентрація Магнію в сироватці знижується до 0,1 моль/л, може виникати синдром, що нагадує білу гарячку: у людини настає напівкоматозний стан, спостерігається м'язове тремтіння, спазми м'язів в області зап'ястя та стопи, підвищення нервово-м'язового збудження у відповідь на звукові, механічні та зорові подразники. Введення Магнію викликає швидке поліпшення стану. На Магній багаті переважно рослинні продукти. Велика кількість цього елемента міститься у пшеничних висівках, різних крупах (40-200 мг/100 г продукту) та бобових. Мало Магнію у молочних продуктах, м'ясі, рибі, макаронних виробах, більшості овочів та фруктів (20-40 мг/100 г).

Солі Фосфору (V) також вкрай необхідні для формування кісток. Фосфор входить до складу органічних сполук (фосфоліпідів), котрі беруть участь у побудові всіх клітин, включаючи й клітини крові. Він міститься у найбільш активних у біологічному відношенні органічних кислотах (аденозинфосфатній кислоті та креатинінфосфаті), що є справжніми акумуляторами енергії. Біохімічні процеси, що здійснюються у мозку, печінці, нирках та м'язах, тісно пов'язані з обміном Фосфору, що необхідний для нормальної діяльності нервової системи. Головними джерелами Фосфору у тваринних продуктах є жовток курячого яйця, риба, ікра, м'ясо, сир, мозок, печінка, а у рослинних – соя, сочевиця, квасоля, горіхи, мигдаль та зернові культури. Добова потреба організму у Фосфорі дорівнює приблизно 1,6 г. Він всмоктується у тонкому кишечнику за участю вітаміну D, причому для цього необхідні лужна реакція середовища та наявність жовчних солей.

5.6. Вплив технологічної обробки на мінеральний склад харчових продуктів

При переробці харчової сировини, як правило, відбувається зниження вмісту мінеральних речовин (окрім додавання харчової солі). У рослинних продуктах вони втрачаються з відходами. Так, вміст ряду макро- і особливо мікроелементів при одержанні крупи та борошна після обробки зерна знижується, оскільки у видалених оболонках та зародках цих компонентів міститься більше, ніж у цілій зернині. При очищенні овочів та картоплі втрачається від 10 до 30% мінеральних речовин. Якщо вони піддаються тепловій кулінарній обробці, то в залежності від технології (варки, обсмажування, тушкування) втрачається ще від 5 до 30%. М'ясні, рибні продукти та птах в основному втрачають такі макроелементи, як Кальцій та Фосфор при відокремленні м'якоті від кісток. При тепловій кулінарній обробці м'ясо втрачає від 5 до 50% мінеральних речовин. Однак, якщо готувати разом з кістками, що містять багато Кальцію, то можна збільшити вміст цього елемента у кулінарно оброблених м'ясних продуктах на 20%.

У технологічному процесі за рахунок недостатньо якісного обладнання може переходити у кінцевий продукт деяка кількість мікроелементів. Так, при виготовленні хліба, під час замісу тіста в результаті його контакту з обладнанням вміст Феруму може збільшуватися на 30%. Цей процес є небажаним, оскільки разом із Ферумом у продукт можуть переходити й токсичні елементи, що містяться у вигляді домішок у металі. При зберіганні консервів у жерстяних банках з неякісно виконаних припоєм чи при порушенні захисного лакового шару у продукт можуть переходити такі високотоксичні елементи як Плюмбум, Кадмій, а також Станум. Слід урахувати, що ряд металів, таких як Ферум та Купрум, навіть у невеликих концентраціях можуть викликати небажане окиснення продуктів. Їх каталітична окислювальна здатність особливо яскраво проявляється у відношенні до жирів. Так, наприклад, при довготривалому зберіганні вершкового масла та маргарину ці метали викликають згіркнення продуктів. При зберіганні напоїв у присутності Феруму за певних умов досить часто можна спостерігати їх помутніння.

5.7. Лабораторна робота № 5

I. Вітаміни та вітаміноподібні сполуки

Дослід 1. Якісна реакція на вітамін А (з сульфатною кислотою)

Реактиви, посуд та обладнання: сульфатна кислота (конц.); розчин риб'ячого жиру в хлороформі; предметне скло; крапельниця.

На сухе предметне скло наносять дві краплі риб'ячого жиру у хлороформі та одну краплю концентрованої сульфатної кислоти. Остання, маючи водовідшумні властивості, сприяє перетворенню вітаміну А в забарвлений комплекс фіолетово-червоного кольору. Запишіть структурну формулу молекули вітаміну А. Які функціональні групи та хімічні зв'язки характерні для ретинолу ?

Дослід 2. Якісна реакція на вітамін D (анілінова проба)

Реактиви, посуд та обладнання: риб'ячий жир; хлороформ; аніліновий реактив: 15 частин аніліну на 1 частину хлоридної кислоти (конц.); розчин бром у хлороформі (1:60); піпетка (на 1 мл); суха пробірка; штапик для пробірок; пробіркотримач; пальник.

У сухій пробірці змішують 1 краплю риб'ячого жиру з 0,5 мл хлороформу, потім додають при перемішуванні 1 краплю анілінового реактиву. Утворюється емульсія жовтого кольору, яка при нагріванні набуває червоного забарвлення. Запишіть структурні формули вітаміну D (кальциферолів). Які функціональні групи та хімічні зв'язки характерні для молекул такого типу ?

Дослід 3. Якісна реакція на вітамін Е (з нітратною кислотою)

Реактиви, посуд та обладнання: токоферол (0,1%-вий спиртовий розчин); нітратна кислота (конц.); піпетка; пробірка.

У пробірку вносять 5 крапель 0,1%-вого спиртового розчину токоферолу (вітаміну Е), додають 10 крапель концентрованої нітратної кислоти та струшують. При цьому утворюється емульсія, яка поступово забарвлюється в червоний колір. Реакція обумовлена окисненням токоферолу до

продуктів з хіноїдною структурою. Запишіть структурну формулу вітаміну E. Які функціональні групи та хімічні зв'язки характерні для молекул токоферолу?

Дослід 4. Якісна реакція на вітамін K (з лужним розчином цистеїну)

Реактиви, посуд та обладнання: 0,05%-вий розчин вікасолу (вітаміну K); 0,025%-вий розчин цистеїну; 10%-вий розчин натрій гідроксиду; піпетка; пробірка.

У пробірку наливають 5 крапель вікасолу, додають 5 крапель розчину цистеїну та 5 мл 10%-вого розчину натрій гідроксиду. При цьому з'являється лимонно-жовте забарвлення розчину.

Дослід 5. Якісна реакція на вітамін B₁

Реактиви, посуд та обладнання: 5%-вий розчин тіаміну (вітаміну B₁); 10%-вий розчин натрій гідроксиду; 5%-вий розчин калій (III) гексаціаноферату (червоної кров'яної солі); піпетка; пробірка; штатив для пробірок; пробіркотримач; пальник.

У пробірку вносять 2-3 краплі 5%-вого розчину тіаміну, підлуженого натрій гідроксидом, додають 2-3 краплі 5%-вого розчину червоної кров'яної солі та нагрівають. Вміст пробірки забарвлюється у жовтий колір. При цьому тіамін перетворюється на тіохром.

Дослід 6. Якісні реакції на вітамін C

Реактиви, посуд та обладнання: 1%-вий розчин аскорбінової кислоти (вітаміну C); 10%-вий розчин натрій гідроксиду; 10%-вий розчин хлоридної кислоти; 5%-вий розчин калій (III) гексаціаноферату (червоної кров'яної солі); 1%-вий розчин ферум (III) хлориду; 0,01%-вий розчин метиленової сині; піпетки; пробірки; штатив для пробірок; термостат.

а) У пробірку вносять 5 крапель 1%-вого розчину вітаміну C, 1 краплю 10%-вого розчину натрій гідроксиду, 1 краплю 5%-вого розчину червоної кров'яної солі та 1 краплю 1%-вого розчину ферум (III) хлориду. Перемішують вміст пробірки та додають 3 краплі 10%-вого розчину хлоридної

кислоти. При цьому спостерігається зміна забарвлення та випадає синій осад берлінської лазурі.

б) До 1 мл розчину вітаміну *C* додають 1 мл розчину метиленової сині. Пробірку ставлять в термостат при температурі 37–40°C. Через деякий час відбувається знебарвлення рідини. Запишіть структурну формулу аскорбінової кислоти. Які функціональні групи та хімічні зв'язки характерні для молекули вітаміну *C*?

Дослід 7. Кількісне визначення вітаміну P

Реактиви, посуд та обладнання: 0,05 н розчин калій перманганату; насичений розчин індигокарміну; сухий чай; бюретки; піпетки; крапельниці; конічні колби.

Рутин (вітамін *P*) в присутності калій перманганату окиснюється, при цьому змінюється забарвлення індикатору індигокарміну. Встановлено, що 1 мл 0,1 н розчину калій перманганату окиснює 6,4 мг рутину.

У конічну колбу беруть 200 мг сухого чаю, приливають 50 мл гарячої дистильованої води та проводять екстракцію 5 хвилин шляхом збовтування. 10 мл екстракту відміряють в конічну колбу, додають 10 мл води, 10 крапель індикатору індигокарміну та титрують 0,05 н розчином калій перманганату до появи стійкого жовтого забарвлення. Кількість вітаміну *P* розраховують за формулою:

$$X = \frac{3,2 \cdot a \cdot 50 \cdot 100}{10 \cdot 0,2 \cdot 1000},$$

де: 3,2 – кількість вітаміну *P*, яка окиснюється 1 мл 0,05 н розчину калій перманганату, мг; *a* – кількість 0,05 н розчину калій перманганату, який витрачено на титрування, мл; 50 – кількість дистильованої води, мл; 100 – коефіцієнт для перерахунку у відсотки; 10 – кількість екстракту, мл; 0,2 – кількість чаю, г; 1000 – величина для переведення г у мг.

II. Мінеральні речовини. Харчові кислоти

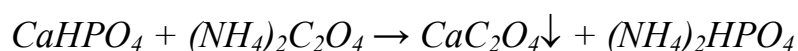
Дослід 8. Якісне визначення неорганічних сполук у кістковій тканині

Реактиви, посуд та обладнання: кісткова тканина; 0,5%-вий розчин сульфатної кислоти; розчин амоній оксалату (насич.); розчин амоній гідроксиду (конц.); молібденовий реактив; конічна колба (50 мл); мірний циліндр (25 мл); пробірки; штатив для пробірок; пробіркотримач; пальник; скляна лійка; паперовий фільтр.

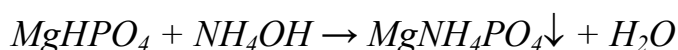
До складу кісткової тканини входить вода (50%), органічні (28%) та неорганічні (22%) речовини. Серед неорганічних речовин більшу частину складає кальцій фосфат (85%), у значно менших кількостях міститься кальцій карбонат (10%), магній фосфат (1,5%) та кальцій фторид (0,3%). Мінеральні речовини розподілені в органічній складовій кісток у вигляді дуже дрібних включень, які можна екстрагувати за допомогою розчину мінеральної (сульфатної або хлоридної) кислоти.

Підготовка проби до аналізу. У колбу поміщають приблизно 5 г подрібненої кісткової тканини, приливають 25 мл 0,5%-вого розчину сульфатної кислоти та залишають на добу. При цьому неорганічні речовини переходять у розчин.

Відкриття іонів кальцію. У пробірку відфільтровують 3-4 мл витяжки із кісткової тканини та додають 3-4 краплі насиченого розчину амоній оксалату. За наявності у витяжці іонів Ca^{2+} випадає білий осад кальцій оксалату:

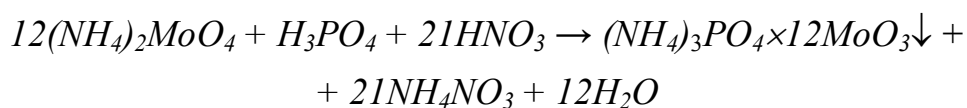


Відкриття іонів магнію. Беруть пробірку з попереднього дослідження, у якій визначалися іони Ca^{2+} , осад кальцій оксалату відфільтровують. До фільтрату додають 3-4 краплі концентрованого розчину амоніаку. Якщо у витяжці є іони Mg^{2+} , випадає білий осад магній-амоній фосфату:



Відкриття фосфатної кислоти. У пробірку беруть невелику кількість профільтрованої витяжки із кісткової тканини, додають 5-6 крапель молібденового реактиву та нагрівають до кипіння. Якщо у витяжці є іони

PO_4^{3-} , то повільно утворюється жовтий кристалічний осад амоній молібдофосфату:



Дослід 9. Визначення вмісту кальцію у молоці

Реактиви, посуд та обладнання: молоко (коров'яче); розчин амоній оксалату (насич.); 2%-вий розчин амоніаку; 5%-вий розчин сульфатної кислоти; 0,01 н. розчин калій перманганату; конічна колба (25 мл); піпетки (1 мл); мікробюретка (2 мл); пробірки для центрифугування; центрифуга; водяна баня; скляна паличка.

У коров'ячому молоці міститься 140 мг% Кальцію. Визначення вмісту його проводять наступним чином: кальцій переводять у оксалат, розчиняють у сульфатній кислоті, при цьому вивільнюється еквівалентна кількість $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, яку відтитровують розчином калій перманганату.

В одну пробірку наливають 1 мл розбавленого у 10 разів молока, у другу – 1 мл води (контрольний дослід). У обидві пробірки додають по 0,5 мл насиченого розчину амоній оксалату та залишають стояти протягом 1 год. Потім проби піддають центрифугуванню. Рідину зливають з осаду, у пробірки наливають по 2 мл 2%-вого розчину амоніаку (для видалення надлишку амоній оксалату), осад каламутять скляною паличкою та знову центрифугують. Таку операцію виконують не менше трьох разів. Після цього у кожну пробірку додають по 1 мл 5%-вого розчину сульфатної кислоти. Осад перемішують до повного розчинення. Вміст пробірок переносять за допомогою підігрітого 5%-вого розчину сульфатної кислоти у колбу на 25 мл та гарячий розчин титрують із мікробюретки 0,01 н. розчином калій перманганату до появи слабо-рожевого забарвлення. Паралельно проводять титрування у контрольному досліді. Вміст Кальцію розраховують за формулою:

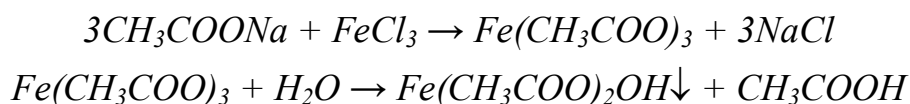
$$C = 0,2 \times (V_1 - V_2) \times 100,$$

де C – вміст Кальцію (у мг%); $0,2$ – маса кальцію (мг), яка відповідає 1 мл 0,01 н. розчину KMnO_4 ; V_1 – об'єм (в мл) 0,01 н. розчину KMnO_4 , витраченого на титрування досліджуваної проби; V_2 – об'єм (в мл) 0,01 н. розчину KMnO_4 , витраченого на титрування у контрольному досліді.

Дослід 10. Відкриття ацетатної кислоти та її солей

Реактиви, посуд та обладнання: 10%-вий розчин натрій ацетату або ацетатна кислота (льодяна); 3%-вий розчин ферум (III) хлориду; 10%-вий розчин натрій гідроксиду; синій лакмусовий папір; пробірки; піпетка; пробіркотримач; пальник.

У пробірку наливають 2-3 краплі 10%-вого розчину натрій ацетату та додають кілька крапель 3%-вого розчину ферум (III) хлориду. З'являється жовтувато-червоне забарвлення розчину внаслідок утворення розчинної комплексної солі – хлориду основного ферум (III) гексаацетату. При кип'ятінні розчину відбувається гідроліз комплексної солі (спрощено ферум (III) ацетату) з утворенням основної солі – двозаміщеного ферум (III) ацетату, котра випадає у вигляді пластівців червоно-бурого кольору:



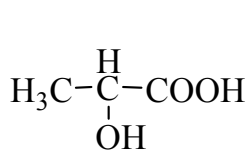
Цей дослід можна проводити також із ацетатною кислотою. У цьому випадку розчиняють кілька крапель кислоти у 2-3 мл води, нейтралізують розчином лугу за лакмусом і потім додають FeCl_3 . Аналогічну реакцію з ферум (III) хлоридом дають солі мурашиної та пропіонової кислот. З багатоатомними спиртами чи оксикислотами солі феруму (III) утворюють більш стійкі комплексні сполуки. У їх присутності видалити іони Fe^{3+} з розчину дією натрій ацетату не вдається.

Дослід 11. Якісна реакція на харчові α -оксикислоти

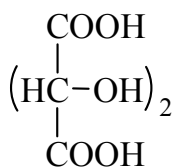
Реактиви, посуд та обладнання: 1%-вий розчин фенолу; 1%-вий розчин ферум (III) хлориду; водні розчини органічних кислот (молочної, винної, лимонної); пробірки; штатив для пробірок.

До 3-4 мл 1%-вого розчину фенолу додають кілька крапель 1%-вого розчину ферум (III) хлориду. Розчин стає фіолетовим. Його ділять на три частини. До однієї частини приливають 0,5 мл заздалегідь приготованого

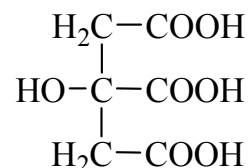
розчину молочної кислоти, до іншої – 0,5 мл розчину винної кислоти, до третьої – 0,5 мл розчину лимонної кислоти. У всіх пробірках з'являється характерне для α -оксикислот зеленувато-жовте забарвлення.



Молочна кислота



винна кислота



лимонна кислота

Вихідний розчин ферум (III) хлориду має коричнево-жовтий колір, тому для більшої чіткості переходу забарвлення доцільно застосовувати його фіолетовий розчин, що містить ферум (III) фенолят. α -Оксикислота, зв'язуючи ферум (III), руйнує фенолят і фіолетове забарвлення розчину переходить у жовте.

5.8. Контрольні запитання

1. Який клас хімічних сполук називають вітамінами і чому ?
2. Класифікація вітамінів.
3. Поняття про провітаміни, вітамери, вітаміноподібні речовини, антивітаміни.
4. Розкрити суть термінів: гіповітаміноз, гіпервітаміноз, авітаміноз.
5. Роль вітамінів А, Е в технології харчових продуктів.
6. Біологічні функції вітамінів групи В.
7. Пояснити які чинники впливають на стабільність вітамінів у харчовій сировині та продуктах.
8. Навести приклади вітаміноподібних речовин.
9. Що таке вітамінізація їжі та у чому полягає її головне призначення ?
10. Навести приклади взаємодії деяких мікроелементів з вітамінами.
11. Які речовини відносяться до мінеральних ?
12. Фізіологічне значення мінеральних речовин, їх класифікація.
13. Що таке макро- та мікроелементи? У чому полягає їх головна біологічна роль ?
14. Мікроелементи та їх роль в організмі.
15. Основні джерела мінеральних речовин та добові норми їх потреби.
16. Харчові кислоти та їх вплив на якість продуктів.

РОЗДІЛ 6. ХАРЧОВІ ДОБАВКИ

6.1. Загальні відомості про харчові добавки

Харчові добавки – це група природних або синтетичних речовин, використання яких є необхідним для удосконалення технології виробництва продуктів харчування (дієтичного, лікувального призначення та ін.), а також збереження чи надання нових необхідних властивостей, підвищення стабільності та покращення органолептичних характеристик харчових систем. Зазвичай до харчових добавок не відносять сполуки, які підвищують харчову цінність продуктів: вітаміни, мікроелементи та амінокислоти. Застосування харчових добавок є припустимим лише у тому випадку, якщо вони, навіть при тривалому використанні, не загрожують життю та здоров'ю людини.

Харчові добавки використовуються людиною вже багато століть: сіль, спеції (перець, гвоздика, мускатний горіх, кориця), мед як підсолоджуюча речовина та ін. Однак широке використання харчових добавок почалося лише наприкінці XIX ст. Цей процес пов'язаний зі зростанням кількості населення, його концентруванням у містах, а також необхідністю вдосконалення традиційних харчових технологій досягненнями хімії, створенням продуктів спеціального призначення. Незважаючи на існуюче у багатьох споживачів упередження, харчові добавки за гостротою, частотою та тяжкістю можливих захворювань слід віднести до розряду речовин мінімального ризику.

Неможливо обійти увагою й таке важливе питання, як **токсичність** хімічних речовин. Зазвичай під токсичністю розуміють здатність речовин завдавати шкоди живому організму. Слід зазначити, що будь-яка хімічна сполука за певних умов може бути токсичною, тому, на думку деяких фахівців, більш правильно говорити про нешкідливість речовини за певного способу її застосування. Вирішальну роль тут відіграє доза, тобто кількість речовини, що надходить в організм за добу, а також тривалість споживання, режим, шляхи надходження до організму та ін. При цьому ефекти впливу можуть бути достатньо різноманітними – від гострих та хроніч-

них отруєнь до більш віддалених наслідків. З метою гігієнічної регламентації експериментально обґрунтовують так звані гранично допустимі концентрації (ГДК), тобто концентрації, які не викликають відхилень у стані здоров'я при щоденному впливі речовини на організм протягом тривалого часу. При встановленні величини ГДК враховують значну кількість факторів. Такого типу дослідження проводяться спеціальними організаціями та регламентуються певними правилами.

6.2. Класифікація харчових добавок

Усі харчові добавки, залежно від їх походження, поділяються на три групи: природні, ідентичні природним та синтетичні речовини. Відповідно до технологічного призначення, харчові добавки можна класифікувати наступним чином:

1. Харчові добавки, що забезпечують необхідний зовнішній вигляд та органолептичні властивості продукту. Ця група включає:

- харчові барвники;
- речовини, які покращують консистенцію;
- ароматизатори;
- смакові речовини.

2. Харчові добавки, що запобігають мікробному та окисному псуванню продуктів (консерванти). До них відносять:

- антимікробні засоби (хімічні, біологічні та ін.);
- антиокисники (антиоксиданти), що перешкоджають хімічному

псуванню продукту шляхом його окиснення.

3. Харчові добавки, необхідні для здійснення технологічного процесу виробництва харчових продуктів:

- прискорювачі виробничого процесу;
- фіксатори міоглобіну;
- технологічні харчові добавки (розпушувачі тіста, гелеутворювачі та піноутворювачі);
- харчові добавки, що покращують якість продуктів харчування.

Усі компоненти, які використовуються відповідно до *Codex Alimentarius*, мають свій номер у списку *INS* (*International Numeral System* – Міжнародна цифрова система). Це дозволяє провести чітку ідентифікацію харчових добавок, захищаючи від помилок при перекладі, а також дозволяє виявити їх у продуктах харчування. Систему *INS*-номерів розроблено на основі цифрової системи класифікації харчових добавок, прийнятої у країнах Європи; скорочено її називають системою Е-нумерації. Індексом Е (від слова *Europe*) замінюють довгі назви харчових добавок. Ці коди, або ідентифікаційні номери, використовують лише у поєднанні з назвами функціональних класів добавок.

Присвоєння кожній конкретній речовині статусу харчової добавки та ідентифікаційного номеру з індексом “Е” має чітке трактування та передбачає, що:

- дану речовину перевірено на безпечність;
- речовина може бути використана (або рекомендована до використання) у межах встановленої безпечності та технологічної необхідності за умови, що її використання не введе споживача в оману відносно типу та складу харчового продукту, в який її внесено;
- для даної речовини встановлено чіткі критерії чистоти, необхідні для досягнення визначеного рівня якості харчових продуктів.

Згідно із запропонованою системою цифрового кодування, розрізняють такі групи харчових добавок:

- E100-E199 – барвники;
- E200-E299 – консерванти;
- E300-E399 – антиоксиданти;
- E400-E499 – стабілізатори консистенції;
- E500-E599, E1000 – емульгатори;
- E600-E699 – підсилювачі смаку та запаху;
- E700-E899 – запасні індекси для іншої можливої інформації;
- E900 і далі – глазуруючі агенти, покращувачі хліба.

Багато харчових добавок мають комплексні технологічні функції, які виявляються в залежності від особливостей харчової системи. Наприклад,

добавка E339 (натрій фосфати) може проявляти властивості регулятора кислотності, емульгатора, стабілізатора, комплексоутворювача та вологоутримуючого агента. Основні функціональні класи харчових добавок та їх функції представлено у Додатку 6.

Окрему групу харчових добавок складають білкові напівпродукти, використання яких особливо актуальне для галузей промисловості, пов'язаних з переробкою тваринної сировини, особливо м'ясо-переробної. Білкові препарати досить різноманітні. В залежності від джерела отримання, вони поділяються на препарати рослинного та тваринного походження, а також мікробні. Майже в усіх країнах, де достатньо розвинута м'ясна індустрія, велика увага звертається на нове джерело білка на основі рослин. В наш час такі продукти довели свою придатність у використанні не лише з метою підвищення виходу, покращення емульгуючої здатності та стабільності емульсій, але і як компонент для одержання комбінованих білкових систем з максимально наближеною до м'ясної сировини біологічною цінністю. Іншими словами, білкові препарати виступають не лише як функціонально-технологічні харчові добавки, але і як розбавлювачі основної сировини, головним чином, м'ясної.

У різних країнах правила і нормативи із застосування харчових добавок у продуктах харчування відрізняються між собою. В Україні питаннями застосування харчових добавок займається Департамент Державного санітарно-епідеміологічного нагляду МОЗ України.

Для гігієнічної регламентації будь-яких чужорідних речовин, у тому числі, і харчових добавок, міжнародними організаціями ООН, ВООЗ, ФАО, а також органами охорони здоров'я окремих країн введені такі показники:

– ГДК – *гранично допустима концентрація* (мг/кг) речовини в атмосфері, воді та харчових продуктах з точки зору їх безпеки для здоров'я людини – кількість речовини, яка при щоденній дії протягом будь-якого за тривалістю проміжку часу не може викликати захворювань та відхилень у стані здоров'я;

– ДДД – *допустима добова доза* (мг на 1 кг маси тіла) речовини, щоденне надходження якої не спричиняє негативного впливу на здоров'я людини протягом усього життя;

– ДДС – *допустиме добове споживання* (мг/добу) речовини визначається як добуток ДДД на величину середньої маси тіла (60 кг) і відповідає кількості, яку людина може споживати щоденно протягом життя без ризику для здоров'я.

Усі харчові добавки, які використовуються у країнах ЄС, внесені в список дозволених добавок. Добавки, які включені у цей список, при появі нових даних підлягають перегляду і можуть бути уточнені національними організаціями. Крім цього, ряд добавок є не рекомендованими для застосування в харчових технологіях.

Але є харчові добавки, які заборонені до використання у різних країнах. Серед таких добавок можна виділити сім (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1. Заборонені харчові добавки

Код	Харчові добавки	Технологічна функція
E 121	Цитрусовий червоний	Барвник
E 123	Амарант	Барвник
E 216	Пропіловий ефір парагідроксибензойної кислоти	Консервант
E 217	Натрієва сіль пропілового ефіру парагідроксибензойної кислоти	Консервант
E 240	Формальдегід	Консервант
E 940a	Калій бромат	Покращувач борошна та хліба
E 940б	Кальцій бромат	Покращувач борошна та хліба

Як стверджують спеціалісти, єдиний ризик, який пов'язаний із використанням навіть дозволених харчових добавок, полягає у можливій алергії організму до них. Для споживача в цьому випадку надзвичайно важливою є інформація на етикетці товару, де поряд з класом речовини (консервант, барвник) повинна бути присутня назва добавки (її Е-номер).

6.3. Харчові добавки, які покращують зовнішній вигляд харчових продуктів

6.3.1. Харчові барвники

Основною групою цих харчових добавок є харчові барвники та речовини, які сприяють збереженню забарвлення.

Споживач давно звик до певного кольору тих чи інших харчових продуктів, пов'язуючи з ним їх смак, ступінь готовності до вживання, якість. Колір харчових продуктів, їх зовнішня привабливість (“товарний вигляд”) є визначальними у торгівлі, у визначенні їх вартості, конкуренто-спроможності. В сучасних харчових технологіях, які включають різні види термічної обробки, а також при зберіганні харчові продукти часто змінюють свою початкову, звичне для споживача, забарвленням, а коли набувають неестетичного зовнішнього вигляду, що робить їх менш привабливими, негативно впливає на апетит та процеси травлення. В той же час, барвники інколи використовуються для фальсифікації харчових продуктів – для надання продукту властивостей, які дозволяють імітувати. йото високу якість або підвищену цінність.

Згідно з Директивою 94/36 Європейського парламенту та ЄС харчові барвники класифікують як хімічні синтетичні речовини або натуральні (природні) сполуки, які надають чи підсилюють колір харчового продукту.

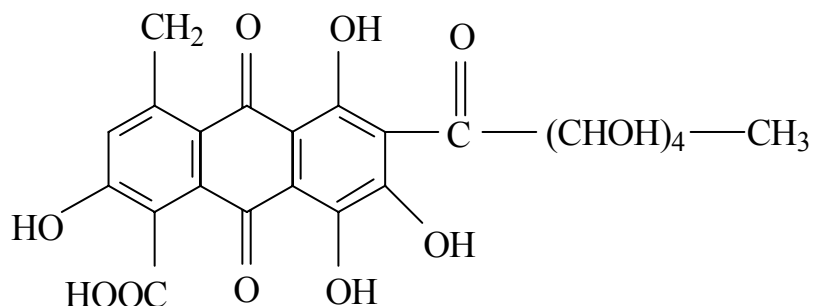
З гігієнічної точки зору серед барвників, які використовуються для забарвлення продуктів, особлива увага приділяється синтетичним барвникам через їх можливу токсичну, мутагенну та канцерогенну дію.

Найбільш широко харчові барвники використовуються при виробництві кондитерських виробів, напоїв, маргаринів, деяких видів консервів, сухих сніданків, плавлених сирів, морозива.

Натуральні барвники зазвичай виділяють із природних джерел у вигляді суміші речовин, склад якої залежить від джерела та технології одержання, у зв'язку з чим забезпечити його часто буває важко. Серед натуральних барвників необхідно виділити каротиноїди, антоціани, флавоноїди, хлорофіли. Вони, як правило, не токсичні, але для деяких з них встановлені допустимі добові дози.

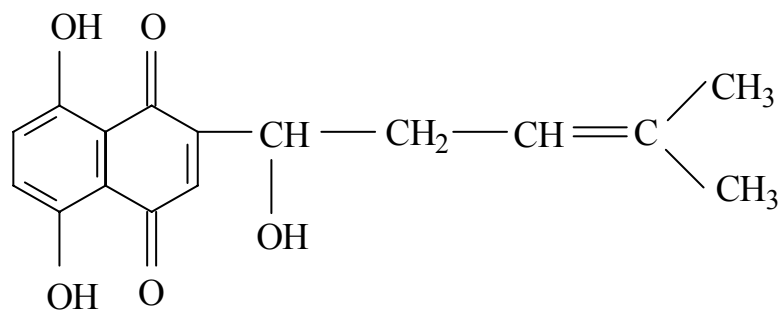
До натуральних барвників відносяться наступні:

Кармін – червоний барвник, похідне антрахінону

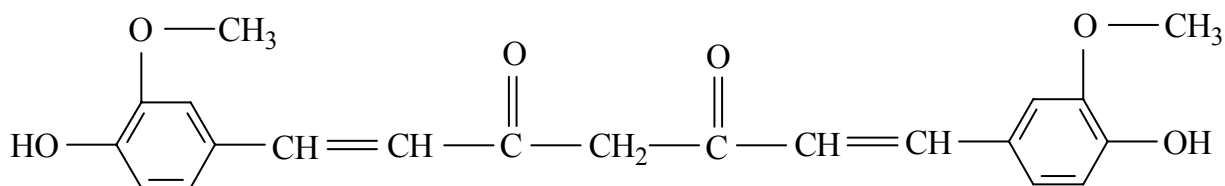


Кармін отримують із кошенеля – комах, що живуть на кактусах, які ростуть в Африці та Південній Америці.

Алканін – похідне 1,4-нафтохінона. Він був відомий як барвник ще у давнину, його отримують із коріння рослин *Alkanria tinctoria*. Надає червоно-бордового забарвлення.



Каркума – жовтий природний барвник, отримують із багаторічних трав'янистих рослин родини імбирних. Використовують у вигляді спиртового розчину, так як куркума погано розчиняється у воді.



Енобарвник отримують з вичавків червоних сортів винограду і ягід бузини у вигляді рідини інтенсивно червоного кольору. До її складу входить суміш сполук, в тому числі антоціанів і катехінів. Забарвлення продукту енобарвником залежить від рН середовища. Червоне забарвлення у підкислених об'єктах, нейтральних і слабколужних середовищах енобарвник надає продукту синій відтінок. Тому енобарвник у кондитерській

промисловості використовують одночасно з органічними кислотами для створення необхідного рН середовища.

Останнім часом почали використовувати як жовті, рожево-червоні барвники пігменти, що містяться у соці кизилу, червоної і чорної смородини, журавлини, брусники, до складу яких входять антоціани; пігменти чаю, містять антоціани і катехіни; червоний барвник, виділений з буряка.

Цукровий колер (карамель) – темно-пофарбований продукт карамелізації цукру. Його водні розчини являють собою темно-коричневу рідину, яка приємно пахне. Застосовують для фарбування напоїв, кондитерських виробів, в кулінарії.

Синтетичними барвниками називаються харчові барвники, одержані методами синтезу і які не зустрічаються в природі.

Вони мають значні технологічні переваги у порівнянні з більшістю натуральних барвників – вони дають яскраві, легко відтворювані кольори і менш чутливі до різних видів зовнішніх впливів. Синтетичні барвники представлені різними класами органічних сполук: азобарвники (Тартразин – E102, Кармазин – E122 та ін.), трифенілметанові (Синій пантотеновий V – E131, Зелений S – E142 та ін.), індигоїдні (Індигокармін E132), хінолінові (Жовтий хіноліновий – E104).

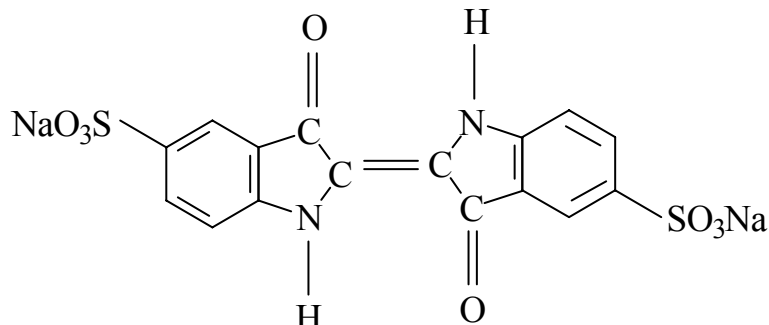
Синтетичні барвники у харчовій технології використовуються у вигляді індивідуальних продуктів та сполук з вмістом основної речовини не менше 70-85 %, в сумішах один з одним, а також розведені наповнювачами. Для забарвлення харчових продуктів використовують, головним чином, водні розчини харчових барвників. Порошкоподібні барвники застосовують лише у сухих концентратах (концентрати напоїв, сухих сумішах для кексів, желе тощо).

Широке застосування синтетичних барвників пов'язане з їх високою стійкістю до змін рН середовища та дії кислот, стабільністю до нагрівання та освітлення, сильнішою фарбуючою здатністю, легкістю дозування, стійкістю забарвлення при зберіганні продукту. В більшості випадків вони значно дешевші від натуральних барвників.

Як барвники в наш час також використовують мінеральні пігменти та метали.

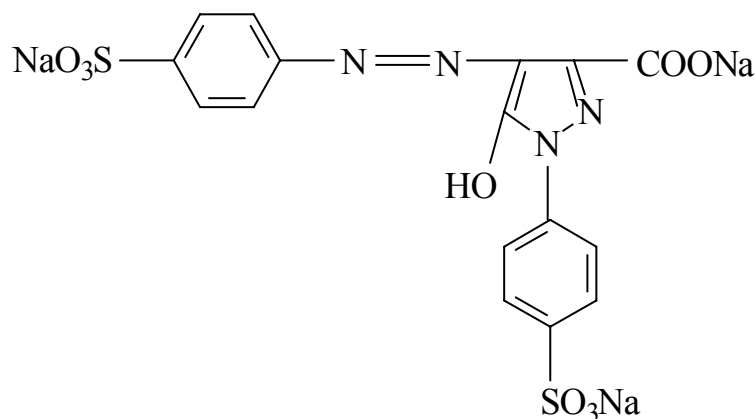
Серед синтетичних барвників необхідно відзначити наступні:

Індигокармін (динатрієва сіль індігодисульфокислоти)



Індигокармін при розчиненні у воді дає розчини інтенсивного синього кольору. Застосовують у кондитерській промисловості і при виробництві цукру-рафінаду.

Татразин жовтий – натрієва сіль азобарвника



Татразин добре розчинний у воді, утворює розчини оранжево-жовтого кольору. Використовують у кондитерській промисловості, при виробництві напоїв.

6.3.2. Харчові добавки, які змінюють структуру харчових продуктів

Групу речовин, які мають здатність формувати структуру харчових систем, називають структуроутворювачами. До цієї групи харчових добавок відносяться речовини, які використовуються для створення необхідних або зміни уже існуючих реологічних властивостей харчових продуктів, тобто добавки, які регулюють або формують консистенцію. Сюди відносять загущувачі, гелеутворювачі, стабілізатори фізичного стану харчових

продуктів, а також поверхнево-активні речовини (ПАР), зокрема, емульгатори та піноутворювачі.

Чіткого поділу між цими групами добавок немає, відмінності у фізико-хімічному стані, яке зустрічається на практиці, не носить принципового характеру. Серед них натуральні природні речовини рослинного (крім желатину) походження: желатин, пектин, агароїди, рослинні камеді і речовини, одержувані штучно (напівсинтетичним шляхом), у тому числі, з природних об'єктів: метилцелюлоза, етилцелюлоза, карбоксиметилцелюлоза, амілопектин, модифіковані крохмалі та інші.

Останнім часом все більша увага приділяється стабілізаційним системам, які містять кілька компонентів: емульгатор, стабілізатор та загущувач.

Стабілізаційні системи широко використовуються у громадському та домашньому харчуванні, кулінарії. Вони використовуються при виробництві супів (сухі, консервовані, заморожені), соусів (майонези, томатні соуси), бульйонних продуктів, продуктів для консервування блюд.

Сьогодні виділяють кілька класифікаційних ознак структуроутворювачів:

- за належністю до джерела виділення розрізняють тваринні, рослинні та мікробіологічні структуроутворювачі;
- натуральні (агар-агар, гуміарабік, камеді крохмаль тощо), штучні (карбоксиметилцелюлоза, метилцелюлоза, модифіковані крохмалі, хітозан та ін.) та синтетичні (полівініловий спирт, поліетиленгліколі тощо);
- структуроутворювачі, які змінюють консистенцію: загущувачі, желе- та студнеутворювачі, емульгатори, стабілізатори;
- речовини, які додаються в продукти для покращення технології, зокрема емульгатори, стабілізатори та студнеутворювачі;
- камеді (смоли) – це полісахариди, здатні суттєво взаємодіяти з водою.

Більшість харчових продуктів є дисперсними системами: гелями, золями, емульсіями. Структуроутворювачі вносять до складу продуктів з метою їх загущення, емульгування, водо утримування, ціноутворення, седиментації, інгібування кристалізації та черствіння тощо.

Серед структуроутворювачів необхідно відзначити натуральні харчові добавки: желатин, пектин, натрій альгінат, агароїди, крохмаль, рослинні камеді і речовини, одержувані штучно, у тому числі, із природних об'єктів: метилцелюлоза, амілопектин, модифіковані крохмалі.

Желатин – білковий продукт, що являє собою суміш поліпептидів із різною (50-70 тис.) молекулярною масою та їх агрегатів, не має смаку і запаху. Желатин отримують із кісток, хрящів, сухожиль тварин. Він розчиняється у гарячій воді, при охолодженні водні розчини утворюють студні. Желатин застосовують при виготовленні зельца, желе (фруктових та рибних), морозива, у кулінарії.

Крохмаль і модифіковані крохмалі. Крохмаль, його фракції (амілопектин), продукти часткового гідролізу – декстрини та модифіковані крохмалі застосовують як загусники, драглеутворювачі і желатуючі речовини у кондитерській, хлібопекарській промисловості, при виробництві морозива.

Модифіковані крохмалі за будовою і властивостями внаслідок різноманітних впливів (фізичного, хімічного, біологічного) відрізняються від звичайних крохмалів. Модифікація дозволяє істотно змінити їх будова і властивості (гідрофільність, здатність до клейстеризації, холодцеутворення), а отже, і напрямок використання. Окиснені крохмалі утворюють клейстер із зниженою в'язкістю і підвищеною прозорістю, їх використовують для стабілізації морозива, при виробництві мармеладу і лукуму. Набухаючі крохмалі здатні набухати і розчинятися у холодній воді. Вони дозволяють швидко готувати желеподібні десерти, креміві суміші, пудинги, соуси, використовуються при виробництві м'ясних напівфабрикатів. Крохмалефосфати утворюють клейстер підвищеної прозорості та в'язкості, вони стійкі до нагрівання, впливу харчових кислот, перемішуванню. Застосовуються

при виробництві майонезів, продуктів дитячого харчування і групи здоров'я, соусів, приправ. Клейстер крохмалофосфатів стійкі до дії низьких температур (заморожування), з їх використанням готують продукти, які зберігаються в замороженому вигляді (паштети, заморожені обіди, креми тощо). Особливо широке застосування модифіковані крохмалі знайшли у хлібопеченні і кондитерській промисловості, у тому числі, для отримання безбілкових продуктів харчування.

Пектинові речовини. Здатність пектину до утворення студнів залежить від його молекулярної маси (ступеня полімеризації), кількості метильних груп, що входять до складу його молекули (ступінь метоксилування), і вмісту вільних карбоксильних груп, заміщення їх металами. Залежно від ступеня етерифікації карбоксильних груп розрізняють високо- і низькоетерифіковані пектини, які отримують із вихідної сировини кислою або лужною екстракцією чи ферментативним розщепленням.

На даний час випускається кілька видом пектинів, які виділяються із різних джерел сировини і відрізняються за складом і функціональними властивостями: яблучний, цитрусовий, буряковий, пектин із кошиків соняшнику, а також комбіновані пектини зі змішаної сировини. Будова молекул пектинів, що виділяються із різних рослинних об'єктів, має свої відмінні особливості. До яких належать молекулярна маса, ступінь етерифікації, наявність ацильованих гідроксильних груп, характер розподілу карбоксильних груп за довжиною полімерного ланцюга.

Пектини різної природи значно відрізняються за студнеутворюючою здатністю. Пектини кращої якості отримують із скоринки цитрусових і яблук, більш низької – із бурякового жому – відходи цукрового виробництва.

Високоетерифіковані пектини утворюють гелі в присутності кислоти (рН 3,1-3,5) при вмісті сахарози більше 50%, низькоетерифіковані – у присутності іонів полівалентних металів, наприклад, кальцію, незалежно від вмісту сахарози, у широкому діапазоні рН (рН від 2,5 до 6,5). Як харчові волокна, пектини є фізіологічно цінними харчовими добавками.

Останнім часом пектини широко використовуються як профілактичні засоби для груп населення, які проживають у зонах ризику отруєння важкими металами та радіонуклідами внаслідок здатності низькоетерифікованих пектинів утворювати комплексні сполуки з іонами Цинку, Плюмбуму, Кобальту та радіонуклідами.

Високоетерифіковані пектини застосовують у кондитерській промисловості (мармелад, желе), у виробництві фруктових соків, морозива, рибних консервів, майонезу. Низькоетерифіковані – у овочевих желе, паштетах, холодці.

Важливим виглядом харчових добавок є полісахариди, що виділяються із морських водоростей. Серед них – агар-агар, агароїди (чорноморський агар), альгінова кислота і її солі та інші.

Агар-агар та інші агароїди. Агар-агар (агар Е 406) – суміш сульфованих полісахаридів (галактанів): агарози і агаропектинів. Основна фракція агарози – лінійний полісахарид, побудований із залишків β -D-галактопіранози і 3,6-ангідро-L-лактози, пов'язаних поперемінно $\beta(1,4)$ та $\alpha(1,3)$ зв'язками, що чергуються. Агаропектин – суміш полісахаридів складної будови, що містить глюкуронову кислоту та ефірно-пов'язану сульфатну кислоту.

Ці харчові добавки отримують із морських водоростей, які ростуть у Білому морі і Тихому океані, і відрізняються за властивостями у залежності від походження. Агар незначно розчиняється у холодній воді, але набухає у ній. У гарячій воді утворює колоїдний розчин, який при охолодженні дає хороший міцний холодець. Агар-агар застосовують у кондитерській промисловості при виробництві желейного мармеладу, пастили, зефіру, при отриманні м'ясних і рибних холодців, желе, пудингів, при приготуванні морозива, де він запобігає утворенню кристалів льоду. Він погано розчинний у холодній воді, у гарячій воді утворює колоїдний розчин.

Агароїд (чорноморський агар). Отримують із водоростей, зростаючих у Чорному морі. Погано розчинний у холодній воді, у гарячій воді утворює колоїдний розчин, при охолодженні якого формується холодець. Здатність до утворення холодцю у агароїду у два рази нижча, ніж у агару.

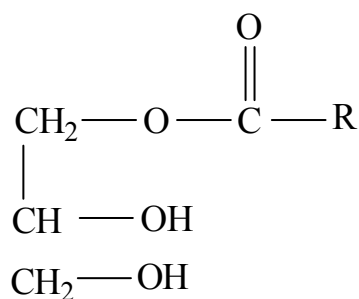
Альгінові кислоти і натрій альгінат – полісахариди, що отримують їх із бурих водоростей. У водоростях альгінова кислота присутня у вигляді солей кальцію, магнію, натрію. Отримується із сировини розведеними розчинами соди і лугів у вигляді добре розчинних натрієвих та калійних солей. Альгінові кислоти у воді не розчиняються, але зв'язують її, натрій альгінат – добре розчинний у воді. Використовують як загусник – речовину, яка здатна утворювати желе, і як емульгатор. Застосовують для виготовлення мармеладу, фруктових желе, цукерок, освітлення соків. Прості ефіри целюлози – метилові (метилцелюлоза) і етилові (етилцелюлоза) – застосовують при виготовленні морозива, у виробництві кондитерських виробів, соусів.

Як речовини, здатні утворювати желе, можуть бути використані й інші продукти, у тому числі фосфоліпіди, наприклад лецитини яєць.

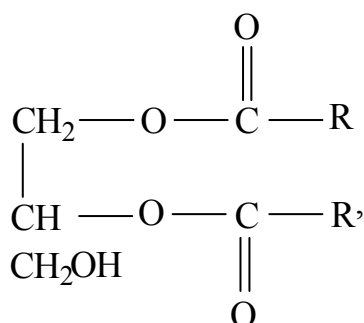
Харчові поверхнево-активні речовини (ПАР). До них відносяться групи речовин, які при розчиненні, концентруючись на поверхні розділу фаз і знижують поверхневий натяг. Це дозволяє використовувати їх в тому числі для одержання тонкодисперсних і стійких колоїдних систем. Зазвичай молекули ПАР мають дифільну будову, тобто містять гідрофільні і гідрофобні групи. Гідрофільні забезпечують розчинність у воді, гідрофобні – у неполярних розчинниках. Відповідним чином вони розташовуються на поверхні розділу фаз. Їх основні фізико-хімічні, а звідси і технологічні властивості залежать від хімічної будови і співвідношення молекулярних мас гідрофільних і гідрофобних груп, За типом гідрофільних груп розрізняють іонні та неіонні поверхнево-активні речовини. Перші дисоціюють на іони, одні з яких поверхнево-активні, інші (протиіони) – ні. В залежності від знаку заряду поверхнево-активного іона їх ділять на аніонні, катіонні та амфотерні. Молекули неіонних ПАР не дисоціюють у розчині. З допомогою ПАР можна регулювати властивості гетерогенних систем, якими є харчова сировина, напівпродукти і готові продукти. На даний час у багатьох країнах виробляють тисячі тонн харчових ПАР.

Основні харчові ПАР – це похідні одноатомних та багатоатомних спиртів, моно- і дисахаридів, структурними компонентами яких є залишки кислот різної будови. Зазвичай ПАР, що застосовуються у харчовій промисловості, не є індивідуальними речовинами, це багатокомпонентні суміші. Назва препарату відповідає лише основного продукту. Поверхнево-активні речовини знайшли застосування практично в усіх галузях промисловості.

Розглянемо основні групи харчових ПАР, що застосовуються у харчовій промисловості. Моно-, діацигліцерини (моно- та дигліцериди) та їх похідні отримують гідролізом ацилгліцеринів або етерифікацією гліцерину високомолекулярними жирними кислотами, до них може бути віднесений і емульгатор Т-1:

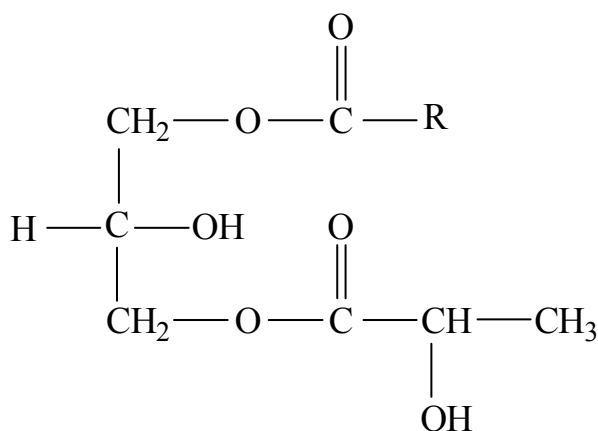


1-моноацигліцерин

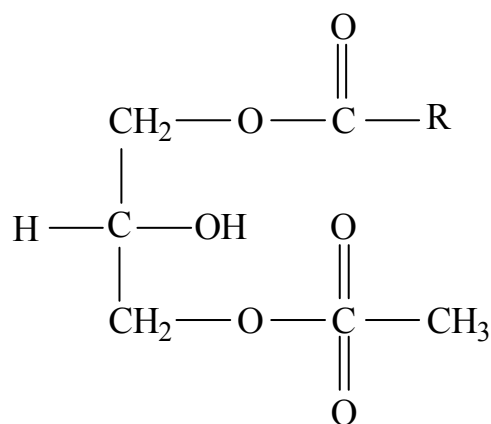


1,2-діацигліцерин

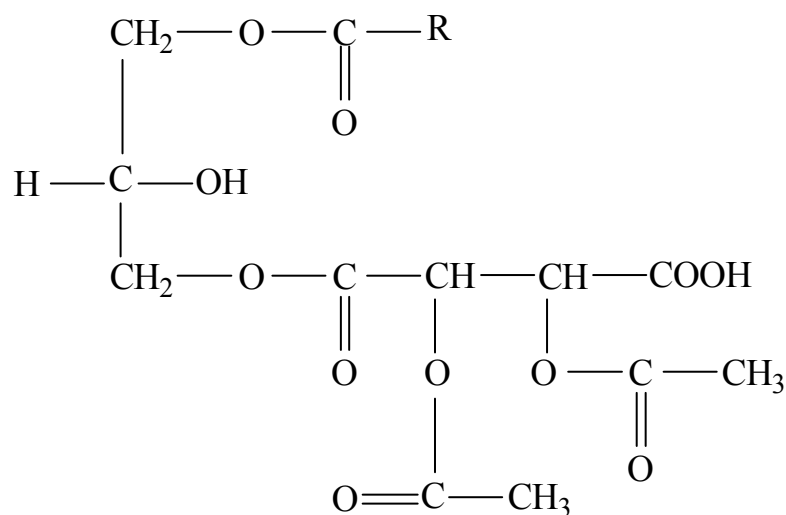
Застосування моно- і дигліцеринів у хлібпечінні покращує якість хліба, уповільнює процес черствіння, у макаронній промисловості дозволяє механізувати процес, підвищує якість, знижує клейкість макаронних виробів, у маргарині підвищує його пластичні властивості. Знайшли застосування і похідні моногліцеридів, етерифіковані карбоновими кислотами:



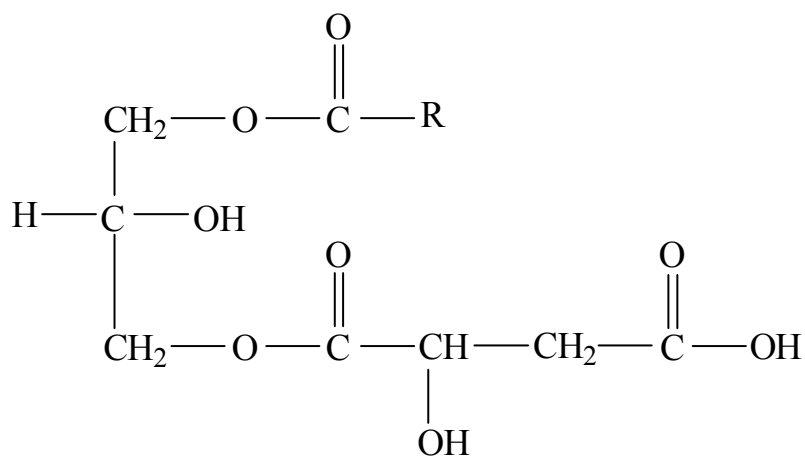
Ефір моногліцериду
і діацетилвинної кислоти



ефір моногліцериду
і оцтової кислоти



ефір моногліцериду і діацетилвинної кислоти



ефір моногліцериду і яблучної кислоти

Ці продукти використовують у хлібопеченні, кондитерській і цукровій промисловості, при виробництві морозива.

Фосфоліпіди як природного, так і синтетичного походження застосовують у хлібопекарській, кондитерській, маргариновій галузях промисловості. Природні фосфоліпіди (фосфатиди, фосфатидний концентрат) отримують із рослинних олій при їх гідратації. Вони містять до 60% фосфоліпідів, до складу яких входять до 25% фосфатидилхолінів (лецитини), до 25% фосфотидилетаноламінів, 16-17% дифосфатидилгліцеринів, а також 4-10% фосфатидових кислот, до 15% фосфатидилсеринів, токофероли, пігменти тощо, а також до 40% триацилгліцеринів. Їх застосовують у виробництві хліба, борошняних кондитерських виробів, шоколаду, напоїв, морозива. Синтетичні фосфоліпіди, що застосовуються у харчовій промисловості, за своїм складом відрізняються від природних відсутністю у їх молекулах

азотистих основ, вони являють собою складну суміш амонійних чи натрієвих солей різних фосфатидних кислот із тригліцеридами. Їх застосування у шоколадному виробництві дозволяє економити масло-какао, маргаринової отримувати низкожирні маргарини із вмістом жирової фази 40-50%. У виробництві маргарину застосовують емульгатор Т-Ф – суміш емульгаторів Т-1 і фосфатидних концентратів (3 : 1).

Ефіри полігліцерину – сполуки, що являють собою складні ефіри жирних кислот з поліглицерином. Крім того, ці продукти містять вільні поліглицерини, деяку кількість моно-, ди-, тригліцеридів. Застосовують у хлібопекарській, кондитерській та маргаринової галузях промисловості. Ефіри сахарози за складом являють собою складні ефіри природних кислот із сахарозою. Спектр застосування цих сполук дуже широкий – кондитерські вироби, хлібопечіння, виробництво морозива. Ефіри сорбіту – це сполуки, що являють собою складні ефіри шестиатомного спирту сорбіту та природних кислот.

6.3.3. Смакоароматичні харчові добавки

Ароматизатори – речовини, що підсилюють смак і аромат, які вносяться у харчові продукти з метою покращення їх органолептичних властивостей.

Ці добавки необхідні для нормальної реакції організму на харчовий продукт. У харчовій промисловості аромат є одним з найважливіших факторів, які визначають якість та популярність того чи іншого продукту на сучасному ринку. Однак, у широкому значенні під ароматом розуміють смак та запах.

Смак та запах харчового продукту визначається такими факторами:

- склад сировини, наявність у ній певних смакоароматичних компонентів;
- смакові речовини, які навмисно вносяться у харчові системи в ході технологічного процесу, в тому числі – у готові продукти;
- речовини, які впливають на смак та аромат готових виробів і утворюються в результаті різноманітних хімічних, біохімічних та мікробіоло-

гічних процесів, що відбуваються при виробництві харчових продуктів під впливом різних факторів;

– добавки, які навмисно вносяться у готові вироби (сіль, підсолоджувачі, спеції, соуси і т.ін.).

Їх умовно можна розділити на природні і речовини, що імітують природні. Перші виділяють із фруктів, овочів і рослин у вигляді соків, есенцій або концентратів, другі – отримують синтетичним і нетрадиційним шляхом. Способи отримання сполук останньої групи можуть бути дуже різноманітними. В нашій країні не дозволяється застосування синтетичних продуктів, які підсилюють аромат, притаманний натуральному продукту, і введення їх у продукти дитячого харчування. Хімічна природа ароматизаторів може бути різною. Вони можуть включати велику кількість компонентів. Серед них ефірні масла, альдегіди, спирти, складні ефіри і т. ін. Із смакових речовин, що підсилюють аромат і смак, широко використовують глютамінову кислоту та її солі, що застосовуються у виробництві концентратів перших та інших страв.

Підсолоджуючі речовини. У харчовій промисловості, кулінарії, при приготуванні їжі в домашніх умовах з давніх часів широко застосовуються речовини, що мають солодкий смак, – підсолоджуючі речовини. Їх класифікують за походженням (синтетичні та натуральні), калорійністю (висококалорійні, низькокалорійні та практично некалорійні), ступенем солодкості (з високим та низьким цукровим еквівалентом), а також за хімічним складом.

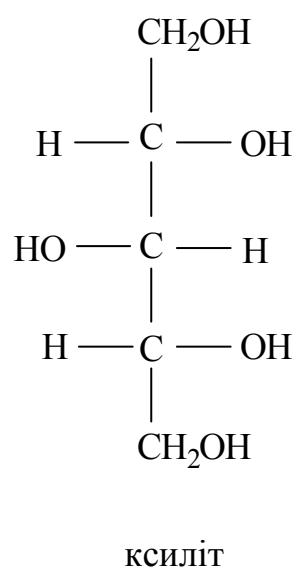
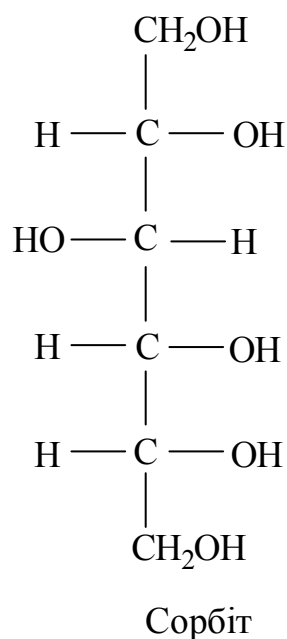
Першими із них були мед, соки і плоди рослин. Основна солодка речовина, що використовується – сахароза. Останнім часом з урахуванням вимог науки про харчування, розширення виробництва низькокалорійних продуктів, а також продуктів для людей, які страждають низкою захворювань, у першу чергу хворих на діабет, розширюється випуск замінників сахарози як природного походження (у нативному або модифікованому вигляді), так і синтетичних. У харчовій промисловості зростає використання підсолоджуючих продуктів із крохмалю: патоки, глюкозо-фруктозних сиропів, глюкози.

Мед – продукт переробки квіткового нектару медоносних квітів бджолами. Має приємний смак і запах. Склад, колір і аромат меду багато в чому визначаються рослинами, із яких було отримано нектар бджолами. Містить 75% моно- і дисахаридів, у тому числі близько 40% фруктози, 35% глюкози і 2% сахарози, крохмалю – 5,5%. Із вітамінів (мг на 100 г): С-2, В6 – 0,10, фолацин – 15,00 (мкг), у незначній кількості – В₂, В₁. Із мікроелементів (мкг %): Ферум – 800, Іод – 2,0, Флуор – 100, решта – в незначній кількості, органічних кислот – 1,2%. Мед використовують у харчуванні і як ліки, а також в кондитерській та хлібопекарській промисловості, при виготовленні напоїв.

Солодовий екстракт – водна витяжка із ячмінного солоду – являє собою суміш моно- і олігосахаридів (глюкоза, фруктоза, мальтоза, сахароза), білків, мінеральних речовин, ферментів. Вміст сахарози досягає 5 %. Використовують у кондитерській промисловості, при приготуванні продуктів для дитячого харчування.

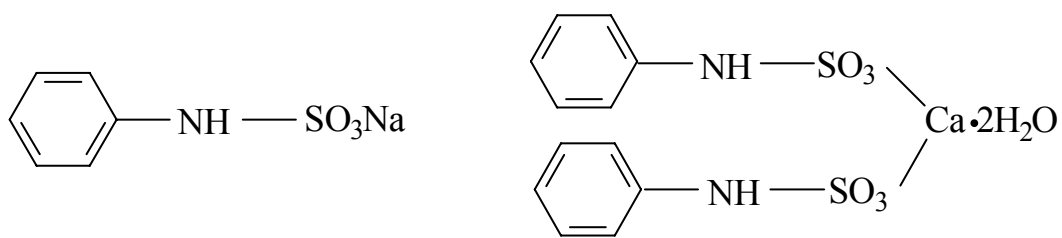
Лактоза – молочний цукор – використовують у дитячому харчуванні і для виробництва спеціальних кондитерських виробів.

Багатоатомні спирти (поліоли). Серед них широке застосування в якості підсолоджувачів знайшли сорбіт і ксиліт. Їх іноді називають цукровими спиртами:



Солодкість ксиліту і сорбіту у порівнянні із сахарозою становить 0,85 та 0,6 відповідно. Вони практично повністю засвоюються організмом. Ксиліт, крім того, надає позитивну дію на стан зубів, збільшує виділення шлункового соку і жовчі. Із синтетичних речовин застосування знаходить сахарин – біла кристалічна речовина з температурою плавлення 228-229°C, солодша за сахарозу у 300-550 разів і зазвичай вживається у вигляді натрієвої солі, солодкість якої у 500 разів більша за сахарозу. Тому його дозування може бути дуже низьким. Використовується при виробництві харчових продуктів для хворих на діабет, дієтичних сирів, напоїв, жувальної гумки.

Цикломати – сполуки з приємним солодким смаком, без присмаку гіркоти, стабільні при варінні, випічці, добре розчинні у воді. Солодкість у 30 разів вища, ніж у сахарози.

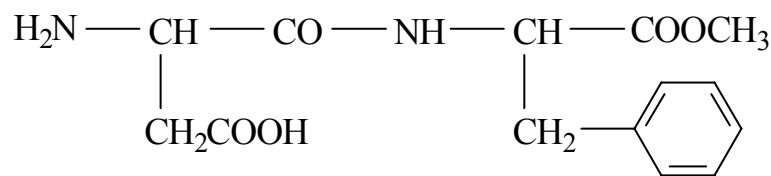


Натрій цикломат

кальцій цикломат

У ряді країн застосовуються у кондитерській промисловості при виробництві напоїв.

Аспартам. Останнім часом як підсолоджувач використовується також дипептид (сполука, молекула якої складається із двох залишків амінокислот) аспартам:



До складу аспартаму входять залишки аспарагінової і фенілаланінової амінокислот. В процесі отримання харчових продуктів, у присутності вологи і при підвищеній температурі, аспартам частково перетворюється у дикетопіперазин. Він пройшов ретельну перевірку на токсичність і канцерогенність і є нешкідливим. Аспартам не має побічної дії на травний тракт, серцево-судинну і центральну нервову систему. Він зручний для підсолод-

жування харчових продуктів (наприклад, кремів, морозива), які не потребують теплової обробки, а також продуктів лікувального призначення. У продуктах, які піддаються тепловій обробці, тривалому зберіганню, його застосування недоцільно внаслідок зниження ступеня солодкості готового продукту. Слід зазначити, що застосування багатьох замінників сахарози вимагає додаткового використання наповнювачів, консервуючих речовин.

Використання підсолоджувачів у конкретних технологіях регламентується директивою ЄС “Про підсолоджувачі та їх застосування у виробництві харчових продуктів”. Найбільш поширеними підсолоджувачами, які використовуються у харчових продуктах, є сахарин (E954), аспартам (E951), цикламати (E952). Головні галузі їх використання – виробництво жувальної гумки, соусів, консервування фруктів та овочів, молочна, хлібобулочна, кондитерська промисловості, виробництво столових підсолоджувачів для прямого продажу населенню.

Пряності. У виробництві вітчизняних харчових продуктів широко використовуються пряності. До пряностей відносяться рослинні продукти, які відрізняються своєрідними смаковими та ароматичними властивостями, зумовленими наявністю в них ефірних масел, глікозидів, алкалоїдів та деяких інших сполук. Пряності додавали до харчових продуктів з давніх часів для надання їм аромату, гостроти смаку, інколи для виправлення запаху їжі. Використання пряностей не лише покращує органолептичні властивості їжі, але й покращує її засвоюваність організмом.

Як пряності зазвичай використовують висушені, а інколи перемелені частини рослин, в яких найбільше накопичуються речовини, які мають сильний смак та запах. Відомо понад 150 видів пряностей, але широко використовуються близько 40, серед них: перець чорний, перець білий, імбир, гвоздика, мускатний горіх, кориця, ваніль, кмин, кріп, коріандр, петрушка, м'ята, лавровий лист та ін.

У різних галузях харчової промисловості широко використовуються речовини, які підсилюють та модифікують смак та аромат. До них відносяться глютамінова кислота та її солі (E620-E625), гуанілова кислота та солі (E626- E629), гліцин (E640), лейцин (E641) тощо.

Найбільш поширеною речовиною, яка використовується для надання солоності, є натрій хлорид, який одночасно є і консервантом.

6.4. Харчові консерванти та антиокисники

Хімічні консерванти – це речовини, додаванням яких вдається уповільнити або запобігти розвитку мікрофлори: бактерій, мікроскопічних грибів, дріжджів та інших мікроорганізмів, а отже, продовжити зберігання продуктів харчування. Ці сполуки повинні бути нешкідливі, не змінювати органолептичні властивості харчових продуктів. Їх ефективність, способи застосування залежать від їх хімічної природи, концентрації, іноді від рН середовища. У ряді випадків доцільно використовувати суміш кількох консервантів, однак при цьому необхідно враховувати особливості харчових продуктів, які вони вносяться. Немає універсальних консервантів, які були б придатні для усіх харчових продуктів. Одним з найбільш поширених консервантів є діоксид сірки SO_2 (сірчистий газ). Застосовуються і солі сульфїтної кислоти (Na_2SO_3 , NaHSO_3). Сірчистий газ добре розчиняється у воді (сірчиста кислота) і має антимікробну дію. Сірчистий газ, солі сульфїтної кислоти (сульфїти) пригнічують зростання цвілевих грибів, дріжджів, деяких бактерій. Використовують для збереження соків, плодовоовочевих пюре, повидла і т. ін. Сульфїти – інгібітори дегідрогеназ, застосовують як відбілюючий матеріал, що оберігає очищену картоплю, розрізані плоди і овочі від потемніння. Сірчистий газ руйнує вітаміни В1 (тіамін) і біотин, тому застосування його для стабілізації продуктів небажане.

Сорбінова кислота $\text{CH}_3\text{--CH=CH--CH=CH--COOH}$ та її калійні, натрієві та кальцієві солі застосовуються як консерванти при виробництві фруктових, овочевих, рибних та м'ясних виробів, маргарину. Сорбінова кислота використовується для обробки матеріалу, в який упаковують харчові продукти.

Бензойна кислота $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ і її солі (бензоати). Вона входить до складу багатьох плодів і є поширеним природним консервантом. Бензойна кислота застосовується при виготовленні плодово-ягідних виробів, натрій бензоат – у виробництві рибних консервів, маргарину, напоїв.

Формальдегід HCHO і уротропін $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ застосовуються для консервування обмеженої кількості продуктів.

Органічні кислоти (мурашина, пропіонова лимонна) та їх солі. Солі мурашиної кислоти застосовуються які смакові речовини, (солезамінники). Пропіонова кислота використовується у кондитерській та хлібобулочній промисловості. Лимонна кислота – у маргаринової продукції.

Харчові антиокисники. Речовини, які уповільнюють окиснення ненасичених жирних кислот, що входять до складу ліпідів, називаються антиокисниками. Зазвичай їх використовують у жирових і жировмісних продуктах. З природних антиокисників необхідно відзначити токофероли (E306, E307) – вони присутні у ряді рослинних олій. Із синтетичних – бутилоксианізол (БОА; E320) і бутилокситолуол (“Іонол”, E321) – застосовуються у жирових продуктах, у першу чергу – в кулінарних і кондитерських жирах.

6.5. Ароматизатори

До них відносяться речовини, що підсилюють смак і аромат, речовини, внесені в харчові продукти з метою поліпшення їх органолептичних властивостей. Їх умовно можна розділити на природні сполуки – речовини, які за своєю хімічною природою ідентичні природним, і речовини, що імітують природні. Перші виділяють із фруктів, овочів і рослин у вигляді соків, есенцій, концентратів, інші – отримують синтетичним нетрадиційним шляхом. Способи отримання останньої групи можуть бути дуже різноманітними. В нашій країні не дозволяється застосування синтетичних продуктів, що підсилюють аромат, властивий даному натуральному продукту, і введення їх у продукти дитячого харчування. Хімічна природа ароматизаторів може бути дуже різною. Вони можуть включати велику кількість компонентів. Серед них ефірні масла, альдегіди, спирти, складні ефіри і т.ін. Із смакових речовин, що підсилюють аромат і смак, слід зазначити L-глутамінову кислоту (E620) та її солі, що використовуються при виробництві концентратів перших і других страв.

6.6. Природні токсичні речовини і забруднювачі

Усі харчові речовини корисні здоровому організму в оптимальних кількостях і оптимальному співвідношенні. Але в їжі завжди є мікрокомпоненти, які у відносно підвищених кількостях викликають несприятливий ефект. До них належать, по-перше, так звані природні токсиканти – натуральні, властиві даному виду продукту, біологічно активні речовини, які можуть за певних умов споживання викликати токсичний ефект, по-друге, забруднювачі – токсичні речовини, що надходять у їжу із навколишнього середовища внаслідок порушення технології вирощування (годування – для тварин), виробництва або зберігання продуктів або інших причин.

6.6.1. Природні токсиканти

До природних токсикантів належать біогенні аміни, деякі алкалоїди, ціаногенні глікозиди, кумарини і ряд інших сполук.

Біогенні аміни. Найбільш вивчені із природних токсикантів так звані біогенні аміни, такі як серотонін, тирамін, гістамін, які мають судинозвужувальний ефект, і ряд інших. Серотонін міститься головним чином у овочах і фруктах, наприклад, у помідорах – 12, у сливі – до 10, у шоколаді – до 27 мг/кг серотину. При значному споживанні помідорів у організм може надходити серотонін у кількостях, порівнянних із фармакологічними дозами.

Тирамін найчастіше виявляється у ферментованих продуктах (у сирі вміст тираміну може досягати 1100 мг/кг), а також у деяких рибних продуктах, наприклад, у маринованому оселедці – до 3000 мг/кг. Гістамін викликає порушення судинних реакцій, наприклад, головний біль. Його вміст у більшості випадків корелює із тираміном. В сировині гістаміну від 10 до 2500 мг/кг, у рибних консервах, в'яленій рибі – до 2000 мг/кг. Тому гіпертонікам зловживати сиром і рибними делікатесами не слід. З інших біогенних амінів, що мають більш слабку дію на організм, слід відзначити путресцин (до 680 мг/кг у деяких сирах і до 120 мг/кг – у консервованому оселедці), кадаверин (до 370 мг/кг у деяких сирах і до 100 мг/кг – у консервованому тунці). При цьому вміст путресцину і кадаверину (а також спермидину) збільшується при зберіганні рибної продукції. Вміст гістаміну у

кількостях понад 100 мг/кг може являти небезпеку для здоров'я, тому реалізувати продукти із такою кількістю гістаміну заборонено.

Алкалоїди. Найбільш вивчені так звані пуринові алкалоїди, до яких відноситься кофеїн і часто супроводжують його теобромін і теофілін. Вони збуджують нервову систему, що не завжди бажано. Безпосередньо у зернах кави і листках чаю вміст кофеїну в залежності від виду сировини може досягати від 1 до 4%. У напоях – каві та чаї, як правило, менше. Залежно від способу приготування і дози напою кави – до 50 мг/л кофеїну, у напої чаю – до 350 мг/л. В напоях типу пепсі-кола, кока-кола – до 100 мг/л і більше. Тому міцну каву і чай багатьом людям через порушення нервової системи пити на ніч не рекомендується, так само як у будь-який час дня дітям напої типу пепсі-кола і кока-кола.

Однак слід зазначити, що пуринові алкалоїди при систематичному споживанні їх на рівні 1000 мг на день викликають у людини постійну потребу у них, що нагадує тягу алкоголіків до спиртного. Ця ненормальна потреба за аналогією із алкоголізмом отримала назву “кофеїнізм”. Безумовно, таке постійне споживання кофеїноподібних алкалоїдів небажано навіть для здорових людей.

Ще два алкалоїди, що містяться у картоплі, – соланін, а також хаконін, відносять до групи стероїдних алкалоїдів. При проростанні і позелененні картоплі на шкірці і на позеленівшій частини бульби кількість соланіну (і хаконіну) збільшується більш ніж у 10 разів і може досягати 500 мг/кг. Соланін – речовина середньої токсичності та при попадінні в організм у підвищених кількостях може викликати типові ознаки отруєння (нудоту, пронос). Слід зазначити, що ці алкалоїди мають сильний гіркий смак і при очищенні картоплі від шкірки зазвичай видаляються.

Ціаногенні глікозиди. У ряді інших фруктів зустрічаються глікозиди (тобто речовини, що містять у своєму складі цукор) деяких ціаногенних альдегідів чи кетонів, які при ферментативному або кислотному гідролізі виділяють синильну кислоту, що викликає ураження нервової системи. Найбільш відомий з ціаногенних глікозидів – амігдалін, який виявляється головним чином у кісточках (наприклад, мигдалю від 5 до 8%, персиків,

слив та абрикос – від 4 до 6 %). Тому захоплюватися гіркими абрикосовими і мигдальними ядрами не варто. До речі, на державних кондитерських фабриках застосування гіркої мигдалю обмежується. У наливку та настоянки, отриманих із використанням фруктів з кісточками (вишня, персик, абрикос та ін.), амігдалин гідролізується ферментами з утворенням синильної кислоти, що небезпечно для здоров'я. Тому зберігати такі наливки і настоянки тривалий час (понад 1 року) не рекомендується. У той же час компоти та варення із кісточкових безпечні, так як при нагріванні ферменти, які гідролізують амігдалин, інактивуються та утворення синильної кислоти не відбувається.

У деяких рослинах зустрічаються й інші природні токсичні речовини, наприклад, кумарини (в деяких листових овочах). Щоб убезпечити себе від небажаної дії натуральних токсикантів, слід можливо різноманітніше харчуватися, дотримуватися принципу раціонального харчування. У цьому випадку виключено, щоб у щоденному раціоні не відбулося накопичення небажаних токсикантів у шкідливих для здоров'я концентраціях.

6.6.2. Забруднювачі

У результаті впливу забрудненого зовнішнього середовища при порушенні норм вирощування рослин або годування тварин, а також при порушенні технологічної обробки або умов зберігання у харчових продуктах можуть з'явитися токсичні речовини. Їх називають забруднювачами. До них, в основному, відносяться токсичні елементи, мікотоксини, пестициди, антибіотики та ряд інших сполук.

Токсичні елементи. Зазвичай розглядають вісім елементів: ртуть, свинець, кадмій, миш'як, цинк, мідь, олово і залізо. Найбільшу небезпеку із них мають перші три.

Ртуть – дуже токсична отрута кумулятивної дії (тобто здатна накопичуватися), тому у молодих тварин її менше, ніж у старих, а у хижаків більше, ніж у тих об'єктах, якими вони харчуються. Особливо цим відрізняються хижі риби, такі, як тунець, де ртуть може накопичуватися до 0,7 мг/кг і більше. Тому хижою рибою краще не зловживати у харчуванні. З

інших тваринних продуктів “накопичувачем” ртуті є нирки тварин – до 0,2 мг/кг. Це, звичайно, відноситься до сирого продукту. Оскільки нирки при кулінарній обробці попередньо багаторазово вимочують 2-3 години зі зміною води і двічі виварюють, тоді в продукті вміст ртуті зменшується майже у 2 рази. Із рослинних продуктів ртуть найбільше міститься у горіхах, у какао-бобах і шоколаді (до 0,1 мг/кг). У більшості інших продуктів вміст ртуті не перевищує 0,01-0,03 мг/кг.

Свинець – отрута високої токсичності. У більшості рослинних і тваринних продуктів природний його вміст не перевищує 0,5-1,0 мг/кг. Більше його виявляють у хижих рибах (у тунці до 2,0 мг/кг), молюсках і ракоподібних (до 10 мг/кг). В основному підвищення вмісту свинцю спостерігається у консервах, поміщених у так звану збірну бляшану тару, яка спаюється збоку і до кришки припоєм, що містить певну кількість свинцю. На жаль, пайка іноді буває неякісна (утворюються бризки припою), і хоча консервні бляшки ще додатково покриваються спеціальним лаком, це не завжди допомагає. Є випадки, правда досить рідкісні (до 2%), коли в консервах з цієї тари накопичується, особливо при тривалому зберіганні, до 3 мг/кг свинцю і навіть вище, що, звичайно, представляє небезпеку для здоров'я, тому продукти в цій збірній жерстяній тарі не зберігати понад 5 років

Велике забруднення свинцем походить від згоряння етилованого бензину. Тетраетилсвинець, що додається у бензин для підвищення октанового числа в кількості близько 0,1 %, більш токсичний, ніж сам свинець і його неограничені сполуки. Він легко потрапляє у ґрунт і забруднює харчові продукти. Тому продукти, вирощені уздовж автострад, містять підвищену кількість свинцю. В залежності від інтенсивності руху ця небезпечна зона може сягати від 10 до 500 м. Тому вздовж доріг слід висаджувати лише лісові породи чи вирощувати кормові культури. Однак цим іноді нехтують і часто вздовж доріг висаджують плодові дерева, які дають забруднені свинцем плоди. Гарний приклад щодо боротьби із забрудненням продуктів надала Данія. Там вже кілька років тому заборонили використання в автомобілях етилованого бензину і природний рівень свинцю в основних овочах (картопля, морква, цибуля) скоротився у 1-3 рази. Будемо

сподіватися, що у нас з'явиться таке ж негативне ставлення до використання етилованого бензину.

Таблиця 6.2. Гранично допустимий вміст токсичних елементів у продуктах харчування

Продукти	Свинець	Кадмій	Миш'як	Ртуть	Олово	Цинк
Більшість зернобобових	0,5	0,1	0,2-0,3	0,02-0,03	10	50
Цукор і цукерки	1	0,1	0,5	0,5	10-20	50
Молочні продукти	0,1	0,03	0,05	0,05	1	5
Олія рослинна	0,1	0,05	0,1	0,1	1	5-10
Овочі, ягоди і фрукти	0,4	0,03	0,2	0,2	5	10
Овочі, ягоди, фрукти у збірній жерстяній тарі	1	0,05	0,2	0,2	5	10
М'ясо та птиця свіжі	1	0,05	0,1	0,1	5	20
М'ясо і птиця у збірній жерстяній тарі	1	0,1	0,1	0,1	5	70
Риба свіжа	1	0,2	0,1	0,05	10	40
Риба консервована	1	0,2	1-5	0,03	10	40
Напої	0,1-0,5	0,01-0,03	0,1-0,2	0,005	1-5	5-10

Кадмій – це дуже токсичний елемент. Кадмію природнього у харчових продуктах міститься приблизно у 5-10 разів менше, ніж свинцю. Підвищені концентрації його спостерігаються у какао-порошку (до 0,5 мг/кг), нирках тварин (до 1,0 мг/кг) та риби (до 0,2 мг/кг). Вміст кадмію збільшується у консервах зі збірної жерстяної тари, так як кадмій, як і свинець, переходить у продукт з неякісно виконаного припою, в якому також

міститься певна кількість кадмію. Токсичні елементи можуть потрапити у небезпечних для людини концентраціях у харчові продукти із сировини та в процесі технологічної обробки тільки при порушенні відповідних технологічних інструкцій. Так, у рослинній сировині вони можуть з'явитися при порушенні правил застосування отрутохімікатів, що містять у своєму складі такі токсичні елементи, як ртуть, свинець, миш'як і ін. Підвищена кількість токсичних елементів може з'явитися у зоні поблизу промислових підприємств, що забруднюють повітря і воду недостатньо очищеними відходами виробництва. При технології виробництва харчових продуктів токсичні елементи можуть з'явитися при контакті із обладнанням, виконаним із металу, недозволеного органами охорони здоров'я (для харчових цілей допускається вельми обмежена кількість сталей та інших сплавів). Але головним чином такі токсичні елементи, як свинець і кадмій, можуть з'явитися на консервному виробництві, при використанні жерстяної тари із застосуванням паяння швів у разі порушення технології пайки, Використанні випадкових припоїв або застосування неякісних внутрішніх покриттів. Органами санітарного нагляду встановлені жорсткі норми вмісту токсичних елементів у харчовій сировині та готових продуктах харчування. Для більшості продуктів є гранично допустимі концентрації токсичних елементів в основних продуктах харчування.

Для виробництва дитячих і дієтичних продуктів з ряду токсичних елементів пред'являються більш жорсткі вимоги. Так, для зернобобових продуктів вміст свинцю допускається лише 0,3 мг/кг, а кадмію – 0,03 мг/кг. Олово контролюється тільки у консервах зі збірної жерстяної тари, де допускається до 200 мг/кг (у дитячих – до 100 мг/кг). Залізо нормується лише у напоях типу пива і вина (15 мг/кг), жирах і маслах (5 мг/кг). У концентрованих рослинних і тваринних продуктах (сушених, сублімованих та ін.) гранично допустима концентрація токсичних елементів визначається, як правило, при перерахунку на вихід продуктів. Завдання фахівців харчової промисловості – постійно контролювати харчову сировину і готову продукцію для того, щоб забезпечити випуск нешкідливих для здоров'я продуктів харчування.

У домашньому харчуванні теж необхідний контроль, який полягає у попередженні забруднення консервованих продуктів свинцем. Рекомендується розкриті консерви збірних жерстяних бляшок, навіть для короткочасного зберігання, помістити у скляний чи фарфоровий посуд, так як під впливом кисню повітря корозія бляшок різко збільшується і буквально через декілька днів вміст свинцю (олова) у продукті багаторазово зростає. Не можна також зберігати мариновані, солоні і кислі овочі та фрукти у оцинкованому посуді, щоб уникнути забруднення продуктів цинком і кадмієм (цинковий шар також містить деяку кількість кадмію). Не можна зберігати і готувати їжу у декоративній фарфоровій чи керамічній посудині (тобто у посуді, призначеному для прикраси, але не для їжі), так як дуже часто глазур, особливо жовтого та червоного кольору, містить солі свинцю та кадмію, які легко переходять у їжу, якщо такий посуд використовувати для їжі. Для приготування і зберігання продуктів слід використовувати лише посуд, спеціально призначений для харчових цілей. Те ж саме відноситься до гарних пластмасовим пакетів і пластмасового посуду. У них можна зберігати нетривалий час лише сухі продукти.

6.6.3. Мікотоксини

Це токсини цвілевих грибів (міко-гриби), мають токсичний ефект у надзвичайно малих кількостях. Тому їх виявили у харчових продуктах лише за останнє десятиліття з появою високочутливих методів аналізу. В основному уражуються грибами, утворюють мікотоксини, рослинні продукти. Оптимальні умови для розвитку цих пліснявих грибків – злегка підвищена температура (близько 30°C) із підвищеною вологістю (близько 85%). Тому якщо продукти при зберіганні при цих умовах укриваються цвіллю, їх краще не зчищати, а цілком викинути, так як хоча цвіль і розвивається на поверхні, але вироблені нею токсини можуть проникати в глибину продукту без зміни його вигляду і консистенції досить глибоко.

Один з найбільш небезпечних мікотоксинів – **афлатоксин**, що має канцерогенну дію (у природі афлатоксинів зустрічається багато, але найбільш вивчені п'ять основних представників, які позначають буквами латинського алфавіту B₁, B₂, C₁ і C₂, M₁). Мікотоксини найчастіше зустрі-

чаються в арахісі (земляний горіх), кукурудзі. У свіжій кукурудзі внаслідок природної високої вологи створюються сприятливі умови для розвитку цвілевого грибка, який продукує афлатоксини. Другий мікотоксин, який часто зустрічається – *патулін*, також має канцерогенну дію. Він найчастіше зустрічається у запліснявілих яблуках, обліписі, а також інших фруктах, плодах і овочах, ягодах чи соках, джемах, які виготовлені із заплісневівших плодів та ягід. В гнилих кукурудзяних качанах зустрічається ще один небезпечний мікотоксин – *зеараленон*. Є й інші мікотоксини (Т-2 та ін), які зустрічаються у рослинних продуктах більш рідко.

У тваринних продуктах мікотоксини виявляються, лише у молоці у випадках, коли корови з'їдають плісняві корми. В домашніх умовах мікотоксини можуть з'явитися в заплісневевших плодово-ягідних компотах і джемах, неправильно приготованих (з порушенням санітарних вимог) або які неправильно зберігалися. Якщо поверхня продукту у банці повністю покрита цвіллю, тоді такий продукт необхідно обов'язково викинути, бо така помилкова “економія” може призвести до серйозного порушення здоров'я. Токсини цвілі дифундують углиб досить інтенсивно, а оскільки вони безбарвні, тому на око встановити ступінь проникнення неможливо. З цих же міркувань не слід їсти навіть частково пошкоджені гнилі яблука і ягоди.

6.6.4. Пестициди

Пестициди (отрутохімікати) – це хімічні речовини, застосовувані в сільському господарстві для захисту культурних рослин від бур'янів, шкідників і хвороб, а також для інших цілей. Їх хімічний склад досить різноманітний і включає не менше 12 класів хімічних сполук. Найбільш поширені наступні чотири: хлорорганічні (типу гексахлорциклогексану); фосфорорганічні (типу метафосу, хлорофосу); карбомати (типу севіну); меркурійорганічні (типу гранозана). З понад тисячі відомих препаратів пестицидів, які застосовуються у світі, у нашій країні дозволено трохи більше сотні, але цей список постійно розширюється. Використання пестицидів досить ефективно. Вони нищать безліч шкідників сільськогосподарських культур. Без них, за розрахунками вчених, ми втратили б третину врожаю. У тих залишкових кількостях, які при правильному застосуванні пести-

цидів можуть міститися у продуктах, вони не перевищують допустимі і абсолютно нешкідливі. Біда, однак, у тому, що неправильне їх використання (порушення строків обприскування і дози застосування) може призвести до підвищеного вмісту у продукті і до порушення здоров'я. Крім того, враховуючи швидке звикання шкідників до одних і тих пестицидів, їх навіть для обробки однієї і тієї ж культури доводиться часто змінювати. Щоб убезпечити від перевищення вмісту пестицидів у харчових продуктах, їх потрібно ретельно мити, так як значна частина їх накопичується на поверхні. У тих випадках, коли є можливість зняти шкірку (яблука, груші), потрібно це зробити, особливо якщо вони виражені не на власному городі, екологічно чистому, а куплені в магазині або на базарі.

6.6.5. Нітрати

Нітрати – солі нітратної кислоти – є нормальним продуктом обміну азотистих речовин будь-якого живого організму, рослинного і тваринного. Тому “безнітратних” продуктів у природі не буває. Навіть в організмі людини за добу утворюється і використовується у обмінних процесах 100 мг і більше нітратів. Але чому ж говорять про небезпеку нітратів? При споживанні нітратів у підвищених кількостях вони травному тракту частково відновлюються до нітритів (більш токсичних сполук), а останні при надходженні у кров можуть викликати захворювання. Крім того, із нітритів у присутності амінів можуть утворюватися N-нітрозаміни, що мають канцерогенну активність (тобто сприяють утворенню раку). При прийомі високих доз нітратів із питною водою чи продуктами через 4-6 годин з'являється нудота, задишка, посиніння шкірних покривів і слизових, пронос. Супроводжується все це загальною слабкістю, запамороченням, болями у потиличній області, серцебиттям. Перша допомога – рясне промивання шлунку, споживання активованого вугілля, сольових проносних, свіже повітря.

Допустима добова доза нітратів для дорослої людини становить 325 мг на добу. Як відомо, у питній воді допускається до 45 мг/л нітратів. Рекомендоване споживання продуктів харчування, де використовується пит-

на вода (чай, перші та треті страви) приблизно 1,0-1,5, максимум – 2,0 л на день. Таким чином, із водою дорослий може спожити близько 68 мг нітратів. Отже, на харчові продукти залишається 257 мг нітратів. Дослідження показали, що токсична дія нітратів у харчових продуктах проявляється більш слабо, ніж у питній воді, (приблизно у 1,25 рази), тобто фактично безпечно із харчовими продуктами споживати 320 мг нітратів на добу.

Основними джерелами харчових нітратів є рослинні продукти. Оскільки нітрати, є нормальним продуктом обміну Нітрогену у рослинах, тому вони максимально накопичуються в період найбільшої активності їх дозрівання. Найчастіше вона виявляється перед початком збирання врожаю. Тому недоспілі овочі (кабачки, баклажани і картопля, а також овочі раннього дозрівання), можуть містити нітратів більше, ніж при досягненні нормальної збиральної зрілості. Крім того, вміст нітратів у овочах може різко збільшитися при неправильному застосуванні азотистих добрив (мінеральних, а також органічних).

У різних рослин є і свої індивідуальні особливості накопичення нітратів. Є так звані “накопичувачі” нітратів. До них належать зелені листові овочі: салат, ревінь, петрушка, шпинат, щавель, які можуть накопичувати до 200-300 мг нітратів. Буряк може накопичувати до 140 мг нітратів (це гранично допустима концентрація), а деякі сорти і більше, інші овочі – значно менше (мг): картопля – до 25, морква рання – до 40, пізня – до 25, кабачки – до 40, огірки – до 15, капуста білоголова рання – до 90, пізня – до 50. Фрукти, ягоди та баштанні містять нітратів дуже мало (менше 10 мг). У рослинах нітрати розподілені нерівномірно. У капусті, наприклад, нітрати більше всього накопичуються у качанах, у огірках і редисці – в поверхневих шарах, у моркви – навпаки. В середньому при митті і зачистці овочів і картоплі втрачається 10-15% нітратів. Ще більше – при тепловій кулінарній обробці, особливо при варінні, коли втрачається від 40 (буряк) до 70 % (капуста, морква) чи 80 % (картопля) нітратів. Оскільки нітрати досить хімічно активні сполуки, тому при зберіганні овочів їх вміст зменшується: за декілька місяців – на 30-50 %.

Необхідно розглянути основні джерела нітратів. Почнемо із зелених овочів (салат, петрушка, кріп і т. ін.). Їх споживання практично рідко перевищує 100 г на день, а частіше всього – близько 50 г, тобто із однією порцією можна отримати менше третини від безпечної добової дози. З урахуванням біоеквівалента безпечна доза нітратів у харчових продуктах становить близько 320 мг. Що стосується буряка, то відомо, що його споживають лише у відварному вигляді. Необхідно знати, що при варінні буряка втрачається 40%, а при зачистці – 10%. Картопля і капуста у вареному вигляді споживаються порціями по 300 г. З урахуванням втрат при зачистці і кулінарній обробці із однією порцією цих продуктів можливо вжити близько 60 мг нітратів. Аналогічні розрахунки були зроблені й з іншими овочами при кулінарних обробках, які показали, що при звичайному раціональному споживанні овочів у свіжому чи кулінарнообробленому вигляді ми з харчовими продуктами практично ніколи не зможемо перевищити безпечну добову дозу нітратів. Тим більше, що у відповідності із рекомендаціями з раціонального харчування не слід постійно харчуватися одними і тими ж продуктами, наприклад, картоплею чи капустою. Дійсно, якщо звернутися до рекомендованого раціонального середнього добового набору продуктів, картоплі слід споживати 265 г (у розрахунку на покупний продукт), овочів і баштанних – 450 г (включаючи 100 г капусти). Такий раціон може дати нам максимум – 200 мг нітратів. Практично ж, як показали розрахунки, середньодобове надходження нітратів з основними коренеплодами, овочами, баштанними та фруктами із урахуванням даних фактичного харчування і фактичного вмісту нітратів у їжі не перевищує 100 мг. При цьому приблизно третина нітратів потрапляє з буряком, трохи менше – із капустою і картоплею, на інші овочі і фрукти – менше 10 %. Якщо ж порушувати принципи раціонального харчування, наприклад, харчуватися одними овочами, та ще й сирими, як це рекомендують деякі прихильники вегетаріанства чи сироїдіння (до 1,5 кг сирих овочів на день), тоді справді можна перевершити безпечну дозу нітратів майже у 2 (понад 650 мг на добу) рази.

Для додаткової безпеки не зайве згадати другий принцип раціонального харчування, що передбачає необхідність різноманітності їжі. Тому не рекомендується постійно споживати, так ще й три рази на день, на закуску один і той самий овоч, наприклад, один буряк. Обмежувати використання овочів і фруктів у харчуванні через небезпеку нітратного отруєння не варто, це позбавить нас так необхідних нам вітамінів. Тим більше, що завдяки тривозі громадськості зараз встановлюється суворий контроль у місцях виробництва овочів і на торгових базах. Отже, не потрібно боятись нітратів, але й не потрібно зловживати надмірним споживанням сирих овочів.

Нітрозаміни. Вище зазначалося про те, що нітрати при деяких умовах можуть відновлюватися до нітритів, а останні, при взаємодії із вторинними чи третинними амінами (а їх досить багато у природі), утворюють канцерогенні N-нітрозаміни. В залежності від природи радикалу можуть утворюватись вельми різноманітні нітрозаміни (з них канцерогенну дію має понад 100 сполук). Найбільш часто зустрічаються два представники цього класу сполук – *нітрозодиметиламін* і *нітрозодиетиламін*. Більше всього нітрозамінів знайдено у копчених м'ясних виробках, ковбасах, які бути отримані із додаванням нітритів – до 80 мкг/кг, у солоній і копченій рибі – до 110 мкг/кг. У свіжих м'ясі та рибі нітрузоаміни не виявляються чи знаходяться у кількостях менш ніж 1 мкг/кг. Із молочних продуктів нітрозаміни знайдені головним чином у сирах, що пройшли фазу ферментації (до 10 мкг/кг). Із рослинних продуктів нітрозаміни знаходять, головним чином, в солоно-маринованих виробках, а з напоїв – у пиві, де сумарний вміст їх може сягати до 12 мкг/л.

Поліциклічні ароматичні вуглеводні. Так само як і N-нітрозаміни, вони є сильними канцерогенами. Зараз налічується понад 200 представників цієї групи сполук, які утворюються, як правило, при термічному впливі на харчові продукти. Найбільш відомим представником поліциклічних вуглеводнів є *бензапірен* (правильне хімічна назва – 3,4-бенз(а)пірен). Він утворюється при смаженні зерен кави – до 0,5 мкг/кг, у підгорілій шкуринці хліба – до 0,5 мкг/кг. При сушінні зерна димом із бурого

вугілля чи мазутом – до 4, копченій домашнім способом риби чи м'яси – до 1,5, але зустрічаються і більш високі концентрації – 50 мкг/кг. Тому слід зазначити, що такі делікатеси, як копчене м'ясо чи риба та інші копченості, повинні завжди з точки зору безпеки залишатися лише делікатесами – їх споживати потрібно потроху і не дуже часто, наприклад – по святах.

Антибіотики. Більшість розглянутих вище забруднювачів накопичується у рослинних продуктах. Це й зрозуміло – рослини першими встають на шляху забруднювачів навколишнього середовища: ґрунту, води, повітря. Тваринні продукти у більшості випадків (але не завжди, наприклад, із ртуттю – навпаки) застерігають у певній мірі нас від забруднювачів, виділяючи велику їх частину із фекаліями. Але є такі забруднювачі, які притаманні лише тваринним продуктам. Це – антибіотики. Вони в останні роки широко використовуються у ветеринарній практиці для лікування тварин (наприклад, маститів – у корів). Існують дуже суворі інструкції, що визначають тип антибіотика (не рекомендується використовувати антибіотики, призначені для лікування людей) і час від прийому антибіотиків до забою або до одержання молока – для харчування людей.

Допускається наявність їх у слідових кількостях на межі чутливості методів виявлення. На жаль, ці строгі інструкції часто порушуються і тому, наприклад, до 30 % молока у торговельній мережі може містити неприпустимий вміст антибіотиків. Із такого молока дуже важко отримати сир – воно не згортається. А у деяких особливо чутливих людей, найчастіше дітей спостерігається алергія із вельми небажаними ознаками (висипом на шкірі і т. ін.).

6.7. Радіоактивне забруднення

Радіонукліди природного походження постійно присутні у всіх об'єктах неживої і живої природи, починаючи із початку утворення нашої планети. В результаті виробничої діяльності людини, пов'язаної із видобутком корисних копалин, спалюванням органічного палива, створенням мінеральних добрив і т.ін., відбулося збагачення атмосфери природними радіонуклідами. Із моменту оволодіння людиною ядерною енергією у біо-

сферу почали потрапляти радіонукліди, що утворюються на АЕС, при виробництві ядерного палива і випробуваннях ядерної зброї.

Найбільш небезпечними штучними радіонуклідами є довготривалі – Стронцій 90 (Sr^{90}) і Цезій 137 (Cs^{137}), і короткотривалий – Йод 131 (I^{131}).

Найбільш поширені радіоактивні елементи з наступним періодом напіврозпаду: Йод¹³¹ – 8 діб, Стронцій⁹⁰ – 28 років, Цезій¹³⁷ – 30 років, Карбон¹⁴ – 5 тис. 760 років.

Необхідно зрозуміти, у чому полягає їх небезпека. Стронцій – аналог Кальцію, він заміщає кальцій у кістках, вбудовується у скелет і відбувається внутрішнє опромінювання. Рівень його накопичення залежить від співвідношення кальцію і стронцію. Чим більше буде кальцію, тим менше накопичеться стронцію. Необхідна дієта із підвищеним вмістом кальцію. Йод вбудовується у щитовидну залозу. Цезій накопичується у м'язах і внутрішніх органах.

Найбільш чутливими до опромінювання є ядро і мітохондрії клітин. Відбуваються зміни у ДНК, порушуються функції мембран, можливі усі види мутацій – генні зміни.

Найважливішим чинником запобігання накопиченню радіонуклідів у організмі людини є живлення. Встановлено, що збагачення раціону рибою, кальцієм, фтором, вітамінами А, Е, З, які є антиоксидантами, а також із пектином сприяє зниження ризику онкологічних захворювань, виконує значну роль у профілактиці радіоактивної дії разом із радіопротекторами – наприклад, сульфурвмісними сполуками – цистеїном і глутатіоном.

Діоксини – високотоксичні сполуки, що мають мутагенні, канцерогенні і тератогенні властивості.

Вони є побічними продуктами виробництва пластмас, пестицидів, паперу, металургії, утворюються при знищенні відходів, присутні у вихлопних газах автомобілів і т.ін.

Група діоксинів об'єднує сотні речовин, кожна із яких містить специфічну гетероциклічну структуру з атомами Хлору чи Броду.

У організм людини діоксини потрапляють в основному з їжею. Небезпечні концентрації діоксинів знаходять у тваринних жирах, м'ясі, рибі, молочних продуктах. Джерелом діоксинов можуть бути і коренеплоди.

Для діоксинов не існує таких норм як ПДК – ці речовини токсичні при

будь-яких концентраціях, мають широкий спектр біологічної дії на людину і тварин. У малих дозах викликають мутагенний ефект, мають кумулятивні властивості, дію, що інгібує, на різні ферментні системи організму.

У боротьбі з діоксинами вже досягнуті певні успіхи. У багатьох країнах світу проводиться екологічний моніторинг по діоксинам у різних галузях промисловості. Відповідно до одержаних даних розв'язуються питання вдосконалення тих чи інших технологічних процесів.

Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) налічують понад 200 представників, які є сильними канцерогенами. До найбільш активних канцерогенів відносять 3,4-бенз(а)пірен, холантрен, перілен і дібенз(а)пірен.

Канцерогенна активність ПАВ на 70-80 % обумовлена бенз(а)піреном, тому за його присутністю у харчових продуктах можна судити про рівень забруднення ПАВ і ступінь онкогенної небезпеки для людини.

Канцерогенні ПАВ утворюються в природі шляхом абіогенних процесів – синтезуються рослинами, мікрофлорою, дріжджами. Утворюються ПАВ в процесах згорання палива, сміття, їжі, діяльності промислових підприємств.

Умови термічної обробки харчових продуктів мають важливе значення у накопиченні бенз(а)пірену. У шкуринці хлібу, що підгоріла, знайдено до 0,5 мкг/кг бенз(а)пірену, у підгорілому бісквіті – до 0,75 мкг/кг. Полімерні пакувальні матеріали мають важливу роль у забрудненні харчових продуктів ПАВ. Наприклад, жир молока екстрагує до 95 % бенз(а)пірену із парафіно-бумажних пакетів чи стаканчиків. ГДК бенз(а)пірену для людини складає не більш 0,24 мкг.

6.8. Неаліментарні речовини

Речовини, що звичайно містяться у харчових продуктах, але не використовувані організмом у процесі життєдіяльності називають нехарчовими або неаліментарними. До таких речовин належать баластні речовини, антиаліментарні речовини, отруйні речовини, різні технологічні добавки (ароматизатори, фарбники, консерванти, антиоксиданти і т. ін.).

Антиаліментарні чинники живлення. До них відносяться речовини, що не мають загальної токсичності, але здатні вибірково погіршувати чи блокувати засвоєння нутрієнтів. Розглянемо деякі з них.

Інгібітори травних ферментів. До цієї групи відносяться речовини білкової природи, які блокують активність травних ферментів (пепсину,

трипсину, хімотрипсину, α -амілази). Білкові інгібітори знайдені у насінні бобів (сої, квасолі та ін.), злакових (пшениця, ячмінь та ін.), картоплі, яечному білку та інших продуктах рослинного і тваринного походження. Механізм дії цих сполук полягає в утворенні стійких комплексів “фермент – інгібітор”, послабленні активності головних травних ферментів, і тим самим, зниженні засвоєння білків та інших макронутрієнтів. Деякі білкові інгібітори характеризуються досить високою термостабільністю (наприклад, соєві). Із цього витікає, що вживання насіння культур бобів, як для корму сільськогосподарських тварин, так і в харчовому раціоні людини, можливе лише після теплової обробки.

Ціаногенні глікозиди. Це глікозиди деяких ціаногенних альдегідів і кетону, які при ферментативному чи кислотному гідролізі виділяють синильну кислоту, що викликає поразку нервової системи. Це, наприклад, лімарін, що міститься у білій квасолі, амідгалін, який виявляється у кісточках мигдалю, персиків, абрикос.

Біогенні аміни. До сполук цієї групи відносяться серотонін, тірамін, гістамін – біогенні аміни, що мають судинно-звужувальну дію. Серотонін міститься у фруктах і овочах – сливі, бананах і томатах. Тірамін і гістамін – у ферментованих продуктах, наприклад – у сирі.

Алкалоїди. Великий клас органічних сполук, що надають різноманітну дію на організм людини. Це і сильні отрути, і корисні лікарські засоби. До них відносяться пуринові алкалоїди – кофеїн, теобромін, теофілін. Вони містяться у каві, чаї, пепсі- та кока-колі. При систематичному вживанні їх на рівні 1000 міліграм на добу вони викликають у людини постійну потребу в них, яка нагадує алкогольну залежність.

До групи стероїдних алкалоїдів відносяться саланіни і чаконіни. Це речовини середньої токсичності, накопичуються у позеленілих частинах бульб картоплі, мають гіркий смак і викликають типові ознаки отруєння.

До антиаліментарних чинників відносяться також антивітаміни, чинники, які знижують засвоєння мінеральних речовин (щавлева кислота, її солі – оксалати, фітин, таніни та ін.), отрути пептидної природи, алкоголь.

6.9. Лабораторна робота №6

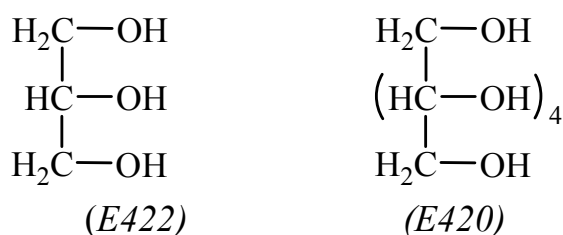
Харчові добавки

Дослід 1. Якісна реакція на багатоатомні спирти.

Виявлення гліцерину (E422) та сорбіту (E420)

Реактиви, посуд та обладнання: 2%-вий розчин купрум (II) сульфату; 10%-вий розчин натрій гідроксиду; гліцерин; сорбіт (крист.); пробірки; штатив для пробірок; паличка для насипання сухих речовин.

У пробірку наливають 3-4 краплі 2%-вого розчину купрум (II) сульфату та 2-3 мл 10%-вого розчину натрій гідроксиду. До утвореного осаду блакитного кольору приливають кілька крапель гліцерину (E422) та суміш перемішують. Осад розчиняється, з'являється василькове забарвлення розчину від утвореного купрум (II) гліцерату. Дослід повторюють, але замість гліцерину вводять у реакцію сорбіт (E420). Які властивості гліцерину та сорбіту виявляються у реакції з купрум (II) гідроксидом?

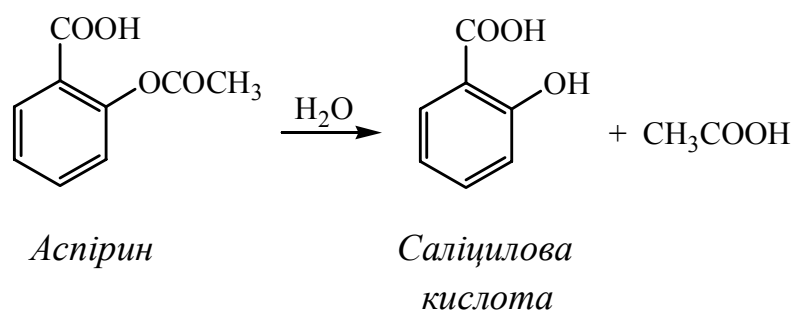


Гліцерин широко застосовують в якості емульгатора, загусника, водотримуючого агента та для одержання харчових поверхнево-активних речовин (ПАР), що сприяють підвищенню якості готової продукції. Сорбіт використовують як підсолоджувач або замітник цукру.

Дослід 2. Реакція саліцилової кислоти з ферум (III) хлоридом

Реактиви, посуд та обладнання: ацетилсаліцилова кислота (аспірин); 0,1 н. розчин ферум (III) хлориду; пробірка; пробіркотримач; паличка; паличка для насипання сухих речовин.

У пробірку вміщують кілька кристалів ацетилсаліцилової кислоти (аспірину), потім приливають кілька крапель води та нагрівають до повного розчинення. До одержаного розчину додають по краплях розчин ферум (III) хлориду. Що при цьому спостерігається? Поясніть результати дослідження.

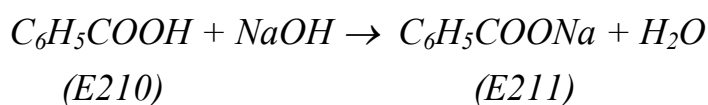


Аспірин при розчиненні у воді легко гідролізує з утворенням саліцилової кислоти, яка при дії ферум (III) хлориду у водному розчині дає яскраво-фіолетове забарвлення.

Дослід 3. Отримання натрій бензоату (E211)

Реактиви, посуд та обладнання: бензойна кислота (крист.); 10%-вий розчин натрій гідроксиду; пробірка; паличка для насипання сухих речовин.

У пробірку вміщують декілька кристалів бензойної кислоти (E210) та додають 0,5 мл 10%-вого розчину натрій гідроксиду. Вміст пробірки струшують до повного розчинення кристалів:



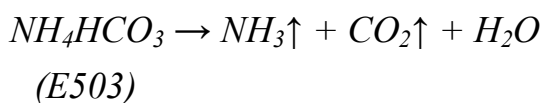
Натрій бензоат (E211) – популярний консервант, який часто використовують у харчовому виробництві. Його наявність у продуктах харчування повинна насторожувати астматиків та людей, що мають чутливість до аспірину.

Дослід 4. Властивості розпушувача тіста амоній гідрогенкарбонату (E503)

Реактиви, посуд та обладнання: амоній гідрогенкарбонат (крист.); 1%-вий спиртовий розчин фенолфталеїну (у крапельниці); сухі пробірки; пробка з газовідвідною трубкою; штатив для пробірок; пробіркодержач; пальник; паличка для насипання сухих речовин.

У суху пробірку вносять невелику кількість кристалічного амоній гідрогенкарбонату (E503), закривають пробкою з газовідвідною трубкою та перевіряють на герметичність. Протилежний кінець трубки занурюють у іншу пробірку, що містить невелику кількість води з кількома краплями

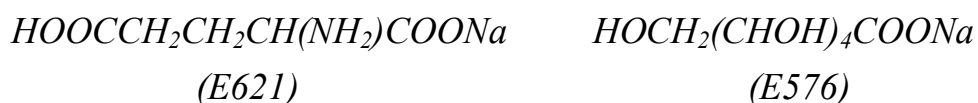
спиртового розчину фенолфталеїну. Пробірку з сухою речовиною нагрівають на полум'ї пальника, спостерігають виділення газу та появу яскраво-малиного забарвлення розчину. Про що свідчить ця реакція?



Дослід 5. Якісне визначення підсилювачів смаку натрій глутамату (E621) та натрій глюконату (E576)

Реактиви, посуд та обладнання: натрій глутамат (крист.); натрій глюконат (крист.); 2%-вий розчин купрум (II) сульфату; пробірки; штапик для пробірок; паличка для насипання сухих речовин.

У дві різні пробірки насипають невелику кількість сухих речовин – натрій глутамату (E621) та натрій глюконату (E576), додають по 1 мл води та струшують до повного розчинення. Після цього вносять кілька крапель 2%-вого розчину купрум (II) сульфату та спостерігають утворення яскраво-синього забарвлення розчинів.



Чому при проведенні цих реакцій не використовують розчину натрій гідроксиду? Відповідь поясніть.

6.10. Запитання для самоконтролю

1. Наведіть сучасну класифікацію харчових добавок та їх Е-кодування.
2. Дайте визначення поняттям: а) барвник; б) антиоксидант; в) консервант; г) розпушувач; д) емульгатор; е) стабілізатор консистенції; є) підсилювач смаку; ж) ароматизатор; з) поліпшувач борошна. Які речовини відносяться до кожного з них? У чому полягає їх головне функціональне призначення?
3. Які речовини, що забруднюють харчову продукцію, застосовують у рослинництві? Дайте їх характеристику.
4. Які речовини, що забруднюють харчову продукцію, застосовують у тваринництві? Дайте їх характеристику.

Додаток 1. Застосування ферментів у харчових технологіях

Продукт	Ферменти	Призначення
1	2	3
<i>Випікання хліба</i>		
Злакові і крохмалі	Амілаза	Прискорення ферментації; покращення якості борошна для отримання буханок більшого об'єму, покращення кольору скоринки та структури м'якшю
	Протеази	Модифікація глютену при випічці бісквітів; скорочення часу перемішування тіста
<i>Виробництво глюкози</i>		
	Амілоглюкозиназа	Проведення технологічного процесу гідролізу
	Глюкоізомераза	Конверсія глюкози у фруктозу
<i>Пивоваріння</i>		
Спиртні напої	Амілази	Зниження в'язкості пульки. Конверсія крохмалю у цукор для ферментації
	Таннази	Видалення полі фенолів
	Глюканази	Покращення фільтрації. Утворення додаткового цукру для ферментації
	Целюлози	Покращення фільтрації за рахунок гідролізу складних речовин клітинних оболонок
	Протеази	Забезпечення азоту для дріжджового бродіння; покращення фільтрації та запобігання охолодженню
	Діацетилредуктаза	Видалення діацетилів у пиві
<i>Виноробство</i>		
	Пектиназа	Освітлювання вина
	Амілоглюкозиназа	Видалення каламутів, покращення
	Глюкозооксидаза	Видалення кисню

1	2	3
<i>Виробництво кави</i>		
Безалкогольні напої	Целюлози	Розщеплення целюлози в процесі сушки
	Пектинази	Усунення желеподібних плівок в процесі ферментації
<i>Виробництво чаю</i>		
	Целюлози	Руйнування целюлози в процесі ферментації
<i>Виробництво безалкогольних напоїв</i>		
	Каталази	Стабілізація цитрусових терпенів
	Глюкозооксидази	Стабілізація цитрусових терпенів
<i>Виробництво какао</i>		
	Пектинази	Гідроліз лушпиння бобів в процесі ферментації
<i>Виробництво молока</i>		
	Каталаза	Видалення H ₂ O ₂
	β-Галактозидаза	Запобігання зернистої текстури; стабілізація білка при замерзанні
	Протеази	Стабілізація сухого молока
<i>Виробництво сирів</i>		
Продукти тваринництва	Протеази	Коагуляція казеїну
	Ліпази	Формування аромату
<i>Виробництво соків</i>		
Фрукти та овочі	Амілази	Видалення крохмалю для покращення виділення соку
	Целюлози	Підвищення ефективності виділення соку
	Пектинази	Підвищення ефективності виділення соку, спрямоване освітлювання
	Глюкозооксидаза	Видалення кисню
	Нарингіназа	Усунення гіркоти цитрусових

Продовження Додатку 1.

1	2	3
<i>Виробництво овочевих консервів</i>		
	Амілази	Приготування та пом'якшування пюре
	Пектиназа	Отримання гідролізатів
<i>Виробництво м'яса і рибопродуктів</i>		
М'ясо та інші білкові продукти	Протеази	Тендеризація м'яса, отримання рибного гідролізату. Покращення обробки риби для збереження «зв'язаної води», видалення риб'ячого жиру із тканин
<i>Виробництво яєчних продуктів</i>		
	Ліпази	Покращення процесів збивання та умульгування
	Протеази	Покращення властивостей при висушуванні
<i>Екстрагування рослинних масел</i>		
	Пектинази	Розщеплення пектинових речовин для виділення масла
	Целюлази	Гідроліз речовин клітинних оболонок
<i>Гідроліз масел</i>		
	Ліпази	Отримання вільних жирних кислот
<i>Синтез складних ефірів</i>		
	Естерази	Виробництво терпенових ефірів для інтенсифікації запахів органічних кислот і спиртів
<i>Міжмолекулярна естерифікація</i>		
	Ліпази	Отримання тріацилгліцеринів із дешевої кормової сировини

Додаток 2. Вміст вуглеводів у продуктах рослинного походження

Продукти	Моносахариди		Дисахариди	Полісахариди			
	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза	Геміцелюлози	Клітковина	Крохмаль	Пектин
<i>Овочі</i>							
Баклажани	3,0	0,8	0,4	0,1	1,3	0,9	0,4
Капуста	2,6	1,6	0,4	0,5	1,0	0,1	0,6
Картопля	0,6	0,1	0,6	0,3	1,0	15,0	0,5
Цибуля	1,3	1,2	6,5	0,2	0,7	0,1	0,4
Морква	2,5	1,0	3,5	0,3	1,2	0,2	0,6
Огірки грунтові	1,3	1,1	0,1	0,1	0,7	0,1	0,4
Буряк	0,3	0,1	8,6	0,7	0,9	0,1	1,1
Томати	1,6	1,2	0,7	0,1	0,8	0,3	0,3
<i>Баитанові</i>							
Кавун	2,4	4,3	2,0	0,1	0,5	0,1	0,5
<i>Фрукти</i>							
Вишня	5,5	4,5	0,3	0,1	0,5	0	0,4
Слива	3,0	1,7	4,8	0,2	0,5	0,1	0,9
Яблука	2,0	5,5	1,5	0,4	0,6	0,8	1,0
Цитрусові (лимон)	1,0	1,0	1,0	0,1	1,3	0	0,5
<i>Ягоди</i>							
Виноград	7,3	7,2	0,5	0,6	0,6	0	0,6
Суниця садова	2,7	2,4	1,1	0,2	4,0	0,1	0,7
Агрис	4,4	4,1	0,6	0,2	2,0	0	0,7
Смородина	1,5	4,2	1,0	0,1	3,0	0,6	1,1

**Додаток 3. Номенклатура, класифікація вітамінів
та вітаміноподібних сполук**

<i>I. Водорозчинні вітаміни</i>	
<i>Вітаміни, які представлені переважно однією сполукою</i>	
Рекомендована назва	Застаріла назва
Тіамін	Вітамін В ₁ (анейрин)
Рибофлавін	Вітамін В ₂ (лактофлавін)
Пантотенова кислота	Вітамін В ₃ або В ₅
Біотин	Вітамін Н
Аскорбінова кислота	Вітамін С
<i>Родини вітамінів</i>	
Рекомендована групова назва	Індивідуальні представники
Вітамін В ₆	Піридоксин; піридоксаль; піридоксамін
Ніацин (вітамін РР)	Нікотинова кислота; нікотинамід
Фолацин	Фолієва кислота; тетрагідрофолієва кислота та її похідні
Кобаламіни (вітамін В ₁₂)	Ціанокобаламін; оксикобаламін; метилкобаламін
<i>II. Жиророзчинні вітаміни</i>	
Вітамін А	Ретинол; ретинілацетат; ретиналь; ретиноева кислота
Вітамін D (кальцифероли)	Ергокальциферол (вітамін D ₂); холекальциферол (вітамін D ₃)
Вітамін Е	α-, β-, γ- та σ-Токофероли; α-, β-, γ- та σ-токотриєноли
Вітамін К	2-Метил-3-феніл-1,4-нафтохінон (філохінон, вітамін К ₁); менахінони (вітаміни К ₂); 2-метил- 1,4-нафтохінон (менадіон, вітамін К ₂)

Продовження Додатку 3.

<i>III. Вітаміноподібні сполуки</i>	
Технологічна функція	Назва сполуки
Незамінні харчові речовини з пластичною функцією	Холін; інозит (міоїнозит, мезоїнозит)
Біологічно активні речовини, що синтезуються в організмі людини	Ліпоева кислота; оротова кислота; карнітин
Фармакологічно активні речовини їжі	Біофлавоноїди; метилметіонінсульфоній (вітамін U); пангамова кислота (вітамін B ₁₅)
Чинники зростання мікроорганізмів	Параамінобензойна кислота

Додаток 4. Добова потреба та основні функції вітамінів

Вітамін	Добова потреба	Функції
1	2	3
Аскорбінова кислота (вітамін С)	50-100 мг (сер. 70)	Бере участь в окисно-відновних реакціях; підвищує опір організму до впливу екстремальних факторів
Тіамін (аневрин, вітамін В ₁)	1,4-2,4 мг (сер. 1,7)	Необхідний для нормальної діяльності центральної та периферичної нервової системи
Рибофлавін (вітамін В ₂)	1,5-3,0 мг (сер. 2,0)	Бере участь в окисно-відновних реакціях
Піридоксин (вітамін В ₆)	2,0-2,2 мг (сер. 2,0)	Бере участь у синтезі та метаболізмі амінокислот, жирних кислот та ненасичених ліпідів
Ніацин (вітамін РР)	15,0-25,0 мг (сер. 19,0)	Бере участь в окисно-відновних реакціях; при недостатності викликає пелагру
Фолієва кислота (вітамін В ₉ , фоліцин)	200 мкг	Фактор кровотворення, бере участь у синтезі амінокислот, нуклеїнових кислот, холіну
Ціано- кобаламін (вітамін В ₁₂)	2-5 мкг (сер. 3)	Бере участь у біосинтезі нуклеїнових кислот, холіну, лецитину; фактор кровотворення
Біотин (вітамін Н)	50-300 мкг (сер. 150)	Бере участь у реакціях карбоксилювання, обміну амінокислот, ліпідів, вуглеводів, нуклеїнових кислот
Пантотенова кислота (вітамін В ₃)	5-10 мг	Бере участь у реакціях біохімічного ацилювання, обміну білків, жирів, вуглеводів

Продовження Додатку 4.

1	2	3
Холін (холін хлорид)	250-600 мг	Бере участь у синтезі біологічно важливих сполук
Ретинол (вітамін А)	0,5-2,5 мг (сер. 1,0)	Бере участь у діяльності клітинних мембран; необхідний для росту та розвитку людини; для функціонування слизових оболонок; бере участь у процесі фото-рецепції – сприйняття світла
Кальцифероли (вітамін D)	2,5-10 мкг	Регуляція вмісту кальцію та фосфору в крові; мінералізація кісток, зубів
Токофероли (вітамін Е)	8-15 мг (сер. 10)	Запобігають окисненню ліпідів; впливають на синтез ферментів; активний антиокисник

Додаток 5. Вміст мінеральних речовин в основних продуктах харчування

Харчові продукти	Макроелементи, мг							Мікроелементи, мкг						
	Калій	Кальцій	Магній	Натрій	Сульфур	Фосфор	Хлор	Ферум	Йод	Кобальт	Манган	Купрум	Флуор	Хром
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Хліб:														
житній формовий	245	35	47	610	52	158	980	3900	5,6	–	1610	220	35	27
Формовий з пшеничного борошна І гатунку	129	23	33	506	59	84	837	1860	–	1,8	825	134	–	2,2
Молочні продукти:														
Молоко коров'яче	146	120	14	50	29	90	110	67	9	0,8	6	12	20	2
Сир жирний	112	150	23	41	–	216	–	461	–	–	8	74	–	–

Продовження Додатку 5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сир російський	116	1000	50	820	–	540	–	1100	–	–	–	50	–	–
М'ясо:														
Свинина	316	8	27	64,8	220	170	48	1940	6,6	8	28,5	96	96	13,5
Яловичина	355	10,2	22	73	230	188	59	2900	7,2	7	35	182	63	8,2
Баранина	329	9,8	25,1	101	165	168	83,6	2090	2,7	6	35	238	120	8,7
Риба:														
Річковий короп	265	35	25	55	180	210	55	800	5	35	150	130	25	55
Морська тріска	340	25	30	100	200	210	165	650	135	30	80	150	700	55
Овочі:														
Капуста білокачанна	185	48	16	13	37	31	37	600	3	3	170	75	10	5
Картопля	568	10	23	28	32	58	58	900	5	5	170	140	30	10
Морква	500	51	38	21	6	55	63	700	5	2	200	80	55	3
Фрукти:														
Сливи	214	20	9	18	6	20	1	200	4	1	110	87	2	4
Яблука	278	16	9	26	5	11	2	2200	2	1	47	110	8	4

Класифікація харчових добавок в залежності від їх призначення

Функціональні класи (для маркування)	Підкласи (технологічні функції)	Призначення
1	2	3
Кислоти	Кислоутворювачі	Підвищують кислотність та (або) надають кислий смак їжі
Регулятори кислотності	Кислоти, луги, основи, буфери, регулятори рН	Змінюють або регулюють кислотність або лужність харчового продукту
Піногасники	Піногасячі речовини	Попереджають або зменшують утворення піни
Речовини, які запобігають та злипанню	Добавки, які перешкоджають затвердінню; речовини, які зменшують злипання, висушуючі добавки, присипки; розділяючі речовини	Зменшують злипання частинок харчового продукту
Антиоксиданти	Антиоксиданти, синергисти антиоксидантів, комплексоутворювачі	Збільшують термін зберігання продуктів, захищаючи від псування, викликаного окисненням, наприклад, згіркнення жирів та зміни кольору
Наповнювачі	Наповнювачі	Речовини, відмінні від води та повітря, які збільшують об'єм продукту, не впливаючи на його енергетичну цінність
Барвники	Барвники	Підсилюють чи відновляють забарвлення харчового продукту

Продовження Додатку 6.

1	2	3
Речовини, які сприяють збереженню забарвлення	Фіксатори забарвлення, стабілізатори забарвлення	Стабілізують, зберігають чи підсилюють забарвлення продукту
Емульгатори	Емульгатори, розм'якшувачі, поверхнево-активні добавки, змочуючі речовини	Утворюють та підтримують однорідну суміш кількох фаз, що не змішуються, як олія та вода, в харчових продуктах
Емульгуючі солі	Сплавлювачі солей, комолексоутворювачі	Взаємодіють з білками сирів з метою попередження відділення жиру при виготовленні плавлених сирів
Ущільнювачі (рослинних тканин)	Ущільнення	Роблять та зберігають тканини фруктів та овочів щільними та свіжими, взаємодіють з агентами для утворення чи зміцнення гелію
Підсилювачі смаку та аромату	Підсилювачі смаку, модифікатори смаку; добавки, які сприяють розварювання	Підсилюють природний смак і (або) запах харчових продуктів
Речовини для обробки борошна	Відбілюючі добавки, покращувачі тіста та борошна	Покращують хлібопекарські властивості та колір борошна
Піноутворювачі	Збиваючі добавки, керуючі добавки	Створюють умови для рівномірної дифузії газоподібної фази в рідкі та тверді харчові продукти

Продовження Додатку 6.

1	2	3
Гелеутворювачі	Гелеутворювачі	Текстурують їжу шляхом утворення гелю
Глазуруючі агенти	Плівкоутворювачі, поліруючі речовини	Речовини, які при змазуванні ними поверхні продукту надають йому блискучого виду або утворюють захисний шар
Вологоутримуючі агенти	Добавки, які втримують вологу, змочуючі добавки	Захищають їжу від висихання в атмосфері з низькою вологістю
Консерванти	Протимікробні та протигрибкові добавки, добавки для боротьби з бактеріями, хімічні стерилізуючі добавки при дозріванні вин	Збільшують термін зберігання продуктів, захищаючи їх від псування, викликаного мікроорганізмами
Пропеленти	Пропеленти	Газ, відмінний від повітря, який виштовхує продукт із контейнера
Розрихлювачі	Розрихлювачі, речовини, які сприяють життєдіяльності дріжджів	Речовини або суміші речовин, які вивільнюють газ та збільшують таким чином об'єм тіста
Стабілізатори	Зв'язуючі речовини, ущільнювачі. водоутримуючі речовини, стабілізатори піни	Дозволяють зберігати однорідну суміш двох чи більше речовин харчового продукту. які не змішуються між собою
Підсолоджувачі	Підсолоджувачі, штучні підсолоджувачі	Речовини нецукрової природи, які надають харчовим продуктам та готовій їжі солодкий смак
Загущувачі	Згущувачі, текстуратори	Підвищують в'язкість харчових продуктів

Короткий термінологічний словник
“Хімія харчових речовин та харчування людини”

Макронутрієнти – це клас головних харчових речовин, які є джерелом енергії та структурних матеріалів, що присутні у їжі у відносно великих кількостях (від 1 г).

Мікронутрієнти – це клас головних харчових речовин, що виявляють біологічні ефекти на різні функції організму; містяться у складі харчових продуктів, як правило, у невеликих кількостях.

Міnorні нехарчові біологічно активні компоненти – складники їжі, що покращують якість життя та знижують ризик розвитку багатьох захворювань.

Незамінні харчові речовини (есенціальні) – це речовини, які не утворюються в організмі людини або утворюються у недостатній кількості.

Нутрієнти – це поживні та смакові речовини, які входять до складу харчових продуктів, забезпечують обмін речовин та прояви життєвих функцій організму, урізноманітнюють їжу, сприяють її кращому засвоєнню.

Харчова система – це сировина, напівфабрикати або готові до вжитку харчові продукти.

Харчова хімія – це наука про хімічний склад харчових систем та його зміни у ході технологічного потоку під впливом різних факторів (фізичних, хімічних, біохімічних та ін.), що включає взаємодію нутрієнтів між собою та загальні закономірності цих перетворень. Харчова хімія вивчає особливості структури та властивостей харчових речовин, а також їх вплив на харчову цінність продуктів харчування.

Харчовий продукт (їжа) – це будь-яка речовина або продукт (сирій, включаючи сільськогосподарську сировину, необроблений або напівоброблений), що призначений до споживання людиною.

Білкові речовини

Амінокислоти – похідні карбонових кислот, у складі яких один із атомів Гідрогену карбонового ланцюга заміщений на аміногрупу (NH₂).

Білки (протеїни) – це нітрогенвмісні високомолекулярні органічні сполуки (біополімери), які складаються із залишків α -амінокислот (мономери), що послідовно сполучені між собою пептидними зв'язками (CONH).

Висолювання – процес осадження білка нейтральними солями. При цьому відбувається руйнування гідратної оболонки та нейтралізація заряду білкової молекули. Такі білки зберігають свої природні (нативні) властивості й функції після видалення солі.

Денатурація – під дією різних фізичних та хімічних факторів порушується природна просторова структура білкової молекули: руйнуються четвертинна, третинна та вторинна структури (первинна не змінюється). Це призводить до зменшення або повної втрати розчинності, специфічної біологічної активності, зміни оптичних властивостей, в'язкості та ін. При денатурації розриваються іонні, водневі та дисульфідні зв'язки, поліпептидний ланцюг розкручується та знаходиться або у розгорнутому стані, або у вигляді хаотичного клубка.

Емульгуючі властивості білка – утворення білком на поверхні крапель жиру тонкої плівки (гідрофобні взаємодії), яка притягує воду за рахунок полярних груп та протидіє злипанню жирових часток.

Замінні амінокислоти – можуть синтезуватися в організмі людини із інших азотовмісних сполук, наприклад: гліцин, аланін, серін, пролін, тирозин, аспарагінова та глутамінова кислоти, цистин, цистеїн та ін.

Захисні білки – захищають організм від впливу шкідливих для життєдіяльності факторів. Основну функцію захисту у людини виконує імунна система, яка забезпечує синтез специфічних білків – антитіл у відповідь на бактерії, токсини та інші сторонні речовини (антигени). При цьому утворюється комплекс “антиген – антитіло”. Зсідання крові, яке запобігає кровотечам, базується на перетворенні білків крові – фібриногену та тромбіну. Внутрішні стінки стравоходу та шлунку вистелені захисним шаром слизистих білків – муцинів.

Ізоелектрична точка білка (ІЕТ) – значення рН середовища, при якому білок не несе сумарного заряду, тобто число негативних зарядів цілком збігається з числом позитивних зарядів у його молекулі.

Каталітичні (ферментативні) білки – це ферменти, під дією яких прискорюються та регулюються усі хімічні перетворення в живих організмах; за своєю природою є простими або складними білками.

Незамінні амінокислоти – не можуть синтезуватися у організмі людини, наприклад: валін, лізин, лейцин, ізолейцин, треонін, метіонін, триптофан, фенілаланін.

Неповноцінний білок – містить у своєму складі не усі незамінні амінокислоти. **Повноцінний білок** – містить у своєму складі усі незамінні амінокислоти.

Регуляторні білки – входять до складу різних біологічно активних речовин: гормонів та медіаторів, що виділяються в області нервових закінчень та ін.

Рецепторні білки – здатні вибірково «розпізнавати» та приєднувати окремі речовини. Рецептори клітинної мембрани, які містять білковий компонент, після зв'язування певних сполук передають інформацію всередину клітини або іншим клітинам. На такому принципі базується органолептика – сприйняття різних подразнень органами відчуття: смаку та запаху.

Розчинність білків – це значна спорідненість білкових тіл до води (гідрофільність), що пов'язана з гідратацією білкової молекули у результаті взаємодії диполів води з іонними (NH_2 та COOH) та полярними (OH , NH , CO) групами.

Скорочувальні білки – будь-які форми руху (робота м'язів, рух протоплазми в клітині та ін.), що здійснюються білковими комплексами. Зокрема, у процесі м'язового скорочення та розслаблення важливу роль відіграють специфічні білки м'язової тканини – актин та міозин. Молекули цих білків здатні щільно “стискати” та “розслаблювати” свою структуру, використовуючи хімічну енергію, яка накопичується у окремих сполуках.

Структурні (опорні) білки – беруть участь у побудові мембран усіх клітин, входять до складу сполучних та кісткових тканин (колаген), волосся, нігтів, шкіри (кератин).

Транспортні білки – переносять речовини крізь клітинні мембрани. Такі білки містяться у рідкій частині крові. Наприклад, альбуміни тран-

спортують ліпіди, вітаміни, іони металів, гормони. Гемоглобін переносить кисень від легень до тканин і органів, а вуглекислий газ – у зворотному напрямку.

Вуглеводи

Вуглеводи – це біохімічні сполуки, які утворюються в рослинах як первинні продукти фотосинтезу та є важливою складовою частиною всіх живих організмів.

Енергетична функція вуглеводів – полягає у забезпеченні організму енергією приблизно на 60%. При окисненні 1 г вуглеводів виділяється ~ 4,0 ккал (або 16,7 кДж) енергії.

Запасуюча функція – вуглеводи відкладаються в організмі людини у вигляді запасного вуглеводу – глікогену.

Захисна функція вуглеводів – в'язучі секрети, що виділяються різними залозами, багаті на мукополісахариди, які захищають стінки деяких порожнистих органів від механічних пошкоджень та від проникнення патогенних бактерій і вірусів.

Моносахариди – сполуки, що містять одночасно гідроксильні (ОН) та карбонільні (СО) групи. Залежно від характеру карбонільної групи (термінальна або внутрішньоланцюгова), поділяються на альдози (оксіальдегіди) та кетози (оксикетони).

Олігосахариди – утворюються з виділенням води з двох або декількох молекул моносахаридів при взаємодії або спиртового гідроксилу однієї молекули та глікозидного гідроксилу іншої, або при взаємодії двох глікозидних гідроксилів; містять від 2 до 10 залишків моносахаридів.

Пластична функція – вуглеводи беруть участь у синтезі багатьох речовин, необхідних для нормальної життєдіяльності організму (нуклеопротейди, ліпоїди, складні ферменти, мукополісахариди та ін.).

Полісахариди – високомолекулярні вуглеводи, які складаються зі значної кількості залишків моносахаридів; побудовані за тим самим принципом, що й олігосахариди. Вони як правило не мають солодкого смаку, характеризуються значною молекулярною масою, є нерозчинними у воді або утворюють колоїдні розчини.

Регуляторна функція – вуглеводи регулюють діяльність шлунково-кишкового тракту (харчові волокна).

Специфічна функція – вуглеводи виконують в організмі особливі функції, наприклад, беруть участь у проведенні нервових імпульсів, утворенні антитіл, забезпечують специфічність груп крові та нормальну діяльність центральної нервової системи.

Харчові волокна – це складні вуглеводи, які містяться в їжі рослинного походження та не перетравлюються кишечником людини. Фізіологічна роль харчових волокон полягає у стимулюванні моторної функції кишечника, запобіганні всмоктуванню холестерину, позитивному впливові на нормалізацію складу мікрофлори кишечника, уповільненні процесів гниття, впливові на ліпідний обмін, порушення якого призводить до ожиріння, адсорбуванні жовчних кислот, сприянні зниженню вмісту та видаленню токсичних речовин, у тому числі й важких металів, радіонуклідів, канцерогенів.

Жири та ліпіди

Енергетична функція – жири є основними постачальниками енергії для людського організму (39 кДж/г).

Захисна функція – ліпіди шкіри та внутрішніх органів захищають організм людини і тварин від переохолодження, механічних пошкоджень органів та надають шкірі еластичності. Жири є розчинниками вітамінів групи А, D, Е, К, F та сприяють їх кращому засвоєнню.

Ліпіди – це група різноманітних за складом нерозчинних у воді органічних речовин, які відрізняються розчинністю в органічних розчинниках; за хімічною природою вони є похідними вищих жирних кислот та спиртів.

Пластична функція – ліпіди входять до складу клітинних та позаклітинних структур усіх тканин у вигляді ліпопротеїдів.

Прості ліпіди – речовини, молекули яких складаються лише із залишків жирних кислот та спиртів. **Складні ліпіди** містять також похідні ортофосфатної кислоти (фосфоліпіди), залишки цукрів (гліколіпіди), азотисті сполуки – холін, коламін, серін.

Жир	Насичені жирні кислоти, %				Ненасичені жирні кислоти, %				
	<16	16	18	>18	<18	18/1	18/2	18/3	>18
Соняшникова олія	–	5	2	4	–	24	63	–	–
Оливкова олія	–	12	2	–	1	75	10	–	–
Кокосове масло	75	9	2	–	–	9	1	–	–
Вершкове масло	20	28	11	2	5	26	2	4	2
Свиняче сало	1	28	11	–	3	46	9	1	–
Яловиче сало	3	27	21	–	4	40	4	–	–
Китовий жир	7	12	1	–	18	30	2	–	30
Оселедцевий жир	7	14	2	–	11	← 24 →			40

¹ Число атомів Карбону/число зв'язків >C=C<

Регуляторна функція – ліпіди є важливими факторами регулювання обміну води в організмі.

Резервний жир – відкладається у “жирових депо” (підшкірна клітковина, брижейка, жирова капсула нирок та ін.).

Мінеральні речовини

Макробіоелементи – це елементи, які містяться в організмі людини у кількостях від цілих до сотих часток відсотка (0,01%).

Хімічний елемент	Функція
Кальцій	Гідроксилапатит у кістковій тканині
Натрій та Калій	Проведення збуджень по нервах та скорочення м'язів
Фосфор	Гідроксилапатит у кістковій тканині, етер фосфатної кислоти у залишках нуклеїнових кислот
Хлор	Гідроген хлорид у шлунковій кислоті

Мікробіоелементи – це елементи, вміст яких в організмі обчислюється у міліграмах (мг) або мікрограмах (мкг); при цьому вони беруть активну участь у біохімічних процесах та є життєво необхідними для організму людини.

Хімічний елемент	Функція	Симптом дефіциту
Ферум	У гемоглобіні (транспорт кисню)	Анемія
Цинк	У численних ферментах	Порушення росту
Флуор	У тканинах зубів	Карієс
Йод	У гормоні щитовидної залози (тироксин)	Зоб

Мінеральні речовини – це низькомолекулярні сполуки (іони солей), які потрібні для формування клітин крові, кісток та інших тканин, для нормального функціонування нервової, ендокринної, серцево-судинної та інших систем організму, входять до складу ферментів, беруть участь у численних процесах перетворення енергії та речовин, рості та відновленні клітин і тканин організму.

Вітаміни

Авітаміноз – стан глибокого дефіциту якого-небудь вітаміну в організмі з клінічною картиною його недостатності.

Вітаміни – це низькомолекулярні речовини органічного походження, які утворюються в тваринних та рослинних організмах у дуже малих кількостях. Вітаміни забезпечують високу працездатність організму та його резистентність до різного типу захворювань.

Водорозчинні вітаміни (групи В, аскорбінова кислота, біотин) – виконують ряд важливих функцій, зокрема беруть участь у процесах обміну речовин. Для них характерні деякі особливості: майже всі вони містяться у печінці, дріжджах, висівках; є необхідними для нормальної діяльності нервової системи, шкіри та шлунково-кишкового тракту.

Гіпервітаміноз – надлишок одного або декількох вітамінів у організмі. **Гіповітаміноз** – стан організму при недостатньому вмісті одного чи декількох вітамінів.

Жиророзчинні вітаміни (А, D, Е та К) – виконують ряд специфічних функцій. Для їх засвоєння організмом необхідна певна кількість жиру.

Вітамін	Добова потреба	Симптом дефіциту	Знаходження
А: ретинол	0,8–0,9 мг	Куряча сліпота	Печінка, молоко, риб'ячий жир
В ₁ : тіамін	1,3 мг	Бері-бері	Дріжджі, паростки зерна
В ₂ : рибофлавін	1,8 мг	Дерматит	Дріжджі, стручкові боби
В ₆ : піридоксин	2 мг	–	Печінка, овочі
В ₁₂ : кобаламін	5 мкг	Злоякісна анемія	Курячий жовток, молоко
С: аскорбінова кислота	75 мг	Цинга	Цитрусові, фрукти, перець
D: кальцифероли	2,5–10 мкг	Рахіт	Риб'ячий жир
Е: токофероли	8–12 мг	М'язова дистрофія	Олія пшеничних паростків
К: філохінон, менахінон	30–140 мкг	Повільне зсідання крові	Зелені рослини

Харчові та біологічно активні добавки

Антиоксиданти – речовини, які уповільнюють процеси окиснення окремих компонентів харчових продуктів. Як правило, їх додають до жирових та жиророзчинних харчових систем.

Антиоксидант	Індекс
L-аскорбінова кислота та її похідні	E300–E304
Токофероли	E306–E309
Естери галової кислоти	E310–E312

Ароматизатори – речовини, які підсилюють смак та аромат харчових продуктів для покращення їх органолептичних властивостей. Арома-

тизатори та ефірні олії додають до харчових систем з метою відновлення смаку й аромату, втрачених в процесі переробки та/або зберігання сировини (зокрема, в пастеризованих продуктах та сиропах); посилення натурального смаку і аромату продуктів; надання смакової різноманітності однотипним продуктам (наприклад, тортам, льодяниковій карамелі та ін.); надання смаку та аромату позбавленим смаку продуктам (морозиво, жувальна гумка, прохолодні напої, соєві продукти).

Барвники – харчові добавки, які додають до харчових систем з метою відновлення їх природного забарвлення, втраченого в процесі переробки або зберігання продовольчої сировини; підвищення інтенсивності природного забарвлення; підфарбовування безбарвних продуктів для надання їм привабливого вигляду та колірної розмаїття (наприклад, безалкогольних напоїв, морозива, кондитерських виробів).

Барвник	Індекс	Барвник	Індекс
Хінолін жовтий	E104	Діамант чорний	E151
Кошеніль (червона)	E120	Каротин (жовтий)	E160a
Азорубін (червоний)	E123	Лікопін (оранжевий)	E160d
Індиго (синє)	E132	Буряковий червоний	E162
Хлорофіл (зелений)	E140	Кальцій карбонат	E170
Карамель (коричнева)	E150	Солі феруму	E172

Біологічно активні добавки (БАД) – це спеціальні харчові продукти, призначені для вживання або введення в межах фізіологічних норм до раціону харчування чи харчових продуктів з метою надання їм дієтичних, оздоровчих, профілактичних властивостей для забезпечення нормальних та відновлення порушених функцій організму людини.

Емульгатори – забезпечують можливість утворення та збереження дисперсного стану двох або більшої кількості речовин, що не змішуються між собою (наприклад, жирів та води); відповідають за консистенцію харчового продукту, його пластичні властивості, в'язкість та відчуття “наповненості” при споживанні.

Згущувачі – речовини, які використовуються для підвищення в'язкості

продукту. Механізм їх дії полягає в тому, що макромолекули цих добавок містять гідрофільні групи, які зв'язують воду у харчових системах, змінюючи їх консистенцію.

Консерванти – речовини, що запобігають розвитку мікрофлори – бактерій, пліснявих грибів, дріжджів та ін. Їх додають до продукту з метою запобігання псуванню та подовження терміну зберігання харчів.

Консервант	Індекс
Бензойна кислота та бензоати	E210–E213
Похідні <i>n</i> -гідроксибензойної кислоти	E214–E219
Діоксид сульфуру та сульфіти	E220–E227
Мурашина кислота та форміати	E236–E238

Парафармацевтики – мінорні компоненти їжі (органічні кислоти, біофлавоноїди, біогенні аміни, регуляторні пептиди, деякі олігосахариди та ін.), які забезпечують необхідне спрямування змін метаболізму окремих речовин, зокрема, токсикантів; сприяють підвищенню неспецифічної резистентності організму до дії екзогенних “ризик-факторів”.

Пробіотики – живі або ферментовані/культивовані мікроорганізми чи продукти на їх основі, які позитивно впливають на здоров'я людини; в більшості випадків їх сприятлива дія спрямована на покращення роботи шлунково-кишкового тракту.

Харчові добавки – це природні, ідентичні природним або синтетичні речовини, які самостійно не вживаються в їжу. Вони спеціально додаються до харчових систем за технологічними міркуваннями на різних етапах виробництва, зберігання, транспортування готових продуктів з метою покращення виробничого процесу або окремих його операцій, підвищення стійкості продукту до різних видів псування, збереження структури та зовнішнього виду продукту.

Харчові стабілізатори – це особлива група добавок, які призначені для стабілізації або поліпшення ступеня гомогенізації харчової системи, що складається з двох або більшої кількості речовин, які не змішуються між собою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова и др. (под ред. А.П. Нечаева) // Изд. 4-е, СПб: ГИОРД, 2007. – 640 с.
2. Химия пищи / И.А. Рогов, Л.В. Антипова, Н.И. Дунченко // М: Колос, 2007. – 823 с.
3. Все о пище с точки зрения химика / И.М. Скурихин, А.П. Нечаев // М: Высшая школа, 1991. – 288 с.
4. Харчова хімія / Я.П. Скоробогатий, А.В. Гузій, О.М. Заверуха // Львів: Новий світ, 2000. – 2012. – 514 с.
5. Пищевая химия / И.Б. Шарфунова // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2003. – 140 с.
6. Харчова хімія / В.В. Євлаш, О.І. Торяник, В.О. Коваленко та ін. // Харків: Світ книг, 2012. – 504 с.
7. <http://www.mylect.ru/prompit/575-2012-08-15-33-28.html>.
8. Харчова хімія / Л.В. Дуленко, Ю.А. Горяйнова, А.В. Полякова та ін. // К.: Кондор, 2012. – 248 с.
9. Органічна хімія / О.І. Кононський // К.: Дакор, 2003. – 568с.
10. Сарафанова Л.А. Применение пищевых добавок. Технические рекомендации // СПб: ГИОРД, 2005. – 200 с.
11. Химия углеводов / Н.К. Кочетков, А.Ф. Бочков, Б.А. Дмитриев и др. – М.: Химия, 1967. – 672 с.
12. Практические работы по органической химии: Малый практикум / Т.А. Смолина, Н.В. Васильева, Н.Б. Куплетская. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1986. – С. 128-148.
13. Голубев В.Н. Основы пищевой химии. – М.: Биофармсервис, 1997. – 223 с.
14. Химия липидов / Р.П. Евстигнеева, Е.Н.Звонкова, Г.А. Серебренникова, В. И. Швец и др. – М.: Химия, 1983. – 296 с.
15. Химия жиров и продуктов переработки жирового сырья / В.С. Стопский, В. В. Ключник, Н. В. Андреев – М.: Колос, 1992. – 286 с.
16. Некрасов В. В. Руководство к малому практикуму по органической

химии // 5-е изд., доп. – М.: Химия, 1975. – С. 145-151.

17. Нікозять Ю. Б. Харчова хімія. Навчально-методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни за кредитно-модульною системою організації навчального процесу. – Полтава: Полтавський університет споживчої кооперації України, 2009. – С. 39-43.

18. Биологическая химия / Н.В. Дуденко, Л.Ф. Павлоцкая, М.В. Кривоносов, Р.Н.Кратенко. – Харьков: Прапор, 1999. – С. 235-275.

19. Павлоцька Л.Ф., Дуденко Н.В., Дмитрієвич Л.Р. Основи фізіології гігієни харчування та проблеми безпеки харчових продуктів. – Суми: ВТД “Університетська книга”, 2007. – С. 57-72.

20. Пасальський Б.К. Хімія харчових продуктів: Навчальний посібник. – К.: Київський Державний торговельно-економічний університет, 2000. – С. 153-169.

21. Королев А.Н. Лабораторный практикум по пищевой химии // Учеб. пособие – Омск: Изд-во АНО ВПО “Омский экономический институт”, 2010. – 64 с.

22. Вода в пищевых продуктах / Под ред. Р.Б. Дакуорта. – Пер. с англ. Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 376 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
Предмет і завдання дисципліни	3
Харчування людини як складний фізіолого-біохімічний процес	7
РОЗДІЛ 1. ВОДА У СИРОВИНІ ТА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ	8
1.1. Значення води для людського організму	8
1.2. Значення води для харчових продуктів	10
1.3. Вільна та зв'язана вода	11
1.4. Фізичні та термодинамічні характеристики води	12
1.5. Активність води та стабільність харчових продуктів	17
1.6. Рівноважна та гігроскопічна вологість харчових продуктів	21
1.7. Показники якості води	25
1.8. Лабораторна робота №1 Вода у харчових продуктах	27
Дослід 1. Визначення вологості зерна злакових культур	27
Дослід 2. Визначення масової частки вологи прискореним методом висушування	28
Дослід 3. Визначення золи	29
1.9. Контрольні запитання	31
РОЗДІЛ 2. БІЛКОВІ РЕЧОВИНИ ТА ФЕРМЕНТИ У СИРОВИНІ ТА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ	32
2.1. Білки – високомолекулярні природні полімери	32
2.2. Основні біологічні функції білків	33
2.3. Класифікація білків	36
2.4. Біологічна цінність білків як компонентів їжі	38

2.5.	Рівні структурної організації білкових молекул	39
2.6.	Функціонально-технічні властивості білків та способи їх регулювання	42
2.7.	Загальна характеристика та властивості ферментів	47
2.8.	Будова ферментів	51
2.9.	Номенклатура ферментів	53
2.10.	Класифікація ферментів	55
2.11.	Особливості ферментативних реакцій	59
2.12.	Інгібітори ферментів	61
2.13.	Використання ферментів у харчових технологіях	63
2.14.	Перетворення білків харчової сировини під час виробництва та зберігання харчових продуктів	66
2.15.	Лабораторна робота №2 Білкові речовини	72
	Дослід 1. Утворення солі купрум (II) аміноацетатної кислоти	72
	Дослід 2. Утворення солей сечовини	73
	Дослід 3. Утворення біурету сечовини	74
	Дослід 4. Біуретова реакція білків	75
	Дослід 5. Ксантопротеїнова реакція білків.	75
	Дослід 6. Розщеплення білка дією лугу	76
2.16.	Контрольні запитання	77
РОЗДІЛ 3. ВУГЛЕВОДИ		78
3.1.	Загальна характеристика та фізіологічні функції вуглеводів	78
3.2.	Класифікація вуглеводів	80
3.3.	Харчова цінність та норми споживання вуглеводів	82
3.4.	Засвоювані та незасвоювані вуглеводи	85
3.5.	Функції вуглеводів у харчових продуктах	87
3.6.	Перетворення вуглеводів під час виробництва та зберігання харчових продуктів	89

3.6.1.	Фізичні та фізико-хімічні перетворення вуглеводів. Клейстеризація крохмалю	89
3.6.2.	Хімічні перетворення вуглеводів	91
3.7.	Лабораторна робота №3 Вуглеводи	104
	Дослід 1. Окиснення моно- та дисахаридів реактивом Фелінга	104
	Дослід 2. Гідроліз сахарози	105
	Дослід 3. Реакція крохмалю з йодом	105
	Дослід 4. Гідроліз крохмалю	106
	Дослід 5. Розчинення целюлози у реактиві Швейцера	107
3.8.	Контрольні запитання	108
РОЗДІЛ 4. ЛІПІДИ		109
4.1.	Ліпіди у сировині та харчових продуктах.	109
4.2.	Фізіологічні функції і харчова цінність жирів	111
4.3.	Класифікація ліпідів	113
4.4.	Біологічна роль поліненасичених жирних кислот	125
4.5.	Основні перетворення жирів та ліпідів під час виробництва та зберігання харчових продуктів.	127
4.6.	Лабораторна робота №4 Жири та масла	143
	Дослід 1. Емульгування жирів та масел	143
	Дослід 2. Визначення ступеня ненасиченості жиру реакцією з бромною водою	144
	Дослід 3. Визначення ступеня ненасиченості жиру йодним числом	144
	Дослід 4. Визначення кислотного числа олії	146
	Дослід 5. Взаємодія рослинної олії з водним розчином калій перманганату (реакція Вагнера)	147

Дослід 6. Омилення жиру спиртовим розчином натрій гідроксиду	147
4.7. Контрольні запитання	148
РОЗДІЛ 5. ВІТАМІНИ ТА МІНЕРАЛЬНІ РЕЧОВИНИ.	149
5.1. Роль вітамінів у харчуванні людини.	149
5.2. Жиророзчинні вітаміни	153
5.3. Водорозчинні вітаміни	158
5.4. Технологічне значення вітамінів. Вітамінізація харчових продуктів	167
5.5. Мінеральні речовини та мікроелементи	170
5.6. Вплив технологічної обробки на мінеральний склад харчових продуктів	176
5.7. Лабораторна робота №5 I. Вітаміни та вітаміноподібні сполуки	177
Дослід 1. Якісна реакція на вітамін А	177
Дослід 2. Якісна реакція на вітамін D	177
Дослід 3. Якісна реакція на вітамін Е	177
Дослід 4. Якісна реакція на вітамін К	178
Дослід 5. Якісна реакція на вітамін В ₁	178
Дослід 6. Якісні реакції на вітамін С	178
Дослід 7. Кількісне визначення вітаміну Р	179
II. Мінеральні речовини. Харчові кислоти	180
Дослід 8. Якісна визначення неорганічних сполук у кістковій тканині	180
Дослід 9. Визначення вмісту кальцію у молоці	181
Дослід 10. Відкриття ацетатної кислоти та її солей	182
Дослід 11 Якісна реакція на харчові α -оксикислоти	182
5.8. Контрольні запитання	183
РОЗДІЛ 6. ХАРЧОВІ ДОБАВКИ	184
6.1. Загальні відомості про харчові добавки	184

6.2.	Класифікація харчових добавок	185
6.3.	Харчові добавки, які покращують зовнішній вигляд харчових продуктів	189
6.3.1.	Харчові барвники	189
6.3.2.	Харчові добавки, які змінюють структуру харчових продуктів	192
6.3.3.	Смакоароматичні харчові добавки	200
6.4.	Харчові консерванти та анти окисники	205
6.5.	Ароматизатори	206
6.6.	Природні токсичні речовини і забруднювачі	207
6.6.1.	Природні токсиканти.	207
6.6.2.	Забруднювачі	209
6.6.3.	Мікотоксини	213
6.6.4.	Пестициди	214
6.6.5.	Нітрати	215
6.7.	Радіоактивне забруднення	219
6.8.	Неаліментарні речовини	221
6.9.	Лабораторна робота №6 Харчові добавки	223
	Дослід 1. Якісна реакція на багатоатомні спирти. Виявлення гліцерину (E422) та сорбіту (E420)	223
	Дослід 2. Реакція саліцилової кислоти з ферум (III) хлоридом	223
	Дослід 3. Отримання натрій бензоату (E211)	224
	Дослід 4. Властивості розпушувача тіста амоній гідрогенкарбонату (E503)	224
	Дослід 5. Якісне визначення підсилювачів смаку натрій глютамату (E621) та натрій глюконату (E576)	225
6.10.	Контрольні запитання	225

Додаток 1.	Застосування ферментів у харчових технологіях . . .	226
Додаток 2.	Вміст вуглеводів у продуктах рослинного походження	229
Додаток 3.	Номенклатура, класифікація вітамінів та вітаміноподібних сполук	230
Додаток 4.	Добова потреба та основні функції вітамінів . . .	232
Додаток 5.	Вміст мінеральних речовин в основних продуктах харчування	234
Додаток 6.	Класифікація харчових добавок в залежності від їх призначення	236
Додаток 7.	Короткий термінологічний словник “Хімія харчових речовин та харчування людини”	239
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	249

Навчальний посібник

О. П. Чигвінцева, А. В. Токар

ХАРЧОВА ХІМІЯ

Українською мовою

Відповідальний за випуск: О. П. Чигвінцева, А. В. Токар
Комп'ютерна верстка: І. С. Кругляк

Підписано до друку 14.06.2014 р.
Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 14,88. Тираж 100 прим. Зам. № 660

Видавець ТОВ “Принтхаус Римм”
53200, м. Нікополь, вул. Шевченка, 65/44.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4709 від 09.04.2014 р.
Тел. 05662-444-41, e-mail: officerimm@gmail.com

Віддруковано на базі поліграфічно – видавничого
центру «Адверта»
49018, м. Дніпропетровськ - 18, а/я № 1212
тел.066-55-312-55, 798-47-22
www.isbn.com.ua
www.adverta.com.ua
www.vk.com/izdatelstvo_adverta
www.facebook.com/adverta.Izdatelstvo

