

**ЦЕХМІСТРЕНКО С. І., ЦЕХМІСТРЕНКО О. С.,
НЕДАШКІВСЬКИЙ В. М.**

ХІМІЯ МЕДУ ТА ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА



**С.І. Цехмістренко, О.С. Цехмістренко,
В.М. Недашківський**

**ХІМІЯ МЕДУ ТА
ПРОДУКТІВ
БДЖІЛЬНИЦТВА**

Навчальний посібник

Біла Церква

2025

УДК 638.16/.17:543.6(075.8)

Затверджено вченою радою Білоцерківського національного аграрного університету (протокол № 2 від 13 березня 2025 р.)

Рецензенти:

Постоєнко В.О., д-р с.-г. наук, проф., директор ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича», член-кореспондент НААН;

Богатко Н.М., д-р вет. наук, проф. зав. кафедри ветеринарно-санітарної експертизи та лабораторної діагностики Інституту післядипломного навчання керівників і спеціалістів ветеринарної медицини Білоцерківського НАУ;

Михайленко О.В., канд. хім. наук, доцент кафедри супрамолекулярної хімії Інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Цехмістренко С.І., Цехмістренко О.С., Недашківський В.М. Хімія меду та продуктів бджільництва: Навч. посіб. – Біла Церква, 2025. – 198 с.

Посібник «Хімія меду та продуктів бджільництва» представляє сучасний комплексний огляд ключових хімічних характеристик меду, пилку, воску, перги, прополісу, маточного молочка та бджолоїної отрути. Розглянуто сучасні підходи експертизи, включаючи інноваційні технології, такі як нанотехнології та передові методи аналізу, спрямовані на оптимізацію якості продукції та підвищення її харчової цінності. Показана роль хімії у сучасних підходах у бджільництві.

Посібник є корисним для студентів, аспірантів, науковців, фахівців та тих, хто прагне поглибити свої знання в хімії аграрного сектору.

ISBN 978-966-2122-73-2 © Цехмістренко С.І., Цехмістренко О.С.,
Недашківський В.М. 2025
© Білоцерківський національний
аграрний університет

ПЕРЕДМОВА

Продукти бджільництва, зокрема мед, прополіс, віск, перга та маточне молочко, є багатокомпонентними біологічно активними системами, що відіграють фундаментальну роль у функціонуванні екосистем та знаходять широке застосування в різних сферах людської діяльності. Їхня виняткова цінність зумовлена складним хімічним складом, який включає вуглеводи, амінокислоти, мінерали, вітаміни, поліфеноли та інші біологічно активні сполуки. Ці компоненти мають значний вплив на здоров'я людини, сприяють розробці інноваційних технологій та становлять основу сучасних наукових досліджень.

Мета цього посібника – задовольнити потребу у всеосяжному міждисциплінарному огляді хімії меду та інших продуктів бджільництва. У посібнику представлено глибокий аналіз сучасних досліджень у галузі біохімії, фізичної хімії та технологій використання продуктів бджільництва. Особливий акцент зроблено на механізмах формування біологічно активних компонентів, їхній молекулярній дії та практичних аспектах застосування у таких галузях, як медицина, фармакологія, косметологія та харчова промисловість. Детальний розгляд методів аналізу, таких як хроматографія, мас-спектрометрія та спектроскопія, забезпечує дослідників інструментами для точного вивчення складу та властивостей цих унікальних природних продуктів.

Бджоли, як ключові агенти у підтримці біорізноманіття, забезпечують запилення понад 70 % квіткових рослин, включаючи більшість сільськогосподарських культур. Водночас продукти їхньої життєдіяльності відображають вплив таких факторів, як кліматичні зміни, антропогенне забруднення та екологічний стрес. Посібник акцентує увагу на необхідності екологічно орієнтованих підходів у бджільництві, які сприятимуть збереженню природних ресурсів та розвитку стійких агроекосистем.

Для аспірантів та науковців, які прагнуть поглибити свої знання, цей посібник пропонує комплексний огляд новітніх теорій і концепцій у вивченні біохімічних процесів, котрі лежать в основі формування меду та інших продуктів бджільництва. Особливу увагу

приділено взаємозв'язку між хімічними властивостями компонентів та їхньою біологічною активністю, зокрема антиоксидантною, антимікробною та протизапальною дією. Описані приклади практичного застосування цих знань демонструють їх важливість для розробки інноваційних рішень, спрямованих на збереження здоров'я людини та покращення якості життя.

Автори прагнули зробити цей посібник не лише джерелом знань, а й інструментом для натхнення нових наукових пошуків. Матеріал структуровано таким чином, щоб забезпечити логічну послідовність викладу та сприяти глибшому розумінню хімічних процесів, властивостей продуктів і їх потенціалу в сучасній науці. Читач знайде тут як фундаментальні аспекти хімії, так і перспективи розвитку галузі у світлі глобальних викликів.

Сподіваємося, що цей посібник стане базою для подальших досліджень, сприятиме міждисциплінарній інтеграції та допоможе підвищити обізнаність про значення продуктів бджільництва для науки, екології та суспільства. Знання, здобуті під час вивчення цього матеріалу, покликані сприяти формуванню сталого підходу до використання природних ресурсів і збереження екологічного балансу.

З найкращими побажаннями,
Автори

1. ПРЕДМЕТ «ХІМІЯ МЕДУ ТА ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА»

1.1. Значення досліджень меду та продуктів бджільництва для сучасної науки і промисловості

Хімія меду та продуктів бджільництва є складною і багатогранною науковою дисципліною, яка інтегрує знання фундаментальної хімії, біохімії, агротехнологій і біотехнологій. Вивчення фізико-хімічних властивостей меду, прополісу, маточного молочка та інших продуктів бджільництва дозволяє розширити наукове розуміння біохімічних процесів, а також стимулювати розвиток інноваційних технологій. Особливо актуальним це є в умовах сучасних викликів, таких як зміна клімату, глобалізація аграрного сектору та необхідність забезпечення стійкого розвитку.

Дослідження хімічного складу та біологічних властивостей продуктів бджільництва сприяють розкриттю складних механізмів біосинтезу біоактивних сполук, таких як флавоноїди, фенольні кислоти, ферменти, вітаміни та леткі органічні речовини. Застосування передових методів аналізу, таких як хроматографія, мас-спектрометрія та спектроскопія, дозволяє визначати навіть мінімальні концентрації цих компонентів. Це створює основу для розробки нових фармацевтичних препаратів, функціональних харчових продуктів і біоактивних добавок.

Дослідження впливу екологічних факторів на хімічний склад меду та продуктів бджільництва має важливе значення для моніторингу автентичності продукції, контролю якості та розробки ефективних технологій її зберігання. Розширення таких досліджень сприяє підвищенню рівня безпеки харчових продуктів та покращенню здоров'я споживачів.

Бджільництво є невід'ємною частиною сучасного агропромислового комплексу. Воно забезпечує не тільки виробництво меду та інших продуктів, але й сприяє опиленню понад 70 % сільськогосподарських культур, що є ключовим фактором підвищення врожайності. Хімічний аналіз меду дозволяє

створювати нові стандарти якості, розробляти інструменти для швидкої ідентифікації підробок, а також визначати вплив умов зберігання на стабільність продуктів.

Інноваційні дослідження в цій галузі спрямовані на покращення життєздатності бджолиних сімей, включаючи розробку екологічно безпечних стимуляторів та адаптогенів. Ці рішення є важливими для забезпечення сталого розвитку аграрного сектору та покращення екосистемних послуг, які надають бджоли.

Інтеграція хімічних знань у біотехнології відкриває нові горизонти для створення продуктів із високою доданою вартістю. Наприклад, поліфенольні сполуки меду та прополісу активно досліджуються як основа для розробки антиоксидантів, антимікробних агентів і протизапальних препаратів. Нанотехнологічні підходи сприяють створенню інноваційних систем доставки біоактивних речовин, що значно підвищує їхню ефективність.

Додатково, біотрансформація компонентів меду за допомогою ферментативних систем дозволяє отримувати нові речовини з унікальними властивостями. Ці технології мають значний потенціал для розвитку медицини, косметології та харчової промисловості.

Синтез фундаментальних і прикладних знань у галузі хімії меду є основою для підготовки висококваліфікованих спеціалістів. Вивчення молекулярних механізмів дії біологічно активних речовин сприяє оптимізації їх використання у фармацевтиці, аграрному секторі та косметології. Такий міждисциплінарний підхід стимулює розвиток новаторських рішень і сприяє збереженню біорізноманіття.

Хімія меду та продуктів бджільництва є стратегічно важливою галуззю науки, що поєднує фундаментальні дослідження з прикладними технологіями. Цей напрямок відкриває нові можливості для вирішення актуальних проблем сучасності, включаючи підвищення якості життя, охорону навколишнього середовища та забезпечення продовольчої безпеки. Її розвиток має ключове значення для стійкого прогресу суспільства.

1.2. Еволюція досліджень меду та продуктів бджільництва

Еволюція досліджень меду та продуктів бджільництва свідчить про поступальний розвиток наукових підходів до розуміння хімічних, біологічних та функціональних властивостей цих речовин.

На початкових етапах дослідження мед розглядали через призму емпіричних знань, накопичених стародавніми цивілізаціями, такими як єгипетська, грецька та китайська. Мед використовували як харчовий продукт, лікарський засіб та консервант. Ці знання були пов'язані з прикладним використанням, але не охоплювали хімічного складу.

Початок наукового аналізу меду відноситься до XVIII століття, коли хіміки розпочали використовувати аналітичні підходи до вивчення його складу. Дослідники ідентифікували основні компоненти, включаючи глюкозу, фруктозу та воду. XIX століття відзначилося розвитком аналітичних технік, таких як поляриметрія, що дозволило визначати цукровий профіль та його пропорції. Спектр досліджень розширювався, щоб захопити різні аспекти вмісту вітамінів та мікроелементів, що підкреслювало його поживну цінність.

На початку XX століття увага була сконцентрована на фізико-хімічних характеристиках меду, зокрема в'язкості, густині, кислотності та здатності до кристалізації. Виявлення антимікробних властивостей стало важливим науковим проривом, оскільки було з'ясовано, що ці властивості обумовлені низьким рН, високою осмотичною активністю та наявністю пероксиду гідрогену. Додаткові дослідження зосереджувалися на пошуку способів поліпшення якості меду та його переробки.

У другій половині XX століття дослідження меду значно розширилися завдяки розвитку спектроскопічних та хроматографічних методів. Використання інфрачервоної спектроскопії, ядерного магнітного резонансу та рідинної хроматографії дозволило вивчити структуру складових меду на молекулярному рівні. У цей період також активно досліджувалися інші продукти бджільництва – прополіс, маточне молочко та бджолиний віск, їхній хімічний склад та біологічна активність.

Сучасний етап досліджень у XXI столітті характеризується застосуванням “оміксних” технологій (геноміка, протеоміка,

метаболюміка) та біоінформатики для глибшого розуміння впливу меду та продуктів бджільництва на здоров'я людини. Розробка медових нанопрепаратів для доставки ліків стала однією з ключових інновацій. Крім того, значну увагу приділяють отриманню екологічно чистої продукції, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку.

Еволюція досліджень меду демонструє перехід від емпіричних знань до високотехнологічних підходів. Сучасні дослідження відкривають нові можливості для використання меду в медицині, харчовій промисловості, косметології та біотехнології, водночас акцентуючи увагу на екологічній безпеці продукції.

1.3. Біологічні особливості бджіл

Бджоли (*Apis mellifera*) є об'єктом інтенсивних наукових досліджень завдяки їхній ключовій ролі в екосистемах, унікальній фізіології, соціальній організації та біохімічним властивостям продуктів, які вони виробляють. Їхня життєдіяльність забезпечує значний внесок у біорізноманіття та сталий розвиток сільського господарства.

Фізіологія бджіл характеризується високим рівнем адаптації до виконання множинних функцій. Зір бджіл дозволяє їм сприймати ультрафіолетовий спектр, що суттєво покращує їхню здатність орієнтуватися у просторі та знаходити квіткові ресурси. Так, завдяки спеціальній структурі фасеткових очей, бджоли можуть сприймати поляризоване світло, що допомагає їм визначати напрямок до вулика навіть у похмурі дні. Крім того, їхні антени, що виконують функції хеморецепторів, дозволяють виявляти леткі органічні сполуки на відстані до 1 км. Унікальність травної системи бджіл полягає у функціонуванні медового зоба, де ферменти, зокрема інвертаза, розщеплюють сахарозу до глюкози і фруктози. Це не лише забезпечує високі енергетичні потреби бджоли, а й гарантує збереження меду завдяки антимікробним властивостям.

Соціальна організація бджолиних колоній є прикладом високоорганізованих суперорганізмів. У межах одного вулика можуть жити до 80 тисяч бджіл, функції яких чітко розподілені між трьома кастами: матка, трутні та робочі бджоли. Репродуктивна функція колонії зосереджена виключно на матці, яка може

відкладати до 2000 яєць на добу. Робочі бджоли, в свою чергу, відповідають за безліч завдань, включаючи догляд за личинками, будівництво стільників та захист вулика. Їхня комунікація здійснюється за допомогою специфічних рухів, так званих “танців”, які кодують інформацію про відстань та напрямок до джерел їжі. Цікаво, що ефективність передачі такої інформації залежить від фізичних характеристик середовища, таких як температура та вологість.

Біохімічні властивості продуктів бджільництва зумовлюють їхню високу цінність у фармакології та медицині. Мед містить понад 300 компонентів, серед яких виділяють вітаміни (С, В₁, В₆), ферменти (глюкозооксидазу) та поліфенольні сполуки з антиоксидантною активністю. Прополіс, який містить понад 50 % смол і бальзамів, демонструє антибактеріальну та протигрибкову активність завдяки наявності фенольних кислот і флавоноїдів. Маточне молочко – це унікальний продукт, багатий на протеїни, пептиди та жирні кислоти, зокрема 10-гідроксидекенову кислоту, що характеризується протипухлинними та імуномодуючими властивостями. Бджолина отрута є джерелом біоактивних пептидів, таких як мелітин і апамін, які мають нейропротекторну активність і здатність зменшувати запалення у тканинах.

Екологічна роль бджіл є фундаментальною для підтримання екосистемної стабільності. Вони запилюють понад 75 % квіткових рослин і до 35 % сільськогосподарських культур, включаючи мигдаль, яблука, кавуни та каву. Водночас, чисельність бджіл зазнає загроз через фактори, такі як використання неонікотиноїдів, забруднення важкими металами та зміна клімату.

Бджоли залишаються критично важливими для науки, сільського господарства та медицини. Їхній унікальний біологічний потенціал та взаємодія з екосистемами роблять їх незамінними в глобальному контексті. Поглиблене розуміння біології бджіл може сприяти створенню новітніх стратегій збереження цього виду та забезпечення стабільності природних і агроекосистем.

2. ХІМІЯ МЕДУ

2.1. Роль води у складі меду

Вода є ключовим компонентом меду, що визначає його фізико-хімічні властивості, стабільність та тривалість зберігання. Її вміст варіюється в межах 14–20 %, залежно від ботанічного походження, кліматичних умов і технологічних аспектів обробки та зберігання. Наприклад, квіткові меди зазвичай мають нижчий вміст води, близько 14–16 %, тоді як падеві меди можуть містити до 20 % води через особливості їх утворення. У меді вода переважно знаходиться у зв'язаній формі, що зумовлює низький рівень її активності та високу гігроскопічність.

Вона є середовищем, де розчинено більшість поживних речовин. Вода – активний учасник багатьох реакцій обміну речовин, з якими пов'язано саме існування живого організму.

Полярність молекул води визначає її здатність до утворення водневих зв'язків, що сприяє розчиненню моносахаридів, органічних кислот та білків. Полярність води забезпечує формування водневих зв'язків між молекулами, що сприяє стабілізації структур біомолекул (білків, нуклеїнових кислот, ферментів, біологічно активних речовин) у клітинах гідробіонтів та зберігає структуру мембран (рис. 1).

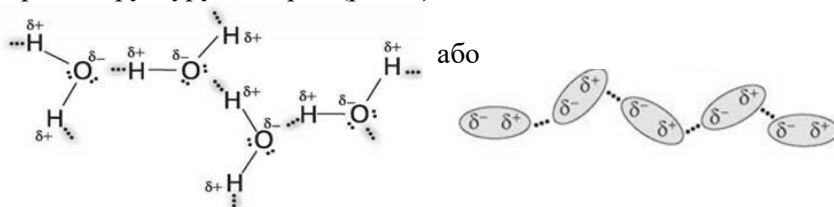


Рис 1. Утворення водневого зв'язку.

Це, своєю чергою, забезпечує текстурну стабільність і в'язкість меду. Гігроскопічні властивості зумовлені здатністю меду активно взаємодіяти з вологою атмосферного середовища, що потребує жорсткого контролю умов зберігання.

Низька *активність води* (a_w) є визначальним фактором мікробіологічної стабільності меду. Активність води характеризує стан води в харчових продуктах, її причетність до хімічних та

біологічних змін. Показник активності води краще характеризує вплив вологи на псування продукту ніж просто значення вмісту вологи. Значення a_w нижче 0,6 інгібує розвиток мікроорганізмів, зокрема бактерій і дріжджів, забезпечуючи довготривалу стабільність продукту навіть за кімнатної температури. У той же час, підвищення активності води через адсорбцію вологи може стимулювати осмофільні дріжджі, що зумовлює ризик ферментації. Активність води має велике значення і для текстури меду.

Теплоємність води сприяє температурній стабільності меду, запобігаючи термічному псуванню під час транспортування. Висока поверхнева напруга води сприяє рівномірному розподілу розчинених компонентів у мікроструктурі меду, що зберігає його однорідність.

Ключова роль води простежується у хімічних реакціях, які відбуваються у меді. Наприклад, ферментативний гідроліз сахарози інвертазою відбувається за участі води, сприяючи утворенню фруктози та глюкози. Вода також забезпечує розчинність органічних кислот, впливаючи на кислотно-лужний баланс і буферну ємність меду.

Динамічні процеси, пов'язані з вологою, визначають *реологічні властивості* меду. Низький вміст води збільшує його в'язкість, що позитивно впливає на тривалість зберігання. Однак надмірна втрата вологи може викликати кристалізацію, яка хоч і не впливає на безпечність продукту, змінює його органолептичні властивості. Навпаки, підвищення вологості може спричинити розрідження текстури та посилити ризик ферментаційних процесів.

Забезпечення оптимальних умов зберігання, таких як низька відносна вологість (<60 %) та герметична упаковка, є критично важливим для збереження якості меду. Дифузія вологи крізь пакувальні матеріали або адсорбція з повітря можуть значно впливати на стабільність продукту, зумовлюючи зміни його структурних і біохімічних характеристик.

Отже, вода виконує центральну роль у формуванні фізико-хімічних властивостей меду, його стабільності та тривалості зберігання. Глибоке розуміння цих процесів дозволяє вдосконалювати методи контролю якості та забезпечувати максимальну ефективність у виробництві і зберіганні меду.

2.2. Вуглеводи меду

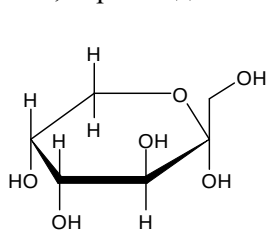
Вуглеводи складають основу хімічного складу меду, формуючи від 70 % до 80 % його маси залежно від ботанічного походження, кліматичних умов і специфіки зберігання продукту. Ці сполуки є ключовими не лише для енергозабезпечення людини, але й для самих бджіл, особливо в зимовий період. Вуглеводи визначають органолептичні властивості меду, включаючи смак, текстуру, аромат і колір, а також його фізико-хімічні характеристики, такі як гігроскопічність і стабільність у разі зберігання. Вуглеводи, які містяться у меді, можна класифікувати на кілька основних типів, залежно від хімічної структури.

Моноцукри є основними вуглеводами меду, домінуючи у його складі (табл. 1). В основному у меді містяться гексози – $C_6H_{12}O_6$.

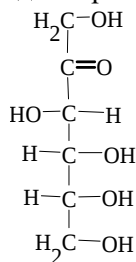
Таблиця 1. Середній вміст вуглеводів у меді

Вуглевод	Хімічна формула	Вміст, %	Вуглевод	Хімічна формула	Вміст, %
Фруктоза	$C_6H_{12}O_6$	38,2	Трегалоза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	<0,5
Глюкоза	$C_6H_{12}O_6$	31,3	Мелібіоза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	<0,5
Мальтоза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	7,1	Меліцитоза	$C_{18}H_{32}O_{16}$	3,1
Сахароза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	1,3	Рафіноза	$C_{18}H_{32}O_{16}$	<0,5
Ізомальтулоза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	<0,5			

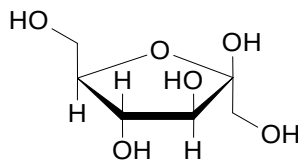
Фруктоза зустрічається у вільній формі та у складі олігосахаридів. Її солодкий смак перевищує глюкозу, а низький глікемічний індекс робить цей компонент привабливим для людей із діабетом. Крім того, фруктоза сприяє збереженню меду в рідкому стані, перешкоджаючи швидкій кристалізації.



α -D-Фруктопіраноза

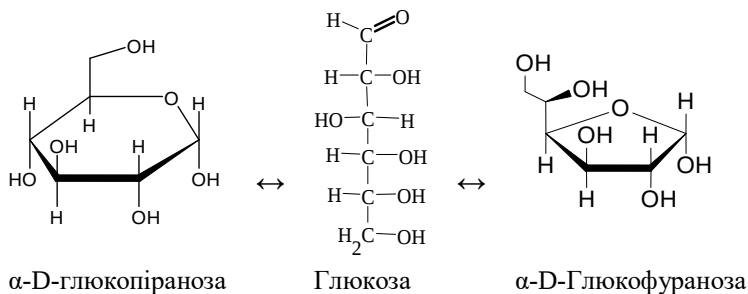


Фруктоза



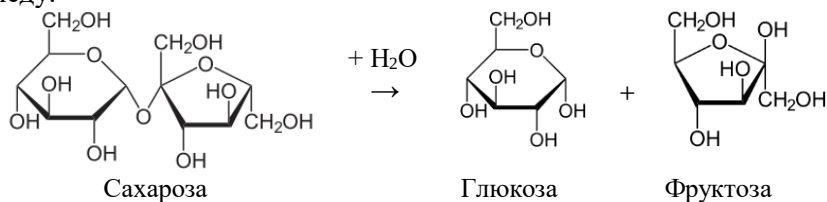
α -D-Фруктофураноза

Глюкоза переважно представлена у вільній формі, хоча також може формувати гідратовані комплекси. Глюкоза може знаходитися як у відкритій формі (ациклічній) так і циклічній (фуранозній чи піранозній):

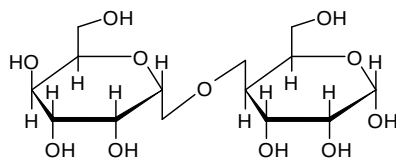


Вона відіграє критичну роль у процесі кристалізації, що впливає на текстуру кінцевого продукту. Окрім цього, глюкоза є універсальним метаболічним субстратом, що забезпечує організм енергією через гліколіз та інші біохімічні процеси.

Серед дисахаридів, загальна формула яких $C_{12}H_{22}O_{11}$, особливу увагу привертає *сахароза*, яка міститься у невеликих кількостях, зазвичай не перевищуючи 5 %. Її присутність вищою за норму може бути індикатором домішок або неякісної обробки продукту. У процесі ферментативної інверсії сахароза розщеплюється на глюкозу і фруктозу, що значно змінює фізико-хімічні властивості меду.



Мальтоза, концентрація якої залежить від джерела нектару та умов зберігання, утворюється через ферментативний гідроліз полісахаридів. У меді вона надає додаткову енергетичну цінність і може впливати на смакові якості продукту.

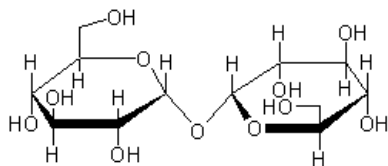


Мальтоза

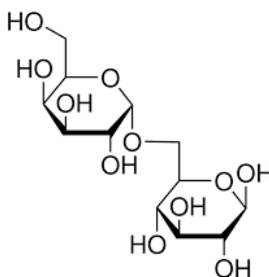
Ізомальтулоза діє як джерело енергії з пролонгованим ефектом, завдяки повільному розщепленню. Її низький вміст у меді підкреслює його стабільність як продукту, що забезпечує довготривалу енергетичну підтримку.

Трегалоза є стабільним дисахаридом, що має високу стійкість до гідролізу. Завдяки цьому мед з її вмістом довго зберігає свої поживні властивості та стабільність хімічного складу.

Мелібіоза, що складається з галактози і глюкози, зустрічається в незначних кількостях у медові. Її специфічний смак може гармонійно доповнювати загальний органолептичний профіль продукту.



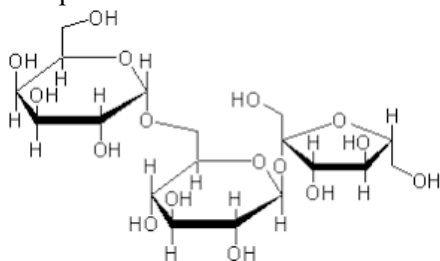
Трегалоза



Мелібіоза

Олігосахариди становлять незначну частину вуглеводного профілю, проте мають значний біологічний вплив. Молекули трисахаридів складаються з трьох моносахаридних залишків, з'єднаних за взаємодії гідроксильних груп. Загальна формула трисахаридів $C_{18}H_{32}O_{16}$. Трисахариди можуть відрізнятися один від одного будовою своїх моносахаридів і послідовністю в ланцюзі, розмірами циклів (п'ятичленна фуранозна або шестичленна піранозна), конфігурацією глікозидних центрів і місцями приєднання глікозильних залишків до агліконів. Це є причиною десятків тисяч можливих ізомерів трисахаридів.

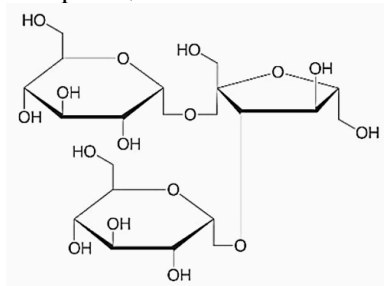
Представником трисахаридів меду є *рафіноза*. За будовою молекулу рафінози можна розглядати як з'єднання α -галактопіранози з сахарозою.



Рафіноза

У разі повного кислотного гідролізу рафіноза розпадається на галактозу, глюкозу та фруктозу. У процесі ферментативного гідролізу, під дією інвертази утворюється фруктоза та дисахарид мелібіоза. Її функціональність полягає у збагаченні смакових якостей меду, а також у потенційному підсиленні його біологічної активності.

Меліцитоза є невідновлюючим трисахаридом, який виробляється багатьма комахами, які харчуються соком рослин, шляхом ферментативної реакції.



Меліцитоза

Меліцитоза входить до складу медової роси, яка діє як аттрактант для мурах, а також як їжа для бджіл, хоча вона нелегко засвоюється бджолами. Меліцитоза може бути частково гідролізована до глюкози та туранози, остання з яких є ізомером сахарози. Її вміст у бджолиному меді близько 2,2 %, іноді до 10 %, що розглядається в основному як побічний продукт, котрий призводить до кристалізації

меду. Меліцитозу виробляють деякі комахи, зокрема попелиця, які синтезують її з сахарози і глюкози. Меліцитоза набагато солодша за мальтозу, але все ж таки вона поступається фруктозі в солодкості.

Олігосахариди виконують роль пребіотиків, стимулюють зростання корисної мікрофлори кишківника, модулюють смак і консистенцію меду, запобігають його швидкій кристалізації та забезпечують додаткові антиоксидантні властивості.

Кількісний вміст вуглеводів у меду залежить від ботанічного походження нектару. Ці показники значною мірою визначають фізичні, хімічні та біологічні властивості меду. Завдяки високому вмісту моноцукрів мед забезпечує швидке поповнення енергетичних запасів, що робить його незамінним продуктом для відновлення сил після фізичних чи інтелектуальних навантажень. Глюкоза та фруктоза забезпечують гігроскопічність продукту, сприяють його стабільності під час тривалого зберігання. Водночас ця властивість вимагає дотримання умов зберігання для запобігання надмірному зволоженню продукту.

Процес кристалізації меду визначається співвідношенням глюкози і фруктози. Мед із високим вмістом глюкози схильний до швидкої кристалізації, утворюючи тверду або кремоподібну структуру. Натомість мед із переважанням фруктози залишається рідким навіть за тривалого зберігання. Важливою властивістю меду є утворення пероксиду гідрогену під впливом вологи, що забезпечується активністю ферменту глюкозиоксидази. Ця реакція має антимікробний ефект, який разом із низьким вмістом води та високою концентрацією цукрів сприяє тривалому збереженню меду.

Характеристики вуглеводного складу відрізняються залежно від типу меду. Квітковий мед зазвичай містить високий рівень фруктози, що забезпечує його рідку консистенцію, виражений солодкий смак, світлий колір і ніжний аромат. Падевий мед, навпаки, характеризується більшою кількістю олігосахаридів, які надають йому складнішого смаку, густої консистенції та темного кольору. Цей тип меду менш схильний до кристалізації і має виражені антиоксидантні властивості.

Вуглеводи меду виконують різноманітні функції, включаючи швидке забезпечення енергією завдяки легкозасвоюваним моноцукрам, пребіотичну дію через стимуляцію корисної

мікрофлори кишечника та антиоксидантний ефект у поєднанні з іншими біологічно активними сполуками. Глибоке розуміння вуглеводного складу меду сприяє оцінці його харчової та функціональної цінності в контексті застосування в медицині, косметології та харчовій промисловості.

2.3. Амінокислоти та білки меду

Протеїни та амінокислотний профіль меду є важливою складовою його біологічної цінності. Мед, як біологічно активний продукт, містить протеїни та амінокислоти, які, хоча й становлять меншу частину його складу, відіграють ключову роль у харчовій, функціональній і терапевтичній цінності.

Амінокислоти є базовими будівельними блоками білків. Вони беруть участь у синтезі структурних білків, ферментів, гормонів та інших біомолекул, забезпечуючи нормальне функціонування метаболічних процесів. Амінокислоти також виконують важливі функції, пов'язані з енергетичним обміном, осморегуляцією та підтримкою імунної відповіді організму. Існують декілька класифікацій амінокислот, зокрема, за структурою радикалу, за кількістю карбоксильних та аміногруп (рис. 2).



Рис 2. Класифікація амінокислот.

Білки меду, як і інші білки живих організмів мають чотири рівні організації структури молекули (рис. 3). *Первинна* структура – послідовне з'єднання амінокислот у поліпептидний ланцюг пептидними

зв'язками ($-\text{CO}-\text{NH}-$). *Вторинна* структура – скручування поліпептидного ланцюга у спіраль. *Третинна* – закручування спіралі у кулю, *четвертинна* – об'єднання декількох куль в один конгломерат.

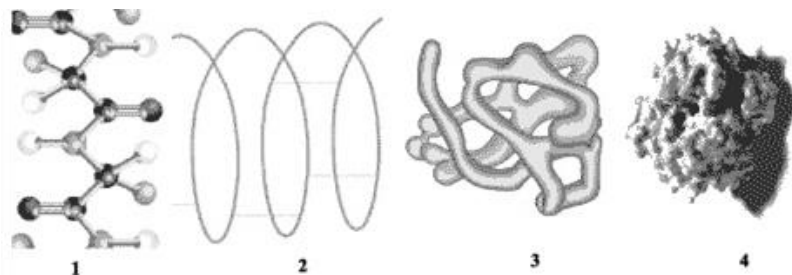


Рис. 3. Структура білкової молекули: 1 – первинна; 2 – вторинна; 3 – третинна; 4 – четвертинна.

Нативна (природна) структура білка підтримується різними типами зв'язків (рис. 4).

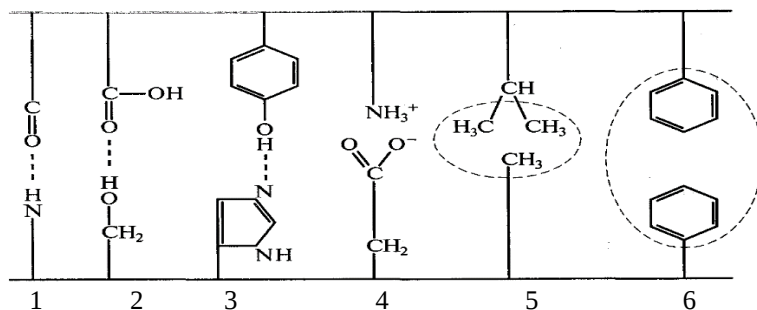


Рис. 4. Види зв'язків у молекулі білків: Водневі: 1 – між пептидними групами; 2 – між карбоксильною групою (аспарагінова і глутамінова кислоти) і спиртовим гідроксилом (серин); 3 – між фенольним гідроксилом та імідозолом. Електростатичної взаємодії: 4 – між основою і кислотою (аміногрупою лізину і карбоксильною групою аспарагінової та глутамінової амінокислот). Гідрофобні: 5 – за участі лейцину, ізолейцину, валіну, аланіну; 6 – за участі фенілаланіну.

Основними білковими компонентами меду є ферменти, синтезовані бджолами, такі як глюкозооксидаза, інвертаза та діастаза. Ферменти побудовані із білкової частини (апофермент) та небілкової (кофермент) (рис. 5).

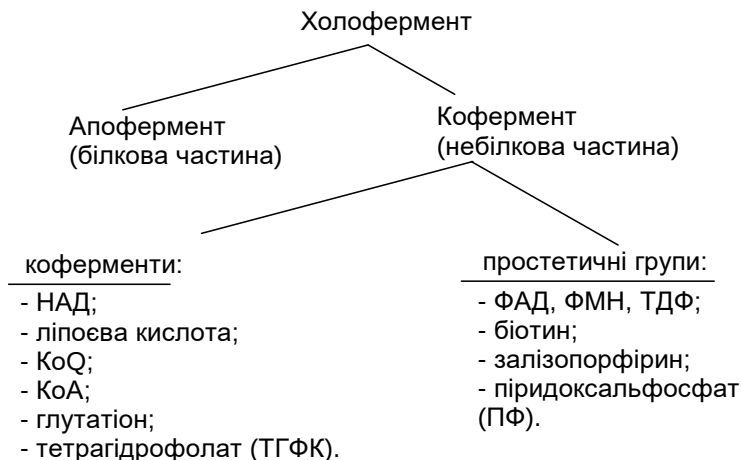


Рис. 5. Схема організації складних ферментів.

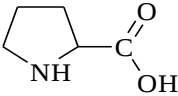
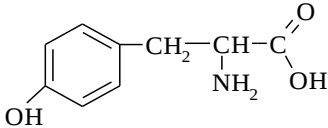
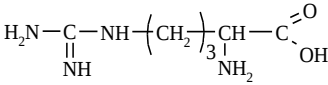
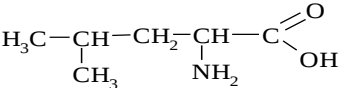
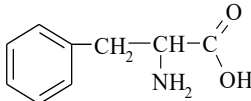
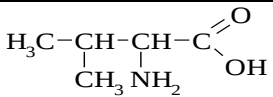
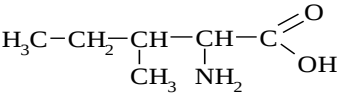
Глюкозооксидаза, яка належить до класу оксидоредуктаз, каталізує утворення пероксиду гідрогену, забезпечуючи антибактеріальну активність меду. *Інвертаза*, фермент класу гідролаз, розщеплює сахарозу до глюкози і фруктози, тоді як *діастаза* (амілаза) каталізує деградацію крохмалю, забезпечуючи оптимальну текстуру продукту.

Джерела білкових компонентів меду різноманітні. Ферменти є продуктами секреції бджіл, які додаються до меду у процесі його формування. Рослинний нектар забезпечує унікальний амінокислотний склад залежно від ботанічного походження, а пилок є додатковим джерелом білкових домішок, що можуть впливати на склад меду. Окрім того, мікробна активність, яка має місце під час зберігання меду, може сприяти появі специфічних білків і амінокислот. Географічні умови та кліматичні фактори також впливають на формування складу меду. Наприклад, у високогірних районах спостерігається збільшення концентрації проліну через адаптацію рослин до стресових умов, тоді як у тропічних регіонах домінують ароматичні амінокислоти.

Амінокислотний склад меду має унікальні особливості. Найважливішими амінокислотами є пролін, який є маркером зрілості меду, глутамінова кислота, що бере участь у регуляції нейротрансмітерних процесів, аспарагінова кислота, яка входить до

циклу Кребса, а також лізин, валін, фенілаланін та тирозин, які виконують численні біохімічні функції (табл. 2).

Таблиця 2. Вміст амінокислот у меду

Амінокислота (скорочене позначення), формула	Вміст, мг/кг	Фізіологічна роль
 Пролін (Про)	180–700	Критичний маркер зрілості меду, учасник синтезу колагену. Забезпечує міцність суглобів і зв'язок
 Тирозин (Тир)	10–40	Ключовий компонент синтезу гормонів щитовидної залози та катехоламінів
 Аргінін (Арг)	20–60	Сприяє імунній регуляції та вазодилатації; важливий для синтезу оксиду азоту
 Лейцин (Лей)	10–30	Стимулює синтез білків і відновлення тканин; важливий для енергетичного обміну
 Фенілаланін (Фен)	5–20	Попередник дофаміну, адреналіну, регулятор настрою
 Валін (Вал)	5–15	Забезпечення азотного балансу, підтримка білкового синтезу
 Ізолейцин (Лє)	5–10	Ключова роль у метаболізмі, синтезі білків та енергетичному обміні

$\begin{array}{c} \text{N} \diagup \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{array} \\ \quad \\ \text{NH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$ Гістидин (Гіс)	2–8	Сприяє утворенню гемоглобіну. Бере участь у синтезі гормону гістаміну
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{array} \\ \quad \\ \text{HO} \quad \text{NH}_2 \end{array}$ Серин (Сер)	5–12	Сприяє підвищенню імунітету та відновленню пошкоджених тканин після травм
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{array} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$ Треонін (Тре)	5–10	Бере участь в утворенні колагену й еластину, які підтримують здоров'я шкіри та зв'язок. Забезпечує детоксикацію печінки
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{array} \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C}-\text{S} \quad \text{NH}_2 \end{array}$ Метіонін (Мет)	1–5	Забезпечує метаболізм жирів і запобігає їх накопиченню в печінці. Має антиоксидантні властивості та допомагає захищати клітини від оксидативного стресу.
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{array} \\ \quad \\ \text{HO} \quad \text{NH}_2 \end{array}$ Глутамінова кислота (Глу)	15–50	Регуляція нейротрансмітерних процесів, попередник ГАМК
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{array} \\ \quad \\ \text{HO} \quad \text{NH}_2 \end{array}$ Аспарагінова кислота (Асп)	10–40	Компонент циклу Кребса, забезпечення клітинного дихання
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{array} \\ \quad \\ \text{NH}_2 \quad \text{NH}_2 \end{array}$ Лізін (Ліз)	1–5	Стимуляція кальцієвого обміну, участь у регенерації тканин

Варіабельність амінокислотного складу меду значною мірою залежить від технологічних факторів. Нагрівання меду, яке іноді використовується для покращення його консистенції або збереження, може спричиняти деградацію білкових компонентів. Це, у свою чергу, знижує біоактивність меду і може змінювати його антиоксидантні властивості.

Фізіологічна роль амінокислот є багатогранною. Пролін сприяє синтезу колагену, забезпечуючи підтримку сполучної тканини, а глутамінова кислота, окрім своєї ролі в метаболізмі, бере участь у синтезі гамма-аміномасляної кислоти (ГАМК), важливого нейромедіатора. Аспарагінова кислота забезпечує енергетичний обмін, тоді як лізин допомагає засвоювати Кальцій та формувати білкові структури.

Мед також демонструє високий рівень варіативності за амінокислотним складом залежно від його ботанічного походження. Наприклад, у меді липи підвищений вміст проліну, що сприяє формуванню стабільної текстури продукту, тоді як у гречаному меді переважають фенілаланін і тирозин, які можуть брати участь у біохімічних процесах антиоксидантного захисту. Завдяки складному складу протеїнів та амінокислот, мед є унікальним харчовим продуктом з вираженими функціональними властивостями. Подальші дослідження в цьому напрямку сприятимуть розкриттю його повного потенціалу як функціонального харчового продукту з високою терапевтичною цінністю.

2.4. Вітамінний профіль меду

Мед являє собою складний природний продукт, який містить широкий спектр біологічно активних речовин, серед яких важливе місце займають вітаміни. *Вітаміни* – це низькомолекулярні органічні сполуки, які необхідні організму для підтримання життєво важливих функцій. Вони не синтезуються в достатніх кількостях у людському організмі, тому повинні надходити з їжею. Вітаміни за їх розчинністю поділяються на жиророзчинні та водорозчинні.

Водорозчинні вітаміни: вітаміни групи В і вітамін С. Вони швидко виводяться з організму, тому їх запас потрібно постійно поповнювати.

Жиророзчинні вітаміни: вітаміни А, D, Е, К. Вони накопичуються в печінці та жировій тканині, що дозволяє їх зберігати в організмі тривалий час.

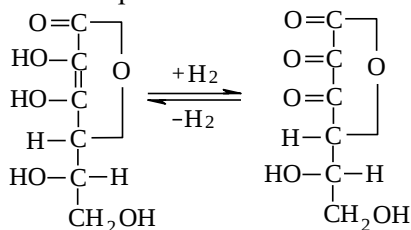
Кожна група вітамінів виконує унікальні біохімічні функції, що зумовлює їх важливість для нормального функціонування організму. Ці органічні сполуки відіграють ключову роль у

метаболічних процесах, є коензимами або антиоксидантами, котрі захищають клітини від пошкоджень. Завдяки своєму унікальному походженню, мед є джерелом вітамінів, що надходять із нектару, пилку рослин, а також синтезуються у процесі метаболічної активності бджіл. На вміст вітамінів впливають ботанічна специфіка джерела нектару, кліматичні умови, сезон збору, технології обробки та зберігання продукту (табл. 3).

Таблиця 3. Кількісний вміст вітамінів у меді

Назва вітаміну	Вміст, мг/100 г	Рекомендована денна норма, %
Аскорбінова кислота (C)	0,5–2,0	0,8–3,3
Тіамін (B ₁)	0,01–0,05	0,8–4,2
Рибофлавін (B ₂)	0,01–0,1	0,6–5,8
Ніацин (B ₃)	0,2–0,8	1,3–5,3
Пантотенова кислота (B ₅)	0,05–0,3	1,0–5,0
Піридоксин (B ₆)	0,01–0,1	0,6–5,0
Біотин (B ₇)	0,0005–0,005	1,7–16,7
Ретинол (A)	0,001–0,01	0,1–1,1
Токоферол (E)	0,05–0,3	0,3–2,0
Фолієва кислота (B ₉)	0,01–0,1	0,3–2,5

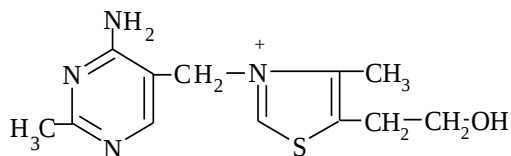
Вітамін С (аскорбінова кислота) відомий як основний антиоксидант, бере участь у багатьох реакціях обміну, є донором та акцептором протонів і електронів:



L-аскорбінова кислота D-дегідроаскорбінова кислота

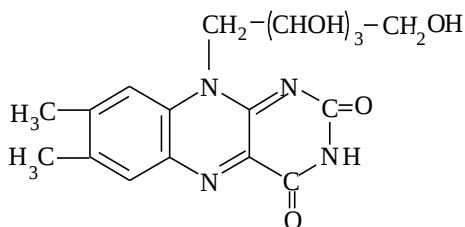
Аскорбінова кислота відіграє ключову роль у нейтралізації оксидативного стресу, стимулює імунні функції, сприяє синтезу колагену, підтримує ендотеліальну функцію судин і покращує всмоктування Феруму в кишківнику.

Вітамін В₁ (тіамін) бере участь у вуглеводно-енергетичному обміні, забезпечує ферментативне декарбоксилювання α -кетокислот, сприяє функціонуванню нервової системи.



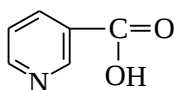
Вітамін В₁

Вітамін В₂ (рибофлавін) є ключовим компонентом коферментів ФАД та ФМН, необхідних для окисно-відновних реакцій.

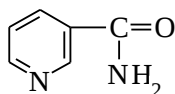


Вітамін В₂

Вітамін В₃ (ніацин) входить до складу НАД і НАДФ, відіграє важливу роль у метаболізмі вуглеводів, ліпідів та білків.

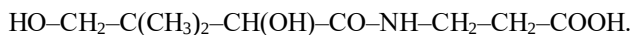


Нікотинова кислота



Амід нікотинової кислоти

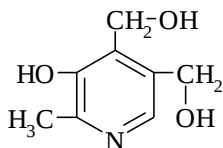
Вітамін В₅ (пантотенова кислота) утворює коензим А, необхідний для синтезу жирних кислот, ацетилювання та обміну стероїдів.



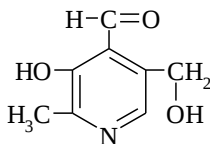
Вітамін В₅

Вітамін В₆ (піридоксин), який об'єднує три сполуки – піридоксол, піридоксаль, піридоксамін є коферментом у метаболізмі

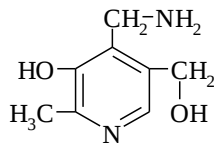
амінокислот, сприяє синтезу нейромедіаторів, таких як серотонін та γ-аміномасляна кислота.



Піродоксол

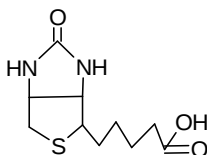


Піродоксаль



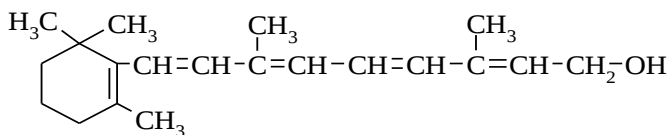
Піродоксамін

Вітамін В₇ (біотин) функціонує як кофермент у реакціях карбоксилювання, необхідних для синтезу жирних кислот і гліюконеогенезу.



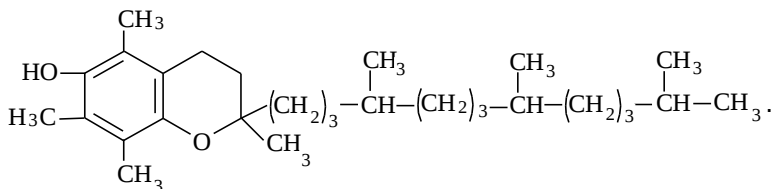
Біотин

Вітамін А (ретинол) відомий своєю роллю у підтримці функції зору. Ретинол також є важливим для регуляції клітинного росту, диференціації та імунної відповіді.



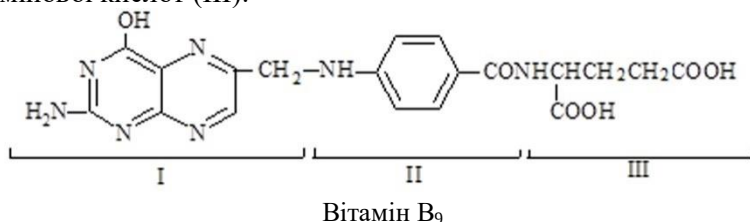
Вітамін А₁

Вітамін Е (токоферол) – це жиророзчинний антиоксидант, який захищає поліненасичені жирні кислоти в мембранах клітин від пероксидного окиснення, а також сприяє збереженню функціональної активності білків.



Вітамін Е

Вітамін В₉ (фолієва кислота) фактор росту для мікроорганізмів, є важливим компонентом у синтезі пуринових і піримідинових основ, забезпечує нормальний процес клітинного поділу та регенерації тканин, особливо у фазах активного росту. Молекула вітаміну утворена залишками птеридину (I), *p*-амінобензойної (II) та глутамінової кислот (III):



Мед характеризується низькою концентрацією вітамінів порівняно з іншими продуктами, однак синергетична дія вітамінів разом із флавоноїдами, фенольними сполуками та ферментами, що містяться в меді, значно посилює їх біологічну активність. Це дозволяє розглядати мед не тільки як цінний харчовий продукт, але і як елемент функціонального харчування, здатний сприяти профілактиці оксидативного стресу, підтримці імунітету та метаболічної рівноваги.

2.5. Мінеральні речовини меду

Мед є унікальним харчовим продуктом, багатим на легкозасвоювані мінеральні речовини, які виконують ключову роль у підтримці біохімічних і фізіологічних процесів в організмі людини та тварин. Його цінність визначається широким спектром мікро- та макроелементів, кількість яких оцінюється через показник зольності – вмісту мінеральних речовин у 100 г продукту після його спалювання. Цей показник варіюється у межах 0,006–3,45 % (середнє значення – 0,27 %), що дозволяє характеризувати мед як важливе джерело мікроелементів.

Вміст *макроелементів* становить від декількох відсотків до 0,01 %, *мікроелементів* – від 10^{-2} до 10^{-7} %. Макроелементи – це Ca, P, Mg, Na, K, Cl, S. Інші хімічні елементи вважаються мікроелементами.

Меди класифікуються залежно від рівня зольності, який є критичним параметром для оцінки їхнього хімічного складу. Квіткові меди характеризуються рівнем зольності до 0,14 %, що свідчить про їх походження з нектару квіткових рослин. Змішані меди (квітково-падеві), які отримуються з комбінації нектару і паді, мають показники зольності у межах 0,14–0,28 %. В окремих випадках зольність деяких видів меду може перевищувати 1 %, що вказує на їх високу мінеральну насиченість і можливе походження з регіонів із специфічним ґрунтовим складом.

Цукрові меди, що утворюються внаслідок штучного підгодовування бджіл розчинами сахарози, демонструють низький рівень зольності – у межах 0–0,7 %. Такий низький показник є результатом відсутності мінеральних компонентів, характерних для натурального нектару. Зниження зольності у квіткових медах до 0,1 % може бути індикатором фальсифікації шляхом додавання бурякового цукру або інших цукрових сиропів. Точне визначення зольності та її співвідношення з основними макро- і мікроелементами дозволяє не лише оцінити якість меду, а й встановити його ботанічне походження.

Зольний склад меду включає близько 50 хімічних елементів, серед яких є як основні макроелементи (Калій, Кальцій, Магній, Натрій), так і рідкісні мікроелементи (Йод, Осмій, Аурум, Радій). Унікальність меду полягає у варіативності його хімічного складу, що залежить від ботанічного походження нектару, типу ґрунтів, кліматичних умов, а також від регіональних екологічних факторів. Наприклад, мед із вереску характеризується підвищеним вмістом Алюмінію, Магнію і Мангану, що зумовлено специфічним складом ґрунтів та їх кислотністю у місцевості зростання рослин.

Лугові меди, навпаки, відзначаються багатством на Бор, Купрум та Алюміній, що свідчить про родючість ґрунтів та вміст органічних сполук, які впливають на абсорбцію мікроелементів нектароносами. Значні відмінності між видами меду можуть бути зумовлені також сезонними змінами: весняні меди можуть мати вищий вміст Калію і Фосфору, тоді як осінні меди часто багатші на Кальцій і Натрій. Дослідження мінерального складу меду дозволяє використовувати його як біомаркер екологічного стану регіону. Елементи беруть

участь у багатьох біохімічних процесах, забезпечуючи структурну, каталітичну і регуляторну функції (табл. 4).

Таблиця 4. Вміст у меду окремих хімічних елементів та їх роль

Елемент	Вміст, мкг/г	Сполуки та роль
Калій	100–4700	Ключовий іон внутрішньоклітинного середовища, регулює осмотичний тиск, кислотно-лужний баланс та функцію м'язів.
Натрій	6–400	У складі натрієвих солей підтримує електролітний баланс, забезпечує проведення нервових імпульсів.
Кальцій	5–1780	Компонент кісток і зубів, регулятор згортання крові, бере участь у скороченні м'язів і клітинній сигналізації.
Магній	3,1–300	Кофактор понад 300 ферментів, необхідний для синтезу АТФ, метаболізму ДНК і РНК, а також функціонування нервової системи.
Сульфур	30–126	Компонент амінокислот (метіоніну, цистеїну), забезпечує детоксикаційні функції печінки.
Хлор	23–200	Входить до складу шлункового соку (HCl), забезпечує травлення і підтримку водно-сольового балансу.
Силіцій	5,4–72,0	Бере участь у синтезі колагену, забезпечує еластичність і міцність сполучної тканини.
Бор	2,0–35,0	Регулятор кальцієвого метаболізму, впливає на міцність кісткової тканини.
Ферум	0,27–34,0	Необхідний для синтезу гемоглобіну і транспорту кисню до тканин. Бере участь у клітинному диханні.
Манган	0,15–40	Кофактор ферментів у метаболізмі жирів, вуглеводів і білків; підтримує антиоксидантний захист.
Алюміній	1,4–40,0	Виявляє детоксикуючі властивості, бере участь у метаболізмі іонів.
Фтор	2–44	Підтримує міцність зубної емалі, попереджає розвиток карієсу.
Цинк	0,003–69	Необхідний для функціонування імунної системи, регуляції ферментативних реакцій, синтезу білків і ДНК.

Стронцій	0,27–0,81	Сприяє мінералізації кісткової тканини, підтримує її міцність.
Літій	0,54–0,81	Регулює діяльність нервової системи, стабілізує психоемоційний стан.
Станум (олово)	0,003–27	Бере участь у регенеративних процесах тканин.
Купрум	0,02–4,8	Важливий елемент синтезу гемоглобіну, забезпечує еластичність кровоносних судин.
Титан	2,7–8,1	Підтримує відновлення тканин, виявляє антиоксидантні властивості.
Барій	0,27–2,7	Може впливати на функцію м'язів і ферментативну активність.
Фосфор	2,7–1,3	Основний компонент АТФ, ДНК і РНК, забезпечує енергетичний обмін.
Плюмбум	0,02–6,3	У малих дозах може бути безпечним, проте високі концентрації токсичні.
Хром	0,003–1,6	Регулятор глюкозного метаболізму, підтримує толерантність до інсуліну.
Кобальт	0,01–0,27	Компонент вітаміну В ₁₂ , необхідний для кровотворення і синтезу нейротрансмітерів.
Молібден	0,003–0,08	Кофактор ферментів у катаболізмі пуринів і метаболізмі сірковмісних амінокислот.
Йод	дуже малі	Ключовий елемент для синтезу тиреоїдних гормонів, що регулюють метаболізм.

Органічні сполуки меду, такі як вуглеводи, органічні кислоти, амінокислоти та поліфеноли, є ключовими носіями макро- і мікроелементів, забезпечуючи їх біодоступність і легке засвоєння організмом. Наприклад, глюконати та цитрати, що утворюються в результаті ферментативної активності бджіл, зв'язують Калій, Магній і Кальцій, сприяючи їх транспортуванню та включенню до метаболічних процесів. Амінокислоти, такі як пролін і лізин, зв'язують мікроелементи, включаючи Цинк і Купрум, утворюючи комплекси, які відіграють важливу роль у функціонуванні ферментів.

Неорганічні сполуки меду представлені солями, зокрема хлоридом натрію, карбонатом кальцію, сульфатами магнію і фосфатами, які підтримують кислотно-лужний баланс, регулюють осмотичний тиск і забезпечують структурну роль у кістковій тканині. Крім того, вони забезпечують оптимальну дію ферментів і

мембранних білків. Завдяки цьому мед виступає не лише джерелом енергії, а й важливим мінеральним компонентом у раціоні людини, що забезпечує комплексний вплив на здоров'я.

Мінеральний склад меду залежить від ботанічного походження, кліматичних умов і ґрунтового складу, що забезпечує його унікальність та варіативність біологічної активності. Однак у складі меду можуть бути присутні і важкі метали, такі як Плюмбум, Кадмій, Гідраргірум, і Арсен. Їхній вміст часто визначається екологічною обстановкою регіону збору, зокрема рівнем забруднення ґрунтів і повітря.

Свинець може потрапляти у мед через бджіл, які збирають нектар поблизу джерел промислового забруднення. Його високий вміст може негативно впливати на нервову систему і процеси кровотворення в організмі людини. Кадмій, який також може бути виявлений у меді, зазвичай походить із ґрунтів, забруднених добривами або промисловими відходами. Цей елемент є високотоксичним і впливає на нирки та кісткову тканину.

Ртуть (Меркурій) , хоча і зустрічається в меді рідко, може бути присутня через використання пестицидів у сільському господарстві. Вона є нейротоксином, що впливає на центральну нервову систему. Арсен, як правило, потрапляє у мед із забруднених водних ресурсів або ґрунтів, що містять цей елемент. Його токсична дія полягає у порушенні функцій клітин і ферментативних процесів.

Регулярний контроль меду на вміст важких металів є необхідною умовою для забезпечення його безпечності та відповідності харчовим стандартам. Низький рівень цих елементів свідчить про високу якість продукту та його екологічну чистоту.

2.6. Біологічно активні сполуки меду

Мед представляє собою складну біологічну систему, багату на різноманітні активні компоненти, які формують його фізико-хімічні, органолептичні та терапевтичні властивості. Ці речовини походять з рослинного нектару, ферментативної діяльності бджіл і подальших біохімічних перетворень під час дозрівання меду. Основними складовими, що визначають унікальність меду, є органічні кислоти, поліфенольні сполуки, а також леткі органічні компоненти, такі як спирти, альдегіди, кетони й естери (табл. 5).

Таблиця 5. Вміст біологічно активних сполук у меду та їх роль

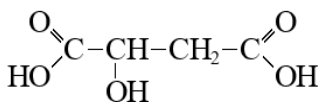
Сполука	Вміст, мг/кг	Функціональне значення
Поліфеноли	200–500	Антиоксидантна та протизапальна активність
Фенольні кислоти	50–100	Антибактеріальна дія
Флавоноїди	20–100	Захист судин, профілактика онкозахворювань
Органічні кислоти	500–800	Регуляція рН, антибактеріальні властивості
Спирти (етанол, фенілетанол)	10–50	Формування аромату
Естери (етилформіат, метилантранілат)	5–20	Надання фруктових та квіткових ноток
Альдегіди (бензальдегід)	5–10	Формування горіхових і фруктових ароматів
Кетони (β-йонон)	2–5	Тонкі ароматичні відтінки

Органічні кислоти утворюються в результаті перетворення нектару в мед після фізичних і хімічних модифікацій. Деякі поширені органічні кислоти: лимонна, глютамінова, аспарагінова, молочна, фумарова, масляна, малінова, оцтова, глюконова, хінна, винна, мурашина, галактуринова, гліоксилова, яблучна, глутарова, пропіонова, α-гідроксиглутарова, 2-гідроксимасляна, піровиноградна, щавлева, ізолимонна, бурштинова, α-кетоглутарова, 2-оксопентанова, метилмалінова, шикімова та глюконова кислоти, яка є найбільш життєво важливим видом органічних кислот у складі меду.

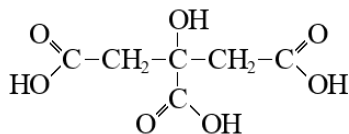
Органічні кислоти є важливими регуляторами кислотності меду, забезпечуючи його стабільність і антибактеріальні властивості. Так, глюконова кислота, яка утворюється за участю ферменту глюкозооксидази, відіграє центральну роль у створенні кислого середовища, яке перешкоджає розвитку патогенів.



Крім того, кислоти, такі як мурашина (H–COOH), ацетатна (CH₃–COOH), яблучна та лимонна, формують характерний кислий присмак, збагачуючи органолептичні властивості меду.

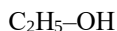


Яблучна кислота

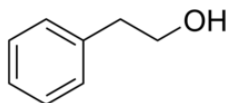


Лимонна кислота

Аромат і смаковий профіль меду формуються завдяки наявності легких органічних сполук. Спирти, як-от етанол і фенілетиловий спирт, відповідають за солодкі та квіткові нотки в ароматі.

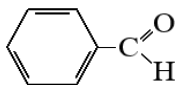


Етанол

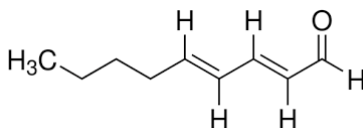


Фенілетиловий спирт

У медах різного походження містяться такі альдегіди: 3-метил-бутаналь, гептаналь, 3-метил-2-бутаналь, нонаналь, фурфурол, деканаль, бензальдегід, бузковий альдегід, 5-метил-2-фуранкарбоксальдегід, ацетальдегід і 3-фенілфеніл-пропеналь. Альдегіди, такі як бензальдегід і нонадієналь, додають фруктових і горіхових акцентів.

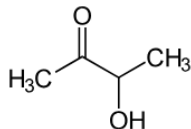


Бензальдегід

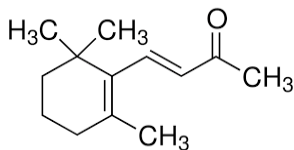


Нонадієналь

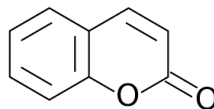
Кетони, наприклад ацетоїн і β-йонон, забезпечують тонкі ароматичні відтінки, що варіюються залежно від ботанічного походження нектару.



Ацетоїн



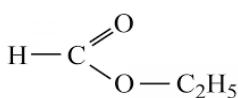
β-Йонон



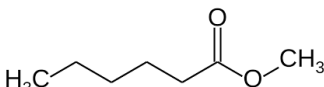
Кумарин

Кумарин – ароматична сполука з формулою $C_9H_6O_2$ має приємний солодкуватий запах.

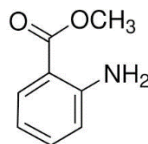
Естери, такі як етилформіат і метилгексаноат, підсилюють загальну фруктову-квіткову композицію меду.



Етилформіат



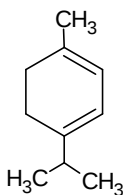
Метилгексаноат



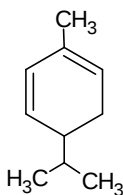
Метилантранілат

Особливе значення має метилантранілат – ефірна сполука, що надає меду виражений фруктовий аромат із нотками винограду. Ця речовина є характерною для деяких ботанічних сортів меду, таких як апельсиновий та конюшиновий, і значно збагачує його органолептичні властивості.

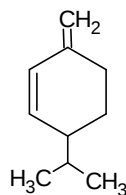
Особливе значення у формуванні аромату меду мають терпени. *Терпени* – велика група вуглеводнів, побудованих з фрагментів ізопрену C_5H_8 (2-метилбутадієну-1,3). Загальна формула терпенів – $(C_5H_8)_n$, де n може дорівнювати 2, 3, 4 і т.д. За кількістю мономерних ланок терпени поділяються на ряди: монотерпени $C_{10}H_{16}$, або власне терпени; полуторні терпени (сесквітерпени) $C_{15}H_{24}$, дитерпени $C_{20}H_{32}$, тритерпени $C_{30}H_{42}$ і політерпени $(C_5H_8)_4$. Для меду характерні такі монотерпени, як α -терпінен і феландрен:



α -Терпінен



α -Феландрен

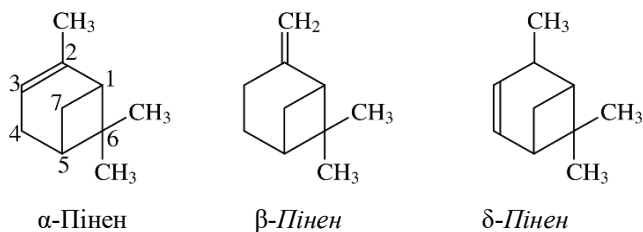


β -Феландрен

α -Терпінен забезпечує легкий цитрусовий аромат із деревними нотками, що характерно для меду, отриманого з квітів цитрусових рослин.

Феландрен, зі своїм тонким камфорним ароматом із солодкими нюансами, підсилює складність букету меду, особливо в медах, отриманих із рослин із прямими характеристиками.

Пінени – безбарвні рідини із запахом соснової хвої, добре розчиняються в неполярних органічних розчинниках, нерозчинні у воді. Окислюються на повітрі, перетворюючись на в'язку жовту олію. Пінени відносяться до біциклічних терпенів складу $C_{10}H_{16}$. Відомі 3 ізомери, що відрізняються положенням подвійного зв'язку.



α -Пінен додає меду відтінки свіжості з деревними і хвойними нотками, що робить його аромат стійким та насиченим.

Фенольні компоненти визначають антиоксидантний і протизапальний потенціал меду, їх поділяються на флавоноїди (антоціанідини, халкони, флаванолі, флавони, флаванони та ізофлавоноїди) (рис. 6) та нефлавоноїди (фенольні кислоти) (рис. 7). У меді виявлені такі флавоноїди, як кверцетин, мірицетин, кемпферол, хризин, піноцембрін, пінобанксин, галангін, гесперетин, а також кофеїнова, елагова, сиригорова, ферулова, ванілова, п-кумарова, галова, розмаринова, бензойна і хлорогенова кислоти.

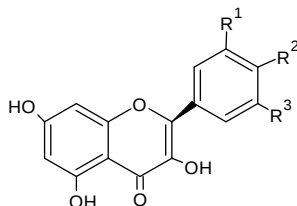
Кожен із флавоноїдів характеризується унікальним біохімічним потенціалом, що зумовлює його роль у забезпеченні фізіко-хімічних властивостей меду та впливі на організм людини.

Кверцетин – це один із найпотужніших природних антиоксидантів, що забезпечує захист клітин від вільнорадикальних пошкоджень, сприяє зменшенню запальних процесів та підвищує імунітет. Кверцетин входить до групи вітамін Р. Майже не розчиняється у воді; розчиняється в етанолі є дуже гірким. Має антиоксидантні властивості, протинабрякову, спазмолітичну, антигістамінну, протизапальну дію; антиоксидант, діуретик. Додає меду запальнопротидійні властивості.

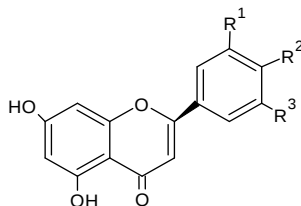
Апігенін взаємодіє з різними молекулярними мішенями в організмі, надаючи свої фармакологічні ефекти. Він модулює такі ферменти, як циклооксигенази і ліпоксигенази, зменшуючи вироблення медіаторів запалення. Крім того, він взаємодіє з

ядерними факторами транскрипції, такими як NF- κ B, які регулюють гени, що беруть участь у запаленні та виживанні клітин. Крім того, апігенін може зв'язуватися з декількома протеїнкіназами, включаючи РІЗК, Akt і MAPK, і модулювати їх, впливаючи на ріст, виживання та шляхи диференціювання клітин.

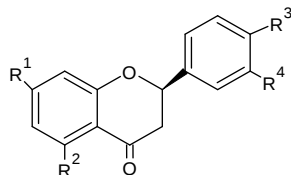
Флавоноли	R ¹	R ²	R ³
Ізорамнетин	OCH ₃	ОН	Н
Кемпферол	Н	ОН	Н
Мірицин	ОН	ОН	ОН
Кверцетин	ОН	ОН	Н
Галангін	Н	Н	Н



Флавони	R ¹	R ²	R ³
Апігенін	Н	ОН	Н
Хризин	Н	Н	Н
Трицетин	ОН	ОН	ОН
Лютеолін	ОН	ОН	Н



Флаванони	R ¹	R ²	R ³	R ⁴
Пінобанксин	ОН	ОН	Н	Н
Гесперетин	Н	Н	OCH ₃	ОН
Нарінгенин	ОН	ОН	ОН	Н



Дигідрофлаванони	R ¹	R ²	R ³
Пінобанксин	Н	Н	Н

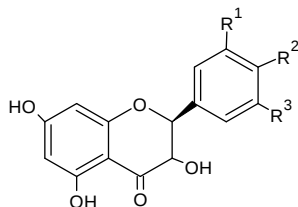


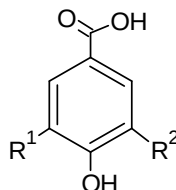
Рис. 6. Хімічна структура деяких фенольних компонентів у меді.

Мірицетин сприяє нормалізації ліпідного обміну, покращує функціонування серцево-судинної системи. Забезпечує меду антиоксидантний потенціал.

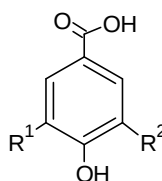
Кемпферол забезпечує цілісність клітинних мембран, захищає судинний ендотелій, запобігає розвитку хронічних захворювань. Надає меду здоров'ячі властивості щодо судинної системи.

Хризин діє на рецептори кортизолу, сприяє зниженню стресу та покращенню сну. Додає меду заспокійливі властивості.

Бензойні кислоти	R ¹	R ²
Сирингова	OCH ₃	OCH ₃
Галова	ОН	ОН
Бензойна	Н	Н
Ванілова	Н	OCH ₃
Протокахетова	Н	ОН



Коричні кислоти	R ¹	R ²
Ферулова	ОН	OCH ₃
Корична	Н	Н
Кавова	ОН	ОН
<i>n</i> -Кумарова	ОН	Н



Інші кислоти	R ¹	R ²	R ³
Гомогентизинова	ОН	ОН	Н
Мандаринова	Н	Н	ОН
Фенілацетатна	Н	Н	Н

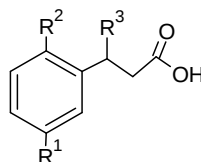


Рис. 7. Хімічна структура деяких важливих фенольних та ароматичних кислот у меді.

Піноцембрін ефективний проти бактерій та грибків, запобігає розвитку запальних реакцій. Забезпечує меду антибактеріальні властивості.

Пінобанксин забезпечує зменшення оксидативного стресу, захищає клітини судинного ендотелію. Прискорює загоєння ран.

Галангін має яскраво виражені антибактеріальні властивості, знищує патогенну мікрофлору.

Гесперетин покращує кровообіг, підтримує еластичність судин. Забезпечує регульовальні властивості щодо системного кровообігу.

Кавова кислота надає меду регенеративних властивостей, сприяє очищенню печінки від токсинів.

Сирингова кислота відома своїми антиоксидантними властивостями, сприяє зниженню оксидативного стресу в організмі. Додає меду властивості нейтралізації вільних радикалів.

Ферулова кислота захищає шкіру від ультрафіолетового випромінювання, стимулює синтез колагену, що покращує регенерацію тканин. Надає меду дерматопротекторні властивості.

Ванілова кислота має антисептичний ефект, сприяє підтримці здоров'я нервової системи. Її наявність у меді збагачує його заспокійливими та релаксуючими властивостями.

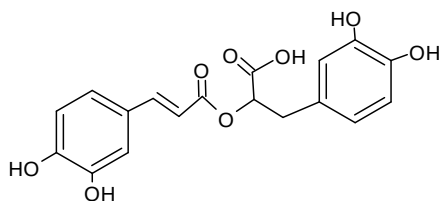
n-Кумарова кислота виявляє протимікробні властивості, сприяє зменшенню запальних процесів у тканинах. Покращує антисептичні характеристики меду.

Галова кислота є потужним антиоксидантом, проявляє протипухлинну активність, захищає клітини від старіння. Збагачує мед антиоксидантним потенціалом.

Бензойна кислота виконує роль природного консерванту, має антимікробні властивості. Її присутність у меді сприяє збільшенню тривалості зберігання продукту.

Гомогентизинова кислота має помірну активність проти патогенних мікроорганізмів, що підтверджує їх традиційне використання та медичну цінність.

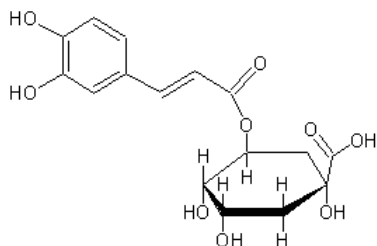
Розмаринова кислота сприяє підтримці здоров'я шкіри, має антибактеріальні та протизапальні властивості. У меді підсилює антимікробний ефект.



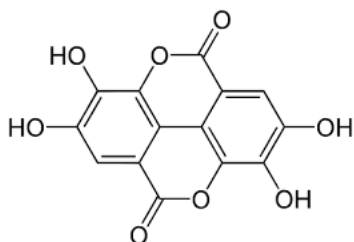
Розмаринова кислота

Хлорогенова кислота має потенційні корисні властивості для здоров'я, такі як захист клітин від окислювального стресу, протизапальні властивості та можливість знижувати артеріальний тиск. Вона також може впливати на обмін речовин, включаючи зниження рівня цукру в крові та підтримку здорової ваги.

Елагова кислота проявляє протипухлинну активність, допомагає захищати ДНК від пошкоджень, сприяє профілактиці онкологічних захворювань. Надає меду антиоксидантної дії.



Хлорогенова кислота



Елагова кислота

Концентрація поліфенолів і летких сполук залежить від ботанічного походження меду. Наприклад, темні сорти, такі як гречаний чи каштановий мед, містять більшу кількість поліфенолів порівняно зі світлими сортами, такими як акацієвий. Це зумовлено вмістом специфічних метаболітів у нектарі рослин та особливостями ферментаційних процесів.

Біологічно активні компоненти меду зумовлюють його функціональні властивості, що включають антиоксидантну, протизапальну, антимікробну та імуностимулюючу дію. Ці характеристики роблять мед не лише харчовим продуктом, але й важливим компонентом лікувально-профілактичної терапії. Сучасні наукові дослідження продовжують розширювати розуміння хімічного складу меду, підтверджуючи його унікальність і цінність.

2.7. Мікрофлора меду

Мікрофлора меду як продукту бджільного виробництва поступає у фокус наукового дослідження завдяки його унікальному хімічному складу та біологічним властивостям. Виникнення мікрофлори обумовлене комплексною взаємодією поступних з рослин нектару та пилку, що проходять ферментаційні та метаболічні процеси за участю слини бджіл. Ензимні та олегопептидні сполуки забезпечують антимікробну дію та стимулюють стабільність меду.

Мікрофлора меду охоплює приблизно 40 видів осмофільних дріжджів та грибів (рис. 8). Колонізація меду цими мікроорганізмами здійснюється через повітря, нектар та інші шляхи. У середньому, в

1 грамі меду, налічується приблизно 1 тисяча клітин дріжджів та від 30 до 3 тисяч клітин цвільових грибів. В окремих зразках кількість дріжджів може досягати до 1 мільйона. У поверхневих шарах меду, товщиною до 5 см, знаходяться також бактерії.



Рис. 8. Представники мікрофлори меду.

Найбільше значення мають дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* та *Zygosaccharomyces* spp., які сприяють активній ферментації вуглеводів, що забезпечує особливий смак меду. Гриби *Aspergillus* spp. та *Penicillium* spp. часто зустрічаються у запліснілому середовищі і здатні виробляти мікотоксини, що негативно впливають на якість продукту. Бактерії *Bacillus* spp. та *Clostridium* spp. пов'язані зі збільшенням кислотності меду при збільшенні вологості, але знищуються при низькому вмісті води. Така різноманітність мікрофлори визначає багатофакторний характер хімічних змін у меду за різних умов.

Контрольні запитання

1. Як вміст води впливає на стабільність меду?
2. Які моносахариди домінують у складі меду, і як їх співвідношення впливає на процес кристалізації?
3. Які ферменти є основними білковими компонентами меду?
4. Чому пролін вважається маркером зрілості меду?
5. Які групи вітамінів присутні в меді, і яка їх біологічна дія?
6. Як зольність використовується для оцінки мінерального складу меду та його ботанічного походження?
7. Які поліфенольні сполуки присутні в меді, і які їх основні функції?
8. Як ботанічне походження впливає на вміст поліфенолів у меді?
9. Які леткі органічні сполуки формують аромат меду, і які їхні ключові функції?
10. Як терпени впливають на ароматичний профіль меду залежно від його ботанічного походження?

3. БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ УТВОРЕННЯ МЕДУ

3.1. Сировина для утворення меду

Утворення меду починається зі збору бджолами сировини, що є основою для цього цінного продукту. Нектар, падь та квітковий пилок – це головні компоненти, які забезпечують хімічну та біологічну різноманітність меду.

Нектар становить основну сировину для утворення меду та утворюється нектарниками квітки. Нектарними квітами є акація, липа, гречка, соняшник, конюшина та лаванда та інші рослини. Ці рослини забезпечують не лише високий вміст цукрів, а й унікальні аромати, що формують різноманіття смакових якостей меду. Різні рослини утворюють різну кількість нектару. Одна квітка липи виробляє на день нектару в кількості 2,3 мг. Молоді квіти зазвичай не мають нектару, він утворюється під час цвітіння. Утворення нектару залежить від пори дня (як правило, воно найвище по обіді) і температури повітря (більшість рослин для виробництва нектару вимагає температури вище 10–12 °C). Як правило, кількість нектару зменшується під час посухи.

Нектар – це солодка рідина, що складається головним чином з води та цукрів (сахарози, глюкози та фруктози). Крім того, в нектарі містяться мінеральні речовини, амінокислоти та ароматичні сполуки, що впливають на смак та запах меду (табл. 6).

Високий вміст фруктози, наприклад у нектарі акації та лаванди, забезпечує тривале зберігання меду в рідкому стані. Гречаний мед відзначається насиченим смаком завдяки високому вмісту сахарози.

Видову специфічність хімічному складу нектару надають леткі речовини – носії характерного запаху і смаку, та рослинні пігменти. Серед ароматичних сполук нектару виділяються флавоноїди, терпени, фенольні кислоти та ефіри, які додають меду характерний аромат і сприяють його корисним властивостям. Дослідження запашних речовин деяких видів вітчизняного меду і нектару, з якого був отриманий мед, виявили 105 речовин, у т.ч. 70 летких сполук. Так у нектарі квіток соняшника було ідентифіковано 27 сполук, а серед ароматичних речовин соняшникового меду – 45.

Таблиця 6. Склад нектару різних рослин

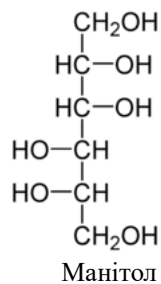
Рослина	Вміст цукру, %			Додаткові компоненти	Характеристика смаку
	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза		
Акація	2,1	5,4	0,2	Ароматичні сполуки, органічні кислоти	Ніжний, легкий
Липа	3,2	4,8	0,1	Флавоноїди, терпени	Інтенсивний, пряний
Гречка	4,5	3,7	2,3	Азотисті сполуки, мінеральні солі	Терпкий, насичений
Соняшник	3,6	4,2	0,5	Антиоксиданти, декстрини	Солодкий, насичений
Конюшина	2,8	5,6	0,3	Ефіри, органічні кислоти	Легкий, квітковий
Лаванда	3,0	5,0	0,4	Ароматичні сполуки, природні антиоксиданти	Ароматний, насичений

У нектарі може бути деяка кількість спиртів, зокрема, манітолу декстринів (продуктів розщеплення крохмалю), азотистих і ароматичних речовин, мінеральних солей, різних органічних і неорганічних кислот, ферментів (в основному класу гідролаз).

Деякі нектари також містять біологічно активні сполуки, такі як алкалоїди, сапоніни, вітаміни (наприклад, вітамін С), органічні кислоти (лимонна та яблучна кислоти) і природні антиоксиданти, що мають антимікробні та антиоксидантні властивості, додаючи меду додаткову цінність.

Барвні речовини нектару представлені жиророзчинними пігментами (похідні каротину, ксантофілу, хлорофілу), які надають жовтуватий або зеленуватий відтінок світлим медам, і водорозчинними речовинами (антоціани, таніни), які найчастіше є компонентами темних медів.

Нектар деяких медоносів (родів азалія, лавровишня, багно, чемериця, рододендрон, блекота, дурман, беладона, тютюн, авран, анабазис, вовче лико, жовтець, вороняче око, зірчатка, аконіт, олеандр) містить отруйні речовини, присутність яких надає меду токсичності, може викликати лихоманку, нудоту, блювання, діарею.



Так нектар дурману індіанського та мед з нього містять скополамін, який є тропановим алкалоїдом та антагоністом мускаринових рецепторів. Мускаринові рецептори беруть участь у проведенні ацетилхолін-залежних нервових сигналів у синапсах ЦНС, автономних гангліїв, гладкої мускулатури та інших систем.

Хімічний склад нектару, а відповідно, й хімічний склад та харчова цінність меду залежать від джерела нектару, часу його збирання, регіону й місця зростання нектароносних рослин та решти чинників навколишнього середовища.

Важливим аспектом є концентрація цукрів у нектарі, яка впливає на його привабливість для бджіл і якість майбутнього меду.

Падь є складною сумішшю речовин, які виділяються комахами (наприклад, попелицями) або рослинами. Її унікальний склад включає високу концентрацію мінеральних речовин і біологічно активних сполук (табл. 7).

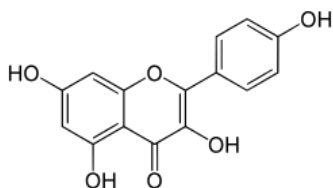
Таблиця 7. **Вміст мінеральних речовин у попередниках меду**

Елемент	Вміст, мг/100 г		Елемент	Вміст, мг/100 г	
	Падь	Пилок		Падь	Пилок
Калій	300–500	200–300	Натрій	5–10	1–5
Магній	25–50	20–40	Купрум	1–2	0,5–1,0
Ферум	7–10	5–7	Манган	0,5–1,0	0,2–0,8
Кальцій	40–80	30–60	Селен	0,02–0,10	0,01–0,05
Цинк	3–6	2–4	Силіцій	15–25	10–20
Фосфор	20–40	15–30	Сульфур	15–20	10–15

Медова роса, яка є специфічним видом паді, формується шляхом виділення рослинами під впливом стресових факторів, таких як посуха чи надлишок вологи. Вона збагачена цукрами, органічними кислотами, ароматичними речовинами та ферментами. Її ключовим компонентом є мелізитоза – трисахарид, який сприяє швидкому зацукренню меду та надає йому специфічні властивості.

В'язкість паді значно перевищує в'язкість нектару, що обумовлено високим вмістом цукрів, зокрема трисахаридів. Це впливає на технологічні процеси переробки та подальше зберігання продукту. Падь також багата на флавоноїди, такі як апігенін, кемпферол і кверцетин, а також поліфеноли, включаючи

хлорогенову та ферулову кислоти, які забезпечують її антиоксидантні та протизапальні властивості.



Кемпферол

Квітковий пилок є важливим компонентом, який забезпечує бджіл необхідними нутрієнтами та відіграє ключову роль у формуванні хімічного складу меду. Пилок квітковий, або мікроспори рослин, утворюється в пильовиках квіткових рослин і відіграє ключову роль у процесах запилення та розмноження. Кожне пилкове зерно оточене подвійною оболонкою, всередині якої знаходиться протоплазма з двома ядрами, що забезпечує його біологічну активність.

Морфологічні властивості пилкових зерен – форма, розмір, забарвлення – мають значні видові відмінності, що дозволяє з високою точністю визначати рослини-донори пилку та нектару. Діаметр пилкових зерен варіюється в межах 0,015–0,050 мм. Форми пилкових зерен різні, зокрема видовжені, кулясті та трикутні (рис. 9).

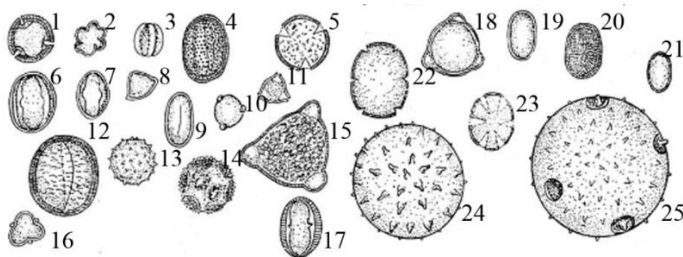


Рис. 9. **Пилкові зерна медоносних рослин:** 1 – липи; 2, 3 – фацелії; 4 – гречки; 5 – маку; 6 – конюшини червоної; 7 – конюшини білої; 8 – акації; 9 – еспарцету; 10 – берези; 11 – ліщини; 12 – берізки; 13 – соняшнику; 14 – кульбаби; 15 – зніту; 16 – верби; 17 – волошки; 18 – огірка; 19 – медунки; 20 – гірчиці; 21 – суріпиці; 22 – розхідника; 23 – шавлії; 24 – бавовнику; 25 – гарбуза.

Поверхня зерен часто має маслянисту або цукристу текстуру, що полегшує їх адгезію до тільця запилювачів. У ентомофільних рослин зовнішня оболонка пилкових зерен оснащена виростами – шипами, гребінцями, горбками – які сприяють ефективному перенесенню пилку комахами. Забарвлення оболонки пилкових зерен варіюється залежно від виду рослини, що помітно при аналізі обніжжя або перги у стільниках: білий колір (малина), жовтуватий (яблуня), золотаво-жовтий (соняшник), темно-червоний (абрикоса).

Вміст окремих компонентів пилку суттєво залежить від виду рослини-донора. Квітковий пилок є багатим джерелом білків, що складають від 20 % до 30 % його сухої маси. Зокрема: зерно жита містить 11 % білків, а пилок – до 40 %. Пилок ліщини містить до 30 % білка, тоді як ядра горіхів – лише 11,6 %.

Найбільша група білків у пилку – глобуліни, які виконують ключову роль у підтримці структурної цілісності клітин, забезпечують зв'язування води та підтримку осмотичного тиску. Вони також беруть участь у імунологічних процесах та сприяють формуванню біохімічної стійкості пилку до зовнішніх факторів.

Протеїни-ферменти пилку забезпечують метаболічні функції та допомагають у розщепленні вуглеводів, ліпідів і білків. Вони також відіграють важливу роль у антиоксидантному захисті, сприяють знешкодженню вільних радикалів і підтримують енергетичний баланс у клітинах.

Вміст білків залежить від виду рослин та умов збирання. Білки пилку характеризуються високою біологічною цінністю завдяки оптимальному співвідношенню незамінних амінокислот (табл. 8).

Таблиця 8. Усереднений амінокислотний склад пилку медоносних рослин

Амінокислота	Вміст, мг/г	Амінокислота	Вміст, мг/г
Аланін	15,3	Метіонін	2,5
Аргінін	12,1	Фенілаланін	8,1
Аспарагінова кислота	16,5	Пролін	10,7
Гістидин	4,2	Серин	9,6
Гліцин	13,8	Треонін	6,8
Глутамінова кислота	18,7	Триптофан	2,2
Ізолейцин	7,4	Тирозин	5,4
Лейцин	9,2	Валін	8,9
Лізін	11,3		

Окрім білків, пилок багатий на вітаміни (групи В, С, Е) і гормони росту, що робить його незамінним джерелом поживних речовин для бджіл (табл. 9). Завдяки унікальному хімічному складу пилок забезпечує потреби бджолої сім'ї у вітамінах, мінералах та білках, критичних для їхнього росту, розвитку та продуктивності.

Таблиця 9. Усереднений вміст вітамінів у пилку медоносних рослин

Вітамін	Вміст, мг/г	Вітамін	Вміст, мг/г
Вітамін А	0,4	Вітамін В ₂	0,8
Вітамін С	2,1	Вітамін В ₃	1,2
Вітамін Е	0,5	Вітамін В ₅	0,9
Вітамін В ₁	0,6	Вітамін В ₆	0,7

Квітковий пилок, нектар та падь як основні компоненти сировини для утворення меду визначають його склад і функціональні характеристики.

3.2. Збір нектару

Медоносні бджоли (*Apis mellifera*) демонструють складну морфофункціональну організацію, яка спеціалізується на ефективному зборі та транспортуванні нектару (рис. 10).



Рис. 10. Анатомічна будова бджоли.

Хоботок, як високоадаптована структура, складається з модифікованих ротових органів, що утворюють довгу й гнучку трубку. Внутрішня поверхня апарату вистелена епітелієм, здатним до швидкого всмоктування нектару, а зовнішня текстура сприяє ефективній взаємодії з різноманітними морфологічними формами квіток. Довжина хоботка оптимізована для досягнення глибоких нектарників.

Зобик слугує резервуаром для тимчасового зберігання нектару. Його м'язові стінки забезпечують необхідний тиск для транспортування рідини, тоді як залозистий епітелій виділяє ферменти, такі як інвертаза, що здійснюють гідроліз сахарози до моносахаридів. Ця ферментативна активність сприяє попередній обробці нектару, підвищуючи його біохімічну стабільність.

Передні кінцівки бджіл адаптовані для збору та фільтрації пилку. Середні й задні кінцівки оснащені спеціалізованими утвореннями – пилковими кошиками, які дозволяють транспортувати зібраний пилок разом із нектаром. Ця багатофункціональна система підвищує ефективність збору ресурсів і сприяє одночасному виконанню запилення.

Слинні залози виконують не лише травну, а й трансформувальну функцію, продукуючи ферменти, що забезпечують хімічну модифікацію нектару вже на етапі збору (рис. 11). Інвертаза розщеплює складні цукри до простіших форм, таких як глюкоза та фруктоза, що значно спрощує подальші стадії дозрівання меду.

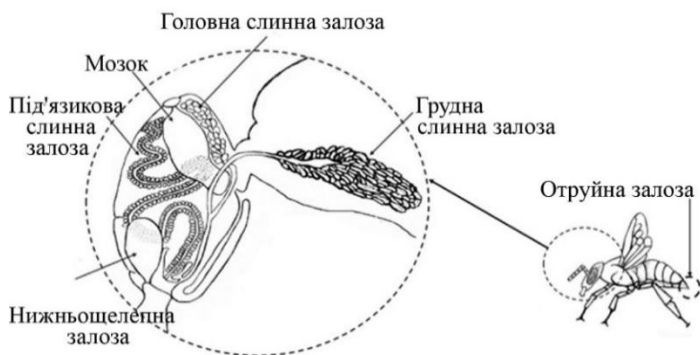


Рис. 11. Слинні залози бджоли.

Збір нектару є багатоступеневим процесом, що включає виявлення джерел, фізичний збір та початкову хімічну модифікацію нектару. Використовуючи високоорганізовану сенсорну систему, бджоли здатні ідентифікувати квітки за їхніми хімічними сигналами, такими як леткі органічні сполуки та нектарні виділення. Після знаходження джерела хоботок вводиться у нектарник квітки, де рідина капілярно всмоктується у зобик. Одночасно з цим здійснюється первинна ферментативна обробка, що забезпечує оптимальну в'язкість і стабільність нектару для транспортування.

У процесі збору пилок осідає на волоски кінцівок і транспортується до пилових кошиків, сприяючи як утворенню пилових грудок, так і ефективному запиленню рослин. У зобику відбувається інтеграція ферментів і нектару, що запускає ключові біохімічні реакції. Цей процес продовжується навіть під час транспортування до вулика.

У вулику бджоли передають зібраний нектар іншим особинам через механізм трофалаксису, який полягає у передачі рідини від однієї бджоли до іншої через їхні ротові органи, що сприяє рівномірному розподілу ферментів у колонії, виконує комунікаційну функцію, дозволяє обмінюватися інформацією про якість та кількість зібраного нектару. Після передачі у воскові комірки нектар піддається дегідратації завдяки вентиляції крилами бджіл.

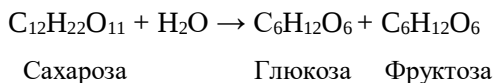
Втрата вологи концентрує вміст цукрів, створюючи умови для формування зрілого меду. Цей кінцевий етап є критично важливим для підтримання енергетичного потенціалу колонії та забезпечення її тривалого виживання. Після передачі у воскові комірки нектар піддається дегідратації завдяки вентиляції крилами бджіл. Втрата вологи концентрує вміст цукрів, створюючи умови для формування зрілого меду. Цей кінцевий етап є критично важливим для підтримання енергетичного потенціалу колонії та забезпечення її тривалого виживання.

3.3. Роль ензимів у трансформації нектару у мед

Роль ензимів у трансформації нектару у мед є центральною для формування його фізико-хімічних, органолептичних та біологічних характеристик. Цей процес базується на складних ферментативних реакціях, які відбуваються завдяки діяльності глоткових залоз

бджіл, а також наявним у нектарі та пилку компонентам. Мед, будучи продуктом з високою харчовою і лікувальною цінністю, отримує свої унікальні властивості саме завдяки дії ензимів.

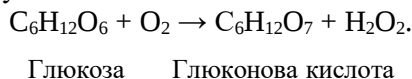
Інвертаза, також відома як сахараза, є ключовим ферментом, що каталізує гідроліз сахарози до глюкози та фруктози за схемою:



Цей процес сприяє зниженню в'язкості субстрату, полегшуючи його подальшу обробку, а також стабілізує хімічний склад нектару. Утворення простих цукрів забезпечує створення умов, за яких мед стає більш стійким до мікробної деградації. Крім того, інвертаза визначає основу для формування кінцевого органолептичного профілю продукту.

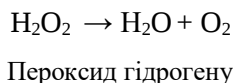
Діастаза, або амілаза, є індикатором автентичності та якості меду. Вона бере участь у розщепленні складних полісахаридів, таких як крохмаль, декстрини та фруктани, що можуть потрапляти до нектару. Її дія забезпечує утворення мальтози та інших простих цукрів, які є важливими для енергетичного балансу меду та його стабільності. Присутність діастази в меді є свідченням природності ферментативних процесів.

Глюкозооксидаза каталізує утворення глюконової кислоти та перексиду гідрогену з глюкози:



Ці сполуки мають важливі функціональні наслідки: глюконова кислота знижує рН меду, що створює несприятливі умови для розвитку патогенних мікроорганізмів. Отриманий пероксиду гідрогену має антисептичні властивості, що додатково захищає нектар під час транспортування та зберігання.

Водночас каталаза, що також присутня в меді, регулює рівень перексиду гідрогену, розщеплюючи його на воду та кисень, що запобігає накопиченню надлишкових оксидантів:



Протеази, які розщеплюють білкові компоненти пилку, є важливими для формування аромату та смаку меду. Вони каталізують утворення амінокислот і пептидів, які додають продукту поживної цінності та сприяють утворенню його характерних органолептичних властивостей.

Ці реакції допомагають стабілізувати нектар, запобігаючи його бродінню та підвищуючи стійкість до мікробного забруднення. Під час збору бджоли здатні оцінювати вміст цукрів у нектарі, залишаючи менш цінні джерела.

Під час дозрівання меду ферментативні процеси тривають, забезпечуючи остаточне формування його властивостей. Гідроліз складних цукрів до моносахаридів підвищує стабільність продукту, тоді як синтез летких сполук відповідає за формування аромату. Випаровування води знижує вологість меду, що перешкоджає розвитку мікроорганізмів і забезпечує тривалий термін зберігання.

Фактори, що впливають на активність ензимів, включають *температуру, вологість та кислотність* середовища. Оптимальна температура для ферментативної активності становить 35–37 °C; нагрівання меду вище 40 °C призводить до інактивації ензимів, що може негативно вплинути на його якість. Кисле середовище ($\text{pH} < 4,5$) сприяє збереженню активності ключових ферментів, таких як глюкозооксидаза.

Ензими є основою для трансформації нектару у мед, визначають його стабільність, антибактеріальні властивості та тривалий термін зберігання. Вони не лише формують хімічний склад меду, але й додають йому лікувальних властивостей, що робить цей природний продукт унікальним за своєю харчовою та біологічною цінністю.

3.4. Випаровування води та ущільнення меду

Процес випаровування води та ущільнення меду є одним із визначальних етапів у формуванні зрілого продукту. Цей етап забезпечує фізико-хімічну стабільність, органолептичні властивості та тривалий термін зберігання меду. Він ґрунтується на взаємодії біологічних, фізичних і хімічних процесів, які оптимізуються умовами у вулику.

Головною метою випаровування води є зменшення її вмісту в початковому продукті. У нектарі або паді вміст води може

становити 60–80 %, що створює сприятливе середовище для розвитку мікроорганізмів, зокрема дріжджів та бактерій. Під час дозрівання меду бджоли знижують вологість до рівня 18–20 %, що унеможливорює мікробну деградацію та значно подовжує термін зберігання. Додатково, зниження вологості концентрує поживні речовини, збільшуючи енергетичну цінність меду.

Процес випаровування води організовується завдяки складній поведінковій активності бджіл. Вони створюють потоки повітря у вулику за допомогою швидких рухів крил, сприяючи випаровуванню. Температура у вулику підтримується на рівні 34–36 °С, що забезпечує оптимальні умови для видалення надлишкової вологи. Крім того, бджоли розподіляють нектар тонким шаром по стінках комірок, збільшуючи площу поверхні для випаровування.

Паралельно з випаровуванням активуються ферменти, зокрема інвертаза, яка розщеплює сахарозу на прості цукри – глюкозу і фруктозу. Це не лише знижує в'язкість продукту, але й сприяє формуванню стабільної фізико-хімічної структури меду.

Після зменшення вмісту води мед переходить у фазу ущільнення. Цей етап характеризується збільшенням в'язкості продукту та завершенням ферментативних реакцій. У процесі ущільнення утворюються леткі сполуки, що відповідають за унікальний аромат меду. Крім того, ущільнення інтегрує структурні компоненти у стабільну матрицю, запобігаючи розшаруванню.

Зменшення впливу кисню під час ущільнення захищає мед від окислювальних процесів, що сприяє збереженню антиоксидантних властивостей продукту. Це дозволяє меду зберігати свою біологічну активність та стабільність протягом тривалого часу.

Контроль за рівнем вологості є ключовим для забезпечення якості меду. Продукт із вмістом води понад 20 % є нестабільним, оскільки схильний до бродіння та втрати корисних властивостей. Оптимальний рівень вологості сприяє активності ферментів, таких як глюкозооксидаза, яка забезпечує антибактеріальні властивості.

Низька вологість підвищує концентрацію цукрів і фенольних сполук, що посилює поживну та терапевтичну цінність продукту. Крім того, зменшення вологості позитивно впливає на текстуру, запобігає кристалізації та забезпечує тривалий термін зберігання.

Під час випаровування та ущільнення меду можуть формуватися мікрокристали, які впливають на текстуру продукту. Їх формування залежить від температури, складу меду та умов зберігання. Оптимальні умови дозволяють уникнути небажаних змін текстури та сприяють збереженню органолептичних властивостей.

Процес випаровування води та ущільнення меду є багатфакторним механізмом, який визначає його якість, стабільність і функціональні властивості. Завдяки цьому процесу мед набуває унікальних характеристик, стає стійким до псування та зберігає біологічно активні компоненти. Це робить мед цінним харчовим і терапевтичним продуктом із широкими можливостями застосування.

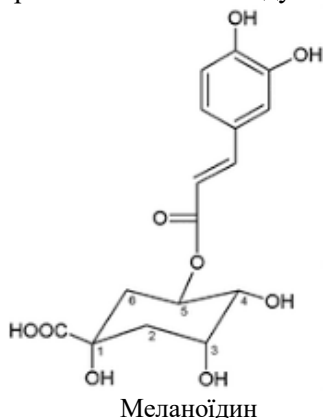
3.5. Біохімічні зміни під час зрілості меду

Зберігання меду та забезпечення його зрілості є завершальними етапами, які визначають кінцеву якість продукту. Зрілість меду характеризується досягненням оптимального фізико-хімічного складу, стабільного рівня вологості (18–20 %) і завершенням ферментативних реакцій, що забезпечує його тривалу стабільність, поживну цінність і терапевтичні властивості. Ці процеси охоплюють складні біохімічні, фізичні та органолептичні зміни, які формують кінцеві властивості меду. «Правильним» вважається мед витриманий, зрілий, запечатаний. Як тільки бджоли доводять продукт до необхідного стану вони запечатують стільники за допомогою воску. Наявність кришечок з воску свідчить про те, що бджоли закінчили роботу над медом і він готовий до збору.

Залишкова активність ферментів, таких як інвертаза і глюкозооксидаза, забезпечує подальшу трансформацію складних цукрів у прості, стабілізуючи фізико-хімічний склад меду та сприяючи його довготривалій стабільності. Після збору мед продовжує втрачати вологу за умов правильного зберігання, що запобігає мікробній деградації та сприяє підвищенню його концентрації. Тривале зберігання стимулює утворення летких ароматичних речовин, які визначають характерний запах і смак.

Належні умови зберігання є ключовими для підтримання якості меду протягом тривалого часу. Оптимальна температура для зберігання меду становить +5...+20 °C. Високі температури (понад

+40 °C) призводять до інактивації ферментів і руйнування антиоксидантів, що знижує якість продукту. Мед слід зберігати за відносної вологості не більше 60 %, щоб уникнути поглинання вологи, що може спричинити бродіння. Пряме світло сприяє окислювальним процесам і втраті антиоксидантних властивостей, тому мед необхідно зберігати у темряві. Герметичні контейнери зі скла або харчової пластмаси ідеально підходять для зберігання, оскільки запобігають потраплянню сторонніх речовин і зберігають органічні кислоти меду.



Амінокислоти мають здатність вступати в реакцію з цукрами меду, утворюючи темнозабарвлені сполуки – *меланоїдини*. Харчові меланоїдини, як правило, є аніонними забарвленими сполуками. Меланоїдини мають кілька потенційних впливів на здоров'я, проте ще повністю не з'ясовано взаємозв'язок між їх структурою та впливом на здоров'я. Утворення цих сполук йде швидше за високої температури.

Отже, потемніння меду при тривалому зберіганні чи нагріванні може відбуватись, поряд з іншими причинами, і в результаті наявності в ньому амінокислот.

Кристалізація – це природний процес, який залежить від співвідношення глюкози та фруктози, температури й наявності центрів кристалізації (табл. 10). Мед із високим вмістом глюкози, наприклад соняшниковий, кристалізується швидше, ніж акацієвий.

Таблиця 10. Особливості кристалізації різних видів меду

Вид меду	Час кристалізації (дні)	Особливості
Ріпаковий	5–10	Швидка кристалізація через високий вміст глюкози
Соняшниковий	10–15	Тонкі дрібні кристали
Акацієвий	180+	Стійкий до кристалізації завдяки високому вмісту фруктози
Гречаний	30–50	Помітна груба текстура кристалів

Кристалізацію меду можна прискорити або загальмувати впливом температури. Найшвидше вона відбувається при температурі 13–14 °С, пониження її затримує утворення кристалів, підвищення зменшує схильність до утворення кристалів, а при 40 °С вони розчиняються (табл. 11). Час кристалізації залежить також від текстури продукту та наявності дрібних часток, які слугують центрами утворення кристалів.

Зрілий мед має природно тривалий термін придатності завдяки низькому вмісту води та антибактеріальним властивостям. У належних умовах зберігання мед зберігає свою якість десятиліттями, хоча з часом можуть змінюватися його текстура, колір і аромат.

Таблиця 11. Температурний вплив на кристалізацію

Вид меду	Температура кристалізації, °С	Швидкість процесу
Ріпаківий	+10...+15	Дуже швидка
Соняшниковий	+12...+18	Швидка
Акацієвий	+15...+20	Повільна
Гречаний	+10...+14	Помірна

Зберігання та зрілість меду є визначальними факторами для забезпечення його якості, стабільності та поживної цінності. Дотримання оптимальних умов дозволяє зберегти біологічну активність, антиоксидантні властивості та органолептичні характеристики, забезпечуючи меду статус універсального харчового й терапевтичного продукту.

Контрольні запитання

1. Які компоненти утворюють сировину для виробництва меду?
2. Які речовини у складі нектару забезпечують його аромат?
3. Які біологічно активні сполуки містяться в квітковому пилку?
4. Як ферменти бджіл забезпечують початкову обробку нектару?
5. Яка роль інвертази у гідролізі сахарози?
6. Чому зниження вологості є важливим для зберігання меду?
7. Які фактори визначають швидкість кристалізації меду?
8. Чому меланоїдини утворюються при тривалому зберіганні меду, і як це впливає на його властивості?

4. ВЛАСТИВОСТІ МЕДУ

4.1. Класифікація медів

Класифікація медів дозволяє не лише виявити його унікальні властивості, але й забезпечує стандартизацію виробництва та можливість здійснювати контроль якості. Ця систематизація базується на численних критеріях, включаючи ботанічне і географічне походження, фізичну консистенцію, методи збору та обробки, кожен із яких визначає унікальні хімічні, органолептичні та функціональні характеристики меду (рис. 12).

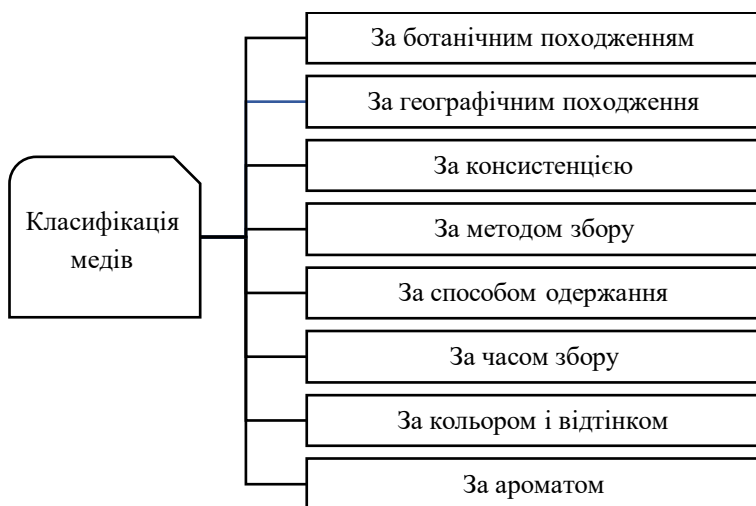


Рис. 12. Класифікація медів за різними ознаками.

Мед за *ботанічним походженням* класифікують на монофлорний і поліфлорний. *Монофлорний* мед містить переважно нектар однієї рослини, що обумовлює його специфічний хімічний склад і лікувальні властивості. Наприклад, акацієвий мед має високий вміст фруктози, що уповільнює його кристалізацію, і рекомендується для діабетичного харчування. Липовий мед характеризується антисептичними властивостями завдяки природним сполукам, таким як ефірні олії, і широко використовується для лікування застудних захворювань. Гречаний мед багатий на Ферум і поліфеноли, що робить його ефективним для

профілактики анемії. Соняшниковий мед із високим вмістом глюкози швидко кристалізується, що обумовлює його високу енергетичну цінність. Каштановий мед має темний колір і гіркуватий присмак завдяки високій концентрації танінів, які сприяють зміцненню судин. *Поліфлорний* мед утворюється з нектару багатьох рослин, що забезпечує його багатий ароматичний профіль та різноманітний хімічний склад. Наприклад, луговий мед містить комплекс поліфенолів і летких сполук, які забезпечують його антиоксидантну активність. Особливе місце займає падевий мед, який утворюється з солодких виділень комах або рослин; він багатий на мінерали, має темний колір і менш виражений смак.

Фізична консистенція меду варіює від рідкого до кристалізованого і збитого стану. *Рідкий мед* є первинним продуктом, прозорість і текучість якого залежать від ботанічного походження. Кристалізація меду є природним процесом, викликаним високим вмістом глюкози, який не впливає на якість, але змінює текстуру продукту. *Збитий мед*, що отримується шляхом механічного збивання, має кремоподібну консистенцію, яка запобігає утворенню великих кристалів і забезпечує легкість використання.

Методи збору меду також визначають його якість. *Сотовий* мед є найбільш природним, оскільки він зберігає всі біологічно активні компоненти у воскових сотах. *Відцентровий* мед, добутий за допомогою медогонки, є найпоширенішим комерційним продуктом, який поєднує високу якість і зручність збору. *Пресований* мед отримується шляхом механічного пресування сотів, що забезпечує збереження високого вмісту мікроелементів і поліфенолів.

Географічне походження меду значно впливає на його властивості. Карпатський мед містить унікальні аромати гірських трав і високу концентрацію антиоксидантів, тоді як середземноморський мед вирізняється легкими цитрусовими нотками завдяки нектару рослин теплого клімату. Алтайський мед, багатий на мікроелементи, має насичений смак і потужні антибактеріальні властивості.

Обробка меду також має важливе значення для його якості. *Сирий* мед зберігає всі природні ферменти та леткі компоненти, що робить його найбільш корисним для лікувальних цілей.

Пастеризований мед піддається термічній обробці, що дозволяє подовжити термін його зберігання, однак це знижує концентрацію деяких біологічно активних сполук. *Фільтрований* мед проходить додаткову очистку, що надає йому естетичної прозорості, але може зменшити вміст корисних речовин.

За *кольором* мед класифікують на світлий і темний.

За *смаком* меду є ароматні та приємні на смак (липовий, шавлієвий, конюшиновий) і неприємний (тютюновий).

За *часом збору* – весняний, літній та осінній.

Класифікація меду є основою для стандартизації та підвищення ефективності його використання. Вона сприяє ідентифікації ключових властивостей різних видів меду, що дозволяє розширити його застосування в медицині, косметології та харчовій промисловості, забезпечуючи науково обґрунтовані підходи до його виробництва та контролю якості.

4.2. Фізико-хімічна характеристика медів

Фізико-хімічні характеристики меду є базовими параметрами, які визначають його якість, автентичність і функціональні властивості. Вони є важливими критеріями для оцінки відповідності меду нормативним вимогам і забезпечують наукове підґрунтя для його застосування в харчовій, медичній та косметичній галузях. Детальне дослідження цих характеристик сприяє створенню стандартів, які дозволяють підвищити довіру споживачів до цього продукту.

Густина меду є одним із основних показників, що характеризують його зрілість і вміст вологи. Зазвичай густина меду варіює в межах від 1,38 до 1,45 г/см³ і залежить від ботанічного походження та кількості води в продукті (табл. 12).

Таблиця 12. Вплив вологості та температури на густину меду

Вологість, %	Температура °C	Густина, г/см ³	Вологість, %	Температура °C	Густина, г/см ³
16	15	1,443	16	20	1,431
18	15	1,429	18	20	1,417
20	15	1,415	20	20	1,403

Так, гречаний мед зазвичай має більшу густину через високий вміст твердих речовин, тоді як акацієвий мед є менш густим через вищий рівень фруктози. Цей показник змінюється в залежності від вологості та температури меду. Із збільшенням вологості й ростом температури густина меду падає.

Висока густина продукту є ознакою його зрілості та стабільності, тоді як низька густина може свідчити про недостатню зрілість або надмірну кількість води, що підвищує ризик бродіння.

Гігроскопічність є властивістю меду поглинати вологу з навколишнього середовища, що залежить від концентрації цукрів, таких як глюкоза та фруктоза. Цей процес продовжується до рівноважного стану, при якому мед не поглинає і не втрачає вологу. Високий рівень гігроскопічності може призводити до зміни фізичних характеристик продукту, його структури та текстури. Надмірне поглинання води створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів і може спричинити ферментацію. Рідкий мед більш гігроскопічний, ніж закристалізований; падевий – гігроскопічніший квіткового. Рівноважний стан для рідкого меду вологістю 17,4 % досягається при відносній вологості повітря 58 %. Ботанічне походження суттєво впливає на гігроскопічність: акацієвий мед має нижчий рівень гігроскопічності порівняно з медами з інших рослин. Оптимальні умови зберігання, включно з низькою відотною вологістю повітря і стабільною температурою, дозволяють знизити ризик поглинання зайвої води.

В'язкість меду є важливим параметром, що характеризує його текучість. У нормальних умовах при 20 °C в'язкість меду може становити від 2000 до 10000 мПа·с і залежить від температури, вмісту води та співвідношення цукрів. В'язкість меду зростає зі зниженням температури, що ускладнює процеси фасування та транспортування. Підвищена в'язкість є ознакою високого вмісту глюкози, тоді як мед із переважанням фруктози є менш в'язким. Ненормально висока в'язкість може бути свідченням фальсифікації або порушення умов зберігання.

Для меду як для дисперсної системи характерна *тиксотропія* – здатність спонтанно відновлювати зруйновану механічною дією початкову структуру. Тиксотропія характерна для меду, що містить від 1 % до 1,9 % білків. До таких медів відносять мед з вересу.

Кислотність меду визначається вмістом органічних кислот і має важливе значення для його антибактеріальних властивостей та стабільності. Титрована кислотність варіює в межах від 20 до 50 мл 0,1 н розчину NaOH на 100 г меду. Вона залежить від ботанічного походження та умов зберігання. Підвищена кислотність сприяє створенню несприятливих умов для розвитку патогенів і подовжує термін зберігання продукту.

Теплопровідність меду є низькою, що забезпечує повільний розподіл тепла. У середньому цей показник становить близько 0,5 Вт/(м×К) і залежить від густини та вмісту води. Під час термічної обробки, як-от пастеризації або декристалізації, рівномірність нагрівання є ключовою для збереження біологічно активних компонентів, таких як ферменти, вітаміни і поліфеноли. Неправильне нагрівання може призвести до втрати цих речовин.

Електропровідність меду є критерієм для визначення його ботанічного походження та мінерального складу. Для квіткових медів цей показник зазвичай не перевищує 0,8 мСм/см, тоді як для падевого меду він може перевищувати 1,0 мСм/см. Із світлих монофлорних медів найнижчу питому електропровідність має білоакацієвий мед – 0,0165 См/м, а найвищу – липовий 0,0573 См/м. У темних медів питома електропровідність вища, ніж у світлих (зокрема у гречаного меду вона становить 0,0734 См/м). Висока електропровідність є характерною для темних медів через їхній підвищений вміст мінералів, таких як Калій, Магній і Фосфор.

Зольність є важливим параметром, що характеризує концентрацію мінеральних речовин у меді. Зазвичай зольність становить від 0,02 % до 0,2 %, але у падевих медах цей показник може бути значно вищим через підвищений вміст мікроелементів. Висока зольність слугує індикатором автентичності продукту і може використовуватися для визначення його географічного або ботанічного походження.

Вміст редукуючих цукрів, таких як глюкоза і фруктоза, становить від 65 % до 80 % і є основним показником енергетичної цінності меду. Глюкоза є відповідальною за кристалізацію продукту, тоді як фруктоза забезпечує солодкість і гігроскопічність. Високий вміст редукуючих цукрів також використовується для оцінки зрілості меду та його автентичності.

Оптична активність меду є властивістю, що залежить від співвідношення глюкози і фруктози, яка обумовлена здатністю меду змінювати просторове положення площини поляризації світла (повертати її на визначений кут вліво чи вправо). Речовини, що повертають площину поляризації вліво (–), називають лівообертаючими; речовини, що повертають площину поляризації вправо (+) – правообертаючими. Для фруктози питоме обертання дорівнює $-92,4^\circ$, для глюкози $+52,7^\circ$, сахарози $+66,5^\circ$, мальтози $+130,4^\circ$, меліцитози $+88,2^\circ$. Усі види квіткового меду відносяться до лівообертаючих. Однак, як було встановлено, питоме обертання до $-7,5^\circ$ мають нерідко і падеві меди, що відносяться в основному до правообертаючих. Цей показник використовується для визначення ботанічного походження меду та його якості. Натуральний мед має позитивні значення оптичної активності, причому показники можуть варіювати залежно від виду меду. Наприклад, акацієвий мед демонструє вищу оптичну активність через переважання фруктози.

Показник заломлення світла меду залежить в основному від вмісту води. Так, показник світлозаломлення меду 15%-ї вологості при 20°C становить 1,4992; 20%-ї вологості – 1,4865. Цей показник знаходиться у зворотній залежності від температури меду: зі збільшенням її на 1°C він зменшується на 0,00023.

Дослідження фізико-хімічних характеристик меду дозволяє отримати повне уявлення про його якість, автентичність та відповідність нормативним вимогам. Ці параметри забезпечують основу для вдосконалення методів контролю якості і сприяють розширенню застосування меду в різних галузях.

4.3. Енергетична, харчова та біологічна цінність меду

Енергетична, харчова та біологічна цінність меду є ключовими аспектами його значення як функціонального продукту в раціоні людини. Завдяки унікальному складу, мед виступає не лише джерелом енергії, але й активним засобом підтримки фізіологічних функцій організму.

Енергетична цінність меду визначається високою концентрацією легкозасвоюваних вуглеводів, серед яких домінують глюкоза і фруктоза. Ці моносахариди забезпечують швидке відновлення енергетичних запасів, що робить мед незамінним

продуктом для людей, які потребують інтенсивної фізичної або розумової активності. Залежно від ботанічного походження, калорійність меду становить 300–320 ккал на 100 г (табл. 13).

Таблиця 13. Калорійність різних видів меду

Вид меду	Калорійність, ккал/100 г	Основні вуглеводи
Акацієвий	310	Фруктоза
Липовий	320	Глюкоза, фруктоза
Гречаний	300	Глюкоза
Соняшниковий	315	Глюкоза, фруктоза
Каштановий	305	Фруктоза, мальтоза

Харчова цінність меду обумовлена багатством біологічно активних компонентів (рис. 13).



Рис. 13. Показники харчової цінності продукту.

Вуглеводи є основним джерелом енергії, тоді як білки, амінокислоти, мінеральні речовини і вітаміни забезпечують регуляцію метаболічних процесів. Мед містить такі мікроелементи, як Калій, Кальцій, Магній і Ферум, які сприяють підтримці гомеостазу організму. Органічні кислоти, зокрема глюконова кислота, не лише додають продукту специфічного смаку, але й надають йому антибактеріальних властивостей. Біологічно активні ферменти, такі як інвертаза, каталаза і діастаза, беруть участь у розщепленні поживних речовин і покращують травлення. Порівняно з іншими продуктами харчування, мед займає особливе місце завдяки своєму складу. Так молоко та яйця є джерелами високоякісного білка і жирів, проте містять значно менше вуглеводів. М'ясо і риба багаті на незамінні амінокислоти, але не

мають швидко засвоюваних енергетичних компонентів, таких як фруктоза і глюкоза. У цьому контексті мед доповнює інші продукти, забезпечуючи енергетичну підтримку, а також антиоксидантний та імунomodуючий вплив.

Біологічна цінність меду базується на його здатності сприяти захисту організму від окислювального стресу, запалень та інфекцій. Завдяки вмісту поліфенолів, флавоноїдів і вітаміну С, мед нейтралізує вільні радикали, уповільнюючи процеси старіння і підтримуючи клітинний метаболізм. Антибактеріальні властивості меду обумовлені наявністю ферментів, перексиду гідрогену і низького рівня рН, що робить його ефективним у загоєнні ран і боротьбі з патогенами.

Окрім цього, мед стимулює зростання корисної мікробіоти, включно з біфідо- і лактобактерії, які покращують функціонування кишківника і зміцнюють імунітет. Біологічну цінність білків оцінюють різними методами (рис. 14).



Рис. 14. Методи оцінювання біологічної цінності білків.

Таким чином, мед є універсальним харчовим продуктом, який поєднує високу енергетичну цінність із численними біологічними властивостями. Його застосування у харчуванні не лише сприяє підтриманню енергетичного балансу, але й слугує засобом профілактики та лікування захворювань, що робить його незамінним компонентом здорового способу життя.

4.4. Органолептичні властивості меду

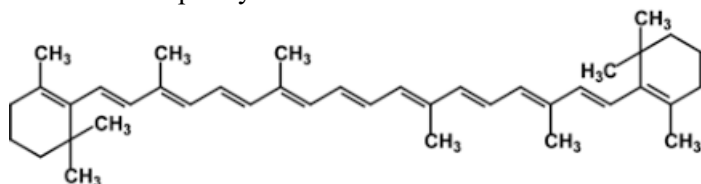
Органолептичні властивості меду є невід'ємним елементом оцінки його якості, автентичності та привабливості для споживачів. Ці властивості включають смак, аромат, колір і текстуру, які визначаються ботанічним походженням меду, специфікою умов збирання, зберігання та обробки.

Смак меду зумовлений співвідношенням вуглеводів, таких як глюкоза, фруктоза, мальтоза, а також наявністю органічних кислот і поліфенолів. Різноманіття смаків меду відображає його ботанічну унікальність. Акацієвий мед характеризується ніжним, делікатним смаком із помірною солодкістю, обумовленою домінуванням фруктози. Гречаний мед має насичений, терпкий смак із гірчинкою, зумовленою високим вмістом поліфенолів і мінералів. Липовий мед вирізняється свіжістю та легкими ментоловими нотками завдяки ефірам і терпенам, притаманним липовому цвіту. Соняшниковий мед відзначається нейтральною, помірною солодкістю із легкими фруктовими відтінками, а каштановий мед пропонує багатий, складний смак із пряними та терпкими нотами через присутність танінів і специфічних альдегідів. Луговий мед, який збирається з різнотрав'я, демонструє багатошаровий смаковий профіль, що включає квіткові, трав'яні та солодкі відтінки.

Аромат меду формується леткими органічними сполуками, такими як альдегіди (наприклад, бензальдегід), ефіри (етилкові ефіри органічних кислот), спирти (зокрема, фенілетанол) і фенольні сполуки (кумарин). Ці компоненти є результатом ферментативної активності та специфічності рослинного нектару. Акацієвий мед має тонкий, квітковий аромат, тоді як липовий насичений липовим цвітом і свіжими нотками ментолу. Гречаний мед характеризується інтенсивним ароматом із землистими відтінками, які підсилюються меланоїдинами. Каштановий мед вирізняється пряним, терпким запахом із домінуванням танінів і альдегідів, тоді як соняшниковий мед демонструє свіжі фруктові нотки через присутність легких каротиноїдів. Тривале зберігання та термічна обробка знижують концентрацію летких компонентів, що ослаблює ароматичний профіль продукту.

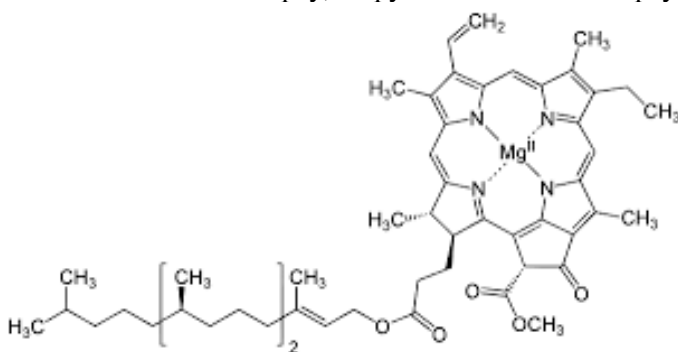
Колір меду є важливим органолептичним параметром, який залежить від концентрації пігментів, таких як каротиноїди, хлорофіл, антоціани, флавоноїди і поліфенольні сполуки.

Каротиноїди надають жовтого та червоного кольору меду. Крім того, каротиноїди мають антиоксидантні властивості. Каротиноїди – високонасичені похідні ізопрену, зустрічаються у природі – тетратерпеноїди, що складаються з 4х ізопренових залишків і скелета з 40 атомів карбону.



α -Каротин

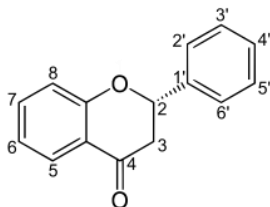
Хлорофіл – зелений пігмент, наявний у клітинах рослин. Молекула хлорофілу складається з порфінової «головки» й фітольного «хвоста». Хлорофіл є складним етером дикарбонової кислоти хлорофіліну, у якої одна карбоксильна група естерифікована залишком метилового спирту, а друга – залишком спирту фітолу.



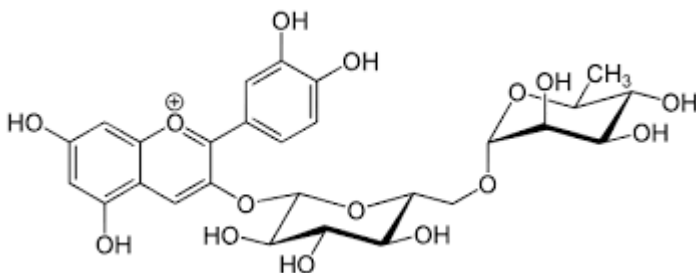
Хлорофіл

Флавоноїди – пігменти жовто-коричневого кольору, які відносяться до групи ароматичних речовин із загальною формулою $C_6-C_3-C_6$. Молекула складається з двох фенільних залишків *A* і *B*, з'єднаних пропановою ланкою, яка може замикатись у кисневмісний гетероцикл *C*. Поділяються на істинні, ізофлавоноїди,

неофлавоноїди. Істинні флавоноїди мають фенільний замісник біля С-2, а кетонну групу – в положенні С-4. Це катехіни, флаванони, антоціанідини. Ізофлавоноїди мають фенільний замісник біля С-3, кетонну групу – теж в положенні С-4. Виділяють прості (похідні ізофлавану та ізофлавану) і конденсовані похідні (птерокарпани). Неофлавоноїди мають фенільний замісник біля С-4, кетонну ж групу – навпаки, в положенні С-2.



Антоціани – це водорозчинні пігменти, які відповідають за червоні, фіолетові та сині відтінки. Вони утворюються в рослинах і потрапляють до меду через нектар, особливо у темних сортах меду, таких як гречаний. Їх концентрація може змінюватися залежно від рН меду, що впливає на відтінок.



Кераціанін (Антоціан)

Меланоїдини є кінцевими кінцевими продуктами складної реакції Майяра між редуруючими цукрами і білковими компонентами білками. Меланоїдини – це полімери з високою молекулярною масою, які містять фурани та азот і можуть містити карбонільні, карбоксильні, амінні, амідні, пірольні, індольні, складноефірні, ангідридні, ефірні, метильні та/або гідроксильні групи. Вони відповідають за бурштинові та коричневі відтінки меду, що формуються під час нагрівання або тривалого зберігання. Ці сполуки також сприяють антиоксидантним властивостям меду,

підвищуючи його біологічну цінність. Світлі меди, такі як акацієвий, мають прозорі або золотисті відтінки, обумовлені наявністю каротиноїдів і флавоноїдів. Липовий мед варіює від світло-жовтого до бурштинового через змішаний вплив поліфенолів і каротиноїдів. Гречаний мед демонструє насичений коричневий або червонуватий відтінок, завдяки високій концентрації антоціанів і меланоїдинів. Соняшниковий мед має яскраво-золотистий колір, а каштановий темно-бурштиновий із зеленуватими тонами через хлорофіл і специфічні поліфеноли. Вплив світла, температури та тривалості зберігання може змінювати колір, спричиняючи потемніння або втрату початкових відтінків.

Текстура меду визначається процесами кристалізації, які залежать від співвідношення глюкози і фруктози, вологості та умов зберігання. Акацієвий мед залишається рідким довгий час завдяки високому вмісту фруктози, тоді як соняшниковий і гречаний меди кристалізуються швидше, утворюючи грубозернисту або щільну текстуру. Липовий мед формує дрібнозернисту текстуру з ніжною консистенцією. Температура зберігання значно впливає на текстуру: підвищення температури сприяє розплавленню кристалів, тоді як низька температура прискорює їх утворення. Висока вологість може спричинити розшарування меду або нерівномірну кристалізацію, що впливає на сприйняття продукту споживачем.

Органолептичні властивості меду є не лише показниками його якості та автентичності, але й важливим фактором споживчого вибору. Розуміння цих характеристик дозволяє оптимізувати технологічні процеси виробництва і зберігання меду, зберігаючи його унікальні властивості для кінцевого споживача.

4.5. Біохімічна активність меду

Мед є унікальним природним продуктом, який вирізняється своїм складним хімічним складом та багатофункціональними властивостями. Одним із ключових аспектів його біохімічної активності є антиоксидантна активність, зумовлена наявністю широкого спектра сполук, включаючи флавоноїди, фенольні кислоти, ферменти (каталаза, пероксидаза) та вітаміни (аскорбінова кислота). Ці компоненти здатні нейтралізувати вільні радикали, запобігаючи оксидативному стресу, що сприяє зниженню ризику

розвитку хронічних захворювань, таких як серцево-судинні патології та рак. Дослідження демонструють, що антиоксидантний потенціал меду значною мірою залежить від його ботанічного походження, географічного розташування та технологічних умов зберігання, що може впливати на зміну вмісту фенольних сполук та активність ферментів.

Антибактеріальні властивості меду обумовлені наявністю пероксиду гідрогену, низьким рН та високою осмотичною активністю, що створюють несприятливі умови для росту патогенних мікроорганізмів. Такі компоненти, як метилгліюксаль, характерний для манука-меду, значно посилюють цю дію. Антибактеріальна активність меду виявляється проти широкого спектру бактерій, включаючи *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* та *Pseudomonas aeruginosa*. Варто зауважити, що з часом та при тривалому зберіганні може знижуватися вміст активних компонентів, таких як пероксид гідрогену, що впливає на загальний рівень антибактеріальної активності.

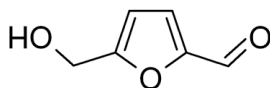
Мед демонструє значний *імуномодулюючий* ефект, який полягає у стимуляції функціональної активності клітин імунної системи, зокрема макрофагів, Т-лімфоцитів та В-лімфоцитів. Це досягається завдяки присутності в меді біологічно активних речовин, як-от протеїни, пептиди та фенольні сполуки, які сприяють регуляції цитокінового профілю. Регулярне споживання меду може зміцнити природну резистентність організму до інфекційних агентів та знизити ризик аутоімунних реакцій.

Протизапальні властивості меду зумовлені його здатністю пригнічувати активність прозапальних медіаторів, таких як фактор некрозу пухлин а (TNF-а) та інтерлейкін-6 (IL-6). Мед сприяє також зниженню рівня реактивних форм кисню та азоту, які беруть участь у патогенезі запальних процесів. Застосування меду як додаткового засобу лікування запальних захворювань сприяє швидшому одужанню завдяки зменшенню набряку та больового синдрому.

Синергічна дія компонентів меду є ключовим фактором його високої біохімічної активності. Наприклад, взаємодія флавоноїдів та фенольних кислот забезпечує посилення антиоксидантного ефекту, тоді як комбінація пероксиду гідрогену та метилгліюксалю підвищує антибактеріальну активність. Водночас наявність амінокислот та

мікроелементів, таких як Цинк і Селен, сприяє покращенню імунomodуючих та протизапальних властивостей. Однак, технологічна обробка, включаючи підвищення температури, може руйнувати ферменти та денатурувати біологічно активні сполуки, що призводить до зниження синергічних ефектів.

Зміна хімічних показників меду під впливом зовнішніх факторів, таких як температура, світло та вологість, є важливим аспектом для розуміння його біохімічної активності. Наприклад, тривале зберігання за високих температур призводить до підвищення рівня гідроксиметилфурфуролу (ГМФ), який є показником теплового впливу та погіршення якості меду.



Гідроксиметилфурфурол

Аналогічно, зменшення активності ферментів, таких як діастаза, вказує на зниження його біологічної цінності. Таким чином, правильне зберігання та обробка меду є критичними для збереження його унікальних властивостей.

Контрольні запитання

1. Які критерії класифікації меду використовуються для визначення його ботанічного та географічного походження?
2. Чим монофлорний мед відрізняється від поліфлорного?
3. Які відмінності між сотовим, відцентровим і пресованим медом?
4. Як густина меду пов'язана з його зрілістю та вмістом вологи?
5. Що таке гігроскопічність меду, і як вона впливає на його зберігання?
6. Як в'язкість меду залежить від його складу та температури?
7. Яке значення має кислотність меду для його властивостей?
8. Чим зольність меду відрізняється у квіткових і падевих сортах?
9. Як редукуючі цукри впливають на енергетичну цінність меду?
10. Як органолептичні властивості меду, такі як смак і аромат, залежать від ботанічного походження?
11. Які сполуки відповідають за колір меду, і як на нього впливають умови зберігання?
12. Які компоненти меду відповідають за його антиоксидантні та антибактеріальні властивості?

5. БДЖОЛИНИЙ ПИЛОК

5.1. Перетворення рослинного пилку у пилوک бджіл

Пилок рослин є одним із найважливіших джерел біологічно активних речовин для бджіл, критично важливих для метаболізму, репродуктивних функцій і стійкості всієї колонії. Він містить значну кількість макро- та мікронутрієнтів, включаючи білки, амінокислоти, вітаміни (особливо групи В, С та Е), мінеральні елементи, а також фенольні сполуки та антиоксиданти. Для забезпечення збереження цих компонентів та їх подальшого засвоєння бджолами пилкок проходить декілька етапів обробки, що супроводжується складними фізико-хімічними модифікаціями.

Процес *збору пилку* бджолами-збирачками є надзвичайно специфічним і залежить від особливостей видів рослин. Під час відвідування квіток бджола активно взаємодіє з репродуктивними органами рослин, зокрема з пиляками, де зосереджені пилкові зерна. Пилок легко прилипає до волосяного покриву бджоли завдяки електростатичному ефекту, який виникає при русі комах. Після цього пилкові зерна поступово переносяться у спеціальні структури на задніх лапках – пилкові кошики (рис. 15).

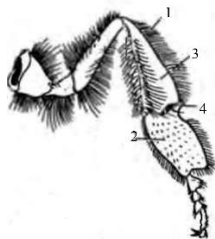


Рис. 15. Задня ніжка робочої бджоли з кошиком для пилку на зовнішній поверхні гомілки: 1 – гомілка; 2 – перший членик лапки; 3 – кошик для пилку; 4 – воскові щипчики.

Важливим аспектом цього етапу є хімічна активація пилку за рахунок ферментів та біологічно активних речовин, що містяться у секретах слинних залоз бджіл. Бджоли можуть додатково змочувати пилкок нектаром або водою для покращення адгезії пилових зерен та створювати обніжку (рис. 16), що зменшує втрати під час транспортування.

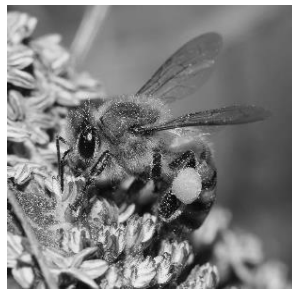


Рис. 16. Бджолине обніжжя.

Формування обніжок є наступним ключовим етапом обробки пилку. Бджоли об'єднують окремі пилкові зерна в компактні грудочки, які піддаються змочуванню нектаром або слиною. Компактні структури пилкових обніжок дозволяють бджолам ефективно транспортувати значні обсяги поживних речовин на великі відстані, водночас забезпечуючи збереження їх цілісності. Цей механізм відіграє важливу роль у підтримці метаболічного гомеостазу бджолиної сім'ї.

По поверненні у вулик бджоли розміщують зібраний пилку у спеціально підготовлені комірки стільників. На цьому етапі відбувається інтенсивна ферментативна обробка, що включає додавання додаткових порцій слини та нектару. Цей процес створює анаеробні умови, сприятливі для розвитку молочнокислих бактерій. Під дією ферментів та мікроорганізмів розпочинається молочнокисле бродіння, в ході якого синтезуються органічні кислоти, такі як молочна та оцтова.

Зниження рН до значень близько 3,5–4,0 пригнічує розвиток патогенних мікроорганізмів і сприяє довготривалому збереженню поживних компонентів пилку. Крім того, у процесі ферментації утворюються вторинні метаболіти, що мають антиоксидантну та антимікробну активність.

Ключовою фазою перетворення пилку є *молочнокисле бродіння*, яке може тривати від трьох до семи днів. У цей період у пилковій масі відбувається глибока біохімічна модифікація: накопичуються органічні кислоти, які стабілізують продукт, синтезуються ферменти, що полегшують засвоєння білків і вуглеводів. Підвищується концентрація біологічно активних речовин, що покращує загальну поживну цінність продукту.

Утворений у результаті цих процесів продукт називається пергою. Перга є незамінним джерелом живлення для бджіл, особливо в періоди дефіциту свіжого пилку.

Отже, трансформація рослинного пилку в пилку бджіл – це складний багатofакторний процес, що включає фізико-хімічні та мікробіологічні зміни. Він сприяє створенню стабільного, поживного продукту, який забезпечує життєздатність і продуктивність бджолиної популяції.

5.2. Фізичні властивості пилку бджіл

Пилок бджіл, який транспортується у вигляді обніжок, демонструє специфічні фізичні характеристики, що мають критичне значення для його біологічної функціональності, тривалого збереження та ефективного використання бджолами. Ці властивості впливають на всі ключові етапи: транспортування, ферментацію, зберігання та засвоєння поживних речовин.

Пилкові обніжки формуються в процесі пресування пилкових зерен у спеціальних кошиках (корбикулах) на задніх лапках бджіл. Вони мають здебільшого овальну або сферичну форму. Діаметр обніжок варіюється від 3 до 5 мм, залежно від об'єму зібраного матеріалу та виду рослини-донору. Така структура надає їм механічну стійкість, необхідну для безпечного транспортування.

Текстура обніжок є зернистою через щільне скупчення окремих пилкових зерен. Ці зерна з'єднуються ферментативними виділеннями бджіл, що містять амілазу, глікозидази та протеолітичні ензими. Поверхня обніжок покрита тонким шаром слини або нектару, що підвищує її гідрофобність і знижує випаровування вологи.

Первинна *вологість* пилку становить 20–30%. Це значення є критично важливим для підтримки ферментативної активності й запобігання руйнуванню білкових структур. У процесі зберігання в стільниках вологість поступово знижується до 10–15%, що запобігає розвитку патогенних мікроорганізмів. Висока *гігроскопічність* пилку вимагає контролю вологості в умовах зберігання, щоб уникнути деградації.

Щільність обніжок варіюється залежно від типу пилкових зерен і ступеня пресування. Маса однієї обніжки становить 8–15 мг. Оптимальна щільність забезпечує баланс між механічною стійкістю та доступністю поживних речовин для ферментації. Надмірне ущільнення може уповільнити ферментативні процеси, а недостатнє – спричинити втрати пилку під час транспортування.

Колір пилкових обніжок визначається пігментами рослинного походження, такими як каротиноїди, флавоноїди та антоціани. Спектр кольорів може включати жовті, помаранчеві, червоні, коричневі й навіть фіолетові відтінки. Ці характеристики використовуються як індикатор складу біологічно активних

речовин. Поверхня обніжок може бути як матовою, так і злегка блискучою завдяки наявності воскових сполук.

Пилок має помірну *теплопровідність*, що дозволяє підтримувати температуру, близьку до навколишнього середовища. Стабільні температурні умови, які підтримуються у вулику, сприяють збереженню ферментативної активності та структурної цілісності пилових запасів.

Фізичні властивості пилку бджіл є результатом еволюційно сформованих адаптацій, які забезпечують ефективне функціонування цього ресурсу в умовах бджолоїної колонії. Вони сприяють тривалому збереженню поживних речовин, захисту від зовнішніх впливів та підтримці гомеостазу колонії, що є необхідним для її виживання та продуктивності.

5.3. Хімічний склад пилку бджіл

Хімічний склад пилку бджіл надзвичайно широкий. Пилок містить 20–35% білкових сполук у сухій масі залежно від ботанічного походження. Білки поділяються на структурні (фібрилярні) та ферментативні (глобулярні) білки, що регулюють метаболічні процеси, зокрема розщеплення вуглеводів і нейтралізацію вільних радикалів. Пилок містить усі незамінні амінокислоти, необхідні для розвитку личинок і підтримки репродуктивної функції матки (табл. 14).

Таблиця 14. Вміст амінокислот у пилку бджіл

Амінокислота	Вміст, мг/ 100 г	Амінокислота	Вміст, мг/ 100 г
Лізін	1200	Метіонін	880
Треонін	980	Серин	1120
Фенілаланін	1100	Пролін	1250
Аргінін	950	Аспарагінова	1620
Валін	1020	Глутамінова	1820
Ізолейцин	970	Гліцин	850
Лейцин	1500	Тирозин	910
Гістидин	870	Аргінін	710

Вуглеводи становлять 30–55% маси пилку та є головним джерелом енергії для бджіл. Основні вуглеводи пилку бджіл включають глюкозу (15 г/100 г) та фруктозу (13,5 г/100 г), які

забезпечують швидке поповнення енергії для метаболічних процесів. Сахароза присутня в меншій кількості (3 г/100 г) і виконує роль проміжного джерела енергії. Полісахариди, такі як крохмаль (5,5 г/100 г) і целюлоза (7 г/100 г), сприяють довготривалому збереженню енергетичних ресурсів та підтримці структурної цілісності клітин. Інші полісахариди становлять 4,5 г/100 г і беруть участь у стабілізації осмотичного тиску та регуляції метаболізму.

Ліпіди складають 5–10% сухої маси пилку та включають кілька ключових компонентів. Найбільшу частку займають тригліцероли, вміст яких становить 2,5 г/100 г. Вони виконують роль основного енергетичного резерву. Фосфоліпіди присутні у кількості 1,5 г/100 г забезпечують структурну підтримку клітинних мембран, а також міжклітинну комунікацію. Найбільша частка карбонових кислот пилка належить лінолевій та альфа-ліноленовій кислотам.

Пилок багатий на вітаміни, які виконують антиоксидантні функції та сприяють синтезу ферментів. Вітаміни групи В, вітамін С, вітамін Е та β -каротин відіграють ключову роль у підтримці імунної системи (табл. 15).

Таблиця 15. Кількісний вміст вітамінів у пилку бджіл

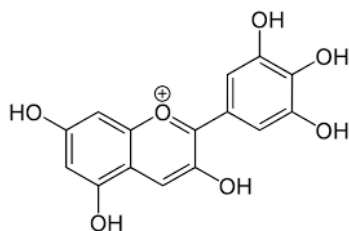
Вітамін	Вміст, мг/100 г	Вітамін	Вміст, мг/100 г
Тіамін (В ₁)	0,6	Аскорбінова кислота (С)	5,0
Рибофлавін (В ₂)	1,2	Токоферол (Е)	3,0
Піридоксин (В ₆)	0,9	β -каротин	1,5
Фолієва кислота (В ₉)	0,3		

Мінеральний склад пилку залежить від ботанічного походження та включає макро- і мікроелементи, необхідні для ферментативної активності та структурної підтримки клітин (табл. 16).

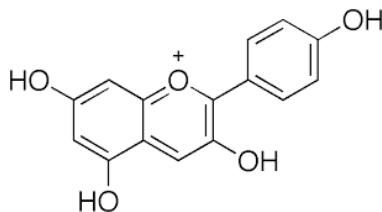
Таблиця 16. Кількісний вміст мінералів у пилку бджіл

Елемент	Вміст, мг/100 г	Елемент	Вміст, мг/100 г
Калій	350	Ферум	9,5
Фосфор	290	Манган	3,8
Кальцій	180	Цинк	4,2
Магній	120	Купрум	1,5
Натрій	25,0	Селен	0,03

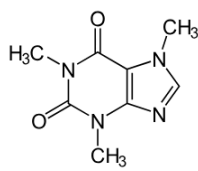
До біологічно активних компонентів пилку належать флавоноїди, фенольні кислоти, антоціани (ціанідин, дельфінідин, пеларгонідин) та алкалоїди (кофеїн, теобромін, капсаїцин). Вони забезпечують антиоксидантний захист і підвищують стійкість до стресів.



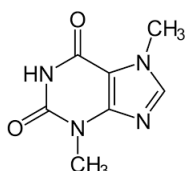
Дельфінідин



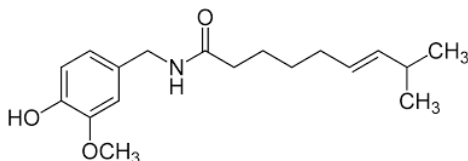
Пеларгонідин



Кофеїн



Теобромін



Капсаїцин

Ферменти пилку активуються в процесі ферментації та регулюють ключові метаболічні реакції, включаючи розщеплення вуглеводів і детоксикацію.

Узагальнюючи, хімічний склад пилку є багатофакторною системою, яка забезпечує життєздатність і адаптивні можливості бджолої сім'ї.

5.4. Застосування бджолиного пилку в різних галузях

Бджолиний пилок широко використовується у *клінічній практиці* завдяки своєму комплексному складу біологічно активних речовин, до яких належать амінокислоти, вітаміни, мінерали, флавоноїди та ферменти. Ці компоненти проявляють потужну антиоксидантну дію, що сприяє зниженню рівня оксидативного стресу, нейтралізації вільних радикалів і профілактиці хронічних патологій. Зокрема, антиоксиданти пилку підвищують

резистентність організму до серцево-судинних, онкологічних та нейродегенеративних захворювань.

Імуномодуючі властивості пилку дозволяють його застосування у терапії запальних та автоімунних розладів. Він допомагає врівноважити імунну відповідь, зменшуючи алергічні реакції та підтримуючи гомеостаз імунної системи. Пилок також використовують для лікування станів, викликаних дефіцитом нутрієнтів, таких як авітамінози й анемії. Завдяки тонізуючим властивостям його включають до програм реабілітації спортсменів та осіб із виснаженням після тривалих навантажень.

У *біологічних дослідженнях* пилок є незамінним об'єктом для вивчення фізіологічних та метаболічних процесів комах. Його хімічний склад допомагає науковцям аналізувати вплив живлення на репродуктивну функцію, стійкість до патогенів і тривалість життя бджіл. Пилок також використовується для оцінки впливу екологічних факторів на розвиток і виживаність комах.

В *екологічних науках* пиловий аналіз дає змогу визначати видовий склад рослин та моніторити стан екосистем. Він використовується для виявлення екологічних змін і рівня забруднення довкілля, дозволяючи краще розуміти наслідки кліматичних змін.

У *харчовій промисловості* пилок цінується як функціональний інгредієнт, що підвищує поживну цінність продуктів. Його додають до різних категорій харчових виробів – енергетичних батончиків, напоїв і молочних продуктів. Біологічно активні речовини пилку покращують антиоксидантний захист організму, сприяють збагаченню раціону вітамінами, амінокислотами та мінералами.

Продукти на основі пилку часто рекомендують для спеціалізованого дієтичного харчування, особливо для людей із підвищеними енергетичними потребами. Завдяки здатності поліпшувати текстуру, смак і аромат, пилок також продовжує термін зберігання харчових виробів.

Бджолиний пилок використовується як сировина у *біотехнології* для виробництва ферментів, антиоксидантів і поліфенолів. Його компоненти слугують основою для екстрактів, що застосовуються у фармацевтиці, косметології та біологічно активних добавках. Дослідження підтверджують перспективність пилку для створення

нових біополімерів та біоматеріалів, які можуть бути корисними у медицині та сільському господарстві.

Також пилок використовують у процесах ферментації та біоконверсії. Завдяки високому вмісту ферментів він сприяє прискоренню біохімічних реакцій, підвищуючи ефективність виробництва біопродуктів і біопалива.

У *косметології* пилок використовується у засобах догляду за шкірою та волоссям завдяки його регенеративним властивостям. Амінокислоти й антиоксиданти стимулюють синтез колагену, підвищують еластичність шкіри та зменшують ознаки старіння. Косметичні продукти на основі пилку забезпечують захист від шкідливого впливу довкілля.

У *сільському господарстві* пилок сприяє підвищенню ефективності запилення, що позитивно впливає на врожайність культур. Підтримка здоров'я бджолиних сімей завдяки збагаченню їх раціону пилом є важливим фактором у забезпеченні стабільності агроєкосистем.

Бджолиний пилок є універсальним продуктом, що завдяки своєму багатому складу знаходить застосування у численних галузях. Наукові дослідження підтверджують його ефективність у підтримці здоров'я людини, збереженні екологічної рівноваги та покращенні технологічних процесів.

Контрольні запитання

1. Які групи біологічно активних речовин входять до складу бджолиного пилку, та яким є їхній вплив на різні фізіологічні функції організму?
2. Який механізм антиоксидантного захисту реалізується за допомогою компонентів бджолиного пилку?
3. Які вітаміни містяться у пилку, як вони впливають на метаболізм і синтез ферментів?
4. Проаналізуйте роль макро- та мікроелементів пилку у підтримці метаболічного гомеостазу.
5. Охарактеризуйте полісахариди у складі пилку та їх вплив на енергетичний обмін і структуру клітинних мембран.
6. Якими механізмами пилок сприяє профілактиці серцево-судинних захворювань?
7. Які імунomodуючі властивості властиві біологічно активним сполукам пилку, і як вони впливають на адаптивний імунітет?
8. Яке біологічне значення мають флавоноїди у захисті організму від оксидативного стресу та пошкодження клітин?

6. БДЖОЛИНИЙ ВІСК

6.1. Біохімічні процеси утворення воску

Бджолиний віск – тверда, пластична, легкоплавка, дрібнозерниста жироподібна речовина, яка відіграє ключову роль у житті бджолої сім'ї. З воску бджоли будують стільники (рис. 17). Він є основним будівельним матеріалом для стільників, які слугують місцем зберігання меду, пилку та вирощування личинок. Віск також забезпечує термоізоляцію вулика, зберігаючи стабільний мікроклімат. Завдяки своїм антимікробним властивостям, восковий шар захищає стільники від проникнення патогенів і плісняви. Крім того, віск бере участь у хімічній комунікації між членами бджолої сім'ї, забезпечуючи розпізнавання за допомогою летких сполук. Від однієї сім'ї бджіл за сезон одержують 2–4 кг воску.

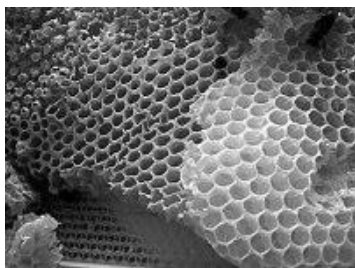


Рис. 17. Бджолині стільники.

Бджолиний віск синтезують спеціальні залози робочих бджіл, розміщені в черевці (рис. 18). На останніх чотирьох нижніх півкільцях помітна блискуча поверхня у вигляді парних п'ятикутників не правильної форми. Це воскові дзеркальця, де збирається тонким шаром виділений залозами віск. Бджола знімає воскові пластинки ніжками, обробляє їх верхньощелепними залозами з допомогою спеціальної рідини і використовує на будівельних роботах.

Синтез цього складного полімеру є високоспеціалізованим біохімічним процесом, що демонструє інтеграцію метаболічних шляхів, енергетичного забезпечення та фізіологічної координації різних органів робочої бджоли.

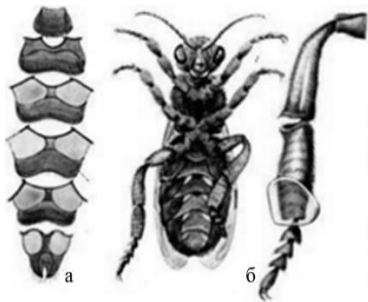


Рис. 18. Восковидільні органи бджоли: а – воскові дзеркальця на стернітах; б – воскові пластинки на черевці та щіточці.

В утворенні воску задіяні різні органи.

Воскові залози – парні епітеліальні структури, розташовані на черевних стернітах, здатні секретувати віск у вигляді дрібних пластинок. У кожної робочої бджоли є 4 пари таких залоз, які функціонують з 12-денного віку.

Жирове тіло – ключове депо ліпідів і проміжних метаболітів, що використовується для синтезу воскових компонентів.

Травний тракт – джерело вуглеводів (з меду і пилку), необхідних для енергетичного забезпечення процесу синтезу.

Процес синтезу воску забезпечує високий рівень узгодженості між метаболічними шляхами травного тракту, жирового тіла та воскових залоз. Процес синтезу включає низку етапів.

Гліколіз і цикл Кребса. Вуглеводи, отримані з корму, метаболізуються у травному тракті через послідовні етапи гліколізу, що призводить до утворення пірувату (рис. 19).

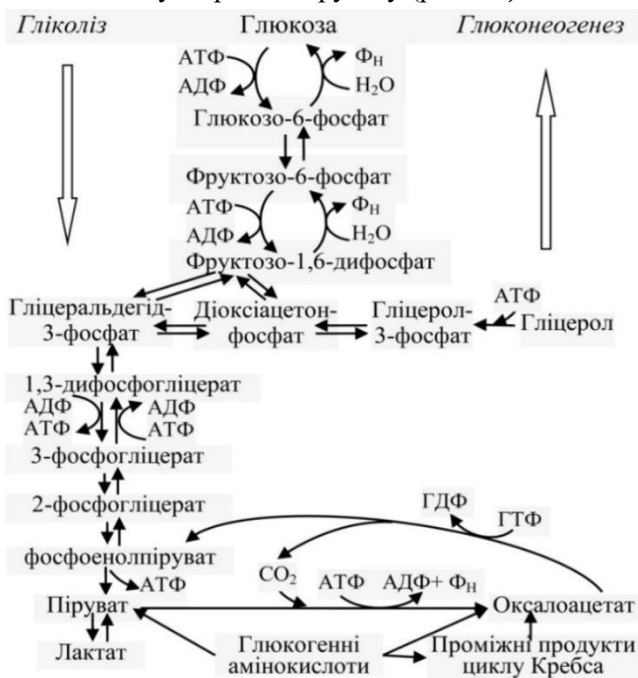


Рис. 19. Гліколіз і глюконеогенез.

Далі піруват перетворюється на ацетил-КоА під дією ферменту піруватдегідрогенази, забезпечуючи основний метаболіт для синтезу жирних кислот. Цей процес супроводжується генерацією енергії у вигляді АТФ та відновлювальних еквівалентів (НАДН, ФАДН₂), необхідних для подальших перетворень (рис. 20).

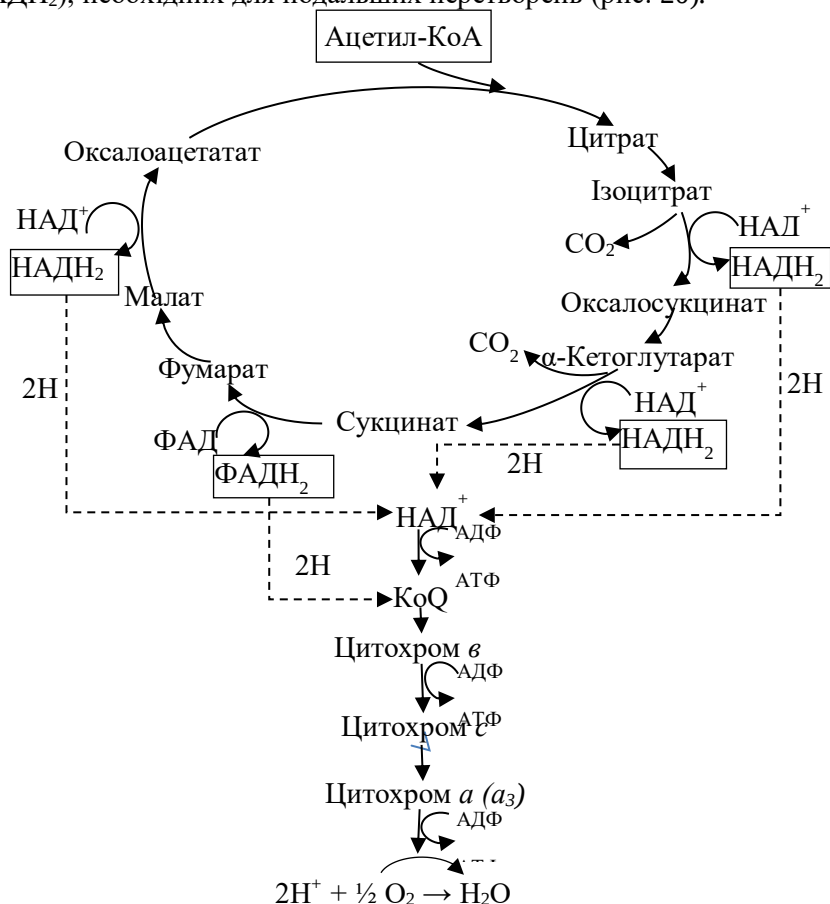
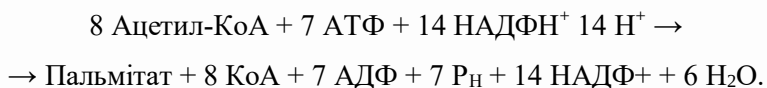


Рис. 20. Цикл трикарбонових кислот Кребса та тканинного дихання.

Біосинтез жирних кислот. У жировому тілі, яке виконує функцію метаболічного депо, синтезуються насичені та ненасичені жирні кислоти з довжиною вуглецевих ланцюгів від С₁₆ до С₂₂. Цей

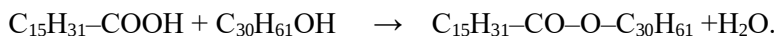
процес каталізується багатфункціональним ферментним комплексом жирнокислотного синтезу, який включає ацетил-КоА-карбоксилазу та жирнокислотсинтазу. Спочатку ацетил-КоА карбоксилюється до малоніл-КоА, який використовується як донор вуглецевих одиниць для подовження ланцюгів.

Подібно до β -окиснення, синтез нерозгалужених жирних кислот відбувається за допомогою шести повторюваних реакцій, які призводять до утворення пальмітинової кислоти (C_{16}). Після семи циклів конденсації-відновлення утворюється пальмітат, під дією тіоестерази він відщеплюється від білка ацильного переносу і виходить з циклу. Загальну реакцію можна записати у вигляді:



Утворені жирні кислоти піддаються модифікаціям, включаючи десатурацію, що забезпечує утворення ненасичених сполук. Після завершення синтезу жирні кислоти транспортуються до воскових залоз за допомогою спеціалізованих білків-переносників, таких як жирнокислотзв'язуючі білки.

Утворення естерів. Ферменти ацилтрансферази каталізують реакцію між жирними кислотами та високомолекулярними спиртами, утворюючи воскові естери. Цей процес відбувається у кілька етапів: спочатку жирні кислоти активуються шляхом утворення ацил-КоА комплексів, потім під впливом ацилтрансфераз вони реагують з високомолекулярними спиртами, такими як мірициловий та цетиловий.



Пальмітинова	Мірициловий	Мірицилпальмітат
кислота	спирт	

Утворені естери мають високу стабільність завдяки міцним естерним зв'язкам і забезпечують основні фізико-хімічні властивості воску, включаючи його термічну стабільність та гідрофобність.

Секреція та полімеризація. Віск виділяється через воскові дзеркала у формі мікроскопічних пластинок, які поступово

застигають при контакті з повітрям, набуваючи кристалічної структури. Ці пластинки мають високий ступінь чистоти та стабільності, оскільки вони складаються переважно з естерів і вуглеводнів. Бджоли, використовуючи щелепи, розм'якшують пластинки воску, додаючи прополіс і пилок, що підвищує механічну міцність і пластичність матеріалу. Отримані елементи активно формуються у шестикутні комірки стільників, які забезпечують ефективне використання простору та стійкість конструкції вулика.

Процес синтезу воску активується за сприятливих умов, які включають достатнє постачання вуглеводів і білків, оптимальний температурний режим у вулику, а також наявність сильної сім'ї. Порушення цих умов може призвести до зниження продуктивності воскових залоз і якості воску.

Синтез бджолиного воску є прикладом ефективної координації метаболічних шляхів і фізіологічних систем, що адаптують організм бджоли до екологічних і внутрішніх вимог. Дослідження цього процесу відкривають перспективи для оптимізації бджільництва, розробки нових біоматеріалів і глибшого розуміння адаптивних механізмів комах.

6.2. Фізичні властивості воску

Бджолиний віск має унікальні фізико-хімічні характеристики, які обумовлюють його багатofункціональність (табл. 17).

Температура плавлення бджолиного воску є показником його молекулярної організації та складу. Вона безпосередньо залежить від співвідношення насичених і ненасичених жирних кислот, наявності воскових ефірів і сторонніх домішок. Домішки природного походження, такі як смоли або пилок, можуть спричинити незначне розширення діапазону плавлення. Чистий віск має стабільну температуру плавлення, що робить його придатним для високоточних промислових застосувань.

Щільність воску є однією з ключових фізичних характеристик, що визначає його придатність для різних застосувань. Висока щільність свідчить про чистоту воску, тоді як наявність вологи чи сторонніх домішок знижує цей показник. У лабораторних умовах щільність використовується для контролю якості сировини, що має вирішальне значення для виробництва косметики та фармацевтики.

Таблиця 17. Фізико-хімічні властивості воску

Показник	Природний бджолиний віск	Різні виду воску
Температура плавлення, °С	61–65	60–68
Щільність при 20 °С, г/см ³	0,960–0,970	0,940–0,975
Кислотне число, мг КОН/г	17–24	15–25
Естерове число, мг КОН/г	70–80	65–85
Число омилення, мг КОН/г	87–104	85–110
Йодне число, г I ₂ /100 г	8–10	6–12
Вміст вільних жирних кислот, %	1–2	0,5–3
Рефракційний індекс при 40 °С	1,4390–1,4405	1,4380–1,4410
Колір	Жовтий до коричневого	Світло-жовтий до темно-коричневого
Густина, г/см ³	0,95–0,97	0,93–0,98
Коефіцієнт твердості, кг/см ²	3,0–6,0	2,5–6,5
Пластичність, %	10–20	8–25
Глибина проникнення голки, мм	0,1–0,3	0,05–0,4

Кислотне число відображає концентрацію вільних жирних кислот у складі воску. Збільшення кислотного числа може свідчити про процеси окиснення або гідролізу, що знижують якість воску під час його зберігання. Для високоякісного воску характерне низьке кислотне число, що є важливим у виготовленні біомедичних матеріалів.

Естерове число є індикатором кількості ефірів у воску, які відіграють ключову роль у його фізико-хімічних властивостях. Віск із високим естеровим числом має кращі пластичні властивості та стабільність, що робить його більш універсальним у використанні. Зниження цього показника може бути пов'язане з деструктивними процесами під час нагрівання.

Число омилення – сума кислотного та естерового чисел, дає змогу оцінити загальну кількість омиляємих речовин. Це комплексний показник, який є критичним для оцінки придатності воску для хімічного модифікування, наприклад, у процесах створення емульсій.

Йодне число характеризує кількість ненасичених зв'язків у воскових сполуках. Високе йодне число свідчить про більшу схильність воску до окиснення, що може обмежувати його

використання в умовах підвищеної температури чи світла. Разом із іншими параметрами цей показник дозволяє визначити довговічність продуктів на основі воску.

Вміст вільних жирних кислот зростає внаслідок гідролітичних або окисних процесів. Високий вміст жирних кислот може погіршити фізичні властивості воску, такі як твердість і пластичність, роблячи його менш придатним для високотехнологічних застосувань.

Рефракційний індекс є інструментом визначення чистоти воску. Відхилення цього показника може бути пов'язане із забрудненнями або порушенням процесу очищення. Для точного використання воску у фармацевтиці чи електроніці важливе підтримання стабільності цього параметра.

Колір – візуальний показник, що свідчить про наявність органічних домішок, таких як каротиноїди та хлорофіли. Колір воску варіюється від світло-жовтого до темно-коричневого, що залежить від прополісної смоли (хризину), яка додає жовтий відтінок. Перга може спричиняти помаранчеве або зелене забарвлення. Технологічні фактори (перегрівання, контакт із металами) також здатні змінити колір воску. Світлий віск зазвичай вважається більш якісним, особливо у косметичній та харчовій промисловості.

Густина впливає на всі аспекти промислового використання воску. Наприклад, у виготовленні свічок чи косметики потрібен віск із стабільною густиною для забезпечення однорідності продукту.

Коефіцієнт твердості визначає здатність воску витримувати механічні навантаження, який зростає протягом зберігання. Цей параметр є особливо важливим у створенні захисних покриттів, де потрібна висока стійкість до механічних впливів.

Натуральний бджолиний віск має сильну *пластичність*, хорошу *мастильність*, а також має переваги ізоляції, вологостійкості та уникнення корозії поверхні. Ці чудові властивості забезпечують можливість застосування в різних галузях.

Глибина проникнення голки корелює з твердістю воску. Менша глибина проникнення свідчить про вищу стійкість матеріалу до деформації, що важливо для застосувань, де потрібна висока механічна стабільність.

На відміну від жирів, бджолиний віск не засвоюється організмом через відсутність триатомного спирту гліцеролу. Ця особливість забезпечує його стійкість до біологічного розкладу.

Бджолиний віск не розчиняється у воді, змішується з ліпідами, оліями та іншими восками, розчинний у різних органічних розчинниках, таких як ефір та хлороформ, і розчинний у спирті після нагрівання. Нагрівання понад 47 °С може викликати порушення структури, потемніння кольору, зниження твердості та механічної міцності.

6.3. Хімічний склад воску

Бджолиний віск – це складний органічний матеріал, який містить понад 300 сполук. Віск, як хімічна речовина, входить до класу *простих ліпідів* – двокомпонентних сполук, котрі складаються із залишків спирту та карбонових кислот (рис. 21).

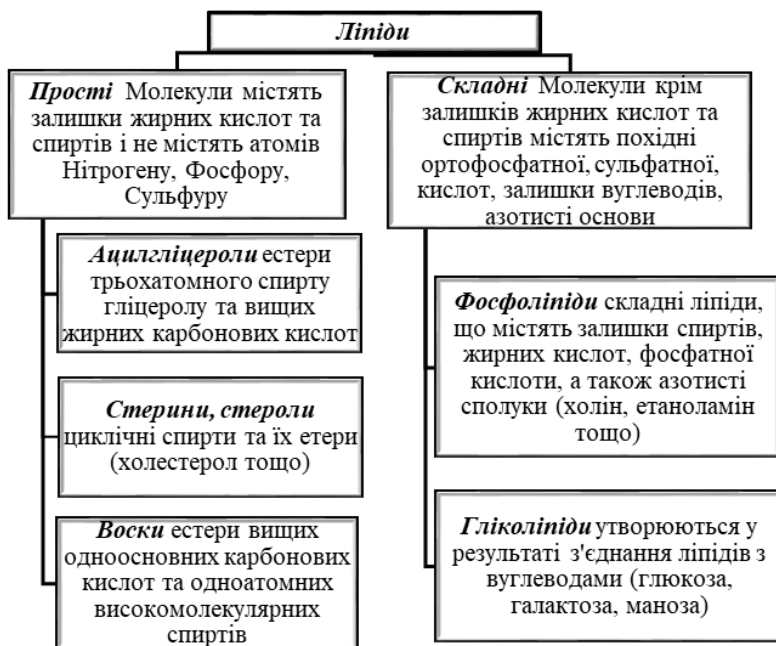


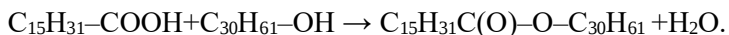
Рис. 21. Класифікація ліпідів.

Основні компоненти воску представлені різними класами сполук (табл. 18).

Таблиця 18. Кількісний склад основних компонентів бджолиного воску

Компонент	Вміст, %
Естери	70–80
Жирні кислоти	13–15
Вуглеводні	12–15
Вільні спирти	~1
Ароматичні домішки	~3

Естери жирних кислот і високомолекулярних спиртів – це головний структурний елемент воску, що формується з пальмітинової, стеаринової, олеїнової та інших жирних кислот та спиртів, таких як мірициловий ($C_{30}H_{62}O$) і цетиловий ($C_{16}H_{34}O$). 50–52 % естерів є ненасиченими сполуками, 10–13 % – насичені, 5–18 % – оксистері. Хімічною основою воску є естер мірицилового спирту та пальмітинової кислоти – мірицилпальмітат:



Мірицилпальмітат

Унікальність бджолиного воску полягає у високій молекулярній масі його естерів (400–600 Da), що зумовлює його специфічні фізико-хімічні властивості. Ці сполуки забезпечують твердість, пластичність і термостійкість воску.

Вільні *жирні кислоти* включають пальмітинову ($C_{16}:0$), стеаринову ($C_{18}:0$), олеїнову ($C_{18}:1$), лінолеву ($C_{18}:2$) та арахідонову ($C_{20}:4$) кислоти. Ці сполуки забезпечують пластичність воску, впливають на його механічні властивості та стійкість до зовнішніх факторів (табл. 19).

Карбонові кислоти є важливими компонентами бджолиного воску, які визначають його фізико-хімічні властивості. Наприклад, високий вміст насичених кислот, таких як пальмітинова і стеаринова, сприяє підвищенню твердості і стабільності воску, тоді як ненасичені кислоти, зокрема олеїнова, забезпечують його пластичність. Є у воску невелика кількість гідрокси- і кетокислот, зокрема 15-гідроксипальмітинова кислота, а також окремі стероли, такі як β -ситостерол.

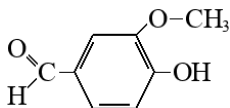
Таблиця 19. Кількісний вміст карбонових кислот у бджолиному воску

Назва кислоти	Загальна формула	Вміст у бджолиному воску, %
Пальмітинова	$C_{16}H_{32}O_2$	15–20
Олеїнова	$C_{18}H_{34}O_2$	10–15
Лінолева	$C_{18}H_{32}O_2$	1–3
Миристинова	$C_{14}H_{28}O_2$	2–5
Стеаринова	$C_{18}H_{36}O_2$	5–10
Церотинова	$C_{26}H_{52}O_2$	10–14
Арахінова	$C_{20}H_{40}O_2$	1–2

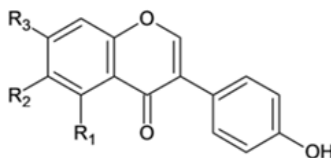
Вуглеводні воску включають насичені та ненасичені вуглеводні з довжиною ланцюга від C_{21} до C_{35} , такі як гептакозан ($C_{27}H_{56}$), нонакозан ($C_{29}H_{60}$), триаконтен ($C_{30}H_{62}$) та гексакозан ($C_{26}H_{54}$). Вони створюють гідрофобну матрицю, забезпечують механічну стабільність та хімічну інертність воску. Високий вміст вуглеводнів сприяє стійкості воску до окиснення та впливу зовнішніх факторів.

Вільні спирти включають високомолекулярні спирти, такі як цетиловий ($C_{16}H_{34}O$), мірициловий ($C_{30}H_{62}O$) та інші аліфатичні спирти. Ці сполуки впливають на фізико-хімічні властивості воску, підвищують його термостійкість, пластичність і водовідштовхувальні характеристики. Вільні спирти також сприяють структурній стабільності воску, формуючи міцні з'єднання з жирними кислотами для утворення естерів.

Ароматичні домішки включають сполуки терпенової природи, флавоноїди та фенольні кислоти. Наприклад, такі речовини, як кумарин, ванілін та ізофлавоїни, формують характерний запах воску.



Ванілін



Ізофлавоїни

Ці компоненти походять з прополісу та пилку, які змішуються з воском під час його формування. Ароматичні домішки також можуть відігравати роль у захисті воску від патогенних мікроорганізмів завдяки їхнім антимікробним властивостям.

6.4. Використання воску

Бджолиний віск є багатофункціональним продуктом бджільництва, що має широкий спектр застосувань завдяки своїм унікальним хімічним властивостям. Основу його складу становлять ефіри вищих жирних кислот і жирних спиртів, які забезпечують пластичність, гідрофобність і термостабільність, вільні жирні кислоти, що додають протимікробні властивості, вуглеводні, які зумовлюють водовідштовхувальний ефект, і ароматичні сполуки, що додають приємний запах.

У медицині та ветеринарії віск використовується у фармацевтиці для виготовлення супозиторіїв, мазей і пластирів завдяки його біосумісності й стабільності. Ефіри жирних кислот утворюють захисний бар'єр, який сприяє загоєнню ран і запобігає подразненню шкіри, а вільні жирні кислоти забезпечують протимікробний ефект. Його пластичність і хімічна інертність дозволяють застосовувати віск у створенні точних зліпків для протезування, де важливими є стабільність і відтворюваність деталей. Крім того, ароматичні сполуки та рівномірне плавлення роблять його ідеальним для виготовлення високоякісних свічок, які використовуються в ароматерапії для створення релаксуючої атмосфери та відновлення емоційного балансу.

Забрус (зрізані кришечки медових стільників) – цінне джерело антибіотиків, консервуючих речовин. Він має бактерицидні властивості, і його успішно застосовують для лікування захворювань ротової порожнини, фарингітів, запалення мигдалин і верхніх дихальних шляхів. Жування забрусу і стільникового меду зміцнює ясна при пародонтозі. Забрус підсилює виділення слини і шлункового соку, поліпшує рухову функцію кишечника.

У косметології бджолиний віск додається до кремів, лосьйонів, бальзамів для губ і декоративної косметики, де він виконує функцію захисного та зволожувального інгредієнта. Завдяки ефірам жирних кислот він утворює тонку плівку на поверхні шкіри, яка запобігає втраті вологи та забезпечує тривалий зволожувальний ефект, а також захищає від впливу агресивних чинників навколишнього середовища. Вільні жирні кислоти сприяють регенерації клітин шкіри та запобігають її передчасному старінню.

У харчовій промисловості бджолиний віск використовується як натуральний консервант і глазурувальний агент. Його ефіри утворюють на поверхні продуктів захисний шар, який перешкоджає проникненню вологи та мікроорганізмів. Крім того, ароматичні компоненти воску можуть позитивно впливати на органолептичні властивості продуктів, додаючи їм приємний аромат.

У промисловості віск застосовується у багатьох напрямках. У текстильній промисловості він використовується для обробки ниток і тканин, забезпечуючи їм водовідштовхувальні властивості. Ефіри вищих жирних кислот створюють гідрофобну плівку, яка збільшує довговічність і функціональність текстильних виробів. В електротехніці віск використовується як ізоляційний матеріал завдяки високій діелектричній здатності вуглеводнів у його складі. Він ефективно захищає проводи від вологи та механічних пошкоджень. У мистецтві віск застосовується для створення воскових моделей і скульптур завдяки його пластичності та термостабільності, які забезпечують точність деталей і довговічність готових виробів.

У побуті бджолиний віск використовується для багатьох практичних цілей. Він слугує основою для виготовлення полірувальних засобів, ефективно використовується для догляду за шкіряними виробами, покращує їх еластичність і стійкість до зовнішніх впливів.

Таким чином, бджолиний віск є винятково універсальним матеріалом, який поєднує біологічну активність, хімічну стабільність і екологічність. Його багатогранні властивості визначають широкий спектр застосувань у медицині, косметології, харчовій промисловості, промисловості та побуті, що робить його незамінним у багатьох аспектах людської діяльності.

Контрольні запитання

1. Що таке віск, і яку роль він відіграє у житті бджолиної сім'ї?
2. Які органи бджоли задіяні у синтезі бджолиного воску?
3. Які етапи біосинтезу жирних кислот у разі утворення воску?
4. Як відбувається утворення воскових естерів?
5. Що таке кислотне та естерове число воску?
6. Від вмісту яких сполук залежить колір воску?
7. Охарактеризуйте використання воску в різних галузях.

7. ПЕРГА: СКЛАД ТА БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ

7.1. Біохімічні процеси утворення перги

Перга, відома як “бджолиний хліб”, є ключовим продуктом, який забезпечує гомеостаз бджолої сім’ї. Це продукт ферментації квіткового пилку під впливом специфічних ферментів та мікроорганізмів, що виділяються бджолами. Завдяки цьому процесу перга набуває високої біологічної доступності, слугуючи універсальним джерелом життєво необхідних макро- та мікронутрієнтів.

Функціональна значущість перги для бджіл надзвичайно важлива. Перга є основним джерелом поживних речовин для розвитку личинок, особливо у критичні періоди життєвого циклу бджіл. Вона забезпечує синтез гемолімфи та нормальний розвиток фізіологічних систем дорослих особин. Перга має імуномодулюючий ефект завдяки високій концентрації поліфенолів та вітамінів, що забезпечує стійкість до бактеріальних та грибкових інфекцій. Легкозасвоювані вуглеводи забезпечують оперативне відновлення енергетичних запасів під час інтенсивної діяльності бджіл, включаючи медозбір та будівництво сотів. Ферментована структура перги сприяє стабілізації мікрофлори, створюючи несприятливі умови для розвитку патогенних організмів у вулику. У процесі підготовки до зимівлі перга є важливим джерелом запасних поживних речовин, що підтримують тривалий метаболізм за низьких температур. Це, у свою чергу, позитивно впливає на тривалість життя бджіл та їхню репродуктивну здатність.

Перга на відміну від пилку стерильна. Вона краще перетравлюється і засвоюється розплодом. Її поживна цінність у 3 рази вища від поживної цінності пилку й у 9 разів вища, ніж у будь-якого іншого заміника пилку. За своїми антибіотичними властивостями перга в 3 рази перевершує пилки.

Потреба у перзі для бджолої сім’ї середньої сили становить 20–25 кг на рік. Найбільше перги бджоли з’їдають навесні і влітку, коли відбувається посилене вирощування розплоду.

Перга – це високоцінний продукт бджільництва, який утворюється в результаті складних біохімічних і мікробіологічних процесів, що відбуваються у вулику. Її формування починається зі

збору пилку спеціалізованими робочими бджолами. Пилок транспортується за допомогою пилових кошиків, розташованих на задніх кінцівках бджіл. Під час збору пилок збагачується ферментами слинних залоз і нектаром, що запускає попередні етапи ферментації. У процесі збору формуються пилові гранули (“обніжжя”), які транспортуються до вулика для подальшої обробки.

Після доставки пилок ущільнюється у комірках стільників під механічним впливом робочих бджіл (рис. 22). Цей етап є ключовим для створення анаеробних умов, необхідних для ферментації. До пилку додаються ферменти бджолиного походження, зокрема амілаза, що розщеплює крохмаль до мальтози й глюкози; протеаза, яка каталізує розпад білків до амінокислот; ліпаза, що розщеплює тригліцероли до гліцеролу та жирних кислот; та інвертаза, яка гідролізує сахарозу до глюкози та фруктози.

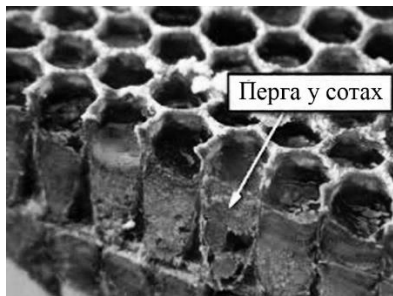


Рис. 22. Розміщення перги у сотах.

Під час ферментації полісахариди розщеплюються до моносахаридів, білки – до амінокислот, а ліпіди – до жирних кислот і гліцеролу. У цьому процесі також беруть участь симбіотичні мікроорганізми, такі як молочнокислі бактерії та дріжджі. Вони синтезують молочну кислоту, що знижує рН до 4–4,5 і створює сприятливі умови для консервації та стабільності перги. Синтез вітамінів групи В у процесі ферментації додатково збагачує продукт, підвищуючи його біологічну цінність.

Після завершення ферментації пилок перетворюється на пергу, яку герметизують тонким шаром меду. Ця герметизація захищає продукт від кисню та запобігає мікробній деградації, забезпечуючи його тривале зберігання без втрати поживних властивостей. У цьому процесі беруть участь кілька органів бджіл: щелепні та глоткові залози виділяють ферменти: зобик слугує резервуаром для змішування пилку з ферментами та нектаром; пилові кошики забезпечують транспортування пилку; головний апарат сприяє ущільненню пилку в комірках.

7.2. Фізичні властивості перги

Процес утворення перги супроводжується хімічними, фізичними та біологічними перетвореннями, які значно підвищують біодоступність поживних речовин і надають перзі унікальних фізико-хімічних властивостей.

Колір перги визначається ботанічним походженням пилку, який може бути жовтого, оранжевого (наприклад, пилок ріпаку, соняшнику), темно-коричневого або навіть чорного (гречка), а також зеленого чи синюватого відтінку, що характерно для лугових трав. Застосування спектрофотометрії дозволяє точно визначити вміст пігментів, таких як каротиноїди, флавоноїди та інші біологічно активні сполуки, що є маркерами ботанічного походження та біологічної активності продукту.

Перга має вигляд щільних гранул сферичної або неправильної форми. *Розміри гранул* зазвичай варіюються від 1 до 3 мм, хоча інколи трапляються більші структури. Її мікроструктура складається з клітинних оболонок пилкових зерен, ферментативно модифікованих білків, ліпідів, органічних кислот і шарів воску. Додатковий аналіз за допомогою поляризаційного мікроскопа демонструє багатшарову структуру гранул, яка є наслідком послідовного утрамбовування пилку бджолами.

Щільність перги варіюється від 1,2 до 1,3 г/см³, що залежить від хімічного складу, ступеня ферментації та умов зберігання.

Вологість перги є одним із ключових параметрів її стабільності. Оптимальний рівень вологості становить 8–10 %. За цих умов продукт залишається стабільним і зберігає свої фізико-хімічні та органолептичні властивості. Якщо вологість перевищує 12 %, підвищується ризик розвитку плісняви та інших мікробіологічних проблем. З іншого боку, надмірна сухість може ускладнювати механічне подрібнення гранул і погіршувати смакові якості.

Кислотність (pH) перги коливається у межах 3,5–5,0 внаслідок молочнокислої ферментації, яка сприяє не лише її консервації, а й формуванню характерного кисло-солодкого смаку.

Перга частково розчиняється у воді, причому розчинні компоненти, такі як цукри, вітаміни (особливо групи B) та органічні кислоти, легко екстрагуються. Нерозчинна фракція включає

клітковину, поліфеноли та мінерали, які зберігають свою структуру навіть після тривалої обробки.

Водні розчини перги характеризуються низькою *електропровідністю*, що свідчить про невелику концентрацію дисоційованих іонів. Завдяки цьому перга є цінним джерелом слабокислих біологічно активних сполук.

Теплопровідність і *термічна стабільність* перги є важливими параметрами її зберігання та обробки. При температурах до 40 °С продукт зберігає свої біологічно активні властивості, тоді як при вищих температурах спостерігається деградація ферментів, денатурація білків і втрата частини летких органічних сполук. За денатурації руйнується структура білкових молекул (рис. 23).

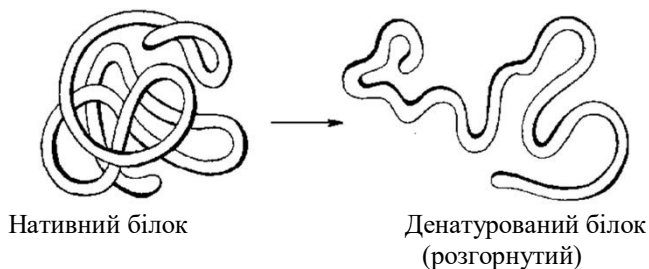


Рис. 23. Денатурація білка за дії різних чинників.

Перга також має здатність легко подрібнюватися в порошкоподібну форму, що значно спрощує її використання у виробництві біологічно активних добавок, косметичних засобів та інших продуктів.

7.3. Хімічний склад перги

У разі утворення із пилку перги відбувається внесення ферментів бджолами, створення анаеробного середовища, зниження рівня вологості та подальше насичення продукту корисними мікроорганізмами. Така обробка забезпечує біологічну стабільність і значно підвищує поживну цінність перги.

Білкова складова перги становить 20–30 % сухої маси і є джерелом незамінних амінокислот, необхідних для метаболічних процесів (табл. 20). Синтез гемолімфи, що відповідає за транспорт

кисню та поживних речовин, залежить від доступності білків і вітамінів з перги.

Таблиця 20. **Вміст амінокислот у перзі**

Амінокислота	Вміст, мг/100 г сухої маси	Амінокислота	Вміст, мг/100 г сухої маси
Лізин	800	Ізолейцин	650
Аргінін	700	Лейцин	1200
Триптофан	500	Метіонін	250
Фенілаланін	600	Треонін	550
Гістидин	300	Валін	750

Лізин забезпечує ріст тканин і синтез ферментів, аргінін бере участь у регуляції судинного тонуусу завдяки утворенню оксиду азоту, а триптофан, як попередник серотоніну, впливає на регуляцію настрою та циркадні ритми. Метіонін відіграє важливу роль у метилуванні ДНК, регулюючи епігенетичні механізми та сприяючи детоксикаційним процесам у печінці. Ця багатогранність білкових компонентів робить пергу незамінною для підтримки здоров'я організму.

Вуглеводи, які становлять 25–35 % сухої маси, є основним джерелом енергії для біохімічних процесів, особливо під час інтенсивних періодів активності, таких як медозбір. Вони включають глюкозу (12–18 %), яка слугує швидкодоступним джерелом енергії, фруктозу (10–15 %), яка забезпечує стабільний рівень цукру в крові, та сахарозу (3–5 %), що бере участь у підтриманні осмотичного тиску в клітинах. Така комбінація вуглеводів сприяє ефективному енергозабезпеченню організму.

Ліпіди, що складають 5–7 % сухої маси перги, є важливими компонентами клітинних мембран і регуляторами метаболічних процесів. Поліненасичені жирні кислоти, зокрема омега-3 і омега-6, демонструють протизапальні властивості та підтримують здоров'я серцево-судинної системи. Їх вміст у перзі становить 1,5–2,0 %. Фосфоліпіди, такі як фосфатидилхолін, є основними компонентами мембранних структур, а стероли, зокрема бета-ситостерин, мають здатність знижувати рівень холестерину в крові та покращувати ліпідний обмін.

Вітаміни, що входять до складу перги, утворюються як результат взаємодії мікроорганізмів і рослинного матеріалу. Вітаміни групи В синтезуються під час ферментації, а аскорбінова кислота, токоферол і каротиноїди надходять із пилку рослин. Вітамінний склад перги забезпечує потужну антиоксидантну дію, яка сприяє захисту клітин від окисного стресу, зменшенню запалення та зміцненню імунної системи (табл. 21).

Таблиця 21. **Вміст вітамінів у перзі**

Вітамін	Вміст, мг/100 г	Вітамін	Вміст, мг/100 г
Вітамін А	0,05	Пантотенова кислота (В ₅)	2,00
Вітамін В ₁	0,15	Фолієва кислота (В ₉)	0,03
Вітамін В ₂	0,20	Вітамін С	1,00
Вітамін В ₆	0,30	Вітамін Е	1,50
Ніацин (В ₃)	4,50	Вітамін К	0,10

Мінеральний склад перги включає макро- та мікроелементи, що відіграють важливу роль у ферментативній активності та підтримці гомеостазу. Серед найважливіших елементів виділяють Калій, Магній, Фосфор, Ферум, Цинк та Селен, які забезпечують нормальну роботу ензимів і метаболічних шляхів (табл. 22).

Таблиця 22. **Вміст мінеральних елементів у перзі**

Елемент	Вміст, мг/100 г	Елемент	Вміст, мг/100 г
Калій	200–300	Ферум	10–20
Магній	50–100	Цинк	5–10
Фосфор	150–200	Селен	0,05–0,1

Висока концентрація цих мікроелементів сприяє відновленню тканин і нормалізації обмінних процесів.

Фенольні сполуки перги, такі як поліфеноли, флавоноїди та фенольні кислоти, забезпечують її антиоксидантні властивості (табл. 23). Перга виконує критичну роль у розвитку личинок і підтримці імунітету бджолиної сім'ї.

Поліфеноли, наприклад, хлорогенова кислота та катехіни, відомі здатністю нейтралізувати вільні радикали. Флавоноїди, такі як кверцетин і апігенін, мають протизапальні та імуномодулюючі властивості. Фенольні кислоти, включаючи ферулову та кавову,

активно захищають клітини від ушкоджень, спричинених окислювальним стресом.

Таблиця 23. Вміст фенольних сполук у перзі

Клас сполук	Представники	Вміст, мг/ 100 г
Поліфеноли	Хлорогенова, елагова кислоти	50–100
Флавоноїди	Кверцетин, апігенін	20–50
Фенольні кислоти	Ферулова, кавова кислоти	30–70

Високий вміст антиоксидантів, включаючи поліфеноли, каротиноїди та вітамін Е, сприяє захисту клітин від окислативного стресу, що позитивно впливає на тривалість життя бджіл. Крім того, перга містить бета-глюкани, які активують імунні клітини та підвищують стійкість до інфекцій.

7.4. Використання перги бджіл

Перга містить високу концентрацію білків, амінокислот, жирних кислот, вітамінів (групи В, С, К, Р), макро- і мікроелементів (Цинк, Селен, Магній), а також антиоксидантів, поліфенолів і ферментів. У разі ферментації утворюються коротколанцюгові жирні кислоти, низькомолекулярні пептиди та інші сполуки, що забезпечують легке засвоєння продукту організмом людини. Флавоноїди та каротиноїди, присутні в перзі, проявляють потужні антиоксидантні властивості, нейтралізуючи вільні радикали і знижуючи окислативний стрес. За рахунок такого унікального складу перга використовується у різних галузях.

Медицина та біомедицина. Перга використовується у зміцненні імунної системи, лікуванні шлунково-кишкових захворювань, анемії та профілактиці кардіоваскулярних патологій. Біологічно активні пептиди та мікроелементи покращують метаболізм глюкози і ліпідів, що сприяє зниженню ризику розвитку метаболічного синдрому.

Спортивна медицина та реабілітація. Завдяки своєму складу, перга сприяє швидкому відновленню після фізичних навантажень. Амінокислоти підтримують регенерацію м'язів, а антиоксиданти знижують запальні процеси. Спортсмени часто використовують її для підвищення витривалості.

Сільське господарство. Перга є ефективною кормовою добавкою у тваринництві та птахівництві. Вона сприяє підвищенню приросту маси, поліпшенню здоров'я та імунітету тварин.

Косметологія та дерматологія. Цей продукт активно використовується в косметичних засобах завдяки своїм антиоксидантним і регенеративним властивостям. Регулярне застосування засобів на основі перги покращує текстуру шкіри, стимулює синтез колагену і захищає від старіння.

Фармацевтика. Перга є основою для створення препаратів, що нормалізують мікробіоту кишківника, регулюють обмін речовин і зміцнюють імунітет. Її потенціал у лікуванні нейродегенеративних захворювань активно досліджується.

Харчова промисловість. Функціональні продукти харчування, такі як енергетичні батончики, напої та гранули, часто збагачуються пергою. Її використання дозволяє покращити раціон та підтримати загальний тонус організму.

Наукові дослідження. Перга є об'єктом активного вивчення через її вплив на когнітивні функції, антиоксидантну активність і потенціал у терапії онкологічних захворювань.

Отже, перга бджіл є унікальним природним продуктом, що характеризується високою біологічною активністю та широким спектром застосування. Її багатий склад і цінні властивості роблять її незамінною у різних галузях.

Контрольні запитання

1. Що таке перга, і як вона утворюється у вулику?
2. Які ферменти беруть участь у процесі ферментації пилку до перги?
3. Як молочнокисла ферментація впливає на склад перги?
4. Чим перга відрізняється від пилку за поживними властивостями?
5. Які функції виконує перга в житті бджолиної сім'ї?
6. Як ботанічне походження пилку впливає на склад перги?
7. Які основні амінокислоти містяться у перзі, і які їх функції?
8. Як вміст вуглеводів у перзі сприяє енергетичним потребам?
9. Які поліненасичені жирні кислоти присутні у перзі, і яка їх роль?
10. Які фенольні сполуки забезпечують антиоксидантну активність перги?
11. Як умови зберігання впливають на біологічну активність перги?

8. ПРОПОЛІС

8.1. Біохімічні процеси утворення прополісу

Прополіс, або бджолиний клей, – це складний природний продукт, який утворюється в результаті збирання бджолами смолистих речовин із бруньок дерев і рослин, їхнього змішування з воском, слиною та іншими бджолиними виділеннями. Прополіс є незамінним компонентом життєдіяльності бджолиної сім'ї, виконуючи одночасно захисну, антисептичну та структурну функції. Його антимікробна активність забезпечується біологічно активними сполуками, зокрема флавоноїдами, фенольними кислотами та терпеноїдами, які ефективно пригнічують ріст бактерій, грибків та вірусів. Ці властивості прополісу створюють стерильне середовище вулика, що є критично важливим для розвитку личинок і збереження меду та перги.



Рис. 24. Прополіс у вулику.

Додатково прополіс забезпечує ізоляцію сторонніх тіл, що потрапляють у вулик (рис. 24). Якщо бджоли не можуть видалити об'єкти, наприклад, мертвих гризунів, вони герметично покривають їх прополісом, запобігаючи розкладанню і поширенню патогенів.

Завдяки адгезивним властивостям прополіс герметизує щілини, зміцнює конструкцію вулика, зменшуючи втрати тепла та ризик проникнення хижаків. Крім того, захист харчових запасів від контамінації патогенними мікроорганізмами продовжує термін їх зберігання.

Біосинтез прополісу – це багатоступеневий процес, який інтегрує фізико-хімічні властивості рослинних смол із ферментативною активністю бджіл. Перший етап полягає у зборі смол з бруньок, кори та інших частин рослин, багатих на фенольні кислоти, терпеноїди та флавоноїди. Основними джерелами сировини є дерева таких родин, як тополя, береза та хвойні. Бджоли транспортують смоли до вулика, де вони проходять складну ферментативну обробку.

На молекулярному рівні ферменти, що секретуються восковими залозами, ініціюють хімічні реакції, які включають окисно-відновні процеси, полімеризацію та утворення складних ефірів. Наприклад, оксидоредуктази каталізують перетворення фенольних сполук у активніші форми, підвищуючи антимікробну активність прополісу. Реакції полімеризації створюють стабільні поліфенольні структури, які додають матеріалу механічної міцності. Паралельно синтезуються терпеноїдні комплекси, що відповідають за ароматичні та додаткові захисні властивості.

Заключний етап передбачає інтеграцію модифікованих смол із воском та іншими природними компонентами, що утворює фінальний продукт із високими захисними та структурними властивостями. Цей процес ілюструє унікальну адаптацію бджіл до умов навколишнього середовища та використання природних ресурсів через складні біохімічні механізми. Розуміння цих процесів не лише розкриває важливі аспекти екології бджіл, але й відкриває нові можливості для застосування прополісу в науці й медицині.

8.2. Фізичні константи прополісу

Прополіс є унікальним природним продуктом, що характеризується багатьма фізичними властивостями, які визначають його якість, функціональність і можливості застосування. Ці властивості залежать від хімічного складу, ботанічного походження та умов зберігання. Густина прополісу – 0,975 г/см³ кислотне число – 23, етерне число – 76, число омилення – 99. Прополіс липкий на дотик.

Температура плавлення прополісу варіюється в межах 60–70 °C, що зумовлено вмістом воску, смол та домішок. Цей показник впливає на консистенцію прополісу та його здатність до термічної обробки. Ботанічне походження сировини та умови збору можуть незначно змінювати цю характеристику, що слід враховувати при створенні технологічних процесів.

Прополіс має обмежену *розчинність* у воді, але добре розчиняється в органічних розчинниках, таких як етанол, ацетон, ефір і хлороформ. Етанол використовується найчастіше, оскільки дозволяє ефективно вилучати біологічно активні компоненти.

Розчинність прополісу змінюється залежно від температури та складу розчинника.

Густина прополісу становить 1,1–1,2 г/см³. Вона визначається пропорціями основних компонентів – воску, смол, бальзамів – і може змінюватися залежно від вологості та умов зберігання. Цей параметр є важливим для контролю якості сировини.

Колір прополісу варіює від світло-жовтого до темно-коричневого. Інтенсивність кольору часто корелює з вмістом фенольних сполук і залежить від ботанічного походження. Зберігання в несприятливих умовах може викликати зміни кольору через окиснення компонентів.

Характерний *аромат* прополісу забезпечується ефірними оліями, такими як ліналоол, евгенол, α -пінен. Цей запах слугує індикатором свіжості та якості продукту і може змінюватися залежно від географічного походження та тривалості зберігання.

Кислотність (рН) водних екстрактів прополісу мають слабокислу реакцію у межах 4,5–6,0. Цей показник зумовлений органічними кислотами, такими як кавова, ферулова та галова. Кислотність впливає на біологічну активність прополісу, включаючи його антибактеріальні властивості.

За кімнатної температури прополіс має тверду або крихку *текстуру*, але стає м'яким і пластичним при нагріванні понад 30–35 °С. Тривале зберігання може змінювати текстуру через втрату вологи. Ця властивість є критичною для його формування в різні фармацевтичні форми.

Прополіс демонструє високу *в'язкість* при нагріванні, що дозволяє його легко формувати у пластини, гранули або інші форми. В'язкість залежить від температури та співвідношення компонентів у складі.

Завдяки високому вмісту антиоксидантів прополіс характеризується *стійкістю до старіння*. Однак тривале зберігання за несприятливих умов може призводити до втрати біологічної активності через випаровування летких сполук.

Фізичні властивості прополісу мають критичне значення для його стандартизації, забезпечення якості та розширення сфер застосування.

8.3. Хімічний склад та властивості прополісу

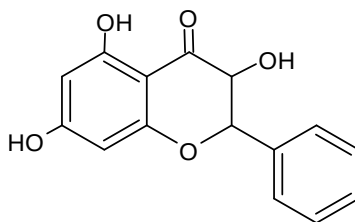
Хімічний склад прополісу варіюється залежно від географічного розташування, ботанічного походження та сезону збору, однак у його складі зазвичай виділяють понад 300 хімічних сполук. Складна біохімічна структура прополісу зумовлює його багатofункціональні властивості (табл. 24).

Таблиця 24. Хімічний склад прополісу

Компонент	Вміст, %	Основні властивості
Бальзами і смоли	50–60	Антимікробні, протизапальні
Віск	30–40	Захисна функція, структурна стабільність
Ефірні олії	5–10	Аромат, дезінфекція, стимуляція загоєння ран
Флавоноїди	~5	Антиоксидантні, протизапальні
Фенолокислоти	~3–5	Антисептичні, протигрибкові
Вітаміни і мінерали	<1	Метаболізм, імунітет
Амінокислоти	<1	Регенерація клітин, підтримка імунної системи
Терпени	~2	Противірусні, протигрибкові

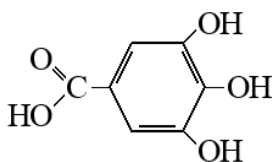
Хімічний склад прополісу варіює залежно від ботанічного походження, географічного розташування та сезонності, що потребує глибокого аналізу для повного розуміння терапевтичного потенціалу.

Центральними активними компонентами прополісу є *фенольні сполуки*. До них належать флавоноїди – апігенін, кверцетин, галангін, пінобаксин, – які виступають ефективними антиоксидантами.

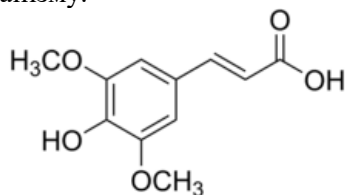


Пінобаксин

Вони нейтралізують вільні радикали, мінімізуючи ризик оксидативного стресу, мають протизапальні властивості та пригнічують ріст патогенних бактерій і грибків. Фенолокислоти, такі як кавова, ферулова, хлорогенова, галова та синапова, забезпечують антисептичний ефект, сприяють регенерації тканин і відіграють важливу роль у захисті організму.

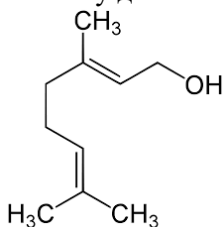


Галова кислота

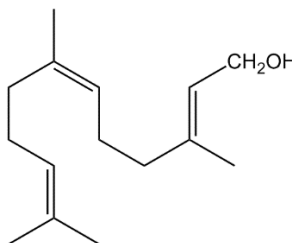


Синапова кислота

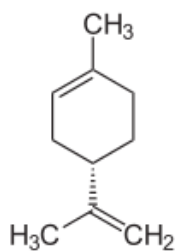
До *терпенів* прополісу належать гераніол, фарнезол, лімонен, мірцен і камфен, які демонструють противірусну, протигрибкову та заспокійливу дію.



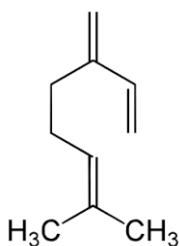
Гераніол



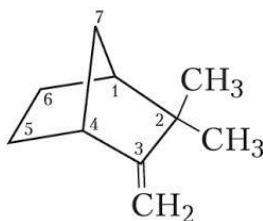
Фарнезол



Лімонен



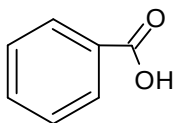
Мірцен



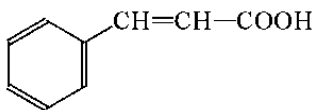
Камфен

Ці сполуки синергетично підсилюють дію інших компонентів прополісу, зокрема фенольних сполук, тим самим підвищуючи його ефективність.

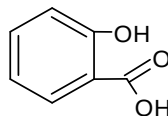
Смоли і бальзами, які складають до 60 % прополісу, є джерелом його антисептичних властивостей. Вони включають бензойну, коричню та саліцилову кислоти, поліфеноли і дубильні речовини.



Бензойна кислота



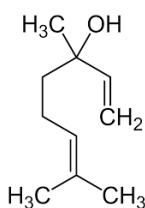
Корична кислота



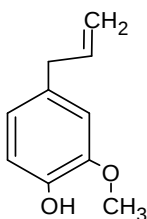
Саліцилова кислота

Ці компоненти формують стійкий захисний бар'єр проти проникнення патогенів і сприяють довготривалому антисептичному ефекту.

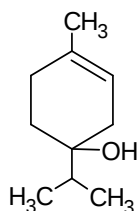
Ефірні олії, представлені ліналоолом, евгенолом, терпінен-4-олом, цитралем і α -піненом, забезпечують специфічний аромат прополісу та демонструють потужні дезінфекційні властивості. Вони також стимулюють регенерацію тканин, активізують клітинний метаболізм і прискорюють загоєння пошкоджень.



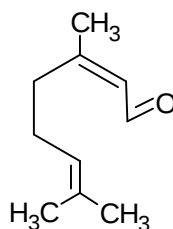
Ліналоол



Евгенол



Терпінен-4-ол



Цитрал

Віск становить 30–40 % прополісу та виконує захисну і структурну функції. Він стабілізує активні компоненти, запобігаючи їх деградації.

Прополіс містить *вітаміни* (табл. 25), провітаміни (каротин і ергостерин), типові для нього органічні кислоти (10-оксидодецена), ванілін, ізованілін, α -ацетоксибетуленол та інші сполуки.

Таблиця 25. Вміст вітамінів у прополісі

Вітамін	Вміст, мг/кг	Вітамін	Вміст, мг/кг
Вітамін В ₁ (тіамін)	0,02–0,05	Вітамін А (ретинол)	0,1–0,5
Вітамін В ₂ (рибофлавін)	0,03–0,08	Вітамін С (аскорбінова кислота)	1,5–3,0
Вітамін В ₃ (ніацин)	0,1–0,3	Вітамін Е (токоферол)	0,5–2,0
Вітамін В ₆ (піридоксин)	0,05–0,1	Вітамін К (філохінон)	0,01–0,03

Однією з важливих характеристик прополісу є його мінеральний склад, що включає макро- та мікроелементи, які сприяють метаболічним процесам, зміцненню імунітету та регенерації тканин (табл. 26).

Таблиця 26. Вміст мінеральних елементів у прополісі

Макроелементи	Вміст, мг/кг	Мікроелементи	Вміст, мг/кг
Кальцій (Ca)	200-1200	Ферум (Fe)	20-50
Магній (Mg)	100-500	Цинк (Zn)	10-40
Калій (K)	300-1000	Купрум (Cu)	5-20
Фосфор (P)	100-300	Манган (Mn)	1-10
Натрій (Na)	50-200	Селен (Se)	0,1-1,0
		Йод (I ₂)	0,05-0,5

До складу прополісу входять *амінокислоти*, такі як гліцин, пролін, аргінін, лізин, аланін, глутамінова кислота. Вони беруть участь у синтезі білків, регенерації клітин та інших функціях.

Ферменти, такі як пероксидази, каталази, оксидоредуктази та ліпази, відіграють важливу роль у детоксикації, метаболізмі ліпідів та відновленні тканин. Їхня взаємодія з фенольними сполуками значно підвищує терапевтичний потенціал прополісу.

Географічні умови, ботанічне походження та сезонність мають суттєвий вплив на хімічний склад прополісу. Весняний збір характеризується високим вмістом ефірних олій, тоді як осінній – більшою концентрацією смол і флавоноїдів. Також породи бджіл, завдяки своїм ферментативним особливостям, додають варіативності до складу продукту.

8.4. Використання прополісу у різних галузях

Прополіс є унікальним природним продуктом із багатофункціональними властивостями, що знаходить застосування у різних галузях завдяки своєму складному хімічному складу. Його активні компоненти, зокрема флавоноїди, фенолокіслоти, терпени та ефірні олії, надають йому потужні антибактеріальні, протизапальні, противірусні та антиоксидантні властивості. Сучасні дослідження сприяють розширенню можливостей використання прополісу, роблячи його цінним у медицині, промисловості, сільському господарстві та багатьох інших галузях.

Прополіс широко використовується в *медицині* як потужний природний антисептик. Його застосовують для лікування захворювань верхніх дихальних шляхів, виразок, ран і дерматитів. У фармацевтиці прополіс є основою для створення мазей, настоянок, таблеток, капсул, супозиторіїв та інгаляторів. Особливу увагу привертають антиоксидантні властивості прополісу, які забезпечують захист клітин від оксидативного стресу. У стоматології прополісні препарати використовуються для лікування стоматитів, карієсу та гінгівітів, знижуючи бактеріальну активність у ротовій порожнині.

Косметичні засоби, що містять прополіс, демонструють високу ефективність у догляді за шкірою та волоссям. Антибактеріальні та антиоксидантні властивості прополісу допомагають боротися з акне, регулювати роботу сальних залоз і стимулювати синтез колагену, що зменшує зморшки. У засобах для волосся прополіс зміцнює корені, стимулює ріст і захищає волосся від пошкоджень.

Прополіс ефективно використовується у *ветеринарії* для лікування ран, дерматитів і паразитарних інфекцій. Його додають до кормів для підвищення імунітету у тварин. У птахівництві прополіс сприяє профілактиці бактеріальних і вірусних захворювань, що дозволяє зменшити використання антибіотиків.

Завдяки антимікробним властивостям прополіс виступає природним консервантом у *харчовій промисловості*. Його додають до меду, чаїв, напоїв, йогуртів і м'ясних продуктів, збільшуючи термін їх зберігання. Прополісні екстракти також використовуються для створення функціональних добавок, які зміцнюють імунітет і покращують травлення.

У *сільському господарстві* прополіс використовується для захисту рослин від грибкових та бактеріальних інфекцій. Біопрепарати на основі прополісу підвищують стійкість рослин до стресових умов. У бджільництві прополіс служить для профілактики захворювань бджіл і підтримки здоров'я вуликів.

Прополіс активно досліджується у сфері *нанотехнологій* для створення наноматеріалів із антимікробними властивостями. Наночастинки металів, синтезовані на основі прополісу, знаходять застосування у медицині, біотехнологіях і виробництві сенсорів. Наноматеріали з прополісу використовуються для розробки ліків із контрольованим вивільненням активних речовин.

У *промисловості* прополіс застосовується для виробництва натуральних клеїв, лаків та фарб. Його антикорозійні властивості використовуються для захисту металевих поверхонь у агресивних середовищах. Крім того, прополіс застосовується у виробництві мастильних матеріалів і біорозкладних покриттів.

Прополіс також знаходить застосування у виробництві ароматизаторів, натуральних дезінфікуючих засобів, свічок та аромаламп. Його використання сприяє створенню сприятливого мікроклімату в приміщеннях.

Інноваційні технології, такі як *нанокапсулювання*, відкривають нові можливості для застосування прополісу у фармацевтичній, косметичній, харчовій та промисловій галузях.

Контрольні запитання

1. Що таке прополіс, як він утворюється у вулику?
2. Які джерела рослинних смол використовуються бджолами для створення прополісу?
3. Як ферменти бджіл беруть участь у формуванні складу прополісу?
4. Яку роль виконують фенольні сполуки у складі прополісу?
5. Які функції виконує віск у складі прополісу?
6. Які вітаміни та мінерали входять до складу прополісу, і яку роль вони відіграють у його терапевтичних властивостях?
7. Які фізичні властивості прополісу визначають його функціональність та якість?
8. Як температура плавлення впливає на використання прополісу у фармацевтичній промисловості?

9. МАТОЧНЕ МОЛОЧКО

9.1. Значення та біосинтез маточного молочка

Маточне молочко є унікальним компонентом життєдіяльності бджолиної сім'ї, виконує життєво важливу функцію в забезпеченні розвитку, диференціації та підтриманні фізіологічної цілісності бджолиних особин. Секретується молодими робочими бджолами (годувальницями) гіпофарингеальними та верхньощелепними залозами. Маточне молочко складається з багатокомпонентної суміші білків, ліпідів, вуглеводів, вітамінів та інших біологічно активних речовин. Щоденна кількість продукування молочка на одну личинку в середньому становить 200–300 мг, з піковими значеннями у літні місяці, коли бджоли мають доступ до високоякісного нектару та пилку (рис. 25).

Якісний та кількісний склад молочка не лише забезпечує швидкий ріст личинок, а й виконує захисну функцію завдяки антибактеріальній та імуномодуючій дії.

Синтез маточного молочка є складним біохімічним процесом, що включає ферментативний гідроліз та перетворення

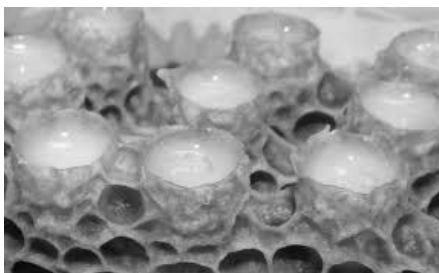


Рис. 25. Маточне молочко.

компонентів кормової бази, таких як пилки та мед. Основними ферментами, які беруть участь у цих реакціях, є амілази, протеази та глюкозооксидази, що забезпечують розпад макромолекул до біодоступних мономерів. На основі цих субстратів формуються специфічні білкові компоненти молочка, зокрема білки MRJP (major royal jelly proteins), які є центральними для забезпечення трофічної функції молочка. Біосинтез білків маточного молочка відбувається за загальною послідовністю, що характерна для всіх білків: ДНК → іРНК → рибосома → біосинтез білків у секреторному епітелії → посттрансляційна перебудова молекули білка (рис. 26).

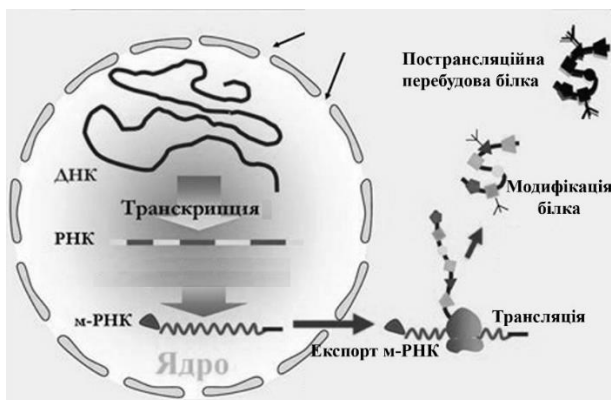


Рис. 26. Схема біосинтезу білка у клітині.

Крім того, синтезуються жирні кислоти, включаючи 10-гідрокси-2-деканову кислоту, яка відіграє вирішальну роль у регуляції клітинного метаболізму та антимікробного захисту.

Маточне молочко виконує численні важливі функції, зокрема забезпечує диференціацію каст у бджолиній сім'ї, впливає на розвиток, ріст та життєздатність маток і робочих бджіл. Личинки, які отримують молочко у великих кількостях, трансформуються у маток завдяки наявності гормоноподібних сполук, що регулюють епігенетичні процеси та стимулюють експресію генів, необхідних для кастової диференціації. Антимікробні властивості молочка забезпечують захист бджолої сім'ї від інфекційних агентів, що сприяє загальному імунітету колонії.

Ключовою особливістю маточного молочка є його здатність впливати на проліферацію клітин, що дозволяє забезпечувати швидкий ріст і розвиток личинок. Унікальні білкові молекули, такі як MRJP, відіграють центральну роль у цьому процесі, забезпечуючи трофічну підтримку та активуючи клітинний метаболізм. Водночас, жирні кислоти, зокрема 10-гідрокси-2-деканова кислота, сприяють підтриманню мембранного потенціалу та функціональної стабільності клітин. Постійне споживання маточного молочка маткою є необхідним для підтримання її високої репродуктивної активності, що забезпечує стабільність і зростання колонії.

Таким чином, маточне молочко є не лише харчовим ресурсом, а й важливим регулятором фізіологічних і генетичних процесів у бджолиній сім'ї, що підкреслює його ключову роль у підтриманні життєздатності та стабільності колонії. Молочко є виключно важливим для диференціації каст у бджолиній сім'ї. Личинки, що споживають його у великих кількостях, розвиваються у маток завдяки гормоноподібним сполукам, які впливають на експресію генів і стимулюють інтенсивний клітинний поділ. Унікальні властивості молочка, зокрема його здатність регулювати епігенетичні механізми, лежать в основі створення біологічної ієрархії в колонії. Постійне споживання молочка маткою забезпечує її репродуктивну активність, дозволяючи відкладати тисячі яєць щодня протягом усього життя.

Ефективність синтезу маточного молочка безпосередньо залежить від якості харчування та фізіологічного стану бджіл-годувальниць. Зокрема, амінокислотний склад пилку є ключовим фактором для синтезу білків молочка, тоді як вміст мінералів, таких як Магній, Фосфор і Калій, впливає на метаболічні процеси, необхідні для синтезу ліпідів і активних сполук. Важливо також враховувати сезонні зміни, які впливають на доступність кормової бази та, відповідно, на кількість і якість молочка.

Отже, маточне молочко є критично важливим компонентом функціонування бджолиної сім'ї, його біосинтез визначається складними взаємозв'язками між фізіологією бджіл, їх харчовими ресурсами та зовнішнім середовищем.

9.2. Хімічний склад маточного молочка

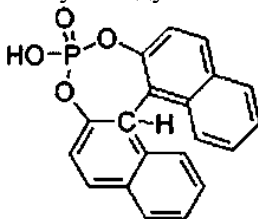
Маточне молочко є складним природним продуктом з багатим біохімічним складом, що визначає його численні біологічні функції та перспективи застосування. Вода становить 50–70 % загальної маси, забезпечуючи середовище для розчинення та взаємодії решти компонентів. Основними складовими є білки, вуглеводи, ліпіди, вітаміни, мінерали та біологічно активні сполуки, які утворюють інтегрований комплекс функціональних елементів.

Білкова фракція, яка становить 9–18 %, представлена сімейством білків MRJP (major royal jelly proteins). MRJP1, найпоширеніший із них, відіграє центральну роль у клітинній проліферації та

антиоксидантному захисті. MRJP-1 (роялактин) є основним білком для контролю розвитку личинок, який відрізняє матку від робочих бджіл. *Роялактин* відповідає за епігенетичні зміни в ДНК личинок, створюючи фенотип бджолоїної матки. Коротше кажучи, це протеїн з дією, подібною до фактору росту. MRJP2 сприяє активації імунної відповіді, а MRJP3 та MRJP4 забезпечують транспорт і регуляцію сигнальних шляхів. MRJP5 підтримує білковий гомеостаз молочка. У складі присутні короткі пептиди, включаючи дефензин-1, який забезпечує антибактеріальну активність, що критично важливо для підтримання здоров'я бджолоїної сім'ї.

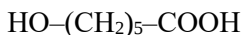
Вуглеводи складають 7–18 % і переважно включають глюкозу, фруктозу та олігосахариди, такі як мальтотріоза, мальтотетраоза та ізомальтотріоза. Олігосахариди відіграють важливу роль у підтримці мікробіоти кишечника, регуляції імунних реакцій і забезпеченні додаткових енергетичних ресурсів.

Ліпідна фракція (3–8 %) включає насичені й ненасичені жирні кислоти, фосфоліпіди, стероли та нейтральні ліпіди. Основною жирною кислотою є 10-гідрокси-2-деценова кислота (10-HDA), яка володіє антимікробними та імуномодулюючими властивостями.



10-гідрокси-2-деценова кислота

Інші важливі кислоти, такі як гідроксикапронова та себацінова кислоти, підтримують структурну стабільність мембран і виконують сигнальні функції.

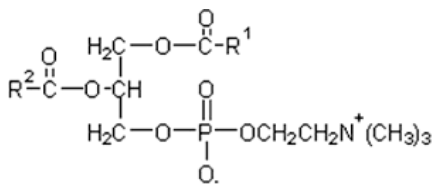


Гідроксикапронова кислота

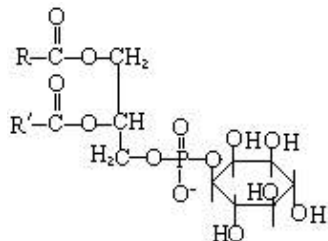


Себацінова кислота

Фосфоліпіди, зокрема фосфатидилхолін і фосфатидилінозитол, формують основу мембранних структур і беруть участь у передачі сигналів.

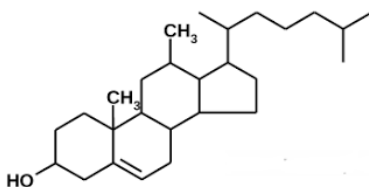


Фосфатидилхолін



Фосфатидилінозитол

Стероли, включаючи холестерол, впливають на проникність мембран і синтез гормоноподібних речовин.



Холестерол

Склад вітамінів є надзвичайно багатим: високий вміст вітамінів групи В (тіамін, рибофлавін, ніацин, піридоксин, пантотенова кислота, біотин і фолієва кислота) доповнюється вітамінами С, D і Е (табл. 27). Наприклад, вітамін В₅ є критично важливим для синтезу коензиму А, а вітамін Е забезпечує антиоксидантний захист клітинних мембран.

Таблиця 27. Вміст вітамінів у маточному молочку

Вітамін	Вміст, мг/100 г	Вітамін	Вміст, мг/100 г
Тіамін (В ₁)	0,7–1,0	Біотин (В ₇)	0,2–0,4
Рибофлавін (В ₂)	0,8–1,5	Фолієва кислота (В ₉)	0,5–0,8
Ніацин (В ₃)	3,0–4,5	Вітамін С	2,0–4,0
Піридоксин (В ₆)	0,7–0,9	Вітамін D	0,01–0,03
Пантотенова кислота (В ₅)	4,0–6,0	Вітамін Е	1,0–2,0

Мінерали, такі як Калій, Кальцій, Магній, Ферум, Цинк і Селен, забезпечують структурну й метаболічну підтримку (табл. 28). Наприклад, Калій регулює осмотичний баланс, тоді як Цинк і Селен є кофакторами антиоксидантних ферментів.

Таблиця 28. Вміст мінералів у маточному молочку

Елемент	Вміст, мг/100 г	Елемент	Вміст, мг/100 г
Калій (K)	100–150	Купрум (Cu)	0,1–0,2
Кальцій (Ca)	10–15	Цинк (Zn)	1,5–2,0
Магній (Mg)	5–8	Селен (Se)	0,01–0,03
Ферум (Fe)	0,3–0,5	Манган (Mn)	0,2–0,4

Біологічно активні компоненти включають флавоноїди, фенольні кислоти, стероли, нуклеотиди та мікроРНК. МікроРНК відіграють важливу роль у пригніченні експресії інших генів та у регуляції розвитку, особливо у визначенні часу морфогенезу та підтриманні недиференційованих або не повністю диференційованих типів клітин. Так, флавоноїди забезпечують антиоксидантний захист, фенольні кислоти мають протизапальні властивості, а мікроРНК регулюють експресію генів через епігенетичні механізми. МікроРНК-124 впливає на нейропротекцію, тоді як мікроРНК-146 модулює запальні процеси через сигнальний шлях NF-κB. Це робить маточне молочко перспективним у дослідженнях епігенетики та розробці терапевтичних препаратів.

Таким чином, маточне молочко є надзвичайно цінним природним продуктом із багатокомпонентним складом, що забезпечує широкий спектр біологічних ефектів. Його властивості знаходять застосування як у харчовій промисловості, так і в медицині, відкриваючи нові перспективи для наукових досліджень.

9.3. Фізико-хімічна характеристика маточного молочка

Маточне молочко є складним біологічним продуктом із унікальними фізико-хімічними та органолептичними властивостями, які визначають його значення для харчової, медичної та косметичної промисловості. Органолептичні характеристики маточного молочка є важливими показниками його якості, свіжості та придатності до використання.

У свіжому вигляді маточне молочко має густу, кремоподібну *консистенцію*, яка легко піддається зміні форми при натисканні. *Колір* продукту варіюється від білого до блідо-кремового залежно від умов збору, обробки та зберігання. Зміна кольору на жовтуватий або коричневий може свідчити про окислювальні процеси або втрату свіжості.

Характерний *запах* маточного молочка є кислувато-гострим із легкими ферментативними нотами. Цей аромат обумовлений наявністю органічних кислот, таких як 10-гідрокси-2-деканова кислота, та інших летких сполук, що забезпечують його специфічність.

Смак маточного молочка характеризується кислувато-гіркими нотками із слабким пекучим присмаком, що є результатом взаємодії кислотних і білкових компонентів. Високий вміст органічних кислот надає продукту приємної кислинки, яка гармонійно поєднується з його легкою гіркотою.

Текстура маточного молочка є однорідною, без видимих грудочок або сторонніх включень. Відхилення від цієї характеристики можуть свідчити про неправильні умови зберігання або низьку якість продукту.

Важливим органолептичним параметром є відчуття, яке маточне молочко залишає в роті. Воно створює легкий плівковий ефект, що обумовлено високим вмістом білків і ліпідів, які формують тонкі емульсії у водному середовищі.

Загалом органолептичні характеристики маточного молочка є важливими індикаторами його якості, які використовуються в контролі продукту на всіх етапах виробництва, зберігання та використання. Їх точне оцінювання допомагає забезпечити високу якість продукту та його відповідність стандартам харчової та фармацевтичної галузей.

Маточне молочко є складним біологічним продуктом із чітко визначеними фізико-хімічними властивостями, що забезпечують його унікальну функціональність у різних застосуваннях. Одним із ключових аспектів вивчення молочка є його фізичні константи, які впливають на стабільність, ефективність та біодоступність активних компонентів у різних умовах.

Температура плавлення маточного молочка становить 35–40 °С, що пояснюється високим вмістом термолабільних білків і ліпідів. Температура кипіння не визначена через складність продукту, оскільки більшість компонентів піддається термічній деградації при температурах вище 70 °С. Це підкреслює необхідність дотримання низькотемпературних умов обробки та зберігання.

Густина свіжого маточного молочка за температури 20 °С становить близько 1,1 г/см³, що обумовлено високим вмістом білків,

вуглеводів та інших розчинених речовин. Осмотичний тиск варіюється від 350 до 400 мОсм/л, переважно завдяки концентрації глюкози та фруктози. Ці показники свідчать про здатність молочка підтримувати осмотичний баланс у біологічних системах.

Теплопровідність молочка є низькою через домінування білкових і ліпідних компонентів, що забезпечує термостабільність при зберіганні за низьких і середніх температур. Питоме тепло молочка становить 2,1 кДж/(кг×К), що є важливим для розуміння його термодинамічних властивостей.

Поверхневий натяг молочка знаходиться в межах 40–45 мН/м за температури 20 °С. Цей параметр впливає на його емульгуючі властивості, що дозволяє формувати стабільні колоїдні системи. Висока поверхнева активність робить молочко перспективним для застосування у фармацевтичних і косметичних продуктах.

В'язкість молочка змінюється залежно від температури і становить 10–20 мПа×с при 25 °С. Цей параметр є критичним для розробки дозованих форм продукту, оскільки забезпечує стабільність і рівномірність активних компонентів у розчинах та емульсіях. При зниженні температури спостерігається підвищення в'язкості, що слід враховувати під час заморожування.

Показник заломлення світла маточного молочка варіюється від 1,43 до 1,45, що дозволяє використовувати цей параметр для оцінки чистоти продукту та контролю його якості.

Електропровідність молочка є низькою, що обумовлено малою концентрацією іонізованих мінералів, хоча вона залежить від їхнього конкретного вмісту.

Рівень рН молочка, який становить 3,4–4,5, забезпечує природну антимікробну активність і є стабільним завдяки буферній ємності продукту. Ця характеристика дозволяє молочку зберігати свої властивості навіть за змішування з іншими інгредієнтами, що важливо для його застосування у комбінованих формулах.

Таким чином, фізичні константи маточного молочка є критично важливими для забезпечення його стабільності, ефективності та біологічної активності. Глибоке розуміння цих параметрів сприяє розробці оптимальних методів зберігання, обробки та застосування молочка у харчовій промисловості, медицині та косметології.

9.4. Застосування маточного молочка

Маточне молочко завдяки своєму унікальному хімічному складу, включає високі концентрації білків, амінокислот, вітамінів, мінералів і біологічно активних сполук, що зумовлює його широке застосування в різних галузях.

У медицині маточне молочко посідає ключове місце, особливо у фармакології. Його біологічно активні компоненти сприяють стимуляції імунної системи, активації регенеративних процесів і зниженню запальних реакцій. Дослідження показали ефективність маточного молочка в лікуванні анемії, регуляції артеріального тиску при гіпо- та гіпертонії, а також у відновленні організму після серйозних захворювань. Крім того, його застосовують у геронтології для уповільнення процесів старіння, зниження оксидативного стресу та поліпшення когнітивних функцій. Це є перспективним напрямом у лікуванні нейродегенеративних захворювань.

У біології маточне молочко широко використовується як модельний об'єкт для вивчення впливу біологічно активних речовин на клітинні та молекулярні процеси. Зокрема, воно застосовується для дослідження механізмів регуляції генів, що відповідають за розвиток, диференціацію та тривалість життя організмів.

Одним із напрямів досліджень є вплив маточного молочка на культури клітин, зокрема, вивчення його цитопротекторного ефекту та здатності стимулювати проліферацію стовбурових клітин. Додатково, молочко використовується в експериментах з моделями старіння для аналізу його потенціалу у зменшенні оксидативного стресу та покращенні метаболічного профілю.

Косметологія активно використовує маточне молочко завдяки його антиоксидантним властивостям, що сприяють нейтралізації вільних радикалів, стимулюють синтез колагену та відновлюють еластичність шкіри. Його вплив на покращення структури волосся та зменшення випадіння робить цей продукт незамінним у складі шампунів і кондиціонерів.

У харчовій промисловості маточне молочко використовується як біоактивна добавка до функціональних продуктів. Воно включається до складу енергетичних напоїв, кондитерських виробів і біологічно активних добавок для підтримки енергії та імунної системи. Спеціалізовані продукти для спортсменів, що містять

маточне молочко, сприяють швидкому відновленню після фізичних навантажень і покращують витривалість.

Ветеринарія також знаходить застосування цьому продукту. Додавання маточного молочка до раціонів курей-несучок збільшує продуктивність на 10–15 % і покращує якість яєць, тоді як у великої рогатої худоби воно сприяє зниженню частоти респіраторних захворювань телят на 20 %. Завдяки його регенеративним властивостям, молочко використовують для прискорення загоєння травм і післяопераційного відновлення у тварин.

Сільське господарство активно інтегрує маточне молочко в органічне виробництво добрив. Біологічно активні сполуки, присутні в цьому продукті, активують метаболічні процеси в рослинах, сприяючи їх росту та стійкості до стресів.

Отже, маточне молочко є багатофункціональним біологічним продуктом, що володіє великим потенціалом у медицині, косметології, харчовій промисловості, ветеринарії та аграрному секторі.

Контрольні запитання

1. Яку роль відіграє маточне молочко у житті бджолиної сім'ї?
2. Який хімічний склад маточного молочка забезпечує його антибактеріальні властивості?
3. Які ферменти беруть участь у біосинтезі маточного молочка?
4. Що таке білки MRJP, і яку роль вони виконують?
5. Які жирні кислоти входять до складу маточного молочка?
6. Як вітаміни та мінерали впливають на біологічну активність маточного молочка?
7. Які функції виконують фосфоліпіди в складі маточного молочка?
8. Як мікроРНК маточного молочка впливають на клітинні та молекулярні процеси?
9. Які фізико-хімічні властивості маточного молочка є важливими для його зберігання та застосування?
10. Як маточне молочко використовується у медицині для стимуляції імунної системи?
11. Які косметичні засоби створюються на основі маточного молочка, і які його властивості є ключовими для косметології?
12. Як маточне молочко застосовується у харчовій промисловості як біоактивна добавка?

10. БДЖОЛИНА ОТРУТА

10.1. Синтез бджолоїної отрути

Бджолоїна отрута – це складний біологічний продукт, що відіграє важливу роль у життєдіяльності бджіл та виконанні ними захисних функцій. Вона є секретом отруйних залоз (великої і малої) робочих бджіл і маток, що утворюється для захисту колонії від загроз (рис. 27).

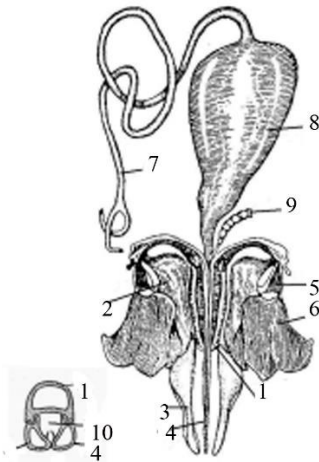


Рис. 27. Жалоносний апарат бджоли:

- 1 – санчата жала;
- 2 – довгаста пластинка;
- 3 – футляр; 4 – стилети жала;
- 5 – трикутна пластинка;
- 6 – квадратна пластинка;
- 7 – велика отруйна залоза;
- 8 – резервуар великої отруйної залози;
- 9 – мала отруйна залоза;
- 10 – протока великої отруйної залози.

Велика отруйна залоза медоносної бджоли характеризується складною трубчастою морфологією, що включає довгу тонку трубку, яка розгалужується на кінці і під'єднується до резервуара для накопичення отрути. Стінки залози вистелені шаром спеціалізованих залозистих клітин, що продукують кислий секрет, який є складовою частиною отрути. Морфометричні параметри залози у робочих бджіл значно варіюють і знаходяться в межах 9–20 мм, що корелює із рівнем агресивної поведінки.

У маток велика отруйна залоза досягає більш високого ступеня розвитку, її довжина становить 40–50 мм. На відміну від робочих бджіл, розгалуження залози у матки відбувається одразу після виходу з резервуара. Функціональне посилення цієї залози у маток пояснюється її залученням до процесу репродукції. Секрет залози утворює тонкий захисний шар на поверхні відкладених яєць, що сприяє їх захисту від мікробних впливів.

Мала отруйна залоза представлена короткою звивистою трубкою без резервуара, що анатомічно розташована поруч із вивідним протоком великої отруйної залози. Секрет малої залози має лужну реакцію. Незалежно один від одного, секрети цих залоз не мають токсичних властивостей. Водночас змішування секретів у порожнині колбо подібного розширення, де обидва протоки зливаються, призводить до формування отрути з вираженими токсичними характеристиками.

Молоді бджоли, які нещодавно залишили комірки, не мають накопиченого запасу отрути в резервуарі та демонструють низький рівень агресивності як до інших бджіл, так і до маток. Секреторна активність залоз розпочинається з другого дня після вилуплення. Максимальна концентрація отрути в резервуарі досягається до 15-го дня, після чого відбувається дегенерація секреторних клітин, а вже синтезована отрута зберігається в резервуарі до моменту використання.

У бджіл осінньої генерації секреторна активність отруйної залози проявляється з 15-го дня життя і завершується до 20-го дня. Це пов'язано зі специфічними адаптаційними механізмами, зумовленими сезонними змінами і тривалістю життя бджіл у холодний період. За один укусу бджола виділяє приблизно 0,1–0,3 мг отрути, причому ця кількість залежить від віку бджоли, її фізіологічного стану та загрози, що відчувається. Важливу роль у регуляції синтезу відіграють гормони, зокрема ювенільний гормон, який впливає на функціональну активність залоз.

Основна (велика) залоза продукує ферменти, такі як фосфоліпаза A2 та гіалуронідаза, які виконують ключову роль у біологічних ефектах отрути, включаючи проникнення компонентів у тканини та руйнування міжклітинного матриксу. Додаткова (мала) залоза продукує водний розчин низькомолекулярних компонентів, що містить аміни (гістамін, допамін) та інші біологічно активні речовини, які сприяють реалізації протизапальних і антимікробних властивостей отрути. Відмінність у складі секретів обох залоз дозволяє утворювати багатокомпонентний секрет, що має широкий спектр дії.

Біосинтез мелітину, головного компонента отрути, розпочинається у клітинах отруйної залози шляхом транскрипції

специфічного гена, який регулюється певними транскрипційними факторами. Рибосоми синтезують поліпептидний ланцюг, що включає сигнал-послідовності для правильного транспортування в апарат Гольджі. У Гольджі відбувається посттрансляційна модифікація, включаючи глікозилювання, що забезпечує функціональну активність мелітину. Аналогічно синтезуються й інші білкові компоненти отрути, які беруть участь у формуванні її унікальних властивостей.

Ферменти, такі як фосфоліпаза А₂, синтезуються на мембранозв'язаних рибосомах ендоплазматичного ретикулу. Після синтезу вони також проходять процеси посттрансляційної модифікації, що включають глікозилювання, для набуття біологічної активності. Гіалуронідаза, що є іншим важливим ферментом отрути, сприяє проникненню інших компонентів отрути у тканини, руйнуючи міжклітинний матрикс.

Бджолина отрута має також значення для внутрішньої комунікації у колонії. Її виділення супроводжується виробленням летючих компонентів, які сигналізують про небезпеку і мобілізують інших бджіл до захисту вулика. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям бджолина отрута забезпечує ефективний захист колонії, одночасно виконуючи роль природного антибактеріального бар'єра.

10.2. Фізико-хімічна характеристика бджолиної отрути

Бджолина отрута є високоспецифічним біологічним секретом, що вирізняється унікальними органолептичними характеристиками та фізичними константами, які мають критичне значення для її фармакологічної активності. У свіжому стані бджолина отрута являє собою прозору або злегка жовтувату рідину з характерним інтенсивним запахом, що поєднує аромати меду, воску та прополісу. Гіркий і пекучий смак викликає виражене подразнення слизових оболонок, а після висихання отрута утворює тонку білувату плівку, яка зберігає біологічну активність її основних компонентів. Здатність утворювати стабільні плівки пояснюється специфічними білково-пептидними зв'язками, які зберігають структуру навіть за межами рідкої фази. Не змінює своїх властивостей під дією кислот,

температури, лугу, деяких бактерій, ферментів. У сухому стані зберігається декілька років.

Фізичні константи отрути є важливими показниками її складу та властивостей. *Щільність* свіжої бджолоїної отрути становить приблизно $1,131 \text{ г/см}^3$, що вказує на високу концентрацію біологічно активних сполук у її складі. *Показник заломлення* варіюється в межах 1,340–1,350, залежно від концентрації активних компонентів і ступеня свіжості. Висока щільність і чітко визначений показник заломлення свідчать про стабільність хімічної структури отрути. Ці параметри є критичними для розробки стандартів у фармакології та контролю якості продуктів на основі бджолоїної отрути.

Отрута характеризується високою *розчинністю* у воді та спиртах, що забезпечує її швидке проникнення в тканини організму. Висока розчинність також спостерігається у слабких кислотах і лугах, що пояснюється амфотерними властивостями білків, які зберігають активність навіть у різноманітних хімічних середовищах. Це дозволяє використовувати отруту в різних фармацевтичних препаратах, включаючи ін'єкційні розчини, мазі та емульсії.

Температура плавлення сухого залишку бджолоїної отрути становить 42–46 °C. Така термостійкість обумовлена стабільністю основних білків і пептидів, включаючи мелітин і апамін. Ці сполуки демонструють високу стійкість до короточасного нагрівання, що важливо для зберігання та транспортування отрути. Наприклад, при нагріванні до 45 °C зберігається понад 90 % активності основних компонентів. Однак при температурах понад 50 °C починається часткова денатурація білкових структур, що призводить до зниження терапевтичної ефективності. Температурна стабільність отрути залежить від присутності специфічних стабілізаторів, таких як глюкоза або мінеральні іони. Це відображає важливість розробки оптимальних формул для зберігання.

Молекулярна маса ключових компонентів отрути варіюється від 2 до 30 кДа. Наприклад, мелітин, з молекулярною масою 2,8 кДа, характеризується здатністю інтегруватися в клітинні мембрани, взаємодіяти з рецепторними білками та спричиняти їх лізис. Його висока біологічна активність пояснюється амфіпатичною структурою, яка забезпечує глибоке проникнення в ліпідний бішар. Фосфоліпаза A2, із молекулярною масою 14–15 кДа, є ферментом,

що каталізує розщеплення фосфоліпідів мембран, ініціюючи запальні процеси та посилюючи дію інших компонентів отрути. Її активність залежить від концентрації кальцієвих іонів, що є важливим фактором у розробці терапевтичних засобів.

Інші компоненти, такі як апамін і адолапін, також демонструють унікальні властивості. Апамін діє як селективний блокатор калієвих каналів, забезпечуючи нейропротекторну дію. Адолапін, у свою чергу, проявляє виражений анагетичний ефект через блокування циклооксигеназного шляху запалення.

Перспективи подальших досліджень включають розробку комбінованих препаратів, що містять бджолину отруту та інші активні інгредієнти, для посилення терапевтичного ефекту. Крім того, аналіз температурної та хімічної стабільності компонентів отрути дозволить створити нові стандарти її зберігання та транспортування, забезпечуючи максимальну ефективність у медичній практиці.

10.3. Хімічний склад бджолиної отрути

Бджолина отрута являє собою складну суміш біологічно активних речовин, синтезованих отруйними залозами робочих бджіл і маток. Вона складається з високоспецифічних білків, пептидів, ферментів, біогенних амінів, вуглеводів, ліпідів та неорганічних компонентів, які визначають її комплексну дію.

Основним білковим компонентом є *мелітин* – амфіпатичний поліпептид, що складається з 26 амінокислотних залишків. Мелітин становить близько 50 % сухої маси отрути та демонструє мембранотропну активність, спричиняючи підвищену проникність клітинних мембран і їх лізис. Він також має антибактеріальні, протизапальні та протипухлинні властивості, що обумовлює його значення у фармакології.

Інший важливий білковий компонент – *апамін*, поліпептид з 18 амінокислот, який селективно блокує кальцієво-активовані калієві канали в нейронах, викликаючи нейротоксичний ефект. *Адолапін* діє як анагетик, інгібуючи циклооксигеназу та запобігаючи синтезу простагландинів, а також проявляє антиоксидантну активність.

Секропін, який належить до антимікробних пептидів, знижує цілісність мембран патогенних мікроорганізмів. *Тертіопін* впливає на іонні канали, зокрема натрієві, що пояснює його протизапальні властивості.

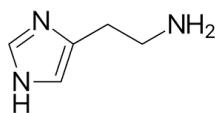
Ферментативна фракція включає фосфоліпазу A2, гіалуронідазу, кислу фосфатазу та лізофосфоліпазу.

Фосфоліпаза A2, з молекулярною масою 15–16 кДа, є ключовим ферментом, що каталізує гідроліз фосфоліпідів мембран з утворенням лізофосфоліпідів та арахідонової кислоти. Остання є попередником ейкозаноїдів, що регулюють запальні процеси.

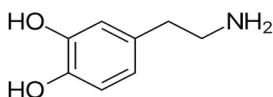
Гіалуронідаза (55–60 кДа) полегшує дифузію активних компонентів отрути у тканини через деградацію міжклітинного матриксу.

Кисла фосфатаза сприяє гідролізу органічних фосфатів, тоді як лізофосфоліпаза посилює цитотоксичний ефект продуктів дії фосфоліпази A2.

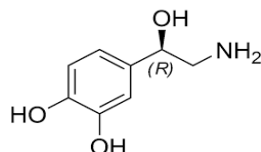
Біогенні аміни – гістамін, дофамін і норадреналін – зумовлюють локальні судинні реакції завдяки своїй здатності взаємодіяти з відповідними рецепторами.



Гістамін



Дофамін



Норадреналін

Гістамін є ключовим медіатором запалення, активуючи H1-рецептори, що призводить до розширення судин, підвищення їх проникності та формування набряку. До того ж, гістамін стимулює сенсорні нервові закінчення, спричиняючи відчуття болю і свербіння.

Дофамін, взаємодіючи з D1- і D2-рецепторами, регулює тонус судин, а також відіграє роль у нейромедіаторних процесах.

Норадреналін діє переважно через α -адренорецептори, зумовлюючи вазоконстрикцію, проте локально може спричиняти вазодилатацію через активацію β -адренорецепторів. Комплексна дія цих амінів забезпечує фізіологічні реакції на дію бджолиної отрути.

Ліпіди є невід’ємною складовою бджолої отрути, виконують ключові функції. Вони забезпечують проникнення отрути у клітини, стабільність її структури та впливають на широкий спектр фізіологічних процесів. Ліпіди сприяють руйнуванню клітинних мембран шкідників і патогенів, створюють умови для проникнення токсичних пептидів і ферментів.

Фосфоліпіди відіграють центральну роль у взаємодії бджолої отрути з клітинними мембранами. Завдяки своїй здатності руйнувати ліпідний шар клітинних оболонок, вони сприяють проникненню токсичних компонентів отрути в клітини-мішені.

Серед *жирних кислот*, що входять до складу отрути, основними є: пальмітинова ($C_{15}H_{31}COOH$), олеїнова ($C_{17}H_{33}COOH$) та лінолева ($C_{17}H_{31}COOH$) кислоти. Ці кислоти мають протизапальні властивості, а також сприяють розширенню кровоносних судин, що покращує мікроциркуляцію.

Стероли, зокрема холестерол, забезпечують стабільність ліпідних мембран, що зберігають активні компоненти отрути. Вони також підвищують здатність отрути до взаємодії з клітинами.

Неорганічні речовини, такі як іони Калію, Магнію, Кальцію та Фосфору, необхідні для активації ферментів і підтримання іонного гомеостазу у вогнищі дії отрути (табл. 29).

Таблиця 29. Вміст елементів у бджолої отруті

Елемент	Вміст, мг/г	Елемент	Вміст, мг/г
Калій (K)	150–250	Манган (Mn)	0,05–0,2
Кальцій (Ca)	30–50	Хром (Cr)	<0,1
Магній (Mg)	20–40	Нікель (Ni)	<0,1
Натрій (Na)	10–20	Алюміній (Al)	<0,05
Фосфор (P)	5–15	Кадмій (Cd)	<0,01
Ферум (Fe)	1–5	Плюмбум (Pb)	<0,01
Цинк (Zn)	0,5–1,5	Селен (Se)	<0,1
Купрум (Cu)	0,1–0,5	Молібден (Mo)	<0,1

Мікроелементи, наприклад Ферум, Цинк і Купрум, функціонують у складі ферментів, які допомагають проводити важливі реакції у тілі бджоли. Ці елементи необхідні навіть у дуже маленьких кількостях, але їхня роль дуже важлива.

Склад отрути може змінюватися залежно від віку бджоли, її стану та умов, у яких вона живе. Отже, бджолина отрута є унікальним біологічним «коктейлем», хімічний склад якого сприяє її багатогранній фармакологічній дії. Розуміння механізмів її впливу на організм є важливим для розробки інноваційних терапевтичних стратегій.

10.4. Фізіолого-біохімічні зміни в організмі людини за укусу бджіл

Бджолиний укусу запускає складний каскад фізіолого-біохімічних змін, які залежать від кількості введеної отрути, індивідуальної чутливості організму та стану імунної системи. Ці реакції охоплюють як місцеві, так і системні ефекти, що обумовлено дією біологічно активних компонентів бджолиної отрути. Коли бджола впирає жало в шкіру, отрута з резервуара по каналу жала надходить у рану. Відрив жала призводить до загибелі бджоли. Одна бджола дає приблизно 0,085 мг отрути.

Після проникнення жала у шкіру отрута швидко поширюється в міжклітинному просторі завдяки активності ферментів, таких як гіалуронідаза та викликає *місцеві реакції*. Цей фермент розщеплює гіалуронову кислоту міжклітинного матриксу, полегшуючи дифузію токсинів у глибші шари тканин. У відповідь імунна система активує вивільнення медіаторів запалення: гістаміну, простагландинів, лейкотрієнів та інтерлейкінів. Гістамін підвищує проникність капілярів, що призводить до почервоніння, набряку та свербіжу.

Основний токсичний компонент отрути – мелітин – викликає лізис клітинних мембран, ушкоджуючи еритроцити, лейкоцити та інші клітини. Це супроводжується локальним ушкодженням тканин і вивільненням цитокінів, таких як фактор некрозу пухлин (TNF- α) та інтерлейкін-6, які підсилюють запальну відповідь. Фосфоліпаза A2 каталізує розщеплення мембранних фосфоліпідів, утворюючи арахідонову кислоту – попередник ейкозаноїдів, що беруть участь у регуляції запалення.

Системні прояви укусу можуть включати головний біль, запаморочення, нудоту та загальну слабкість. У випадках множинних укусів або підвищеної чутливості розвивається анафілаксія – гостра алергічна реакція, яка характеризується бронхоспазмом, набряком гортані, різким падінням артеріального

тиску та загрозою для життя. Анафілактичний шок вимагає негайного введення адреналіну, який відновлює судинний тонус і покращує дихання.

Імунна відповідь на компоненти бджолої отрути включає активацію Т-лімфоцитів і В-лімфоцитів. Це призводить до синтезу специфічних антитіл класу IgE, які фіксуються на опасистих клітинах і базофілах. При повторному контакті з отрутою ці клітини вивільняють гістамін, лейкотрієни та інші медіатори, що спричиняють системні алергічні реакції, включаючи анафілаксію.

Місцеві тканинні зміни включають порушення мікроциркуляції, активацію протеаз і оксидативний стрес, що викликається активними формами кисню. Ці процеси можуть призвести до тривалого запалення, болю та ризику вторинних інфекцій. Без належного догляду можливе ускладнення загоєння ураженої ділянки.

Лікування включає застосування антигістамінних препаратів для зменшення запальної реакції, місцевих протизапальних засобів для полегшення симптомів і, у разі важких системних реакцій, введення кортикостероїдів та адреналіну. Важливою є також обробка місця укусу антисептиками для запобігання вторинним інфекціям.

Глибоке розуміння фізіолого-біохімічних змін, що викликаються бджолою отрутою, є критичним для розробки ефективних методів лікування та профілактики ускладнень, а також для оптимізації терапевтичних протоколів у медичній практиці.

10.5. Використання бджолої отрути

Бджолина отрута здавна привертала увагу завдяки своїм унікальним біохімічним властивостям, які забезпечують широкий спектр її застосувань у різних галузях. Вона є цінним природним продуктом, який активно використовується у медицині, фармакології, косметології, агрономії, харчовій промисловості, біології, біотехнології, геронтології та інших сферах. Отруту одержують, подразнюючи бджіл ефіром або електричним струмом.

У медицині бджолина отрута є об'єктом інтенсивних досліджень завдяки низці її властивостей. Бджолина отрута в малих дозах діє протизапально, спазмолітично, розширює судини, уповільнює згортання крові, знижує рівень холестеролу. Вводять її

безпосереднім жалінням (*анітерапія*); втиранням у шкіру в ділянці хворого органу (мазі вірапін, апізартрон, форапін); за допомогою електрофорезу (таблетки апіфор), ін'єкцій (апізартрон, венапіолін, вірапін). Препарати бджолоїної отрути та апітерапія застосовуються при лікуванні ревматизму, поліартритів, міозитів, радикулітів, невралгій, бронхіальної астми, мігрені, трофічний виразок. Ці речовини регулюють запальні процеси через блокування циклооксигенази, зменшують надмірну імунну відповідь і покращують мікроциркуляцію, що є ключовим при лікуванні судинних патологій.

У *геронтології* бджолина отрута розглядається як перспективний засіб для уповільнення процесів старіння. Вона покращує мікроциркуляцію, стимулює синтез колагену та зменшує запальні реакції, що сприяє збереженню молодості шкіри. Крім того, її нейропротекторні властивості досліджуються у контексті профілактики нейродегенеративних захворювань, таких як хвороба Альцгеймера.

Бджолина отрута широко використовується в *косметології*, особливо як компонент антивікових засобів. Вона стимулює синтез колагену та еластину, покращуючи тонус шкіри, розгладжуючи зморшки та зменшуючи прояви старіння. Крім того, вона підвищує проникність шкіри для інших активних інгредієнтів, що збільшує ефективність косметичних препаратів.

У *фармакології* бджолина отрута є джерелом нових молекул для розробки лікарських засобів. Вона використовується для лікування аутоімунних захворювань, хронічного болю та алергічних станів. Мелітин, зокрема, демонструє протипухлинну активність, індукуючи апоптоз у ракових клітинах. Інші компоненти отрути вивчаються для створення протизапальних і антиалергічних препаратів.

В *агрономії* бджолина отрута використовується як екологічно безпечний біоінсектицид, що забезпечує ефективний захист рослин від шкідників без забруднення навколишнього середовища. Низькі концентрації отрути також застосовуються для стимуляції росту рослин і підвищення їх стійкості до стресових умов.

У *біології* бджолина отрута є важливим інструментом для дослідження мембранних процесів. Мелітин і фосфоліпаза A2

використовуються для вивчення механізмів проникності клітинних мембран, взаємодії ліпідів і білків, а також для моделювання дії антимікробних пептидів.

У *біотехнології* компоненти бджолоїної отрути застосовуються для створення наноструктур і біоматеріалів. Мелітин використовується у формуванні нанокапсул для цілеспрямованої доставки лікарських засобів. Фосфоліпаза А2 знаходить застосування у виробництві біокаталізаторів для фармацевтичної та харчової промисловості.

У *харчовій промисловості* бджолоїна отрута використовується завдяки своїм антимікробним властивостям, які дозволяють продовжувати термін зберігання продуктів. Також досліджується її застосування у створенні функціональних харчових продуктів для зміцнення імунітету.

Бджолоїна отрута є багатofункціональним природним продуктом, який завдяки своєму унікальному складу й біологічній активності знаходить широке застосування у багатьох галузях.

Контрольні запитання

1. Що таке бджолоїна отрута, і яку роль вона виконує в житті бджолоїної колонії?
2. Які органи бджоли синтезують отруту, і як вони функціонують?
3. Як змішування секретів великої та малої отруйних залоз впливає на токсичність отрути?
4. Який склад і функції виконує мелітин бджолоїної отрути?
5. Які ферменти входять до складу бджолоїної отрути, і яку роль вони відіграють у її біологічній активності?
6. Що таке апамін, і як він впливає на нейронні процеси?
7. Які біогенні аміни присутні в отруті?
8. Як ліпіди сприяють проникненню бджолоїної отрути у клітини?
9. Які неорганічні компоненти входять до складу отрути?
10. Як змінюється хімічний склад отрути залежно від віку бджоли?
11. Які фізико-хімічні властивості бджолоїної отрути забезпечують її стабільність та ефективність?
12. Які чинники впливають на активність та збереження отрути?

11. ВПЛИВ РІЗНИХ ЧИННИКІВ НА ХІМІЧНИЙ СКЛАД МЕДУ ТА ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА

11.1. Вплив клімату та пори року

Вивчення впливу кліматичних факторів на хімічний склад меду та продуктів бджільництва має вирішальне значення для забезпечення стабільності якості цих продуктів. Ключові кліматичні змінні, такі як температура, вологість, сезонність та тип рослинного покриву, впливають на біохімічні процеси в меді та інших продуктах бджільництва.

Сезонність безпосередньо впливає на тип рослин, які слугують джерелами нектару, а отже, на хімічний склад меду (табл. 30). Весняний мед, отриманий із таких рослин, як акація та верба, характеризується високим вмістом фруктози (40–42 %) і значним рівнем фітонутрієнтів, таких як флавоноїди. Літній мед, зібраний із липи, соняшника чи конюшини, має підвищений вміст глюкози (32–38 %), що забезпечує його кристалізацію. Осінній мед, зібраний із трав і бур'янів, демонструє збагачений склад фенольних сполук (до 110 мг/кг), які надають йому високої антиоксидантної активності.

Таблиця 30. Хімічний склад меду залежно від сезону

Пора року	Весна	Літо	Осінь
Основні рослини	Акація, верба, фруктові	Липа, соняшник, конюшина	Трави, бур'яни
Вміст фруктози, %	40–42	36–40	34–36
Вміст глюкози, %	28–32	32–38	30–34
Вміст мінералів, %	0,5–0,7	0,8–1,0	1,0–1,2
Фенольні сполуки, мг/кг	50–70	70–90	90–110

Температура є одним із провідних чинників, що впливає на ферментаційні процеси у вулику. За високих температур (понад 25 °C) активується ферментативний розпад сахарози до глюкози та фруктози за участю ферменту інвертази (табл. 31). Це забезпечує збільшення вмісту простих цукрів, що позитивно впливає на стабільність меду під час зберігання. Навпаки, за низьких температур (нижче 15 °C) сповільнюється перетворення цукрів, що може призводити до накопичення побічних продуктів, таких як

органічні кислоти та поліфеноли, впливаючи на смакові характеристики.

Таблиця 31. Вплив температури та вологості на хімічний склад меду

Параметр	Висока температура (> 25 °C)	Низька температура (< 15 °C)	Висока вологість (> 18 %)	Низька вологість (< 14 %)
Вміст води, %	14–16	18–20	18–20	12–14
Вміст глюкози, %	34–40	25–30	30–35	36–40
Вміст фруктози, %	38–42	35–38	36–40	38–42
Органолептичні властивості	Інтенсивний аромат	Слабкий аромат	М'який аромат	Інтенсивний аромат

Рівень вологості суттєво впливає на хімічний склад меду та його якість. Мед із вологістю понад 18 % є більш вразливим до ферментаційних процесів, що призводить до утворення етилового спирту та оцтової кислоти. У свою чергу, мед із вологістю 14–16 % має більш тривалий термін зберігання і виражені протимікробні властивості завдяки високій концентрації розчинених цукрів, які створюють гіперосмотичне середовище.

Отже, кліматичні умови та сезонність відіграють важливу роль у формуванні хімічного складу меду та продуктів бджільництва. Розуміння впливу цих факторів є критично важливим для підвищення якості продукції, оптимізації умов її зберігання та збереження корисних властивостей для споживачів.

11.2. Вплив ботанічного походження нектару

Вплив ботанічного походження нектару на хімічний склад меду та продуктів бджільництва є ключовим аспектом для розуміння біохімічних процесів, що забезпечують формування специфічних фізико-хімічних властивостей продуктів бджільництва. Ботанічне походження нектару впливає на вміст біологічно активних сполук, що сприяють посиленню антиоксидантних та антимікробних властивостей меду.

Нектар, зібраний з різних видів рослин, характеризується суттєвими відмінностями у вмісті цукрів, поліфенолів, мінеральних речовин та амінокислот. Для прикладу, акацієвий мед має високий вміст фруктози (до 42 %) та низький рівень глюкози (до 30 %), що забезпечує його текучість та повільну кристалізацію. Липовий мед

збагачений глюкозою (до 36 %) та фенольними сполуками (до 80 мг/кг), що надає йому високу ароматичність (табл. 32).

Важливим чинником є домінуюча рослинність, що зумовлює специфічний хімічний профіль меду. Соняшниковий мед, завдяки високому рівню глюкози (до 40 %), швидко кристалізується, тоді як гречаний мед відомий своєю високою концентрацією фенольних сполук (до 120 мг/кг).

Таблиця 32. Хімічний склад медів різного походження

Ботанічне походження	Вода, %	Фруктоза, %	Глюкоза, %	Поліфеноли, мг/кг	Мінеральні речовини, %
Акацієвий	14–16	40–42	28–30	50–70	0,2–0,3
Липовий	15–17	36–40	32–36	60–80	0,3–0,4
Соняшниковий	14–16	34–36	38–40	70–90	0,4–0,5
Гречаний	15–18	35–38	30–34	90–120	0,6–0,8
Каштановий	15–17	32–34	28–32	110–140	0,5–0,7
Змішаний трав'яний	14–18	36–38	30–36	80–100	0,4–0,6

Мед, що містить падевий мед, значно відрізняється за хімічним складом від квіткового меду (табл. 33). У ньому міститься більше азотистих речовин (майже в 2 рази) і сахарози (з меншою кількістю інвертованого цукру). Падевий мед особливо багатий декстринами і мінеральними солями (в 3–4 рази більше, ніж у квітковому меді).

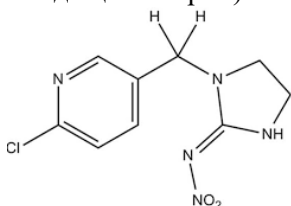
Таблиця 33. Хімічний склад падевого і квіткового меду, %

Показники	Види меду	
	Падевий	Квітковий
Вода	17,02	18,23
Інвертний цукор	65,23	75,32
Сахароза	4,84	1,27
Азотисті та білкові сполуки	0,82	0,42
Органічні кислоти	0,18	0,07
Декстрини	10,03	3,61
Мінеральні солі	0,96	0,22
Інші компоненти	0,92	0,86

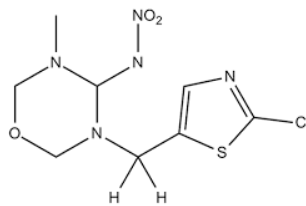
11.3. Вплив забруднювачів

Антропогенне забруднення навколишнього середовища, зокрема пестицидами, гербіцидами, важкими металами та іншими хімічними речовинами, суттєво впливає на якісний склад меду та супутніх продуктів бджільництва, включаючи прополіс, пергу, маточне молочко і віск, створюючи ризики для здоров'я як бджіл, так і споживачів продуктів бджільництва.

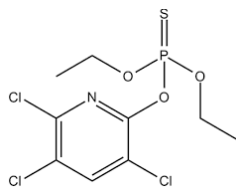
Пестициди, використовувані у сільському господарстві, проникають у мед та пилок, які збираються бджолами, через рослини, оброблені хімічними засобами захисту. Найпоширенішими забруднювачами є неонікотинοїди (імадаклоприд, тіаметоксам), органофосфати (хлорпірифос, диметоат) та піретроїди (дельтаметрин, лямбда-цигалотрин).



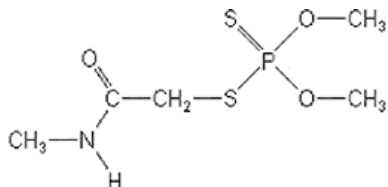
Імадаклоприд



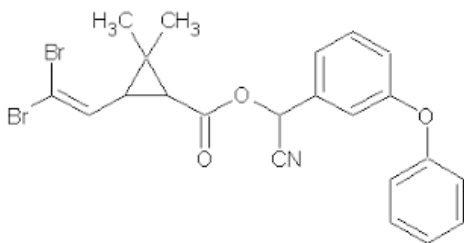
Тіаметоксам



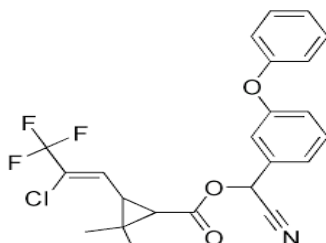
Хлорпірифос



Диметоат



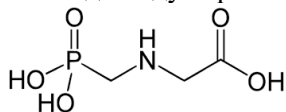
Дельтаметрин



Лямбда-цигалотрин

Ці сполуки характеризуються високою токсичністю для ензимних систем бджіл. Неонікотинοїди впливають на ацетилхолінові рецептори нервової системи бджіл, що призводить до їх загибелі або значного зниження продуктивності. Органофосфати інгібують ацетилхолінестеразу, спричиняючи нейротоксичний ефект, тоді як піретроїди викликають порушення передачі нервових імпульсів. Це знижує активність ферментів меду, таких як інвертаза та діастаза, погіршуючи його якість.

Гербициди, зокрема гліфосат ($C_3H_8NO_5P$), також здатні проникати до меду через забруднений пилок і воду.

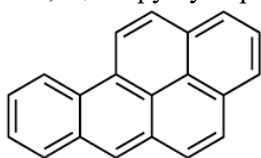


Гліфосат

Гліфосат є похідним гліцину та характеризується високою розчинністю у воді, що сприяє його накопиченню в рослинах і подальшій трансмісії до продуктів

бджільництва. Він інгібуює фермент 5-енолпірувілшикімат-3-фосфатсинтазу, що порушує синтез ароматичних амінокислот у рослинах. У меді гліфосат змінює баланс мінеральних елементів і знижує концентрацію ароматичних сполук, таких як феноли та терпеноїди, негативно впливаючи на смакові властивості.

Важкі метали, такі як свинець (Плюмбум, Pb), Кадмій (Cd), ртуть (Меркурій, Hg) і миш'як (Арсен, As), накопичуються в продуктах бджільництва через забруднене повітря, ґрунт і воду. Свинець зв'язується з тіловими групами білків, порушуючи їх функцію. Кадмій може замінювати Цинк у ферментах, таких як карбоангідраза. Ртуть, особливо у формі метилртуті, зв'язується з сульфгідрильними групами білків, а миш'як інгібуює ферменти, що містять сульфгідрильні групи. Ці метали утворюють токсичні комплекси, інгібуючи активність ключових ферментів, таких як каталаза, що порушує процеси детоксикації в меді.



Бенз[а]пірен

Інші забруднювачі, зокрема *поліциклічні ароматичні вуглеводні* (ПАВ), наприклад бенз[а]пірен ($C_{20}H_{12}$), та залишки антибіотиків також становлять значну загрозу. ПАВ порушують структуру флавоноїдів, знижуючи антиоксидантний потенціал меду. Антибіотики, такі як

тетрацикліни та сульфаніламід, змінюють білковий склад меду, сприяючи формуванню антибіотикорезистентності у споживачів.

Отже, забруднення навколишнього середовища хімічними речовинами істотно змінює хімічний склад продуктів бджільництва, знижуючи їх біологічну цінність і створюючи потенційні ризики для здоров'я. Розробка ефективних методів моніторингу та мінімізації впливу забруднювачів є ключовим напрямом досліджень, спрямованих на збереження якості та безпеки продуктів бджільництва.

11.4. “Зелена” хімія: інтеграція екологічних підходів

“Зелена” хімія є сучасним напрямом науки, який інтегрує екологічні принципи у хімічні процеси для зменшення негативного впливу на довкілля. Вона формує підходи, які орієнтовані на розробку нових матеріалів і технологій, що забезпечують мінімізацію екологічних ризиків і раціональне використання ресурсів. У контексті хімії меду та продуктів бджільництва “зелена” хімія спрямована на впровадження методів, що мінімізують утворення відходів, знижують використання токсичних речовин та сприяють максимальному збереженню біологічних властивостей продуктів.

Одним із ключових аспектів “зеленої” хімії є заміна традиційних хімічних процесів екологічно безпечними альтернативами. Наприклад, у виробництві продуктів бджільництва це може включати застосування біорозкладних розчинників або каталітичних систем, які забезпечують високу ефективність реакцій за низьких температур і без використання агресивних хімічних реагентів. Екстракція біологічно активних компонентів із меду або воску може бути здійснена за допомогою “зелених” розчинників, таких як етанол або вода, у поєднанні з сучасними методами, такими як надкритична флюїдна екстракція. Крім того, використання природних каталізаторів або ферментів дозволяє суттєво скоротити вплив на довкілля і покращити енергоефективність процесів.

Інтеграція “зеленої” хімії також включає використання відновлюваних ресурсів. Мед та продукти бджільництва, завдяки своєму природному походженню, вже є частиною відновлюваного циклу, однак їх хімічна обробка повинна відповідати принципам

сталого розвитку. Це означає, що всі етапи виробництва мають бути спрямовані на максимальне збереження біологічної активності компонентів меду, таких як ферменти, антиоксиданти та органічні кислоти, а також на зменшення кількості відходів.

Енергозбереження є ще одним важливим принципом “зеленої” хімії. Використання енергозберігаючих технологій, таких як мікрохвильовий нагрів, ультразвукова обробка чи технології низькотемпературної сушки, дозволяє суттєво скоротити енерговитрати на обробку продуктів бджільництва без втрати їх якості. Ці підходи також сприяють зменшенню утворення побічних продуктів і знижують потребу у традиційних нагрівальних системах, які часто спричиняють небажані хімічні зміни.

“Зелена” хімія передбачає також зниження екологічного навантаження на етапах зберігання та транспортування продуктів бджільництва. Це досягається шляхом використання біорозкладних пакувальних матеріалів, які забезпечують захист продукції від вологи та окиснення. Наприклад, сучасні дослідження активно розвивають пакувальні матеріали на основі полісахаридів, таких як целюлоза, які не тільки є екологічно безпечними, але й мають антимікробні властивості. Це дозволяє зберігати продукцію у високій якості протягом тривалого часу і знижувати екологічне навантаження, пов’язане з використанням пластику.

Крім того, “зелена” хімія розглядає можливість повторного використання відходів виробництва продуктів бджільництва. Наприклад, залишки воску чи пилку можна використовувати для отримання додаткових продуктів, таких як косметичні засоби або біологічно активні добавки. Це дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів і створити безвідходний виробничий цикл.

Таким чином, “зелена” хімія інтегрує екологічні підходи в усі етапи обробки, зберігання та транспортування меду і продуктів бджільництва. Вона сприяє збереженню їх природних властивостей, мінімізації впливу на довкілля та раціональному використанню ресурсів. Це забезпечує не лише високу якість продукції, а й відповідність сучасним вимогам екологічної сталості, що є важливим для підтримання балансу між виробництвом і збереженням екосистем.

Контрольні запитання

1. Як кліматичні фактори впливають на хімічний склад меду?
2. Яким чином сезонність визначає вміст цукрів і біологічно активних речовин у меді?
3. Як температура впливає на ферментативні процеси у вулику?
4. Чому рівень вологості є критичним для збереження меду?
5. Як ботанічне походження нектару впливає на хімічний склад меду?
6. Які відмінності у хімічному складі меду, зібраного з різних рослин, таких як акація, липа, гречка та соняшник?
7. Як забруднення пестицидами впливає на ферменти меду?
8. Який вплив мають гербіциди, такі як гліфосат, на якість продуктів бджільництва?
9. Які важкі метали можуть накопичуватися в продуктах бджільництва, і які ризики це створює?
10. Як умови зберігання, такі як температура та вологість, впливають на стабільність меду?
11. Чому маточне молочко є найбільш чутливим до умов зберігання продуктом бджільництва?
12. Як використання “зеленої” хімії допомагає зберігати якість меду та продуктів бджільництва?
13. Які методи мінімізують вплив високих температур на ферментативну активність меду?
14. Як сучасні пакувальні матеріали сприяють збереженню продуктів бджільництва?
15. Як впровадження “зеленої” хімії дозволяє зменшити екологічне навантаження у виробництві меду?
16. Чому поліциклічні ароматичні вуглеводні вважаються небезпечними для меду та інших продуктів бджільництва?
17. Як фотодеградація антиоксидантів впливає на якість меду під час зберігання?
18. Як “зелена” хімія сприяє повторному використанню відходів виробництва продуктів бджільництва?

12. МЕТОДИ АНАЛІЗУ ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА

12.1. Спектрофотометричні методи

Спектрофотометрія – це метод аналітичної хімії, що базується на вимірюванні поглинання або пропускання світла певної довжини хвилі речовиною. Цей метод широко застосовується для аналізу компонентів меду та продуктів бджільництва завдяки його високій чутливості, точності та універсальності.

Існує декілька видів спектрофотометрії, кожен з яких має свої особливості та області застосування. *Ультрафіолетова (УФ)* (рис. 28) та *видима (В)* спектрофотометрія використовуються для визначення компонентів, які поглинають світло в діапазоні від 200 до 800 нм.

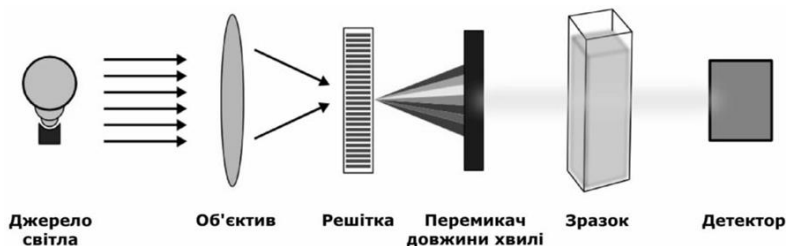


Рис. 28. Схема ультрафіолетової спектрофотометрії.

За допомогою УФ-спектрофотометрії можна оцінити вміст флавоноїдів, поліфенолів, а також визначити антиоксидантну активність меду. Видима спектрофотометрія застосовується для аналізу пігментів, таких як каротиноїди, хлорофіл та інші кольорові компоненти.

Інфрачервона (ІЧ) спектрофотометрія дозволяє аналізувати вміст специфічних функціональних груп у молекулах, таких як карбонільні, гідроксильні та інші групи. ІЧ-спектрофотометрія дозволяє ідентифікувати складні органічні молекули, такі як вуглеводи, білки та ліпіди, що входять до складу меду.

Флуоресцентна спектроскопія – це тип електромагнітної спектроскопії, яка аналізує флуоресцентні молекули. Вона використовує явище збудження електронів під час зіткнення з частинками високої енергії, такими як фотони та інші збуджені електрони. У процесі переходу багатоатомних флуоресцентних молекул (флуорофорів) з їхнього вищого енергетичного рівня

(збудженого стану) в основний стан шляхом зниження їхнього енергетичного рівня випускаються фотони. Здебільшого флуорофорами є молекули, які містять ароматичні кільця, такі як тирозин, триптофан, флуоресцеїн тощо. Флуоресцентна спектрофотометрія є надзвичайно чутливим методом для визначення залишкових кількостей речовин, наприклад, продуктів реакції Майяра, які впливають на колір і аромат меду.

Мас-спектрометрія – метод визначення хімічного, фазового складу і молекулярної структури речовини, що базується на реєстрації спектра мас іонів, утворених внаслідок іонізації атомів і (або) молекул проби. Маса іона визначається за його відхиленням у магнітному полі (рис. 29).

Цей метод належить до найбільш інформативних методів і відрізняється високими аналітичними характеристиками, дозволяє провести аналіз твердих, рідких і газоподібних речовин. Число хімічних елементів, що одночасно визначаються у природних об'єктах – до 40; одночасно

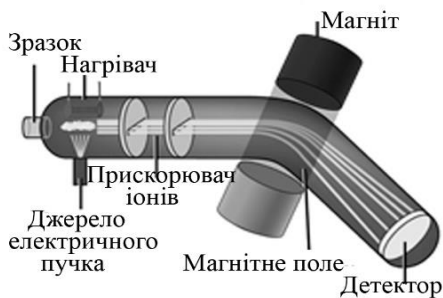


Рис. 29. Схема мас-спектрометрії.

з елементним складом (з точністю до 1 % при наявності стандартних зразків і до 30 % при безеталонному аналізі) визначається ізотопний склад (з точністю до 10^{-1} – $10^{-2}\%$) речовини. Межі виявлення: відносна 10^{-4} – 10^{-8} %, абсолютна 10^{-10} – 10^{-19} г. У дослідженні меду мас-спектрометрія забезпечує точне визначення компонентного складу, включаючи цукри, органічні кислоти, фенольні сполуки та флавоноїди, які відповідають за антиоксидантні властивості продукту. Крім того, метод дозволяє виявляти сліди пестицидів, важких металів та інших забруднювачів, що є важливим для оцінки безпечності та якості меду. Особливу цінність мас-спектрометрія має у дослідженні унікальних біомолекул, які можуть варіюватися залежно від ботанічного та географічного походження меду. Наприклад, аналіз ізотопних співвідношень дозволяє визначати фальсифікації продукту, додаючи впевненості у його автентичності.

Крім того, спектрофотометричний метод дозволяє оцінювати фізико-хімічні властивості меду, такі як оптична щільність, яка корелює з вмістом сухих речовин, а також визначати наявність домішок або фальсифікації продукту. Завдяки його здатності швидко та точно проводити кількісний аналіз, спектрофотометрія є незамінним інструментом у дослідженнях та контролі якості меду й продуктів бджільництва.

Спектрофотометрія дозволяє оцінювати параметри кольору меду, які відображають його якість, походження та процеси зберігання. Важливим аспектом є її застосування для моніторингу кристалізації меду, що є критерієм оцінки фізико-хімічної стабільності продукту.

Атомна спектроскопія є фундаментальним методом аналітичної хімії, що забезпечує високоточний якісний і кількісний аналіз елементного складу. Основні варіанти методу – атомно-абсорбційна спектроскопія (ААС) та атомно-емісійна спектроскопія (АЕС) – базуються на вивченні поглинання або випромінювання світла атомами, які перебувають у газовій фазі. Унікальні довжини хвиль, характерні для кожного хімічного елемента, використовуються як ідентифікаційні параметри у спектроскопічному аналізі.

Для дослідження меду атомна спектроскопія є потужним інструментом визначення макро- та мікроелементного складу. Зокрема, метод дозволяє встановити концентрації таких важливих елементів, як Калій, Магній, Кальцій, Ферум, Цинк і Купрум. Крім того, атомна спектроскопія є незамінною для ідентифікації слідових кількостей токсичних елементів, таких як Плюмбум, Кадмій чи Меркурій, що є важливим аспектом для безпеки харчових продуктів.

Атомна спектроскопія характеризується високою чутливістю, точністю та відтворюваністю, що робить її важливим для комплексної оцінки хімічного складу меду та контролю його якості.

12.2. Електрохімічні методи

Основним принципом електрохімічних методів є застосування електричних характеристик (потенціалу, струму, провідності) для вимірювання хімічних процесів, що протікають на електродах у розчинах електролітів. Ці методи характеризуються високою

чутливістю та специфічністю, що дозволяє проводити аналіз у високодисперсних системах та комплексних змішаних системах.

Потенціометрія, один з найбільш поширених електрохімічних методів, базується на вимірюванні електродного потенціалу залежно від концентрації певного іона у розчині (рис. 30). За допомогою потенціометрії можна визначати кислотність (рН) меду, вміст органічних кислот та активність ферментів, що базуються на змінах концентрації іонів водню.



Рис. 30. рН-метр.

Кондуктометрія дозволяє оцінювати електропровідність меду, що є важливим показником його якості та автентичності. Електропровідність залежить від вмісту мінеральних речовин та органічних кислот, що обумовлюють видові розбіжності у складі меду.

Вольтамперометрія дозволяє детально досліджувати вміст електроактивних сполук, таких як поліфеноли, флавоноїди та аскорбінова кислота. Цей метод базується на реєстрації струму, що виникає впродовж окисно-відновних реакцій на поверхні електрода. Таким чином можна оцінювати антиоксидантну активність меду, що є одним з важливих показників його біологічної цінності.

12.3. Електрофоретичні методи

Електрофоретичні методи належать до найбільш передових підходів для аналізу біологічних матриць, таких як мед і продукти бджільництва. Їх принцип базується на переміщенні заряджених частинок у електричному полі, де швидкість руху визначається співвідношенням між зарядом, розміром, формою частинок і фізико-хімічними властивостями середовища, зокрема його в'язкістю. Ці методи забезпечують високу точність розділення компонентів складних сумішей, що робить їх незамінними для аналізу складу, оцінки якості та виявлення можливих домішок у продуктах.

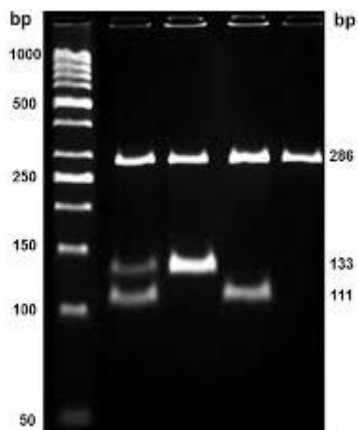


Рис. 31. Гель-електрофорез білків.

У хімії меду електрофоретичні методи широко застосовуються для ідентифікації та кількісного визначення білків, ферментів, нуклеїнових кислот і полісахаридів. Найпоширенішим підходом є *гель-електрофорез*, (рис. 31) у якому як матрицю використовують агарозу або поліакриламід. Гель виконує функцію молекулярного сита, що дозволяє розділяти молекули залежно від їх молекулярної маси. Цей метод є особливо

ефективним для аналізу ферментів, таких як діастаза, яка слугує ключовим маркером свіжості та якості меду. Гель-електрофорез використовується для визначення білків, специфічних для ботанічного походження меду, що є важливим у підтвердженні його автентичності.

Капілярний електрофорез є іншим перспективним напрямком, який характеризується надзвичайно високою роздільною здатністю та швидкістю аналізу. Цей метод базується на використанні вузьких капілярів і високовольтного електричного поля, що забезпечує ефективне розділення навіть молекул із подібними властивостями. У контексті аналізу меду капілярний електрофорез дозволяє визначати як основні компоненти, так і маркери фальсифікації, наприклад, домішки сиропів або штучних добавок, що є критично важливим для забезпечення безпеки та якості продукту.

Процедура електрофоретичного аналізу передбачає попередню підготовку зразка. Мед розчиняють у буферному розчині для створення гомогенного середовища. У випадку гель-електрофорезу зразок вводять у лунки на поверхні гелю, після чого через систему пропускають електричний струм. Компоненти зразка мігрують через гель із різною швидкістю, що дозволяє розділити їх і виявити за допомогою фарбування або детектування ультрафіолетовим світлом. У капілярному електрофорезі застосовують автоматизовані

системи, які забезпечують інтеграцію етапів розділення та детектування, що підвищує точність і швидкість аналізу.

Електрофоретичні методи є ключовими інструментами для оцінки автентичності меду, виявлення домішок і контролю якості продукту. Їх висока чутливість, відтворюваність і універсальність роблять ці підходи незамінними в аналітичних дослідженнях.

12.4. Радіометричні методи

Радіометричні методи становлять основу аналітичних досліджень, що застосовуються для визначення складу та характеристик речовин шляхом вимірювання радіаційних показників. Принцип цих методів базується на використанні радіонуклідів або випромінювання, що виникає внаслідок ядерних перетворень. Завдяки високій чутливості та специфічності, радіометричні методи дозволяють отримати точні дані навіть у складних матрицях, таких як мед.

Ці методи широко застосовуються у наукових дослідженнях і практичному аналізі. Вони забезпечують можливість точного визначення вмісту трасерів, таких як окремі мікроелементи, а також оцінки їх розподілу у складних системах. Особливо важливою є здатність цих методів виявляти радіоактивні забруднювачі, які можуть потрапляти до меду та інших продуктів бджільництва. Проведення таких досліджень дозволяє не лише оцінити рівень забруднення, але й простежити походження шкідливих речовин, що є важливим для гарантування безпеки та якості продукції.

Радіоспектроскопія є одним із найбільш точних і ефективних методів радіометричного аналізу. Вона дозволяє досліджувати радіаційні потоки, що поглинаються або випромінюються атомами певних елементів. Використання радіонуклідів у процесі вимірювання забезпечує можливість визначення вмісту таких елементів, як уран, торій, актиніди та їх ізотопи. Ці елементи є об'єктом особливої уваги в сучасній аналітичній хімії через їх потенційний вплив на здоров'я людини та довкілля.

Дослідження розподілу радіонуклідів у меді сприяє розкриттю нових аспектів його біогенного походження, дозволяє ідентифікувати природні джерела радіації або забруднювачі техногенного походження. Такі дані мають важливе значення для

оцінки автентичності меду, а також для розробки рекомендацій щодо безпечного споживання продуктів бджільництва.

Радіометричні методи, включаючи *радіоспектроскопію*, відкривають широкі можливості для комплексного аналізу складу меду та забезпечення контролю його якості. Їх використання є важливим інструментом у вирішенні завдань харчової безпеки, екологічного моніторингу та оцінки автентичності продукції.

12.5. Ізотопний аналіз

Ізотопний аналіз є сучасним і чутливим методом дослідження, заснованим на вимірюванні співвідношень стабільних або радіоактивних ізотопів хімічних елементів. Цей метод широко застосовується для вивчення походження, складу і якості різних зразків, зокрема меду та продуктів бджільництва.

Застосування ізотопного аналізу у дослідженні меду безпосередньо пов'язане з оцінюванням його географічного походження та автентичності. Співвідношення ізотопів Карбону ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) дозволяє виявляти домішки цукрози чи глюкози, отриманих зі стовбурових рослин, що вказує на можливу фальсифікацію продукту. Аналіз ізотопів водню (D/H) є важливим для визначення джерела води, яку використовують бджоли, та підтвердження регіонального походження меду. Співвідношення ізотопів кисню ($^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$) допомагає точно встановити географічну зону походження продукту, оскільки ізотопний склад кисню у воді залежить від кліматичних умов конкретного регіону.

Особливу цінність має дослідження співвідношення вуглецевих ізотопів (C_3/C_4), яке дозволяє ідентифікувати тип рослин, що були джерелом нектару чи цукру. Рослини типу C_3 , наприклад фруктові дерева або злаки, характеризуються певним ізотопним співвідношенням, тоді як рослини типу C_4 (кукурудза, цукрова тростина) мають вищий вміст важкого ізотопу Карбону. Такий аналіз є критично важливим для виявлення домішок промислового цукру та оцінювання відповідності меду заявленим стандартам якості. Розуміння C_3/C_4 співвідношень надає важливу інформацію щодо флористичного складу території, де збирали нектар.

Ізотопний аналіз дозволяє вивчати біохімічні процеси, які відбуваються у меді під час зберігання, а також вплив зовнішніх

факторів на якісні характеристики продукту. Наприклад, аналіз змін у співвідношенні вуглеводнів допомагає зрозуміти процеси деградації або можливі зміни складу через вплив температури чи вологості. Детальний аналіз складу зразків дозволяє виявляти флуктуації у компонентах, які можуть бути зумовлені природними варіаціями чи технологічними процесами.

Ізотопний аналіз є незамінним інструментом для виявлення фальсифікацій, контролю якості та глибокого розуміння хімічного складу меду. Сучасні технології, такі як високоточні мас-спектрометри, значно розширюють можливості цього методу, забезпечуючи його ефективність навіть для складних матриць. Подальший розвиток методологій ізотопного аналізу відкриває нові перспективи для дослідження харчових продуктів, зокрема меду, і робить його важливим елементом у системах контролю якості харчової промисловості.

12.6. Хроматографічні методи

Хроматографічні методи є надзвичайно ефективними інструментами для аналізу складу меду та продуктів бджільництва. Їх популярність обумовлена високою точністю, універсальністю та здатністю розділяти складні багатокомпонентні системи. Основний принцип хроматографії полягає в розділенні компонентів суміші на основі їх різної взаємодії з рухомою та нерухомою фазами. Нерухома фаза, яка може бути твердою або рідкою консистенції, закріплена на інертному носії, тоді як рухома фаза представлена рідиною або газом. Розділення компонентів залежить від їх фізико-хімічних властивостей, таких як розчинність, полярність чи молекулярна маса.

Газова хроматографія є одним із найефективніших методів аналізу летких компонентів меду, включаючи ароматичні сполуки, спирти, альдегіди та ефіри, які визначають його органолептичні властивості. Метод дозволяє проводити кількісний та якісний аналіз летких сполук, що є важливим для визначення ботанічного та географічного походження меду. Перед аналізом зразки меду піддаються екстракції летких компонентів, які далі розділяються в газовій хроматографічній колонці та детектуються за допомогою мас-спектрометрії або інших високочутливих детекторів.

Рідинна хроматографія, зокрема вискоєфективна рідинна хроматографія (ВЕРХ), використовується для аналізу нелетких компонентів меду. Метод дозволяє визначати концентрацію вуглеводів, таких як глюкоза, фруктоза та сахароза, а також органічних кислот, поліфенолів, флавоноїдів і амінокислот (рис. 32). ВЕРХ особливо ефективний для перевірки автентичності меду та виявлення фальсифікацій, наприклад, додавання штучних сиропів. Висока роздільна здатність методу дає змогу виявляти навіть мінімальні відхилення у складі продукту.

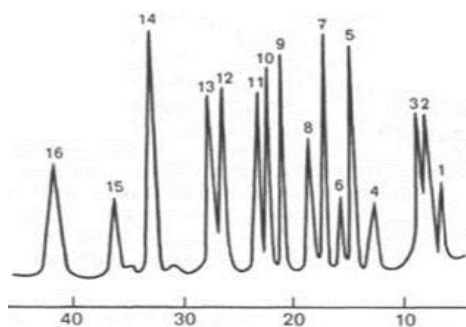


Рис. 32. Рідинна хроматографія амінокислот на колонці, наповненій іонообмінною смолою:

- 1 – Асп; 2 – Тре; 3 – Сер;
- 4 – Глу; 5 – Глі; 6 – Ала;
- 7 – Цис; 8 – Вал; 9 – Мет;
- 10 – Іле; 11 – Лей; 12 – Тир;
- 13 – Фен; 14 – Ліз; 15 – Гіс;
- 16 – Арг.

Іонообмінна хроматографія є ключовим методом для аналізу мінерального складу меду. Цей підхід базується на взаємодії іонів компонентів із зарядженими групами нерухомої фази. Метод дозволяє з високою точністю визначати концентрацію макро- та мікроелементів, таких як Калій, Натрій, Кальцій і Магній, які мають важливе значення для оцінки харчової цінності меду.

Хроматографічні методи вимагають ретельної підготовки зразків, яка включає екстракцію, очищення та концентрування компонентів. Сучасні аналітичні платформи, такі як поєднання хроматографії з мас-спектрометрією, забезпечують не лише високоточне розділення, а й ідентифікацію молекул за їхньою молекулярною масою та структурою. Це значно підвищує чутливість і специфічність аналізу, роблячи хроматографію одним із найпотужніших інструментів у хімії продуктів бджільництва.

Завдяки своїй універсальності, високій чутливості та відтворюваності результатів хроматографічні методи займають провідне місце в оцінці якості меду, визначенні його автентичності та виявленні домішок.

12.7. Антиоксидантна активність

Антиоксидантна активність є ключовим показником біологічної цінності меду та продуктів бджільництва, оскільки вона відображає здатність цих продуктів нейтралізувати вільні радикали і знижувати оксидативний стрес. Для визначення антиоксидантної активності широко застосовуються методи DPPH (2,2-дифеніл-1-пікрилгідразил) та FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), кожен із яких має свої особливості та переваги.

Метод DPPH базується на відновленні стабільного радикалу DPPH, який має інтенсивне фіолетове забарвлення. У присутності антиоксидантів колір зразка змінюється через зниження концентрації радикала. Вимірювання зменшення оптичної густини при довжині хвилі 517 нм дозволяє кількісно оцінити антиоксидантну активність. DPPH-метод є простим і швидким, що робить його придатним для аналізу різних типів антиоксидантів, включаючи поліфеноли, флавоноїди та аскорбінову кислоту. Однак метод найбільш ефективний для жиророзчинних антиоксидантів і має обмежену чутливість до гідрофільних компонентів.

Метод FRAP оцінює здатність антиоксидантів відновлювати іони Fe(III) до Fe(II) у комплексі з TPTZ (трипіридилтриазин). Ця реакція супроводжується утворенням інтенсивно синього забарвлення, яке вимірюється при довжині хвилі 593 нм. FRAP-метод забезпечує надійний аналіз антиоксидантів, особливо гідрофільних сполук. Він демонструє високу специфічність до водорозчинних компонентів, але менш ефективний для жиророзчинних антиоксидантів.

Порівняння цих двох методів свідчить, що DPPH має більш універсальний характер, оскільки дозволяє оцінювати антиоксиданти незалежно від їх розчинності, тоді як FRAP забезпечує глибший аналіз гідрофільних компонентів. Обидва підходи широко застосовуються в дослідженні антиоксидантної активності меду, екстрактів рослинного походження та інших продуктів бджільництва. Вони дають змогу не лише оцінити якість продукту, а й виявити взаємозв'язок між його хімічним складом і функціональними властивостями.

Методи DPPH та FRAP використовуються як взаємодоповнюючі інструменти для всебічної оцінки антиоксидантної активності. Їх

застосування в аналізі меду дозволяє визначити його біологічну цінність, підтвердити автентичність та забезпечити високу якість продукту. Це має особливе значення для наукових досліджень і розробки стандартів якості для продуктів бджільництва.

12.8. Біоаналітичні підходи до дослідження продуктів

Біоаналітичні підходи є фундаментально важливими для сучасної біохімії, забезпечують високоточний, чутливий та багатоаспектний аналіз біологічних зразків, зокрема продуктів бджільництва. Ці методи інтегрують використання біологічних молекул, таких як ферменти, антитіла, ДНК чи РНК, з сучасними аналітичними платформами для виявлення специфічних речовин, моніторингу біохімічних процесів або оцінки функціональної активності компонентів. Їх застосування є ключовим для встановлення автентичності, оцінки якості та розширеного розуміння харчової цінності продуктів.

Ензиматичні методи займають провідне місце серед біоаналітичних підходів, оскільки вони базуються на високій специфічності ферментів до субстратів і їх здатності каталізувати хімічні реакції з високою швидкістю. Наприклад, глюкозооксидазний метод для визначення глюкози в меді є класичним прикладом застосування ферментів у аналітиці. Фермент глюкозооксидаза каталізує окиснення глюкози до глюконової кислоти із супутнім утворенням пероксиду водню. Пероксид водню потім взаємодіє з хромогенними реагентами, утворюючи інтенсивно забарвлений продукт, інтенсивність якого прямо пропорційна концентрації глюкози. Цей підхід забезпечує високу точність, відтворюваність і чутливість.

Імунохімічні методи, такі як імуноферментний аналіз (ELISA), є надзвичайно чутливими і дозволяють кількісно визначати навіть мінімальні концентрації специфічних білків, ферментів або інших біологічно активних молекул у меді. Принцип методу базується на специфічній взаємодії антитіла з антигеном, що забезпечує високий рівень точності аналізу. ELISA використовується для ідентифікації ботанічного походження меду, кількісного визначення ферментів, таких як діастаза, а також для виявлення потенційних домішок або контамінацій у продукті.

Біосенсори, що поєднують біологічні молекули (ферменти, антитіла або навіть ДНК) із фізико-хімічними детекторами, відкривають можливість проводити реальний моніторинг складу продуктів. Електрохімічні біосенсори, наприклад, дозволяють визначати антиоксидантну активність, а також вміст основних компонентів, таких як глюкоза чи фруктоза. Висока чутливість, компактність і можливість інтеграції в автоматизовані системи роблять їх ідеальним інструментом для дослідження продуктів бджільництва.

Молекулярно-біологічні методи, особливо *полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР)*, є незамінними для генетичного аналізу меду. Ці методи дозволяють ідентифікувати ботанічне походження продукту шляхом виявлення унікальних генетичних маркерів рослин, з яких зібраний нектар. Крім того, ПЛР використовується для виявлення домішок, що порушують автентичність продукту, або потенційних мікробних контамінацій, які можуть впливати на його безпечність.

Інтеграція біоаналітичних підходів значно розширює можливості якісної оцінки, забезпечує високий рівень специфічності та чутливості, дозволяє одночасно аналізувати широкий спектр параметрів. Вони є ключовими для оцінки антиоксидантної активності, перевірки автентичності та стандартизації продуктів відповідно до міжнародних вимог. Інноваційний підхід до застосування біоаналітичних інструментів відкриває нові перспективи для дослідження функціональних властивостей продуктів бджільництва та забезпечення їх високої якості.

Контрольні запитання

1. Які принципи лежать в основі спектрофотометричних методів аналізу меду та продуктів бджільництва?
2. Що таке потенціометрія, і як її використовують для аналізу?
3. Як кондуктометрія застосовується для оцінки електропровідності?
4. Як електрофоретичні методи допомагають аналізувати ферменти та білки у меді?
5. Як радіометричні методи використовуються для виявлення радіоактивних забруднень у продуктах бджільництва?
6. Що таке ізотопний аналіз, і як він допомагає визначити географічне походження меду?

13. ЕКСПЕРТИЗА МЕДУ ТА ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА

13.1. Стандарти якості продуктів бджільництва

Якість меду та продуктів бджільництва є ключовим аспектом забезпечення їх харчової, терапевтичної та економічної цінності, оскільки від цього залежить їх відповідність сучасним вимогам безпеки та споживчих стандартів. Регламентація стандартів якості охоплює визначення хімічного складу, органолептичних властивостей, показників безпеки та відповідності продукції національним і міжнародним нормативам.

Хімічний склад меду, включаючи рівень вологи, сахарози, глюкози, фруктози, кислотність, концентрацію мінеральних речовин, ферментативну активність, є основними параметрами для визначення його якості. Особливу увагу приділяють вмісту води, оскільки перевищення рівня 20 % може призводити до ферментації, знижуючи стабільність продукту при зберіганні. Вміст води є індикатором дозрівання меду та його потенційної біохімічної стійкості.

Важливим критерієм якості є *діастазне число*, що демонструє активність амілази як маркера натуральності меду. Для високоякісного меду мінімальний рівень діастазного числа складає 8 одиниць Готе, що підтверджує його біологічну активність. Крім того, контроль концентрації гідроксиметилфурфуролу (ГМФ) дозволяє оцінити рівень термічної обробки та тривалості зберігання продукту, причому допустима межа становить 40 мг/кг.

Органолептичні характеристики, такі як колір, смак, аромат і консистенція, мають ключове значення в ідентифікації меду та забезпеченні його привабливості для споживачів. Кристалізація, хоча і є природним процесом, служить додатковим індикатором натуральності продукту. Важливо враховувати регіональні особливості та специфіку ботанічного походження меду, що впливають на його фізико-хімічні властивості.

Продукти бджільництва, такі як віск, прополіс, маточне молочко, перга і пилок, мають власні стандарти якості. Наприклад, бджолиний віск повинен відповідати специфічним фізико-хімічним параметрам, включаючи температуру плавлення 62–65 °C і

однорідність кольору. Прополіс аналізується на вміст біологічно активних речовин, таких як смоли, ефірні олії, та механічні домішки. Маточне молочко оцінюється за фізико-хімічними показниками, включаючи консистенцію, кислотність і біологічну активність.

Сертифікація продуктів бджільництва є інтегральним елементом забезпечення їх відповідності міжнародним стандартам. Вона включає багатоступеневий процес перевірки, що охоплює аналізи хімічного складу, мікробіологічної чистоти, а також оцінку умов виробництва. Гармонізація національних стандартів із міжнародними нормами, такими як ISO та Codex Alimentarius, сприяє спрощенню процесів міжнародної торгівлі та забезпечує єдиний підхід до оцінки якості.

Безпечність продукції бджільництва забезпечується жорстким контролем залишків пестицидів, антибіотиків, важких металів і патогенних мікроорганізмів. Відсутність цих контамінантів є критерієм допуску продукту до ринку та підтвердження його високої якості.

Отже, стандарти якості меду та продуктів бджільництва визначають їх конкурентоспроможність на глобальному ринку та гарантують відповідність вимогам харчової безпеки й біологічної автентичності. Постійний моніторинг цих параметрів у поєднанні з сертифікаційними процедурами є запорукою стабільного розвитку галузі бджільництва.

13.2. Фальсифікація меду

Фальсифікація меду становить одну з найсерйозніших проблем сучасного бджільництва, оскільки вона суттєво впливає на якісні показники продукту, його харчову цінність і безпечність для споживачів. Основні методи фальсифікації включають введення сиропів, барвників, консервантів і інших речовин, що спричиняють зміну хімічного складу меду та порушують його автентичність.

Одним із найбільш поширених способів фальсифікації є *додавання сиропів* на основі сахарози, фруктози або глюкози, які отримують з кукурудзи, буряків чи інших джерел. Введення таких домішок суттєво змінює співвідношення основних вуглеводів у меді, особливо збільшуючи концентрацію глюкози та фруктози, що призводить до зміни осмотичних властивостей продукту. Для

виявлення таких домішок застосовуються ізотопні методи, зокрема аналіз співвідношення C-13/C-12, який дозволяє розрізнити натуральні вуглеводи меду від синтетичних. Газова та рідинна хроматографія також ефективно ідентифікують специфічні маркери, характерні для штучних сиропів.

Барвники, як природного, так і синтетичного походження, додають для імітації природного кольору меду або для маскування його низької якості. Синтетичні барвники змінюють спектральні характеристики продукту, що можна легко визначити за допомогою спектрофотометрії або високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ). У натуральному меді кольорові характеристики залежать від ботанічного походження, тому будь-які аномалії свідчать про можливу фальсифікацію.

Додавання *консервантів*, таких як сірчистий ангідрид або сорбінова кислота, спрямоване на подовження терміну зберігання меду. Присутність цих речовин порушує кислотно-лужний баланс і значно знижує ферментативну активність продукту, зокрема активність діастази та інвертази, що є ключовими показниками якості меду. Виявлення консервантів можливе за допомогою методів газової хроматографії та спектрофотометрії.

З метою зміни текстури або покращення зовнішнього вигляду меду до нього можуть додавати такі речовини, як крохмаль, желатин або стабілізатори. Ці домішки змінюють реологічні характеристики продукту, а також впливають на його біохімічні властивості, зокрема на співвідношення білків і вуглеводів. Для їх ідентифікації використовують мікроскопічний аналіз і визначення азотовмісних сполук.

Нагрівання меду, яке іноді використовують для уникнення кристалізації, також вважається методом фальсифікації. Підвищення температури призводить до утворення гідроксиметилфурфуролу (ГМФ) у концентраціях, що перевищують допустимі 40 мг/кг. Наявність ГМФ у високих кількостях є індикатором термічної обробки і може свідчити про спробу маскування старого або неякісного меду.

Фальсифікація меду суттєво впливає на його органолептичні властивості, біологічну активність і харчову цінність. Для виявлення таких змін необхідно застосовувати комплекс сучасних аналітичних

методів, серед яких мас-спектрометрія, ВЕРХ, ізотопний і спектральний аналіз. Ці технології дозволяють не лише визначити наявність домішок, а й кількісно оцінити їх вплив на якість меду. Забезпечення відповідності продукції стандартам є критично важливим для гарантування її автентичності, безпечності та конкурентоспроможності на ринку.

13.3. Фальсифікація воску

Методи фальсифікації воску зосереджуються на зміні його хімічних характеристик з метою зниження вартості готового продукту або імітації натурального бджолиного воску. Ці методи включають додавання синтетичних компонентів, змішування з іншими видами воску та використання речовин, які змінюють фізико-хімічні властивості.

Одним із найпоширеніших методів є змішування бджолиного воску з *парафіном, стеарином* або *мінеральними восками*. Парафін і стеарин мають подібну консистенцію до бджолиного воску, проте їх хімічний склад відрізняється, що впливає на такі параметри, як температура плавлення, вміст жирних кислот і ефірів. Введення цих домішок знижує якість воску та може змінити його біологічну активність. Для виявлення таких домішок використовують методи спектрофотометрії, газової хроматографії та термічного аналізу.

Ще одним методом фальсифікації є *додавання рослинних восків*, таких як карнаубський чи канделільський віск. Ці воски, хоч і є природними, мають значно вищу температуру плавлення, що дозволяє виявити їх домішки за допомогою диференціальної скануючої калориметрії. Крім того, їх введення змінює співвідношення насичених і ненасичених жирних кислот, що можна визначити за допомогою хімічного аналізу.

Фальсифікація також може включати використання *синтетичних барвників* для імітації характерного кольору натурального воску. Барвники, введені в віск, можуть приховувати наявність домішок, проте їх присутність легко виявляється за допомогою хроматографічних методів або спектрального аналізу.

Зміни в хімічних характеристиках воску, спричинені фальсифікацією, впливають на його функціональні властивості, такі як пластичність, адгезія та біологічна активність. Натуральний

бджолиний віск має унікальне співвідношення ефірів, вільних кислот і спиртів, яке забезпечує його високі фізико-хімічні характеристики. Додавання синтетичних або природних домішок порушує цей баланс, що може призвести до небажаних наслідків, зокрема зниження ефективності воску в медичному або косметичному застосуванні.

Для ідентифікації фальсифікованого воску важливо використовувати комбінацію аналітичних методів, що включають хроматографічні, спектрофотометричні й термічні аналізи. Використання сучасних технологій дозволяє точно встановити склад воску, виявити домішки та оцінити їх вплив на властивості продукту. Таким чином, контроль за якістю воску є критично важливим для забезпечення його відповідності стандартам та збереження споживчих характеристик.

13.4. Фальсифікація перги

Фальсифікація перги є актуальною проблемою у сфері бджільництва, оскільки вона суттєво знижує якість продукту, його біологічну активність і харчову цінність. Основні методи фальсифікації базуються на зміні хімічного складу шляхом додавання сторонніх речовин, імітації природних характеристик або модифікації фізичних властивостей.

Одним із поширених способів фальсифікації є *додавання подрібнених рослинних залишків*, таких як пилок низької якості, борошно чи інші баластні матеріали. Це призводить до змін білкового складу продукту, особливо його амінокислотного профілю, що критично впливає на біологічну активність перги. Використання методів електрофорезу для аналізу білків та спектрофотометрії для визначення співвідношення білків і вуглеводів дозволяє точно ідентифікувати такі відхилення.

Штучні барвники часто застосовуються для імітації натурального кольору перги, який залежить від ботанічного походження пилку. Барвники змінюють спектральні характеристики продукту, що можна ідентифікувати за допомогою хроматографії та спектрофотометричного аналізу. Присутність синтетичних барвників не лише порушує автентичність продукту, але й становить

потенційну загрозу для здоров'я через можливий токсикологічний вплив.

Додавання *консервантів*, таких як сорбінова кислота чи бензоати, дозволяє продовжити термін зберігання продукту. Проте ці речовини змінюють природний кислотно-лужний баланс перги та впливають на ферментаційні процеси, які є ключовими для її дозрівання. Виявлення консервантів здійснюється за допомогою хроматографічних методів, зокрема газової хроматографії (ГХ) і вискоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ).

Ще одним поширеним методом є введення мінеральних речовин, таких як *крейда* або *тальк*, для збільшення ваги продукту. Ці домішки змінюють мінеральний профіль та зольність перги, що можна визначити за допомогою спектрального аналізу та мікроскопії. Присутність неорганічних елементів або сторонніх часток свідчить про низьку якість продукції.

Фальсифікація також може включати введення *штучно виготовлених гранул*, які імітують структуру натуральної перги, але позбавлені ферментативної активності. Для їх виявлення використовують комплексні підходи, включаючи аналіз ферментативної активності, амінокислотного складу та вуглеводного профілю.

Фальсифікація суттєво знижує терапевтичну та харчову цінність перги, підриваючи довіру споживачів і негативно впливаючи на ринок продукції бджільництва. Для забезпечення відповідності продукції встановленим стандартам якості необхідне застосування сучасних аналітичних методів, таких як мас-спектрометрія, ВЕРХ, спектрофотометрія та мікроскопія. Ці технології дозволяють ідентифікувати домішки, оцінити їхній вплив на хімічний склад продукту та гарантувати його високу якість.

13.5. Фальсифікація прополісу

Фальсифікація прополісу базується на зміні його природного хімічного складу або заміні компонентів на менш цінні чи синтетичні аналоги. Основні методи фальсифікації включають додавання сторонніх речовин, заміну натурального продукту, а також маніпуляцію фізико-хімічними характеристиками з метою імітації високої якості.

Одним із поширених способів є додавання *смолистих речовин* рослинного чи нафтового походження. Ці домішки змінюють склад летких компонентів та знижують вміст біологічно активних речовин, таких як флавоноїди та фенольні сполуки. Аналіз хімічного складу методом газової хроматографії з мас-спектрометрією дозволяє ідентифікувати такі аномалії за характерними спектральними ознаками.

Розбавлення натурального прополісу дешевими наповнювачами, як-от бджолиний віск, парафін, пил або дрібнодисперсні мінеральні речовини, є іншим методом фальсифікації. Ці домішки впливають на фізико-хімічні властивості, зокрема знижують щільність, температуру плавлення та вміст активних компонентів. Інфрачервона спектроскопія дозволяє визначити присутність подібних домішок за характерними спектральними піками.

Ще одним способом є заміна бджолиного прополісу *синтетичними смолами*, такими як фенолформальдегідні полімери. Ці замінники можуть імітувати зовнішній вигляд натурального прополісу, але значно відрізняються за хімічним складом. Виявлення таких замінників можливе за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу та ядерного магнітного резонансу, які дозволяють ідентифікувати специфічні хімічні групи.

Зниження *антиоксидантної активності* також є індикатором фальсифікації. Наявність сторонніх речовин зазвичай знижує цей показник, що можна визначити спектрофотометричними методами, наприклад, із використанням реагенту 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразилу (DPPH).

Фальсифікація кольору прополісу за допомогою *синтетичних барвників* є ще одним способом маніпуляції. Спектральний аналіз в ультрафіолетовому (УФ) та видимому діапазонах дозволяє виявити аномальні піки, характерні для штучних барвників.

Для виявлення фальсифікацій необхідний комплексний підхід, що включає хімічний, фізико-хімічний та біологічний аналіз. Використання сучасних методів, таких як ГХ-МС, ІЧ-спектроскопія, ЯМР та рентгенофлуоресцентний аналіз, забезпечує точну ідентифікацію домішок і підтвердження автентичності прополісу. Науково обґрунтований підхід до аналізу є ключовим у боротьбі з фальсифікацією та забезпеченні якості продукту.

13.6. Фальсифікація маточного молочка

Маточне молочко є унікальним продуктом бджільництва, що відрізняється високою біологічною активністю, складним хімічним складом та важливим значенням для фармацевтичної, косметичної та харчової промисловості. Через високу ринкову вартість та обмеженість природних ресурсів маточного молочка, існує значна ймовірність його фальсифікації. Визначення методів фальсифікації та змін хімічних показників є ключовим завданням для забезпечення автентичності та якості цього продукту.

Основні методи фальсифікації маточного молочка включають додавання штучних компонентів, розведення водою або іншими рідинами, а також заміну на дешевші продукти, що імітують текстуру та колір. Найчастіше для фальсифікації використовують желатин, крохмаль, сахарозу, лактозу та інші вуглеводи. Крім того, іноді додають синтетичні або природні білкові субстанції, такі як казеїн або соєвий білок, для імітації високого вмісту білків, характерного для автентичного маточного молочка.

Фальсифікація викликає суттєві зміни у хімічних показниках продукту, які можуть бути ідентифіковані за допомогою сучасних аналітичних методів. Основними параметрами, що піддаються зміні при фальсифікації, є вміст білків, вуглеводів, ліпідів, органічних кислот та мінералів. Наприклад, *додавання цукрів* призводить до аномального збільшення концентрації глюкози, фруктози або сахарози, що може бути виявлено методами високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) або спектрофотометрії. *Розведення водою* знижує загальну концентрацію сухих речовин, що визначається методом висушування до постійної маси.

Дослідження білкового складу за допомогою електрофорезу або мас-спектрометрії дозволяє ідентифікувати наявність сторонніх білків, які відрізняються за молекулярною масою та амінокислотним профілем. Фальсифікація за рахунок додавання *желатину* виявляється за допомогою тестів на специфічні амінокислоти, характерні для колагену, такі як гідроксипролін. Крім того, внесення синтетичних або рослинних білків призводить до зміни спектральних характеристик маточного молочка, які можуть бути зафіксовані інфрачервоною спектроскопією (ІЧ-спектроскопія).

Ліпідний профіль маточного молочка також змінюється при фальсифікації. Наприклад, додавання рослинних олій змінює співвідношення жирних кислот, що легко визначається методом газової хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням (ГХ-МС). Оригінальне маточне молочко характеризується високим вмістом 10-гідроксидеканової кислоти, яка є маркером його автентичності. Зниження її концентрації або повна відсутність свідчить про ймовірну фальсифікацію.

Мінеральний склад маточного молочка змінюється внаслідок *додавання неорганічних солей*. Використання атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ААС) або індуктивно зв'язаної плазми з мас-спектрометрією (ICP-MS) дозволяє визначити відхилення у вмісті К, Са, Mg та інших елементів, характерних для продукту.

Крім хімічного аналізу, застосовуються мікроскопічні методи для виявлення домішок. Наприклад, під мікроскопом можливо виявити крохмальні зерна або інші сторонні частинки, додані для зміни текстури. Інші підходи включають визначення в'язкості та реологічних характеристик продукту, які значно змінюються при додаванні желатину чи інших загусників.

Для гарантування автентичності та якості маточного молочка важливим є використання комплексного підходу, що включає хімічні, фізико-хімічні, біохімічні та мікроскопічні методи аналізу. Розробка та впровадження стандартів контролю якості маточного молочка, заснованих на багатофакторному аналізі, дозволить знизити ризики фальсифікації та забезпечити високу якість цього унікального продукту бджільництва.

13.7. Фальсифікація бджолоїної отрути

Фальсифікація бджолоїної отрути становить значну наукову проблему, оскільки впливає на якість, біологічну активність і ефективність продукту в медичних, фармакологічних та косметичних застосуваннях. Найбільш поширеними способами фальсифікації є додавання сторонніх речовин, часткова або повна заміна натурального продукту синтетичними аналогами, а також маніпуляції фізико-хімічними властивостями з метою створення ілюзії автентичності.

Розбавлення бджолої отрути дешевими рідинами, такими як вода, гліцерол або етиленгліколь, є однією з найчастіших форм фальсифікації. Це призводить до зниження концентрації активних компонентів, таких як мелітин, апамін і фосфоліпаза A2, які відповідають за терапевтичний ефект отрути. Виявлення таких змін можливе завдяки використанню вискоєфективної рідинної хроматографії (ВЕРХ), яка дозволяє оцінити зміни у хімічному профілі зразка.

Заміна натуральної отрути синтетичними аналогами або штучно синтезованими пептидами, такими як синтетичний мелітин, є іншим поширеним методом фальсифікації. Незважаючи на схожість властивостей цих сполук із натуральними, їхній хімічний склад та спектральні характеристики можуть значно відрізнятися. Використання мас-спектрометрії у поєднанні з рідинною хроматографією дозволяє ідентифікувати такі замітники за відмінностями у молекулярній масі та структурі.

Фальсифікація може також включати *додавання сторонніх* білкових або небілкових речовин для збільшення видимого вмісту білка. Це суттєво спотворює результати кількісного аналізу білкових компонентів, що виконуються за допомогою методу Бредфорда. Спектрофотометрія з використанням відповідних реагентів дозволяє ідентифікувати аномалії у вмісті білків, які можуть свідчити про присутність домішок.

Зміна фізичних властивостей бджолої отрути, таких як в'язкість або густина, є ще одним поширеним методом маніпуляції. Додавання речовин на основі гліцеролу чи інших в'язких сполук змінює текстуру продукту, роблячи його візуально подібним до натурального. Оцінка цих параметрів можлива за допомогою віскозиметрії та денситометрії, які забезпечують точні вимірювання фізичних характеристик.

Синтетичні барвники або ароматизатори часто використовуються для модифікації зовнішнього вигляду та запаху бджолої отрути, створюючи враження високої якості. Спектральний аналіз у видимій та ультрафіолетовій (УФ) областях спектра дозволяє визначити присутність таких добавок, ідентифікуючи характерні піки поглинання, які не властиві натуральному продукту.

З метою виявлення фальсифікації бджолоїної отрути необхідний багаторівневий підхід, що включає комбінацію аналітичних методів. Використання ВЕРХ, мас-спектрометрії, спектрофотометрії, віскозиметрії та інших сучасних методів дозволяє не лише виявити домішки, але й забезпечити підтвердження автентичності продукту. Це особливо важливо для забезпечення безпечного та ефективного використання бджолоїної отрути.

13.8. Органолептика

Органолептичний аналіз і автоматизовані системи контролю є важливими інструментами для комплексної оцінки якості меду та продуктів бджільництва. Ці методи спрямовані на забезпечення високої точності, відтворюваності й стандартизації аналізу фізико-хімічних характеристик, які визначають харчову цінність, безпечність і автентичність продуктів.

Органолептичний аналіз базується на сенсорній оцінці таких параметрів, як колір, аромат, смак і текстура меду, що надає можливість зробити попередні висновки про його ботанічне походження, якість та свіжість. Відомо, що колір меду може змінюватися від світло-жовтого до темно-бурштинового залежно від вмісту флавоноїдів, каротиноїдів та інших пігментів, які є маркерами ботанічного джерела нектару. Запах і смак обумовлені наявністю летких органічних сполук, таких як альдегіди, кетони, спирти та ефіри, чий кількісний і якісний склад залежить від умов зберігання та походження продукту. В'язкість меду визначається співвідношенням моносахаридів, вмістом води і температурним режимом.

Хімічні методи аналізу дозволяють більш точно оцінити ключові показники якості меду. Наприклад, вміст води є критичним параметром, оскільки високий рівень вологості (>20 %) підвищує ризик ферментаційних процесів. Концентрація редуруючих цукрів, зокрема глюкози і фруктози, складає основу харчової цінності продукту, тоді як надлишок сахарози може свідчити про можливе фальшування. Гідроксиметилфурфурол (ГМФ) є маркером свіжості та показником термічної обробки або тривалого зберігання меду. Діастазна активність ферментів служить індикатором натуральності

продукту, а кислотність та вміст мінеральних речовин доповнюють загальну картину його хімічного складу.

Використання *автоматизованих систем аналізу*, таких як інфрачервона спектроскопія, газова хроматографія (ГХ) та мас-спектрометрія (МС), значно підвищує точність і продуктивність досліджень. Інфрачервона спектроскопія дозволяє ідентифікувати основні функціональні групи органічних сполук, визначати концентрацію вологи та основних цукрів. Газова хроматографія використовується для аналізу летких компонентів, відповідальних за аромат, тоді як мас-спектрометрія надає деталізовану інформацію про хімічний склад, включаючи ідентифікацію слідових компонентів.

Автоматизовані системи також забезпечують стандартизовані методи для виявлення фальсифікацій. Наприклад, ізотопний аналіз дозволяє визначати джерела цукрів у складі меду, тоді як високоточна спектрофотометрія виявляє аномалії у спектральних характеристиках, що можуть вказувати на додавання штучних сиропів або інших домішок. Такі підходи дозволяють забезпечити автентичність меду відповідно до міжнародних стандартів якості.

Загалом, інтеграція традиційних органолептичних методів з передовими автоматизованими технологіями аналізу створює можливості для багатовимірного підходу до оцінки якості продуктів бджільництва.

13.9. Наслідки фальсифікації на безпечність та функціональність продукції бджільництва

Фальсифікація продукції бджільництва, зокрема меду, суттєво впливає на її безпечність та функціональність, створюючи ризики для здоров'я споживачів.

Хімічний склад фальсифікованого меду значно відрізняється від натурального, що впливає на його фізико-хімічні характеристики. Вміст редукуючих цукрів, переважно глюкози та фруктози, може бути замінений на сахарозу чи глюкозно-фруктозний сироп, що змінює рівень солодкості, густину та енергетичну цінність продукту. Зниження концентрації біологічно активних компонентів, таких як фенольні сполуки, флавоноїди та органічні кислоти, призводить до втрати антиоксидантної активності. Також у фальсифікованих

зразках часто спостерігається зниження ферментативної активності, зокрема діастазної, яка є маркером натуральності продукту.

Додавання штучних компонентів, таких як барвники, ароматизатори чи стабілізатори, може спричинити алергічні реакції або токсичні ефекти в організмі людини. Залишкові кількості хімічних речовин, що використовуються під час фальсифікації, здатні накопичуватися в організмі, сприяючи хронічним інтоксикаціям.

Фальсифікований мед також має змінену мікробіологічну стабільність через високу вологість та наявність додаткових цукрів, що створює сприятливе середовище для розвитку дріжджів і бактерій. Це може призводити до бродіння та утворення токсичних метаболітів, таких як етанол і оцтова кислота, що значно знижує якість і безпечність продукту.

Вживання фальсифікованого меду може спричинити порушення функцій шлунково-кишкового тракту, алергічні реакції та імунологічні розлади, особливо в осіб із підвищеною чутливістю. Низька концентрація антибактеріальних компонентів у такому продукті зменшує його здатність інгібувати ріст патогенних мікроорганізмів. Тривале споживання фальсифікованого меду може сприяти накопиченню в організмі токсичних речовин, включаючи важкі метали, якщо вони присутні у вихідних матеріалах для фальсифікації.

Контрольні запитання

1. Які ключові параметри використовуються для оцінки якості меду?
2. Що таке діастазне число, і яку інформацію воно надає про мед?
3. Як вміст гідроксиметилфурфуролу (ГМФ) відображає якість меду?
4. Які органолептичні характеристики враховуються при оцінці якості меду?
5. Які стандарти якості застосовуються до воску, прополісу та інших продуктів бджільництва?
6. Як сертифікація продуктів бджільництва забезпечує їх відповідність міжнародним стандартам?
7. Які види фальсифікації меду найбільш поширені?
8. Як ізотопний аналіз використовується для виявлення домішок у меді?
9. Які методи аналізу допомагають ідентифікувати штучні барвники та стабілізатори у меді?
10. Чому нагрівання меду вважається формою фальсифікації?

14. ХІМІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

14.1. Зберігання меду та продуктів бджільництва

Зберігання меду є надзвичайно важливим процесом, який визначає стабільність його хімічного складу, біологічну активність і органолептичні властивості. Мед, як складна багатокomпонентна система, складається з вуглеводів (моно- і дисахаридів), органічних кислот, білків, ферментів, вітамінів, мінеральних речовин та поліфенолів. Ці компоненти зазнають значних змін під впливом зовнішніх умов, таких як температура, вологість, світло та тривалість зберігання. Основними хімічними трансформаціями під час зберігання є гідроліз сахарози, утворення гідроксиметилфурфуролу (ГМФ), деградація ферментів і окиснення поліфенолів.

Температура є ключовим фактором стабільності меду. Високі температури значно прискорюють реакції Майяра, що викликають потемніння продукту, втрату ферментативної активності та зниження антиоксидантного потенціалу. Дослідження показують, що оптимальний температурний діапазон для зберігання меду становить 10–14 °С. Температури вище 20 °С сприяють накопиченню ГМФ – сполуки, яка є індикатором термічної обробки та тривалого зберігання. Важливо уникати температурних коливань, що можуть спричинити кристалізацію та розшарування продукту.

Вологість також є критично важливим параметром, оскільки мед є гігроскопічним продуктом. Підвищення вмісту вологи понад 18 % створює сприятливі умови для бродіння осмофільних дріжджів, що погіршує якість продукту. Для збереження стабільності меду рекомендується використовувати герметичні ємності, які захищають від поглинання вологи з навколишнього середовища. Оптимальна вологість у приміщеннях для зберігання меду повинна бути в межах 60–65 %.

Світло, особливо ультрафіолетове випромінювання, є ще одним фактором, що негативно впливає на якість меду. УФ-промені спричиняють фотодеградацію поліфенолів, вітамінів і летких органічних сполук, що призводить до втрати біологічної активності та погіршення органолептичних характеристик. Для запобігання

цим процесам мед слід зберігати в непрозорих ємностях або в затемнених приміщеннях.

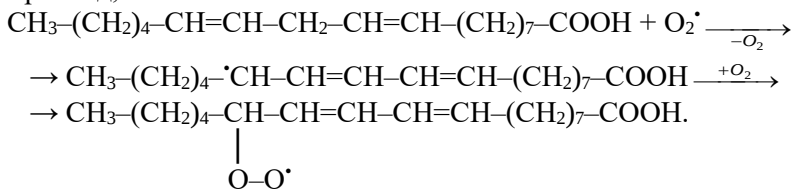
Кислотність меду, яка зазвичай знаходиться в діапазоні pH 3,2–4,5, відіграє важливу роль у його стабільності. З одного боку, низький pH перешкоджає розвитку більшості патогенних мікроорганізмів. З іншого боку, кислотність каталізує гідроліз вуглеводів, особливо за підвищених температур. Контроль кислотності та періодичний аналіз цього показника є важливими для забезпечення тривалого зберігання меду.

Ферментативна активність меду є індикатором його свіжості. Ензими, такі як діастаза і глюкозооксидаза, відіграють важливу роль у збереженні антибактеріальних властивостей і біологічної активності. Високі температури (вище 35 °C) спричиняють швидке руйнування цих ферментів, що негативно позначається на якості продукту. Крім того, зниження ферментативної активності супроводжується втратою летких органічних сполук, які визначають аромат і смак меду.

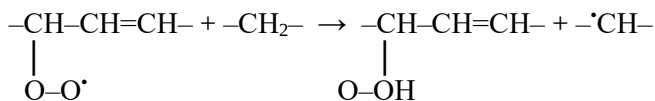
Для забезпечення стабільності меду необхідно дотримуватись комплексу рекомендацій. До них належать підтримання стабільної температури, контроль вологості, захист від світла та використання герметичних ємностей. Регулярний хімічний аналіз, включаючи визначення рівня ГМФ, активності діастази та вологості, дозволяє своєчасно виявляти зміни, що можуть негативно впливати на якість.

Bisc складається зі складних ефірів жирних кислот, довголанцюгових спиртів і гідроксикарбонових сполук. За підвищених температур відбувається окиснення жирних кислот з утворенням пероксидів, що змінюють пластичність воску і знижують його антимікробні властивості.

На першій стадії утворюються гідропероксиди і пероксиди. Наприклад, окиснення лінолевої кислоти:



Спочатку за дії $O_2^{\cdot}$ утворюється вільний радикал жирної кислоти, який легко приєднує молекулярний кисень, перетворюючись у пероксидний радикал $R-O-O^{\cdot}$, останній взаємодіє з іншою молекулою жирної кислоти:

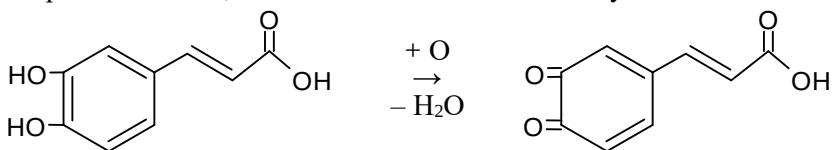


Пероксидний радикал відновлюється до гідропероксиду жирної кислоти, яка окиснюючись, утворює пероксидний радикал і продовжується ланцюговий процес окиснення все нових молекул жирних кислот. Пероксиди жирних кислот дуже нестабільні і розпадаються розриванням $-C-C-$ зв'язку, сусіднього із пероксидною групою. При цьому утворюються коротші сполуки, які далі піддаються пероксидному окисненню.

Надмірна вологість сприяє росту мікроорганізмів, які викликають деградацію органічних компонентів воску, що впливає на його чистоту і придатність до використання.

Прополіс, багатий на флавоноїди, фенольні кислоти та терпеноїди, є відносно стабільним за низької вологості та обмеженого доступу кисню. Втім, при тривалому зберіганні за температури понад 25°C і під дією ультрафіолетового випромінювання відбувається окиснення активних компонентів.

Фенольні сполуки, такі як флавоноїди і фенольні кислоти, зазнають окиснення в присутності кисню та під впливом високої температури чи ультрафіолетового випромінювання. Основні хімічні реакції включають автоокиснення фенолів, при якому утворюється хінон, який є менш стабільною сполукою.



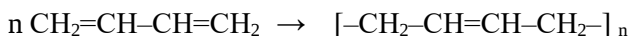
Кавова кислота

Хінон кавової кислоти

Подальшому ці похідні можуть взаємодіяти з іншими компонентами, викликати розрив ароматичного кільця, де під дією радикалів ароматичне кільце фенолу може зазнавати руйнування з

утворенням карбонових кислот або аліфатичних сполук, та фотодеструкцію, яка спричиняє утворення вільних радикалів і втрату антиоксидантних властивостей.

Полімеризація компонентів є процесом, при якому менші молекули (мономери) утворюють великі полімерні структури. Для прополісу це характерно для флавоноїдів, терпеноїдів та інших органічних компонентів. Ці реакція проходить за схемою полімеризації бутадієну:



Основні реакції полімеризації включають радикальну полімеризацію, де вільні радикали, утворені під час деструкції, реагують між собою, утворюючи полімерні продукти, поліконденсацію, при якій утворення полімерів супроводжується виділенням невеликих молекул, таких як вода або спирт, та крос-лінкінг (перехресне зшивання), коли молекули з кількома функціональними групами створюють тривимірну полімерну сітку.

Наслідки цих хімічних змін включають зменшення концентрації активних фенольних сполук, що призводить до зниження антибактеріальної активності, утворення нерозчинних полімерних структур, які ускладнюють використання прополісу в медичних і фармацевтичних цілях, та зміну кольору, текстури й запаху прополісу внаслідок хімічних перетворень. Таким чином, процеси деструкції та полімеризації є ключовими причинами зниження біологічної ефективності прополісу під час тривалого зберігання за несприятливих умов

Маточне молочко містить широкий спектр біологічно активних речовин, зокрема пептиди, амінокислоти, ненасичені жирні кислоти та вітаміни. Воно є найбільш нестабільним продуктом бджільництва. Висока температура та наявність кисню сприяють окисненню ненасичених жирних кислот, таких як 10-гідроксидеканова кислота, і денатурації білків, таких як роялактин. Заморожування за -18°C або нижче, а також вакуумна упаковка дозволяють мінімізувати ці зміни, забезпечуючи збереження активних компонентів.

Бджолина отрута є складним біологічним продуктом, що містить білкові токсини, такі як мелітин, апамін і фосфоліпаза A2.

Ці компоненти є чутливими до підвищеної температури, яка спричиняє їх денатурацію та втрату біологічної активності. Найефективнішим методом зберігання отрути є ліофілізація, що забезпечує видалення вологи при низьких температурах, або герметична упаковка, яка запобігає контакту з повітрям.

Для меду рекомендована температура зберігання становить 10–12 °С, а відносна вологість не повинна перевищувати 18 %. Віск і прополіс слід зберігати в сухих, темних приміщеннях при температурі до 20 °С. Маточне молочко потребує заморожування або вакуумного пакування, а бджолину отруту слід зберігати у герметичних умовах або обробляти методом ліофілізації. Дотримання цих рекомендацій забезпечує тривале збереження якості продуктів бджільництва, їхню харчову та біологічну цінність.

14.2. Екстракція прополісу

Хімічний склад прополісу характеризується значною варіативністю, обумовленою географічними, ботанічними та екологічними факторами. Основними компонентами прополісу є фенольні кислоти, флавоноїди, терпеноїди, ефірні олії, ароматичні сполуки, дубильні речовини та бджолиний віск. Ці сполуки забезпечують високу антиоксидантну активність прополісу та його потенційне застосування у медицині, фармацевтиці й косметології. Значна частка маси прополісу (від 50 % до 70 %) складається з фенольних сполук, що робить його ефективним джерелом біологічно активних речовин.

Екстракція прополісу є ключовим етапом для виділення біологічно активних сполук. Традиційно для цього застосовують етанол і воду як основні розчинники. Етанолові екстракти мають високу ефективність у виділенні фенольних сполук і флавоноїдів, зберігаючи їх стабільність. Ці екстракти широко використовуються у медицині для створення антисептичних і протизапальних препаратів. Сучасні технології екстракції, такі як суперкритична флуїдна екстракція (з використанням CO₂), ультразвукова та мікрохвильова екстракція, відкривають нові можливості у виділенні біоактивних речовин.

Суперкритична екстракція забезпечує високу чистоту отриманих екстрактів, зберігаючи термочутливі компоненти. Вона

відбувається за умов, коли CO₂ перебуває у суперкритичному стані (тиск понад 74 бар та температура вище 31 °C). У цих умовах CO₂ набуває властивостей як газу (висока проникність), так і рідини (здатність розчиняти компоненти), що робить його ефективним і екологічним розчинником. Цей метод відзначається низьким використанням традиційних органічних розчинників і високою екологічністю, що робить його придатним для застосування в косметології та фармацевтиці.

Ультразвукова екстракція прискорює процес виділення компонентів завдяки інтенсивному перемішуванню та кавітації. *Кавітація* – це утворення мікроскопічних бульбашок у рідині під дією ультразвукових хвиль. Бульбашки швидко колапсують, створюючи локальні зони високої температури й тиску. Цей процес сприяє руйнуванню клітинних стінок, підвищенню проникності розчинника та інтенсивнішому виділенню біоактивних речовин. Завдяки цьому методу досягається висока ефективність екстракції за мінімальних енергозатрат.

Мікрохвильова екстракція дозволяє досягти швидкого та гомогенного виділення біологічно активних сполук, мінімізуючи термічне навантаження на компоненти прополісу. Основними перевагами методу є висока швидкість екстракції, зменшення використання розчинників і енергоефективність, а також збереження чутливих до температури компонентів, що робить цей підхід ідеальним для виробництва екстрактів із максимальною біологічною активністю.

Ефективна екстракція прополісу є важливою для збереження та підвищення біологічної активності його компонентів. Інноваційні методи дозволяють отримувати екстракти з вищою концентрацією активних речовин і мінімальними втратами. Вони сприяють розширенню можливостей застосування прополісу в таких галузях, як медицина, фармацевтика, харчова промисловість і косметологія, відповідаючи сучасним вимогам щодо якості та екологічної безпеки продуктів. Завдяки використанню сучасних технологій екстракції прополісу, виробництво стає більш раціональним та орієнтованим на отримання високоякісних продуктів із максимальним збереженням їхніх корисних властивостей.

14.3. Обробка пилку

Пилок бджолиний є високоцінним біологічним продуктом, що слугує унікальним джерелом повноцінних протеїнів, есенційних амінокислот, вітамінів, мікроелементів та поліфенолів. Його хімічний склад надає йому потужні антиоксидантні, протизапальні та регенеративні властивості, що зумовлює його широке застосування у медицині, фармацевтиці, косметології та харчовій промисловості.

Біологічна активність пилку чутлива до технологічних методів обробки та умов зберігання. Природні оболонки пилку захищають вміст від зовнішніх чинників, але ускладнюють засвоєння біоактивних сполук у шлунково-кишковому тракті. Постановка наукового завдання полягає у виділенні біологічно активних сполук та забезпеченні їхньої максимальної біодоступності.

Одним з ключових етапів обробки пилку є *дегідратація*, яка повинна здійснюватися за суворого контролю температури. Підвищення температури вище 40–45 °C призводить до денатурації вітамінів та ферментів, що знижує біологічну цінність пилку. Сушіння за нижчих температур із застосуванням низькотемпературного вакуумного сушіння дозволяє зберегти активні сполуки у пилку.

Поліпшення засвоєння пилку в організмі досягається за допомогою ферментації або механічного розщеплення оболонок. Застосування *ультразвукових хвиль* є ефективним методом, що дозволяє порушувати оболонки пилку без значної втрати активних компонентів. Крім того, високий тиск або ферментативне оброблення сприяють підвищенню біодоступності.

Зберігання пилку є важливим фактором, що впливає на його якість і активність. Оптимальними умовами є температура нижче 4 °C у герметичному пакуванні зі зниженим вмістом вологи. Висока вологість повітря може призвести до ферментації та втрати корисних властивостей пилку.

Отже, правильна технологічна обробка та зберігання пилку є ключовими для збереження його біологічної цінності та забезпечення максимальної ефективності використання у різних галузях промисловості.

14.4. Розробка продуктів із воску

Віск є одним із найважливіших продуктів бджільництва, який має складний хімічний склад і широкий спектр застосувань у промисловості, медицині, косметології та технології матеріалів. Основу воску складають складні ефіри жирних кислот і високомолекулярних спиртів, які утворюють міцну гідрофобну матрицю. До складу також входять вільні жирні кислоти, насичені і ненасичені вуглеводні, стерини, каротиноїди та ароматичні сполуки. Цей унікальний хімічний склад забезпечує воску його фізико-хімічні властивості, такі як висока термостійкість, пластичність, водонепроникність і біологічна стабільність.

Розробка продуктів із воску базується на розумінні його хімічних і фізичних характеристик, що дозволяє адаптувати матеріал для різноманітних цілей. У промислових процесах віск використовується як сировина для створення покриттів, мастил, ізоляційних матеріалів і полірувальних складів. Завдяки своїм гідрофобним властивостям він широко застосовується для створення захисних бар'єрів у харчовій і фармацевтичній промисловості, зокрема у виробництві капсул для ліків і захисного покриття для фруктів.

Технологічні аспекти переробки воску охоплюють декілька важливих етапів, кожен з яких включає специфічні методи та супроводжується хімічними змінами.

Очищення воску починається з фізичних методів, таких як *фільтрація* та *центрифугування*, які забезпечують механічне видалення твердих домішок. Під час фільтрації через пористі матеріали видаляються частинки бруду та залишки бджолиного підмору, тоді як центрифугування дозволяє відокремити домішки за рахунок різниці густин. Хімічна очистка, зокрема лужна обробка, включає нейтралізацію вільних жирних кислот розчинами лугів, таких як NaOH. Цей процес супроводжується утворенням мила та видаленням продуктів окиснення, що покращує якість воску.

Відбілювання воску здійснюється за допомогою адсорбентів, таких як активоване вугілля або бентонітова глина. Цей етап спрямований на видалення пігментів і сторонніх органічних сполук, які впливають на колір воску. Адсорбенти поглинають забруднювачі

через хімічну взаємодію, наприклад, гідрофобні або електростатичні сили, що забезпечує отримання більш чистого та світлого продукту.

Термічна обробка включає плавлення воску при контрольованих температурах, що сприяє видаленню летких органічних сполук і стабілізації продукту. При надмірному нагріванні ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$) можуть відбуватися термічні розщеплення вуглеводневих ланцюгів, що супроводжується утворенням газоподібних продуктів і погіршенням фізико-хімічних властивостей воску. Оптимальна термічна обробка дозволяє уникнути таких змін і зберегти гідрофобність матеріалу.

Хімічна модифікація воску, зокрема гідрування та естерифікація, розширює його функціональні властивості. Гідрування насичує подвійні зв'язки вуглеводнів воднем, що підвищує термостійкість і зменшує реактивність воску. *Естерифікація*, у свою чергу, полягає у взаємодії жирних кислот із спиртами, що дозволяє отримувати складні ефіри з покращеними пластичністю та водостійкістю. Ці процеси дозволяють адаптувати віск для використання в інноваційних галузях, таких як біополімери та композитні матеріали.

Розробка нових продуктів із воску вимагає інтеграції знань з хімії, матеріалознавства і біотехнологій. Використання сучасних методів аналізу, таких як газова хроматографія, інфрачервона спектроскопія і диференціально-сканувальна калориметрія, дозволяє детально вивчати склад і властивості воску, що є ключовим для оптимізації його застосування. Ці міждисциплінарні підходи забезпечують розвиток інновацій у сфері переробки воску та створення високоякісних продуктів для різних галузей.

Контрольні запитання

1. Як температура впливає на стабільність меду під час зберігання?
2. Чому вологість є критично важливим параметром для зберігання меду?
3. Як світло впливає на органолептичні властивості меду?
4. Яка роль кислотності у забезпеченні стабільності меду?
5. Як ферментативна активність змінюється під час зберігання меду?
6. Чому рівень гідроксиметилфурфуролу (ГМФ) є важливим індикатором якості меду?
7. Які сучасні методи екстракції прополісу забезпечують найвищу ефективність?

15. ХІМІЯ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ У БДЖІЛЬНИЦТВІ

15.1. Інтеграція біонанотехнологій

Біонанотехнології виступають потужним інструментом у сучасному бджільництві, забезпечуючи розробку новітніх матеріалів, які значно підвищують продуктивність та екологічну безпеку галузі. Впровадження цих технологій базується на детальному розумінні хімічних і біохімічних процесів, які визначають функціонування продуктів бджільництва, таких як мед, віск, прополіс та інші.

Однією з основних сфер інтеграції біонанотехнологій є підвищення якості та стабільності меду. Мед, як багатокомпонентна хімічна система, включає понад 200 хімічних сполук. Впровадження наноматеріалів, таких як наночастинки Аргентуму, Ауруму, оксиду цинку, діоксиду титану, Купуму та магнітних наночастинок, відкриває можливість значного посилення його антимікробних, антиоксидантних та фотозахисних властивостей. Наприклад, наночастинки Аргентуму та Купруму демонструють високоефективну антимікробну активність проти широкого спектра патогенів, у тому числі антибіотикорезистентних штамів бактерій, тоді як наночастинки золота оптимізують антиоксидантні властивості продуктів. Застосування наноматеріалів у пакувальних матеріалах забезпечує пролонговану стабільність активних компонентів меду.

Інноваційні підходи застосовуються і для створення захисних покриттів для вуликів. Використання нанокомпозитів на основі природних полімерів, таких як хітозан або желатин, у поєднанні з наночастинками оксиду цинку, титану чи срібла, дозволяє створювати покриття з високою стійкістю до ультрафіолетового випромінювання, вологості та бактеріального забруднення. Ці матеріали також виконують роль бар'єра для профілактики проникнення патогенів у вулики, знижуючи ризик інфекційних захворювань у бджіл і сприяючи продовженню їх життєвого циклу.

Особливий інтерес викликають розробки *кормових добавок* з використанням нанотехнологій. Нанокapsуляція біологічно активних сполук, таких як вітаміни, амінокислоти, ферменти, поліфеноли або екстракти лікарських рослин, дозволяє забезпечити

контрольоване вивільнення цих компонентів, підвищуючи їхню біодоступність. Наприклад, наноматеріали на основі поліфенолів не лише виконують функцію антиоксидантів, але й сприяють регуляції імунної відповіді бджіл, захищаючи їх від впливу стресорів, таких як зниження температури чи токсичний вплив пестицидів. Крім того, нанокапсульовані екстракти рослин, таких як ехінацея або женьшень, виявляють адаптогенну активність, підвищуючи витривалість бджіл.

Системи моніторингу здоров'я бджіл також значно вдосконалюються завдяки нанотехнологіям. Наносенсори на основі графену, вуглецевих нанотрубок, наночастинок оксиду цинку або титану дозволяють у режимі реального часу відстежувати критичні параметри мікроклімату вуликів, такі як температура, вологість, концентрація вуглекислого газу та наявність токсичних речовин. Наприклад, графенові сенсори здатні детектувати леткі органічні сполуки, що вказують на ранні ознаки зараження, а оксид цинку дозволяє проводити селективний хімічний аналіз середовища, сприяючи оперативному виявленню загроз.

Інтеграція біонанотехнологій у бджільництво вимагає комплексного міждисциплінарного підходу, який поєднає знання хімії, біології, матеріалознавства та біотехнології. Такий підхід забезпечує створення інноваційних матеріалів і технологій, що не лише оптимізують виробництво продуктів бджільництва, але й сприяють збереженню екосистем і покращенню загальної екологічної стійкості.

15.2. Геномні, протеомні та метаболомні підходи у вивченні меду та продуктів бджільництва

Сучасні молекулярні підходи до дослідження меду та продуктів бджільництва базуються на багаторівневих аналізах, що дозволяють глибоко розкрити їх біологічну, хімічну та функціональну складність. Геномні, протеомні, метаболомні та інші «омні» технології створюють основу для інтегрованого розуміння цих продуктів, що є ключовим для розвитку науково обґрунтованих практик їх використання та комерційної оптимізації. *Геноміка* є важливим інструментом для ідентифікації генетичних компонентів меду, зокрема мікробіому, пилку та інших складників.

Метагеномний аналіз, заснований на технологіях секвенування нового покоління (NGS), дозволяє описувати мікробіом меду, включаючи видове різноманіття бактерій, грибів та інших мікроорганізмів. Визначення генетичних маркерів, що пов'язані з антибактеріальними, антиоксидантними та протизапальними властивостями меду, аналіз ботанічного походження пилку для створення високоточних “генетичних паспортів” меду є важливими для сертифікації та маркування продукту. Особливо важливим є вивчення впливу генетичного різноманіття на якість меду, що може бути корисним для селекції медоносних рослин та вдосконалення умов виробництва.

Протеоміка дозволяє розкрити білковий склад меду та продуктів бджільництва, надаючи глибоке розуміння їх біологічних властивостей. Ідентифікація біологічно активних пептидів та білків, що забезпечують антибактеріальний, імунomodуючий та протизапальний ефекти, є однією з ключових задач. Дослідження алергенів є важливим для підвищення безпеки продуктів та створення гіпоалергенних варіантів. Виявлення білкових маркерів, що можуть бути використані для географічної та ботанічної автентифікації меду, також має значення для комерційної верифікації продуктів. Сучасні методи, такі як LC-MS/MS та MALDI-TOF, у поєднанні з біоінформатичним аналізом, забезпечують можливість отримання детального протеїнового профілю навіть у складних багатокомпонентних матрицях.

Метаболоміка спрямована на дослідження хімічних компонентів меду, зокрема вуглеводів, фенольних сполук, органічних кислот та летких компонентів. Ідентифікація ключових метаболітів, які визначають антиоксидантну та протимікробну активність меду, аналіз змін у метаболічних профілях під впливом факторів зберігання, обробки та ботанічного походження дозволяють глибше зрозуміти їх функціональні властивості. Виявлення маркерів, що вказують на фальсифікацію чи змішування меду з іншими речовинами, є важливим для захисту споживачів. Інструментальні методи, такі як ядерний магнітний резонанс (NMR) та рідинна хроматографія (LC-MS), забезпечують високоточний аналіз компонентного складу продуктів бджільництва.

Епігеноміка, транскриптоміка та ліпідоміка розширюють спектр досліджень меду. *Епігеноміка* дозволяє вивчати регуляторні механізми, які впливають на синтез біологічно активних сполук у меді. *Транскриптоміка* аналізує експресію генів у бджолах та медоносних рослинах, спрямовану на формування функціональних компонентів меду. *Ліпідоміка* забезпечує ідентифікацію жирних кислот та інших ліпідів, що важливі для аналізу прополісу та воску. Комплексний підхід, що об'єднує результати геноміки, протеоміки, метаболоміки та інших “омікс”-технологій, дозволяє розробляти інноваційні продукти на основі меду, включаючи функціональні харчові добавки. Визначення взаємозв'язків між компонентами меду та їх впливом на здоров'я людини сприяє встановленню стандартів якості та безпеки, що відповідають міжнародним вимогам. Застосування “омні” підходів створює перспективи для сталого розвитку бджільництва, сприяючи зростанню ринку натуральних продуктів та розширюючи наукові знання про їх властивості й застосування.

15.3. Використання “зеленої” хімії

Використання принципів “зеленої” хімії для створення екологічно безпечних препаратів у лікуванні та профілактиці захворювань бджіл базується на концепції зниження токсичного впливу на навколишнє середовище та мінімізації ризиків для здоров'я бджолосімей. Цей науковий підхід спрямований на застосування відновлюваних ресурсів, розробку молекул з високою біосумісністю та синтез наноматеріалів із заданими функціональними властивостями. Одним із ключових принципів є атомна економія, яка забезпечує максимальне використання атомів вихідних речовин у складі кінцевих продуктів реакції. Цей підхід не лише зменшує утворення побічних продуктів, але й сприяє підвищенню ефективності хімічних процесів, що особливо важливо для розробки стійких і екологічно безпечних технологій.

Ключова увага приділяється створенню багатофункціональних препаратів з антимікробною, противірусною та протигрибковою активністю. Інтеграція природних біологічно активних сполук, таких як поліфеноли, терпеноїди, алкалоїди та ефірні олії, із сучасними нанотехнологічними підходами сприяє підвищенню їх

стабільності, контрольованому вивільненню та біодоступності. Зокрема, капсуляція екстрактів часнику, ехінацеї чи м'яти в нанокompозити на основі біополімерів дозволяє забезпечити пролонговану терапевтичну дію, запобігаючи розвитку резистентності у патогенів.

Інноваційним рішенням є застосування *металевих наночастинок*, таких як Аргентум, Цинк і Купрум, отриманих за допомогою методів “зеленої” хімії. Для синтезу використовуються природні відновники, наприклад, флавоноїди або фенольні сполуки, що містяться в рослинних екстрактах. Такі наночастинки демонструють широкий спектр дії: Аргентум ефективно пригнічує збудника американського гнильцю, тоді як Цинк і Купрум активно протидіють грибовим інфекціям, включно з *Ascosphaera apis*, відповідальною за вапняний розплід. Завдяки нанорозміру, ці частинки забезпечують значне збільшення площі контакту з патогенами, що посилює їх ефективність за низьких концентрацій.

Принципи “зеленої” хімії також лежать в основі створення *адсорбентів і антиоксидантних комплексів*, здатних нейтралізувати токсичні пестициди та важкі метали, що негативно впливають на бджіл. Наприклад, комплекси на основі хітозану або альгінату натрію, збагачені антиоксидантами, ефективно знижують рівень оксидативного стресу та покращують фізіологічний стан бджолосімей. Важливо, що такі препарати є біорозкладними і не накопичуються в продуктах бджільництва.

Особливий інтерес становлять *біосумісні наноматеріали* для доставки активних речовин. Наногелі, виготовлені на основі гіалуронової кислоти чи інших природних полімерів, дозволяють транспортувати ферменти, протизапальні агенти або інші терапевтичні молекули безпосередньо до цільових тканин бджіл. Завдяки можливості модифікації поверхні наногелів, забезпечується висока специфічність дії та зменшення ризику побічних ефектів.

Впровадження “зеленої” хімії в бджільництво створює підґрунтя для розвитку стійких технологій, що поєднують екологічну ефективність із високими стандартами безпеки. Такі підходи сприяють не лише ефективному лікуванню та профілактиці захворювань бджіл, але й забезпечують збереження екосистемних послуг, що є важливими в умовах глобальних екологічних змін.

15.4. Технологічні інновації

Технологічні інновації для моніторингу стану пасіки є невід'ємною складовою сучасного бджільництва, спрямованою на підтримання здоров'я бджолосімей та оптимізацію виробничих процесів. Впровадження сенсорних систем і мобільних платформ дозволяє реалізувати точний контроль за параметрами довкілля пасіки, оперативно виявляючи відхилення, які можуть свідчити про хвороби, паразитарні інвазії або інші екологічні загрози.

Сучасні сенсорні системи базуються на застосуванні передових хімічних принципів аналізу, що забезпечують високу точність і чутливість до виявлення специфічних маркерів. Ключову роль у розробці цих систем відіграють наноматеріали, такі як вуглецеві нанотрубки, графен, наночастинки металів (Au, Ag, Zn) і напівпровідникові оксиди. Наприклад, графенові сенсори відзначаються високою чутливістю до летких органічних сполук, що можуть бути маркерами ранніх стадій захворювань або погіршення кормової бази. Наночастинки оксиду цинку демонструють селективність до виявлення аміаку – важливого індикатора стресу у бджіл або розпаду органічних речовин у вулику. Завдяки використанню таких матеріалів досягається значне підвищення ефективності та надійності сенсорних пристроїв.

Мобільні платформи для моніторингу стану пасіки інтегрують сенсорні системи з бездротовими технологіями передачі даних, такими як системи Інтернету речей (IoT). Ці платформи забезпечують передачу інформації в реальному часі до мобільних додатків або хмарних сервісів, дозволяючи пасічникам дистанційно контролювати ключові параметри. Розробка таких платформ активно залучає хімічні підходи для аналізу екологічних і біологічних даних, підвищуючи точність і відтворюваність результатів. Автоматизація процесу збору даних мінімізує вплив людського фактору та дозволяє ефективніше управляти пасікою.

Додатково, *сенсорні системи* активно застосовуються для виявлення специфічних хімічних маркерів, асоційованих із захворюваннями бджіл, такими як нозематоз чи варроатоз. Наприклад, сенсори з іммобілізованими ферментами забезпечують точне розпізнавання метаболітів, що утворюються патогенами або зараженими бджолами. Ці технології дозволяють виявляти хвороби

на ранніх стадіях, визначати ступінь ураження та своєчасно приймати рішення щодо лікування. Аналітична хімія, таким чином, виступає ключовим інструментом у діагностиці та моніторингу стану пасіки.

Інноваційні розробки включають створення автономних пристроїв, які поєднують хімічні сенсори з біоелектрохімічними джерелами живлення, забезпечуючи їхню тривалу роботу навіть у складних умовах. Наприклад, розробка спеціалізованих захисних покриттів для сенсорів, які підвищують їхню стійкість до агресивних умов (висока вологість, пил, воскові компоненти), є важливим аспектом підвищення надійності обладнання. Такі пристрої стають ключовими елементами стійкого бджільництва.

Загалом, технологічні інновації, що ґрунтуються на хімічних принципах, відкривають широкі можливості для вдосконалення моніторингу та управління пасікою. Інтеграція сенсорних систем із сучасними цифровими технологіями сприяє підтриманню здоров'я бджолосімей, підвищенню ефективності виробничих процесів та збереженню екологічної рівноваги навіть у складних умовах глобальних змін.

15.5. Органічне бджільництво

Органічне бджільництво є невід'ємною частиною сучасного сталого сільського господарства, орієнтованого на виробництво високоякісних продуктів бджільництва при мінімальному впливі на навколишнє середовище. Основоположними принципами органічного бджільництва є відмова від використання синтетичних хімічних речовин, створення природних умов для розвитку бджолосімей та дотримання міжнародних стандартів сертифікації, які регламентують всі етапи виробничого процесу – від утримання пасік до маркування продукції.

Хімія відіграє критично важливу роль у розвитку органічного бджільництва, забезпечуючи наукове підґрунтя для аналізу якості продукції, моніторингу стану бджолосімей та оцінки екологічного впливу. Органічні продукти бджільництва мають унікальний хімічний профіль, а використання передових методів аналітичної хімії, таких як газова хроматографія, мас-спектрометрія та спектрофотометрія, є обов'язковою умовою для виявлення

забруднювачів і підтвердження відповідності продукції органічним стандартам.

Сертифікація органічного бджільництва є комплексним процесом, який включає оцінку екологічної чистоти регіону розташування пасік, використання натуральних матеріалів для виготовлення вуликів та заборону застосування синтетичних препаратів для лікування бджіл. Природні засоби, такі як ефірні олії, органічні кислоти, прополіс та рослинні екстракти, пропонують ефективну альтернативу синтетичним ветеринарним препаратам для боротьби з варроатозом, нозематозом та іншими захворюваннями. Хімічний аналіз цих засобів дозволяє підтвердити їхню безпечність і ефективність, забезпечуючи відповідність суворим вимогам органічного виробництва.

Подальший розвиток органічного бджільництва значною мірою залежить від впровадження інноваційних технологій. Нанотехнології, біополімери та біологічно активні сполуки пропонують нові підходи до покращення здоров'я бджолосімей і збереження якості продукції. Так, наноматеріали на основі Ag чи ZnO можуть бути використані для створення покриттів вуликів, які ефективно захищають бджіл від патогенів без використання хімічних пестицидів. Біополімери, такі як хітозан, широко застосовуються для екологічно безпечного пакування меду, яке забезпечує тривале збереження його хімічної стабільності та органолептичних властивостей.

Крім економічної цінності, органічне бджільництво робить значний внесок у підтримання біорізноманіття та екологічної рівноваги. Бджоли, виконуючи функцію запилювачів, сприяють продуктивності багатьох сільськогосподарських культур і дикорослих рослин, що є важливим для сталого розвитку агросистем. Дотримання принципів органічного виробництва знижує екологічне навантаження, сприяє збереженню якості ґрунтів і водних ресурсів, а також забезпечує здоров'я кінцевих споживачів.

Таким чином, органічне бджільництво є перспективним напрямом, який об'єднує екологічну ефективність, інноваційність та хімічну науку. Інтеграція передових технологій та наукових підходів дозволяє створювати якісну продукцію, яка відповідає сучасним стандартам сталого розвитку та сприяє збереженню екологічної рівноваги в умовах глобальних викликів.

15.6. Роль штучного інтелекту

Роль штучного інтелекту у моделюванні продуктивності та поведінки бджіл стає центральною у розвитку сучасного бджільництва, оскільки дозволяє об'єднати хімічні знання з потужними обчислювальними технологіями. Використання штучного інтелекту (ШІ) забезпечує аналіз складних динамічних систем, виявлення прихованих залежностей у поведінкових паттернах бджіл та прогнозування їхнього стану на основі великих масивів даних.

Хімія відіграє фундаментальну роль у створенні інформаційної бази для застосування ШІ. Бджоли є чутливими до численних хімічних сигналів, таких як феромони, леткі органічні сполуки (ЛОС) та інші хімічні маркери, які регулюють їхню поведінку та соціальні взаємодії. Застосування сенсорних технологій на основі аналітичної хімії дозволяє отримувати детальні дані про хімічний склад середовища вулика, виявляти стресові фактори та оцінювати стан бджолосімей. Ці дані аналізуються алгоритмами ШІ для побудови математичних моделей, які дають змогу прогнозувати поведінку бджіл, рівень їхньої продуктивності та ефективність запилення.

Сучасні підходи включають використання алгоритмів машинного навчання для обробки даних, отриманих із сенсорів, інтегрованих у вулики. Наприклад, інформація про концентрацію CO₂, температуру, вологість і ЛОС використовується для виявлення аномалій, які можуть сигналізувати про розвиток захворювань або зниження продуктивності бджолосімей. Крім того, ШІ дозволяє не лише ідентифікувати проблеми, але й формулювати прогнози щодо ризиків, даючи змогу пасічникам оперативно реагувати на потенційні загрози.

Значну увагу приділяють інтеграції комп'ютерного зору для аналізу поведінки бджіл. Камери, встановлені біля вуликів, збирають відеодані, які обробляються алгоритмами ШІ для оцінки активності, аналізу соціальної поведінки бджіл і взаємодії з рослинами. Такі дослідження дозволяють визначати рівень стресу, ефективність збору нектару та особливості запилення, що є важливими для планування агротехнічних заходів.

ІІІ також активно застосовується у хімічному аналізі продуктів бджільництва. Алгоритми глибокого навчання використовуються для обробки спектроскопічних даних, що дозволяє визначати хімічний склад меду, ідентифікувати домішки та встановлювати географічне походження продукції. Ці моделі забезпечують не лише контроль якості, але й підвищення конкурентоспроможності продуктів на ринку шляхом гарантії їхньої автентичності.

Окремим напрямом є використання ІІІ для оцінки впливу кліматичних змін на бджіл. Аналіз довготривалих даних про екологічні параметри, біохімічні показники та поведінкові реакції дозволяє моделювати адаптаційні механізми бджолосімей до змін у довкіллі. Результати таких досліджень сприяють розробці стратегії мінімізації негативного впливу кліматичних стресорів, що критично важливо для збереження екосистемних послуг бджіл.

Таким чином, інтеграція ІІІ та хімічних підходів у моделюванні продуктивності та поведінки бджіл відкриває нові горизонти для підвищення ефективності бджільництва. Завдяки цим технологіям стає можливим не лише забезпечення здоров'я бджолосімей, але й підтримання екологічної рівноваги у контексті глобальних екологічних викликів.

15.7. Збереження біорізноманіття через екологічно орієнтоване бджільництво

Екологічно орієнтоване бджільництво є ключовим фактором збереження біорізноманіття та функціональної цілісності екосистем. Бджоли сприяють запилюванню, що забезпечує репродукцію рослинних видів та створює умови для підтримки багатовидової структури флори. Ця система суттєво підвищує здоров'я екосистем в природних та сільськогосподарських угрупованнях.

Дослідження хімічного складу продуктів бджільництва дозволяє оцінити вплив різних джерел нектару та пилку на якісний склад меду. Фенольні кислоти та флавоноїди, що містяться у продуктах бджільництва, визначають їх антиоксидантний потенціал, що сприяє захисту рослинних угруповань від окиснювального стресу.

Вміст ферментів, таких як діастаза та сахараза, є важливим показником якості меду. Високий рівень гідроксиметилфурфуролу

(ГМФ) свідчить про негативні впливи на процеси зберігання меду або порушення технологічних стандартів.

Розвиток екологічно орієнтованого бджільництва сприяє підтримці балансу екосистем, що зменшує ризики деградації локальних угрупуваль. Збереження різноманітної флори сприяє стабілізації суміжних систем та підвищує стійкість до зовнішніх чинників. Дослідження в цьому напрямі свідчать про необхідність синергічної дії всіх елементів бджільництва для забезпечення екологічної стійкості.

Контрольні запитання

1. Які переваги використання біонанотехнологій у бджільництві?
2. Як наночастинки впливають на антимікробні властивості продуктів бджільництва?
3. Які наноматеріали застосовуються для створення захисних покриттів для вуликів?
4. Що таке нанокапсуляція, і як вона покращує біодоступність біоактивних речовин для бджіл?
5. Як наносенсиори використовуються для моніторингу стану бджіл та їх середовища?
6. Які можливості відкриває використання “зеленої” хімії у профілактиці захворювань бджіл?
7. Як металеві наночастинки створюються за допомогою “зеленої” хімії, і які їх переваги?
8. Як сенсорні системи на основі наноматеріалів покращують діагностику захворювань бджіл?
9. Яка роль наноматеріалів у створенні екоефективних продуктів для бджільництва?
10. Які дані використовуються для моделювання поведінки бджіл за допомогою штучного інтелекту?
11. Як нанотехнології можуть сприяти розвитку органічного бджільництва?
12. Як впровадження “зеленої” хімії сприяє сталому розвитку бджільництва?

КЛЮЧОВІ НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Хімія меду та продуктів бджільництва є складною та міждисциплінарною наукою, яка поєднує знання з органічної, аналітичної, фізичної хімії, біохімії та суміжних дисциплін для розуміння процесів, що визначають якість, безпечність і функціональні властивості цих продуктів. Її метою є не лише дослідження хімічного складу меду, прополісу, воску та інших продуктів бджільництва, але й аналіз їхньої біологічної активності, ролі в екосистемах і потенціалу для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості. Досягнутий прогрес у цій галузі охоплює поглиблене вивчення хімічного складу продуктів, оцінку впливу кліматичних і екологічних факторів на їхню якість, а також розробку методів захисту бджолосімей у мінливих умовах довкілля.

Подальший розвиток цієї науки залежить від розв'язання низки ключових завдань. Перш за все, важливо поглибити дослідження механізмів біологічної дії основних компонентів меду та інших продуктів бджільництва. Особлива увага має бути приділена флавоноїдам, поліфенолам, органічним кислотам і білкам, які визначають антиоксидантну, протизапальну, імуномодулюючу та антибактеріальну активність цих продуктів. Розуміння цих механізмів дозволить створювати інноваційні функціональні продукти для медицини та харчової промисловості.

Ключовим викликом є також вплив антропогенних і природних факторів на якість продуктів бджільництва. Наприклад, необхідно вивчати, як забруднення пестицидами, важкими металами або мікропластиком впливає на хімічний профіль меду та воску. Крім того, зміни клімату можуть спричиняти значні коливання в складі цих продуктів, зокрема через зменшення різноманіття кормової бази для бджіл. Інтеграція аналітичних методів, таких як високоефективна рідинна хроматографія, мас-спектрометрія і спектроскопія, дозволяє не лише фіксувати ці зміни, але й прогнозувати їхній довгостроковий вплив.

Інноваційні підходи в хімії меду та продуктів бджільництва включають використання нанотехнологій. Наноматеріали, наприклад на основі оксиду цинку або срібла, демонструють потенціал у створенні нових покриттів для вуликів, пакувальних матеріалів і засобів для лікування бджіл. Водночас ці матеріали

повинні проходити ретельну хімічну і токсикологічну оцінку для забезпечення їхньої безпечності для бджіл, людини та довкілля.

Застосування штучного інтелекту (ШІ) стає все більш значущим для аналізу й інтерпретації даних, отриманих у процесі досліджень. Алгоритми машинного навчання дозволяють автоматизувати аналіз спектроскопічних і хроматографічних даних, визначати маркери фальсифікації меду, оцінювати відповідність стандартам і навіть передбачати якість продуктів залежно від екологічних умов. Це сприяє забезпеченню автентичності продукції та підвищенню її конкурентоспроможності на ринку.

Окрему увагу слід приділити дослідженням, спрямованим на адаптацію бджолосімей до змін клімату. Аналіз багаторічних екологічних і біохімічних даних дозволить створювати моделі, які враховують вплив температури, вологості та зміни видового складу рослин на стан бджолосімей і продуктивність. Це сприятиме розробці стратегій захисту бджіл у нових екологічних умовах і збереженню їхніх екосистемних послуг, таких як запилення.

Завершуючи цей посібник, варто підкреслити, що майбутнє хімії меду та продуктів бджільництва полягає у синтезі фундаментальних знань із передовими технологіями. Міждисциплінарний підхід, який об'єднує хіміків, біологів, екологів, технологів та інженерів, забезпечить не лише підвищення якості продукції, але й сприятиме сталому розвитку галузі. Інтеграція інноваційних методів аналізу, нанотехнологій та штучного інтелекту дозволить ефективно відповідати на сучасні виклики та сприятиме збереженню екологічного балансу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Галатюк О. Є. Хвороби бджіл та основи бджільництва: навчальний посібник для студентів факультетів ветеринарної медицини, технології виробництва та переробки тваринницької продукції, ветеринарних лікарів, пасічників. – Житомир: “Полісся”, 2006. – 278 с.
2. Кононський, О. І. Біохімія тварин: Підручник. К.: Вища школа, 2006. – 454 с.
3. Лазарева, Л., Акименко, Л., Постоєнко, В., Штангрет, Л., & Шаповал, Ж. (2022). Оцінка впливу кліматичних умов на якісні показники меду бджолиного. *Науково-виробничий журнал "Бджільництво України"*, 1(8), 42–47.
4. Томчук В. А., Грищенко В. А., Цвіліховський В. І. Ветеринарна біохімія: підручник. К.: НУБіП України, 2022. – 376 с.
5. Цехмістренко С.І., Кононський О.І., Цехмістренко О.С. Біохімія тварин з основами фізичної і колоїдної хімії. Практикум: Навч. посіб. – Біла Церква, 2011. – 216 с.
6. Цехмістренко С.І., Бітюцький В.С., Цехмістренко О.С., Демченко О.А., Тимошок Н.О., Мельниченко О.М. Екологічні біотехнології “зеленого” синтезу наночастинок металів, оксидів металів, металоїдів та їх використання: наукова монографія. Біла Церква, 2022. 270 с.
7. Alaerjani, W. M. A., Abu-Melha, S., Alshareef, R. M. H., Al-Farhan, B. S., Ghramh, H. A., Al-Shehri, B. M. A., ... & Mohammed, M. E. A. (2022). Biochemical reactions and their biological contributions in Honey. *Molecules*, 27(15), 4719.
8. Asma, S. T., Bobiş, O., Bonta, V., Acaroz, U., Shah, S. R. A., Istanbulgil, F. R., & Arslan-Acaroz, D. (2022). General nutritional profile of bee products and their potential antiviral properties against mammalian viruses. *Nutrients*, 14(17), 3579.
9. Bayram, N. E., Kostic, A. Ž., & Gercek, Y. C. (Eds.). (2024). *Pollen Chemistry & Biotechnology*. Springer.
10. Çobanoğlu, D. N., Şeker, M. E., Temizer, İ. K., & Erdoğan, A. (2023). Investigation of botanical origin, phenolic compounds, carotenoids, and antioxidant properties of monofloral and multifloral bee bread. *Chemistry & Biodiversity*, 20(3), e202201124.

11. Kasote, D. M. (2017). Propolis: A neglected product of value in the Indian beekeeping sector. *Bee World*, 94(3), 80–83.
12. Kebede, I., Gebremeskel, H., & Ahmed, A. (2024). Bee products and their processing: a review. *Pharm Pharmacol Int J*, 12(1), 5–12.
13. Mădaş, N. M., Mărghitaş, L. A., Dezmiorean, D. S., Bonta, V., Bobiş, O., Fauconnier, M.-L., Francis, F., Haubruge, E., & Nguyen, K. B. (2019). Volatile Profile and Physico-Chemical Analysis of *Acacia* Honey for Geographical Origin and Nutritional Value Determination. *Foods*, 8(10), 445.
14. Maicelo-Quintana, J. L., Reyna-Gonzales, K., Balcázar-Zumaeta, C. R., Auquiñivin-Silva, E. A., Castro-Alayo, E. M., Medina-Mendoza, M., ... & Silva-Zuta, M. Z. (2024). Potential application of bee products in food industry: An exploratory review. *Heliyon*.
15. Santos-Buelga, C., & González-Paramás, A. M. (2017). Chemical composition of honey. *Bee products-chemical and biological properties*, 43–82.
16. Schmidt, J. O. (1997). Bee products: Chemical composition and application. In *Bee Products: Properties, Applications, and Apitherapy* (pp. 15–26). Boston, MA: Springer US.
17. Sixto, A., Niell, S., Cesio, M. V., & Heinzen, H. (2024). Latest trends in honey contaminant analysis, challenges, and opportunities for green chemistry development. *Reviews in Analytical Chemistry*, 43(1), 20230072.
18. Stratienko, E., Katunina, N., Khlopyanikov, A., Borisova, I., & Krupskaya, Y. (2024). Innovative potential of apitechnology development in the modern world. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 510, p. 02005). EDP Sciences.
19. Tafere, D.A. (2021). Chemical composition and uses of Honey: A Review. *Journal of Food Science and Nutrition Research*, 4(3), 194–201.
20. Tsagkaris, A. S., Koulis, G. A., Danezis, G. P., Martakos, I., Dasenaki, M., Georgiou, C. A., & Thomaidis, N. S. (2021). Honey authenticity: Analytical techniques, state of the art and challenges. *Rsc Advances*, 11(19), 11273–11294.
21. Wachkoo, A. A., Nayik, G. A., Uddin, J., & Ansari, M. J. (Eds.). (2024). *Honey Bees, Beekeeping and Bee Products*. CRC Press.

КОРОТКИЙ СЛОВНИК БІОЛОГІЧНИХ ТЕРМІНІВ

Антагонізм – тип взаємодії між організмами, коли один організм пригнічує розвиток іншого.

Антиоксидант – сполука, яка гальмує окислювальні процеси в організмі, нейтралізуючи вільні радикали та захищаючи клітинні мембрани й ДНК від пошкоджень.

Білкові канали – інтегральні білки мембрани, які забезпечують транспорт молекул через мембрану.

Біоактивність – здатність молекул взаємодіяти з біологічними системами, включаючи активацію рецепторів, модулювання ферментативних реакцій або вплив на генну експресію.

Біоенергетика – наука про енергетичні процеси в біологічних системах.

Біолюмінесценція – явище випромінювання світла живими організмами завдяки хімічним реакціям.

Біомаса – загальна маса органічної речовини, що виробляється живими організмами на певній території за визначений час.

Біорізноманіття – множинність форм життя, включаючи різні рівні організації, від генетичного до екосистемного, що забезпечує стійкість біосфери.

Віск бджолиний – природний продукт, який синтезується бджолами з нектару. Його використовують у медицині, фармацевтиці та косметології завдяки унікальним фізико-хімічним властивостям.

Вітаміни – низькомолекулярні органічні сполуки, що відіграють ключову роль у ферментативних процесах як коферменти. Дефіцит цих сполук призводить до патологічних станів.

Геном – сукупність генетичного матеріалу організму.

Гігроскопічність – здатність речовин поглинати вологу з повітря.

Гідроліз – процес розщеплення молекул під дією води.

Гліколіз – метаболічний шлях, що забезпечує розщеплення глюкози до пірувату з утворенням АТФ і NADH.

Глюкоза – моносахарид, основний субстрат для гліколізу. Є ключовим енергетичним джерелом для клітин, особливо мозку та м'язів у стані фізичної активності.

Гольджі апарат – органела, яка модифікує, сортує й транспортує білки та ліпіди.

Гомеостаз – здатність організму підтримувати стабільний внутрішній стан незалежно від змін у зовнішньому середовищі.

Дезінфекція – процес знищення патогенних мікроорганізмів хімічними або фізичними методами для запобігання розповсюдженню інфекцій.

Детоксикація – процес нейтралізації або виведення токсичних речовин з організму.

ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота) – біополімер, що є основним носієм генетичної інформації. Структура подвійної спіралі забезпечує стабільність та точність реплікації.

Екзоцитоз – процес виведення речовин з клітини через мембранні везикули.

Екологічна стійкість – здатність екосистеми зберігати функціональність і продуктивність, навіть за умов зовнішнього антропогенного чи природного впливу.

Екосистема – сукупність живих організмів і навколишнього середовища, які взаємодіють між собою.

Ендоплазматичний ретикулум – органела, що бере участь у синтезі білків і ліпідів.

Ендоцитоз – механізм поглинання клітиною речовин ззовні шляхом утворення мембранних везикул.

Епігенетика – наука про зміни активності генів без змін у послідовності ДНК, зумовлені зовнішніми чи внутрішніми факторами.

Еукаріоти – організми, клітини яких мають ядро, оточене мембраною, та інші органели.

Захисні механізми – система фізіологічних, молекулярних і поведінкових процесів, спрямованих на протидію шкідливим агентам.

Зоонози – інфекційні хвороби, що передаються від тварин до людини.

Імунна система – сукупність клітин, тканин і органів, що забезпечують специфічний і неспецифічний захист організму від інфекційних агентів.

Кальцієві канали – білкові комплекси в мембранах, які забезпечують транспорт іонів Кальцію всередину клітини або з клітини.

Капілярна дія – здатність рідини підійматися по вузьких трубках або пористих матеріалах завдяки адгезії та когезії.

Каталіза – феномен прискорення хімічної реакції за рахунок зниження енергії активації за участі каталізатора, наприклад, ферментів у біохімічних процесах.

Кислоти органічні – сполуки з карбоксильною групою, що беруть участь у ключових біохімічних циклах, таких як цикл Кребса.

Клейковина – білок, що міститься у зернових культурах, забезпечує еластичність тіста.

Клітинне дихання – процес, у якому клітини генерують енергію у формі АТФ за допомогою окиснення органічних речовин.

Коензими – низькомолекулярні органічні сполуки, що служать переносниками хімічних груп у реакціях ферментативного каталізу.

Лактоза – дисахарид, що складається з глюкози й галактози. Основний цукор молока, який ферментується лактобактеріями у травному тракті.

Лізосоми – органели, які забезпечують перетравлення молекул і пошкоджених органел у клітині.

Макроелементи – хімічні елементи, необхідні організму у великих кількостях для підтримки життєвих функцій.

Маточне молочко – біологічно активний продукт, що синтезується бджолами, багатий білками, амінокислотами та ферментами. Використовується в терапії.

Мембрана клітини – біологічна структура, яка забезпечує бар'єр між цитоплазмою та зовнішнім середовищем клітини.

Мікроелементи – елементи, які необхідні організму в малих кількостях для функціонування ферментів, наприклад, Цинк, Купрум, Манган.

Мітохондрії – енергетичні станції клітини, де відбувається синтез АТФ шляхом окисного фосфорилування.

Молекула – найменша одиниця хімічної речовини, що зберігає її хімічні властивості.

Нуклеотиди – структурні одиниці ДНК і РНК, що складаються з азотистої основи, цукру та фосфатної групи.

Окиснення – процес віддачі електронів атомами або молекулами, що часто супроводжується утворенням енергії для клітини.

Осмоз – перехід молекул води через напівпроникну мембрану у напрямку більшої концентрації розчинених речовин.

Пептидний зв'язок – хімічний зв'язок між двома амінокислотами, що утворюється внаслідок реакції конденсації.

Перга – пилок рослин, ферментований бджолами, багатий білками, вітамінами і мікроелементами. Застосовується як функціональний харчовий інгредієнт.

Пероксисоми – органели, які беруть участь у детоксикації та метаболізмі жирних кислот.

Пестициди – синтетичні або природні хімічні речовини, що використовуються для контролю шкідників, з потенційним ризиком для нецільових організмів.

Плазмоліз – процес відокремлення цитоплазми від клітинної стінки внаслідок втрати води.

Полімераза – фермент, що синтезує нові молекули ДНК або РНК на основі матриці.

Поліфеноли – класи рослинних метаболітів, що мають антиоксидантні, антимікробні й антиканцерогенні властивості.

Прокаріоти – організми без клітинного ядра, наприклад, бактерії та археї.

Протеїни – біологічно важливі макромолекули, що складаються з амінокислот.

Редукція – хімічна реакція, при якій молекули або атоми набувають електрони.

Резистентність – здатність організму або мікроорганізмів протистояти впливу шкідливих факторів, таких як антибіотики чи хімічні сполуки.

Реплікація – процес подвоєння молекули ДНК перед поділом клітини.

Рибосоми – органели, що відповідають за синтез білків у клітині. Вони складаються з рРНК та білків.

РНК (рибонуклеїнова кислота) – нуклеїнова кислота, яка бере участь у синтезі білків і передає генетичну інформацію.

Сахароза – дисахарид, що складається з однієї молекули глюкози і однієї молекули фруктози. Основний цукор у багатьох продуктах харчування.

Симбіоз – взаємовигідні взаємини між двома різними організмами.

Трансгени – гени, які були перенесені до іншого організму за допомогою генної інженерії.

Транскрипція – процес синтезу молекули мРНК на основі ДНК як матриці.

Трансляція – процес синтезу білків на основі інформації, задовоаної в мРНК.

Тургор – стан напруження клітинної стінки рослинної клітини внаслідок осмотичного тиску води.

Фагоцитоз – процес поглинання клітиною твердих часток, таких як бактерії чи інші клітини.

Ферменти – білки, що виконують роль каталізаторів у біохімічних реакціях.

Фітогормони – гормони, що регулюють ріст і розвиток рослин.

Фітонциди – біологічно активні речовини, що виділяються рослинами для захисту від патогенів і шкідників.

Флавоноїди – вторинні метаболіти рослин, що мають антиоксидантну, протизапальну та антиканцерогенну активність.

Фотосинтез – процес синтезу органічних сполук з вуглекислого газу і води під дією світлової енергії за участю хлорофілу.

Фототропізм – спрямований ріст рослин у відповідь на світлові стимули.

Хемосинтез – процес синтезу органічних речовин з використанням енергії окиснення неорганічних сполук.

Хлорофіл – пігмент, що відповідає за поглинання світла під час фотосинтезу в рослинах.

Хромосоми – структури в клітинах, що складаються з ДНК і білків. Вони зберігають генетичну інформацію.

Цитоскелет – мережа білкових волокон, що забезпечує форму клітини, рух органел та інші механічні властивості.

Ядро клітини – органела, що містить генетичний матеріал у вигляді ДНК. Забезпечує регуляцію метаболічних процесів

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Адолапін, 119

Активність

антибактеріальна, 31, 37, 55, 60,
66, 98, 103, 108, 119, 160,
170, 179

антиоксидантна, 31, 34, 35, 37,
38, 41, 43, 50, 61, 63, 65, 143

імуномодулююча, 61, 66, 88,
93, 105, 108, 170, 179

оптична, 59

протизапальна, 31, 34, 37, 43,
66, 67, 92, 93, 99, 103, 110,
116, 120, 121, 165, 170

Аланін, 18, 44, 102

Алюміній, 28, 121

Антоціани, 41, 63, 64

Апамін, 9, 118, 119, 155, 162

Апігенін, 34, 42, 93, 99

Апітерапія, 124

Апофермент, 18

Аргентум, 168, 172

Аргінін, 20, 44, 71, 92, 102

Ацетил-КоА, 78, 79

Ацетоїн, 32

Барвники, 148, 149, 150, 152,
155, 158

Барій, 29

Бенз[а]пірен, 130

Бензальдегід, 32, 62

Біосенсиори, 145

Бор, 28

В'язкість, 10, 42, 47, 50, 57, 98,
112, 137, 155

Валін, 17, 18, 20, 44, 71, 92

Ванілін, 85

188

Вітамін

С (аскорбінова кислота), 102

D (антирахітичний), 109

E (токоферол), 23, 25, 45, 72, 93,
102, 109

P (біофлавоноїди), 34

A (ретинол), 23, 25, 45, 93, 102

B₁ (тіамін), 9, 23, 24, 45, 72, 93,
102, 109

B₂ (рибофлавін), 23, 24, 45, 72,
93, 102, 109

B₃ (ніацин), 23, 24, 45, 93, 102,
109

B₅ (пантотенова кислота), 23,
24, 45, 93, 109

B₆ (піридоксин), 9, 23, 24, 45,
72, 93, 102, 109

B₇ (біотин), 23, 25, 109

B₉ (фолієва кислота), 23, 26, 72,
93, 109

K (філохінон), 93, 102

C (аскорбінова кислота), 23, 45,
72, 93, 109

Вологість, 11, 49, 56, 65, 90, 126,
158, 159, 163, 174

Вольтамперометрія, 137

Галангін, 34, 36, 99

Геноміка, 169

Гербіциди, 130

Гіалуронідаза, 116, 120, 122

Гігроскопічність, 10, 16, 57, 58,
159, 183

Гідроксиметилфурфурол (ГМФ),
67, 146, 148, 156, 177

Гідроксипролін, 153

Гістамін, 21, 116, 120, 122

Гістидин, 21, 44, 71, 92
 Гліколіз, 77, 183
 Гліцерол, 83, 89, 155
 Гліцин, 44, 102, 130
 Глюкоза, 13, 16, 31, 41, 46, 48,
 57, 59, 62, 118, 128, 142, 183
 Глюкозооксидаза, 9, 16, 19, 160
 Глюконеогенез, 77
 Густина, 56, 81, 82, 98, 111, 155

 Дезоксирибонуклеїнова кислота
 (ДНК), 28, 38, 92, 105, 144,
 145, 183, 184
 Дельфінідин, 73
 Діастаза, 19, 48, 60, 67, 130, 138,
 144, 160, 177
 Допамін, 116
 Дофамін, 20, 120

 Евгенол, 98, 101
 Еластин, 21, 124
 Електропровідність, 58, 91, 112,
 137
 Електрофорез, 124, 137, 150, 153
 Епігеноміка, 171
 Етилформіат, 33

 Зольність, 58, 151

 Ізолейцин, 17, 18, 20, 44, 71, 92
 Ізомальтулоза, 12, 14
 Інвертаза, 19, 46, 48, 50, 60, 89,
 130
 Індекс
 рефракційний, 81, 82
 Йод, 29, 102

 Кадмій, 30, 121, 130, 136
 Калій, 27, 28, 29, 42, 58, 60, 72,
 93, 102, 107, 121, 136, 142
 Кальцій, 22, 27, 28, 29, 42, 60, 72,
 102, 110, 121, 136, 142, 185
 Капсаїцин, 73
 Каротин, 41, 63
 Каротиноїди, 63, 65, 82, 90, 93,
 94, 134, 156, 166
 Каталаза, 48, 60, 65, 102, 130
 Кверцетин, 34, 42, 93, 99
 Кемпферол, 34, 35, 42
 Кисла фосфатаза, 120
 Кислота
 10-гідрокси-2-деканова, 106,
 111
 п-кумарова, 37
 α -кетоглутарова, 31
 арахінова, 85
 аспарагінова, 18, 21, 31, 44, 71
 бензойна, 34, 37, 101
 ванілова, 34, 37
 винна, 31
 галола, 37, 98, 100
 гідроксикапронова, 108
 глутамінова, 18, 21, 22, 26, 31,
 44, 71, 102
 глюконова, 31, 48, 60
 гомогентизинова, 37
 елагола, 34, 38, 94
 ізолимонна, 31
 кавола, 36, 94, 98, 100, 161
 корична, 101
 лимонна, 31
 лінолева, 160
 лінолева, 85, 121
 малонола, 31

масляна, 31
 миристинова, 85
 молочна, 31
 мурашина, 31
 олеїнова, 85, 121
 омега-3, 92
 омега-6, 92
 оцтова, 31, 158
 пальмітинова, 79, 84, 121
 піровиноградна, 31
 розмаринова, 34, 37
 саліцилова, 101
 себацинова, 108
 сиринова, 34, 37
 стеаринова, 85
 ферулова, 34, 37, 94, 98, 100
 фумарова, 31
 хінна, 31
 хлорогенова, 37, 93, 100
 церотинова, 85
 шавлева, 31
 яблучна, 31, 41
 Кислотність, 49, 58, 90, 98, 137,
 146, 157, 160
 Кобальт, 29
 Коефіцієнт
 твердості, 81, 82
 Колаген, 21, 23, 37, 95, 103, 113,
 124, 153
 Кондуктометрия, 137
 Консерванти, 37, 148, 151
 Кофеїн, 73
 Кофермент, 18, 24, 183
 Кристалізація, 11, 15, 50, 52, 54,
 58, 65, 126, 136, 146, 148
 Кумарин, 33, 62, 85
 Купрум, 29, 42, 72, 102, 110, 121,
 136, 168, 172, 185
 Лейкотрієни, 123
 Лейцин, 17, 18, 20, 44, 71, 92
 Лізин, 17, 18, 21, 29, 44, 92, 102
 Ліналоол, 98, 101
 Ліпаза, 89, 102
 Ліпіди
 класифікація, 83
 Ліпідоміка, 171
 Літій, 29
 Магній, 28, 72, 93, 110
 Мальтоза, 13, 60
 Мальтотетроза, 108
 Мальтотріоза, 108
 Манган, 27, 28, 42, 72, 102, 110,
 121, 185
 Манітол, 41
 Меланоїдини, 52, 64
 Мелібіоза, 12, 14
 Мелітин, 116, 118, 124, 155, 162
 Меліцитоза, 12, 15
 Метаболоміка, 170
 Метилантранілат, 31, 33
 Метилгексаноат, 33
 Метіонін, 17, 21, 28, 44, 92
 Миш'як (Арсен), 130
 Мірицетин, 34, 35
 Молібден, 29, 121
 НАДН, 78
 Нанокапсуляція, 168
 Наносенсори, 169
 Наночастинки, 168, 172, 173
 Натрій, 28, 42, 72, 102, 121, 142
 Натяг
 поверхневий, 112
 Неонікотиніди, 129

Нікель, 121
 Нонадієналь, 32
 Норадреналін, 120

 Оксидоредуктаза, 19, 97, 102
 Органофосфати, 129

 Пеларгонідин, 73
 Пероксидаза, 65, 102
 Пестициди, 129
 Пінен, 34, 98, 101
 Піноцембрін, 34, 36
 Піретроїди, 129
 Плюмбум, 29, 30, 121, 130, 136
 Показник
 заломлення світла, 59, 112, 118
 Полімеразна ланцюгова реакція
 (ПЛР), 145
 Потенціометрія, 137
 Пролін, 20, 22, 29, 44, 71, 102
 Протеоміка, 170

 Радіоспектроскопія, 139
 Рафіноза, 12, 15
 Рибонуклеїнова кислота (РНК),
 28, 105, 110, 144, 186
 Рибосоми, 105, 117, 186
 Роялактин, 108, 162
 Ртуть (Меркурій), 30, 130, 136

 Сахароза, 8, 12, 13, 15, 19, 40, 41,
 46, 48, 59, 126, 128, 142, 146,
 153, 156, 159, 187
 Секропін, 120
 Селен, 42, 67, 72, 93, 94, 102, 110,
 121
 Серин, 18, 21, 44, 71
 Силіцій, 28, 42

 Спектрофотометрія, 90, 134, 148,
 150, 153, 155, 156, 157, 174
 Спирт
 мірициловий, 84
 фенілетилловий, 32
 цетиловий, 79, 84
 Станум (олово), 29
 Стронцій, 29
 Сульфур, 28, 42

 Текстура, 53, 65, 111, 156
 Температура
 плавлення, 80, 81, 97, 111, 118,
 149
 Теобромін, 73
 Теплопровідність, 58, 91, 112
 Терпен, 33, 40, 41, 99, 103
 Терпінен-4-ол, 101
 Тертіопін, 120
 Тиксотропія, 57
 Тирозин, 20, 22, 71, 135
 Тирозин, 44
 Титан, 29, 168
 Транскриптоміка, 171
 Трегалоза, 14
 Треонін, 17, 21, 44, 92
 Триптофан, 17, 44, 92, 135
 Трофалаксис, 47

 ФАД, 78
 Фенілаланін, 18, 20, 22, 44, 71,
 92
 Ферум, 23, 28, 42, 54, 60, 72, 93,
 102, 110, 121, 136
 Флаванони, 35
 Флаволи, 35
 Флавоноли, 35
 Фосфатидилінозитол, 108

Фосфатидилхолін, 92, 108
Фосфоліпаза, 116, 118, 120, 124,
155, 162
Фосфор, 29, 42, 58, 93, 102, 107,
121
Фруктоза, 8, 12, 15, 16, 19, 41,
46, 48, 52, 54, 57, 58, 59, 62,
65, 128, 142, 145
Фтор, 28
Фурфурол, 32

Хлор, 28
Хлорофіл, 41, 63, 82, 134, 187
Холестерол, 109, 121, 123
Хризин, 36
Хром, 29, 121
Хроматографія, 141

Цикл Кребса, 20, 21, 77, 185

Цинк, 28, 29, 42, 67, 72, 93, 94,
102, 110, 121, 130, 136, 172,
185

Цитрал, 101

Цінність

біологічна, 61, 65

енергетична, 59

харчова, 60

Число

діастазне, 146

естерове, 81

йодне, 81

кислотне, 81

омилення, 81

Щільність, 80, 81, 90, 118, 152

З М І С Т

ПЕРЕДМОВА	3
1. ПРЕДМЕТ «ХІМІЯ МЕДУ ТА ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА»	5
1.1. Значення досліджень меду та продуктів бджільництва для сучасної науки і промисловості.....	5
1.2. Еволюція досліджень меду та продуктів бджільництва	7
1.3. Біологічні особливості бджіл.....	8
2. ХІМІЯ МЕДУ	10
2.1. Роль води у складі меду	10
2.2. Вуглеводи меду	12
2.3. Амінокислоти та білки меду	17
2.4. Вітамінний профіль меду	22
2.5. Мінеральні речовини меду.....	26
2.6. Біологічно активні сполуки меду.....	30
2.7. Мікрофлора меду	38
3. БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ УТВОРЕННЯ МЕДУ	40
3.1. Сировина для утворення меду	40
3.2. Збір нектару.....	45
3.3. Роль ензимів у трансформації нектару у мед	47
3.4. Випаровування води та ущільнення меду	49
3.5. Біохімічні зміни під час зрілості меду.....	51
4. ВЛАСТИВОСТІ МЕДУ	54
4.1. Класифікація медів.....	54
4.2. Фізико-хімічна характеристика медів	56
4.3. Енергетична, харчова та біологічна цінність меду	59
4.4. Органолептичні властивості меду	62
4.5. Біохімічна активність меду	65
5. БДЖОЛИНИЙ ПИЛОК	68
5.1. Перетворення рослинного пилку у пилок бджіл	68
5.2. Фізичні властивості пилку бджіл.....	70
5.3. Хімічний склад пилку бджіл.....	71
5.4. Застосування бджолиного пилку в різних галузях.....	73
6. БДЖОЛИНИЙ ВІСК	76
6.1. Біохімічні процеси утворення воску.....	76
6.2. Фізичні властивості воску.....	80
6.3. Хімічний склад воску	83

6.4.	Використання воску	86
7.	ПЕРГА: СКЛАД ТА БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ	88
7.1.	Біохімічні процеси утворення перги	88
7.2.	Фізичні властивості перги.....	90
7.3.	Хімічний склад перги.....	91
7.4.	Використання перги бджіл	94
8.	ПРОПОЛІС	96
8.1.	Біохімічні процеси утворення прополісу	96
8.2.	Фізичні константи прополісу.....	97
8.3.	Хімічний склад та властивості прополісу	99
8.4.	Використання прополісу у різних галузях	103
9.	МАТОЧНЕ МОЛОЧКО	105
9.1.	Значення та біосинтез маточного молочка.....	105
9.2.	Хімічний склад маточного молочка	107
9.3.	Фізико-хімічна характеристика маточного молочка.....	110
9.4.	Застосування маточного молочка	113
10.	БДЖОЛИНА ОТРУТА	115
10.1.	Синтез бджолоїної отрути	115
10.2.	Фізико-хімічна характеристика бджолоїної отрути	117
10.3.	Хімічний склад бджолоїної отрути	119
10.4.	Фізіолого-біохімічні зміни в організмі людини за укусу бджіл.	122
10.5.	Використання бджолоїної отрути.....	123
11.	ВПЛИВ РІЗНИХ ЧИННИКІВ НА ХІМІЧНИЙ СКЛАД МЕДУ ТА ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА	126
11.1.	Вплив клімату та пори року.....	126
11.2.	Вплив ботанічного походження нектару.....	127
11.3.	Вплив забруднювачів.....	129
11.4.	“Зелена” хімія: інтеграція екологічних підходів	131
12.	МЕТОДИ АНАЛІЗУ ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА	134
12.1.	Спектрофотометричні методи	134
12.2.	Електрохімічні методи	136
12.3.	Електрофоретичні методи.....	137
12.4.	Радіометричні методи	139
12.5.	Ізотопний аналіз	140
12.6.	Хроматографічні методи.....	141
12.7.	Антиоксидантна активність	143
12.8.	Біоаналітичні підходи до дослідження продуктів	144

13. ЕКСПЕРТИЗА МЕДУ ТА ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА	146
13.1. Стандарти якості продуктів бджільництва	146
13.2. Фальсифікація меду	147
13.3. Фальсифікація воску	149
13.4. Фальсифікація перги	150
13.5. Фальсифікація прополісу	151
13.6. Фальсифікація маточного молочка	153
13.7. Фальсифікація бджолоїної отрути	154
13.8. Органолептика	156
13.9. Наслідки фальсифікації на безпечність та функціональність продукції бджільництва	157
14. ХІМІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ	159
14.1. Зберігання меду та продуктів бджільництва	159
14.2. Екстракція прополісу	163
14.3. Обробка пилку	165
14.4. Розробка продуктів із воску	166
15. ХІМІЯ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ У БДЖІЛЬНИЦТВІ	168
15.1. Інтеграція біонанотехнологій	168
15.2. Геномні, протеомні та метаболомні підходи у вивченні меду та продуктів бджільництва	169
15.3. Використання “зеленої” хімії	171
15.4. Технологічні інновації	173
15.5. Органічне бджільництво	174
15.6. Роль штучного інтелекту	176
15.7. Збереження біорізноманіття через екологічно орієнтоване бджільництво	177
КЛЮЧОВІ НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	179
ЛІТЕРАТУРА	181
КОРОТКИЙ СЛОВНИК БІОЛОГІЧНИХ ТЕРМІНІВ	183
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	188

Навчальне видання

ХІМІЯ МЕДУ ТА ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА

Цехмістренко Світлана Іванівна
Цехмістренко Оксана Сергіївна
Недашківський Володимир Михайлович

Комп'ютерна верстка і набір: С.І. Цехмістренко
Дизайн обкладинки: В.М. Поліщук

Підписано до друку 28.04.2025
Формат 60×84/16. Гарнітура Times.
Умовн.-друк. арк. 12,2.
Наклад 300 прим. Зам. № 11-63.

Надруковано СПДФО Пшонківський О.В.

