

Міністерство освіти і науки України
Національна академія наук України
Національний центр «Мала академія наук України»

ПРОМИСЛОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Методичні рекомендації
щодо виконання лабораторних робіт



Київ
Національний центр
«Мала академія наук України»
2024

Міністерство освіти і науки України
Національна академія наук України
Національний центр «Мала академія наук України»

ПРОМИСЛОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ

**Методичні рекомендації
щодо виконання лабораторних робіт**

Київ
Національний центр
«Мала академія наук України»
2024

Укладачі:

О. Л. Толстов — методист лабораторії хіміко-біологічних наук НЦ «МАНУ»,
завідувач відділу полімерних композитів Інституту хімії високомолекулярних сполук
НАН України, канд. хім. наук;

І. М. Бей — методистка лабораторії хіміко-біологічних наук НЦ «МАНУ»,
наукова співробітниця відділу полімерних композитів Інституту хімії
високомолекулярних сполук НАН України, канд. хім. наук

Рецензенти:

О. В. Слісенко — старша наукова співробітниця відділу полімерних композитів Інституту
хімії високомолекулярних сполук НАН України, доцентка кафедри фармацевтичної
та біологічної хімії, фармакогнозії фармацевтичного факультету ПВНЗ «Київський
медичний університет», канд. хім. наук;

В. Р. Косач — старша наукова співробітниця відділу клітинного скринінгу ТОВ «Науково-
виробниче підприємство "СНАМІН"», канд. біол. наук

*Рекомендовано науково-методичною радою
Національного центру «Мала академія наук України»
(протокол № 3 від 13 червня 2023 року)*

Промислова біотехнологія : методичні рекомендації щодо виконання
П81 лабораторних робіт / уклад.: О. Л. Толстов, І. М. Бей; відп. за вип.: Т. В. Пещеріна,
А. М. Буткевич. — Київ : Національний центр «Мала академія наук України»,
2024. — 148 с.
ISBN 978-617-7945-52-8

Методичні рекомендації призначені для ознайомлення з промисловою біотехнологією як сукупністю сучасних високоефективних та екологічно безпечних напрямів промислового виробництва, поглиблення знань щодо новітніх способів одержання хімічних речовин, важливих матеріалів, товарів промислового значення, харчових добавок тощо. У виданні узагальнено теоретичні знання з основ біотехнології, сучасних принципів обрання хімічної сировини та способів її оброблення, акцентовано на «виробничих потужностях» живої природи, якими людина навчилася керувати або активно опановує їх як з метою одержання необхідних харчових продуктів та промислових товарів, так і для максимального збереження природних об'єктів і мінеральної сировини. Для найкращого засвоєння теоретичних знань у збірці підібрано низку лабораторних робіт, що допоможуть на практиці оцінити унікальність біотехнології, зрозуміти її важливість для сьогодення, опанувати деякі біотехнологічні процеси та, можливо, обрати власне професійне майбутнє.

Видання може бути використане педагогами під час проведення лабораторних робіт з напрямів «Біотехнологія», «Біохімія», «Основи харчової хімії», для розроблення дослідницьких проектів у закладах загальної середньої й позашкільної освіти, організації роботи з дітьми та учнівською молоддю в академічних установах і наукових центрах, а також вчителями хімії й біології як допоміжне видання для організації освітньої діяльності.

УДК 602.4:608.32:502.131.1:606:62:66.098

© Толстов О. Л., Бей І. М., укладання, 2024
© Національний центр
«Мала академія наук України», 2024

ВСТУП	5
ХІМІЧНІ РЕАКТИВИ І ПРАВИЛА РОБОТИ З НИМИ	8
ПРАВИЛА РОБОТИ І ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ	9
ДОМЕДИЧНА ДОПОМОГА У РАЗІ НЕЩАСНИХ ВИПАДКІВ	13
ЩО ТАКЕ БІОТЕХНОЛОГІЯ	14
ГОЛОВНІ НАПРЯМИ БІОТЕХНОЛОГІЇ	16
Медична біотехнологія	18
Агропромислова біотехнологія	19
Харчова біотехнологія	19
Біотехнологія довкілля	20
Біотехнологія продуктів хімічного виробництва	21
Біотехнологія Світового океану	22
СИРОВИНА ДЛЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ	27
БІОТЕХНОЛОГІЯ В ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	29
БІОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ В ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	32
Ферментативні процеси (зброджування)	33
Ензимні процеси	39
ДЕЯКІ ПРОДУКТИ ПРОМИСЛОВОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ	45
Лимонна (цитратна) кислота	45
Молочна кислота	46
Пропан-1,3-діол	46
L-лізин	47
L-глутамінова кислота	47
Органічні розчинники	48
Біопластики	49
Барвники	51
Ароматизатори	53
Глюкозний та фруктозний сиропи	55
Хлібобулочні вироби	56
Молочні вироби	57
Пиво	58
Міцні алкогольні напої	59

Тваринні корми	59
Фармацевтичні препарати	62
Косметичні засоби	63
Мийні засоби (детергенти)	64
Виробництво ферментів	65
Біоетанол та інші види біопалива	66
Виробництво паперу	68
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	71
Лабораторна робота № 1. Натуральні барвники й технологія фарбування тканини	71
Лабораторна робота № 2. Природний полісахарид пектин: одержання та вивчення його властивостей	74
Лабораторна робота № 3. Технологічні основи виготовлення біопластиків	77
Лабораторна робота № 4. Лактоза: видобування з молочної сироватки	88
Лабораторна робота № 5. Видобування крохмалю з природної сировини та вивчення його властивостей	91
Лабораторна робота № 6. Одержання мальтози ферментативним гідролізом крохмалю та методи її ідентифікації	96
Лабораторна робота № 7. Ферментація глюкози. Спиртове бродіння	103
Лабораторна робота № 8. Рослинні олії як сировина для виробництва палива. Синтез біодизеля з рослинної олії та вивчення його властивостей	110
Лабораторна робота № 9. Хімічний і біотехнологічний методи одержання наночастинок срібла та вивчення їх властивостей	119
Лабораторна робота № 10. Біологічне забруднення водних середовищ. Оцінювання ефективності методів очищення води від бактеріальних забруднень	125
ЛІТЕРАТУРА	136
СПИСОК ІЛЮСТРАЦІЙ	137

ВСТУП

Сучасний світ поступово досягає тієї межі, коли подальший розвиток та розширення традиційних форм промислового виробництва може спричинити непоправну шкоду людині та навколишньому середовищу. Серед найгірших можливих наслідків слід зазначити вичерпання мінеральних ресурсів і енергоносіїв, зменшення біомаси, тотальне забруднення водних джерел, ґрунтів й атмосфери, що може спричинити непоправну шкоду для здоров'я мешканців нашої планети.

Звісно, відмова від здобутків цивілізації видається практично нездійсненною, тому варто шукати інших шляхів вирішення зазначених проблем. Одним з можливих варіантів запобігання й усунення загроз нашій планеті, що несе в собі активна господарська діяльність людини, є інтенсивне впровадження сучасних, енерго- та ресурсоощадних виробничих процесів, можливості яких надає нам розвиток різних напрямів біотехнології. Загальною сутністю біотехнології є використання відомих біохімічних реакцій, що відбуваються в різноманітних живих організмах (наземних рослинах, водоростях, мікроорганізмах тощо), які або існують в нашій природі, або штучно вирощені та змінені людиною під певні завдання. Саме керування біохімічними процесами життєдіяльності цих мешканців нашої планети є одним з головних здобутків людства за останні часи. Це важливі наукові знання з регулювання процесів обміну речовин у живих організмах без завдавання шкоди їх життєдіяльності, а також способів вирощування, що не перешкоджають їх нормальному розвитку та розмноженню, але водночас забезпечують продукування низки потрібних речовин для різних галузей промислового виробництва. Саме це і є головними цеглинками, закладеними в загальне поняття «біотехнологія». Не слід вважати, що ці здобутки отримані легкою ціною — це тяжка праця багатьох поколінь науковців, технологів, винахідників та інженерів з метою поєднання великого масиву знань з різних наук — біології, хімії, фізики, математики, інженерії та інших. І подальший розвиток цих знань відбувається навіть цієї миті, оскільки людству

необхідно модернізувати способи одержання значної кількості різноманітних сполук, що використовує сучасна промисловість, винайти нові продукти та пристосувати їх під поточні завдання для заміни відомих, але застарілих аналогів.

Навчальне видання «Промислова біотехнологія» складається з теоретичної та практичної частин. У теоретичній частині узагальнено сучасні відомості про особливості біотехнології, її різновиди, наведено приклади використання на користь людині, окремі продукти сучасної біотехнології, які дають змогу зробити промислове виробництво більш безпечним, а людство — забезпеченим харчовими продуктами, необхідними товарами, ліками тощо.

Практична частина складається з десяти лабораторних робіт різного рівня складності. Перед початком їх виконання обов'язково слід ознайомитися з правилами роботи в хімічній лабораторії для безпечного проведення експериментів, розуміння головних небезпек дослідів та способів їх уникнення, а також з правилами надання першої домедичної допомоги для розуміння порядку дій у непередбачених обставинах. Виконання експериментальних робіт біотехнологічного спрямування, запропонованих для виконання, надасть учням широкі можливості для формування різноманітних навичок — вміння працювати з лабораторним посудом, обладнанням та допоміжним приладдям, здатність проведення хімічного та біологічного експерименту, а також використання набутих теоретичних знань про корисні для людини біотехнологічні процеси. Учні зможуть докладно ознайомитися з основними способами біотехнологічного одержання різноманітних сполук та поживних речовин, реалізувати їх в лабораторних умовах, опанувати основні способи виділення, ідентифікації та вивчення вихідної біотехнологічної сировини та продуктів її перетворення, переві-

рити їх хімічні та інші властивості. Виконання практичних робіт дасть можливість розвинути універсальні дослідницькі навички: уважність, вміння спостерігати особливості хімічних процесів, зазначати будь-які зміни, їх послідовність, розуміти всі закономірності перетворень, висловлювати думки та припущення про те, чому відбуваються ті чи інші перетворення і які причини призвели до цього, а також вміння аналізувати проміжні та кінцеві результати.

Для засвоєння теоретичних відомостей та виконання експериментальних робіт, наведених у виданні, необхідно мати базові знання щодо періодичного закону, будови неорганічних і органічних сполук, типів хімічного зв'язку, основних класів хімічних сполук, видів та умов перебігу хімічних реакцій, методів визначення вмісту речовини.

У виданні використано сучасну хімічну термінологію, номенклатуру й систему позначень, що рекомендовані Міжнародним союзом фундаментальної й прикладної хімії (IUPAC), Українською національною комісією з хімічної термінології та номенклатури.

Методичні рекомендації призначені для вихованців — членів Малої академії наук України, учнів закладів загальної середньої освіти, у яких хімія є предметом поглибленого вивчення, та закладів позашкільної освіти.

Видання може бути використане педагогами під час шкільних занять, проведення лабораторних робіт, розроблення дослідницьких проєктів у закладах загальної середньої й позашкільної освіти, організації роботи з учнівською молоддю в академічних установах і наукових центрах, а також вчителями хімії й біології як допоміжне видання для організації освітньої діяльності.

ХІМІЧНІ РЕАКТИВИ І ПРАВИЛА РОБОТИ З НИМИ



Рисунок 1. Хімічні реактиви

Хімічними реактивами називають речовини, які використовують для проведення хімічних реакцій, аналізу і синтезу речовин. Залежно від ступеня чистоти хімічні реактиви класифікують таким чином: технічні («тех.»), чисті («ч.»), чисті для аналізу («ч. д. а.»), хімічно чисті («х. ч.»), особливо чисті («ос. ч.»), або вказують вміст основної речовини (наприклад, $\geq 97,0\%$) та можливих супутніх домішок.

Чистоту хімічних реактивів і кількість домішок регламентують державні стандарти (ДСТУ), їх одержання — технічні умови (ТУ) або, якщо виробник з іншої країни, специфікації на такий продукт (Technical Data Sheet, TDS) від виробника реактиву.

Для більшості хімічних експериментів використовують реактиви з вмістом основної речовини не менше ніж 97 %.

Під час роботи з хімічними реактивами необхідно дотримуватися таких правил і вимог техніки безпеки:

- увесь посуд з реактивами має бути підписаний;
- реактиви слід зберігати у закритих кришками стаканах, щоб запобігти їх забрудненню;
- для проведення досліду розчини й тверді речовини необхідно брати у кількостях, передбачених методикою експерименту;
- тверді реактиви слід обережно відбирати шпателем;
- рідкі реактиви або розчини необхідно відбирати піпетками або дозаторами;
- надлишок реактиву не варто повертати у посуд для зберігання, щоб не спричинити забруднення реактивів;
- працювати з концентрованими розчинами кислот і лугів, токсичними або леткими речовинами необхідно у витяжній шафі.

ПРАВИЛА РОБОТИ І ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ



Рисунок 2. Правила техніки безпеки

1. Загальні положення

1.1. У хімічній лабораторії категорично забороняється вживати їжу і напої.

1.2. Перед початком роботи необхідно перевірити справність лабораторного обладнання і допоміжного приладдя, цілісність хімічного посуду, наявність засобів індивідуального захисту.

Працювати з несправним обладнанням забороняється!

1.3. Перед початком кожного заняття в лабораторії слід з'ясувати мету роботи, ознайомитися з теоретичним обґрунтуванням і порядком проведення експериментів. Розпочинати виконувати практичну роботу можна лише з дозволу викладача.

1.4. Під час роботи в лабораторії необхідно підтримувати чистоту і порядок на робочому місці, дотримуватися правил техніки безпеки. Безладдя, неохайність під час виконання операцій хімічного експерименту призводять до нещасних випадків, пошкодження обладнання, реактивів та одягу, необхідності повторення експерименту.

1.5. Роботу слід організовувати так, щоб під час виконання тривалих операцій одночасно можна було здійснювати іншу супутню роботу, передбачену порядком проведення експерименту.

2. Основні правила роботи в хімічній лабораторії

2.1. Хімічні реактиви, дистильовану воду, газ, електричну енергію в лабораторії слід використовувати економно.

2.2. Під час користування обладнанням необхідно дотримуватися інструкцій з експлуатації.

2.3. Під час роботи зі скляним хімічним посудом і обладнанням треба бути обережними, не докладати надмірної сили.

2.4. Тверді реактиви слід набирати за допомогою шпателя, рідкі — піпеткою або мірним циліндром.

2.5. Не можна нагрівати пробірки з розчинами речовин, що реагують, безпосередньо на відкритому полум'ї пальника, щоб уникнути розбризкування рідини, адже це може спричинити нещасні випадки й втрату досліджуваного розчину. Пробірки слід нагрівати на водяній бані, спрямовуючи отвори у зворотний бік від себе й інших осіб. Не можна заглядати в пробірку з рідиною, яку нагрівають.

2.6. Коли потрібно перевірити запах речовин у пробірках або стаканах, у яких зберігають рідини, то легким рухом долоні слід спрямувати потік повітря від посуду з реактивом до себе й обережно понюхати.

2.7. Усі роботи з речовинами, під час взаємодії яких утворюються шкідливі для організму гази, суміші з неприємним запахом, необхідно виконувати у витяжній шафі.

Заборонено працювати із речовинами, під час взаємодії яких утворюються шкідливі для організму гази, суміші з неприємним запахом, на робочому місці!

2.8. Відпрацьовані розчини кислот, лугів та інших реагентів слід зливати у спеціально призначений посуд. Розчини, що містять сполуки важких, розсіяних, отруйних і благородних металів (Pb, Hg, Ru, Ce, V, Ag, Au та інших) необхідно зливати в окремий посуд для їх подальшої регенерації.

2.9. Слід пам'ятати, що більшість реакцій відбувається лише за створення відповідних умов (необхідне середовище, потрібна температура, перемішування тощо), тому реактиви необхідно додавати лише у спеціально підготовлений досліджуваний розчин. Якщо реакція відбувається в кислому чи лужному середовищі, то не можна додавати у досліджуваний розчин неконтрольований об'єм розчину кислоти чи лугу. Рідину слід ретельно перемішати й краплями додавати розчин кислоти або лугу, щоразу перемішуючи суміш скляною паличкою й контролюючи рН середовища з допомогою індикаторного папірця.

2.10. Якщо необхідно перевірити можливість утворення осаду, то слід змішати в окремому посуді (пробірка, предметне скло) 1–2 краплі аналізованого розчину і 1–2 краплі реактиву.

2.11. Щоб забезпечити повне осадження, після додавання реактиву й утворення осаду слід перевіряти повноту осадження в окремій порції фільтрату. Якщо в контрольній пробі триває утворення осаду, то треба ввести в основне реакційне середовище додаткову порцію осаджувача. За повного осадження контрольна проба фільтрату не повинна давати позитивної реакції з осаджувачем.

2.12. Як правило, осадження проводять за нагрівання, що забезпечує утворення частинок осаду більшого розміру, які легко відділити від розчину.

3. Робота з кислотами та лугами

3.1. Під час роботи з концентрованими кислотами та лугами слід бути обережними, стежити, щоб вони не потрапили в очі, на шкіру й одяг.

3.2. Під час приготування розчинів кислот та лугів обережно і маленькими порціями додавати кислоту чи луг у воду. Це зумовлено тим, що під час розведення кислот та лугів виділяється велика кількість тепла, розчин може закипіти, почати розбризкуватися і заподіяти шкоду.

3.3. Під час переливання великих об'ємів концентрованих кислот і лугів необхідно:

- вдягати гумові рукавички, фартух і захисні окуляри;
- посуд великого об'єму помістити на підставку, а потім поволі нахилити й переливати крізь лійку в добре вимиті й висушені стакани;
- об'єми розчинів кислот і лугів відмірювати мірним циліндром, піпеткою з під'єднаним гумовим балончиком або піпет-дозатором.

4. Робота зі шкідливими й отруйними речовинами

4.1. Під час роботи зі шкідливими й отруйними речовинами (солі барію, стронцію, плюмбуму, купруму тощо) необхідно стежити за тим, щоб вони не потрапили в організм (крізь шкіру, дихальні шляхи, шлунково-кишковий тракт).

4.2. Після роботи з такими речовинами треба ретельно вимити руки.

5. Робота з горючими та легкозаймистими речовинами

5.1. Усі роботи з горючими та легкозаймистими речовинами слід проводити у витяжній шафі.

У лабораторії, де проводять роботи з горючими та легкозаймистими речовинами, заборонено використовувати відкрите полум'я!

5.2. Нагрівати легкозаймисті речовини (вуглеводні, спирти, етери, естери тощо) необхідно на водяній бані, у колбі зі зворотним холодильником.

5.3. Зберігати такі речовини слід у щільно закритих стаканах невеликого об'єму, якомога далі від джерел полум'я та нагрівальних приладів (термостати, електричні шафи, плитки тощо).

5.4. Лужні метали необхідно зберігати під шаром спеціальної олії. Під час роботи з металічними натрієм або калієм слід уникати їх контакту з водою. По закінченні роботи залишки металів перенести у спеціальний посуд.

6. Робота з речовинами, що утворюють вибухові суміші

6.1. Необхідно пам'ятати, що деякі гази (H_2 , C_2H_2 , CO тощо), леткі речовини (вуглеводні, спирти, CS_2 та інші) під час випаровування утворюють із киснем повітря вибухові суміші, тому всі роботи з ними слід проводити у витяжній шафі.

Заборонено нагрівати, ударяти або зберігати поруч з іншим речовини, що утворюють вибухові суміші (перманганати, хлорати, перхлорати, персульфати й інші окисники)!

7. Ліквідація осередків займання в лабораторії

7.1. У разі виникнення пожежі в лабораторії необхідно негайно вимкнути всі електричні прилади, витяжні шафи та перекрити подавання газу.

7.2. Місце пожежі слід засипати піском або накрити протипожежною ковдрою, загасити вогонь за допомогою вогнегасника.

7.3. Воду для гасіння пожежі в лабораторії треба застосовувати обережно, бо в деяких випадках вода сприяє посиленню пожежі.



ДОМЕДИЧНА ДОПОМОГА У РАЗІ НЕЩАСНИХ ВИПАДКІВ



Рисунок 3. Засоби домедичної допомоги

Суворе дотримання інструкцій з охорони праці та правил техніки безпеки в хімічній лабораторії, обережне поводження з хімічними речовинами, посудом й обладнанням запобігає нещасним випадкам (опікам, пораненням, отруєнням тощо).

У разі нещасного випадку потерпілому необхідно надати домедичну допомогу!

1. *Кислота.* У випадку потрапляння на шкіру кислоти пошкоджене місце необхідно промити чистою холодною водою та обробити 2%-м розчином питної соди (NaHCO_3) для нейтралізації її залишків.

2. *Луг.* У разі потрапляння на шкіру розчинів лугів пошкоджене місце треба промити чистою холодною водою та обробити 2%-м розчином оцтової чи цитратної кислоти або насиченим розчином борної кислоти.

3. *Подразливі речовини.* У випадку потрапляння на шкіру фенолу, бром у та інших агресивних речовин слід негайно промити пошкоджене місце етиловим спиртом та нейтралізувальним засобом.

4. *Отруйні гази та пари.* У разі отруєння хлором, паром бром у, оксидами нітрогену потерпілому необхідно дати подихати паром розведеного розчину амоніаку, випити молока, перенести на відкрите повітря.

5. *Термічні опіки.* У випадку виникнення термічних опіків шкіри на пошкоджену ділянку слід обережно накласти вологу стерильну пов'язку та доставити постраждалого у лікарню.

6. *Порізи.* У разі порізів треба обережно промити рану 3%-м водним розчином гідроген пероксиду (перекису водню), обробити шкіру навколо рани спиртовим розчином йоду, накласти стерильну пов'язку.

7. Після надання домедичної допомоги необхідно викликати лікаря або доставити постраждалого у лікарню.

ЩО ТАКЕ БІОТЕХНОЛОГІЯ



Термін «біотехнологія» доволі давно увійшов у наше повсякденне використання, проте й досі залишається для більшості чимось загадковим. Але жодних таємниць тут немає, бо біотехнологія має чіткий зміст, визначення, власні закони, певні галузі наукових інтересів та практичного промислового застосування. Впроваджений на початку XX століття угорським вченим Кароєм Ерекі (Karoly Ereky) термін «біотехнологія» має чітке визначення як окремий науковий напрям, що займається розробленням методів одержання продуктів промислового виробництва за участю живих організмів або окремих їх частин, у тому числі навіть окремих молекул. Біотехнологія поєднує біологію, а часто й суміжні з нею науки, та інженерію з метою пошуку можливостей використання живих організмів, клітин, різноманіття біомолекул, що входять до складу клітин та виконують певні життєво важливі функції, для створення необхідних людині речовин та продуктів.

Якщо бути відвертими, розвиток біотехнології як набору способів і методів одержання важливих продуктів жодним чином не пов'язане з появою цієї назви. Поринувши в глибину століть, можна зрозуміти, що біотехнологічні процеси були відомі людині дуже давно. Наприклад, перші згадки про ферментативні процеси на основі крохмалевмісної рослинної сировини та подальше виготовлення з неї перших зразків хліба датовані приблизно 12 500 р. до н. е. Перші успішні спроби вироблення доволі популярного і в наші часи напою – пива – були зроблені ще приблизно 11 000 р. до н. е. Ферментативне оброблення фруктових соків, що містили велику кількість тоді ще не відомої людині глюкози (цей процес сьогодні ми називаємо спиртовим бродінням, бо результатом його є утворення збагаченого поживними речовинами розчину етанолу – вина), почали проводити десь 7000 р. до н. е. Винайдення процесу тривалого консервування молока, результатом якого є одержання смачних продуктів з високою енергетичною та поживною цінністю, які ми сьогодні називаємо твердим сиром, відбулося близько

6000 р. до н. е. Всі ці згадки є першими «цеглинками» в процесі закладення основ сучасної біотехнології та її розвитку на користь людства, попри те, що між ними та початком справжнього розуміння закономірностей перебігу цих біохімічних процесів пройшло не одне тисячоліття.

Нині біотехнологія — це низка технологій, використовуваних у різних галузях сучасної науки та промисловості, що складається з трьох основних компонентів:

- генна інженерія;
- протейнова інженерія;
- метаболічна інженерія.

Четверта складова, відома як біохімічна (або біопроцесингова, або біотехнологічна) інженерія, відповідає за практичну реалізацію перших трьох складових, тобто за виробництво біотехнологічної продукції та її використання.

А взагалі, навіщо нам ця біотехнологія? Сьогодні ми навчилися одержувати потрібні нам продукти багатьма суто хімічними методами з використанням нафти як сировини, дефіциту якої ми поки ще по-справжньому не відчуваємо. Активно спонукало людство до розвитку біотехнологій погіршення екологічного стану довкілля в багатьох місцях нашої планети. І широке залучення різноманітних природних процесів до промислового виробництва розглядається як спосіб запобігання забрудненню навколишнього середовища шкідливими промисловими відходами або як спосіб видалення чи знешкодження забруднювачів, які вже наробили певної шкоди. Іншою важливою рушійною силою у розвитку біотехнологій було впровадження в хімічну промисловість біокаталізу. На відміну від традиційного хімічного каталізу, біокаталітичні процеси відбуваються за значно нижчих температур і тиску, під час їх перебігу утворюється менша кількість побічних продуктів і небезпечних відходів. А ще, на відміну від штучних каталізаторів, біокаталізатори здатні до самовідтворення. Цей факт дуже цікавий! І головне – природні «виробничі потужності» працюють на відновлюваній сировині, такій як вуглекислий газ, вода й азот – як найдоступніший, сонячне світло та власне енерговидобування – як джерела енергії.

Наразі людство має багатий досвід та можливості створення нових біокаталізаторів з покращеною селективністю та продуктивністю, використання яких знижує енергомісткість промислових процесів, мінімізує кількість відходів, підвищує чистоту основного продукту та зменшує негативний вплив промислового виробництва на навколишнє середовище.



ГОЛОВНІ НАПРЯМИ БІОТЕХНОЛОГІЇ

Напрямів у біотехнології дуже багато, бо пов'язані з нею процеси вже проникли у різні сфери як промисловості, так і інших сфер нашого життя. Взаємодія біотехнології з іншими галузями зумовила створення нових промислових секторів — нанобіотехнології та біоелектроніки. Насправді біотехнологія справляє значний вплив на сучасну охорону здоров'я, медичну діагностику, охорону довкілля, сільське господарство, харчову промисловість та криміналістику. І це не все! Окремо виділяють біотехнологічне створення відновлюваних джерел енергії та виробництво новітніх біофармацевтичних препаратів. Щоб відокремити напрями біотехнології, виявити їх особливості й зв'язки між назвою напрямку та об'єктами й процесами, на яких зосереджена та чи інша галузь біотехнології, було запропоновано «зафарбувати» кожен галузь у певний колір. Пропонуємо ознайомитись із напрямками сучасної біотехнології, скориставшись блок-схемою.



БЛОК-СХЕМА «НАПРЯМИ БІОТЕХНОЛОГІЇ»

Blue biotechnology
«Блакитна» біотехнологія
БІОТЕХНОЛОГІЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ
Біопаливо, мікробіодорості

Green biotechnology
«Зелена» біотехнологія
АГРОПРОМИСЛОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ
*Генетично модифіковані організми,
корм для тварин*

Red biotechnology
«Червона» біотехнологія
МЕДИЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ
*Ліки, вакцини, штучні тканини
та органи, діагностування хвороб*

White biotechnology
«Біла» біотехнологія
**БІОТЕХНОЛОГІЯ ПРОДУКТІВ ХІМІЧНОГО
ВИРОБНИЦТВА**
*Багатотоннажна хімія, промислові товари,
біопластики, біокаталізатори*

Yellow biotechnology
«Жовта» біотехнологія
ХАРЧОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ
Харчові продукти та напої

Grey biotechnology
«Сіра» біотехнологія
БІОТЕХНОЛОГІЯ ДОВКІЛЛЯ
*Біорізноманіття,
очищення навколишнього середовища*

Brown biotechnology
«Коричнева» біотехнологія
БІОТЕХНОЛОГІЯ ПУСТЕЛЬ
*Рекультивация посушливих ґрунтів
та пустель*

Dark biotechnology
«Темна» біотехнологія
БІОТЕХНОЛОГІЯ ОЗБРОЄННЯ
*Культивування патогенних мікроорганізмів
та їх токсинів*

Як бачимо, зображені напрями дуже різні, кожен з них цікавий і, безумовно, потребує багато уваги та зусиль для проведення досліджень з метою сталого розвитку.

З назв напрямів зрозуміло, що деякі з них пов'язані з продукцією, яку виробляє ця галузь біотехнології, а деякі — з об'єктами чи процесами, які використовуються для виробничих потреб. Спробуємо докладно розглянути ключові напрями біотехнології, які мають велику виробничу цінність для людства і дають можливість отримати в потрібних кількостях важливі речовини, матеріали, харчові продукти та напої, товари щоденного користування тощо.

МЕДИЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Ця галузь біотехнології залучена у процеси виробництва фармацевтичних препаратів, продуктів тканинної інженерії, регенеративних лікарських засобів, у тому числі стовбурових клітин, та використовується для розвитку генної терапії. Важливим є те, що медична біотехнологія спрямована на одержання важливих сучасних медичних та фармацевтичних засобів у промислових кількостях для забезпечення всіх можливих потреб людства.



Рисунок 4. Ілюстративне фото
«Медична біотехнологія»

Особливу увагу в цій галузі біотехнології зосереджено на створенні вискоєфективних вакцин, перші звістки про які були відомі ще в давнину в Китаї, Індії та Персії. Взагалі за всі часи застосування вакцин та вакцинації людина отримала від цього виду терапії неоціненну користь. Нині медична біотехнологія орієнтована на створення методів сучасної діагностики захворювань, нових підходів до лікування та боротьби з найнебезпечнішими хворобами, спричиненими вірусами Зіка та Ебола, пташиного грипу, лихоманки Чикунгунья, грипу А, SARS, гарячки Західного Нілу тощо.

АГРОПРОМИСЛОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Наразі більшість успіхів з покращення врожайності рослин пов'язано з впровадженням нових та вдосконаленням наявних біотехнологічних методів рослинництва, і повний потенціал цього напрямку ще не розкрито. Неприятливі природні умови (надмірне зволоження чи посухи, коливання температури), хвороби, різноманітні шкідники та деякі інші фактори знижують продуктивність сільськогосподарських культур і є основними перешкодами на шляху до досягнення мети цього напрямку біотехнології. Що саме є метою агропромислової біотехнології? Насамперед створення нових видів генетично модифікованих культурних рослин, врожайність яких не залежатиме від сезону, кліматичних та інших чинників природного походження, типу та якості ґрунтів тощо.

Крім підвищення врожайності сільськогосподарських культур важливою метою агропромислової біотехнології є зменшення негативного впливу діяльності людини на навколишнє середовище.



Рисунок 5. Ілюстративне фото
«Агропромислової біотехнології»

ХАРЧОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Харчова біотехнологія — це відносно нова галузь, яка спрямована на збільшення виробництва харчових продуктів, покращення їх смаку та поживної цінності. Продукти, отримані біотехнологічним шляхом, за всіма характеристиками повинні бути безпечнішими та кориснішими для

Переваги впровадження методів харчової біотехнології



Рисунок 6. Інфографіка «Переваги впровадження методів харчової біотехнології»

людини. Чому? Тому що всі методи біотехнології спрямовані на зменшення використання небезпечних для людини пестицидів (інсектицидів, гербіцидів, протигрибкових та інших засобів захисту рослин), які потім можуть потрапити в їжу. Крім того, результатом впровадження біотехнології у виробництво харчових продуктів є зменшення кількості сполук-алергенів та збільшення корисних і поживних речовин, як-то протеїни, жири й вуглеводи, мікроелементи, вітаміни, поліфенольні сполуки-антиоксиданти, які покращують загальний стан здоров'я людини, сприяють зміцненню імунної системи організму.

БІОТЕХНОЛОГІЯ ДОВКІЛЛЯ

Цей напрям створено для активізації зусиль, спрямованих на збереження первинного стану складових довкілля, таких як повітря, вода, ґрунти, що в сучасних умовах потерпають від дії небезпечних речовин та матеріалів, які використовує людина у своїй діяльності. Іншими словами – це розробка методів перероблення відходів, моніторинг стану довкілля та пошук шляхів запобігання забрудненню навколишнього середовища.

Важливим завданням біотехнології довкілля є біоре mediaція – використання вищих організмів та мікроорганізмів для знешкодження забруднень та надання корисних властивостей відходам і шкідливій продукції штучного походження. Для цього створюються біореактори, що призначені для ферментативного оброблення промислових та побутових відходів, придатних для традиційної утилізації чи компостування, виробництва біопалива (біогазу) та біопластиків. І кожен з цих окремих процесів є складовою великого виробничого циклу. Наприклад, є мікроорганізми, що знешкоджують відходи сульфуровмісного технологічного розчину під час виробництва паперу. Далі з цієї бактеріальної суспензії можна виробляти метан, який є енергомістким паливом і цінним продуктом хімічного виробництва.



Рисунок 7. Ілюстративне фото
«Біотехнологія довкілля»

Біотехнологія довкілля тісно взаємодіє з іншими напрямками, зокрема з агропромисловою біотехнологією. Вирощування рослинних культур, стійких до комах, інших шкідників та хвороб, зменшує використання пестицидів у сільському господарстві й, відповідно, небезпечне антропогенне навантаження на навколишнє середовище — природні водойми, флору та фауну, а ще на джерела питної води, тваринні корми, харчові продукти тощо.

БІОТЕХНОЛОГІЯ ПРОДУКТІВ ХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Цей напрям є провідним в аспекті створення матеріалів промислового та побутового призначення у великих промислових масштабах і для широкого застосування, таких як паливо, полімерні матеріали, ферменти, різноманітна хімічна сировина для подальших виробничих потреб. Біотехнологічний спосіб одержання хімічних продуктів має на меті підвищення ефективності виробництва, економію сировини та енергоресурсів, відмову від використання токсичних речовин та небезпечних технологій, зменшення кількості відходів і, відповідно, їх впливу на навколишнє середовище.

Наприклад, успіхи цієї галузі біотехнології дають змогу виробляти павутинний шовк і біотехнологічну бавовну, які є теплішими та міцнішими текстильними матеріалами, стійкішими до зминання та осідання, легше піддаються фарбуванню. Розвиток біотехнології продуктів хімічного виробництва спричинив справжню промислову революцію, оскільки значно спростив процеси створення біокатализаторів-ензимів для одержання та оброблення тканин і одягу, одержання таких важливих для людини продуктів, як амінокислоти, вітаміни, нові антибіотики, харчові добавки тощо. У межах цього виду біотехнології використовуються нові типи фотосинтезувальних організмів, які за допомогою сонячної енергії дають можливість одержувати промислово важливі



Рисунок 8. Ілюстративне фото «Біотехнологія продуктів хімічного виробництва»

вуглеводи, олії та біополімери. Крім того, одним з провідних напрямів біотехнології продуктів хімічного виробництва є одержання різних видів біопалива:

- 1) шляхом ферментації вуглеводів одержують біоетанол, який є компонентом біопалива та сировиною для виробництва безлічі хімічних продуктів;
- 2) дією ензимів на рослинні олії — пальмову, соєву, рапсову та інші — можна безпосередньо одержувати відомий всім біодизель; лише в деяких випадках можна використовувати необроблені олії як окремий вид палива або у виді суміші з нафтопродуктами;
- 3) деревину та інші супутні продукти її перероблення можна перетворити в рідке паливо — метанол, етанол або біогаз; також відходи деревини придатні для одержання з них твердих видів палива, а з продуктів глибокого біотехнологічного перероблення деревини можна виділити левулінову й ітаконову кислоти, сорбіт, що є важливою сировиною у фармацевтичній та харчовій промисловостях.

БІОТЕХНОЛОГІЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ

Метою «блакитної» біотехнології є розроблення способів використання ресурсів та біохімічних можливостей Світового океану на користь людині. Це дуже важливий напрям з неосяжними економічними перспективами, оскільки більша частина поверхні Землі, як відомо, вкрита водою, а живі організми, що мешкають у водному середовищі, становлять майже 80 % усіх різновидів життя на планеті.

Водні організми мають суттєві морфологічні та фізіологічні відмінності у порівнянні з мешканцями суші, що робить їх унікальними з точки зору можливого практичного використання. Зокрема, Світовий океан — важливе джерело забезпечення їжею, кормами, перспективними фармацевтичними препаратами для боротьби з онкологічними захворюваннями та передчасним старінням, засобами розширення фізіологічних можливостей людини тощо. Тому збереження первинного стану Світового океану, його рослинного та тваринного різно-

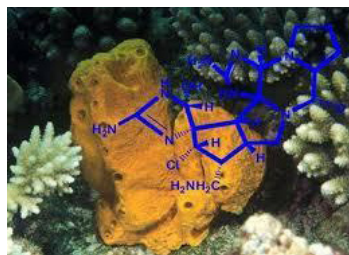


Рисунок 9. Ілюстративне фото
«Біотехнологія Світового океану»

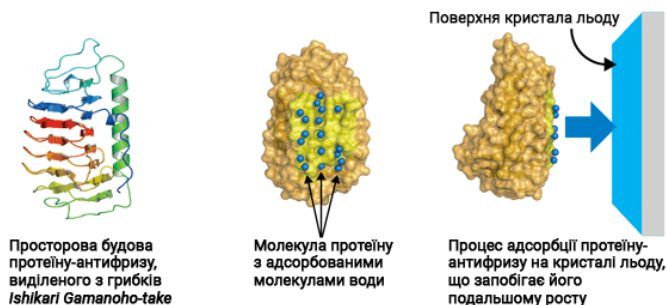


Рисунок 10. Просторова будова протеїну-антифризу та адсорбційна модель запобігання росту кристалів льоду

маніття, а також ґрунтовне вивчення особливостей водної флори та фауни є одним з головних завдань людства. Розгляньмо цікаві об'єкти дослідження, до яких прикута увага цього напрямку біотехнології (рисунок 10).

Ці біологічно активні молекули організмів крайніх півдня та півночі дають можливість існувати мешканцям морських глибин в екстремально холодних умовах, оскільки знижують температуру замерзання біологічних рідин на 2–3 °С. Механізм їх дії пов'язаний із покриванням протеїнами з унікальною будовою поверхні первинних нанокристалів льоду, що запобігає їх подальшому росту та агрегуванню у великі кристали. З крові деяких видів північної тріски, оселедця, корюшки, камбали з ареалом життя поблизу Арктики та Антарктики було виділено морозостійкі протеїни. Генна модифікація культурних рослин (наприклад, томатів) геном, який відповідає за синтез таких протеїнів, може покращити морозостійкість рослин та розширити сезонні й широтні можливості їх вирощування.

ЗЕЛЕНИЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНИЙ ПРОТЕЇН (GFP)

Протеїн з незвичайними властивостями вперше одержано з медуз *Aequorea victoria* (рисунок 11). З назви протеїну зрозуміло, що він має здатність випромінювати зелене світло в темряві. Взагалі, багато морських тварин (риб, актиній, рачків) має здатність проявляти біolumінесцентні властивості, тобто випромінювати світло певної довжини хвилі за відповідних умов. Цей протеїн має наукове та біотехнологічне застосування, зокрема під час вивчення процесів генного клонування, експресії та модифікування біомолекул.



Рисунок 11. Медуза *Aequorea victoria*

КАЛЬЦИТОНІН

Цей гормон, що з хімічної точки зору має протеїнову природу, є ключовим регулятором засвоєння кальцію. Основні його функції зображено на рисунку 12.

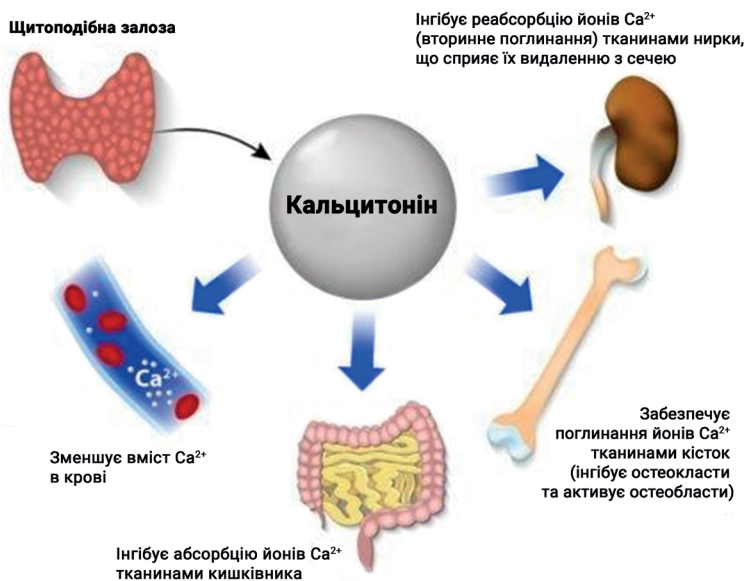


Рисунок 12. Продуктування та функції кальцитоніну в організмі

Порушення обміну речовин, зниження біосинтезу кальцитоніну в щитоподібній залозі та порушення процесу засвоєння кальцію спричиняють остеопороз — захворювання, в результаті якого руйнується будова кісткової тканини, збільшується крихкість кісток та ризик переломів. Крім людини здатність до біосинтезу кальцитоніну мають деякі види риб родини лососевих, причому їх гормон у 20 разів активніший, ніж людський. Тому використання кальцитоніну, отриманого біотехнологічним шляхом, має певні переваги під час лікування остеопорозу завдяки ефективнішому насиченню кісткової тканини йонами Ca^{2+} . Як лікарський засіб використовується у формі ін'єкційного препарату та назального спрею.

ГІДРОКСИПАТИТ

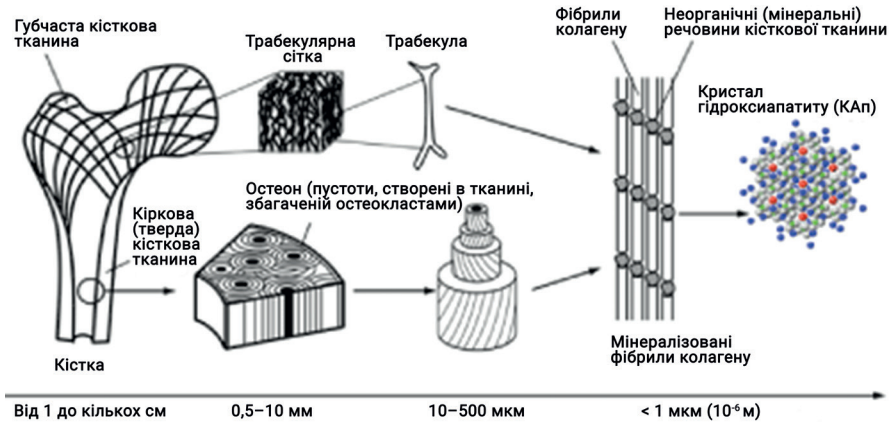


Рисунок 13. Структура кісткової тканини

Основна речовина коралових рифів та головна неорганічна складова кісткової тканини. Джерелом природного гідроксиапатиту, з якого цей мінерал можна видобувати, є коралові рифи, яких у теплих південних водах морів та океанів безліч і які безперервно утворюються в результаті життєдіяльності незчисленних колоній коралових поліпів. На основі гідроксиапатиту одержують наповнювач для прискорення загоювання зламаних кісток.

БІСУС

Це природні волокна протеїнової природи, які використовують молюски для прикріплення до різних поверхонь (рисунк 14). Волокна бісуса мають високу міцність, еластичність та гарну адгезію до різних матеріалів як природного, так і штучного походження.

Процес видобування цих природних волокон доволі складний та має певні обмеження. Але це високоцінний та вкрай важливий сучасний матеріал для виготовлення хірургічних ниток, імплантатів хрящів та зв'язок.

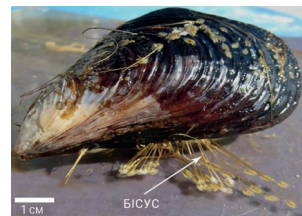


Рисунок 14. Мушля з волокнами бісуса

ТЕТРОДОТОКСИН

Одна з найотруйніших сполук нервово-паралітичної дії — у 10 000 разів сильніша за класичну отруту — CN^- -йон.

У природі міститься в печінці, молоках та ікрі риби фугу (рисунок 16), деяких інших риб та земноводних.

Механізм дії цієї отрути пов'язаний з впливом на провідність Na -каналів клітинних мембран. Саме тому ґрунтовне вивчення механізму дії надмалих концентрацій цієї речовини на біохімічні процеси живих клітин дасть можливість створити на її основі високоефективні анестетики та анальгетики майбутнього.

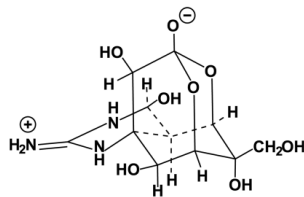


Рисунок 15. Структурна формула тетродотоксину

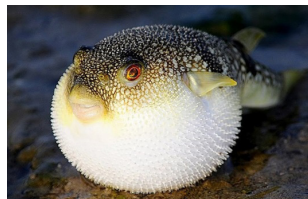


Рисунок 16. Риба фугу



КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які є види напрямів біотехнології та у чому їх принципові відмінності?
2. Який з напрямів біотехнології, на ваш погляд, не заслуговує на подальший розвиток? Чи всі вони варті уваги науки? Поясніть вашу точку зору.
3. Поділіться на команди та оберіть власний «найважливіший» біотехнологічний напрям. Кожна з команд повинна спробувати пригадати поточні досягнення обраної галузі та передбачити майбутні переваги й можливі успіхи. Не слід обмежувати себе — завжди є час навіть на наукові мрії.

СИРОВИНА ДЛЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ

Сировиною для всіх біотехнологічних процесів є так звані відновлювані ресурси, або біомаса, що має виключно природне походження. Основою такої відновлювальної сировини є передусім рослини, маса яких нарощується безпосередньо шляхом фотосинтезу, тоді як внесок тварин в загальний обсяг біомаси є значно меншим. Загальне річне виробництво біомаси на нашій планеті становить 170 мільярдів тонн. З огляду на хімічну природу біомаса складається приблизно з 75 % вуглеводів, 20 % лігніну та 5 % інших речовин, серед яких жири та олії, протеїни, біосинтетичні вуглеводні терпени та їх похідні, алкалоїди тощо. За останніми даними, з цієї великої кількості людина використовує десь 6 мільярдів тонн. Як саме?



Рисунок 17. Ілюстративне фото
«Сировина для біотехнології»

Відомо три основні напрями цілеспрямованого використання біомаси:

- виробництво харчових продуктів та кормів для тварин (3,7 млрд т, або 62 % загальної кількості);
- виробництво енергії, паперу, конструкційних матеріалів (2 млрд т, або 33 % загальної кількості), основною сировиною для цього напрямку є деревина;
- виробництво тканин, промислових товарів і хімічних продуктів та інші нехарчові потреби людини (300 млн т, або 5 % загальної кількості).

Окрім цього, значна частина біомаси (приблизно 164 млрд т) використовується в природних екосистемах як корм для дикої фауни, втрачається у разі видобування природної сировини людиною, зокрема в

процесі спалювання, або перетворюється в результаті природних процесів мінералізації (природного гниття).

Постійне відновлення людиною найбільш вживаної природної сировини забезпечується сільським та лісовим господарством. Тваринництво та рибальство при цьому не мають великого значення з огляду на низьку ефективність (10–25 %) перетворення рослинної сировини на тваринну.



КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Одним з видів сировини, що використовується в біотехнології, є біомаса. Чи можна безконтрольно використовувати цей вид сировини для того, щоб задовольнити всі потреби людини в продуктах біотехнології? Дайте розгорнуту відповідь.
2. Багато садівників полюбляють спалювати суху траву та опале листя на власних городах. На вашу думку, що було б кориснішим – спалювати цю суху рослинність чи збирати та використовувати її в біотехнологічних процесах для отримання нових речовин? Аргументуйте свою відповідь.

БІОТЕХНОЛОГІЯ В ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

Сучасна хімічна промисловість забезпечує людину всім необхідним — продовольчими товарами, одягом, взуттям, засобами гігієни тощо. Але до багатьох її переваг додається низка недоліків, зокрема залежність від невідновлюваної нафтохімічної сировини, надмірне споживання енергії, використання небезпечних технологічних процесів, значна кількість побічних продуктів і відходів, причому деякі з них взагалі не підлягають переробленню та розкладанню у природних умовах.

Обсяг виробництва й асортимент продуктів хімічної промисловості дуже великі, але більшість продукції можна умовно поділити на чотири групи:

- основні продукти хімічної промисловості (Basic chemicals or commodity chemicals);
- продукти малотоннажного хімічного виробництва (Specialty chemicals);
- товари для догляду (Consumer care products);
- життєво важлива хімічна продукція (Life science products).

Розмежування між групами не є чітким, а вплив біотехнології на кожну з них дуже відрізняється. Ознайомимося з продуктами кожної групи.

Основні продукти хімічної промисловості. Продукти цієї групи виробляють на великих підприємствах з використанням безперервних процесів. Для продукції цієї групи характерний високий рівень споживання енергії, а кінцева продукція має низьку вартість.

Одержані в результаті виробничих процесів хімічні речовини переважно використовуються як сировина для подальшого хімічного перероблення, наприклад, папір з целюлози, нафтопродукти з нафти, чисті метали з металевих руд тощо. Основні продукти хімічної промисловості зазвичай є сировиною для виробництва іншої продукції всіх чотирьох зазначених груп, у тому числі й продуктів цієї групи. Крім продуктів

первинного перероблення — метал, автомобільне паливо, парафін, бітум — до цієї групи належить виробництво автохімії, полімерного пакування тощо.

Продукти малотоннажного хімічного виробництва одержують з основних продуктів хімічної промисловості.

Виробництво продукції цієї групи складніше та більш технологічне, а обсяг виробництва набагато менший. Як результат, вартість кожного продукту набагато вища ніж у продукції першої групи, способи їх виробництва зазвичай є комерційною таємницею, її надійно зберігають від конкурентів або захищають патентами. До цієї групи належать клеї, герметики, покриття та фарби, каталізатори, полімерні домішки, барвники тощо.

Товари для догляду. Є одним із найстаріших сегментів товарів хімічної промисловості. До продукції для догляду належать мила, мийні та пральні засоби, відбілювачі, косметичні засоби, парфумерія тощо. Продукти цієї категорії складаються з відносно простих за хімічною будовою речовин, але мають велике різноманіття за складом та торговими марками. Останнім часом виробництво



Рисунок 18. Ілюстративне фото
«Основні продукти хімічної промисловості»



Рисунок 19. Ілюстративне фото «Продукти малотоннажного хімічного виробництва»



Рисунок 20. Ілюстративне фото «Товари для догляду»

продуктів цієї групи дедалі частіше набуває високотехнологічного характеру, а їх розроблення потребує великих витрат та тривалих досліджень.

Життєво важлива хімічна продукція (або біологічно активні продукти). До цієї групи входять фармацевтичні засоби, засоби для захисту рослин та деякі інші продукти сучасних біотехнологій. Їх будова, з хімічної точки зору, може бути як відносно проста, так і надзвичайно складна.

Для виготовлення біологічно активних продуктів використовуються методи серійного виробництва, але все це потребує інтенсивних досліджень і застосування передових сучасних технологій.



Рисунок 21. Ілюстративне фото
«Життєво важлива хімічна продукція»



КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. На яку з перелічених видів хімічної продукції вплив біотехнології є найсильнішим? Поясніть свою думку.
2. Спробуйте пригадати з новин чи інших джерел інформації, виробництво якої з перелічених видів хімічної продукції найбільше розвинуто в нашій країні? Якої найменше? Що, на ваш погляд, спричинило такий дисбаланс і як можна це виправити?

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ В ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Головними біотехнологічними методами, що використовуються у виробництві хімічної продукції, є ферментативні процеси, або ферментація (біохімічні перетворення відбуваються з участю біокаталізаторів-ензимів у складі живих клітин — бактерій, грибів, рослин, водоростей тощо; ще має назву зброджування, або бродіння), та ензимні процеси (біохімічні процеси з участю чистих біокаталізаторів-ензимів). Ферменти (ензими) — надзвичайно ефективні та специфічні біокаталізатори, що перевершують всі відомі штучно створені каталізатори. Людина вже кілька тисячоліть використовує каталітичну активність ферментів для власних потреб. Донедавна людство не уявляло, що саме забезпечує потрібний результат в деяких доволі звичайних процесах — випіканні хліба, приготуванні напоїв тощо. Лише впродовж останніх 100–150 років інтенсивний розвиток науки сприяв накопиченню величезного масиву знань, що дало змогу дослідити ці знайомі процеси й створити нові промислові технології для вдосконалення та покращення сучасного життя. Ферменти та ензими (*enzymes*) — дві назви одних і тих самих біомолекул-каталізаторів протеїнової природи, але, щоб розрізнити ферментативні й ензимні процеси, ми застосували такий нетиповий підхід (в англійській літературі обидва біотехнологічні процеси розрізняються за назвами, як *fermentation processes* та *enzymatic processes*, і проблеми з їх диференціюванням не виникає). Спробуємо розібратися в спільних ознаках та відмінностях кожного з них.



ФЕРМЕНТАТИВНІ ПРОЦЕСИ (ЗБРОДЖУВАННЯ)

За способом проведення розрізняють кілька видів ферментативних процесів.

РІДИННОФАЗОВА ФЕРМЕНТАЦІЯ

За цим методом ріст, життєдіяльність мікроорганізмів та всі супровідні біохімічні процеси відбуваються у всьому об'ємі рідкого реакційного середовища, що також містить розчинені або суспендовані поживні речовини. Цей вид ферментативних процесів зазвичай використовується у виробництві основних продуктів хімічної промисловості (продуктів багатотоннажної хімії), наприклад глюкози, біоетанолу, молочної та цитратної кислоти тощо, а також для одержання біокатализаторів-ензимів.

ТВЕРДОФАЗОВА ФЕРМЕНТАЦІЯ

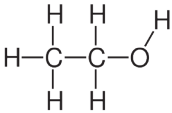
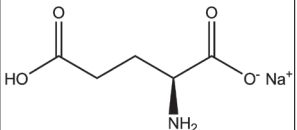
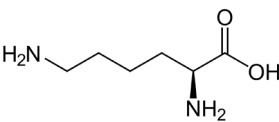
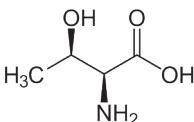
Уперше цей процес було застосовано в Стародавньому Єгипті під час виготовлення хліба, а в Японії він відомий впродовж багато століть як бродіння кодзі. Цей тип ферментації відбувається за відсутності вільної води і є, хоч як дивно, значно простішим з технологічної точки зору, ніж рідиннофазове бродіння. Серед важливих переваг цього способу треба вказати низьку енергомісткість та дуже високу продуктивність (у 8 разів вища, ніж рідиннофазовий спосіб). Сукупність переваг давно була оцінена природою, яка вже мільйони років володіє цією технологією: більшість природних процесів з участю грибів за всіма параметрами є надзвичайно схожими на твердофазову ферментацію. Сьогодні технологія твердофазової ферментації вже набуває великої популярності у різних галузях промисловості під час виробництва багатотоннажних хімічних, фармацевтичних і харчових продуктів та біопалива, оскільки є гарною альтернативою рідиннофазовому процесу.

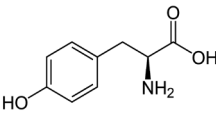
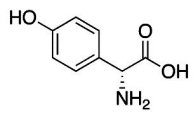
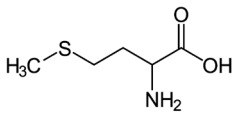
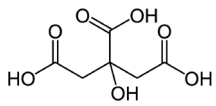
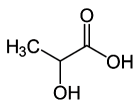
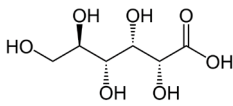
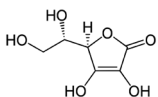
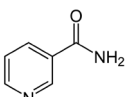
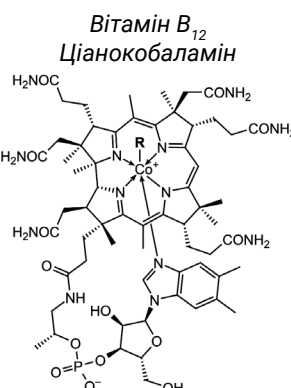
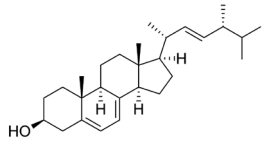
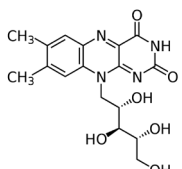
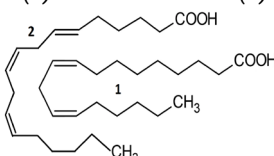
ФЕРМЕНТАЦІЯ НА МЕЖІ ПОДІЛУ ФАЗ

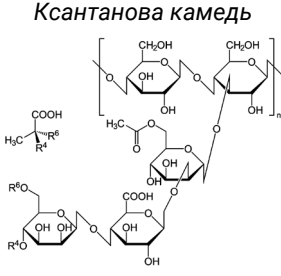
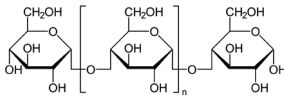
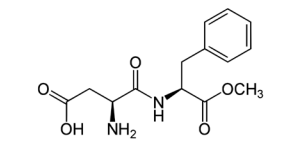
Цей метод ферментації відрізняється тим, що мікроорганізми-продуценти вирощені (імобілізовані) на поверхні рідкого або твердого субстрату, де вони й виявляють свою біохімічну активність. Цей процес доволі складний, тому мало використовується у промисловому виробництві. Як це працює? Наприклад, чорна пліснява, *Aspergillus niger*, утворює шар міцелію на поверхні поживної рідини, що частково заповнює місткості-реактори, які розміщують в необхідних умовах (температура, вологість, вентиляція, перемішування), що забезпечує безперервний контроль за біотехнологічним процесом. Як результат, утворення бажаних продуктів відбувається на межі контакту міцелію та поживного середовища, тому очікувати велику продуктивність від такого методу марно.

На сьогодні ферментація — це єдиний метод виробництва значної кількості (від кількох тонн до десятків мільйонів тонн на рік) хімічних продуктів, деякі з яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Біопаливо		
	Біоетанол 	
Амінокислоти		
L-глутамінова кислота (натрій глутамат)  Замінна амінокислота Підсилювач смаку	L-лізин  Незамінна амінокислота Імуномодулятор, протівірусна речовина	L-треонін  Незамінна амінокислота Імуномодулятор, регулятор обміну речовин

<i>L</i>-тирозин  Незамінна амінокислота Покращує пам'ять, фізичні здібності, стійкість до стресових станів	<i>D</i>-p-гідроксифенілгліцин  Сировина для синтезу пеніцилінів та цефалоспоринів	<i>L</i>-метіонін  Замінна амінокислота Бере участь у біосинтезі амінокислот та фосфоліпідів Нестача спричиняє посивіння волосся, атеросклероз
Органічні кислоти		
Лимонна кислота  Харчова та косметична галузь	Молочна кислота  Медична, харчова, косметична галузь, полімерне пакування	Глюконова кислота  Харчова, медична галузь, будівництво
Вітаміни		
Вітамін С Аскорбінова кислота 	Вітамін PP (B₃) Нікотинамід 	Вітамін B₁₂ Ціанокобаламін  R = 5'-дезоксиаденозил, CH₃, OH, CN
Провітамін D₂ Ергостерол 	Вітамін B₂ Рибофлавін 	
Вітамін F Лінолева (1) та α-ліноленова (2) кислота 		

Харчові добавки		
Ксантан. Ксантанова камедь  Гелеутворювач	Декстрин  Частково гідролізований крохмаль	Аспартам  Цукрозамініник Е 951

Варто зазначити, що крім різниці в обсягах виготовлення, є різниця і в складності хімічної будови та технології виробництва цих продуктів. Але всі ці характеристики виробничого процесу доволі умовні, оскільки кожний з продуктів є важливим та необхідним для людини.

Розглянемо кілька прикладів. Сьогодні обсяг світового ринку фармацевтичних препаратів сягає 500 мільярдів доларів. Така шалена цифра частково є результатом впровадження біотехнології у виробничі процеси. Навіть донині значна кількість вітамінів виробляється шляхом традиційного органічного синтезу, але деякі виробники почали відмовлятися від цього тривалого, не дуже ефективного та шкідливого виробництва.

Сьогодні, наприклад, частина рибофлавіну (вітаміну В₂) виробляється не «застарілим» шестистадійним хімічним синтезом, а одностадійним біотехнологічним методом з використанням мікроскопічних продуцентів — бактерій *Bacillus subtilis*¹, що зменшило не лише вартість кінцевого продукту на 50 %, а й небезпечний вплив на довкілля.

Досягнення таких результатів стало можливим завдяки застосуванню генної інженерії, яка дала змогу створити штам бактерій, що

¹ *Bacillus subtilis* — грам-позитивна бактерія, добре відома людині, оскільки спричиняє картопляну хворобу хліба (рисунк 22). Спори дуже стійкі й не гинуть навіть за тривалого температурного оброблення, наприклад всередині хліба під час випікання. Є патогенним (хвороботворним) мікроорганізмом для людини через продукування низки токсинів-олігопептидів.

продукують у 300 000 разів більше рибофлавіну у порівнянні з природними штамми цих мікроорганізмів.

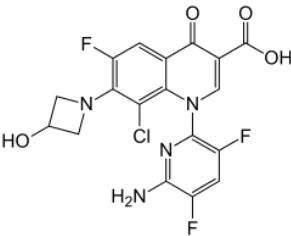
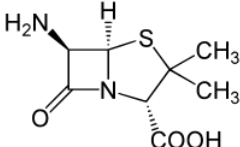
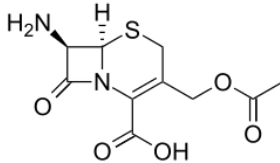
Біофармацевтичні препарати — рекомбінантні протеїни, вакцини та моноклональні препарати — це зовсім інший клас ліків порівняно з давно відомими синтетичними та напівсинтетичними ліками, як, наприклад, антибіотики. На жаль, до останніх, що охоплюють майже 15 % всього фармацевтичного ринку, багато патогенів давно звикли, що значно знижує лікувальну активність. Прикладами новітніх біофармацевтичних препаратів з покращеною лікувальною дією є тканинний активатор плазміногену (tPA), інсулін, рекомбінантна вакцина проти Covid-19 від виробника AstraZeneca.

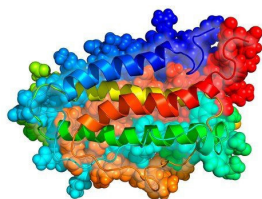
Ліки та напівпродукти, одержані біотехнологічним шляхом, розглянуто в таблиці 2.



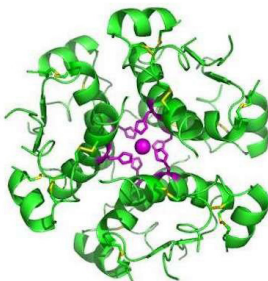
Рисунок 22. Картопляна хвороба хліба

Таблиця 2

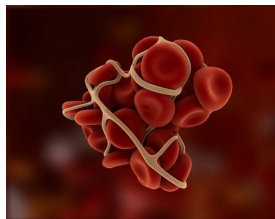
Антибіотики Дефлосаксин  Боротьба з багатьма хворобами бактеріального походження	6-амінопеніцилова кислота  Сировина для синтезу напівсинтетичних антибіотиків	7-аміноцефалоспоринова кислота  Сировина для синтезу напівсинтетичних антибіотиків
---	---	--

Еритропоетин

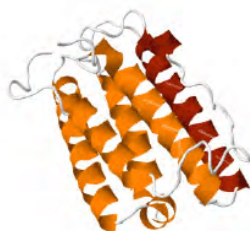
Лікування анемії
У спорті використовується
як допінг

Інсулін

Лікування цукрового
діабету

*Фактори згортання
крові*

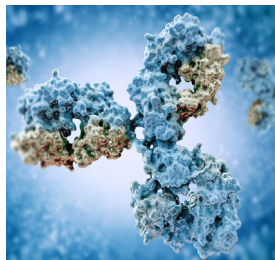
Лікування гемофілії

Інтерферон альфа

Лікування розсіяного
склерозу, гепатиту

Інтерферон бета

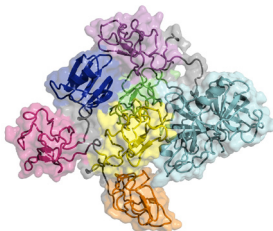
Лікування онкологічних
захворювань, гепатиту

Моноклональні антитіла

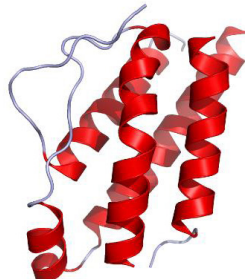
Лікування онкологічних
захворювань, інших
хвороб

Гормон росту

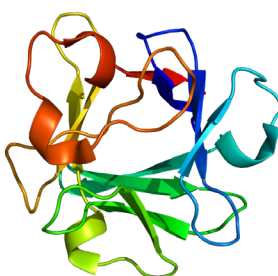
Лікування розладів росту

Активатор плазміногену

Лікування захворювань,
що спричиняють
тромбоутворення

Інтерлейкін

Лікування онкологічних
та імунних захворювань

<i>Фактор росту</i>  Загоєння ран та відновлення тканин	<i>Вакцини</i>  Захист від смертельно небезпечних хвороб
--	---

ЕНЗИМНІ ПРОЦЕСИ

Ензимні процеси відрізняються від ферментативних тим, що біохімічні перетворення відбуваються з участю чистих біокаталізаторів-ензимів протеїнової природи, що заздалегідь виділені з певних штамів мікроорганізмів, які їх виробляють та використовують для власних потреб. Біохімічні реакції, які прискорюють ензими, надають широкі можливості сучасній промисловості для впровадження швидких, ефективних і економічних виробничих процесів. Технологічні процеси з участю біокаталізаторів поступово витісняють традиційні хімічні процеси в багатьох галузях сучасної промисловості. Це пов'язано з наявністю помітних недоліків у хімічних процесах, прискорених штучними неорганічними каталізаторами, зокрема з недостатньою виробничою та екологічною безпекою, необхідністю створення особливих умов (хімічний склад середовища, температура, тиск, кислотність тощо), нерациональним використанням ресурсів та енергії, значною кількістю відходів тощо.

За мільйони років еволюційних перетворень біокаталізатори-ензими набули недосяжних можливостей, якщо порівнювати їх зі штучними каталізаторами, створеними людиною, у прискоренні давно відомих нам біохімічних реакцій. На відміну від традиційних хімічних каталізаторів, ензими мають високу специфічність, функціонують у водному середовищі за «м'яких» умов — температури, тиску і pH. Реакції з участю ензимів мають високу швидкість і специфічність, забезпечують майже кількісне утворення цільового продукту, результатом чого є мінімальна

кількість відходів, зазвичай придатних до повторного використання, що не шкодить довкіллю. Сукупність цих ознак дає можливість одержати біотехнологічним шляхом конкурентну продукцію для промислового та комерційного використання. За попередніми оцінками, приблизно 75 % всіх ензимів використовують у харчовій та крохмалепереробній промисловостях, виробництві мийних засобів, при чому більшість з них, а саме — протеази, амілази, ліпази та целюлази, прискорюють реакції, відомі нам за загальною назвою «гідроліз» (таблиця 3).

Таблиця 3

Ензими	Функціональна назва	Реакції, які прискорюють ензими	Мета використання
	Протеази	Гідроліз протеїнів	Виробництво харчових продуктів, кормів, фармацевтичних та мийних засобів, промисловий біосинтез
	Карбогідрази	Біотрансформація вуглеводів	Виробництво харчових продуктів, кормів, паперу, тканин, цукрів, фармацевтичних та мийних засобів
	Ліпази	Гідроліз природних естерів (жирів, олій, восків)	Виробництво харчових та фармацевтичних продуктів, мийних засобів, хімічної сировини
	Пектинази	Гідроліз пектинових полісахаридів	Виробництво харчових продуктів та напоїв
	Целюлази	Гідроліз целюлози	Виготовлення кормів, паперу, тканин, мийних засобів
	Амілази	Гідроліз крохмалю	Виробництво харчових продуктів

Зазначені та деякі інші типи ензимів також застосовують для одержання нових ліків, у медичній діагностиці та для інших аналітичних цілей. Розглянемо більш докладно кілька видів біокаталізаторів промислового значення.

Глікозилтрансфераза. З допомогою цього ензиму отримують вуглеводи нового класу, відомі як ізомальто-олігосахариди. Це цікавий та важливий вид полісахаридів, які використовують для виготовлення харчових продуктів. Їх унікальність в тому, що, на відміну від знайомих нам вуглеводів, вони не є поживними речовинами для більшості бактерій, що зменшує ризик виникнення карієсу, уповільнює процес черствіння та псування хлібобулочних виробів і, відповідно, збільшує термін їх зберігання.

Целюлази є комплексами ензимів, що здатні руйнувати довгі полімерні молекули целюлози. Науковці зосередили великі зусилля на вивченні цих біокаталізаторів, оскільки целюлоза є нескінченним джерелом сировини для виробництва біопалива, харчових продуктів та кормів, продовольчих товарів і безлічі речовин для хімічної промисловості. Целюлази виробляються грибами родини *Trichoderma*. Однією з перших галузей застосування цих природних каталізаторів у біотехнології була текстильна промисловість. Дія каталізаторів забезпечувала специфічний вплив на волокна целюлози, тому не дивно, що вже тривалий час целюлази використовуються в технологічній схемі виробництва джинсової тканини.

Деякі ензими використовують як біологічно активні домішки в кормах для тварин. Наприклад, амілази та протеази додають з метою прискореного засвоєння поживних речовин. Додавання β -глюканази та арабіноксиланази сприяє перетворенню вуглеводів, що не засвоюються тваринами, на поживні вуглеводи, тим самим підвищуючи кормову цінність багатьох злакових культур. Фітинова кислота, що міститься в рослинах, перешкоджає засвоєнню необхідних мікроелементів, таких як Fe та Zn, з їжею, а її концентрування організмом тварин та виділення з екскрементами призводить до перенасичення й забруднення зайвим фосфором та непотрібних змін мікробіологічного стану ґрунтів. Додавання фітаз, що виробляють рекомбінантні мікроорганізми, які теж створені біотехнологічним шляхом, сприяє біотрансформації фітинової кислоти в процесі перетравлення кормів.

Ензимні процеси використовуються у багатьох країнах для перетворення кукурудзяного крохмалю на збагачений фруктозою сироп — основний підсолоджувач харчової промисловості. Дією на насичений водою крохмаль суміші α -амілази та глюкоамілази з подальшим обробленням отриманого глюкозного сиропу глюкоізомеразою, що ізомеризує глюкозу до фруктози, можна отримати сироп з вмістом фруктози від 42 до майже 90 %.

Інший тип біокаталізаторів, що мають назву екстремофільних ензимів, або екстремозимів, продовжує розширювати можливості промислового виробництва завдяки здатності витримувати екстремальні температури та інші, нетипові для природних систем, умови. Розроблення біокаталітичних процесів у неводних середовищах забезпечило нові шляхи одержання модифікованих жирів та олій, структурованих ліпідів та ароматизаторів.

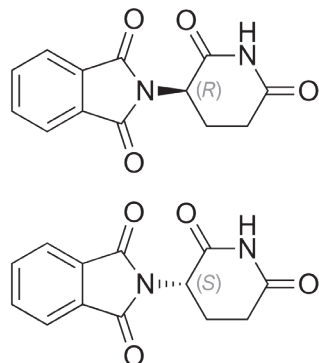
У багатьох випадках ензимний біокаталіз дає можливість значно скоротити кількість виробничих стадій синтезу фармацевтичних препаратів та біотрансформує неактивні ізомери сполук в їх активні аналоги. Це дуже важливо, оскільки відомо, що різні ізомери, як правило, мають різну біологічну активність, а іноді можуть бути навіть небезпечними. Так було, наприклад, з талідомідом у 1970-ті роки. Один ізомер цієї сполуки (рисунки 23) запобігав ранковій нудоті у вагітних жінок, а інший викликав мутації плода в процесі внутрішньоутробного розвитку. Але, на жаль, реальна небезпека цього препарату стала відома тільки через певний час активного застосування.

Саме завдяки високоселективним ензимним методам стало можливе одержання лікарських засобів певної будови й фармакологічної активності та зниження витрат на складні процедури очищення. Наприклад, біокаталіз з участю гідантоїнази дає змогу легко отримати D- і L-ізомери чистих амінокислот.

Напівсинтетичні антибіотики групи пеніцилінів та цефалоспоринів отримують ензимним каталізом з 6-амінопеніцилової та 7-аміноцефалоспоринової кислот. Напівсинтетичний антибіотик цефалексин (рисунки 24) був розроблений у 1967 році та досі активно використовується в медичній практиці.

Раніше цю речовину одержували тривалим 10-стадійним методом з кількістю відходів приблизно 50 кг на 1 кг кінцевого продукту. На сьогодні цефалексин одержують з цефалоспоринової, створеного біотехнологічним шляхом, що дало можливість зменшити кількість виробничих стадій до 4, а кількість відходів – до 15 кг на 1 кг антибіотика.

Але біотехнологічним способом не завжди можна одержати конкурентний



Рисунки 23. Ізомери талідоміду

продукт. Яскравим прикладом є синтез акриламід, який є сировиною для одержання пластмас, йонообмінних смол, клеїв, мийних засобів тощо. До останнього часу були відомі два основні хімічні методи одержання акриламід — кислотним або каталітичним гідролізом акрилонітрилу. У 1980-х роках було розроблено ензимний каталітичний процес з участю іммобілізованої бактеріальної нітрилгідрогенази. Біо-процес відбувається за низьких температур (0–15 °C), забезпечує високу конверсію сировини та вихід продукту, низький рівень виділення парникових газів. Попри безліч переваг, на ензимний процес витрачається на 20 % більше енергії, ніж на звичайний хімічний каталіз, тому він потребує подальшого доопрацювання. Проте біотехнологічний метод активно розвивається і нині забезпечує приблизно 5 % світового виробництва акриламід.



Рисунок 24. Препарат цефалексин

Узагальнюючи надані дані, зазначимо, що основними завданнями з розвитку та покращення методів ензимного каталізу є:

- розроблення біокаталізаторів, що будуть ефективнішими, дешевшими, простішими та економнішими в застосуванні, ніж традиційні хімічні каталізатори;
- розроблення універсальних біокаталізаторів, здатних прискорювати низку різних хімічних реакцій, стабільних за різних умов та придатних до застосування у реакційних середовищах (розчинниках) різної природи;
- розроблення та застосування методів молекулярного дизайну (надання молекулам передбаченої просторової будови та функціональності) для спрямованого створення нових типів біокаталізаторів.

Сукупність сучасних досягнень в біотехнології та темпи її розвитку сприяють створенню оновленої безпечної хімічної промисловості з широкими можливостями застосування протеїнів-біокаталізаторів і живих клітин як універсальних та ефективних біореакторів.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. У чому схожість та відмінність ферментативних та ензимних процесів?
2. Пригадайте, де можна побачити продукти ферментативного зброджування? Наведіть кілька прикладів.
3. Який з відомих вам харчових продуктів одержують за допомогою ензимних процесів?

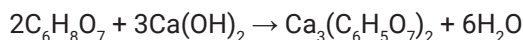
ДЕЯКІ ПРОДУКТИ ПРОМИСЛОВОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ

ЛИМОННА (ЦИТРАТНА) КИСЛОТА

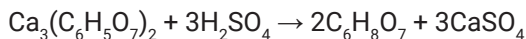
(2-гідроксипропан-1,2,3-трикарбонова кислота)

Міститься в більшості фруктів. Основні галузі застосування — виробництво харчових продуктів та напоїв (70 %), мийних засобів, фармацевтичних і косметичних препаратів. Ринок її виробництва оцінюється в 3,8 мільярда доларів, а обсяг виробництва перевищує 2 млн тонн.

Схема виробництва кислоти складається з ферментації крохмалевмісних відходів з утворенням глюкози та подальшої її ферментації — до лимонної кислоти під дією спеціально вирощених грибків чорної цвілі, *Aspergillus niger* (рисунок 26). З реакційного середовища кислоту осаджують як її сіль — кальцій цитрат.



А далі кислоту переводять у розчин дією розведеної сульфатної кислоти.



Сульфатну кислоту та її кальцієву сіль піддають регенерації та можуть знову використовувати в технологічному циклі.

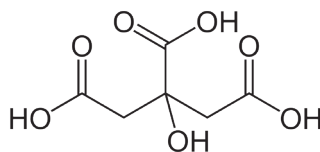


Рисунок 25. Формула лимонної кислоти



Рисунок 26. Чорна цвіль (*Aspergillus niger*)

МОЛОЧНА КИСЛОТА

(2-гідроксипропанова кислота)

Є одним з продуктів ферментації цукрози, глюкози та галактози під дією молочнокислих бактерій, які наявні в ротовій порожнині людини й продукти життєдіяльності яких у разі поганого догляду за зубами можуть спричинити появу карієсу. Молочна кислота не настільки відома, як, наприклад, лимонна кислота, але в 10 разів сильніша за неї та є надзвичайно важливою для багатьох галузей сучасної промисловості. Як результат, ринок її виробництва перевищує 3 млрд доларів, а загалом у світі впродовж року одержують близько 500 тис. т цієї кислоти. Важливість молочної кислоти можна збагнути за напрямками її застосування — виробництво полімерів, харчових продуктів, фармацевтичних та косметичних засобів, органічних розчинників тощо. Біотехнологічний метод одержання молочної кислоти використовує як сировину патоку, глюкозний сироп, різноманітну крохмалевмісну сировину, а процес ферментації відбувається з участю деяких штамів молочнокислих бактерій, як, наприклад, *Lactobacillus delbrueckii*. Вихід продукту наприкінці стадії ферментації сягає 95 %. Від лактози як типового супутнього продукту, що утворюється під час біотехнологічного синтезу, молочну кислоту очищують йонним обміном, екстракцією або мембранними методами.

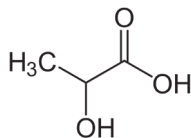


Рисунок 27. Формула
молочної кислоти

ПРОПАН-1,3-ДІОЛ

(1,3-пропіленгліколь, 1,3-дигідроксипропан)

Безпечний та надзвичайно важливий для промисловості органічний розчинник та хімічна сировина. Використовують його для виробництва пластмас, синтетичних поліестерних тканин для повсякденного та спортивного одягу, запчастин та антифризу в автомобілебудуванні, клеїв та герметиків, ліків та засобів для догляду, фарб. Економіка його виробництва перевищує 700 млн доларів, загальна річна кількість цього продукту становить приблизно 200 тис. тонн. Одержують 1,3-пропіленгліколь ферментацією глюкози через стадію одержання гліцерину або прямою ферментацією глюкози чи гліцерину різними видами бактерій, такими як *Klebsiella pneumoniae*,

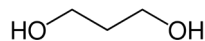


Рисунок 28. Формула
пропан-1,3-діолу

Citrobacter freundii, *Escherichia coli* або *Clostridium pasteurianum*. Важливим аспектом його виробництва є те, що біотехнологічний спосіб одержання на сьогодні більш економічний та безпечний, ніж хімічний синтез із нафтової сировини.

L-ЛІЗИН

(2,6-діаміногексанова кислота)

Одна з кількох незамінних амінокислот, виробництву якої приділяють багато уваги. Її надзвичайну важливість для харчових потреб важко переоцінити. Лізин є важливою дієтичною добавкою для підвищення поживної цінності харчових продуктів і з цією ж метою також активно додається у тваринні корми. Саме тому загальний щорічний обсяг споживання лізину сягає 3 млн тонн, а економічна оцінка його виробництва дорівнює 7 млрд доларів. Біотехнологічний синтез лізину може бути 1- чи 2-стадійним, а процес ферментації відбувається з участю різних штамів *Corynebacterium*, *Brevibacterium* та *Enterobacter aerogenes*. Сировиною для біосинтезу лізину є водний розчин глюкози з домішками амоніаку та інших поживних домішок для покращеної життєдіяльності бактеріальних культур.

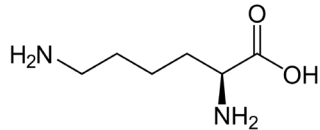
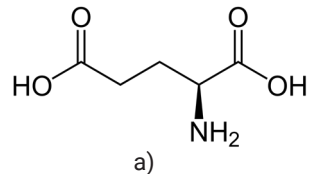


Рисунок 29. Формула L-лізину

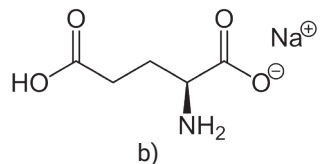
L-ГЛУТАМІНОВА КИСЛОТА

(2-амінопентандикарбонова кислота)

L-глутамінова кислота (рисунок 30, а) є відомим всім нам продуктом, значну кількість якого людина споживає щодня. Йдеться про натрій глутамат (рисунок 30, б), популярну харчову добавку Е 621, солону на смак, що є потужним посилювачем смаку сирних, м'ясних виробів, морепродуктів, чипсів, сухариків та інших снеків, у великій кількості міститься в соєвому соусі. Річне світове виробництво глутамінової кислоти сягає приблизно 2 млн тонн, тоді як всі інші амінокислоти разом, за ви-



а)



б)

Рисунок 30. Формули:
а) L-глутамінової кислоти;
б) натрій глутамату

нятком лізину, — 3 млн т. Використовується глютамінова кислота та її похідні в харчовій, фармацевтичній, косметичній галузях і як домішка у тваринних кормах.

Додавання її до сирів, м'ясних виробів та морепродуктів, виробів з фруктів, молока, слабоалкогольних та безалкогольних напоїв підвищує їх харчову цінність. Для біотехнологічного синтезу глютамінової кислоти використовуються генномодифіковані штами *Corynebacterium glutamicum* або *Escherichia coli*, а сировиною є водний розчин глюкози, гідролізату протеїнів, неорганічних солей, вітамінів та інших функціональних добавок. Найбільші світові споживачі натрій глютамату — країни Азії. Мешканці цього регіону давно звикли до щоденного вживання великої кількості натрій глютамату, в результаті чого саме в них спостерігається найменший відсоток розладів за його надмірного вживання (відомий як «синдром китайського ресторану»).

ОРГАНІЧНІ РОЗЧИННИКИ

Створення біобезпечних розчинників є важливим завданням сучасної біотехнології, оскільки вже давно виникла нагальна необхідність замінити канцерогенні (бензен, C_6H_6 , тетрахлорометан, CCl_4 , трихлоретен, $CHCl=CCl_2$) та нейротоксичні (*n*-гексан, C_6H_{14} , тетрахлоретен, $CCl_2=CCl_2$, толуол, $C_6H_5CH_3$) розчинники, а також такі, що пригнічують репродуктивну функцію людини (2-етоксиетанол, $CH_3CH_2OCH_2CH_2OH$, 2-метоксиетанол, $CH_3OCH_2CH_2OH$, та метилхлорид, CH_3Cl), на безпечні для людини та природи нетоксичні біорозкладні розчинники, які можна отримати у процесі ферментації природної сировини або хімічним модифікуванням інших біорозчинників. Біобезпечними розчинниками є спирти (етанол, бутан-1-ол, октан-2-ол, пропан-1,3-діол, бутан-1,3-діол, гліцерин), естери (етилацетат, етиллактат, валеролактон), етери (2-метилтетрагідрофуран, диметилізосорбіт). До цієї групи також можна віднести біодеградабельні вуглеводні рослинного походження *пара*-кумен



Рисунок 31. Ілюстративне фото
«Органічні розчинники»

та D-лимонен, а також метилові естери довголанцюгових карбонових кислот природного походження (їх суміш відома як біодизель). Такий широкий асортимент біорозчинників, різних за будовою та властивостями, може успішно замінити більшість відомих розчинників нафтохімічного походження. Річне виробництво органічних розчинників значно перевищує 100 млн тонн, але через їх низьку вартість економіка виробництва оцінюється приблизно у 7 млрд доларів зі сталою тенденцією до зростання.

БІОПЛАСТИКИ

Біотехнологія сьогодні активно використовується для екологічно безпечного одержання біополімерів² та біопластиків³. Існування бактерій, що виробляють міцні біорозкладні полімери конструкційного призначення, таких як полігідроксисилканоати (PHA) (рисунк 33), було виявлено ще 20-х роках минулого століття, але висока вартість виробництва поки не давала їм змогу конкурувати з полімерами, виробленими з нафтової сировини. Виробництво таких біопластиків набуло актуальності тоді, коли було введено штами мікроорганізмів, що виробляють полімери у кількості приблизно 90 % власної ваги.

На сьогодні вже доступний широкий асортимент біополімерів та біопластиків різної будови та призначення. Ці полімерні матеріали досі



Рисунок 32. Ілюстративне фото
«Біопластики»

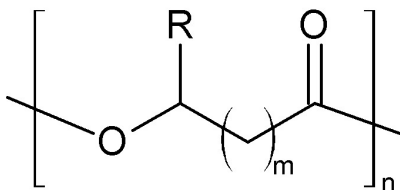


Рисунок 33. Формула
полігідроксисилканоатів (PHA)

² Біополімер — полімер, синтезований живим організмом у процесі власної життєдіяльності.

³ Біопластик — полімер, синтезований живим організмом у процесі власної життєдіяльності або штучно — з продуктів життєдіяльності живого організму.

лишаються відносно дорогими, але їх екологічна безпека спонукає докладати зусиль для вдосконалення виробництва РНА та інших біополімерів. Зокрема, розробляються моноклональні та змішані культури мікроорганізмів, відпрацьовуються ефективніші ферментативні процеси, обирається недорога та найпродуктивніша сировина.

Слід зазначити, що до біопластиків належать і біонерозкладні біополіетилен (біо-ПЕ), біополіпропілен (біо-ПП), біополіетилентерефталат (біо-ПЕТ), а також деякі поліаміди, які за будовою жодним чином не відрізняються від нафтохімічних аналогів, але сировина для їх одержання (етилен, пропілен, гліколі, дикарбонові кислоти тощо) отримана безпечним біотехнологічним методом з відновлювальної природної сировини.

Сучасний розвиток біотехнології дає можливість відповідно до методу одержання віднести до біопластиків полімери, які раніше виробляли виключно нафтохімічними методами, наприклад поліакриламід та деякі інші поліакрилати й поліестери.

Іншу групу біопластиків представляють виключно природні біорозкладні полімери (біополімери), одержані з рослинної, тваринної сировини або з участю мікроорганізмів. Це велика група полімерів, що складається з полісахаридів, протеїнів або природних поліестерів — крохмаль, целюлоза, хітин і хітозан, пулулан, альгінова кислота, карагенан, ксантан, глюкани, декстрини, пектини, гелан, колаген, желатин, соєвий протеїн, казеїн, зеїн, шовк та павутиння, глютен, полімолочна кислота (полілактид), полігідроксикарбонати.

Вихідною сировиною для біотехнологічних процесів одержання біопластиків є рослинні цукровмісні та крохмальні культури, такі як кукурудза, цукрові тростина й буряк, рис, картопля та сорго, продукти їх перероблення — цукроза, крохмаль, а також продукти часткової біотрансформації — спирти та кислоти, ксантанова камедь. Важливою сировиною є соєві боби, ріпак та інші олійні культури, продукти їх перероблення — олії, жирні кислоти та гліцерин, продукти їх взаємодії — алкідні смоли. Деревина та бавовняний пух, продукт їх перероблення — целюлоза, похідні целюлози, такі як нітрат целюлози, ацетат і триацетат целюлози, карбоксиметилцелюлоза, лужна целюлоза і регенована целюлоза. Неспецифічною природною сировиною для виготовлення біопластиків є біомаса, що складається із суміші природних полімерів — водоростей, харчових відходів тощо.

Оскільки одержати біотехнологічним шляхом можна найрізноманітніші полімери зі значними відмінностями у будові та властивостях, їх

сфери застосування теж сильно відрізняються та охоплюють автобудівну, електротехнічну, медичну та будівельну галузі, виробництво побутових товарів, одягу та взуття, спортивних товарів, пакування, тканин та захисних покриттів (фарб, лаків, емалей).



Рисунок 34. Інфографіка «Сировина для виробництва біопластиків»

Безперечною перевагою біопластиків над полімерами нафтохімічного походження є висока енергоефективність процесу їх одержання, оскільки температура ферментації рослинної сировини зазвичай не перевищує 60 °C, тоді як більшість методів одержання полімерів з нафтохімічної сировини працюють за температур близько 200 °C, безпечність сировини та відходів виробництва, зменшення викидів парникових газів.

БАРВНИКИ

Барвники широко використовують у хімічній технології, харчовій та фармацевтичній промисловостях, косметичній галузі. Нині барвники природного походження набувають дедалі більшої популярності з тих самих причин, що й інші продукти біотехнологічного синтезу. Найбільш відомими природними барвниками є антоціани (ягоди, чорна

морква, червона капуста), куркумін (куркума), лікопен (томати), бетанін (буряк), лютеїн (чорнобривці), каротиноїди (морква, пальмова олія), капсантин (паприка) та інші. Цей перелік неповний, є багато інших природних барвників, які дають змогу отримати різні кольори й певні відтінки та можуть знайти гідне застосування. Але не все так просто, бо є певні винятки, пов'язані з властивостями природних барвників.

Особливою перешкодою у їх практичному застосуванні є низька світлостабільність низки природних пігментів та барвників, тобто здатність їх молекул поглинати світло та незворотно змінювати хімічну будову та колір. Добре відомо, що такими властивостями володіють, наприклад, хлорофіл або люциферин.

На сьогодні можна навести кілька успішних прикладів екологічно безпечного біотехнологічного синтезу природних барвників з участю різноманітних генномодифікованих бактерій, водоростей, дріжджів та інших мікроорганізмів:

- бактерії *Agrobacterium aurantiacum* виробляють червоний барвник атаксантин;
- бактерії *Paracoccus zeaxanthinifaciens* продукують жовтий барвник зеаксантин;
- бактерії *Corynebacterium insidiosum* виробляють синій індигоїдин;
- водорості *Dunaliella salina* дають можливість одержати оранжево-червоний бета-каротин в промислових масштабах;
- зелені водорості *Chlorococcum* виробляють лютеїн, барвник червоно-оранжевого кольору;
- гриби *Penicillium cyclopium* синтезують достатню кількість бета-каротину;
- гриби *Cordyceps unilateralis* продукують криваво-червоний нафтохінон;



Рисунок 35. Природні барвники та їх джерела

- дріжджі родини *Rhodotorula* виробляють барвник торулародин, що має оранжево-червоний колір.

Крім генного модифікування для підвищення виходу цільового продукту в мікроорганізмів-продуцентів культивування відбувається за певних експериментально визначених умов – у разі використання різних поживних середовищ (глюкози, цукрози, амоніаку, суміші амінокислот), додавання нетипових компонентів, таких як етанол, або деяких поверхнево-активних речовин, неорганічних солей із забезпеченням певного рівня аерації чи деаерації, контролю за температурою тощо.

АРОМАТИЗАТОРИ

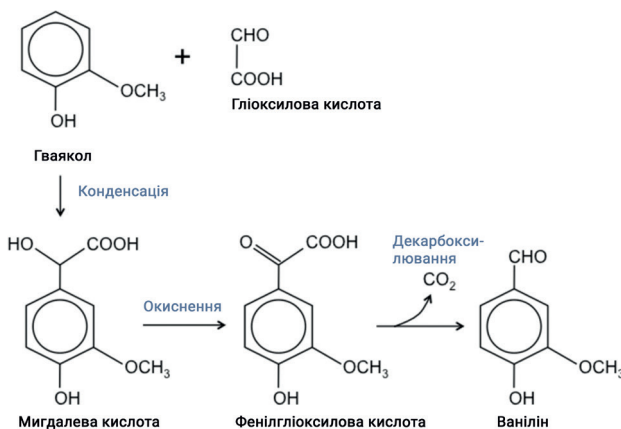
Отримання ароматичних сполук є також ключовим завданням біотехнології, оскільки природні джерела не здатні повністю забезпечити необхідну кількість для потреб харчової, фармацевтичної, косметичної та парфумерної промисловості.

Відомо багато ароматичних сполук, які за хімічною будовою можуть бути як подібні до їх природних аналогів, так і відрізнятися від них за будовою, але у будь-якому випадку здатні імітувати аромат фруктів, овочів, квітів й інших природних об'єктів та знаходити застосування у відповідних продуктах різних галузей промисловості та побуті.



Рисунок 36. Ілюстративне фото «Ароматизатори»

Вдалим прикладом є сполука, що надає аромат ванілі — 4-гідрокси-3-метоксибензальдегід. Природна ароматична сполука ванілі через складність вирощування і, відповідно, обмежену кількість природної сировини має надзвичайно високу вартість. Як результат, пошук методів його штучного одержання кілька десятиліть тому був одним із важливих завдань хімічної технології. Хімічний синтез гваяколу з природного поліфенолу лігніну та подальше його перетворення на ванілін не сприяв очікуваному зниженню ціни на ароматизатор з причин багатостадійності, технологічної складності, низького виходу ваніліну та значної кількості побічних продуктів (рисуюнок 37).



Рисуюнок 37. Схема одержання ваніліну — штучного аналога природного ароматизатора

Наприкінці минулого століття було розроблено низку біотехнологічних методів синтезу ваніліну з доволі дешевої природної сполуки — евгенолу, головної складової гвоздичної та базилікової олії, з участю мікроорганізмів родин *Pseudomonas* та *Amycolatopsis*. На сьогодні також відома технологія одержання ваніліну шляхом ферментації глюкозного сиропу штамом генномодифікованої *Escherichia coli*.

Компанія BASF розробила метод одержання 4-декалактону, який має аромат персика, шляхом ферментації ріцинової олії дріжджовими грибами *Yarrowia lipolytica*. З м'яких сортів кукурудзи під дією мікроорганізмів *Pediococcus pentosaceus* та *Lactobacillus acidophilus* отримують ароматизатор вершкового масла, який сьогодні дуже активно використовується

ся в різних галузях харчового виробництва. Такий самий ароматизатор можна отримати й з участю звичайних кондитерських дріжджів, але для цього як вихідну сировину для біотрансформації треба використовувати 5-оксододеканову кислоту, яку треба одержати будь-яким з методів заздалегідь. Ферментацією яблучної макухи або сої з участю *Ceratocystis fimbriata* можна отримати деякі фруктові ароматизатори. Ароматизатор, запах якого імітує аромат ананаса, нині одержують ферментацією кавового лушпиння під дією грибів *Ceratocystis fimbriata*.

ГЛЮКОЗНИЙ ТА ФРУКТОЗНИЙ СИРОПИ

Глюкозний сироп є надзвичайно важливим продуктом біотехнології, оскільки має безліч застосувань: виготовлення кулінарних виробів, солодошів, напоїв, джемів та желе, тваринних кормів, ліків, косметичних продуктів, органічних розчинників. Він також є незамінною сировиною та поживним середовищем для мікроорганізмів, що беруть участь у безлічі біотехнологічних процесів.

Основним методом одержання глюкозного сиропу раніше був кислотний гідроліз крохмалю, але цей технологічний процес ускладнював якісний контроль за кінцевим продуктом, потребував нейтралізації на останніх стадіях процесу й видалення зайвих домішок, що передбачало додаткові витрати енергії та впливало на вартість сиропу.

Перші спроби одержати глюкозний сироп проводили шляхом ензимного каталітичного руйнування крохмалю з участю природної суміші біокаталізаторів амілаз, але цей метод не знайшов застосування внаслідок повільності процесу біотрансформації крохмалю та низького виходу глюкози як кінцевого продукту. За цих умов крохмаль руйнується на менші за розміром ди-, три- та олігосахариди, а кількість найважливіших мономерних молекул, у цьому випадку глюкози, є мінімальною.

Інтенсивна дослідницька робота з часом дала довгоочікувані результати. У сучасному біотехнологічному процесі одержання глюкозного сиропу — перша стадія оброблення крохмалю α -амілазою — залишилася незмінною, оскільки вона, завдяки утворенню менших за розміром та більш просторово доступних молекул олігосахаридів, дає змогу значно прискорити подальші біокаталітичні процеси. На другій стадії в суміш олігосахаридів (продукт біокаталітичного руйнування крохмалю) вводять високоактивну 1,4- α -глюкозидазу (γ -амілазу), яка завершує гідролітичний процес та повністю перетворює олігосахариди на розчин глюкози — глюкозний сироп (рисунки 38).

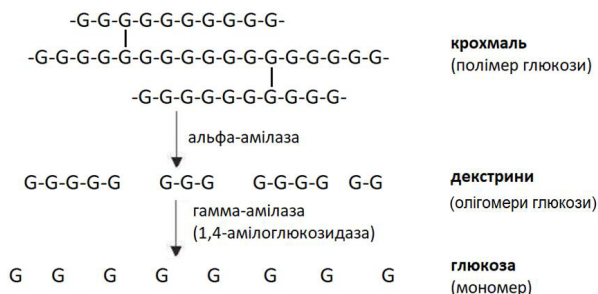


Рисунок 38. Ферментативний гідроліз крохмалю

Не менш цінним є й інший біотехнологічний продукт харчової індустрії — фруктозний сироп, який одержують шляхом біокаталітичної трансформації глюкозного сиропу з участю високоактивного ензиму — глюкоізомерази. Цей спосіб дає можливість перетворити глюкозний сироп на високоцінний сироп, збагачений фруктозою. Частку глюкози, що ізомеризується до фруктози, залежно від умов проведення біотехнологічного процесу можна варіювати від 30 до 90 %. Загалом ензимні процеси легко контролювати сучасними аналітичними методами, тому процес виробництва сиропу завжди дає можливість отримати високоякісний продукт з потрібними споживчими характеристиками.



Рисунок 39. Ілюстративне фото «Глюкозний сироп»

ХЛІБОБУЛОЧНІ ВИРОБИ

У виробництві хлібобулочних виробів важливе значення мають амілази, зимаза та мальтаза, а також їх джерела — дріжджі та солод (пророщені зерна ячменю). Саме вони потрібним чином змінюють крохмаль борошна і сприяють виготовленню смачного та поживного хліба й інших кулінарних виробів. За всіх біохімічних перетворень борошна

вкрай важливим є збереження структури глютену, суміші рослинних протеїнів, що забезпечує міцність хлібних виробів, які за своєю структурою містять велику кількість пор, та зменшення впливу супутніх речовин, що завжди супроводжують процес приготування хлібобулочних виробів. Останнє завдання, а саме — зменшення впливу на глютен супутніх компонентів борошна, таких як клітинні стінки, жири, та продуктів часткового перетворення крохмалю, вирішують інші ензими — геміцелюлази, ксиланази, оксидази та ліпази.



Рисунок 40. Ілюстративне фото
«Хлібобулочні вироби»

МОЛОЧНІ ВИРОБИ

Ренін, або хімозин, використовується для ензимної коагуляції молока та виробництва багатьох видів твердого сиру. Як один з ензимів родини протеаз, ренін також забезпечує часткове руйнування молекул протеїнів та покращує їх засвоєння в організмі. Основними джерелами біотехнологічного промислового видобування реніну є генномодифіковані штами бактерій *Escherichia coli*, дріжджів *Kluyveromyces lactis* та грибів *Aspergillus niger*.

Лактаза — ензим, що руйнує дисахарид лактози, кількість якої в молоці корів сягає 5 %, часто теж є важливим помічником у процесі перероблення молочних продуктів. На відміну від дітей, доросла людина має в організмі значно меншу кількість лактази, тому вживання продуктів з лактозою може призвести до небажаних побічних ефектів. Вживання молочних продуктів, попередньо оброблених лактазою, робить їх корисними для споживачів будь-якого віку.



Рисунок 41. Ілюстративне фото
«Молочні вироби»

Використання ще однієї групи ферментів — ліпаз, що хімічно змінюють молекули жирів та сприяють їх легшому засвоєнню, також покращують поживну цінність молочних продуктів.

ПИВО

Біотехнологічний процес виробництва пива відомий вже багато століть. Його отримують ферментацією пророщених та подрібнених зерен ячменю (ячмінного солоду) з додаванням хмелю та кількох інших корисних домішок, подальшим варінням цієї суміші з утворенням так званого сусла — суміші різних речовин з високим вмістом вуглеводів. Далі до сусла додають дріжджі та піддають ферментації до утворення кінцевого продукту.

Попри складність та багатостадійність процесу, головним джерелом ензимів є саме ячмінний солод. Тому саме від якості цієї сировини та кількості в ній ферментів залежить якість та смакові характеристики кінцевого продукту.

Звісно, сьогодні є штучні ензими, додавання яких до солоду забезпечує прискорене виробництво цього напою в значних — промислових кількостях.

Але смакові якості такого пива далекі від ідеальних. Саме тому біотехнологічний шлях цього виробництва спрямований не на системний біосинтез та застосування ензимів, а на вирощування високоякісних сортів ячменю та його перетворення на збагачений ензимами ячмінний солод — цієї важливої складової виробництва популярного напою для дорослих.



Рисунок 42. Ілюстративне фото
«Технологія виробництва пива»

МІЦНІ АЛКОГОЛЬНІ НАПОЇ

До 70-х років минулого століття в багатьох країнах світу міцні алкогольні напої вироблялися за технологією, дуже схожою на пивоваріння, з використанням солоду як головної сировини, подальшою дріжджовою ферментацією сировини з високим вмістом вуглеводів та дистиляцією. Сьогодні лише деякі виробники елітних міцних алкогольних напоїв використовують класичну технологію з ячмінним солодом.



Рисунок 43. Ілюстративне фото
«Міцні алкогольні напої»

Натомість виробники масового продукту вже давно відійшли від цієї методики, оскільки ключовою є економічна складова виробництва (зменшення вартості продукту та збільшення обсягів його виготовлення), тому і використовують штучні ензими, переважно амілази, які добре працюють за різних температур та кислотності. Сьогодні міцні алкогольні напої виробляють шляхом додавання штучних ензимів (кілька літрів розчину амілаз заміняє 100 кг солоду) до збагаченої крохмалем сировини, яка швидко перетворюється на низькомолекулярні вуглеводи, переважно глюкозу, а далі дріжджі з допомогою власної суміші ензимів — зимази — завершують перетворення розчину глюкози на розчин етилового спирту. Шляхом подальшої дистиляції, як і в попередні роки, отримують вже очищений продукт.

ТВАРИННІ КОРМИ

Створення сучасних тваринних кормів або кормових домішок для домашньої птиці та худоби є надзвичайно важливим напрямом сучасної біотехнології. Чому?

Безперервне збільшення кількості населення у світі зумовлює велику потребу у зростанні обсягів та прискоренні виробництва харчових продуктів. Як результат, великі зусилля спрямовані на розроблення нових способів прискорення росту птиці та худоби, а також на продуктивність у виробництві м'яса, молока, яєць тощо. Головні успіхи

в цьому досягнуті шляхом розроблення методів біосинтезу спеціальних ензимів з метою їх подальшого додавання до звичайних кормів.

Навіщо додавати ензими у тваринні корми?

У будь-якому харчовому продукті разом з відомими нам поживними речовинами, такими як крохмаль, глюкоза, протеїни, амінокислоти, жири, що мають відому поживну цінність та легко засвоюються організмом, є інші, так звані баластні речовини, які організм тварин не здатний засвоїти. За хімічною природою ці сполуки можуть бути й протеїнами, і жирами, і вуглеводами.

Тривалі дослідження дали змогу встановити, що, на відміну від тварин, багато мікроорганізмів та грибів успішно засвоюють більшість з цих речовин, оскільки мають потрібні вузькоспеціалізовані ензими. А ще через певний час дослідники виділили ці ензими у чистому виді та успішно модифікували мікроорганізми з метою удосконалення технології синтезу потрібних типів ензимів у великій кількості. Отже, додавання ензимів, які не виробляються в організмі тварин, в корми допоможе перетравлювати речовини, що раніше не засвоювались. Як результат, якість, поживна цінність та рівень засвоєння більшості тваринних кормів, навіть звичайних, помітно зросли, а разом з цим збільшилися темпи росту, набирання ваги, продуктивність домашньої й промислової птиці та тварин.

Розглянемо найбільш важливі ензими, що використовуються як харчові домішки або біологічно активні добавки (БАД), до тваринних кормів (таблиця 4).

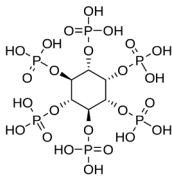


Рисунок 44. Ілюстративне фото
«Тваринні корми»

Таблиця 4

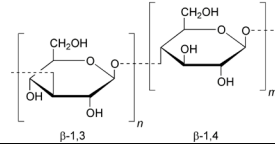
Ензим(и): фітаза

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): фітинова кислота



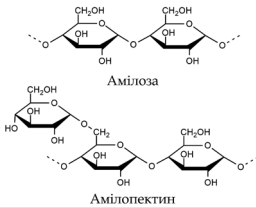
Ензим(и): β-глюканази

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): β-глюкани — полімери глюкози неупорядкованої розгалуженої будови, що містяться в клітинних стінках злаків і грибів



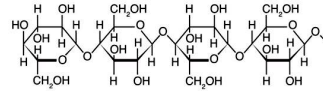
Ензим(и): амілази

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): крохмаль — полімери глюкози слабозгалуженої будови, джерело запасання глюкози рослинами



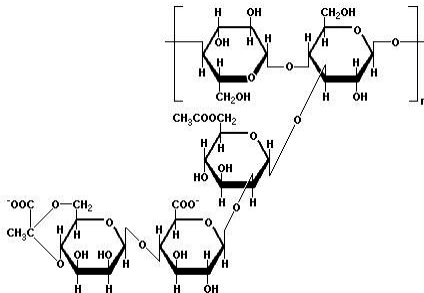
Ензим(и): целюлази

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): целюлоза — лінійний полімер, що складається з сотень та тисяч молекул β-1,4 зв'язаної D-глюкози. Головний компонент клітинної стінки рослин та водоростей. Міцна, кристалічна, стійка до гідролізу. Найбільш розповсюджений у природі біополімер



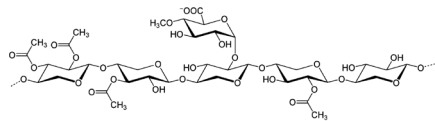
Ензим(и): геміцелюлази

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): геміцелюлоза — суміш полісахаридів ксилоглюканів, ксиланів, маннанів, глюканів, глюкоманнанів. Складається з різних мономерних вуглеводнів. Маломіцний полімер аморфної будови, що міститься в клітинних стінках рослин



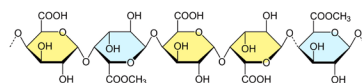
Ензим(и): ксиланази

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): ксилан — один з видів геміцелюлози. Полісахарид, що складається переважно із залишків ксилози, має розгалужену та змінну будову. Складовою клітинних стінок більшості рослин. Третій за розповсюдженістю біополімер



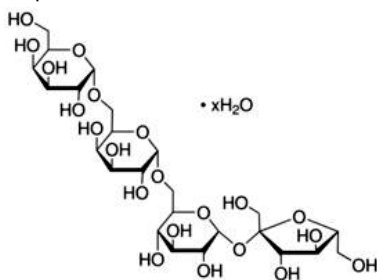
Ензим(и): пектинази

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): пектин — кислотні полісахариди, збагачені галактурановою кислотою. Містяться в багатьох фруктах і ягодах (цитрусові, сливи, аґрус, персики, шипшина)



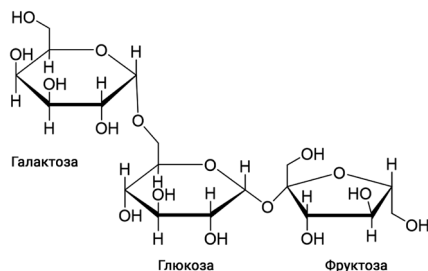
Ензим(и): суміші ензимів

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): стахіоза — тетрасахарид, складається з 2 молекул галактози, глюкози та фруктози. Міститься у квасолі, сої, інших овочах та рослинах, має солодкий присмак



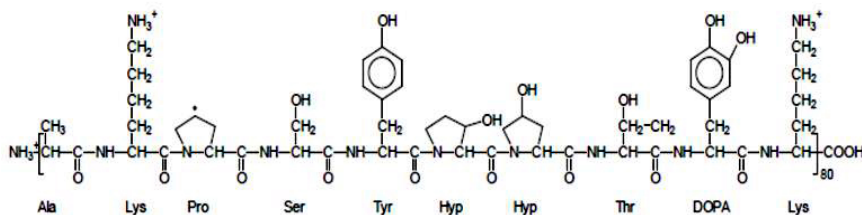
Ензим(и): суміші ензимів

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): рафіноза — трисахарид, складається з галактози, глюкози та фруктози. Міститься в бобових, капусті, спаржі, інших овочах, злаках. Харчова та косметична домішка, у процесі заморожування живих клітин працює як консервант



Ензим(и): протеази

Сполука, що руйнується ензимом (допомагає у засвоєнні): важкозасвоювані протеїни, що мають високий вміст аланіну, гліцину, проліну — колаген, желатин, еластин, кератин, протеїни шовку



ФАРМАЦЕВТИЧНІ ПРЕПАРАТИ

Для виробництва високоспеціалізованих сполук зі складною хімічною будовою часто застосовують процеси, реалізація яких зумовлює труднощі, потребує великих зусиль, матеріальних та енергетичних витрат. Тому не дивно, що ефективні та технологічно спрощені біохімічні способи їх одержання є дуже важливими для цієї галузі промислового виробництва. Сьогодні промислова біотехнологія активно використовується в напрямках тонкої хімії та фармацевтики. Наприклад, загальний обсяг світового ринку антибіотиків сягає 50 мільярдів доларів.

Їх майже повністю виробляють шляхом ферментації за участю ретельно відібраних генномодифікованих мікроорганізмів. Крім того, слід зазначити, що структурна складність більшості сучасних фармацевтичних препаратів настільки значна, що хімічний синтез не може бути альтернативою біотехнологічним методам одержання. Лише у деяких випадках у процесі виготовлення напівсинтетичних ліків окремі будівельні блоки, такі як 6-амінопеніцилова та 7-аміноцефалоспоринова кислоти, амінокислоти та інші сполуки, одержують шляхом ферментації, а потім піддають хімічному модифікуванню для отримання високоактивних лікувальних препаратів.

Наприклад, засіб каптоприл, призначений для зниження артеріального тиску, складається з β -гідроксиізобутанової кислоти та L-проліну. Обидва ці будівельні блоки одержують біотехнологічним методом шляхом ферментації, що здійснюється дріжджами *Candida rugosa* та бактеріями *Corynebacterium sp.*, відповідно, а потім з'єднують, застосовуючи відомі хімічні підходи.

Ось інший приклад. Промислово важливі біологічно активні сполуки та компоненти для виготовлення фармацевтичних препаратів, такі як нікотинамід (ніацин, або вітамін B_3), ніотинова та 6-гідроксинікотина кислота раніше одержували складним хімічним шляхом з 3-ціанопіридину. Наразі ці фармацевтичні препарати та хімічну сировину для них виробляють із застосуванням промислової біотехнології шляхом ензимного гідролізу 3-ціанопіридину за наявності біокаталізатора нітрилгідратази, видобутої з бактерій родини *Rhodococcus*, або традиційною бактеріальною ферментацією.

КОСМЕТИЧНІ ЗАСОБИ

Надзвичайно популярний сегмент ринку промислових товарів, який оцінюється у десятки мільярдів доларів і стало розвивається внаслідок високої популярності традиційних та інноваційних методів догляду за собою. Раніше його пов'язували виключно з природними біоактивними компонентами короткотривалої дії, які майже не мали лікувальних властивостей та для ефекту потребували регулярного й частого використання, такими як зволожувальні та пом'якшувальні засоби на основі гліцерину та рослинних олій, тональні засоби на основі природних пігментів тощо. Сьогодні особливої популярності набувають засоби, що мають чітко визначені й спеціалізовані лікувальні властивості зі схожими функціями, але довготривалої дії, які здатні допомогти лю-

дині прибрати й запобігти появі певних недосконалостей, пов'язаних з віком, статтю, впливом локальних кліматичних, екологічних та інших негативних чинників тощо. І головною зброєю на косметичному фронті є ті самі, вже відомі нам біокаталізатори-протеїни. Саме вони одночасно забезпечують тривалу косметичну і лікувальну дію.

Ензими групи протеаз забезпечують пілінговий (очисний) ефект, запобігають проявам старіння шкіри та мінімізують зморшки (у посиленні останнього ефекту бере участь також лужна фосфатаза). Ензими групи ліпаз мають потужну антицелюлітну дію. Ензим гіалуронідаза проявляє потужний зволожувальний ефект. Застосування ензиму тирозинази в сучасних косметичних засобах забезпечує гарний тональний ефект. Протидію утворенню вільних радикалів у засобах захисту шкіри від інтенсивного сонячного опромінення мають два ензими — пероксидаза та супероксиддисмутаза.

Якщо ви справді піклуєтесь про власне здоров'я та бажаєте мати гарний вигляд у будь-якому віці, то аналізуйте продукцію, яку купуєте: наявність тих чи інших дієвих ензимів у складі сучасних косметичних засобів, що підтверджує їх якість, можна завжди перевірити, уважно прочитавши перелік інгредієнтів, зазначений на пакуванні.

МИЙНІ ЗАСОБИ (ДЕТЕРГЕНТИ)

Ензими є важливими складовими сучасних мийних засобів, зокрема промислового призначення, а також побутових пральних порошків. Найбільш важливими помічниками поверхнево-активних речовин, очисна дія яких пов'язана виключно з фізичним та механічним впливом, є чотири групи ензимів — протеази, ліпази та дві підгрупи глікозидаз (амілази та целюлази), що допомагають очищувати одяг шляхом хімічних реакцій.

Протеази є найбільш вживаними ферментами в мийних засобах, оскільки протеїни утворюють забруднення, які дуже важко видалити традиційними поверхнево активними речовинами (ПАР). Рослинні забруднення, кров, піт, харчові плями (жовток яєць) дуже міцно тримаються на текстильних волокнах, що робить засоби на основі ПАР неефективними. Але за допомогою протеаз процес очищення забрудненого одягу значно спрощується.

Ліпази прискорюють розкладання молекул жирів, тому вони дуже ефективні для видалення плям від рослинних олій та жирів, вершкового масла, різноманітних соусів та майонезу, застарілих плям від поту на комірцях та манжетах.

Амілази допомагають у видаленні забруднень від крохмалевмісних продуктів, таких як картопля, макаронні вироби, заварний крем, підливи, шоколад.

Целюлази змінюють будову молекул целюлози, з яких складаються волокна бавовни та інших тканин на її основі, видаляючи її розгалужені частини, до яких приєднуються молекули забруднювачів, в тому числі рослинних пігментів і неорганічних частинок. Тому дія целюлаз у складі мийних засобів проявляється у покращенні яскравості кольору тканини, її пом'якшенні та видаленні ґрунтових плям.

ВИРОБНИЦТВО ФЕРМЕНТІВ

Вже дуже багато було сказано про використання біотехнологій у хімічній та інших галузях сучасної промисловості з участю різноманітних біокаталізаторів-ензимів та їх носіїв — мікроорганізмів. Культивуванню та генному модифікуванню мікроорганізмів присвячено низку підручників та оглядових робіт, з якими можна ознайомитись у будь-який час всім, хто зацікавлений у поглибленні знань з окремих напрямів сучасної біологічної науки. Але ензими як окремі хімічні сполуки та біокаталізатори, що прискорюють певні хімічні реакції та справляють безпосередній вплив на виробничі процеси та побут, ми оминати не можемо.

З економічного погляду виробництво ензимів — доволі велика галузь і оцінюється нині приблизно у 10 мільярдів доларів. Його вплив на промисловість важко переоцінити, бо застосування багатьох біокаталізаторів вже вийшло на значний промисловий рівень, пов'язаний з виробництвом масової хімічної продукції. Не варто знову перелічувати всі раніше згадані групи ензимів, а зупинімося на найбільш важливих та вживаних.

Ензими групи протеаз, що руйнують молекули протеїнів, використовують в сучасних пральних засобах, для первинного оброблення м'яса та інших протеїновмісних харчових продуктів, як компоненти деяких фармацевтичних препаратів та каталізатори у виробництві низки хімічних продуктів.

Глюкозидази — велика група ензимів, які прискорюють реакції з участю вуглеводів. До них належать відомі нам целюлази, амілази, пектинази та інші, що здатні руйнувати різноманітні полісахариди й тому мають велике значення в харчових технологіях, як домішка для тваринних кормів, у виробництві паперу, тканин та мийних засобів.

Ліпази здатні руйнувати молекули жирів, тому широко використовуються в харчовій індустрії, очищенні промислових стоків, виробництві пральних засобів, тонкому органічному синтезі та у виробництві біодизеля. Інші представники класу гідролаз — фосфоліпази використовують у виробництві хліба, для оброблення яєчних жовтків, одержання харчових ПАР-емульсифікаторів, очищення рослинних олій.

Ренін, лактазу та інвертази (ізомерази) активно використовують в харчовій промисловості, а зимазу дріжджів — для трансформації глюкози в етиловий спирт та виготовлення продуктів на його основі.

БІОЕТАНОЛ ТА ІНШІ ВИДИ БІОПАЛИВА

Як відомо, головними видами біопалива є біоетанол та біодизель. Їх переваги у порівнянні з нафтохімічними аналогами, такі як невичерпність сировини, здатність до розкладання у природних умовах, зменшення кількості додаткових домішок та парникових газів, що утворюються під час його згоряння, спонукали людство до розроблення біотехнологічних методів отримання рідкого палива.

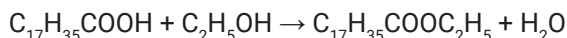
Біоетанол одержують за вже відомою нам схемою, що починається з попереднього оброблення та каталітичного гідролізу такої природної сировини, як крохмаль, целюлоза, водорості, відходи цукрового виробництва, харчові відходи тощо, до глюкози з її подальшою фермента-



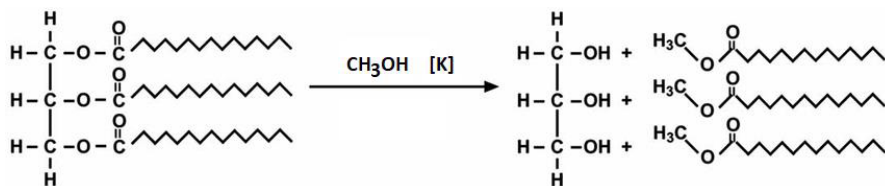
Рисунок 45. Схема виробництва біопалива з використанням мікроорганізмів

цією (або ензимним обробленням) до одержання розведеного розчину етилового спирту і традиційною дистиляцією для вилучення чистого продукту з реакційного середовища. Етиловий спирт вже давно є важливим компонентом (присадкою) бензину у кількості приблизно 10 %, що покращує споживчі властивості нафтохімічного пального. Але нині вже відоме автомобільне пальне, де кількість етанолу сягає 80–95 %, що жодним чином не погіршує якісних характеристик такого пального, а навпаки — позитивно впливає на його біобезпечність.

Біодизель за хімічною природою — це метилові, $C_xH_yCOOCH_3$, або етилові, $C_xH_yCOOC_2H_5$, естери вищих карбонових кислот. Їх одержують шляхом каталітичної реакції естерифікації між вищими карбоновими кислотами та відповідним спиртом за вказаною нижче схемою.



Іншим технологічним варіантом одержання біодизеля є каталітична переестерифікація природних джерел вищих карбонових кислот — їх тригліцеридів, відомих нам як рослинні олії або тваринні жири.



Сучасний рівень біотехнології дає можливість використовувати ферменти фосфоліпази та ліпази не тільки як біокаталізатори для очищення олій та жирів або їх перетворення на відповідну хімічну сировину — дигліцериди або моногліцериди кислот, вільні жирні кислоти та гліцерин, а й у реакції переестерифікації з отриманням відповідних естерів, що і є біодизелем.

Переваги біопалива з огляду на постійне зростання кількості автотранспорту безперечні: значне зменшення парникових газів, економія цінної нафтової сировини, раціональне використання ресурсів та перероблення відходів, зменшення негативного впливу на природу за аварійних ситуацій тощо.

ВИРОБНИЦТВО ПАПЕРУ

Виробництво паперу, що традиційно складається з великої кількості хімічних стадій, передбачає використання низки небезпечних реагентів та утворення великої кількості відходів, завжди вважалося брудним та дуже небезпечним для довкілля. Але сучасне виробництво паперу також може бути біотехнологічним.

Починається цей біотехнологічний процес з оброблення подрібненої деревини деякими штаммами грибів, що забезпечують ферментативне видалення головної баластної сполуки деревини — лігніну. Такий спосіб первинного оброблення утворює якісний продукт — біоцелюлозу, що значно полегшує її подальше оброблення.

Ензими добре зарекомендували себе у процесі відбілювання целюлози, тобто видалення природних сполук-барвників та пігментів, що запобігає використанню штучних, шкідливих для довкілля хімічних відбілювачів, таких як ClO_2 , або зменшує кількість використаного гідроген пероксиду, H_2O_2 . Термостабільні мікробіальні ксиланази дуже

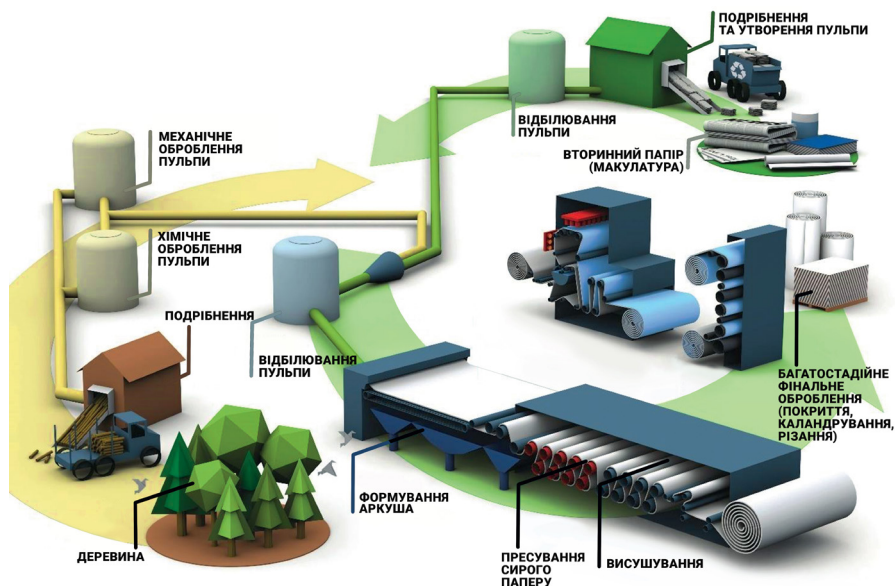


Рисунок 46. Схема виробництва паперу

активні в лужних умовах процесу проварювання целюлози і є кращими реагентами для стадії біовідбілювання. Інші ензими є не менш корисними й добре допомагають у подальших процесах біотехнологічного оброблення. Зокрема, ліпази руйнують природні естери, воски та смоли, пектинази видаляють небажані пектинові сполуки, а целюлази прискорюють та збільшують ефективність стадії дегідратації целюлозної маси.

Важливим напрямом сучасної біотехнології є пошук та біосинтез ензимів, здатних змінювати структуру волокон целюлози та, відповідно, покращувати властивості кінцевого продукту. Наприклад, відомий сьогодні ензим лаккази, що виконує функцію окиснення фенольних сполук, у процесі оброблення целюлозної маси здатний змінювати гідрофобність поверхні целюлозних волокон і полегшувати подальші стадії виробництва.

Загалом застосування ензимного оброблення целюлозної маси має на меті зменшити енерговитратність виробництва, кількість використаної води та витрат на її регенерацію, забезпечити можливість повернення відпрацьованої води чи технологічних розчинів у виробничий процес.

Зрозуміло, що такий раціональний підхід також стосується і технології перероблення паперу, оскільки це величезна економія природних ресурсів та енергії, що робить виробництво дуже прибутковим. У процесі вторинного перероблення паперу використовується низка небезпечних для довкілля та людини сполук, як NaOH, модифікатори-флокулянти та різноманітні ПАР, які також можуть завдати шкоди якості переробленого паперу — змінити колір та зменшити міцність волокна. У біотехнологічному процесі перероблення паперу додавання целюлаз і геміцелюлаз, що частково гідролізують молекули целюлози на поверхні волокон, сприяє видаленню нанесених штучних барвників та пігментів, в тому числі частинок тонера лазерних принтерів та копіювальних апаратів. Такий підхід дає можливість зберегти природний білий колір целюлози та не зруйнувати об'ємної структури целюлозних волокон. А залишки ензимів дезактивуються під час високотемпературного сушіння паперу на фінальних стадіях технологічного оброблення.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Про які з наведених продуктів біотехнології ви чули (телебачення, інтернет або ЗМІ, реклама тощо)? Які з них є у вас вдома? А які використовуєте для особистих потреб? Наведіть кілька прикладів.
2. Як ви вважаєте, чи всі з зазначених речовин та продуктів виробляються біотехнологічним способом? Надайте аргументовану відповідь.
3. Чи можуть виробники деяких з цих товарів вводити споживачів в оману? Якщо так, навіщо вони це роблять? Поміркуйте, чи можна в деяких випадках перевірити, чи є товар або виріб біотехнологічним продуктом?



ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Натуральні барвники й технологія фарбування тканини⁴



Рисунок 47. Ілюстративне фото «Натуральні барвники»

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 100 мл – 5 од.

Пробірка, 10 мл – 2 од.

Біла бавовняна полотняна тканина,
4×4 см – 4 од.

Пінцет

Ложка для реактивів – 2 од.

Шпатель

Паперовий рушник

Піпетка Пастера, 3 мл – 2 од.

Электроплитка

Реактиви:

Жовта шкірка цибулі

Ягоди чорниці (або інші ягоди)

Алюмокалієві галуни,

$$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$$

Гідротартрат калію, $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$

Лимонна (цитратна) кислота, $C_6H_8O_7$

Натрій гідрокарбонат, NaHCO_3

Дистильована вода

⁴ Оригінальна версія роботи: *J. Chem. Edu.* 1999. Vol. 76. № 12. Р. 1688В.

ХІД РОБОТИ

А. Приготування протравного розчину та протравлення тканини

1. У хімічний стакан № 1 відміряти 50 мл дистильованої води, додати 0,1 г алюмокалієвих галунів та 0,05 г гідротартрату калію.
2. Суміш ретельно перемішати та нагріти до кипіння.
3. У киплячий розчин занурити 2 шматки білої бавовняної тканини й кип'ятити впродовж 2 хв.
4. Зняти стакан з електроплитки, залишивши протравлені шматки тканини в розчині для подальших дослідів.

Б. Приготування розчину жовтого природного барвника

1. Зняти жовту зовнішню шкірку ріпчастої цибулі, порізати на шматки розміром 2×2 см та засипати в стакан № 2.
2. Додати в стакан 50 мл дистильованої води, нагріти суміш до кипіння та кип'ятити впродовж 5 хв.

В. Приготування розчину синього природного барвника

1. У хімічний стакан № 3 внести 4–5 ягід чорниці та розім'яти їх за допомогою шпателя.
2. Додати в стакан 50 мл дистильованої води, нагріти отриману суміш й кип'ятити впродовж 5 хв.

Г. Фарбування тканини

1. Змочити сухий необроблений шматок тканини водою та помістити його в стакан № 2, стежачи, щоб він повністю був змочений розчином барвника.
2. Повторити процедуру з іншим шматком необробленої тканини та розчином барвника іншого кольору (стакан № 3).
3. Нагріти розчини барвників зі шматками тканини до кипіння та кип'ятити впродовж 1 хв.
4. Вийняти пінцетом пофарбовані шматки тканини з розчинів, промити водою та помістити для висихання на підписані частини паперового рушника.
5. За допомогою пінцета вийняти протравлені шматки тканини зі стакана № 1. Помістити один зі шматків в стакан № 2, інший — у стакан № 3, стежачи, щоб тканина була повністю занурена в розчин барвника.
6. Нагріти розчини барвників з протравленими шматками тканини до кипіння та кип'ятити впродовж 1 хв.

7. Вийняти пінцетом шматки тканини з розчинів барвників, промити водою та помістити для висихання на відповідно підписані частини паперового рушника.
8. Порівняти зразки тканини, пофарбованої різними способами. Дійти висновків.

Г. Вивчення властивостей фарбованої тканини

1. Розчинити в пробірці 0,1 г NaHCO_3 в 3 мл дистильованої води.
2. Нанести 1 краплю розчину NaHCO_3 на будь-який з кутів кожного зразка пофарбованої тканини. Що спостерігається? Поясніть результат.
3. Розчинити в пробірці 0,1 г лимонної кислоти в 3 мл дистильованої води.
4. Нанести 1 краплю розчину кислоти на протилежний кут кожного зразка фарбованої тканини. Що спостерігається? Поясніть результат.
5. Промити всі зразки пофарбованої тканини під проточною водою. Чи залишилися раніше помічені зміни кольору тканини?
6. Висушити зразки тканин на відкритому повітрі впродовж 12 год. Чи спостерігається різниця в кольорі окремих частин зразків тканини після сушіння? Поясніть спостереження.

Нові дослідницькі та проєктні можливості

Після ретельного опрацювання експерименту з фарбування тканини можна продовжити власні дослідження та створити наукові проєкти з вивчення впливу барвників з природної сировини (фруктів, овочів, різних частин рослин тощо), концентрації барвника, температури та тривалості протравлення та фарбування, а також стабільності кольору натуральних барвників у часі, під дією природного та штучного освітлення тощо.

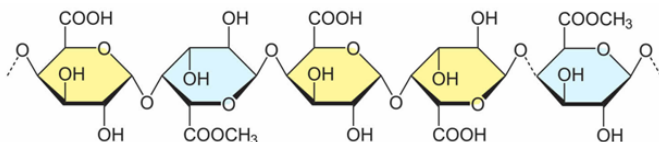
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Навіщо перед фарбуванням тканину піддають протравленню? Поміркуйте, яка хімічна природа цього процесу? Чи можна замінити запропоновану протравну речовину на іншу?
2. Чому карбонат натрію та лимонна кислота можуть впливати на колір пофарбованої тканини? Поясніть це явище.
3. Перевірте, чи однаково реагують природні та штучні барвники на дію розчинів різних речовин. Поясніть результати власних спостережень і сформулюйте висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

**Природний полісахарид пектин:
одержання та вивчення його властивостей****ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ**

Пектин (з грецьк. πηκτικός *pēktikós* — згущений, згорнутий) — це суміш кислотних гетерополісахаридів. Пектин має розгалужену структуру, довгі лінійні фрагменти якої переважно складаються із залишків D-галактуранової кислоти та її естерів, з'єднаних між собою α -(1–4) зв'язками, а в бокових ланцюгах молекул можуть зустрічатися нейтральні моносахариди, такі як галактоза, арабіноза, ксилоза та інші.



Пектин зазвичай міститься в клітинних стінках наземних рослин і виконує структурну функцію. Вперше цей полісахарид був виділений та описаний у 1825 році французьким хіміком та фармацевтом Анрі Браконотом.

Нині пектин є важливим продуктом для харчової та фармацевтичної промисловості. Пектин залежно від марки, ступеня чистоти та цільового призначення має вигляд порошку від білого до світло-коричневого кольору. Пектин видобувають переважно з відходів цитрусових фруктів, де його вміст найвищий. Завдяки вираженим гелеутворювальним та стабілізуювальним властивостям пектин використовують для виготовлення джемів, желе, мармеладу, інших десертів, як стабілізатор — у виробництві ліків, фруктових соків і молочних напоїв, а також як джерело харчових волокон⁵.

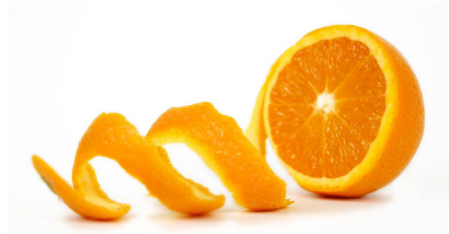


Рисунок 48. Ілюстративне фото «Апельсин»

⁵ Харчові волокна — коротко- та довголанцюгові полісахариди, розчинні у воді, але за відсутності відповідних ферментів організм не може їх засвоювати. У процесі проходження травним шляхом вони здатні зв'язувати забруднювальні та небезпечні речовини та видаляти їх з організму людини чи тварин.

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 200 мл
Колба конічна, 200 мл
Мірний циліндр, 100 мл
Пінцет
Ложка для реактивів — 2 од.
Піпетка Пастера, 3 мл — 3 од.
Пробірки
Магнітна мішалка
Лійка для фільтрування
Вата

Реактиви:

Шкірка цитрусових⁶ (апельсин, мандарин, лимон, грейпфрут)
Етиловий спирт
Хлоридна кислота, HCl , 0,03 М розчин
Амоніак, NH_3 , 10%-й розчин
Лимонна (цитратна) кислота, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$
Цукроза, $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$
Плюмбум(II) ацетат, $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, 10%-й розчин
Натрій тетраборат, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ*А. Екстракція ефірних олій, пігментів, інших природних складових*

1. Наважку 20 г подрібненої шкірки цитрусових загорнути в марлевий мішечок, помістити в хімічний стакан на 200 мл і залити спиртом.
2. Витримати стакан на водяній бані за температури 60 °С упродовж 1 год.
3. Спиртовий екстракт злити, шкірки добре відтиснути від надлишків спирту. За необхідності процедуру екстракції слід повторити.
4. Після екстракції спирт можна регенерувати дистиляцією, висушити над прожареним Na_2SO_4 та використати в подальшій роботі.

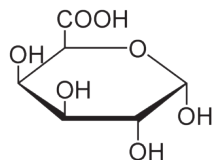
Б. Екстракція пектину

1. Шкірки цитрусових, що лишилися після екстракції, помістити в колбу, залити 80 мл розчину HCl та кип'ятити впродовж 1 год.
2. Отриману гарячу суміш профільтрувати крізь тонкий шар вати та промити осад на фільтрі двома порціями по 10 мл гарячої води.
3. Відфільтрований прозорий розчин пектину охолодити до кімнатної температури та частково нейтралізувати розчином амоніаку до рН 4–5.

⁶ Замість шкірки цитрусових можна використати подвійну кількість м'якоти яблук та у півтора рази збільшити кількість кислоти.

В. Якісне визначення пектину (тест на галактуронову кислоту)

1. До 1 мл отриманого розчину пектину додати 1 мл дистильованої води та 1–2 краплі 10%-го розчину $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$.
2. Вміст пробірки нагріти на водяній бані до температури кипіння.
3. Поява білого осаду, який далі набуває оранжевого кольору з червоним відтінком, свідчить про наявність галактуронової кислоти, яка входить у склад молекул пектину. Інші розповсюджені природні полісахариди такої реакції не дають.

*Г. Гелеутворювальні властивості пектину*

1. Отриманий розчин пектину упарити в 5 разів, доки не почнеться гелеутворення. Для перевірки нанести краплю гарячого розчину пектину на холодне предметне скло та охолодити — крапля повинна застигати та тримати форму.
2. Гарячий розчин пектину розділити на 3 частини.
3. До першої частини розчину додати 3–4 г цукрози, кілька кристаликів лимонної кислоти та прокип'ятити суміш упродовж 10–15 хв.
4. Залишити розчин для охолодження.
5. До другої частини розчину пектину додати 0,05 г сухого $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ та ретельно перемішати суміш до розчинення кристалів й отримання гомогенного розчину.
6. Залишити суміш для охолодження.
7. Третю частину розчину пектину залишити незмінною та охолодити.
8. Після повного застигання всіх трьох розчинів пектину обережно перевірити властивості отриманих гелів — твердість, крихкість, липкість — за допомогою скляної палички.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Проаналізуйте властивості пектину. З якою метою людина може використовувати цю речовину?
2. Як додані речовини (цукроза або натрій тетраборат) змінюють властивості пектинового гелю? Чому це відбувається?
3. Які ще відомі вам речовини поведуть себе у водних розчинах аналогічно пектину? Згадайте приклади з повсякденного життя.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Технологічні основи виготовлення біопластиків

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Біопластики — це полімерні матеріали, що виробляються з відновлювальної сировини природного походження, іншими словами — з біомаси. Основною сировиною для одержання біопластиків є рослинні олії, крохмаль, сільськогосподарські, деревні та харчові відходи тощо. Для біопластиків характерні такі особливості:

- виготовляються з природної сировини з участю клітин живих організмів;
- є альтернативою полімерних матеріалів, виготовлених з невідновлювальної мінеральної сировини (нафти, газу);
- можуть бути як біорозкладними, так і біонерозкладними;
- їх виробництво є більш енергоощадне та безпечне для довкілля;
- одержання біопластиків зменшує викиди парникових газів.

Але слід розуміти, що біопластики крім економії цінної невідновлювальної сировини (вуглеводнів) та інших переваг мають недоліки, які слід враховувати під час їх використання.

Що мається на увазі? Наприклад, термін розкладання у природних умовах. Зменшення терміну розкладання зі 150 до 2–5 років не запобігатиме появі мікрочастинок пластику, відомих нам як мікропластик. Інакше кажучи, використання біопластику повністю не запобігає шкідливій дії частинок мікропластику на живі організми та не звільняє нас від шанобливого ставлення до природи. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є багаторазове використання виробів з біопластику та запобігання потраплянню його в природні екосистеми й на промислові полігони (звалища), що є небезпечним для здоров'я та життя людини й тварин. Інші недоліки приховані в особливостях технології їх виробництва — високій вартості біопластику, обов'язковому додаванню необхідних технологічних домішок, які можуть бути небезпечними для довкілля. Тому створення біопластиків та повна заміна традиційних полімерних матеріалів нафтового походження є лише одним кроком до збереження природи та запорукою безпечного життя у майбутньому.



Рисунок 49. Біорозкладний
пластиковий посуд



Рисунок 50. Гранульований
пакувальний біопластик



Рисунок 51. Харчова пакувальна
плівка з біопластику

Сучасні досягнення у галузі створення біопластиків дають змогу широко використовувати ці матеріали як замітники традиційних полімерних матеріалів нафтохімічного походження, зокрема під час створення одноразового посуду, пакувальних матеріалів, ламінування паперу, одержання декоративних покриттів для металу, деревини тощо. Сьогодні в багатьох розвинутих країнах встановлено заборону на використання пакувальних полімерних матеріалів нафтохімічного походження, а виробництво та застосування біопластику активно підтримується на державному рівні країн ЄС, США та інших. Нещодавно до цього руху приєдналася і наша країна.

Є кілька видів біопластику, які наразі впроваджені у виробництво та активно використовуються у різних сферах нашого життя.

Біопластик на основі крохмалю

Термопластичний крохмаль є найбільш розповсюдженим та простим у виробництві типом біопластику на сьогодні. Його частка серед інших матеріалів такого типу становить приблизно 50 %. Основні переваги цього біопластику пов'язані саме з крохмалем, зокрема його невисокою вартістю та великою кількістю джерел видобування. Виготовляють такий біопластик шляхом введення в крохмаль пластифікаторів (спиртів, води, олій) та інших технологічних добавок, що дають можливість одержати полімерний матеріал з потрібними



Рисунок 52. Біопластик на основі крохмалю

властивостями. Часто додатковими компонентами в такому біопластику можуть бути різні біорозкладні полімери — полівініловий спирт, полілактид, полікапролактон, деякі поліестери. Іноді дозволяється додавати й штучні полімери — поліетилен або поліпропілен, але при цьому новий матеріал має нижчу здатність до біорозкладання. Проте введенням цих додаткових полімерів можна суттєво покращити водостійкість, механічні та технологічні властивості біопластику на основі крохмалю.

Біопластик на основі целюлози

Для виготовлення біопластиків на основі целюлози зазвичай використовують її естери. Раніше велику практичну значущість мали ацетати (моно-, ди- й триацетат) целюлози та нітрати целюлози, але останні через велику пожежну небезпечність нині не використовуються для загальних потреб. Естерифікація надає целюлозі термoplastичності, здатності розчинятися в органічних розчинниках, що іноді полегшує технологічне перероблення біопластику на її основі. Створені приблизно 100 років тому, естери целюлози майже до початку 1990-х років використовувалися для одержання волокон, прозорого скла, магнітної плівки, прозорої плівки для медичних рентгенографічних зображень. Нині з причини високої вартості виробництва цей матеріал був замінений на дешевші полімерні матеріали — поліестери.

Але навіть сьогодні ацетат целюлози активно використовують для отримання прозорої плівки для рентгенографічних зображень, волокон, тканин, оскільки вони є якісними замінниками природного шовку. Завдяки швидкій деструкції в природних умовах (4–9 місяців) естери целюлози, такі як ацетат / пропаноат та ацетат / бутаноат, в останні роки набувають популярності під час виготовлення біопластиків різного призначення.



Рисунок 53. Біопластик на основі целюлози

Біопластик на основі протеїнів

Як вихідний компонент для одержання цього виду біопластику можна використовувати білки (протеїни) з різних природних джерел. Рослинний білок глютен, який міститься у борошні, казеїн та білки сої є перспективною сировиною для одержання біорозкладних пластиків. Усі біопластики на основі протеїнів мають низьку стійкість до води, тому обов'язковим компонентом під час їх одержання є раніше згадані поліестери. Основним недоліком біопластиків на основі білків є їх висока вартість та харчова цінність вихідної сировини, що є дуже актуальним за сучасної швидкості приросту населення на нашій планеті та нестачі їжі в багатьох країнах Африки та Азії.



Рисунок 54. Біопластик на основі протеїнів

Біорозкладні поліестери

Є кілька різновидів біорозкладних поліестерів, що вже мають активне промислове застосування. З деякими з них ми познайомимось.

Полілактид, або полімолочна кислота (PLA)

Полімолочну кислоту одержують з рослинної сировини або продуктів її часткового перероблення. Зовні полілактид виглядає як прозорий матеріал, дуже схожий на полікарбонат (PC; матеріал CD/DVD-дисків, органічне скло для теплиць), полістирол (PS; прозорі товстостінні одноразові стакани) або поліетилентерефталат (PET; пластикові пляшки для напоїв). До недоліків полілактиду можна віднести низьку термічну стійкість та крихкість. Використовується цей поліестер для виготовлення екологічно безпечного пластикового посуду, харчової тари та інших виробів.



Рисунок 55. Посуд з полілактиду

Полігідроксиалканоати (РНА)

Це природні аліфатичні поліестери, які одержують шляхом бактеріальної ферментації різної відновлювальної сировини, що містить вуглеводи та ліпіди. Серед полімерів цього типу практичне значення мають полі(3-гідроксибутаноат) (РЗНВ), полі(4-гідроксибутаноат) (Р4НВ), полігідроксипентаноат (РНВ), полігідроксигексаноат (РНН) та полігідроксиоктаноат (РНО). Цікаво, що бактерії використовують ці поліестери для збереження Карбону як будівельного матеріалу та як джерело енергії, а людина застосовує природні поліестери як якісний заміник традиційних синтетичних полімерів. Регулюючи умови бактеріальної ферментації як біотехнологічного процесу, можна отримати безліч полімерних матеріалів з необхідними властивостями. Бактерії є унікальними «хімічними мікрозаводами», здатними у процесі життєдіяльності синтезувати до 150 різноманітних сполук, які є або придатними для подальшого перероблення поліестерами, або сировиною для синтезу згаданих полімерів. Полігідроксиалканоати є помірно жорсткими термопластичними полімерами, за властивостями дещо схожими на поліпропілен, з якого виготовляють багаторазовий пластиковий посуд для зберігання харчових продуктів. Сьогодні основними споживачами таких полімерів та матеріалів на їх основі є харчова, медична та фармацевтична промисловості.

Біопластики, що повільно розкладаються в природних умовах

Завершуючи розгляд різноманіття біопластиків, варто зупинитися на ще одному різновиді біопластиків, важливість якого для нас беззаперечна. Це полімери, для виготовлення яких також використовується природна сировина або продукти її перероблення, але яким, на жаль, не притаманна така корисна властивість, як здатність швидко розкладатись під впливом факторів довкілля. Ця група полімерів має назву біонерозкладні біопластики.

Поліамід 11 (РА11)

Поліамід 11 є типовим полімером класу поліамідів, всесвітньо відомий під торговою маркою Rilsan, для виробництва якого використовують важливу природну сировину – рицинову (касторову) олію. Цей полімер активно застосовують для виготовлення труб паливопроводів та повітроводів, оболонок електричних кабелів, гнучких нафто- та газопроводів, спортивного взуття та спорядження, струн тенісних ракеток,

воланів для бадмінтону, компонентів електричних пристроїв, катетерів тощо. Близьким за характеристиками є інший біопластик — **поліамід 410 (РА410)**. Звісно, обидва полімери можна одержати й нафтохімічним методом, але використання природної сировини та покращена екологічна безпечність виробництва робить біотехнологічний шлях їх одержання сучасним та перспективним.

Біополіетилен та біополіпропілен

Як відомо, основним будівельним блоком поліетилену є ненасичений вуглеводень — етилен (етен). За хімічною будовою та властивостями біополіетилен жодним чином не відрізняється від поліетилену, одержаного з нафти. Він також є біонерозкладним, але здатним до вторинного перероблення. Основна відмінність біополіетилену від його нафтохімічного аналога в тому, що етилен для його виробництва одержують з біоетанолу, який, своєю чергою, отримано в результаті ферментації (спиртового зброджування) вуглеводної сировини, видобутої з кукурудзи, цукрової тростини тощо. За твердженням виробників, під час одержання 1 т біополіетилену викиди CO_2 в атмосферу зменшуються на 2,15 т. Аналогічним шляхом та не менш успішно можна одержати інший біополімер групи поліолефінів — біополіпропілен.

Біополіуретани

Поліуретани — відомий клас синтетичних полімерів, що мають безліч галузей застосування: одяг, взуття, будівництво, медицина, ракетобудування тощо. В останні роки велика увага приділяється виробництву поліуретанів на основі природної сировини, уникаючи використання вкрай небезпечних продуктів нафтохімічного синтезу — фосгену COCl_2 , ізоціанатів OCN-R-NCO й інших. Значну перспективу має безізоціанатний метод одержання біополіуретанів з поліамінів та циклокарбонатів (естерів карбонатної кислоти та поліатомних спиртів циклічної будови), що одержують із рослинних олій. На відміну від синтетичних аналогів, біополіуретани є термопластичними та здатними до вторинного перероблення шляхом проведення відомої реакції транскарбамоїлювання.

Полімери на основі природних поліестерів

Сучасні технології та використання естерів природного походження, таких як тваринні жири, рослинні олії, воски, дають можливість одержувати крім згаданих вище поліестерів й інші полімери — поліуретани, поліолефіни, поліаміди. Наприклад, за реакцією епоксидування рослин-

них олій можна одержати епоксидовані рослинні олії, які є основою багатьох лаків, емалей та фарб. Вже створено технологію використання ненасичених зв'язків рослинних олій для одержання інших біополіолефінів, подібних до біополіетилену та біополіпропілену, але із зовсім іншими властивостями. І основною сировиною для цих надзвичайно вживаних хімічних продуктів є дешеві рослинні олії, які за розробленою технологією масово виготовляють з мікроводоростей.

ЧАСТИНА 1

БІОПЛАСТИК З ЖЕЛАТИНУ АБО АГАРУ

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 50 або 100 мл
Мірний циліндр, 100 мл
Ложка для реактивів — 2 од.
Піпетка Пастера, 3 мл
Чашка Петрі
Скляна паличка
Термометр
Електроплитка

Реактиви:

Желатин або агар
Гліцерин
Барвник харчовий (за бажанням)
Алюмінієва фольга або пергаментний папір
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ

1. У хімічному стакані зважити 4 г желатину (або агару), 0,5 г гліцерину, налити 20 мл води та залишити на 20–30 хв.
2. *Для желатину:* стакан з сумішшю повільно нагріти на електроплитці до 80–85 °С (не перегрівати!) за постійного перемішування до отримання прозорого гомогенного розчину. *Для агару:* суміш нагріти до кипіння і кип'ятити впродовж 2–3 хв до повного розчинення агару. За бажанням у суміш можна додати барвник.
3. Зняти стакан з розчином з електроплитки та видалити піну з поверхні за допомогою ложки.
4. Вкрити форму (чашка Петрі або інший посуд) фольгою або пергаментним папером та вилити на неї вміст стакана.
5. Рівномірно розподілити шар розчину на поверхні форми.
6. Залишити форму з розчином відкритою на 2 дні для видалення розчинника. Тонкий шар розчину (до 3 мм) значно швидше втрачає вологу та перетворюється на біопластик.

**Значне прискорення процесу сушіння (у шафі,
на електричній плитці) може пошкодити майбутній виріб!**

7. Після завершення процесу сушіння зняти плівку біопластику з форми.
8. Якщо приготувати 2 ідентичні вироби або розрізати плівку на дві однакові частини, то можна перевірити швидкість біорозкладання цього біопластику на власному подвір'ї або в горщику з квітами на підвіконні. Для цього слід закопати шматок плівки з біопластику в ґрунт на глибину 10–15 см та перевіряти його стан кожні 1–2 тижні.
9. Запишіть результати спостережень у робочий журнал.

ЧАСТИНА 2

БІОПЛАСТИК З МОЛОЧНОГО БІЛКА КАЗЕЇНУ

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 200 мл
Металеве ситечко
Піпетка Пастера, 3 мл
Скляна паличка
Термометр
Електроплитка
Паперові рушники
Одноразові рукавички
Тканинні рукавички

Реактиви:

Молоко (непастеризоване або фермерське)
Оцтова (ацетатна) кислота, 9%-й розчин (столовий оцет)
Барвник харчовий рідкий (за бажанням)
Алюмінієва фольга або пергаментний папір
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ

1. Налити в хімічний стакан 100 мл молока й обережно підігріти його на електроплитці до 50–60 °C за постійного перемішування.
2. Зняти підігріте молоко з електроплитки, додати 20 мл 9%-го розчину CH_3COOH та продовжити перемішування впродовж 2 хв.
3. Відділити згустки казеїну від сироватки за допомогою металевого ситечка. Зібрану сироватку залишити для наступних експериментів.

4. Коли сироватка стече, перенести казеїн на паперовий рушник та обережно промокнути його від надлишку вологи. Не сушити казеїн на цьому етапі роботи!
5. За бажанням додати до казеїну 1 краплю харчового барвника та перемішати⁷ масу для рівномірного забарвлення казеїну.
6. Сформувати з казеїнової маси виріб довільної форми, але без заламів та дуже тонких елементів.
7. Висушити отриманий виріб в теплому сухому місці, якомога далі від нагрівальних приладів та інших джерел тепла впродовж 2–3 діб.
8. Експеримент з біорозкладення біопластику можна провести, скориставшись рекомендаціями, наданими в пп. 9–10 частини 1.

ЧАСТИНА 3

БІОПЛАСТИК З КРОХМАЛЮ

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 100 мл
Піпетка Пастера, 3 мл – 2 од.
Скляна паличка
Ложка для реактивів
Чашка Петрі або силіконова форма
Електроплитка
Одноразові рукавички
Тканинні рукавички

Реактиви:

Крохмаль кукурудзяний або картопляний
Гліцерин
Оцтова (ацетатна) кислота, 9%-й розчин (столовий оцет)
Барвник харчовий (за потреби)
Алюмінієва фольга або пергаментний папір
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ

1. У хімічному стакані зважити 4 г крохмалю і додати 20 мл дистильованої води.
2. Розмішати складові до утворення однорідної суспензії.
3. Додати в отриману суміш 0,5 мл гліцерину, 5 мл розчину CH_3COOH та нагрівати за постійного перемішування.

⁷ Для розвитку творчих та технологічних здібностей: можна сильно не перемішувати суміш барвника та казеїну або використати кілька барвників – кінцевий результат фарбування можна буде згодом побачити.

**Нагрівання проводити у добре вентиляваному приміщенні
або на відкритому повітрі!**

4. Продовжувати перемішування та нагрівання до перетворення дисперсії на в'язку липку рідину. За бажанням можна додати до суміші 1–2 краплі барвника.
5. Зняти стакан з нагрівального пристрою та вилити його вміст на підкладку (чашку Петрі, силіконову форму), вкриту фольгою або пергаментним папером.
6. Сушити суміш слід у сухому приміщенні або на відкритому повітрі за кімнатної температури впродовж 2–4 діб.
7. Експеримент з біорозкладення біопластику можна провести, скориставшись рекомендаціями, наданими в пп. 9–10 частини 1.

ЧАСТИНА 4

БІОПЛАСТИК З РОСЛИННОГО ПРОТЕЇНУ ГЛЮТЕНУ

Посуд і обладнання:

Стакан пластиковий
або інший посуд, 1–2 л
Порцелянова чашка
Металеве ситечко
Піпетка Пастера, 3 мл
Чашка Петрі пластикова
Одноразові рукавички

Реактиви:

Борошно
Вода

ХІД РОБОТИ

1. Зважити 10 г борошна, перенести наважку в порцелянову чашку та додати 5 мл дистильованої води.
2. Змішати борошно з водою до отримання однорідної суміші (тіста), збираючи всі шматки, що налипають на стінки та дно чашки.
3. Залишити тісто на 20 хв для набухання гранул крохмалю, що містяться в частинках борошна.
4. У посуд об'ємом 1–2 л набрати 500 мл води, занурити шматок тіста і промивати його, активно розминаючи пальцями для видалення крохмалю.

5. Усі частинки тіста, що в процесі промивання від'єдналися від основного шматка, з'єднувати з основною частиною тіста. Для збирання шматків тіста можна скористатися ситечком.
6. Після насичення води частинками крохмалю й утворення молочно-білої дисперсії, замінити воду на нову порцію. Крохмаль після відстоювання можна відділити декантацією та використати в подальших експериментах.
7. Заміну води можна проводити 2–3 рази, доки промивні води не залишатимуться прозорими, а тісто не набуде властивостей м'якої пружної гуми.
8. Отриману гумоподібну клейковину — глютен — обережно відтиснути, щоб позбутися зайвої вологи.
9. Сформувати з отриманого глютену виріб та сушити в сухому приміщенні або на відкритому повітрі за кімнатної температури впродовж 2–3 діб.
10. Експеримент з біорозкладення біопластику можна провести, скориставшись рекомендаціями, наданими в пп. 9–10 частини 1.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поділіться власними думками щодо перспектив кожного з отриманих видів біопластику. Які з них у майбутньому можуть знайти практичне застосування?
2. Спробуйте пригадати сучасний стан забезпечення продовольством різних регіонів та країн. Оберіть серед усіх використаних у роботі основних складових біопластику той, чиє застосування не суперечить прагненням ООН та країн цивілізованого світу забезпечити їжею всіх, хто її потребує.
3. Наведені способи одержання біопластиків доволі прості та легкі для виконання. Чи достатньо, на ваш погляд, наданих методик для їх впровадження у промислове виробництво, чи чогось не вистачає? Поміркуйте та дайте розгорнуту відповідь.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Лактоза: видобування з молочної сироватки

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Лактоза, або молочний цукор (хімічна назва за номенклатурою IUPAC — β -D-галактопіранозил-(1 $\rightarrow$ 4)-D-глюкоза) — природний дисахарид, що міститься в молочній сироватці в кількості від 2 до 8 %. За своєю брутто-формулою $C_{12}H_{22}O_{11}$ лактоза є ідентичною цукрозі (є її ізомером), але на відміну від останньої має дещо іншу будову, оскільки складається з моносахаридів глюкози та галактози. Лактоза володіє відновлювальними властивостями, що підтверджується здатністю у водному розчині відновлювати йони Cu^{2+} та Ag^{+} . Як різновид цукру, лактоза теж має солодкий присмак, але він у 4 рази слабший, ніж у звичної нам цукрози (білого цукру).

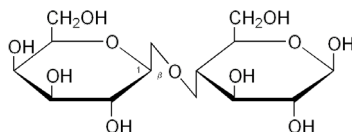


Рисунок 56. Формула лактози

На відміну від інших вуглеводів лактоза справляє значно слабшу руйнівну (карієсотвірну) дію на зубну емаль завдяки дуже повільній ферментації мікроорганізмами ротової порожнини. Одна з важливих функцій лактози — участь у засвоєнні кальцію та магнію.

Цікавим фактом є те, що засвоєння лактози, в якому активно бере участь фермент лактаза, залежить від віку та належності людини до певної етнічної групи. У дитячому організмі вміст лактази є достатнім для швидкого засвоєння лактози, а в дорослих вже спостерігається певна диференціація в рівні цього ферменту. Зокрема, майже 70 % дорослих європейців мають достатню кількість ферменту лактази та без проблем засвоюють молочний цукор. Але для дорослих корінних жителів Африки та Азійського регіону частка, що має достатній рівень лактази, вже менша ніж 30 %. Лактоза, що не встигає засвоїтися у шлунку, потрапляє в кишківник, де є гарним поживним середовищем для деяких мікроорганізмів.



Рисунок 57. Ілюстративне фото «Молоко»

мів і може спричинити здуття живота, діарею та інші небажані розлади. Лактоза має широке промислове застосування — це стабілізатор у виробництві ліків, поживне середовище для вирощування різноманітних мікроорганізмів. Завдяки стійкості до ферментації лактозу використовують як підсолоджувач у деяких сортах темного пива, такого як стаут.

Посуд і обладнання:

Порцелянова чашка
Стакан хімічний, 100 мл
Піпетка Пастера, 3 мл – 4 од.
Ложка для реактивів
Флакон, 10 мл – 2 од.
Електроплитка
Лійка для фільтрування
Тканина або марля
Електронні ваги
Одноразові рукавички

Реактиви:

Молочна сироватка
Резорцин, 10%-й спиртовий розчин
Сульфатна кислота, H_2SO_4 , конц.
Аргентум нітрат, $AgNO_3$, 0,5%-й розчин
Амоніак, NH_3 , 10%-й розчин
Дистильована вода

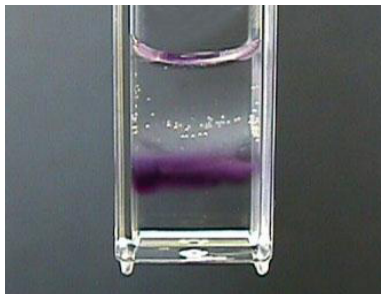
ХІД РОБОТИ**А. Одержання лактози з молочної сироватки**

1. Сироватку, що залишилася після осадження казеїну (див. частину 2 лабораторної роботи № 3), вилити у порцелянову чашку та обережно упарити на електроплитці за помірного нагрівання.
2. Альбумін, що при цьому коагулює, відділити фільтруванням крізь тканину або щільний шар марлі.
3. Очищену від протеїнів сироватку далі випарити до появи перших кристалів лактози.
4. Після охолодження першу порцію кристалів лактози відділити методом декантації.
5. Процес упарювання можна продовжити (не досуха!) і отримати додаткову кількість лактози.
6. Отриману лактозу висушити в сушильній шафі за 60–70 °С і зважити. Розрахувати вміст лактози в отриманому зразку сироватки (молока).

Б. Вивчення властивостей лактози**Реакція Моліша на вуглеводи**

1. Розчинити 0,1 г лактози в 5 мл дистильованої води.

2. У пробірку помістити 1–2 мл досліджуваного розчину та додати 2 краплі 10%-го спиртового розчину резорцину. Суміш ретельно перемішати.
3. Нахилити пробірку та обережно, зливаючи стінкою (не перемішувати!), додати 0,5–1 мл концентрованої H_2SO_4 та повернути посуд зі зразком у вертикальне положення. Рідини з різною густиною утворили два шари.
4. За наявності в досліджуваній суміші вуглеводів на межі поділу двох шарів рідин можна спостерігати появу червоного або фіолетового кільця (рисуюнок 58).



Рисуюнок 58. Реакція Моліша

Реакція срібного дзеркала (реакція на відновлювальні вуглеводи)

1. У пробірку помістити 2 мл досліджуваного розчину та додати 2 мл 0,5%-го розчину AgNO_3 . Суміш ретельно перемішати.
2. Додати до суміші кілька крапель розчину амоніаку для перетворення йонів Ag^+ у комплексні йони $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ та підігріти вміст пробірки на водяній бані впродовж 2–3 хв.
3. За наявності в досліджуваному зразку відновлювальних вуглеводів на стінці пробірки осаджуються наночастинки металічного срібла у вигляді щільного шару металу — «срібного дзеркала».

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

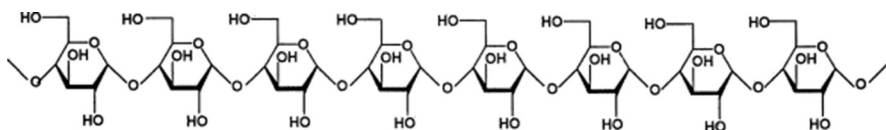
1. Поміркуйте, чи всі молочні продукти, які вам відомі, містять лактозу?
2. Які харчові продукти можна безпосередньо використати для проведення реакції Моліша, а які потребують додаткового оброблення? Поясніть причину та наведіть кілька прикладів.
3. До якого виду хімічних реакцій належить реакція «срібного дзеркала»?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Видобування крохмалю з природної сировини
та вивчення його властивостей

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Крохмаль, $(C_6H_{10}O_5)_n$ — це природний полісахарид, молекули якого складаються з багатьох з'єднаних між собою молекул моносахариду глюкози.



Фрагмент молекули амілози

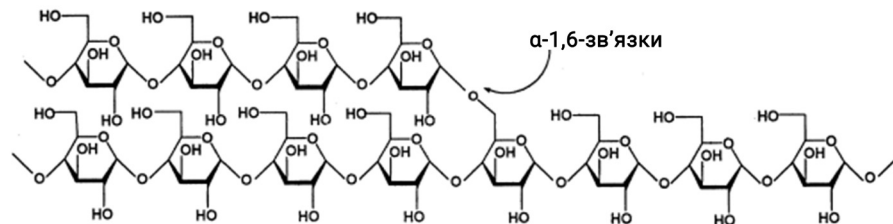
Фрагмент молекули амілопектину з α -1,6-зв'язками

Рисунок 59. Полісахариди крохмалю

Крохмаль — не індивідуальний полімер, а суміш полімерів глюкози, основними складовими якої є макромолекули полісахариду *амілопектину* розгалуженої будови (75–80 %) та довгі лінійні макромолекули полісахариду *амілози* (20–25 %) (рисунки 59). Неозброєне око бачить крохмаль як білий порошок, а під мікроскопом видно, що окремі частинки мають переважно сферичну форму (рисунки 60).

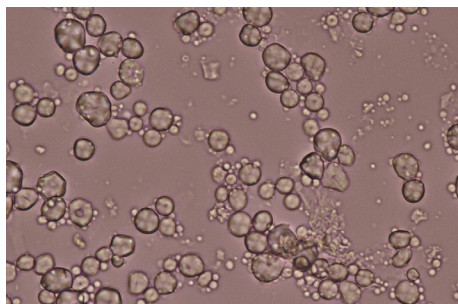


Рисунок 60. Мікрофотографія зерен крохмалю

У природі цей полімер виробляється більшістю зелених рослин, міститься в різних їх частинах і використовується як джерело енергії. І рослини, і тварини отримують енергію у процесі біологічного окиснення моносахаридів, переважно глюкози, яка в живих організмах накопичується у вигляді полімерів — крохмалю або глікогену. За потреби в процесі життєдіяльності ці полімери під дією ферментів руйнуються і знову утворюють моносахарид глюкозу.

Крохмаль є надзвичайно важливим промисловим продуктом. Він використовується як сировина і напівпродукт у харчовій промисловості (приготування кулінарних та кондитерських виробів, напоїв, а також як харчовий стабілізатор), хімічній промисловості (складова екологічно безпечних пакувальних матеріалів, сполучний матеріал для виготовлення паперу, компонент деяких клеїв, в технології виробництва біоетанолу), косметичній та фармацевтичній промисловостях (стабілізатор емульсій, протизлежувальний компонент пігулок та лікарських порошків), будівництві (сировина для виготовлення будівельних сумішей та гіпсокартонних плит), а ще як модифікатор текстильних матеріалів, домішка для коригування в'язкості баластних розчинів під час видобування нафти, у спорті — як припудрювач рук у гімнастів та важкоатлетів, а також має безліч інших застосувань.



Рисунок 61. Крохмалевмісні продукти

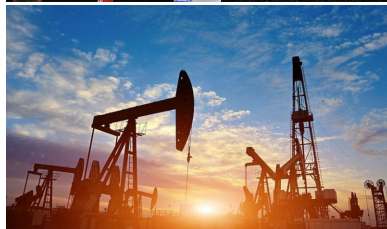


Рисунок 62. Ілюстративні фото
«Крохмаль як сировина»

Посуд і обладнання:

Кристалізатор, 1000 мл
Овочева терка
Стакан пластиковий, 1000 мл
Стакан хімічний, 50 мл
Електронні ваги
Марля
Ложка для реактивів
Одноразові рукавички
Піпетка Пастера, 3 мл – 2 од.
Флакон, 10 мл – 3 од.
Чашка Петрі пластикова
Фарфорова ступка з товкачиком

Реактиви:

Картопля сира
Розчин йоду аптечний розведений
Вода
Зерна ячменю

ХІД РОБОТИ*А. Виділення крохмалю з рослинної сировини*

1. Середню за розміром картоплю очистити від шкірки та натерти на овочевій терці.
2. Зважити отриману перетерту картоплю (мезгу).
3. Загорнути картопляну мезгу в подвійний шар марлі та занурити в стакан з холодною водою.
4. Вміст марлевого мішечка інтенсивно промити у воді, ретельно відтиснути та знову промити.
5. Процедуру промивання багаторазово повторити впродовж 20 хв для повного відділення крохмалю з картопляної мезги.
6. У результаті цієї процедури частинки крохмалю осідають на дно стакана, а клітинні стінки картоплі лишаються в марлевому мішечку.
7. Після осадження крохмалю на дно стакана відділити його від маточного розчину декантацією та кілька разів промити свіжою холодною водою, щоразу чекаючи його осадження на дно посуду.

*Б. Властивості крохмалю**Комплекс крохмалю з йодом*

1. Зважити в стакані 0,1 г крохмалю та додати 10 мл води.
2. Довести отриману суміш до кипіння та прокип'ятити 5 хв до отримання напівпрозорого розчину.
3. Охолодити розчин крохмалю.

4. Відібрати в скляний флакон 3 мл розчину крохмалю та додати 1 краплю розчину йоду. Які зміни відбуваються при цьому?
5. Реакційну суміш обережно нагріти на водяній бані. Що при цьому спостерігається?
6. Охолодити забарвлену суміш. Чи помітні якісь зміни? Сформулюйте висновки за результатами спостережень за поведінкою комплексу крохмалю з йодом.

Стабілізувальна дія крохмалю

1. Відібрати 5 мл розчину крохмалю в чистий скляний флакон.
2. У інший флакон додати 5 мл чистої води.
3. В обидва флакони додати по 2 краплі рослинної олії.
4. Закоркувати скляні флакони гумовими корками та, міцно їх тримаючи, інтенсивно струшувати впродовж 10 секунд.
5. Поставити флакони на стіл та спостерігати за змінами в утворених емульсіях впродовж кількох хвилин. Поясніть зміни, що відбувається при цьому.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Який полімер глюкози утворюється в м'язах людини для акумулювання надлишків вуглеводів та енергії? Як ви вважаєте, чи надовго вистачить запасів цієї речовини, якщо надходження вуглеводів в організм буде припинено?
2. Чому у випадку інтенсивного фізичного навантаження людина повинна час від часу споживати різноманітну солодку їжу (фрукти, солодоці, цукровмісні гелі), а також багато пити? Дайте розгорнуту відповідь.
3. Як ви вже зрозуміли, крохмаль здатний стабілізувати складні суміші несумісних речовин. Як ви вважаєте, які ще речовини здатні проявляти подібні властивості та де в промисловості, наприклад харчовій, це може знадобитися? Наведіть кілька прикладів готових продуктів, де стабілізаційна дія крохмалю або інших речовин використовується.

ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Пророщування ячменю та одержання солоду

1. Вкрити дно чашки Петрі шаром фільтрувального паперу або полотняної тканини.
2. Зерна ячменю обережно змочити невеликою кількістю води та розподілити на вкритій поверхні чашки Петрі.
3. Накрити посуд іншою чашкою Петрі та залишити її в теплом місці за температури 20–25 °С. Час від часу обережно змочувати насінини, не даючи їм можливості висохнути.
4. Через 3–4 доби паростки ячменю вручну відділити від насінин та ретельно розтерти в ступці.
5. Додати до утвореної кашки 20–30 мл води, витримати за 30–40 °С впродовж 40 хв та профільтрувати.
6. Відфільтрований водний розчин використати для експерименту з ферментації крохмалю.



Рисунок 63. Пророщування ячменю

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Одержання мальтози ферментативним гідролізом крохмалю та методи її ідентифікації

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Мальтоза, або солодовий цукор (4-O- α -D-глюкопіранозил-D-глюкоза), є дисахаридом, що складається з двох з'єднаних молекул глюкози (рисунки 64). Одержують мальтозу ферментативним гідролізом крохмалю під дією ферментів паростків ячменю (інша їх назва — солод) — головним чином мальтази. Мальтоза є ізомером цукрози (білого цукру, $C_{12}H_{22}O_{11}$), але на відміну від неї є відновлювальним дисахаридом. Мальтоза має солодкий присмак, але її солодкість у 2 рази менша, ніж у цукрози. Мальтоза є легкозасвоюваним вуглеводом. Мальтазою дріжджів, або кислотним гідролізом, мальтоза далі перетворюється на глюкозу. Цей вуглевод є основним джерелом енергії та поживних речовин насінин у процесі їх пророщування. Також мальтоза у великій кількості міститься в продуктах кислотного та ферментативного гідролізу крохмалю (рисунки 65), зокрема — глюкозному сиропі.

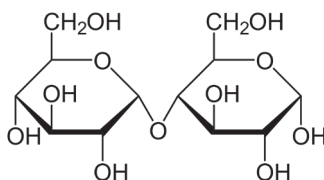


Рисунок 64. Формула мальтози



Рисунок 65. Продукт ферментативного гідролізу крохмалю

ЧАСТИНА 1

ФЕРМЕНТАЦІЯ КРОХМАЛЮ

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 200 мл
Скляна паличка
Мірний циліндр, 50 мл
Лійка для фільтрування
Піпетка Пастера, 3 мл – 2 од.
Предметне скло
Водяна баня
Електроплитка
Електронні ваги
Тканина або марля

Реактиви:

Крохмаль
Подрібнені паростки ячменю (солод)
Розчин йоду
Етиловий спирт
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ

1. Змішати 10 г крохмалю з 10 мл дистильованої води до утворення однорідної суспензії.
2. Додати 70 мл окропу та нагрівати впродовж 1 год до отримання добре провареного напівпрозорого крохмального клейстеру.
3. Отриманий клейстер охолодити до 55 °С, додати екстракт солоду (див. *домашнє завдання до лабораторної роботи № 5*) та ретельно перемішати вміст стакана.
4. Ферментацію крохмального клейстеру проводити на водяній бані за температури 50–60 °С впродовж 3–4 год.
5. По закінченні процесу ферментації суміш охолодити та перевірити кінцевий продукт за допомогою якісної реакції на крохмаль крапельним методом на предметному скельці.
6. Отриману після ферментації суміш профільтрувати для видалення нерозчинних складових та обережно упарити до об'єму 10 мл.
7. Концентрований розчин охолодити, додати 15 мл етилового спирту та ретельно перемішати.
8. Після відстоювання впродовж 12 год обережно перенести піпеткою в інший чистий посуд верхній шар розчину (спиртовий розчин дисахариду мальтози) і використати для подальших дослідів.
9. Нижній в'язкий шар рідини є водним розчином продуктів руйнування крохмалю — декстринів. За бажанням його можна

використати для власних експериментів з ферментативного або кислотного гідролізу полісахаридів до глюкози, дослідів зі зброджування полісахаридів або утилізувати як побічний продукт експерименту.

ЧАСТИНА 2

ПРОБА ВЕЛЬКА НА ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДИСАХАРИДИ⁸

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Проба Велька є одним із найчастіше використовуваних у світовій практиці аналітичних тестів на наявність у досліджуваному зразку відновлювальних дисахаридів. Нагрівання вуглеводів такої будови з амоніаком або амінами в лужних умовах спричиняють конденсацію молекул дисахаридів, що містять кінцеву альдегідну групу, з утворенням складних за будовою та нестабільних продуктів, забарвлених у червоний колір. Моносахариди теж здатні утворювати забарвлені сполуки, але іншого кольору.

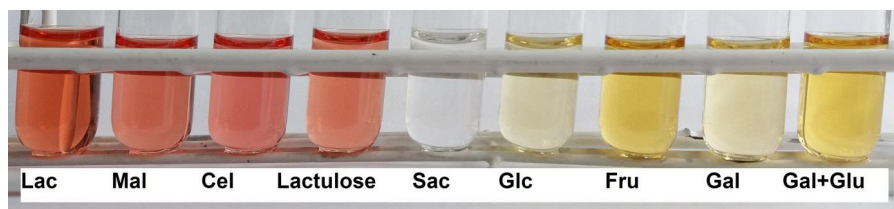


Рисунок 66. Результати проби Велька на різні вуглеводи

(маса досліджуваного зразка вуглеводу 50 мг, об'єм суміші ~4 мл):

Lac – лактоза, Mal – мальтоза, Cel – целобіоза, Lactulose – лактулоза, Sac – цукроза, Glc – глюкоза, Fru – фруктоза, Gal – галактоза, Gal+Glc – суміш галактози й глюкози

Але ця реакція працює не тільки зі зразками чистих вуглеводів. Пробу Велька можна застосовувати для аналізу будь-яких харчових продуктів, що містять у своєму складі вуглеводи.

⁸ https://www.chemistryviews.org/details/education/10821368/150_Years_Alfred_wohlik.html

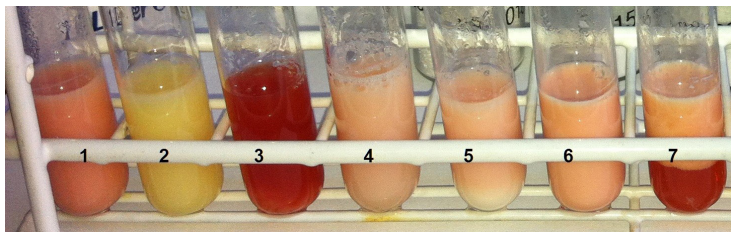


Рисунок 67. Результати проби Велька для різних харчових продуктів:
1) цільне молоко; 2) безлактозне молоко; 3) знежирене молоко; 4) кефір;
5) натуральний йогурт; 6) сухе молоко; 7) сметана

Посуд і обладнання:

Пробірки
Лійка для фільтрування
Ложки для реактивів
Піпетка Пастера, 3 мл – 2 од.
Електроплитка
Водяна баня
Тканина або марля

Реактиви:

Досліджувані розчини вуглеводів
(продуктів, що містять вуглеводи)
Дистильована вода
Калій гідроксид, KOH, 1 М розчин
Амоніак, NH₃, 10%-й розчин

ХІД РОБОТИ

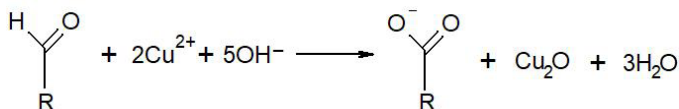
1. Налити в пронумеровані пробірки по 2 мл досліджуваних зразків. Якщо досліджуватимуться харчові продукти, то як зразок порівняння потрібно взяти розчин мальтози або лактози. За бажанням можна також використовувати зразки інших вуглеводів.
2. У кожную пробірку додати по 2 мл розчину амоніаку та по 3 краплі розчину KOH.
3. Вміст пробірок ретельно перемішати впродовж 15–20 секунд.
4. Занурити пробірки у водяну баню, нагріту до 70–80 °С, та нагрівати впродовж 15–20 хв, спостерігаючи за змінами кольору, що відбуваються.
5. За потреби зміни забарвлення досліджуваних розчинів можна фіксувати кожні 5 хв за допомогою фотоапарата (смартфону).
6. За результатами експерименту дійти висновків про тип та будову вуглеводів в обраних для дослідження зразках.

ЧАСТИНА 3

ПРОБА БЕНЕДИКТА НА ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ВУГЛЕВОДИ⁹

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Проба Бенедикта — один з методів визначення відновлювальних вуглеводів — моносахаридів та деяких дисахаридів. Це найбільш вживаний спосіб визначення наявності глюкози в зразках сечі. З точки зору хімії проба Бенедикта є звичайною реакцією відновлення йонів Cu^{2+} в лужному середовищі до жовтого — купрум(I) гідроксиду CuOH та червоного — купрум(I) оксиду Cu_2O .



Але багаторічний досвід успішного застосування цього методу якісного аналізу вуглеводів та ретельне добирання аналітичних реагентів дали змогу суттєво розширити можливості та використовувати цю реакцію для напівкількісного аналізу відновлювальних вуглеводів у невідомому зразку. Залежно від вмісту в зразку та хімічної будови вуглеводу колір реакційної суміші може суттєво відрізнитися:

- **блакитний колір** — відновлювальні вуглеводи відсутні;
- **зелений колір** — вміст відновлювальних вуглеводів від 0,1 до 0,5 %;
- **жовтий колір** — вміст вуглеводів від 0,5 до 1 %;
- **помаранчевий колір** — вміст вуглеводів від 1 до 1,5 %;
- **червоний колір** — вміст вуглеводів від 1,5 до 2 %;
- **темно-червоний колір** — вміст вуглеводів перевищує 2 %.

Цей метод також було модифіковано для точного кількісного аналізу відновлювальних вуглеводів об'ємним (титриметричним) методом.



Рисунок 68. Проба Бенедикта за різного вмісту відновлювальних вуглеводів

⁹ <https://microbiologyinfo.com/benedicts-test-principle-composition-preparation-procedure-and-result-interpretation/>

тричним) методом, використовуючи для цього додатковий реагент – калій тіоціанат (роданід), KSCN.

Посуд і обладнання:

Хімічний стакан, 50 мл – 3 од.
Пробірки
Мірна колба
Ложки для реактивів
Піпетка Пастера, 3 мл – 2 од.
Електроплитка
Водяна баня

Реактиви:

Глюкоза
Зразки, що містять вуглеводи
Натрій карбонат, Na_2CO_3
Натрій цитрат, $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$
Купрум(II) сульфат пентагідрат,
 $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ**А. Приготування реагенту Бенедикта**

1. У хімічному стакані № 1 зважити 10,00 г Na_2CO_3 та розчинити наважку у 20 мл дистильованої води.
2. У хімічному стакані № 2 зважити 17,30 г $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ та розчинити наважку у 20 мл дистильованої води.
3. У хімічному стакані № 3 зважити 1,73 г $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ та розчинити наважку у 20 мл дистильованої води.
4. Змішати розчини Na_2CO_3 і $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$, за інтенсивного перемішування додати розчин CuSO_4 та довести об'єм дистильованою водою до 100 мл.

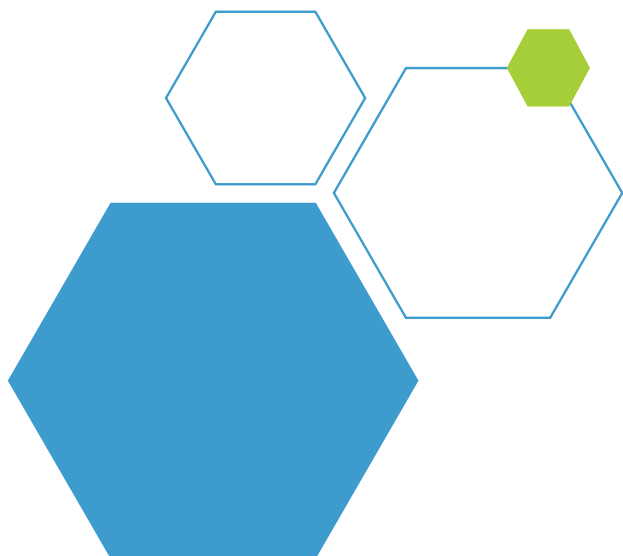
Б. Аналіз зразка за методом Бенедикта

1. Приготувати стандартний розчин відновлювального вуглеводу (наприклад, глюкози) з концентрацією 3 %.
2. Методом розведення приготувати кілька розчинів глюкози різної концентрації від 0,1 до 2 % (див. загальні відомості до цієї роботи).
3. У підписані пробірки додати по 1 мл розчинів глюкози відомої концентрації, досліджуваних розчинів (розчин мальтози та лактози, сироватка, напої, харчові продукти та їх екстракти) та по 2 мл реагенту Бенедикта.
4. Вміст кожної пробірки ретельно перемішати.
5. Пробірки з досліджуваними зразками помістити у водяну баню, доведену до температури кипіння, та нагрівати впродовж 1–2 хв, уважно спостерігаючи за зміною кольору.

6. Охолодити пробірки та порівняти колір реакційної суміші в пробірках зі стандартними та досліджуваними зразками.
7. Дійти висновків за результатами експерименту.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Як ви вважаєте, чому у процесі ферментації крохмалю крім мальтози також утворюються продукти неповного гідролізу крохмалю — декстрини? Чи можна створити умови повного перетворення крохмалю на потрібний дисахарид?
2. Чи можна пробу Велька використовувати для порівняльного аналізу вмісту лактози? Запропонуйте спосіб, як це зробити.
3. Чому, на ваш погляд, за реакцією Бенедикта можна отримати кінцеві суміші різних кольорів? Що є головною причиною такої зміни кольору?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Ферментація глюкози. Спиртове бродіння

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Глюкоза, $C_6H_{12}O_6$ (з грецьк. γλукός («глікос») — солодкий; інші назви — D-глюкоза, D-глюкогексоза, пентагідроксигексаналь, декстроза, кукурудзяний цукор, кров'яний цукор) — природний, найбільш розповсюджений моносахарид, що виробляється більшістю наземних рослин та водоростей з CO_2 та H_2O у процесі фотосинтезу. Глюкоза є основним джерелом енергії в живих організмах (для накопичення та тривалого використання організми утворюють та використовують полімери глюкози, такі як крохмаль (рослини) та глікоген (тварини). Глюкоза — основний вуглевод живих організмів та одна з найважливіших складових процесу метаболізму. Клітини нервової системи, нирок, крові надзвичайно залежні від глюкози як джерела енергії. Протягом доби людина за своєме приблизно 300 г глюкози, що надходить у вільному чи хімічно зв'язаному стані з різноманітних харчових продуктів. Зберігається глюкоза в організмі людини у виді полімеру глікогену в кількості 150 г в печінці та 250 г — у м'язах.

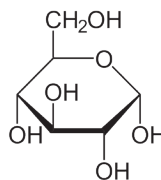


Рисунок 69. Формула глюкози



Рисунок 70. Ілюстративні фото «Глюкоза»

Цікавим фактом є те, що в будь-який час в організмі дорослої людини міститься приблизно 18 г вільної глюкози, з яких понад 20 % (десь 4 г) перебуває в крові. Внутрішній синтез глюкози з інших молекул поживних речовин також можливий і відбувається в нирках та печінці. Зокрема, в печінці дорослого упродовж доби виробляється 180–220 г глюкози.

Глюкоза крім унікальності та користі для життя має й інші властивості. Недостатнє вживання глюкози та продуктів, що її містять,

а також порушення процесів засвоєння глюкози може бути причиною багатьох ускладнень, хвороб (цукровий діабет) та інших прикрих наслідків для всього організму — порушення зору, нормальної роботи нервових клітин, ниркова недостатність тощо.

Крім джерела енергії молекули глюкози є важливим природним конструкційним матеріалом. З глюкози рослини та інші організми, такі як гриби, комахи, будують полімери целюлозу та хітин, які виконують структуроутворювальну функцію та є основною складовою «скелету» наземних і водних рослин, екзоскелету комах та водних тварин. Отже, в живих організмах глюкоза зустрічається у вільному і зв'язаному стані та є головним компонентом низки природних полімерів, міститься в інших біологічно активних молекулах — цукрозі (білий буряковий та тростинний цукор), мальтозі (солодовий цукор), лактозі (молочний цукор), є основною складовою меду. Глюкоза у вільному чи зв'язаному стані міститься в багатьох овочах та фруктах. Чемпіоном за вмістом вільної глюкози є сушені фініки (25 г глюкози + 23 г фруктози в 100 г фруктів). Найбільший вміст хімічно зв'язаної у крохмалі глюкози має білий рис — до 78 %.

У промисловості глюкозу видобувають ферментативним або кислотним гідролізом крохмалю, в результаті якого одержують сироп з вмістом

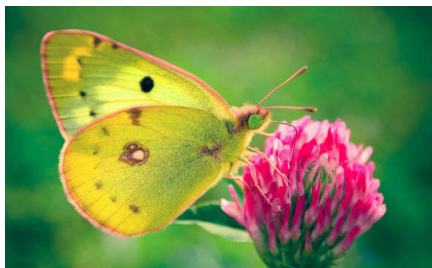


Рисунок 71. Ілюстративні фото
«Глюкоза в природі»

глюкози до 95 %. Глюкоза має солодкий присмак, який майже у 2 рази слабший, ніж в цукрози. Використовують глюкозу в харчовій промисловості для виготовлення цукерок, кондитерських виробів, різноманітних напоїв, в біотехнології — для виробництва розчину оцтової (ацетатної) кислоти (столовий оцет) та низки інших промислово важливих органічних кислот (пропіонової, яблучної, фумарової, глюконової, ітаконової, молочної, винної тощо). Застосовують глюкозу в фармацевтиці як окремий лікувальний препарат, так і добавку до лікарських засобів різної форми. Сполуки з хімічно зв'язаною глюкозою використовують в медицині як трейсер під час томографічних досліджень. Здійснюючи аналіз крові на цукор, мають на увазі саме визначення вмісту вільної глюкози. Цікаво, що за всю історію існування медицини, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), інфузійний розчин глюкози (розчин для внутрішньовенного застосування) є найбільш ефективним та найбільш безпечним лікарським засобом.

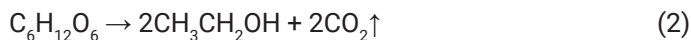
Як вже згадувалось, один з основних процесів промислового застосування глюкози — це біотехнологія, а саме — різноманітні ферментативні процеси її перетворення на інші важливі речовини.

З низки найвідоміших процесів, давно знайомих людству, що відбуваються з участю природних каталізаторів, можна виділити ферментативний гідроліз полісахариду крохмалю ($C_6H_{10}O_5)_n$ до глюкози.



Каталізатором реакції (1) є фермент амілаза. Відомі кілька типів амілаз, наприклад α -, β - та γ -амілаза, що відрізняються за здатністю прискорювати розрив певного типу хімічного зв'язку між молекулами глюкози в її полімерній формі — крохмалі. Цей фермент міститься в слині людини та деяких тварин, у багатьох рослинах та їх насінинах, грибах.

Інший, не менш відомий ферментативний процес — це спиртове бродіння продукту реакції (1) моносахариду глюкози, $C_6H_{12}O_6$.



Реакція (2) відбувається під каталітичним впливом зимази — суміші різноманітних ферментів-протеїнів, які разом сприяють перетворенню $C_6H_{12}O_6$ та деяких інших вуглеводів на етанол та CO_2 . Цей вид ферментації відомий людству зі стародавніх часів та використовувався для виготовлення хліба й приготування напоїв для релігійних обрядів багатьох народів всього світу. Спиртове бродіння — це сукупність біохімічних реакцій поступового перетворення глюкози, а також фруктози,

відомої як виноградний цукор, і цукрози, або звичайного бурякового або тростинного цукру, на етиловий спирт та вуглекислий газ. Хоч як дивно, але і C_2H_5OH , і CO_2 є побічними продуктами цієї реакції. Основним «продуктом» цього процесу, що відбувається в клітинах живих організмів, є енергія.

Крім суттєвого практичного значення процесу спиртового бродіння для людства його важливою особливістю є те, що перебіг цієї складної реакції можна вивчати. Виділити зимазу з природної сировини доволі складно, але можна використати її джерело — *Saccharomyces cerevisiae* (рисунок 72). Цей вид мікроскопічних грибів, більш знайомий нам як дріжджі¹⁰, бере активну участь у ферментативному перетворенні вуглеводів в анаеробних умовах, тобто за відсутності кисню повітря.

Процес спиртового бродіння є одним з найбільш важливих біотехнологічних процесів. У сучасній промисловості його використовують для:

- великотоннажного виробництва етилового спирту, з якого далі одержують один з видів біопалива;
- виробництва хлібобулочних виробів у харчовій промисловості;
- виробництва алкогольних напоїв (пиво, вино, горілчані вироби).

Якщо не зупинити реакцію на стадії утворення етилового спирту, то інші ферменти здатні перетворити його на оцтову (ацетатну) кислоту, CH_3COOH .

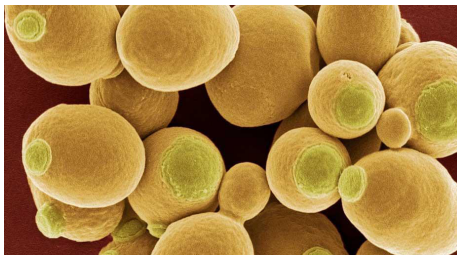


Рисунок 72. Мікрофотографія клітин
Saccharomyces cerevisiae

¹⁰ Дріжджі — одноклітинні мікроорганізми царства грибів, які втратили міцеліальну будову внаслідок переважного існування у рідких та напіврідких середовищах, збагачених органічними сполуками. Це клітини розміром 0,005–0,01 мм, що мають сферичну або еліптичну форму.

ЧАСТИНА 1

ФЕРМЕНТАЦІЯ ГЛЮКОЗИ

Посуд і обладнання:

Конічна колба, 100 мл
Пробірка
Мірний циліндр, 50 мл
Ложки для зважування
Шприц, 20 мл
Флакон, 10 мл
Вата
Електронні ваги
Термометр
Електроплитка
Водяна баня

Реактиви:

Глюкоза, $C_6H_{12}O_6$
Дріжджі
Кальцій гідроксид, $Ca(OH)_2$,
насичений розчин
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ

1. Зважити 5 г глюкози та перенести її в конічну колбу.
2. Відміряти за допомогою мірного циліндра 50 мл теплої ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) води та перелити її в колбу.
3. Вміст колби перемішати коловими рухами до повного розчинення глюкози.
4. Зважити 1 г дріжджів та пересипати їх в колбу з розчином глюкози.
5. Отвір колби закрити ватним тампоном або обережно натягнути на горло колби порожню повітряну кульку.
6. Для активного перебігу реакції ферментації поставити колбу на водяну баню, нагріту до $37\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
7. Спостерігати за перебігом процесу ферментації глюкози.
8. Через 25–30 хв з початку ферментації обережно відкрити отвір колби та набрати за допомогою шприца газ, що виділився в результаті ферментації та збирається в колбі над шаром рідини. Колбу знову щільно закрити ватним тампоном.
9. Повільно пропустити відібраний газ крізь невелику порцію насиченого розчину $Ca(OH)_2$. За потреби — повторити цей процес. Зазначити зміни, що відбуваються під час взаємодії невідомого газу та кальцій гідроксиду.
10. Дійти висновків за результатами спостережень та написати відповідне рівняння реакції.

11. Ферментацію продовжити ще 1–1,5 год до закінчення процесу газоутворення або залишити колбу з реакційною сумішшю до наступного заняття.

ЧАСТИНА 2

ОДЕРЖАННЯ ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

Посуд і обладнання:

Круглодонна колба, 250 мл
Насадка Вюрца, або Кляйзена,
з корком
Термометр зі шліфом
Прямий скляний холодильник
Гумові трубки
Конічна колба, 50 мл – 2 од.
Посуд для зважування
Мірна піпетка, 5, 10 мл
Електронні ваги
Електроплитка (колбонагрівач)

Реактиви:

Реакційна суміш після ферментації
глюкози
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ

1. По закінченні процесу ферментації вийняти ватний тампон з горловини колби.
2. Профільтрувати реакційну суміш крізь шар вати (наявність дріжджів може призвести до значного піноутворення, що заважатиме дистиляції).
3. Перелити фільтрат у круглодонну колбу для дистиляції та додати 1–2 невеликі пористі камінці або скляні капіляри для сприяння рівномірному кипінню суміші.
4. Під наглядом викладача зібрати скляний апарат для дистиляції (рисунки 73).
5. Увімкнути поступове нагрівання та уважно спостерігати за перебігом дистиляції та показниками термометра.
6. Після початку процесу зібрати першу фракцію дистиляту з температурою кипіння менше ніж 76 °C (за наявності) у приймач та злити в посуд з відходами.

7. Встановити попередньо зважений приймач та збирати фракцію за температури кипіння 77–82 °С (температура кипіння етилового спирту – 78 °С).
8. Після досягнення температури 83 °С вимкнути нагрівання.
9. Зважити посуд з дистилятом та розрахувати його масу.
10. Денситометричним методом виміряти густину дистиляту та визначити за допомогою довідника вміст етилового спирту.
11. Розрахувати вихід етилового спирту за реакцією ферментації глюкози.
12. Дійти висновків щодо ефективності процесу ферментації глюкози.

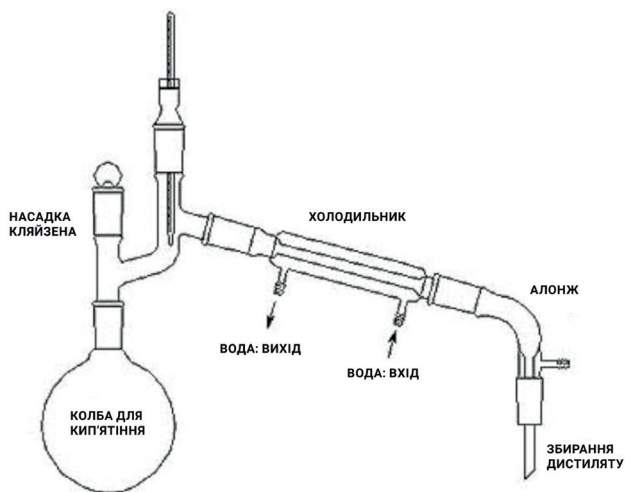


Рисунок 73. Апарат для дистиляції

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поміркуйте, чи є етиловий спирт єдиним продуктом ферментації глюкози? Аргументуйте відповідь.
2. Чому за довідниковими даними температура кипіння етилового спирту вказана як 78 °С, а під час проведення експерименту збирають фракцію з широким інтервалом температури кипіння?
3. Як можна перевірити, чи справді в дистиляті міститься етиловий спирт? Доведіть це експериментальним шляхом.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8**Рослинні олії як сировина для виробництва палива.
Синтез біодизеля з рослинної олії та вивчення його властивостей****ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ**

Застосування природної сировини в традиційних хімічних процесах виробництва продукції й товарів щоденного використання є одним з напрямів біотехнології й так званої «зеленої» хімії. До подібних продуктів також належать біодизель та звичайне мило. На сьогодні дизельне пальне та мило є багатотоннажними продуктами нафтохімічного синтезу. Інакше кажучи, для їх виробництва використовується виключно мінеральна невідновлювальна сировина — нафта. Зменшення об'ємів її використання для виробництва хімічних продуктів дасть змогу зберегти цю дуже цінну сировину для більш важливих потреб і майбутніх поколінь, а також мінімізувати негативні наслідки її видобування для природних екосистем.

*Рисунок 74. Розливання нафти**Рисунок 75. Соняшникова олія*

Сучасні технології ресурсощадження та рівень розвитку хімічної промисловості дають можливість значно зменшити об'єм використання мінеральної сировини та замінити її на природну відновлювальну сировину. При цьому як біодизель, так і мило можна отримати з однієї природної сировини — рослинних олій.

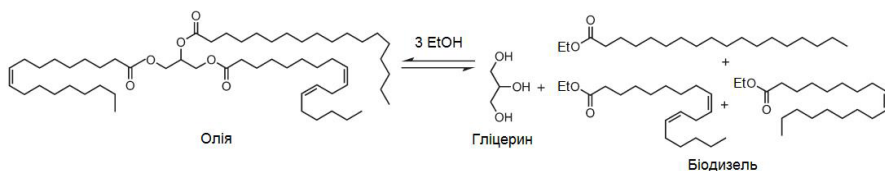
Розвинені країни впевнено крокують у цьому напрямі, для всіх інших економічні причини (суттєве зростання вартості виробництва) і бізнес-інтереси окремих корпорацій уповільнюють цей процес. Стосовно біодизеля варто зазначити, що хоча найбільш перспективними технологіями з точки зору екології та охорони навколишнього середовища є цілковита

відмова від рідкого палива та двигунів внутрішнього згоряння, які на ньому працюють, вирішення цього питання потребує не одного десятиріччя, тому в найближчому майбутньому біодизель є актуальним продуктом, а попит на нього у наступні 20–30 років буде доволі великий.



Рисунок 76. Види рослинних олій

На відміну від реакції гідролізу, за якою одержують мило, схема отримання біодизеля заснована на реакції трансестерифікації, за якою в естерах природного походження (тригліцеридах вищих карбонових кислот) відбувається заміщення вихідного триатомного спирту гліцерину на нижчі первинні одноатомні спирти, наприклад метанол, етанол або навіть пропанол.



Як каталізатор у цій реакції використовують сильні кислоти чи основи. Реакція трансестерифікації під впливом основ відбувається з задовільною швидкістю та доволі високим виходом цільового продукту. Цей процес під час обрання відпрацьованої рослинної олії, наприклад після її використання для приготування їжі, значно ускладнений через високий вміст води, що може призвести до утворення стійких емульсій, та наявність вільних карбонових кислот, здатних деактивувати каталізатори основного типу.

Реакція трансестерифікації під дією кислотних каталізаторів відбувається зі значно меншою швидкістю та потребує надлишку одноатомного спирту. Але водночас вона є менш вимогливою до складу та якості вихідної сировини, а також умов проведення. Тому цей процес є основним методом промислового синтезу екологічного пального. Іноді для підвищення економічності процесу синтезу біодизеля ці процеси об'єднують.

У лабораторній роботі для одержання біодизеля використовувати мемо реакцію трансестерифікації, що каталізується сильною кислотою, а одержаний біодизель дослідимо без застосування специфічних та складних приладів, що зазвичай використовуються в промислових лабораторіях.

ЧАСТИНА 1 СИНТЕЗ БІОДИЗЕЛЯ

Посуд і обладнання:

Мірний циліндр, 50 мл
Колба термостійка, 100 мл, зі шліфом
Зворотний скляний холодильник
Мірна піпетка, 10 мл – 3 од.
Скляна паличка
Пробірка з корком – 2 од.
Лійка
Фільтрувальний папір
Електронні ваги
Електрична плитка
Водяна баня

Реактиви:

Рослинна олія
Етанол або пропан-1-ол
Сульфатна кислота, H_2SO_4 , конц.
Натрій хлорид, NaCl , 1 М розчин
Дистильована вода

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Сульфатна кислота, H_2SO_4 — дуже їдка речовина, сильний окисник, спричиняє загоряння органічних матеріалів. Слід уникати розбризкування розчину і потрапляння на одяг, шкіру та в очі. У разі потрапляння на шкіру та слизові оболонки викликає хімічні опіки. Працювати потрібно у спецодязі.

Етанол, пропанол — легкозаймисті рідини, мають різкий запах. Працювати слід у приміщеннях, де немає джерел відкритого вогню.

Відкрите полум'я. Необхідно працювати уважно, уникати опіків.

ХІД РОБОТИ

1. У колбі зважити 20 г рослинної олії (соняшникової, оливкової, кукурудзяної, можна використати олію після кулінарного оброблення).
2. До олії додати 6 мл 95%-го етилового спирту або 8 мл пропілового спирту та 4 краплі концентрованої H_2SO_4 .
3. У колбу з реакційною сумішшю обережно вставити зворотний скляний холодильник.
4. Зібраний прилад обережно закріпити на штативі, уникаючи надмірних зусиль, і поставити на нагріту до 90–95 °C водяну баню.
5. Витримати реакційну суміш на водяній бані впродовж 1,5–2 год. У випадку сильного кипіння реакційної суміші зменшити температуру водяної бані.

Не залишати робоче місце без нагляду!

6. Охолодити реакційну суміш до кімнатної температури. Зазначити зміни, що відбулися при цьому.
7. Нижній шар суміші (якщо утворився) відібрати піпеткою в окремий посуд. Яка, на вашу думку, хімічна природа цієї рідини? Якщо є можливість, спробуйте підтвердити висновки експериментально.
8. Додати до залишеної в колбі рідини 10 мл 1 М розчину NaCl і перемішати суміш.
9. Після відстоювання нижній шар рідини відділити піпеткою та перенести у посуд з відходами. Повторити процедуру ще 1–2 рази.
10. Залишок у колбі після промивання розчином NaCl є біодизелем, що містить невелику кількість води.
11. Одержаний біодизель висушити додаванням 1–2 г твердого осушувача (прожарені Na_2SO_4 , CaCl_2 або силікагель).
12. Визначити густину одержаного біодизеля денситометричним методом.
13. Дослідити властивості одержаного біодизеля за допомогою наведених нижче загальнодоступних методів.

ЧАСТИНА 2 ШВИДКІСТЬ ЗГОРЯННЯ

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Однією з важливих характеристик рідких видів палива є їх питома швидкість згоряння, тобто час (в секундах), потрібний для згоряння точно вимірної кількості (у перерахунку на 1 мл або 1 г) палива. Залежно від складу палива та його якості цей показник може змінюватись.

Посуд і обладнання:

Бавовняна вата
Порцелянові випаровувальні чашки
Піпетки Пастера, 3 мл
Секундомір
Джерело відкритого полум'я

Реагенти:

Зразки біодизеля

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Відкрите полум'я. Робота з відкритим полум'ям і горючими речовинами потребує суворого дотримання правил техніки безпеки для уникнення опіків і неконтрольованого поширення полум'я — пожежі. Працювати слід у добре вентильованому приміщенні або на відкритому повітрі за відсутності вітру.

До початку роботи прибрати всі легкозаймисті речовини й матеріали!

Не залишати джерела вогню без нагляду!

ХІД РОБОТИ

1. З бавовняної вати сформувати щільні тампони однакової маси й форми у кількості, що відповідає кількості досліджуваних зразків біопалива.
2. Порцелянову чашку помістити на вогнестійку поверхню (кераміка, металева пластина, цегла, бетон) та покласти в неї підготовлений ватний тампон.
3. Змочити ватний тампон 2 мл біодизеля.

4. Одночасно підпалити ватний тампон, змочений біодизелем, та увімкнути секундомір.
5. Відлік часу зупинити, коли полум'я згасне. Наявність диму або тління ватного тампона не враховувати як час горіння палива.
6. Повторити експеримент ще двічі.
7. Розрахувати питомий час горіння біодизеля $t_{\text{бюд}}$ за формулою:

$$t_{\text{бюд}} = \frac{t}{V_{\text{бюд}}},$$

де t — час горіння відміряної кількості біодизеля (с);

$V_{\text{бюд}}$ — об'єм біодизеля, використаний для досліджень (мл).

8. За результатами експерименту заповнити таблицю 5.

Таблиця 5

Зразок біопалива	Вимірювання	Час горіння зразка, t , с	Питомий час горіння, $t_{\text{пит}}$, с/мл
	1		
	2		
	3		
	1		
	2		
	3		
	1		
	2		
	3		

ЧАСТИНА 3

ПИТОМА ТЕПЛОТА ЗГОРЯННЯ

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Найбільш важливою характеристикою будь-якого палива є його питома теплота згоряння. Простіше кажучи — це кількість тепла, що виділяється внаслідок повного згоряння одиниці маси певного типу палива.

Таблиця 6. Питома теплота згоряння деяких видів палива

Паливо	Q, МДж/кг	Паливо	Q, МДж/кг
Порох	5	Дизельне пальне	42
Деревина	10	Нафта	44
Торф	15	Природний газ	44
Тринітотолуол	15	Пропан	46
Кам'яне вугілля	27	Бензин	46
Етиловий спирт	27	Ацетилен, метан	50
Деревне вугілля	34	Водень	120

Зверніть увагу, що метою цієї роботи є ознайомлення з принципом визначення питомої теплоти згоряння палива.

У роботі використовуються прості лабораторні пристрої та методи, точність яких поступається аналітичному обладнанню спеціалізованих лабораторій, тому не слід очікувати від результатів експериментів довідникових даних.

Посуд і обладнання:

Хімічний термостійкий стакан, 50, 100 мл
Алюмінієва фольга
Термометр
Вата
Електронні ваги
Порцелянова випарювальна чашка
Піпетки Пастера, 3 мл
Джерело відкритого полум'я

Реагенти:

Зразки біодизеля

ХІД РОБОТИ

Для визначення теплоти згоряння палива використовують спеціальний прилад — калориметр, який можна зібрати власноруч. Саморобний прилад за точністю буде поступатися сертифікованим аналогам, однак для порівняльного аналізу певних видів палива він цілком підійде.

1. У термостійкому хімічному стакані зважити точну наважку (в межах 20–30 г) дистильованої води (m_{H_2O}). Результат занести в таблицю 7.
2. Обгорнути стакан алюмінієвою фольгою з боків та згори, залишивши у верхній частині отвір для термометра та «спідничку», шириною 1,5–2 см, у нижній частині.
3. Виміряти за допомогою термометра точну температуру води в стакані (T_0). Результат занести в таблицю 7.
4. На порцелянову чашку покласти щільний ватний тампон та змочити його 2–3 мл біодизеля. За величиною раніше виміряної густини розрахувати масу біодизеля ($m_{\text{бюд}}$).
5. Поставити стакан на вогнестійку підставку, а під його «спідничкою» розмістити місткість для згоряння.
6. Підпалити тампон з біодизелем. Верхня межа полум'я від згоряння палива повинна торкатися дна стакана-калориметра.
7. Спостерігаючи за приладом, дочекатися зникнення полум'я та зазначити максимальну температуру води в стакані ($T_{\text{макс}}$). Результат занести в таблицю 7.
8. Розрахувати питому теплоту згоряння Q зразка біодизеля за формулою:

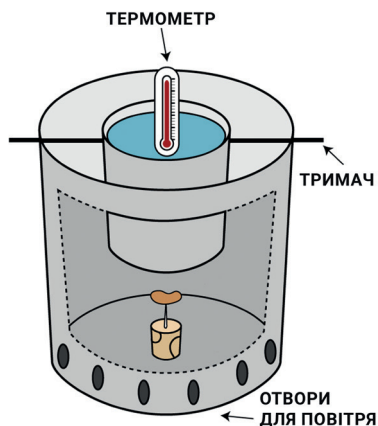


Рисунок 77. Будова калориметра

$$Q = \frac{C_{H_2O} \times (T_{\text{макс}} - T_0) \times m_{H_2O}}{m_{\text{біод}}},$$

де C_{H_2O} — питома теплоємність води, що дорівнює 4,18 кДж/(кг·°C);

$T_{\text{макс}}$ — температура води в калориметрі після згоряння біодизеля (°C);

T_0 — температура води в калориметрі до початку експерименту (°C);

m_{H_2O} — наважка води в стакані-калориметрі (кг);

$m_{\text{біод}}$ — маса біодизеля, взятого для експерименту.

9. Результати розрахунків занести в таблицю 7.

Таблиця 7

Зразок палива	Маса води, m_{H_2O} , кг	Маса палива, $m_{\text{біод}}$, кг	Початкова температура T_0 , °C	Температура після згоряння $T_{\text{макс}}$, °C	Зміна температури, $(T - T_0)$, °C	Питома теплота згоряння, кДж/кг
Етанол						

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які ще, окрім наведених, способи виробництва біопалива ви знаєте? Чи є виробництво біопалива менш шкідливим для довкілля порівняно з нафтохімічним виробництвом? Чи може, на ваш погляд, виробництво біодизеля спричинити негативні наслідки для навколишнього середовища, для людини? Влаштуйте дискусійний клуб з цього питання.
2. Порівняйте результати вимірювань окремих властивостей біодизеля та контрольних зразків (рослинна олія, етанол, бензин тощо).
3. Поміркуйте, який із розглянутих способів перероблення рослинних жирів (олій) є більш екологічним? Чому? Аргументуйте відповіді.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Хімічний і біотехнологічний методи одержання
наночастинок срібла та вивчення їх властивостей

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Розроблення методів створення наноматеріалів, або частинок різної форми, в яких шари та покриття, де хоча б один з лінійних розмірів (довжина, ширина або товщина) менший ніж 100 нм (або 10^{-7} м), вже давно набуло шаленої популярності серед вчених-винахідників і, як результат, високого практичного значення для промисловості й побутових потреб. Зокрема, відкриття нових властивостей у відомих матеріалів шляхом зменшення їх розмірів дало можливість створити сучасні високо-ефективні світлодіоди, комп'ютери, планшети та смартфони, сонячні батареї, тепловізори й інші корисні пристрої. У медичній сфері наноматеріали допомагають досліджувати раніше не відомі біологічні процеси, що забезпечують функціонування живих організмів у надскладних умовах, зрозуміти механізми старіння, отримати нові можливості у діагностуванні та лікуванні смертельних захворювань, розробляти нові види вакцин, створювати методи експрес-аналізу сполук складної будови. Навіть у процесах очищення стічних вод та виготовлення новорічних ялинкових іграшок наноматеріали відіграють помітну роль.



Рисунок 78. Інфографіка «Застосування наночастинок срібла»

Окрема увага, особливо в електронній та медичній галузях, приділяється наночастинкам металів. Наприклад, наночастинки металів відіграють роль високоефективних протимікробних агентів, що крім лікувальної дії сприяють захисту харчових продуктів від передчасного псування, викликаного наявністю небажаних мікроорганізмів. За всі часи найбільш успішне застосування знайшли сполуки та наночастинки срібла, завдяки їх відносно низькій цитотоксичності та безпечності для біологічних систем багатьох живих організмів (рисунки 78).

Щодо сполук срібла зазначимо, що їх протимікробна дія добре вивчена та пов'язана з високою реакційною здатністю йонів Ag^+ стосовно життєво важливих біологічно активних сполук (особливо тих, що містять у складі атоми S та N), наприклад ферментів, що забезпечують процеси життєдіяльності клітин патогенів¹¹. Хімічна взаємодія Ag^+ з такими сполуками робить їх нездатними виконувати основні функції, що спричиняє загибель клітин. До того ж проникнення йонів Ag^+ всередину клітини, завдяки їх окисним властивостям та світлочутливості, зумовлює появу високореакційних вільних радикалів, що прискорюють порушення біохімічних процесів всередині клітин.

У випадку наночастинок срібла (AgNCH) механізм протимікробної дії срібла дещо ускладнюється. Наночастинки металів у високополярних, в тому числі водних, середовищах є нестабільними, особливо за наявності O_2 , та легко йонізуються з утворенням відповідних високоактивних йонів Ag^+ , дію яких описано вище. Але і власне наночастинки металу, завдяки невеликому розміру та високій рухливості, можуть потрапляти всередину клітини мікроорганізмів та зупиняти життєві біохімічні процеси або легко руйнуватися до окремих йонів, активність яких призводить до загибелі клітини.

Стандартна схема утворення AgNCH з солей дуже проста, ззовні майже не відрізняється від традиційного окисно-відновного процесу (рисунки 79).

Як відновники зазвичай використовують неорганічні та органічні сполуки, здатні легко віддавати електрони та окиснюватись, відновлюючи при цьому йони Ag^+ до атомів Ag^0 . Серед великої кількості відновників найбільшої популярності набули натрій борогідрид (NaBH_4),

¹¹ Йони Ag^+ , безумовно, діють і на корисні мікроорганізми та живі клітини. Але застосування йонів Ag^+ у місцях скупчення патогенних мікроорганізмів мінімізує їх негативний вплив.

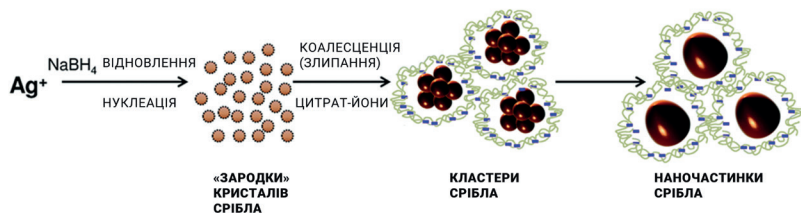


Рисунок 79. Схема утворення наночастинок срібла

гідразин (N_2H_4), глюкоза ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), альдегіди, феноли, деякі інші сполуки. Але наявності лише відновників замало, оскільки під час відновлення відбувається швидка агрегація атомів металу та ріст кристалів срібла до частинок великого розміру (кілька мікрометрів та більше), а також їх осадження на стінки або дно реакційного посуду, що спричиняє значну втрату протимікробної активності. Щоб зупинити процес росту кристалів срібла на стадії утворення AgNH_4 , в реакційне середовище додають так звані сполуки-стабілізатори. Стабілізаторами іноді можуть бути сполуки-відновники або продукти їх окиснення (наприклад, цитрат-йони), але у більшості випадків це добре розчинні сполуки полімерної природи, що мають структурні фрагменти з підвищеною спорідненістю до срібла — полівінілпіролідон, поліакриламід, поліакрилова кислота тощо. Стабілізаторами та відновниками можуть бути й біологічно активні природні речовини, яких багато в природних об'єктах — рослинах та продуктах їх перероблення.

Нині застосовують кілька підходів до одержання AgNH_4 — традиційний хімічний синтез і біотехнологічний шлях. У хімічному способі використовуються сполуки-відновники та стабілізатори, що є звичайними продуктами хімічної промисловості. У біотехнологічному методі замість штучних відновників та стабілізаторів використовують виключно природні реагенти, отримані безпосередньо з рослинної або тваринної сировини — природні фенольні сполуки, органічні кислоти, вуглеводи, біополімери тощо, залежно від природного джерела їх добування.

ЧАСТИНА 1

ХІМІЧНИЙ СИНТЕЗ AgNH_4

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 50 мл
Мірний циліндр, 50 мл
Скляні палички
Піпетки Пастера, 3 мл
Магнітна мішалка з підігрівом

Реактиви:

Аргентум нітрат, AgNO_3 , 1 мМ розчин
Натрій цитрат, $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$, 1%-й розчин
Глюкоза, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, 1%-й розчин
Амоніак, NH_3 , 10%-й розчин
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ

1. Відміряти 25 мл розчину AgNO_3 та нагріти до 90°C .
2. Додати в розчин 2–3 краплі розчину амоніаку.
3. Додати за постійного перемішування 2 мл розчину $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ та 2 мл розчину глюкози.
4. Продовжити перемішування та нагрівання суміші ще 15 хв. Зазначити зміну кольору розчину.
5. Охолодити реакційну суміш до кімнатної температури.

ЧАСТИНА 2

БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ СИНТЕЗ AgNH_4

Посуд і обладнання:

Стакани хімічні, 100 мл – 2 од.
Мірний циліндр, 50 мл
Скляні палички
Піпетки Пастера, 3 мл
Лійка
Магнітна мішалка з підігрівом
Електронні ваги
Фільтрувальний папір

Реактиви:

Рослинна сировина (зелений чай, листя ромашки, свіже зелене листя тощо)
Аргентум нітрат, AgNO_3 , 1 мМ розчин
Дистильована вода

ХІД РОБОТИ

1. Зважити 5 г рослинної сировини та додати 50 мл води.
2. Прокип'ятити суміш впродовж 15 хв та відфільтрувати отриманий рослинний екстракт крізь паперовий фільтр у чистий хімічний стакан.

3. Відміряти 25 мл розчину AgNO_3 та додати 5 мл рослинного екстракту.
4. Прокип'ятити отриману суміш впродовж 20 хв. Зазначити зміну кольору розчину.
5. Охолодити реакційну суміш до кімнатної температури.

ЧАСТИНА 3 ДОСЛІДЖЕННЯ AgNH_4

Посуд і обладнання:

Флакон, 10 мл – 3 од.
Піпетки Пастера, 3 мл
Магнітна мішалка
УФ-спектрометр
Кювети для УФ-спектрометра

Реактиви:

Зразки дисперсій AgNH_4
Нітратна кислота, HNO_3 , 2 М розчин
Хлоридна кислота, HCl , 2 М розчин
Дистильована вода

1. Відібрати 3 мл дисперсії наночастинок срібла, отриманих хімічним шляхом, в кювету для УФ-спектрофотометра.
2. За допомогою УФ-спектрофотометра визначити довжину хвилі (нм), що відповідає максимуму поглинання AgNH_4 , та величину поглинання A (ум. од.).
3. Повторити процедуру для дисперсії AgNH_4 , одержаної біотехнологічним шляхом. Якщо рослинний екстракт має власне забарвлення, то слід окремо виміряти його поглинання з урахуванням розведення екстракту під час синтезу наночастинок металу.
4. Розділити дисперсію наночастинок срібла, одержану хімічним способом, на 3 частини.
5. Першу частину дисперсії AgNH_4 залишити як зразок порівняння.
6. До другої частини дисперсії AgNH_4 додати 3 краплі 2 М розчину HNO_3 та перемішати суміш. Зазначити зміни, що відбулися, і пояснити їх причину та наслідки.
7. До третьої частини дисперсії AgNH_4 додати 3 краплі 2 М розчину HCl та перемішати суміш. Зазначити зміни, що відбуваються.
8. Повторити експерименти зі зразком AgNH_4 , одержаним іншим методом.
9. Усі результати спостережень занести в таблицю 8.

Таблиця 8

Метод тестування	Зразок AgНЧ, одержаний хімічним методом	Зразок AgНЧ, одержаний біотехнологічним методом
Колір розчину		
Максимум поглинання (за УФ-фотометрією), нм		
Поглинання А дисперсії на обраній довжині хвилі		
Дія 2 М HNO_3		
Дія 2 М HCl		

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які основні галузі застосування наночастинок срібла ви знаєте? Чи зустрічали ви продукти, що містять наночастинок срібла, у побуті?
2. Яку роль виконує рослинний екстракт під час одержання дисперсії наночастинок металу?
3. Як ви вважаєте, чи можна безконтрольно використовувати дисперсію наночастинок срібла? Поясніть свою думку.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

Біологічне забруднення водних середовищ. Оцінювання ефективності методів очищення води від бактеріальних забруднень

Сучасні мешканці мегаполісів щодня користуються питною водою з водогону, бутельованою водою та водою з інших джерел. Але мало хто замислюється, як вода з річок, де здійснюється водозабір, із вочевидь не дуже чистої (хто ж наважиться пити воду безпосередньо з річки, навіть якщо викиди в неї промислових відходів є абсолютно виключеними) перетворюється на воду, придатну до вживання без додаткового оброблення споживачем. Таке перетворення стало можливим завдяки багатостадійному процесу її очищення на відповідних підприємствах. Частина цих стадій і шляхи їх реалізації є зрозумілими, як, наприклад, видалення механічних домішок (пісок, завислі частинки мулу тощо), надлишків розчинених неорганічних солей Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , важких металів, органічних речовин, що зазвичай наявні у природній воді й можуть змінювати її смак та завдати споживачеві шкоди.

Але у воді можуть бути наявні й інші забруднювачі, які наражають на небезпеку здоров'я та життя людини. Ці забруднювачі є частиною живої природи й належать до великої групи патогенних (хвороботворних) та умовно патогенних мікроорганізмів. Мікроорганізми є невіддільною складовою природного середовища та завжди є в повітрі, ґрунті, природній воді. Частина їх безпечна для людини та не завдає шкоди у разі потрапляння в організм людини. Але деякі з них, що мають назву «патогенні мікроорганізми», несуть небезпеку для багатьох живих істот. Їх потрапляння в організм людини разом з водою, їжею або повітрям може спричинити захворювання, іноді з дуже серйозними наслідками.



Рисунок 80. Ілюстративне фото
«Забруднена вода»

Тому очищення води від біологічних забруднень є необхідною умовою перед її вживанням.

Процес очищення води від патогенних мікроорганізмів, що спричиняє їх деактивацію та знищення, має назву «дезінфекція». Часто замість дезінфекції використовують термін «стерилізація», але їх не слід плутати, оскільки ці процеси є принципово різними за своєю метою. Дезінфекція — це видалення (деактивація) патогенних мікроорганізмів, а стерилізація — це знищення всіх типів мікроорганізмів, не зважаючи на їх хвороботворність чи корисність.

Взагалі дезінфекцію за природою дезінфекційної дії можна поділити на хімічну та фізичну (таблиця 9). Сполуки або інші зовнішні фактори, що справляють дезінфекційну дію на середовище, називають дезінфектантами.

Таблиця 9

Основні дезінфектанти	
Хімічна дія	Фізична дія
Хлор (Cl_2)	Ультрафіолетове випромінювання (довжина хвилі 254 нм)
Хлор(IV) оксид (ClO_2)	Електронне випромінювання
Хлораміни ($\text{NH}_{2-x}\text{Cl}_x$)	Гамма-випромінювання
Гіпохлорити (ClO^-)	Ультразвук
Озон (O_3)	Нагрівання
Йони та наночастинки металів (Cu^{2+} , Ag^+)	
Перманганати (KMnO_4)	
Спирти та феноли	
Катіонні ПАВ (як $\text{R}_4\text{N}^+\text{An}^-$)	
Гідроген пероксид (H_2O_2)	

Кожен із зазначених дезінфекційних засобів має високу активність у процесах очищення води від біологічних забруднень та певну сферу застосування. Докладний їх розгляд можна знайти в літературі. Зупинимося лише на кількох з них, які мають особливе значення для нашого повсякденного життя.

До найбільш поширених дезінфекційних засобів належать реагенти, що містять активний хлор (Cl_2 , ClO_2 , $\text{NH}_{2-x}\text{Cl}_x$ та OCl^-), йони Ag^+ і наночастинки срібла, та звичайне кип'ятіння.

ЧАСТИНА 1

ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ХЛОРУВАННЯМ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗЧИНУ NaClO

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Хлорування води – це розповсюджений спосіб очищення питної води від біологічних забруднень. В Україні понад 80 % води, що використовується в домогосподарствах і на соціальних об'єктах, очищується саме у такий спосіб. Ефективність цього методу очищення води від окремих видів патогенних мікроорганізмів у порівнянні з УФ-опроміненням можна побачити на [рисунок 82](#).



Рисунок 81. Хлорування води

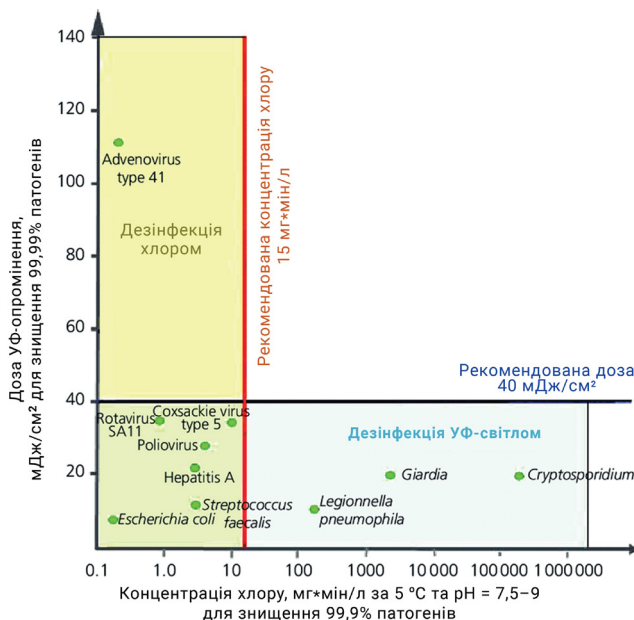
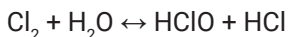


Рисунок 82. Порівняння ефективності хлорування та УФ-оброблення води

Всесвітня організація з охорони здоров'я (ВООЗ) визначає хлорування як ефективний метод очищення питної води. Відповідно до вимог ВООЗ концентрація вільного (активного) хлору, що забезпечує задовільний рівень очищення води¹², становить 0,5 мг/л. Слід пам'ятати, що для кожного типу хлоровмісного дезінфектанту вміст вільного хлору розраховується окремо.

Як можна визначити вміст вільного хлору в розчині NaClO?

Розглянемо реакцію взаємодії хлору з водою.



Під час взаємодії 1 моль хлору з водою утворюється 1 моль гіпохлоритної кислоти або, іншими словами, окиснювальна та, відповідно, дезінфекційна спроможність розчину 1 моль хлору у воді тотожна дії 1 моль HClO (або NaClO). Отже, концентрація вільного хлору у водному розчині NaClO, відомому нам з магазинів господарських товарів як відбілювач «Білизна», можна розрахувати за таким співвідношенням:

$$C_{\text{Cl}_2-\text{act}} = C_{\text{NaClO}} \times \frac{M_{\text{Cl}_2}}{M_{\text{NaClO}}},$$

де: $C_{\text{Cl}_2-\text{act}}$ — концентрація активного хлору у водному розчині (мг/л);

C_{NaClO} — концентрація NaClO у водному розчині (мг/л);

M_{Cl_2} — молярна маса хлору (70,9 г/моль);

M_{NaClO} — молярна маса NaClO (74,4 г/моль).

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 100 мл

Скляна паличка

Піпетки Пастера стерильні

Мірний циліндр, 100 мл

Реактиви:

Проби природної води

Натрій гіпохлорит, NaClO, комерційний розчин (засіб «Білизна»)

¹² Backer H. Water Disinfection for International and Wilderness Travelers. *Travel Medicine*. 2002. Vol. 34. P. 355.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Натрій гіпохлорит, NaClO — їдка речовина, що має сильнолужні властивості. Окисник. У разі контакту зі шкірою може спричинити опіки. Під час дії розчину виділяється дуже токсичний газуватий хлор.

ХІД РОБОТИ

1. Відміряти 100 мл досліджуваної води та виміряти її температуру.
2. Додати розраховану кількість розчину NaClO (за потреби його можна попередньо розбавити). Ретельно перемішати отриманий розчин.
3. Витримати розчин за температури 25 °C впродовж 60 хв. Нижча температура зразка неочищеної води потребує збільшення часу витримання.
4. Очищену воду слід використати для мікробіологічних досліджень (див. частину 4 цієї роботи).

ЧАСТИНА 2

ТЕРМІЧНИЙ МЕТОД ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВОДИ

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Відпочинок на природі у літню спеку зазвичай потребує великої кількості води, а запасів, взятих з дому, може не вистачити. На допомогу шанувальникам природи завжди прийде простий та найбільш вживаний спосіб дезінфекції — кип'ятіння (або термічний метод оброблення) природної води.

У таблиці 10 можна ознайомитись з даними щодо стійкості основних груп патогенних мікроорганізмів до дії високих температур.



Рисунок 83. Ілюстративне фото
«Кип'ятіння води в природних умовах»

Таблиця 10

Вид мікроорганізмів	Хвороба або шкідливі наслідки	Умови знищення (температура та час оброблення)
<i>Giardia</i>	Порушення функціонування шлунково-кишкового тракту, порушення обміну речовин	70 °С, 10 хв
<i>Cryptosporidium</i>	Порушення роботи системи травлення, діарея	72 °С, > 1 хв
<i>Escherichia coli</i>	Порушення роботи системи травлення, діарея	70 °С, 1 хв
<i>Salmonella, Shigella, Campylobacter</i>	Сальмонельоз, порушення роботи системи травлення, діарея	65 °С, 3 хв
<i>Vibrio cholerae</i>	Холера	98 °С, 10 с
<i>Enteric</i>	Порушення роботи системи травлення, діарея	70 °С, > 1 хв
<i>Hepatitis A</i>	Гепатит, ураження печінки	98 °С, 1 хв

Отже, термічне оброблення є ефективним способом очищення води від біологічних патогенів. Оскільки приготування їжі є доволі тривалим процесом, немає сумнівів, що ефективність цього методу є достатньою для захисту від біологічних забруднень води¹³.

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 100 мл
Мірний циліндр, 100 мл
Скляна паличка
Піпетки Пастера стерильні
Електроплитка

Реактиви:

Проби природної води

¹³ Стосується лише очищення води від патогенних мікроорганізмів. У процесі життєдіяльності деякі види мікроорганізмів виробляють певні сполуки, які є вкрай небезпечними для людини (ми називаємо їх токсинами). Термічне оброблення зазвичай не спричиняє їх руйнування та знешкодження. Також термічне оброблення не завжди захищає людину від органічних або неорганічних забруднень.

ХІД РОБОТИ

1. Відміряти 100 мл досліджуваної води з природного джерела у термостійкий хімічний посуд.
2. Помістити посуд зі зразком води на нагрівальний пристрій і обережно нагріти його вміст до кипіння.
3. Тривалість термічного оброблення за температури кипіння становить 10 хв від початку кипіння.
4. Обережно зняти посуд зі зразком води з нагрівальної поверхні та накрити його харчовою плівкою для уникнення контакту зразка води із зовнішнім середовищем.
5. Охолодити зразок води до кімнатної температури.
6. Використати оброблену воду для мікробіологічних досліджень (див. частину 4 цієї роботи).

ЧАСТИНА 3 ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Йони Ag^+ , а також продукти їх відновлення та агрегації, такі як наночастинки срібла, є ефективними дезінфекційними засобами. На сьогодні доведено дезінфекційну активність Ag^+ до більш ніж 600 видів патогенних мікроорганізмів.

Не секрет, що споконвіку люди використовували вироби з металічного срібла у різних сферах життя — як прикраси, дзеркала, посуд. З погляду науки використання срібного посуду нашими предками є найцікавішим, адже окрім покращення «іміджу» і підвищення статусу власників такого посуду він має ще й корисну дію. Багаторічні спостереження виявили, що контакт харчових продуктів зі сріблом забезпечує їх більш тривале зберігання. Наприклад, наші прашури для зберігання питної води в закритій місткості занурювали у воду виріб з металічного срібла (прикрасу,



Рисунок 84. Системи знезараження води наночастинками срібла

ложку тощо), що забезпечувало захист питної води від цвітіння (появи та розмноження мікроорганізмів та водоростей).

Чому це так добре працює? Як виявилось, саме завдяки протимікробній активності сполук Ag. Безумовно, використання розчинних сполук Ag^+ є набагато ефективнішим, але срібло — це важкий метал, тому може бути небезпечним для всіх живих організмів. Водночас наночастинки срібла, попри їх високу хімічну активність, йонізуються повільніше та безперервно утворюють певну кількість йонів Ag^+ , що є менш шкідливим для корисних живих клітин. До того ж самі наночастинки срібла успішно атакують патогени та знешкоджують їх. Але чи достатньо дієвим є введення наночастинок срібла в зразок природної води, щоб забезпечити необхідний рівень очищення? Спробуємо перевірити.

Посуд і обладнання:

Стакан хімічний, 100 мл
Скляна паличка
Піпетки Пастера стерильні
Мірний циліндр, 100 мл

Реактиви:

Проби природної води
Дисперсія наночастинок срібла

ХІД РОБОТИ

1. Відміряти 100 мл досліджуваної природної води.
2. Додати в посуд з водою 0,5 мл дисперсії наночастинок срібла.
3. Герметично закрити посуд харчовою плівкою для уникнення контакту зразка води із зовнішнім середовищем.
4. Витримати зразок води впродовж 60 хв, час від часу збовтуючи коловими рухами вміст посуду.
5. Перевірити ефективність обробленої води від біологічних забруднень за допомогою мікробіологічних тестів (див. частину 4 цієї роботи).

ЧАСТИНА 4

МІКРОБІОЛОГІЧНЕ ТЕСТУВАННЯ ЗНЕЗАРАЖЕНОЇ ВОДИ

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Для оцінювання ефективності очищення води від біологічних забруднень необхідно провести мікробіологічне тестування зразків води на наявність життєздатних мікроорганізмів. Після процедури посіву та

виращування за стандартними методиками потрібно провести оцінювання наявності мікроорганізмів у зразках обробленої води та в неочищеній воді, а також порівняльний аналіз ефективності кожного з використаних методів очищення.

Посуд і обладнання:

Хімічний стакан або колба, 200 мл
Чашка Петрі — 4 од.
Шпатель Дригальського — 4 од.
Піпетка Пастера стерильна — 4 од.
Електроплитка
Тканинні рукавички

Реактиви:

Зразок неочищеної природної води
Зразки дезінфікованої природної води
Агаризоване поживне середовище

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Проведення **мікробіологічних тестів** потребує спеціальних умінь та навичок роботи з мікробіологічними об'єктами і суворого дотримання:

- правил особистої гігієни;
- правил використання засобів індивідуального захисту.

Це необхідно для уникнення потрапляння «об'єктів» дослідження у власний організм через дихальні шляхи, слизові оболонки рота, очей, пошкоджені ділянки шкіри (подряпини, рани тощо).

ХІД РОБОТИ

У роботі наведено загальну схему проведення мікробіологічних тестів!

Підготувати зразок неочищеної води (зразок порівняння) та зразки води, оброблені різними методами.

А. Підготовка чашок Петрі з поживним середовищем

1. На водяній бані обережно розігріти агаризоване поживне середовище у кількості, достатній для приготування необхідної кількості тестових чашок Петрі.

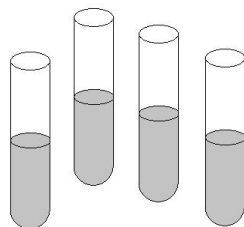


Рисунок 85. Зразки води

2. Рідке агаризоване поживне середовище розлити у чашки Петрі для отримання рівномірного тонкого шару на всіх поверхнях нижньої частини чашок Петрі.
3. Охолодити чашки Петрі впродовж 10–15 хв до повного затвердіння поживного середовища.

Б. Посів бактеріальної культури на тверде поживне середовище

1. Провести посів бактеріальної культури методом виснажувального штриха. Для цього на поверхню поживного середовища чашки Петрі № 1 стерильною піпеткою нанести 0,1 мл зразка необробленої природної води та обережно розтерти його стерильним шпателем Дригальського по всій поверхні шару поживного середовища.
2. Аналогічним способом приготувати інші чашки Петрі, використовуючи оброблені зразки води (див. частини 1–3 цієї роботи). Підписати чашки Петрі належним чином.
3. Чашку Петрі з нанесеними зразками води закрити кришкою та перевернути догори дном для уникнення потрапляння конденсату з кришки на поверхню поживного середовища (краплі конденсованої води можуть розмити ізольовані колонії та зіпсувати результат досліджу).
4. Чашку Петрі позначити таким написом: найменування зразка води (або методу її очищення), дата і час посіву, прізвище дослідника (групи дослідників).



Рисунок 86. Підготовка поживного середовища

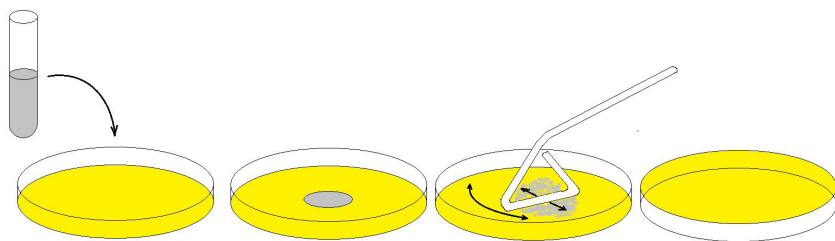


Рисунок 87. Посів бактеріальних культур

В. Вирощування бактеріальних культур

1. Усі чашки Петрі з посіяними культурами слід розмістити в термостаті за температури 37 °C (або в теплому місці, захищеному від прямих сонячних променів).
2. Витримати чашки Петрі з посіяними культурами в інкубаторі впродовж 16 год.

Г. Аналіз результатів мікробіологічних тестів

1. По завершенні інкубування провести якісне та кількісне оцінювання ефективності кожного з методів очищення води. Спостереження провести неозброєним оком або за допомогою оптичного мікроскопа (за потреби).
2. Порівняти кількість та розмір колоній мікроорганізмів, що висіялися з проб неочищеної та очищеної води.
3. За результатами виконаних дослідів сформулюйте висновки про ефективність використаних методів очищення води та їх придатність для побутового використання.

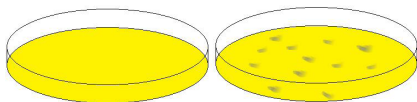


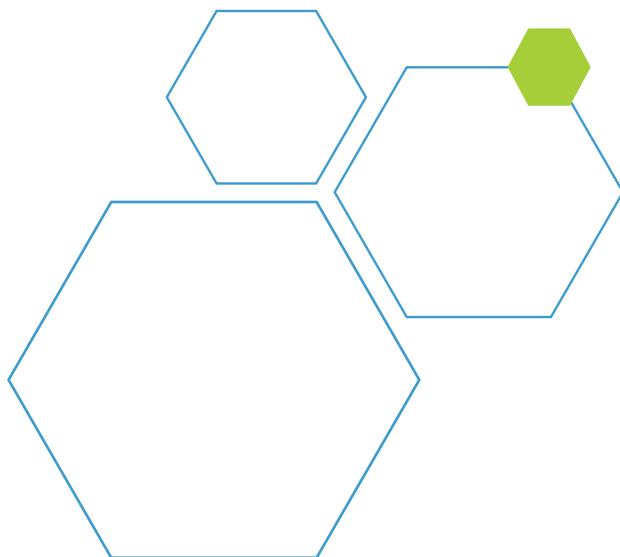
Рисунок 88. Бактеріальні культури

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які, на вашу думку, хімічні процеси покладено в основу дезінфекційної (протимікробної) дії хлору та інших хімічних засобів очищення води?
2. Поміркуйте, чи зможе використання лише термічного оброблення води з природних джерел забезпечити задовільний захист людини від забруднень біологічного походження?
3. Використовуючи характеристики наданого (або придбаного у господарчій крамниці) розчину NaClO розрахуйте масу, яку потрібно додати в зразок води для забезпечення необхідного рівня її біологічної безпеки для людини.
4. Як ви вважаєте, чи всі із запропонованих методів очищення води придатні для побутового використання? Аргументуйте вашу відповідь.

Література

1. Bajpai P. Biotechnology in the chemical industry. Towards a Green and Sustainable Future. Amsterdam : Elsevier Inc., 2020. 237 p.
2. Jha A. K., Kumar U. Recent advances in Chemical Sciences and Biotechnology. New Delhi : New Delhi Publishers, 2019. 259 p.
3. Gavrilescu M., Yusuf C. Biotechnology — a sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnol. Adv.* 2005. Vol. 23. P. 471–499.
4. Singh R. S., Pandey A., Larroche C. Advances in Industrial Biotechnology. New Delhi : Wiley India Pvt. Ltd., 2022. 532 p.
5. Young Alvin L. Biotechnology for Food, Energy, and Industrial Products. New Opportunities for Bio-based Products. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2003. Vol. 10. P. 273–276.



Список ілюстрацій

- С. 8 *Рисунок 1. Хімічні реактиви*
URL: <https://univermagosvity.com/image/cache/catalog/kita-j/2014250-255x320.jpeg> (дата звернення: 10.02.2023)
- С. 9 *Рисунок 2. Правила техніки безпеки*
URL: <https://svitppt.com.ua/images/30/29344/770/img36.jpg>
(дата звернення: 11.02.2023)
- С. 13 *Рисунок 3. Засоби домедичної допомоги*
URL: https://cdn.abo.media/upload/article/o_1gfb84k6p1vjv1o-el1sfrihn1obh1u.jpg (дата звернення: 11.02.2023)
- С. 17 Блок-схема «Напрями біотехнології», автор — Толстов О. Л.
- С. 18 *Рисунок 4. Ілюстративне фото «Медична біотехнологія»*
URL: <https://www.en.aau.dk/education/master/biotechnology/medical-biotechnology> (дата звернення: 16.02.2023)
- С. 19 *Рисунок 5. Ілюстративне фото «Агропромислова біотехнологія»*
URL: <http://english.iut.ac.ir/departement-of-agricultural-biotechnology> (дата звернення: 15.02.2023)
- С. 19 *Рисунок 6. Інфографіка «Переваги впровадження методів харчової біотехнології», автор — Толстов О. Л.*
- С. 20 *Рисунок 7. Ілюстративне фото «Біотехнологія довкілля»*
URL: <https://www.weizmann-usa.org/news-media/feature-stories/fueling-the-future/> (дата звернення: 20.02.2023)
- С. 21 *Рисунок 8. Ілюстративне фото «Біотехнологія продуктів хімічного виробництва»*
URL: https://www.storagetankindia.com/bio_fermenter.html
(дата звернення: 02.03.2023)
- С. 22 *Рисунок 9. Ілюстративне фото «Біотехнологія Світового океану»*
URL: http://www.coastalwiki.org/wiki/Marine_Biotechnology_securing_Human_Health (дата звернення: 25.02.2023)
- С. 23 *Рисунок 10. Просторова будова протеїну-антифризу та адсорбційна модель запобігання росту кристалів льоду*
URL: <https://alchetron.com/Antifreeze-protein> (дата звернення: 23.02.2023)

- C. 23 *Рисунок 11. Медуза Aequorea victoria*
URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Aequorea>
(дата звернення: 03.03.2023)
- C. 24 *Рисунок 12. Продуктування та функції кальцитоніну в організмі*
URL: <https://www.news-medical.net/health/Uses-of-Calcium.aspx>
(дата звернення: 06.03.2023)
- C. 25 *Рисунок 13. Структура кісткової тканини*
URL: <https://www.oatext.com/effects-of-hydroxyapatite-nanoparticles-on-liver-enzymes-and-blood-components.php> (дата звернення: 14.03.2023)
- C. 25 *Рисунок 14. Мушля з волокнами бісусу*
URL: <https://www.npr.org/2010/03/05/124319594/mighty-mussels-have-industrial-strength> (дата звернення: 13.03.2023)
- C. 26 *Рисунок 15. Структурна формула тетродотоксину*
URL: https://www.researchgate.net/publication/45589632_Toxins_of_Pufferfish_That_Cause_Human_Intoxications (дата звернення: 08.03.2023)
- C. 26 *Рисунок 16. Риба фугу*
URL: <https://pro-fish.com.ua/432-riba-fugu-yak-viglyadaie-de-voditsya-chim-kharchuietsya.html> (дата звернення: 15.03.2023)
- C. 27 *Рисунок 17. Ілюстративне фото «Сировина для біотехнології»*
URL: <https://biz.nv.ua/ukr/chista-energiya-dlya-novoji-ukrajini/zelena-energiya-i-biopalivo-dosvid-ukrajini-yevropi-ta-ameriki-50112746.html> (дата звернення: 19.03.2023)
- C. 30 *Рисунок 18. Ілюстративне фото «Основні продукти хімічної промисловості»*
URL: <https://epufloor.pl/0-firmie/> (дата звернення: 12.03.2023)
- C. 30 *Рисунок 19. Ілюстративне фото «Продукти малотоннажного хімічного виробництва»*
URL: <https://www.pinterest.com/pin/577023770979345888/>
(дата звернення: 23.03.2023)
- C. 30 *Рисунок 20. Ілюстративне фото «Товари для догляду»*
URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/hul-products-6440578412.html> (дата звернення: 06.03.2023)
- C. 31 *Рисунок 21. Ілюстративне фото «Життєво важлива хімічна продукція»*
URL: <https://med.chuguev-rada.gov.ua/info/page/13> (дата звернення: 04.03.2023)

- С. 37 *Рисунок 22. Картопляна хвороба хліба*
URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B0_%D1%85%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B0_%D1%85%D0%BB%D1%96%D0%B1%D0%B0 (дата звернення: 23.03.2023)
- С. 37 *Рисунки у таблиці 2. Структурні формули протейнів*
URL: <https://www.rcsb.org/> (дата звернення: 30.03.2023)
- С. 39 *Рисунок у таблиці 2. Вакцини*
URL: <https://www.pravda.com.ua/news/2021/04/14/7290101/> (дата звернення: 30.03.2023)
- С. 42 *Рисунок 23. Ізмери талідоміду*
URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thalidomide> (дата звернення: 14.03.2023)
- С. 43 *Рисунок 24. Препарат цефалексин*
URL: <https://zdravica.ua/cefaleksin-kaps-250-mg-blister-20-of-00019930> (дата звернення: 14.03.2023)
- С. 45 *Рисунок 25. Формула лимонної кислоти*
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Citric_acid (дата звернення: 01.03.2023)
- С. 45 *Рисунок 26. Чорна цвіль (*Aspergillus niger*)*
URL: <https://www.actasdermo.org/es-proximal-subungual-onychomycosis-due-aspergillus-articulo-S1578219017300859> (дата звернення: 15.02.2023)
- С. 46 *Рисунок 27. Формула молочної кислоти*
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Lactic_acid (дата звернення: 01.03.2023)
- С. 46 *Рисунок 28. Формула пропан-1,3-діолу*
URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/1,3-Propanediol> (дата звернення: 01.03.2023)
- С. 47 *Рисунок 29. Формула L-лізину*
URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lysine> (дата звернення: 01.03.2023)
- С. 47 *Рисунок 30. Формули:*
а) L-глутамінової кислоти
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Glutamic_acid (дата звернення: 01.03.2023)
б) натрій глутамату
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Monosodium_glutamate (дата звернення: 01.03.2023)

- C. 48 *Рисунок 31. Ілюстративне фото «Органічні розчинники»*
URL: <https://www.wigmoreonalcohol.com/volatile-organic-compounds-and-breathalyzer-results/> (дата звернення: 26.03.2023)
- C. 49 *Рисунок 32. Ілюстративне фото «Біопластики»*
URL: <https://behsazanpolymer.com/disposable-vegetable-dishes/?lang=en> (дата звернення: 23.03.2023)
- C. 49 *Рисунок 33. Формула полігідроксиалканоатів (PHA)*
URL: <https://de.frwiki.wiki/wiki/Polyhydroxyalcanoate> (дата звернення: 01.03.2023)
- C. 51 *Рисунок 34. Інфографіка «Сировина для виробництва біопластиків»*
URL: <https://www.essentracomponents.com/en-gb/news/manufacturing/sustainability/sustainable-manufacturing-what-bioplastics-means-for-your-business> (дата звернення 26.02.2023)
- C. 52 *Рисунок 35. Природні барвники та їх джерела*
URL: <https://www.thegoodtrade.com/features/diy-natural-fabric-dye/> (дата звернення: 01.04.2023)
- C. 53 *Рисунок 36. Ілюстративне фото «Ароматизатори»*
URL: <https://pharmaeducation.net/flavoring-agents-in-pharmaceutical-formulations/> (дата звернення: 15.03.2023)
- C. 54 *Рисунок 37. Схема одержання ваніліну – штучного аналога природного ароматизатора*
URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Technological%2C-Commercial%2C-Organizational%2C-and-of-a-Wong/90e02469e6d061842f0937fdcf48dc9084996ead/figure/1> (дата звернення: 01.03.2023)
- C. 56 *Рисунок 38. Ферментативний гідроліз крохмалю, автор – Толстов О. Л.*
- C. 56 *Рисунок 39. Ілюстративне фото «Глюкозний сироп»*
URL: <https://ukr.media/medicine/420344/> (дата звернення: 13.03.2023)
- C. 57 *Рисунок 40. Ілюстративне фото «Хлібобулочні вироби»*
URL: <https://ukr.media/medicine/291184/> (дата звернення: 18.03.2023)
- C. 57 *Рисунок 41. Ілюстративне фото «Молочні вироби»*
URL: <https://www.meeyazhorganics.com/> (дата звернення: 19.03.2023)

- С. 58 *Рисунок 42.* Ілюстративне фото «Технологія виробництва пива»
URL: <https://www.manchestereveningnews.co.uk/whats-on/food-drink-news/popular-manchester-brewery-opening-new-21715534>
(дата звернення: 02.03.2023)
- С. 59 *Рисунок 43.* Ілюстративне фото «Міцні алкогольні напої»
URL: <https://www.eater.com/drinks/2015/10/28/9579713/different-scotch-whisky> (дата звернення: 21.02.2023)
- С. 60 *Рисунок 44.* Ілюстративне фото «Тваринні корми»
URL: <https://agroexpert.ua/v-ukraini-mozhe-vyynyknuty-brak-kormiv/> (дата звернення: 15.02.2023)
- С. 66 *Рисунок 45.* Схема виробництва біопалива з використанням мікроорганізмів
URL: <https://www.eurekalert.org/news-releases/658764>
(дата звернення: 14.03.2023)
- С. 68 *Рисунок 46.* Схема виробництва паперу
URL: <https://www.cepi.org/about-cepi/history-of-pulp-paper/>
(дата звернення: 14.03.2023)
- С. 71 *Рисунок 47.* Ілюстративне фото «Натуральні барвники»
URL: <http://zdorovia.com.ua/vitamini/36240vitamini-ta-minerali-yaki-prishvidshat-shudnennya.html> (дата звернення: 03.04.2023)
- С. 74 *Рисунок 48.* Ілюстративне фото «Апельсин»
URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/orange-peel-powder-citrus-sinensis-peel-powder-orange-thol-powder-26140474312.html>
(дата звернення: 04.04.2023)
- С. 78 *Рисунок 49.* Біорозкладний пластиковий посуд
URL: <https://www.goodnet.org/articles/5-biodegradable-plastic-companies-for-greener-future> (дата звернення: 05.04.2023)
- С. 78 *Рисунок 50.* Гранульований пакувальний біопластик
URL: <https://amcokft.hu/AMCO-Biologiailag-lebomlo-terkitolto-hab-feher> (дата звернення: 05.04.2023)
- С. 78 *Рисунок 51.* Харчова пакувальна плівка з біопластику
URL: <https://www.plasticstoday.com/perstorp-boosts-activities-bioplastics> (дата звернення: 05.04.2023)
- С. 78 *Рисунок 52.* Біопластик на основі крохмалю
URL: <https://www.pref.miyagi.jp/documents/21342/654523.pdf>
(дата звернення: 05.04.2023)

- C. 79 *Рисунок 53. Біопластик на основі целюлози*
URL: <https://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/20190926Green-Science-Alliance-Co--Ltd--produces-first-biodegradable-biocomposite-bottle-.php> (дата звернення: 06.04.2023)
- C. 80 *Рисунок 54. Біопластик на основі протеїнів*
URL: <https://www.dezeen.com/2016/06/24/tesa-silva-dawson-royal-college-of-art-rca-graduate-show-2016-design-plastics-milk-sustainable/> (дата звернення: 06.04.2023)
- C. 80 *Рисунок 55. Посуд з полілактиду*
URL: <https://goinggreensolutions.com.au/biodegradable-pla-cups-lids-pla-cup-420-ml.html> (дата звернення: 06.04.2023)
- C. 88 *Рисунок 56. Формула лактози*
URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%B0> (дата звернення: 01.03.2023)
- C. 88 *Рисунок 57. Ілюстративне фото «Молоко»*
URL: <https://mi.harchovyk.com/pilotnyj-proyekt-iz-zaprovadzhennya-programy-kontrolyu-syрого-moloka-bude-masshtabovano-na-vsyu-krayinu/> (дата звернення: 01.04.2023)
- C. 90 *Рисунок 58. Реакція Моліша*
URL: <https://dept.harpercollege.edu/chemistry/chm/100/dgodambe/thedisk/food/molisch/molisch.htm> (дата звернення: 15.04.2023)
- C. 91 *Рисунок 59. Полісахариди крохмалю*
URL: <https://dept.harpercollege.edu/chemistry/chm/100/dgodambe/thedisk/food/molisch/molisch.htm> (дата звернення: 12.04.2023)
- C. 91 *Рисунок 60. Мікрофотографія зерен крохмалю*
URL: <http://clarissacagnato.weebly.com/starch-grain-analysis.html> (дата звернення: 10.04.2023)
- C. 92 *Рисунок 61. Крохмалевмісні продукти*
URL: https://agrovektor.com/ua/physical_product/684704-modifitsirovanny-kukuruzny-krahmal-e1442.html (дата звернення: 10.04.2023)

- С. 92 *Рисунок 62. Ілюстративні фото «Крохмаль як сировина», згори вниз:*
URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B0_%D0%B3%D1%96%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0 (дата звернення: 08.04.2023);
URL: <https://report.az/ru/energetika/azerbaydzhanskaya-neft-podorozhala-na-1-4/> (дата звернення: 08.04.2023);
URL: <https://www.unian.ua/lite/holidays/deruni-recept-yak-prigotuvati-vidminni-deruni-z-kartopli-video-10977425.html> (дата звернення: 08.04.2023)
- С. 95 *Рисунок 63. Пророщування ячменю*
URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_17/page3.html (дата звернення: 09.04.2023)
- С. 96 *Рисунок 64. Формула мальтози*
URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%B0> (дата звернення: 01.03.2023)
- С. 96 *Рисунок 65. Продукт ферментативного гідролізу крохмалю*
URL: <https://www.anti-a.org/news/en/high-fructose-corn-syrup-boosts-intestinal-tumor-growth-in-mice> (дата звернення: 11.04.2023)
- С. 98 *Рисунок 66. Результати проби Велька на різні вуглеводи*
URL: https://www.chemistryviews.org/details/education/10821368/150_Years_Alfred_Wohlk/ (дата звернення: 13.04.2023)
- С. 99 *Рисунок 67. Результати проби Велька для різних харчових продуктів*
URL: https://www.chemistryviews.org/details/education/10821368/150_Years_Alfred_Wohlk/ (дата звернення: 13.04.2023)
- С. 100 *Рисунок 68. Проба Бенедикта за різного вмісту відновлювальних вуглеводів*
URL: https://www.researchgate.net/figure/fig-Benedict-test-Fig-Interpretation-of-color-change-in-Benedict-test-Brick-red-our_fig1_342492228 (дата звернення: 15.04.2023)
- С. 103 *Рисунок 69. Формула глюкози*
URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Glucose> (дата звернення: 01.03.2023)

- C. 103 *Рисунок 70. Ілюстративні фото «Глюкоза»*
URL: <https://www.colourbox.com/vector/healthy-man-athletic-muscular-lifting-weight-vector-36150458> (дата звернення: 16.04.2023);
URL: <https://www.apteka24.ua/glyukoza-r-r-d-inf-50mg-ml-200ml-fl/> (дата звернення: 16.04.2023)
- C. 104 *Рисунок 71. Ілюстративні фото «Глюкоза в природі», згори вниз:*
URL: <https://kartynky.co.ua/metely-ky-na-kvitah.html> (дата звернення: 23.04.2023);
URL: https://www.fiddlercrab.info/u_vomeris.html (дата звернення: 23.04.2023);
URL: <https://ee.wikipedia.org/wiki/At%C3%AD> (дата звернення: 23.04.2023);
URL: <https://ukr.media/food/361608/> (дата звернення: 23.04.2023);
URL: <https://government.com.ua/kharchuvannia/vidi-risu-ta-jikh-vikoristannya-v-kulinariji.html> (дата звернення: 23.04.2023)
- C. 106 *Рисунок 72. Мікрофотографія клітин *Saccharomyces cerevisiae**
URL: <https://www.creative-biolabs.com/drug-discovery/therapeutics/yeast-expression-system.htm> (дата звернення: 25.04.2023)
- C. 109 *Рисунок 73. Апарат для дистиляції*
URL: <https://edu.rsc.org/experiments/fermentation-of-glucose-using-yeast/470.article> (дата звернення: 17.04.2023)
- C. 110 *Рисунок 74. Розливання нафти*
URL: <https://bellona.org/news/fossil-fuels/oil/2007-12-comment-current-spill-cleanup-methods-send-oil-down-instead-of-up-contaminating-sea-floors> (дата звернення: 18.04.2023)
- C. 110 *Рисунок 75. Соняшникова олія*
URL: <https://life-lyuks.com.ua/sonyashnikova-oliya-250-ml/> (дата звернення: 18.04.2023)
- C. 111 *Рисунок 76. Види рослинних олій*
URL: <http://www.cardiacwellnessinstitute.com/heart-disease-treatment-prevention/tag/ideal-cooking-oil/> (дата звернення: 18.04.2023);
URL: <https://silversprings.com.ua/ua/a366695-prirodnye-rastitelnye-masla.html> (дата звернення: 18.04.2023)

- C. 117 *Рисунок 77. Будова калориметра*
URL: <https://www.freepng.fr/png-5x8y9a/> (дата звернення: 20.04.2023)
- C. 119 *Рисунок 78. Інфографіка «Застосування наночастинок срібла»*
URL: https://www.researchgate.net/figure/Various-applications-of-silver-nanoparticles_fig1_354143710 (дата звернення: 15.04.2023)
- C. 121 *Рисунок 79. Схема утворення наночастинок срібла*
URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/ra/c3ra44507k> (дата звернення: 12.04.2023)
- C. 125 *Рисунок 80. Ілюстративне фото «Забруднена вода»*
URL: <https://ecolog-ua.com/news/vid-zabrudnenoyi-vody-shchoroku-vmyrayut-milyony-lyudey> (дата звернення: 10.04.2023)
- C. 127 *Рисунок 81. Хлорування води*
URL: <https://www.well-water-report.com/2013/06/my-well-was-flooded-and-i-need-to.html> (дата звернення: 29.03.2023)
- C. 127 *Рисунок 82. Порівняння ефективності хлорування та УФ-оброблення води*
URL: https://www.researchgate.net/figure/Chlorine-and-UV-doses-required-for-the-inactivation-of-various-viruses-in-drinking-water_fig4_342609145 (дата звернення: 30.03.2023)
- C. 129 *Рисунок 83. Ілюстративне фото «Кип'ятіння води в природних умовах»*
URL: <https://weswimwild.org/swim-with-us-2> (дата звернення: 08.04.2023)
- C. 131 *Рисунок 84. Системи знезараження води наночастинками срібла*
URL: <https://www.lmddesigns.com/silver-bullet> (дата звернення: 11.04.2023)
- C. 133 *Рисунок 85. Зразки води, автор — Толстов О. Л.*
- C. 134 *Рисунок 86. Підготовка поживного середовища, автор — Толстов О. Л.*
- C. 134 *Рисунок 87. Посів бактеріальних культур, автор — Толстов О. Л.*
- C. 135 *Рисунок 88. Бактеріальні культури, автор — Толстов О. Л.*

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Навчальне видання

ПРОМИСЛОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ

**Методичні рекомендації
щодо виконання лабораторних робіт**

Укладачі:

Толстов Олександр Леонідович
Бей Ірина Миколаївна

Редагування О. Б. Степанюк
Верстання О. А. Жупанська
Дизайн обкладинки Б. Л. Лісовський

Формат 60×84 1/16. Папір офс. 80 г/м².
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 8,6.
Наклад 300 прим.

Видавництво: Національний центр «Мала академія наук України»,
Кловський узвіз, буд. 8, м. Київ, 01021

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 6999 від 04.12.2019

