



---

---

2021

---

# НАУКОВІ ПРАЦІ

## НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Том 27 № 1**

*Журнал  
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»  
видається з 1938 року*

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2021

## ЗМІСТ

### Автоматизація

#### та інформаційні технології

Луцька Н. М., Власенко Л. О., Пупена О. М. Технічні аспекти інтеграції відкритих онтологічних баз знань із сучасними автоматизованими системами управління

Дивак В. В., Шклярський С. М., Кузнєцов О. Ф. Використання MS Excel Office 365 у підготовці студентів економічних спеціальностей

### Біотехнології

Михайлова О. Б., Ломберг М. Л., Красінко В. О. Біотехнологічні основи інтенсивного культивування лікарського базидієвого гриба *Fomitopsis betulina* (Fomitopsidaceae, Polyporales)

Пирог Т. П., Ярош М. Б., Вороненко А. А. Синтез мікробних екзополісахаридів на нетрадиційних субстратах

### Економіка, менеджмент і маркетинг

Роганова Г. О., Ковальчук В. Ю. Оцінка конкурентоспроможності підприємства на прикладі ПрАТ «Оболонь»

Пенчук Г. С. Методичні підходи до моделювання бізнес-проектів на підприємстві

Скопенко Н. С., Євсєєва-Северина І. В. Формування товарної інноваційної політики підприємств молочної галузі

### Механічна та електрична інженерія

Смагіна М. Н., Акуленко С. В., Смагін Д. А., Желудков А. Л. Применение моделирующих материалов при исследовании тепловых процессов переработки мясного сырья

Кулик В. В., Бурякин О. Б., Малогулко Ю. В., Тетя В. В., Лесько В. О. Забезпечення спостережності розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії

Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Максименко І. Ф., Мироненко С. М. Інтенсивні технології переробки плодів та ягід

### Фізико-математичні науки

Пурський О. І., Романенко Р. П., Форостяна Н. П., Криворучко М. Ю., Литвінчук С. І. Дослідження світлодіодних джерел світла на UVКП

### Харчові технології

Попова Н. В., Мисиюра Т. Г., Гавор А. І. Визначення якісних показників безалкогольного напою із соком помело та оптимізація його компонентного складу

Демидова А. О., Мольченко С. М., Левчук І. В., Носенко Т. Т. Вміст MCPD-ефірів і ефірів гліцидолу в олійно-жирових продуктах

## CONTENTS

### Automation

#### and Information Technologies

7 *Lutska N., Vlasenko L., Pupena O.* Technical aspects for integration of open ontological knowledge bases with modern automated control systems

22 *Dyvak V., Shklyarsky S., Kuznetsov O.* Use of MS Excel Office 365 in the training of students of economic specialties

### Biotechnologies

32 *Mykchaylova O., Lomberg M., Krasinko V.* Biotechnological basis of intensive cultivation of medicinal mushroom *Fomitopsis betulina* (Fomitopsidaceae, Polyporales)

42 *Pirog T., Yarosh M., Voronenko A.* Synthesis of microbial exopolysaccharides on non-traditional substrates

### Economy, Management and Marketing

53 *Rohanova H., Kovalchuk V.* Analysis of competitiveness of the enterprise on the example of PJSC "Obolon"

61 *Penchuk A.* Methodical approaches to modeling business projects at the enterprise

69 *Skopenko N., Yevsieieva-Severyna I.* Formation of innovation product policy of dairy enterprises

### Mechanical and Electrical Engineering

80 *Smahina M., Akulenko S., Smahin D., Zhalkou A.* Application of modeling materials in the study of thermal processes of processing meat raw materials

90 *Kulyk V., Burykin O., Malohulko Yu., Teptya V., Lesko V.* The ensuring of distribution power networks monitoring with renewable energy sources

102 *Shevchenko O., Sokolenko A., Maksymenko I., Myronenko S.* Intensive technologies of fruit and berries processing

### Physical and Mathematical Sciences

111 *Pursky O., Romanenko R., Forostyana N., Kryvoruchko M., Litvynchuk S.* Research of LED light sources on UMCD

### Food Technologies

124 *Popova N., Mysiura T., Gavor A.* Determination of quality indicators of soft drink with pomelo juice and optimization of its component composition

135 *Demydova A., Molchenko S., Levchuk I., Nosenko T.* Content of MCPD-esters and glycidol esters in fat and oil products

- Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Камінська С. В.* 150 *Simakhina G., Naumenko N., Kaminska S.* Estimation of the nutritional value of quick-frozen fruit and berry half-products obtained with the usage of cryoprotection methods
- Оцінка харчової цінності швидкозаморожених плодово-ягідних напівфабрикатів, отриманих із використанням методів криопротекції*
- Дорохович В. В., Гуленко А. М.* 160 *Dorohovych V., Hulenko A.* Determination of sunflower seed meal influence on the structural parameters of dough and physico-chemical parameters of butter cookies
- Визначення впливу шроту насіння соняшника на структурні показники тіста і фізико-хімічні показники здобного печива*
- Головко М. П., Колесник В. В., Полупан В. В., Пенкіна Н. М.* 168 *Holovko N., Kolesnyk V., Polupan V., Penkina N.* Research of predicted stability and quality of developed tinctures in the storage process
- Дослідження прогнозованої стійкості та якості розроблених настоянок у процесі зберігання*
- Шевченко А. О., Галенко О. О.* 182 *Shevchenko A., Galenko O.* Citrates of mineral substances in the technological process of manufacturing bakery products
- Цитрати мінеральних речовин у технологічному процесі виготовлення хлібобулочних виробів*
- Левандовський Л. В., Шендрік Т. Г., Куц А. М., Стукальська Н. М.* 188 *Levandovsky L., Shendrik T., Kuts A., Stukalska N.* Features of the use of activated carbons in alcoholic beverage production
- Особливості застосування активованого вугілля у лікєро-горілчаному виробництві*
- Різник А. О., Сильчук Т. А., Цирульнікова В. В., Тищенко О. М.* 199 *Riznyk A., Sylchuk T., Tsyrunnikova V., Tyshchenko O.* Justification of the choice of oatmeal for the production of bread products for restaurant business
- Обґрунтування вибору вівсяного толокна для виробництва хлібних виробів у закладах ресторанного господарства*

## SYNTHESIS OF MICROBIAL EXOPOLYSACCHARIDES ON NON-TRADITIONAL SUBSTRATES

T. Pirog, M. Yarosh, A. Voronenko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Exopolysaccharides of microbial origin, Biosynthesis, Waste of biodiesel production, Agro-industrial and household waste*

---

**Article history:**

Received 15.01.2021  
Received in revised form 29.01.2021  
Accepted 12.02.2021

---

**Corresponding author:**

T. Pirog  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

Microbial exopolysaccharides (EPS) are exogenous products of microorganisms metabolism of carbohydrate nature with high molecular weight which due to their ability to gelation, emulsification, suspension, flocculation and change the rheological characteristics of water systems are widely used in various industries (food, chemical, oil, etc.).

However, a significant disadvantage of microbial exopolysaccharide technologies is using expensive carbohydrate substrates (sucrose, glucose, starch, etc.).

There is limited information in the literature on alternative substitution of carbohydrates for EPS production with unconventional substrates that are cheap and available in large quantities.

Such promising substrates for the biosynthesis of microbial polysaccharides are waste of biodiesel production, waste of the agro-industrial complex (extracts and hydrolysates of shrimp shells, rice bran, low-quality fig syrup, tomato processing waste, hydrolysates and crushed fruit skins, chicken feathers, potato peel waste, waste waters from wine industry), as well as hydrolysates of kitchen waste.

The highest concentration of EPS (25—50 g/l), which is comparable to the synthesizing ability of industrial producers of microbial polysaccharides, is achieved by cultivating producers on glycerol and waste of biodiesel production, hydrolyzates of kitchen waste, fruit skins, chicken feathers.

It should be noted that at present there are still few data on the using industrial waste for the biosynthesis of microbial EPS. Pioneering in this regard are the results of own research on the synthesis of ethapolan polysaccharide (EPS concentration 14—16 g/l) on mixed oil of different quality after frying any products. The implementation of this technology not only reduces the cost of the final product, but also allows to utilize of large quantities of toxic oil-containing waste, the emissions of which are not regulated in Ukraine.

## СИНТЕЗ МІКРОБНИХ ЕКЗОПОЛІСАХАРИДІВ НА НЕТРАДИЦІЙНИХ СУБСТРАТАХ

Т. П. Пирог, М. Б. Ярош, А. А. Вороненко

Національний університет харчових технологій

Мікробні екзополісахариди (ЕПС) — високомолекулярні екзогенні продукти метаболізму мікроорганізмів вуглеводної природи завдяки здатності до гелеутворення, емульгування, флокулювання, суспендування і змінення реологічних характеристик водних систем широко використовуються у різноманітних галузях промисловості (харчовій, хімічній, нафтовидобувній тощо). Проте суттєвим недоліком технологій мікробних екзополісахаридів є те, що для їх синтезу використовують дорожу вуглеводну сировину (сахарозу, глюкозу, крохмаль тощо).

У літературі обмеженою залишається інформація про альтернативну заміну вуглеводів для одержання ЕПС на нетрадиційні субстрати, які є дешевими та доступними у великій кількості. Такими перспективними субстратами для біосинтезу мікробних полісахаридів є відходи виробництва біодизелю, відходи агропромислового комплексу (екстракти та гідролізати панцирів креветок, рисових висівок, сироп зіпсованих фініків, відходи переробки томатів, гідролізати та подрібнені шкірки фруктів, куряче пір'я, картопляне лушпиння, стічні води після виробництва вина), а також гідролізати побутових відходів.

Найвища концентрація ЕПС (25—50 г/л), яка є порівняною з синтезувальною здатністю промислових продуцентів мікробних полісахаридів, досягається під час культивування продуцентів на гліцерині та відходах виробництва біодизелю, гідролізатах побутових відходів, фруктових шкірок, курячого пір'я.

Зазначимо, що на тепер відомості про використання промислових відходів для біосинтезу мікробних ЕПС все ще обмежені. Піонерськими в цьому плані є результати наших власних досліджень про синтез полісахариду етаполану (концентрація ЕПС 14—16 г/л) на змішаній після смаження будь-яких продуктів олії різної якості. Реалізація такої технології не тільки знижує собівартість цільового продукту, а й дає змогу утилізувати наявні у великій кількості токсичні олієві відходи, викиди яких в Україні не регламентуються.

**Ключові слова:** екзополісахариди мікробного походження, біосинтез, відходи виробництва біодизелю, агропромислові та побутові відходи.

**Постановка проблеми.** Мікробні екзополісахариди — високомолекулярні екзогенні продукти метаболізму мікроорганізмів вуглеводної природи завдяки здатності до гелеутворення, емульгування, флокулювання, суспендування і змінення реологічних характеристик водних систем широко використовуються у різноманітних галузях промисловості (харчовій, хімічній, нафтовидобувній тощо) [1—3].

Попит на мікробні полісахариди на світовому ринку є високим [4], що засвідчує збільшення з року в рік обсягів виробництва першого мікробного ЕПС ксантану (продуцент *Xanthomonas campestris*, виділений у кінці 60-х років ХХ ст. [5]). Починаючи з відкриття ксантану і дотепер, мікробні екзополісахариди є

об'єктом теоретичних і практичних досліджень. Проте суттєвим недоліком технологій мікробних екзополісахаридів є те, що для їх синтезу використовують дорогу вуглеводну сировину (сахароза, глюкоза, крохмаль тощо).

У літературі обмежено залишається інформація про альтернативну заміну вуглеводів для одержання ЕПС на промислові відходи виробництва, які є дешевими та доступними у великій кількості. У 2016 р. ми опублікували огляд [6], в якому проаналізували відомі на той час дані літератури щодо синтезу мікробних ЕПС на відходах харчової промисловості, сільськогосподарського сектору, виробництва біодизелю. У цій статті акцентується увага на тому, що використання промислових відходів для отримання екзополісахаридів дасть змогу вирішити не лише проблему накопичення вторинної сировини, а й зменшити витрати на біосинтез практично цінних метаболітів. Крім того, застосування деяких відходів порівняно з традиційними вуглеводними субстратами, окрім екологічних переваг, має ряд технологічних: наявність ростових факторів, відсутність потреби у піногаснику та стерилізації субстрату.

**Мета статті:** узагальнення даних останніх років, а також відомостей, що не увійшли в огляд [6], про використання для синтезу екзополісахаридів мікробного походження нетрадиційних джерел вуглецю.

**Викладення основних результатів дослідження.** *Гліцерин.* У [7] встановлено можливість підвищення синтезу ксантану штамом *X. campestris* WXLB-006 до 33,9 г/л у разі дробного внесення гліцерину в середовище. Початкова концентрація субстрату становила 40 г/л, у процесі культивування продуцента здійснювали його дробне внесення порціями по 1—3 г/л/год до кінцевої концентрації 100 г/л.

Лиу із співавт. [8] повідомили про використання гліцерину (50 г/л) для утворення штамом *Agrobacterium* sp. HX1126 нового полісахариду PGHX у концентрації 24,9 г/л. Пізніше [9] було показано, що реологічні властивості полісахариду PGHX (зокрема, гелеутворювальна активність) залежала від концентрації гліцерину в середовищі культивування штаму HX1126. За високої концентрації гліцерину (50 г/л) синтезувався ЕПС з низькою гелеутворювальною активністю. У разі зниження початкової концентрації субстрату до 20 г/л і підтриманням вмісту гліцерину на рівні 10 г/л після припинення росту (на стадії утворення ЕПС) показники синтезу полісахариду дещо знижувалися (концентрація 22 г/л), проте синтезований полісахарид характеризувався високою гелеутворювальною активністю.

*Відходи виробництва біодизелю.* Біодизель — екологічно чистий вид біопалива, одержуваний з рослинних олій чи тваринних жирів, який використовується для заміни нафтового дизельного палива. Найпоширеніший спосіб отримання біодизелю — переетерифікація рослинної олії, що з хімічної точки зору являє собою суміш метилових (етилових) моноалкілових ефірів довголанцюгових жирних кислот (насичених і ненасичених). Рослинна олія переетерифікується з метанолом, рідше етанолом або ізопропіловим спиртом (приблизно в пропорції на 1 т олії 200 кг метанолу) при температурі 60°C і нормальному тиску від 1 до 8 год. Як катализатор найчастіше використовується гідроксид натрію або калію [10].

Проте у зв'язку з інтенсивним зростанням попиту на біодизель у світі виникає проблема утилізації побічного продукту — гліцерину, адже на кожні 100 л біодизелю утворюється майже 10 л технічного гліцерину (так звана гліцеринова

фракція) [10; 11]. Гліцерінова фракція містить велику кількість різних домішок, що робить неможливим її використання в багатьох традиційних сферах застосування гліцерину (наприклад, виробництво харчових продуктів, фармацевтична і косметична промисловість тощо), якщо тільки не застосовувати вартісні стадії очищення. Зазначимо, що через підвищену лужність і вміст метанолу зберігання й утилізація технічного гліцерину є серйозною екологічною проблемою. Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є використання такого відходу у біотехнологічній галузі як субстрату для культивування мікроорганізмів [10; 11].

У [12; 13] встановлено можливість синтезу мікробних ЕПС на відходах виробництва біодизелю (технічному гліцерині).

Wang із співавт. [12] показали, що за умов росту *Xanthomonas campestris* CCTCC M2015714 (продуцент ксантану) на відходах біодизельного виробництва (40 г/л) концентрація синтезованого полісахариду становила 11 г/л.

Raghunandan із співавт. [13] повідомили про штам *Sphingomonas yabuuchiae* GI:724472388, який у процесі культивування на середовищі, що містило 80 г/л відходів виробництва біодизелю, синтезував 52,6 г/л екзополісахариду гелану. Зазначимо, що заявленої авторами дослідження концентрації субстрату недостатньо для утворення такої кількості ЕПС. На нашу думку, це може бути зумовлене такими причинами: 1) завищена концентрація гелану, оскільки методика визначення передбачала кип'ятіння культуральної рідини, охолодження, доведення до рН 10, центрифугування, осадження ізопропанолом [13]. За таких умов відбувається руйнування клітин, в результаті якого вивільнюються високомолекулярні внутрішньоклітинні полімери (полісахариди, білки, нуклеїнові кислоти), які також осаджуються цим розчинником. Разом з полісахаридом можуть співосаджуватися й солі, що залишилися у культуральній рідині; 2) у складі відходів виробництва біодизелю, крім гліцерину, містяться спирти (етанол, метанол), тригліцериди, вільні жирні кислоти [10; 11], які також можуть використовуватися як ростові субстрати продуцентом гелану.

У [14] встановлено, що штам симбіотичних азотфіксувальних бактерій *Mesorhizobium loti* Semia 816 синтезував 4,91 г/л під час вирощування у середовищі, що містило 12,2 г/л відходів виробництва біодизелю. Автори цього дослідження зазначають, що синтезувальна здатність штаму Semia 816 порівняна з такою інших діазотрофних бактерій роду *Rhizobium*, які утворюють від 4 до 7 г/л ЕПС, щоправда, на середовищі з вуглеводними субстратами (манітол, сахароза).

Значимо, що в доступній літературі нам не вдалося знайти більше відомостей про використання як очищеного гліцерину, так і відходів виробництва біодизелю для біосинтезу мікробних полісахаридів.

*Відходи агропромислового комплексу.* Останніми роками з'явилися публікації про використання для синтезу мікробних полісахаридів не тільки продуктів переробки цукрової тростини [15; 16] і жому маніоки [17], а й дійсно нетрадиційних субстратів, до яких належать екстракт панцирів креветок [18—21], гідролізати побутових відходів [22—24], рисових висівок [25], сироп зіпсованих фініків [26], відходи переробки томатів [27; 28], подрібнені шкірки манго [29, 30], куряче пір'я [31], гідролізат апельсинової шкірки [32], картопляне лушпиння [33; 34], стічні води після виробництва вина [35; 36].

*Гідролізат цукрової тростини.* Hilares зі співавт. [15] встановили, що при культивуванні штаму *Aureobasidium pullulans* LB83 на гідролізаті цукрової тростини (початковий вміст вуглеводів у середовищі культивування, г/л: глюкоза — 37,29, ксилоза — 21,24, целобіоза — 4,49, арабіноза — 2,04) кількість синтезованого пулулану досягала 20,0—22,1 г/л на 168 год культивування, що було вищим за показники (10,9—15,8 г/л), отримані на середовищі з глюкозою (45 г/л).

Подальша оптимізація умов культивування (температура — 25,3°C, швидкість перемішування — 232 об/хв, концентрація дріжджового автолізату — 1,88 г/л) за дизайном Бокса-Бенкена супроводжувалася додатковим підвищенням концентрації полісахариду до 25,19 г/л та скороченням тривалості культивування до 96 год [16].

*Жом маніоки.* У [17] автори встановили, що за оптимальних умов при твердофазному культивуванні штаму *A. pullulans* MTCC 2670 на середовищі, яке містить подрібнений (розмір часток 2,38 мм) жом маніоки та 5% манози, максимальний вихід пулулану становив 49 мг ЕПС/г субстрату.

*Панцирі креветок.* Прогнозується, що до 2025 р. глобальний обсяг виробництва креветок досягне 7,28 млн тонн. Зазначимо, що при їх переробці та споживанні в їжу генерується значна кількість твердих відходів (50—60%) та відпрацьованої води (приблизно 4 л на 1 тону приготованих креветок) [18]. Лише незначна кількість цих відходів використовується для регенерації практично цінних сполук (хітину тощо), та відгодівлі худоби. Перспективним також є їхнє використання в біотехнологічних процесах як субстратів для одержання ферментів [19], поверхнево-активних речовин [20], а також мікробних ЕПС [21].

Так, у [21] повідомляється про можливість синтезу полісахариду ксантану штамами *X. campestris* pv. *campestris* 1182, *X. campestris* pv. *campestris* 254, *X. campestris* pv. *campestris* 629 за різної концентрації 2—10% (об'ємна частка) екстракту панцирів креветок. Встановлено, що найвища концентрація ЕПС (4,6 г/л) досягалася при вирощуванні штаму 1182 на середовищі з 10% цього екстракту.

*Побутові відходи.* Постійний розвиток галузі громадського харчування призводить до збільшення кількості кухонних відходів, безпечна утилізація яких через високий вміст органіки та вологи є досить проблемною. Так, прогнозується, що до 2025 р. лише в країнах Азії обсяг таких відходів досягне 416 млн тонн. Зазначимо, що захоронення сміття на звалищах не є вирішенням проблеми, оскільки його деградація супроводжується забрудненням ґрунтів і підземних вод [22].

Лі зі співавт. [22] продемонстрували можливість використання подрібнених і підданих ферментативній обробці (використано нейтральну протеазу,  $\alpha$ -амілазу, амілоглюкозидазу) кухонних відходів (після видалення паперового та пластмасового пакування) з університетської їдальні для синтезу полісахариду велану бактеріальним штамом *Sphingomonas* sp. ATCC 31555. Встановлено, що найвищі показники синтезу ЕПС (5,6 г/л) спостерігалися на середовищі, що містило нерозбавлені кухонні відходи без жодних добавок.

У [23] показано можливість використання гідролізованих сірчаною кислотою кухонних відходів як субстрату для отримання ксантану штамом *X. campestris* LRELP-1. Кількість синтезованого ЕПС досягала 11,73 г/л за умов росту штаму на середовищі з тричі розбавленим гідролізатом відходів.

Інші дослідники [24] встановили, що кухонні відходи можуть слугувати субстратом для синтезу пулулану штамом *A. pullulans* МТСС2013. Так, при культивуванні грибів на ферментативно гідролізованих відходах, що містили 31 г/л глюкози та 46 г/л інших редуруючих вуглеводів, концентрація цільового продукту досягала 24,77 г/л на 120-ту год культивування. Для ферментативного гідролізу автори використовували суміш целюлозолітичних ферментів СМCase і FРase, а також  $\beta$ -глюкозидази, ксиланази, мананази, пектинази,  $\alpha$ -амілази та глюкоамілази.

*Рисові висівки.* У [25] продемонстровано здатність штаму *A. pullulans* ССТСС М 2012259 синтезувати 15,6 г/л пулулану на гідролізованих сульфатною кислотою рисових висівках (15%, масова частка). Зазначимо, що в результаті кислотного гідролізу лігноцелюлози виділяється оцтова кислота, яка є інгібітором синтезу пулулану. З метою підвищення синтезу ЕПС на цьому середовищі без застосування додаткових методів очищення субстрату одержували мутантні штами, стійкі до оцтової кислоти. В результаті отримано мутантний штам *A. pullulans* ARH-1, здатний накопичувати на такому гідролізаті 22,2 г/л пулулану.

*Фініковий сироп.* Альтернативний спосіб використання низькоякісних фініків наведено у [26]. Так, при вирощуванні штаму *A. pullulans* 51 на 12,5% (масова частка) фініковому сиропі спостерігали синтез 14 г/л пулулану за 96 год культивування. Цікаво, що при використанні глюкози як субстрату концентрація полісахариду була суттєво нижчою і становила лише 5 г/л.

*Відходи виробництва переробки томатів.* На кожному з етапів переробки томатів утворюється багато різних відходів (томати невідповідної якості, насіння та шкірки), що потребують подальшої належної утилізації. На сьогодні основна частина відходів (яка може досягати 40%) використовується для відгодівлі худоби й удобрення ґрунтів. Перспективним також є виділення з томатних відходів біологічно активних сполук (антиоксидантів, вітамінів, полісахаридів тощо) [27].

Antunes із спіавт. [28] досліджували можливість використання некондиційної томатної пасти, що містить у своєму складі комплекс уронових кислот і простих вуглеводів, зокрема глюкози (5,9%, масова частка) та фруктози (6,9%, масова частка), для синтезу ЕПС штамом *Enterobacter* A47 (DSM 23139). Експерименти показали, що при реалізації культивування з підживленням (швидкість підживлення 25-відсотковим розчином некондиційної томатної пасти становила 11 г/год, початкова концентрація субстрату в середовищі 8,2%, масова частка) концентрація цільового продукту досягала 8,77 г/л, а продуктивність — 2,92 г/л за добу.

*Подрібнені шкірки манго.* Відомо, що в деяких людей при контакті з плодами манго можливе виникнення алергічного дерматиту, спричиненого токсином урушиолом, що міститься в шкірці плодів [29]. Зазначимо, що урушиол також міститься в отруйному плющі (*Toxicodendron radicans*) та західному отруйному дубі (*Toxicodendron diversilobum*). Одним із способів утилізації цього токсичного відходу є його використання як субстрату для синтезу мікробних полісахаридів.

Так, у праці [30] продемонстровано здатність мутантного штаму *Bacillus licheniformis* MS3 в умовах твердо-фазового культивування на подрібнених мангових шкірках (60%, масова частка) синтезувати до 15,6 г/л ЕПС.

*Подрібнене куряче пір'я.* На сьогодні пір'я є одним з основних відходів птахопереробних підприємств, велика кількість якого не утилізується відповідно до вимог, що спричиняє забруднення навколишнього середовища. Оскільки пір'я

на 90% складається з протеїну, то перспективним є його використання в біотехнологічних процесах [31].

Ozidal із співавт. [31] встановили, що внесення 6 г/л пептону з курячого пір'я (містить 56 г білка, 41,5 г золи та 9 г азоту на 100 г субстрату) у середовище культивування *X. campestris* МО-03 з 40 г/л глюкози, супроводжувалося збільшенням кількості синтезованого полісахариду до 24,45 г/л, що у 1,73 раза вище, ніж на середовищі без додавання пептону.

*Гідролізат апельсинової шкірки.* Щорічно у світі під час виробництва апельсинового соку утворюється мільйони тонн відходів, серед яких майже половину становить апельсинова шкірка. Зазначимо, що через наявність лігноцелюлозних залишків, що спричиняють утворення шкідливих продуктів вилугування, скидання цих відходів на звалища є небезпечним з екологічної точки зору. У той же час шкірки є багатим джерелом розчинних і нерозчинних вуглеводів, що робить перспективним їхню ферментативну переробку з подальшим використанням гідролізату як субстрату для одержання практично цінних продуктів у мікробних технологіях [32].

У [32] встановлено, що в разі використання 85-відсоткового розчину гідролізату апельсинових шкірок як субстрату для культивування *X. campestris* концентрація ксантану перевищувала 30 г/л. При цьому ступінь утилізації такого нетрадиційного субстрату досягав 99,99%.

*Картопляне лушпиння.* Більшість врожаю картоплі при переробці на харчових підприємствах піддається механічному очищенню від шкірки, яка потребує подальшої переробки. Тож, ці відходи можуть бути цінним біотехнологічним ростовим субстратом, оскільки містять у своєму складі крохмаль (25%) та інші полісахариди (30%), а також білок (18%), лігнін (20%), ліпіди (1%) і золу (6%) [33].

Під час дослідження можливості використання картопляного лушпиння для синтезу ЕПС ксантану штамом *X. campestris* pv. *manihotis* ISBF 1182 встановлено, що максимальні показники синтезу ЕПС (20,9 г/л за 48 год вирощування) спостерігалися в умовах напівтвердо-фазового культивування [34]. Причому при глибинному культивуванні продуцента кількість синтезованого ксантану різко знижувалась і досягала лише 2,03 г/л після 72 год вирощування.

*Стічні води після виробництва вина.* Виноробство традиційно вважається екологічно чистим процесом, однак на всіх етапах виробництва утворюється велика кількість стічних вод (до 14 л на л виробленого вина), які характеризуються низьким рН, високим вмістом органічних речовин, макро- та мікроелементів, важких металів тощо. Очищення таких стічних вод є багатоетапним та економічно нерентабельним процесом, що стимулює пошук альтернативних шляхів їх утилізації.

Ваїїс із співавт [35] встановили можливість синтезу ксантану *X. campestris* ATCC 13951 на різних фракціях стічних вод, що генеруються при виробництві білого вина на стадіях подрібнення, пресування, кларифікації сусле та бродіння. Найвищі показники синтезу ксантану (10,67 г/л) досягалися при культивуванні бактерій на розведених стічних водах після кларифікації, що містили 25 г/л глюкози та фруктози.

У подальших дослідженнях з метою розробки більш універсальної технології було досліджено можливість використання змішаних відпрацьованих вод з різ-

них стадій виробництва білого та рожевого вина [36]. Встановлено, що максимальна концентрація синтезованого ЕПС (30,64 г/л) спостерігалася при використанні змішаних стічних вод після виробництва рожевого вина. За умов росту штаму-продуцента на відходах виробництва білого вина кількість ксантану знижувалася до 20,92 г/л. Автори пояснюють це явище високим вмістом азоту у відходах білого вина, що призводило до зниження співвідношення С/Н до неоптимального для синтезу ЕПС рівня.

*Олієві відходи.* Sengupta зі співавт. [37] показали принципову можливість синтезу ЕПС штамом *Ochrobactrum pseudintermedium* C1 на середовищах з 5% (об'ємна частка) відпрацьованих рослинних (гірчична та пальмова) або мінеральних олій (шпиндельні, гідравлічні, різальні та компресорні). у концентрації 5% (об'ємна частка). Зазначимо, що незалежно від типу використаної олії концентрація синтезованого ЕПС була невисокою і не перевищувала 1 г/л.

Наші дослідження [38] показали, що незалежно від якості (соняшникова, кукурудзяна, оливкова, ріпакова) та виду (після смаження м'яса чи картоплі) відпрацьованої олії в середовищі культивування *Acinetobacter* sp. ІМВ В-7005 (продуцент екзополісахариду етаполану) концентрація ЕПС та його реологічні властивості не відрізнялися від показників, встановлених у процесі вирощування штаму ІМВ В-7005 на рафінованих оліях. Використання відпрацьованої олії, зокрема змішаної після смаження різних продуктів, у суміші з мелясою або ацетатом дала змогу збільшити кількість синтезованого етаполану до 14—16 г/л. Однак, на тепер у літературі відомості про синтез такої кількості мікробних полісахаридів на відпрацьованих оліях відсутні.

Узагальнені дані про синтез мікробних полісахаридів на нетрадиційних субстратах наведено в таблиці.

*Таблиця. Синтез полісахаридів на альтернативних джерелах вуглецю*

Продуцент	Субстрат	Концентрація субстрату, г/л	Концентрація ЕПС, г/л	Література
1	2	3	4	5
<i>Xanthomonas campestris</i> WXLB-006	Гліцерин	100	33,9	[7]
<i>Agrobacterium</i> HX1126	Гліцерин	50	24,9	[8]
<i>Xanthomonas campestris</i> CCTCC M2015714	Відходи виробництва біодизелю	40	11	[12]
<i>Sphingomonas yabuuchiae</i> K10	Відходи виробництва біодизелю	80	52,6	[13]
<i>Mesorhizobium loti</i> Semia 816	Відходи виробництва біодизелю	12,2	4,91	[14]
<i>Aureobasidium pullulans</i> LB 83	Гідролізат цукрової тростини	Вміст у гідролізаті (г/л): глюкоза — 37,29, ксилоза — 21,24, целобіоза — 4,49, арабіноза — 2,04	22,1	[15]
<i>Xanthomonas campestris</i> 1182	Екстракт панцирів креветок	10% (об'ємна частка)	4,6	[21]

1	2	3	4	5
<i>Sphingomonas</i> sp. ATCC 31555	Гідролізат побутових відходів	Нерозбавлений ферментативний гідролізат	5,6	[22]
<i>Xanthomonas campestris</i> LRELP-1	Гідролізат побутових відходів	Розбавлений у три рази гідролізат	11,73	[23]
<i>Aureobasidium pullulans</i> MTCC2013	Ферментативний гідролізат побутових відходів	Вміст у гідролізаті (г/л): глюкоза — 31, інші редуруючі вуглеводи — 46	24,77	[24]
<i>Aureobasidium pullulans</i> CCTCC M 2012259	Гідролізат рисових висівок	15% (масова частка)	15,6	[25]
<i>Aureobasidium pullulans</i> 51	Фініковий сироп	12,5% (масова частка)	15	[26]
<i>Enterobacter</i> A47 (DSM 23139)	Некондиційна томатна паста	Вміст (% , масова частка): глюкоза — 5,9, фруктоза — 6,9	8,77	[28]
<i>Bacillus licheniformis</i> MS3	Подрібнені шкірки манго	60% (масова частка)	15,6	[30]
<i>Xanthomonas campestris</i> MO-03	Подрібнене куряче пір'я	6 г/л пептону з пір'я + 40 г/л глюкози	24,45	[31]
<i>Xanthomonas campestris</i> (штам не наведено)	Гідролізат апельсинової шкірки	85%-ний розчин гідролізату	30,19	[32]
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>manihotis</i> ISBF 1182	Картопляне лущиння	10	20,9	[34]
<i>Xanthomonas campestris</i> ATCC 13951	Стічні води з стадії кларифікації виробництва білого вина	25 (за вуглеводами)	10,67	[35]
<i>Xanthomonas campestris</i> ATCC 13951	Змішані стічні води з усіх стадій виробництва рожевого вина	50 (за вуглеводами)	30,64	[36]
<i>Ochrobactrum pseudintermedium</i> C1	Пальмова олія, гірчична олія	5% (об'ємна частка)	1,1	[37]

### Висновки

Проаналізовані дані свідчать про те, що найвища концентрація ЕПС (25—50 г/л), яка є порівняною з синтезувальною здатністю промислових продуцентів мікробних полісахаридів, досягається під час культивування продуцентів на гліцерині та відходах виробництва біодизелю, гідролізатах побутових відходів, фруктових шкірок, курячого пір'я. Проте натепер відомості про використання промислових відходів для біосинтезу мікробних ЕПС досить обмежені. Новаторськими у цьому плані є результати наших власних досліджень про синтез полісахариду етаполану (концентрація ЕПС 14—16 г/л) на змішаній після смаження будь-яких продуктів олії різної якості. Реалізація такої технології не тільки знижує собівартість цільового продукту, а й дає змогу утилізувати наявні у великій кількості токсичні олієвмісні відходи, викиди яких в Україні не регламентуються.

### Література

1. Freitas F., Torres C.A.V., Reis M.A.M. Engineering aspects of microbial exopolysaccharide production. *Bioresour. Technol.* 2017, 245(Pt B):1674—1683. doi: 10.1016/j.biortech.2017.05.092.

2. Rana S., Upadhyay L. S. B. Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, 157:577—583. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.084.
3. Barcelos M. C. S., Vespermann K. A. C., Pelissari F. M., Molina G. Current status of biotechnological production and applications of microbial exopolysaccharides. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020, 60(9):1475—1495. doi: 10.1080/10408398.2019.1575791.
4. Kreyenschulte D., Krull R., Margaritis A. Recent advances in microbial biopolymer production and purification. *Crit. Rev. Biotechnol.* 2014, 34(1):1—15. doi: 10.3109/07388551.2012.743501.
5. Cadmus M. C., Rogovin S. P., Burton K. A., Pittsley J. E., Knutson C. A., Jeanes A. Colonial variation in *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459 and characterization of the polysaccharide from a variant strain. *Can. J. Microbiol.* 1976, 22(7):942—948. doi: 10.1139/m76-136.
6. Pirog T. P., Ivakhniuk M. O., Voronenko A. A. Exopolysaccharides synthesis on industrial waste. *Biotechnologia acta.* 2016, 9(2):7—18. <https://doi.org/10.15407/biotech9.02.007>.
7. Wang Z., Wu J., Gao M., Zhu L., Zhan X. High production of xanthan gum by a glycerol tolerant strain *Xanthomonas campestris* WXLB-006. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 2017, 47(5):468—472. doi: 10.1080/10826068.2017.1292288.
8. Liu Y., Gu Q., Ofosu FK., Yu X. Production, structural characterization and gelforming property of a new exopolysaccharide produced by *Agrobacterium* HX1126 using glycerol or d-mannitol as substrate. *Carbohydr. Polym.* 2016, 20(136):917—922. doi:10.1016/j.carbpol.2015.09.107.
9. Liu Y., Wang Z., Zhao J., Zong C., Liu M., Niu Y. Effects of glycerol concentrations on the bioproduction of PGHX by *Agrobacterium* HX1126. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 2019, 49(6):584—589. doi: 10.1080/10826068.2019.1591989.
10. Crosse A.J., Brady D., Zhou N., Rumbold K. Biodiesel's trash is a biorefineries' treasure: the use of "dirty" glycerol as an industrial fermentation substrate. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2019, 36(1):2. doi: 10.1007/s11274-019-2776-9.
11. Diamantopoulou P., Filippousi R., Antoniou D., Varfi E., Xenopoulos E., Sarris D., Papanikolaou S. Production of added-value microbial metabolites during growth of yeast strains on media composed of biodiesel-derived crude glycerol and glycerol/xylose blends. *FEMS Microbiol. Lett.* 2020, 367(10): fnaa063. doi: 10.1093/femsle/fnaa063.
12. Wang Z., Wu J., Zhu L., Zhan X. Activation of glycerol metabolism in *Xanthomonas campestris* by adaptive evolution to produce a high-transparency and low-viscosity xanthan gum from glycerol. *Bioresour Technol.* 2016, 211:390—397. doi:10.1016/j.biortech.2016.03.096.
13. Raghunandan K., Kumar A., Kumar S., Permaul K., Singh S. Production of gellan gum, an exopolysaccharide, from biodiesel-derived waste glycerol by *Sphingomonas* spp. *3 Biotech.* 2018, 8(1): 71. doi: 10.1007/s13205-018-1096-3.
14. de Oliveira J. M., Amaral S. A., Burkert C. A. V. Rheological, textural and emulsifying properties of an exopolysaccharide produced by *Mesorhizobium loti* grown on a crude glycerol-based medium. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018, 120(Pt B): 2180—2187. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.158.
15. Terán Hilaes R., Orsi C. A., Ahmed M. A., Marcelino P. F., Menegatti C. R., da Silva S. S., Dos Santos J. C. Low-melanin containing pullulan production from sugarcane bagasse hydrolysate by *Aureobasidium pullulans* in fermentations assisted by light-emitting diode. *Bioresour. Technol.* 2017, 230:76—81. doi:10.1016/j.biortech.2017.01.052.
16. Terán Hilaes R., Resende J., Orsi C. A., Ahmed M. A., Lacerda T. M., da Silva S. S., Santos J. C. Exopolysaccharide (pullulan) production from sugarcane bagasse hydrolysate aiming to favor the development of biorefineries. *Int. J. Biol. Macromol.* 2019, 127:169—177. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.01.038.
17. Sugumaran K. R., Jothi P., Ponnusami V. Bioconversion of industrial solid waste — cassava bagasse for pullulan production in solid state fermentation. *Carbohydr. Polym.* 2014, 99:22—30. doi:10.1016/j.carbpol.2013.08.039.
18. Nirmal N. P., Santivarangkna C., Rajput M. S., Benjakul S. Trends in shrimp processing waste utilization: an industrial prospective. *Trends Food Sci. Tech.* 2020, 103:20—35. doi: 10.1016/j.tifs.2020.07.001.
19. Cheba B. A., Zaghoul T. I., EL-Mahdyd A. R. Demineralized crab and shrimp shell powder: cost effective medium for *Bacillus* sp. R2 growth and chitinase production. *Procedia Manuf.* 2018, 22:413—419. doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.065.

20. Kadam D., Savant D. Biosurfactant production from shrimp shell waste by *Pseudomonas stutzeri*. *Indian J. Mar. Sci.* 2019, 48(9):1411—1418.
21. Costa L. A. S., Campos M. I., Druzian J. I., Oliveira A. M., Oliveira Jr E. N. Biosynthesis of xanthan gum from fermenting shrimp shell: yield and apparent viscosity. *Int. J. Polym. Sci.* 2014. doi: 10.1155/2014/273650.
22. Li P., Xie Y., Zeng Y., Hu W., Kang Y., Li X., Wang Y., Xie T., Zhang Y. Bioconversion of welan gum from kitchen waste by a two-step enzymatic hydrolysis pretreatment. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2017, 183(3):820—832. doi: 10.1007/s12010-017-2466-8.
23. Li P., Li T., Zeng Y., Li X., Jiang X., Wang Y., Zhang Y. Biosynthesis of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* LREL1-1 using kitchen waste as the sole substrate. *Carbohydr. Polym.* 2016, 151:684—691. doi:10.1016/j.carbpol.2016.06.017.
24. Rishi V., Sandhu A. K., Kaur A., Kaur J., Sharma S., Soni S. K. Utilization of kitchen waste for production of pullulan to develop biodegradable plastic. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2020, 104(3):1307—1317. doi: 10.1007/s00253-019-10167-9.
25. Wang D., Ju X., Zhou D., Wei G. Efficient production of pullulan using rice hull hydrolysate by adaptive laboratory evolution of *Aureobasidium pullulans*. *Bioresour. Technol.* 2014, 164:12—19. doi: 10.1016/j.biortech.2014.04.036.
26. Monjazeb Marvdashti L., Abdolshahi A., Hedayati S., Sharifi-Rad M., Iriti M., Salehi B., Sharifi-Rad J. Pullulan gum production from low-quality fig syrup using *Aureobasidium pullulans*. *Cell Mol. Biol. (Noisy-le-grand, France)*. 2018, 64(8):22—26. doi: 10.14715/cmb/2018.64.8.4.
27. Boccia F., Di Donato P., Covino D., Poli A. Food waste and bio-economy: Ascenario for the Italian tomato market. *J. Clean. Prod.* 2019, 227:424—433. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.180.
28. Antunes S., Freitas F., Sevrin C., Grandfils C., Reis M. A. Production of FucoPol by *Enterobacter* A47 using waste tomato paste by-product as sole carbon source. *Bioresour. Technol.* 2017, 227:66—73. doi: 10.1016/j.biortech.2016.12.018.
29. Yoo M. J., Carius B. M. Mango Dermatitis After Urushiol Sensitization. *Clin. Pract. Cases Emerg. Med.* 2019, 3(4):361—363. doi: 10.5811/cpcem.2019.6.43196.
30. Asgher M., Urooj Y., Qamar S. A., Khalid N. Improved exopolysaccharide production from *Bacillus licheniformis* MS3: Optimization and structural/functional characterization. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, 151:984—992. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.11.094.
31. Ozdal M., Kurbanoglu E. B. Valorisation of chicken feathers for xanthan gum production using *Xanthomonas campestris* MO-03. *J. Genet. Eng. Biotechnol.* 2018, 16(2). doi:10.1016/j.jgeb.2018.07.005.
32. Mohsin A., Zhang K., Hu J., Salim-ur-Rehman Tariq M., Zaman W. Q., Guo M. Optimized biosynthesis of xanthan via effective valorization of orange peels using response surface methodology: a kinetic model approach. *Carbohydr. Polym.* 2018, 181:793—800. doi:10.1016/j.carbpol.2017.11.076.
33. Javed A., Ahmad A., Tahir A., Shabbir U., Nouman M., Hameed A. Potato peel waste — its nutraceutical, industrial and biotechnological applications. *AIMS Agric. Food.* 2019, 4(3):807—823. doi: 10.3934/agrfood.2019.3.807.
34. da Silva A. S., dos Santos F. P., de Souza Abud A. K. Xanthan gum production by semisolid and submerged processes using potato peel as substrate. *Braz. J. Development. (BJD)* 2020, 6(5): 25202—25207. doi: 10.34117/bjdv6n5-102.
35. Bajić B., Rončević Z., Puškaš V., Miljić U., Dodić S., Grahovac J., Dodić J. White wine production effluents used for biotechnological production of xanthan. *J. Process. Energy Agriculture.* 2015, 19(1):52—55.
36. Rončević Z. Z., Bajić B. Z., Vučurović D. G., Dodić S. N., Grahovac J. A., Dodić J. M. Xanthan production on wastewaters from wine industry. *Hemjska Industrija.* 2017, 71(2):145—153. doi: 10.2298/HEMIND160401025R.
37. Sengupta B., Datta S., Biswas D. Exploring two contrasting surface-active exopolysaccharides from a single strain of *Ochrobactrum* utilizing different hydrocarbon substrates. *J. Basic Microbiol.* 2019. doi: 10.1002/jobm.201900080.
38. Voronenko A., Ivakhniuk M., Pirog T. Production of exopolysaccharide ethapolan by *Acinetobacter* sp. IMV B-7005 on fried oil and oil-containing mixed substrates. *Banat's J. Biotechnol.* 2020, XI(22):66—75. doi: 10.7904/2068-4738-XI(22)-66. <http://www.bjbabe.ro>.