



2022

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Т о м 28 №. 4

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

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2022

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології

Поліщук Д. В., Заєць Н. А. Система керування інформаційними потоками тепличного комплексу на основі сценарно-синергетичного підходу

Біотехнології

Підгерська Т.О., Карлаш Ю. В. Сидерофори як нова альтернатива антимікробним засобам

Пирог Т. П., Іванов М. С. Вплив біологічних індукторів на антиадгезивну активність поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241

Зомчак В. В., Грегірчак Н. М. Біотехнологія мікробних полісахаридів, продуценти, використання, техніко-економічне обґрунтування виробництва ксантану

Механічна та електрична інженерія

Малецька К. Д., Турчина Т. Я., Авдеєва Л. Ю., Макаренко А. А. Інноваційна теплотехнологія виробництва сухої форми білково-фруктових композицій методом розпилювального сушіння

Грінінг К. Р., Десик М. Г. Зміна гранулометричного складу суспензій лікарських і косметичних засобів під час оброблення у бісерному млині

Харчові технології

Сімахіна Г. О. Динаміка процесу кристалотворення та промислове заморожування плодово-ягідної сировини

Тарасюк Л. А., Олійник С. І., Карпутіна М. В. Сучасна технологія фільтрування природними модифікованими матеріалами для підвищення якості лікєро-горілчаної продукції

Василишина О. В. Вплив полісахаридних композицій на інтенсивність дихання та якість плодів вишні протягом зберігання

Романовська Т. І., Осейко М. І., Романовський Н. О. Фізичні аспекти утворення олійних гелів

Смірнова А. В., Кириленко Р. Г. Енергетична ідентифікація структур іонних систем на відповідність заданим технічним умовам

CONTENTS

Automation and information technologies

7 Polishchuk D., Zaiets N. Information flow management system of the greenhouse complex based on the scenario-synergetic approach

Biotechnologies

16 Pidgerskaya T., Karlash Yu. Siderophores as a new alternative to antimicrobial agents

36 Pirog T., Ivanov M. Influence of biological inductors on the anti-adhesive activity of *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241

47 Zomchak V., Hrehirchak N. Biotechnology of microbial polysaccharides, producers, use, technical and economic justification of xanthan production

Mechanical and Electrical Engineering

60 Maletska K., Turchyna T., Avdeieva L., Makarenko A. Innovative technology of production dry forms of protein-fruit compositions using spray drying method

72 Hrininh K., Desyk M. Change in granulometrical composition of suspensions of medicinal and cosmetic products during processing in a bead mill

Food Technologies

83 Simakhina G. Dynamics of crystallization process and the industrial freezing of raw fruit and berries

96 Tarasiuk L., Oliinyk S., Karputina M. Modern filtration technologies with natural modified materials to improve the quality of alcoholic products

110 Vasylyshyna O. The influence polysaccharide composition on the intensity of respiration and the quality of cherry fruits during storage

118 Romanovska T., Oseiko M., Romanovskyi N. Physical aspects of formation of oil gels

127 Smirnova A., Kyrylenko R. Energy identification of the structures of ionic systems in accordance with the specified technical conditions

- Дричик М. Ю., Шульга О. С.* Розроблення системи простежуваності під час виробництва макаронних виробів 139 *Drychuk M., Shulga O.* Development of the traceability system for the pasta production
- Точкова О. В., Баклан І. О., Бессараб О. С.* Вплив ксантану на структурно-в'язкісні характеристики плодово-овочевого пюре 148 *Tochkova O., Baklan I., Bessarab O.* The influence of xanthan on the structural and viscous characteristics of fruit and vegetable puree

Новини освіти і науки

- Доробок українських науковців від видавництва CRC Press 164

INFLUENCE OF BIOLOGICAL INDUCTORS ON THE ANTI-ADHESIVE ACTIVITY OF *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMV B-7241 SURFACTANTS

T. Pirog, M. Ivanov

National University of Food Technologies

Key words:

Acinetobacter
Calcoacetivus IMV B-7241
Surfactants
Anti-adhesive activity
Biological inductors

Article history:

Received 07.07.2022
Received in revised form 21.07.2022
Accepted 15.08.2022

Corresponding author:

T. Pirog
E-mail:
tapirog@nuft.edu.ua

ABSTRACT

The aim of the work was to study the anti-adhesive activity of surfactants synthesized by *A. calcoacetivus* IMV B-7241 in the presence of *B. subtilis* BT-2 in medium with purified glycerol and waste of biodiesel production (crude glycerol).

Cultivation of *A. calcoacetivus* IMV B-7241 was carried out in a liquid mineral medium with purified glycerol and crude glycerol (3 and 5% v/v, respectively). Alive and inactivated (autoclaved) *B. subtilis* BT-2 cells, as well as the supernatant after cultivation of the BT-2 strain, were used as inductors and introduced into the medium at the beginning of *A. calcoacetivus* IMV B-7241 cultivation at a concentration of 2.5—10% (v/v). Surfactants were extracted from the supernatant of the culture liquid with a modified mixture of Folch. The number of adhered cells of bacterial and yeast test cultures to steel and linoleum in the presence of surfactants was determined by spectrophotometric method.

It was established that the introduction of alive, inactivated *B. subtilis* BT-2 cells or the supernatant into the culture medium of *A. calcoacetivus* IMV B-7241 with glycerol of various degrees of purification was accompanied by the synthesis of surfactants, which were characterized by higher anti-adhesive activity than surfactants formed in medium without inductors. Adhesion of cells of bacterial test cultures (*Bacillus subtilis* BT-2, *Staphylococcus aureus* BMS-1, *Proteus vulgaris* PA-12, *Enterobacter cloacae* C-8) and yeast (*Candida albicans* D-6, *Candida tropicalis* PE-2) on abiotic materials, treated with preparations of surfactants (12—96 µg/ml), synthesized in the presence of biological inductors, was 1.1—5.9 times lower compared to using surfactants formed in medium without inductors. The supernatant after cultivation of *B. subtilis* BT-2 proved to be less effective inductor than alive or inactivated cells of the BT-2 strain.

As a result of this work, the possibility of increasing the anti-adhesive activity of *A. calcoacetivus* IMV B-7241 surfactants by introducing competitive bacteria *B. subtilis* BT-2 in the form of alive, inactivated cells or supernatant into the cultivation medium with both purified and crude glycerol was established. In addition, results indicate that the replacement of purified glycerol in the culture medium of *A. calcoacetivus* IMV B-7241 with crude glycerol allows, firstly, to increase the cost-efficiency of biodiesel production, secondly, to utilize toxic waste, thirdly, to receive surfactants with high anti-adhesive activity.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-4-5

ВПЛИВ БІОЛОГІЧНИХ ІНДУКТОРІВ НА АНТИАДГЕЗИВНУ АКТИВНІСТЬ ПОВЕРХНЕВО- АКТИВНИХ РЕЧОВИН *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMB B-7241

Т. П. Пирог, М. С. Іванов

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено антиадгезивну активність ПАР, синтезованих *A. Calcoacetis* IMB B-7241 за наявності *B. subtilis* БТ-2 у середовищі з очищеним гліцерином та відходами виробництва біодизелю.

Вирощування *A. calcoacetis* IMB B-7241 здійснювали у рідкому мінеральному середовищі з очищеним гліцерином та відходами виробництва біодизелю (об'ємною часткою 3 і 5% відповідно). Живі та інактивовані автоклавуванням клітини *B. subtilis* БТ-2, а також супернатант після вирощування штаму БТ-2 використовували як індуктори та вносили в середовище на початку процесу культивування *A. calcoacetis* IMB B-7241 у концентрації 2,5—10% (об'ємна частка). Позаклітинні поверхнево-активні речовини виділяли з супернатанту культуральної рідини сумішшю Фолча. Вплив розчинів поверхнево-активних речовин на адгезію бактеріальних і дріжджових тест-культур до сталі та лінолеуму визначали спектрофотометричним методом.

Встановлено, що внесення живих, інактивованих клітин *B. subtilis* БТ-2 або супернатанту в середовище культивування *A. calcoacetis* IMB B-7241 з гліцерином різного ступеня очищення супроводжувалося синтезом поверхнево-активних речовин, які характеризувалися вищою антиадгезивною активністю, ніж препарати, утворені в середовищі без індукторів. Адгезія клітин бактеріальних тест-культур (*Bacillus subtilis* БТ-2, *Staphylococcus aureus* БМС-1, *Proteus vulgaris* ПА-12, *Enterobacter cloacae* С-8) і дріжджів (*Candida albicans* Д-6, *Candida tropicalis* РЕ-2) на абіотичних матеріалах, оброблених розчинами поверхнево-активних речовин (12—96 мкг/мл), синтезованих за наявності біологічних індукторів, була в 1,1—5,9 разів нижчою порівняно з використанням препаратів, одержаних за відсутності індукторів. Супернатант після вирощування *B. subtilis* БТ-2 виявився менш ефективним індуктором, ніж живі чи інактивовані клітини штаму БТ-2.

У результаті проведеної роботи встановлено можливість підвищення антиадгезивної активності поверхнево-активних речовин *A. calcoacetis* IMB B-7241 внесенням у середовище культивування як з очищеним гліцерином, так і відходами виробництва біодизелю конкурентних бактерій *B. subtilis* БТ-2 у вигляді живих, інактивованих клітин або супернатанту. Крім того, одержані результати вказують, що заміна очищеного гліцерину в середовищі культивування *A. calcoacetis* IMB B-7241 на відходи виробництва біодизелю дає змогу, по-перше, підвищити рентабельність виробництва біодизелю, по-друге, утилізувати токсичні відходи, по-третє, одержати поверхнево-активні речовини з високою антиадгезивною активністю.

Ключові слова: *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, поверхнево-активні речовини, антиадгезивна активність, біологічні індуктори.

Постановка проблеми. Останніми роками збільшується кількість досліджень щодо перспектив практичного застосування мікробних поверхнево-активних речовин (ПАР) завдяки їхнім антимікробним, антиадгезивним властивостям та здатності до руйнування біоплівки (Abdelli та ін., 2019). Проте натепер ефективність технологій цих продуктів мікробного синтезу є нижчою порівняно з одержанням синтетичних аналогів. Для зниження собівартості ПАР мікробного походження як субстрати для їх біосинтезу використовують промислові відходи, зокрема відходи виробництва біодизелю (технічний гліцерин) (Diamantopoulou та ін., 2020; Пирог, Іванов, & Ярова, 2021). Разом з тим у літературі є лише поодинокі відомості щодо біологічних властивостей мікробних ПАР, синтезованих на таких відходах, і стосуються вони виключно антимікробної активності поверхнево-активних речовин (Bharali та ін., 2014).

У той же час з кожним роком усе активніше досліджуються антиадгезивні властивості мікробних ПАР (Yan та ін., 2019; Marcelino та ін., 2020; Ohadi та ін., 2020). Це зумовлено тим, що колонізація мікроорганізмами різних поверхонь є досить небезпечним явищем, що спричиняє не лише поширення інфекційних захворювань, а й псування продуктів (Ribeiro, Guetta, & Sarubbo, 2020). Так, наприклад, досліджується можливість застосування поверхнево-активних речовин мікробного походження як антиадгезивних агентів у виробництві молочних продуктів з метою запобігання адгезії мікроорганізмів до поверхні теплообмінників (Marcelino та ін., 2020).

Зазначимо, що упродовж останніх років з'являється все більше наукових публікацій про культивування продуцентів різноманітних практично цінних сполук за наявності так званих біологічних індукторів (конкурентних мікроорганізмів), що супроводжується посиленням антимікробної активності синтезованих цільових метаболітів (Li та ін., 2021).

У наших попередніх дослідженнях (Пирог, Іванов & Ярова, 2021) встановлено, що внесення у середовище культивування продуцента поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 клітин конкурентних бактерій *Bacillus subtilis* БТ-2 дало змогу підвищити антимікробну активність ПАР.

Одним з механізмів антиадгезивної дії мікробних ПАР є їх антимікробна активність, зумовлена порушенням функції клітинної мембрани в результаті дестабілізації її ліпідної упаковки, що супроводжується збільшенням гідрофобності поверхні мікроорганізмів. За рахунок таких змін під дією ПАР підвищується проникність клітинних мембран і, як наслідок, зниження адгезії клітин до твердих поверхонь (Ohadi та ін., 2020).

У зв'язку з викладеним вище припустили, що можна підвищити не тільки антимікробну, а й антиадгезивну активність мікробних ПАР у разі культивування продуцента за наявності біологічних індукторів.

Мета статті: дослідити антиадгезивну активність поверхнево-активних речовин, синтезованих *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 за наявності *Bacillus subtilis* БТ-2 у середовищі з очищеним гліцерином і відходами виробництва біодизелю.

Матеріали і методи. Основний об'єкт досліджень — штам *Acinetobacter calcoaceticus* K-4, зареєстрований в Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного Національної академії наук України за номером ІМВ В-7241.

Штами бактерій (*Bacillus subtilis* БТ-2, *Staphylococcus aureus* БМС-1, *Proteus vulgaris* ПА-12, *Enterobacter cloacae* С-8) і дріжджів (*Candida albicans* Д-6, *Candida tropicalis* РЕ-2) з колекції живих культур кафедри біотехнології і мікробіології Національного університету харчових технологій використовували як тест-культури під час визначення антиадгезивних властивостей поверхнево-активних речовин.

Вирощування *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 здійснювали у рідкому мінеральному середовищі (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021). Концентрації очищеного гліцерину (3%, об'ємна частка) та відходів виробництва біодизелю (5%, об'ємна частка) еквімолярні за вуглецем.

B. subtilis БТ-2 у вигляді суспензії живих та інактивованих клітин, а також супернатант після вирощування штаму БТ-2 використовували як біологічний індуктор, який вносили у середовище вирощування *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 на початку процесу культивування.

Підготовку біологічного індуктора, виділення поверхнево-активних речовин, визначення концентрації ПАР здійснювали так, як описано у нашій попередній статті (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021).

Визначення антиадгезивних властивостей препаратів ПАР проводили як описано у (Rufino та ін., 2011). Однакові пластинки досліджуваного матеріалу (лінолеум, нержавіюча сталь) розміром 1 см² очищали за допомогою миючого засобу «Gala», ополіскували у дистильованій воді і стерилізували відповідно до матеріалу (нержавіюча сталь — при 112°C, 1 год; лінолеум — 112°C, 30 хв).

Частину пластинок матеріалу обробляли препаратами ПАР, а іншу — стерильною дистильованою водою (контроль), для чого поміщали пластинки на 24 год у препарат (або дистильовану воду) і витримували при кімнатній температурі. Потім контрольні і попередньо оброблені препаратами ПАР пластинки ополіскували 10 мл стерильної дистильованої води для видалення залишку препаратів.

Для забезпечення прикріплення клітин на поверхні матеріалів у суспензію тест-культур поміщали попередньо оброблені препаратами ПАР і контрольні пластинки лінолеуму та сталі і витримували 2 год при кімнатній температурі, після чого ополіскували 10 мл стерильної водопровідної води для видалення неадгезованих клітини. Після висихання пластинок на повітрі адгезовані клітини фіксували обробкою метанолом (99%) упродовж 15 хв і фарбували 1% розчином генціанвіолету (5 хв), ополіскували водопровідною водою і висушували при кімнатній температурі. Далі адгезовані клітини змивали з пластинок льодовою оцтовою кислотою (1 мл), добавляли 9 мл дистильованої води і вимірювали оптичну густину при 540 нм.

Кількість адгезованих клітин (адгезія) визначали спектрофотометричним методом як відношення оптичної густини суспензії, одержаної з оброблених препаратами ПАР матеріалів (сталь, лінолеум), до оптичної густини контрольних зразків (без обробки ПАР) і виражали у відсотках.

Усі досліди проводили в 3 повторах, кількість паралельних визначень в експериментах становила 3—5. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали так, як описано раніше (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021).

Викладення основних результатів дослідження. Властивості мікробних поверхнево-активних речовин в основному визначаються їх типом (гліко-, рамно-, софоро-, аміноліпіди), тому антиадгезивна активність різниться залежно від співвідношення компонентів у складі комплексу ПАР (Ceresa та ін., 2021).

Одним з факторів, що зумовлюють антиадгезивну активність аніонних мікробних аміноліпідів, є сили електростатичного відштовхування між негативно зарядженими вкритими ПАР поверхнями і негативним зарядом бактеріальних клітин (Jemil та ін., 2017). З іншого боку, антиадгезивна активність мікробних ПАР може бути зумовлена зниженням гідрофобності поверхні матеріалу і зміною поверхневого натягу (Giri, Ryu, Sukumaran, & Park, 2019).

За дії більшості мікробних поверхнево-активних речовин збільшується гідрофобність поверхні клітин тест-культур, ці зміни підвищують проникність клітинних мембран і зменшують заряд поверхні, перешкоджаючи адгезії мікроорганізмів (Bionda та ін., 2016).

У табл. 1 наведено дані щодо кількості клітин бактеріальних тест-культур, прикріплених до пластинок сталі, оброблених розчинами поверхнево-активних речовин, синтезованих *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 на гліцерині різного ступеня очищення за наявності біологічних індукторів.

Внесення в середовище з очищеним гліцерином і відходами виробництва біодизелю всіх типів індуктора (живі, інактивовані клітини, супернатант) супроводжувалося синтезом ПАР, після обробки розчинами яких (96 мкг/мл) адгезія клітин *B. subtilis* БТ-2, *P. vulgaris* ПА-12, *E. cloaceae* С-8, *S. aureus* БМС-1 на сталі була значно нижчою, ніж на поверхнях, оброблених розчинами ПАР аналогічної концентрації, синтезованих без індукторів. Виявилось неочікуваним, що незалежно від наявності біологічних індукторів у середовищі культивування продуцента антиадгезивна активність ПАР, утворених *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 на відходах виробництва біодизелю, виявилася вищою порівняно з такою поверхнево-активних речовин, одержаних на очищеному гліцерині (адгезія 11—64 і 12—90% відповідно, див. табл. 1). У статті (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021) ми акцентували увагу на тому, що використання як субстрату відходів виробництва біодизелю супроводжувалося зниженням антимікробної активності ПАР порівняно з такою препаратів, синтезованих на очищеному гліцерині. Такі результати узгоджуються з даними, наведеними у статтях (Jemil та ін., 2017; (Giri, Ryu, Sukumaran, & Park, 2019) і можуть свідчити про те, що антиадгезивна активність ПАР *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 забезпечується переважно іншими, ніж антимікробна активність, механізмами.

Дані, наведені у табл. 1, свідчать про те, що супернатант після вирощування *B. subtilis* БТ-2 виявився менш ефективним індуктором, ніж живі чи інактивовані клітини штаму БТ-2.

Подібні до наведених у табл. 1 закономірності спостерігалися під час дослідження адгезії бактеріальних тест-культур на пластинках лінолеуму після обробки розчинами ПАР, синтезованих *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 в різних

умовах культивування (табл. 2).

*Таблиця 1. Адгезія бактерій на сталі після обробки розчинами поверхнево-активних речовин, синтезованих *A. calcoaceticus* IMB В-7241 за наявності біологічних індукторів*

Субстрат для синтезу ПАР	Біологічний індуктор	Адгезія (%)			
		<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	<i>Proteus vulgaris</i> ПА-12	<i>Enterobacter cloacae</i> С-8	<i>Staphylococcus aureus</i> БМС-1
Очищений гліцерин	Контроль (без індуктора)	89	63	86	90
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	44	12	50	25
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	67	12	50	25
	Супернатант	78	50	56	50
Відходи виробництва біодизелю	Контроль (без індуктора)	44	Н.в.	64	50
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	11	Н.в.	31	25
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	11	Н.в.	52	25
	Супернатант	33	Н.в.	52	25

Примітка: концентрація ПАР становила 96 мкг/мл; н.в. — не визначали; під час визначення адгезії похибка не перевищувала 5%.

Таблиця 2. Вплив поверхнево-активних речовин, синтезованих *A. calcoaceticus* IMB В-7241 за наявності біологічних індукторів, на прикріплення бактерій до лінолеуму

Субстрат для синтезу ПАР	Біологічний індуктор	Адгезія (%)			
		<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	<i>Proteus vulgaris</i> ПА-12	<i>Enterobacter cloacae</i> С-8	<i>Staphylococcus aureus</i> БМС-1
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Очищений гліцерин	Контроль (без індуктора)	90	76	62	83
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	30	20	28	33
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	60	25	46	38
	Супернатант	70	50	56	40
Відходи виробництва біодизелю	Контроль (без індуктора)	Н.в.	96	75	33

1	2	3	4	5	6
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	Н.в.	40	32	17
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	Н.в.	70	39	17
	Супернатант	Н.в.	70	57	25

Примітка: концентрація ПАР становила 96 мкг/мл; н.в. — не визначали; під час визначення адгезії похибка не перевищувала 5%.

Так, по-перше, антиадгезивна активність поверхнево-активних речовин, одержаних на очищеному гліцерині і відходах виробництва біодизелю за наявності усіх типів індукторів, була вищою, ніж синтезованих у середовищі без індукторів (адгезія становила 33—96 і 17—70% відповідно). По-друге, ефект від використання як індуктора супернатанту був нижчим порівняно з внесенням у середовище культивування з гліцерином різного ступеня очищення живих та інактивованих клітин *B. subtilis* БТ-2.

Проте на відміну від наведених у табл. 1 даних про вищу антиадгезивну активність ПАР, синтезованих на відходах виробництва біодизелю (результати прикріплення бактеріальних тест-культур до сталі), адгезія клітин на лінолеумі, обробленому поверхнево-активними речовинами, синтезованими на гліцерині різного ступеня очищення була практично однаковою (17—96 і 20—90% відповідно). Такі результати свідчать про те, що антиадгезивна активність мікробних ПАР залежать від багатьох факторів, зокрема від типу абіотичної поверхні.

У табл. 1 і 2 наведено дані щодо адгезії бактеріальних тест-культур на сталі і лінолеумі, оброблених розчинами ПАР у концентрації 96 мкг/мл. За такої концентрації ПАР, синтезованих на очищеному гліцерині і відходах виробництва біодизелю за наявності живих та інактивованих клітин індуктора, адгезія клітин бактерій перебувала в межах від 11 до 70%. У той же час адгезія клітин дріжджів роду *Candida* на цих поверхнях становила 10—50% у разі використання для їх обробки утворених в аналогічних умовах препаратів з нижчою у 8 разів концентрацією ПАР (12 мкг/мл, табл. 3). Отже, антиадгезивна активність мікробних ПАР залежить не тільки від типу поверхні, а й від концентрації поверхнево-активних речовин.

Так само, як і адгезія бактеріальних тест-культур (див. табл. 1 і 2), адгезія дріжджів роду *Candida* (див. табл. 3) на абіотичних поверхнях, оброблених розчинами поверхнево-активних речовин, синтезованих за наявності біологічних індукторів, була нижчою, ніж після обробки ПАР, одержаних у середовищі без індуктора. Проте після обробки лінолеуму і сталі розчинами ПАР, утвореними на гліцерині різного ступеня очищення за наявності супернатанту, живих та інактивованих клітин *B. subtilis* БТ-2, адгезія клітин дріжджів знижувалася у 1,5—5,9 рази (див. табл. 3), тоді як адгезія бактеріальних клітин — всього в 1,1—4 рази (див. табл. 1 і 2) порівняно з показниками, встановленими для ПАР, синтезованих у середовищі без індукторів. Таким чином, антиадгезивна активність

мікробних ПАР залежить також і від типу тест-культур.

Таблиця 3. Адгезія дріжджів на абіотичних поверхнях, оброблених розчинами поверхнево-активних речовин, синтезованих *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 за наявності біологічних індукторів

Субстрат для синтезу ПАР	Біологічний індуктор	Адгезія (%)			
		<i>Candida tropicalis</i> PE-2		<i>Candida albicans</i> Д-6	
		сталь	лінолеум	сталь	лінолеум
Очищений гліцерин	Контроль (без індуктора)	50	33	83	86
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	10	18	14	23
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	10	19	14	26
	Супернатант	30	24	17	28
Відходи виробництва біодизелю	Контроль (без індуктора)	90	64	54	68
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	40	15	12	13
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	50	24	20	17
	Супернатант	70	42	36	18

Примітка: концентрація ПАР становила 12 мкг/мл; під час визначення адгезії похибка не перевищувала 5%.

Зазначимо, що в літературі є достатньо інформації про вплив біологічних індукторів (живих чи інактивованих клітин, або супернатанту) на антимікробну активність продуктів мікробного синтезу, проте в доступній літературі нам не вдалося знайти повідомлень про підвищення антиадгезивної активності метаболітів за наявності в середовищі культивування продуцента біологічних індукторів.

Наведені у цій статті результати узгоджуються з нашими попередніми дослідженнями про вплив біологічних індукторів на антиадгезивну активність поверхнево-активних речовин, синтезованих *Nocardia vaccinii* ІМВ В-7405 (Пирог, Скроцька, & Шевчук, 2020) і *Rhodococcus erythropolis* ІМВ Ас-5017 (Pirog, Kluchka, Skrotska, & Stabnikov, 2020; Пирог, Ключка, & Ключка, 2022) на різних субстратах. Так, у разі внесення в середовище культивування *N. vaccinii* ІМВ В-7405 з відходами виробництва біодизелю і відпрацьованою соняшниковою олією живих та інактивованих клітин *Escherichia coli* ІЕМ-1 і *B. subtilis* БТ-2 спостерігали синтез поверхнево-активних речовин, після обробки якими в концентрації 40 мкг/мл адгезія бактеріальних тест-культур на полістиролі була на 16—23% нижчою порівняно з показниками, встановленими для ПАР, утвореними на середовищі без індукторів (Пирог, Скроцька, & Шевчук, 2020).

Внесення бактерій-індукторів у середовище культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 з етанолом супроводжувалося утворенням ПАР, після обробки якими адгезія клітин *S. aureus* БМС-1 і *C. albicans* Д-6 на абіотичних поверхнях

становила 7—39 % і була нижчою, порівняно з використанням поверхнево-активних речовин, одержаних за відсутності індукторів (33—87%) (Pirog, Kluchka, Skrotska, & Stabnikov, 2020; Пирог, Ключка, & Ключка, 2022). У цих дослідженнях концентрація ПАР *R. erythropolis* IMB Ac-5017 становила 12—24 мкг/мл.

У попередніх дослідженнях (Пирог, Скроцька, & Шевчук, 2020; Pirog, Kluchka, Skrotska, & Stabnikov, 2020; Пирог, Ключка, & Ключка, 2022) як конкурентні мікроорганізми використовували живі та інактивовані клітини бактерій. Дані, наведені у цій статті, підтверджують можливість використання як індуктора супернатанту після вирощування *B. subtilis* БТ-2.

Зазначимо, що натепер у літературі є поодинокі відомості про антиадгезивну активність мікробних ПАР, синтезованих на очищеному гліцерині і відсутня інформація про такі біологічні властивості ПАР, утворених на відходах виробництва біодизелю.

У (Chebbi та ін., 2017) встановлено, що адгезія *Bacillus licheniformis* CAN55 та *Staphylococcus capitis* SH6 на полістиролі після обробки розчинами рамноліпідів (3125 мкг/мл), синтезованими *Pseudomonas aeruginosa* W10 на очищеному гліцерині, становила 15 та 35% відповідно.

Іншими дослідниками (Giri, Ryu, Sukumaran, & Park, 2019) показано, що адгезія клітин *S. aureus* ATCC 29523, *Salmonella typhimurium* ATCC 19430, *Bacillus cereus* MTCC 7190 на полістиролі, обробленому розчинами ліпопептидів (3000 мкг/мл), синтезованими *B. subtilis* VSG4 на очищеному гліцерині, перебувала в діапазоні 33—40%.

Дані, наведені у табл. 1—3, свідчать про те, що поверхнево-активні речовини *A. calcoaceticus* IMB B-7241, утворені як на очищеному гліцерині, так і на відходах виробництва біодизелю, є ефективнішими антиадгезивними агентами, ніж описані у працях (Chebbi та ін., 2017; Giri, Ryu, Sukumaran, & Park, 2019), оскільки вони проявляють антиадгезивну активність у значно нижчих концентраціях (12—96 мкг/мл).

Крім того, одержані результати вказують, що заміна очищеного гліцерину в середовищі культивування *A. calcoaceticus* IMB B-7241 на відходи виробництва біодизелю дає змогу, по-перше, підвищити рентабельність виробництва біодизелю, по-друге, утилізувати токсичні відходи, по-третє, одержати поверхнево-активні речовини з високою антиадгезивною активністю.

Висновки

Отже, в результаті проведеного дослідження встановлено можливість підвищення антиадгезивної активності поверхнево-активних речовин *A. calcoaceticus* IMB B-7241 внесенням у середовище культивування як з очищеним гліцерином, так і відходами виробництва біодизелю конкурентних бактерій *B. subtilis* БТ-2 у вигляді живих, інактивованих клітин або супернатанту.

Література

Пирог, Т. П., Иванов, М. С., Ярова, Г. А. (2021). Антимікробна активність поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, синтезованих за наявності біологічних індукторів. *Наукові праці НУХТ*, 27(4), 43–52. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/36596>.

Пирог, Т. П., Ключка, І. В., Ключка, Л. В. (2022). Вплив інактивованих клітин конкурентних мікроорганізмів на біологічну активність поверхнево-активних речовин *Rhodococcus erythropolis* IMB Ас-5017. *Наукові праці НУХТ*, 28(2), 24—35. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/37684>.

Пирог, Т. П., Скроцька, О. І., Шевчук, Т. А. (2020). Вплив біологічних індукторів на анти-мікробну, антиадгезивну активність та деструкцію біоплівки поверхнево-активними речовинами *Nocardia vaccinii* IMB В-7405. *Мікробіологічний журнал*, 82(3), 35—44. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.035>.

Abdelli, F., Jardak, M., Elloumi, J., Stien, D., Cherif, S., Mnif, S., Aifa, S. (2019). Antibacterial, anti-adherent and cytotoxic activities of surfactin(s) from a lipolytic strain *Bacillus safensis* F4. *Biodegradation*, 30, 287—300. <https://doi.org/10.1007/s10532-018-09865-4>.

Bharali P., Singh S. P., Dutta N., Gogoi S., Bora L. C., Debnath P., Konwar B. K. (2014). Biodiesel derived waste glycerol as an economic substrate for biosurfactant production using indigenous *Pseudomonas aeruginosa*. *RSC Advances*, 4(73): 38698—38706. <https://doi.org/10.1039/c4ra05594b>.

Bionda, N., Fleeman, R. M., Fuente-Núñez, C., Rodriguez, M. C., Reffuveille, F., Shaw, L. N., Pastar, I., Davis, S. C., Hancock, R., Cudic, P. (2016). Identification of novel cyclic lipopeptides from a positional scanning combinatorial library with enhanced antibacterial and antibiofilm activities. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 108, 354—363. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.11.032>.

Ceresa, C., Fracchia, L., Fedeli, E., Porta, C., Banat, I. M. (2021). Recent advances in biomedical, therapeutic and pharmaceutical applications of microbial surfactants. *Pharmaceutics*, 13(4), 466. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13040466>.

Chebbi, A., Elshikh, M., Haque, F., Ahmed, S., Dobbin, S., Marchant, R., Sayadi, S., Chamkha, M., Banat, I. M. (2017). Rhannolipids from *Pseudomonas aeruginosa* strain W10; as anti-biofilm/antibiofouling products for metal protection. *Journal of Basic Microbiology*, 57(5), 364—375. <https://doi.org/10.1002/jobm.201600658>.

Diamantopoulou, P., Filippousi, R., Antoniou, D., Varfi, E., Xenopoulos, E., Sarris, D., Papanikolaou, S. (2020). Production of added-value microbial metabolites during growth of yeast strains on media composed of biodiesel-derived crude glycerol and glycerol/xylose blends. *FEMS Microbiology Letters*, 367(10). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa063>.

Jemil, N., Ben Ayed, H., Manresa, A., Nasri, M., Hmidet, N. (2017). Antioxidant properties, antimicrobial and anti-adhesive activities of DCS1 lipopeptides from *Bacillus methylotrophicus* DCS1. *BMC Microbiology*, 17(1), 144. <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1050-2>.

Giri, S. S., Ryu, E., Sukumaran, V., Chang, P. S. (2019). Antioxidant, antibacterial, and antiadhesive activities of biosurfactants isolated from *Bacillus strains*. *Microbial Pathogenesis*, 132, 66—72. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.04.035>.

Li, F., Yan, S., Huang, Z., Gao, W., Zhang, S., Mo, S., Lin, S., Wang, J., Hu, Z., Zhang, Y. (2021). Inducing new bioactive metabolites production from coculture of *Pestalotiopsis* sp. and *Penicillium bialowiezense*. *Bioorganic Chemistry*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.104826>.

Marcelino, P. R. F., Gonçalves, F., Jimenez, I. M., Carneiro, B. C., Santos, B. B., da Silva, S. S. (2020). Sustainable Production of Biosurfactants and Their Applications. In *Lignocellulosic Biorefining Technologies*. *John Wiley & Sons Ltd.*, 8, 159—184. <https://doi.org/10.1002/9781119568858.ch8>.

Ohadi, M., Forootanfar, H., Dehghannoudeh, G., Eslaminejad, T., Ameri, A., Shakibaie, M., Adeli-Sardou, M. (2020). Antimicrobial, anti-biofilm, and anti-proliferative activities of lipopeptide biosurfactant produced by *Acinetobacter junii* B6. *Microbial Pathogenesis*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103806>.

Piróg, T., Kluchka, L., Skrotska, O., Stabnikov, V. (2020). The effect of co-cultivation of *Rhodococcus erythropolis* with other bacterial strains on biological activity of synthesized surface-active substances. *Enzyme and Microbial Technology*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2020.109677>.

Ribeiro, B. G., Guerra, J. M. C., Sarubbo, L. A. (2020). Biosurfactants: Production and applica-

tion prospects in the food industry. *Biotechnol Progress*, 36(5). <https://doi.org/10.1002/btpr.3030>.

Rufino, R. D., Luna, J. M., Sarubbo, L. A., Rodrigues, L. R., Teixeira, J. A., Campos-Takaki, G. M. (2011). Antimicrobial and anti-adhesive potential of a biosurfactant Rufisan produced by *Candida lipolytica* UCP 0988. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 84(1), 1—5. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.10.045>.

Yan, X., Gu, S., Cui, X., Shi, Y., Wen, S., Chen, H., Ge, J. (2019). Antimicrobial, anti-adhesive and anti-biofilm potential of biosurfactants isolated from *Pediococcus acidilactici* and *Lactobacillus plantarum* against *Staphylococcus aureus* CMCC26003. *Microbial Pathogenesis*, 127, 12—20. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.11.039>.