

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

БІОКОНВЕРСІЯ ЖИРОВИХ ВІДХОДІВ М'ЯСОПЕРЕРОБКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДРІДЖІВ *Y. LIPOLYTICA*

М. М. Мадані¹¹Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна

УДК 606.628.3:663

DOI: 10.52363/2522-1892.2023.2.4

Отримано: 03 жовтня 2023

Прийнято: 29 листопада 2023

Cite as: Madani M. (2023). Bioconversion of meat processing fatty waste using yeast *Y.lipolytica*. Technogenic and ecological safety, 14(2/2023), 32–41. doi: 10.52363/2522-1892.2023.2.4

Анотація

Запропоновано технологію утилізації жирів м'ясопереробки на основі комбінуння фізико-хімічного впливу і біологічного окиснення. Визначено основні хімічні та мікробіологічні показники жиромісної фази стоків м'ясопереробних підприємств. Встановлено, що в процесі витримування відходів в шламозбірнику (1...13 діб) в результаті життєдіяльності автохтонних мікроорганізмів, вміст жирів знижується з 87 % до 58 %. Домінуючим організмом автохтонної мікрофлори відходів є гриби *Geotrichum.sp.* Установлено, що найбільш перспективним біодекстректором жирів є дріжджі *Yarrowia lipolytica*, селекціоновані щодо субстрату.

Розроблено спосіб попередньої обробки жиромісної твердої фази жирів, що підвищує ефективність їх споживання культурою *Yarrowia lipolytica*. В основі способу є ультразвукове диспергування жирової маси, в результаті чого підвищується біодоступність субстрату і, як наслідок зростає питома швидкість росту і вихід мікробної біомаси на 11 % і 30 % відповідно.

Запропоновано способи підготовки посівного матеріалу, що дозволяють підвищити ефективність основного процесу за показниками: виходу біомаси (на 10,1 %); питомої швидкості росту (з 0,20 до 0,26 год⁻¹); вмістом білка (на 16,7 %). Способи включають селекцію (5...7 пасажів) високопродуктивних клонів, що проводиться в напрямках підвищення спорідненості до субстрату і стресостійкості до дії гідроген пероксиду (2,5 г/л).

Отримані результати показали, що при використанні дріжджів *Yarrowia lipolytica* для біодеструкції жирів доцільне застосування як доливного, так і безперервного методів культивування, які не призводять до суттєвих змін якості одержуваної біомаси. Вимивання дріжджів не спостерігалось в доливному режимі при 24 % відбирання культуральної рідини на годину, а в разі безперервного режиму - при швидкості потоку 0,24 год⁻¹, при цьому вміст білка і ліпідів складав 42,7 % та 7,2 %, 41,4 % і 7,9 % відповідно.

Ключові слова: технічна екологія, технології захисту, поводження з відходами, біоконверсія, стічні води.

Постановка проблеми

Істотне збільшення масштабів виробництв м'ясопереробного комплексу гостро ставить питання переробки відходів, які утворюються при обробці м'ясо-кісткової сировини, освітленні стічних вод у жириловці та флотаторі, очищенні колодязів бійні.

Для м'ясопереробних підприємств основними проблемами є утилізація органічних відходів, таких як кров, вміст шлунків і кишків, обріз м'яса тощо. Серед них можна виділити жирову складову, тому що на неї доводиться основна частка загальної кількості відходів. Так тверда тваринна маса, що збирається у відстійниках, містить не менше 40...45 % жиру-сирцю [1].

Таким чином, у ході роботи м'ясопереробних підприємств неминуче утворюються великі кількості жирів, а їх зараженість мікрофлорою призводить до швидкого загнивання з утворенням неприємних запахів. Крім того, високий вміст жирів у стічних водах ускладнює функціонування очисних споруд м'ясокомбінатів, оскільки сприяє утворенню відкладів на стінках труб і резервуарів.

Існуючі технології переробки жирів можна розділити на два типи: фізико-хімічні та мікробіологічні. Перші, що включають лужний гідроліз і окислення, витопплення жиру, озонування стоків, мають ряд істотних недоліків. Вони

вимагають жорстких умов, суттєвих капітальних витрат, малоєфективні, а попит на пропоновані ними продукти переробки відходів недостатньо високий. Мікробіологічні технології переробки жиромісних відходів передбачають використання біопрепаратів, що містять живі клітини мікроорганізмів, або комплекси ферментів, подальше доокислення жирів перманганатом калію та перекисом водню. Також пропонується використовувати біофільтри та проводити біодеструкцію анаеробним зброджуванням. Біологічні методи відрізняються високою ефективністю, проте їх істотним недоліком є те, що вони не передбачають отримання продукту, а передбачають лише утилізацію відходів. Це суттєво знижує їхню цінність з позицій підвищення рентабельності основного виробництва.

На сьогодні накопичений величезний досвід у галузі мікробіологічної переробки відходів різного походження. До відмінних особливостей таких технологій можна віднести здатність застосовуваних мікроорганізмів асимілювати широкий спектр органічних сполук, а також їх високу пристосованість до зміни складу використовуваної сировини. Мікробіологічні процеси у порівнянні з традиційними хімічними технологіями протікають у більш м'яких умовах, а мікробна біомаса, що утворюється, може бути використана як цінна кормова добавка для сільськогосподарських птахів і

худоби. Останнє особливо актуальне для сучасного українського кормовиробництва, тому що дозволяє більш ефективно використовувати сировинні ресурси і з найменшими витратами досягати максимальної продуктивності тваринництва та птахівництва. В даний час український ринок комбікормів представлений різними відходами від переробки олійних і зернових культур, істотним недоліком яких є низький вміст білкових речовин та їх збіднення за незамінними амінокислотами.

Таким чином, сучасні господарські потреби включають необхідність виробництва білкових кормових добавок та вирішення екологічних питань при переробці жировмісних стоків м'ясопереробних підприємств. Це дозволяє розглядати дослідження, спрямовані на вирішення даних проблем, як такі, що мають велике практичне і соціальне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

М'ясопереробні підприємства стикаються з проблемами утилізації цілого ряду різних органічних відходів. Серед них особливо можна виділити жировмісні відходи, що утворюються при переробці м'яса, освітленні стічних вод у жироловці та флотаторі, очищенні колодязів бійні [2, 3]. Найбільша кількість жировмісних відходів утворюється при очищенні стічних вод, які представляють собою розбавлені емульсії. Вміст забруднюючих жировмісних домішок у стічних водах сягає 900 мг/л, в той час, як допустима концентрація не повинна перевищувати 50 мг/л. Щоб добитися необхідного результату, потрібна ефективність очищення стічних вод близько 95 %. До того ж стоки м'ясопереробних підприємств характеризуються нерівномірністю надходження, зміною концентрації забруднень протягом доби, коливаннями значень рН (6,5...8,5) [4-6].

Існуючі технології схеми очищення стічних вод передбачають періодичне (1...2 рази на добу) видалення до шламозбірника жирового шламу, що спливає, після проходження жироловлювача. Об'єм шламозбірника розрахований на накопичення відходів протягом 3...5 діб, далі вони захоронюються на полігоні твердих побутових відходів [6].

Нині пропонується ряд технологій, що дозволяють утилізувати або переробляти жирові відходи [8-12]. Можна виділити два основних напрямки запропонованих технологій: фізико-хімічні та біологічні.

Аналіз літератури показує, що на сьогоднішній день існує широкий спектр технологій, в основі яких фізико-хімічний вплив на жирові відходи. В деяких з них вдається отримати продукт, який може бути використаний в подальшій господарській діяльності людини [8].

Незважаючи на різні дослідження наукових колективів, як в Україні, так і за кордоном, поки не існує безпечних технологій переробки малоцінних жирів, і жодне виробництво досі не налагоджено в промислових масштабах. Тому малоцінні жири, знищуються як відходи очищення стічних вод [10].

Одним із сучасних напрямків переробки жировмісних відходів є комбінування фізико-хімічного впливу і біологічного окиснення [11]. В рамках

однієї з таких технологій пропонується використовувати біологічне окиснення як проміжний етап шляхом використання біопрепаратів, що містять комплекс ліполітичних ферментів, а також живу культуру мікроорганізмів. Це дозволяє істотно скоротити терміни очищення стічних вод і водночас знизити економічні витрати. Дана технологія передбачає подальше окиснення біомаси калій перманганатом і гідроген пероксидом [13].

Необхідно відзначити, що ряд технологічних схем передбачає очистку стоків від жировмісних домішок препаратами, що складаються як з монокультур, так і суміші мікроорганізмів роду *Mucor*, *Bacillus*, *Pseudomonas* тощо [14, 15]. Недоліком запропонованих технологій є відсутність продукту, що представляє інтерес для подальшої діяльності людини. Таким чином, дані способи дозволяють тільки знизити токсичність техногенних відходів, але не переробити їх.

Вже розроблено підходи до біосинтетичної і ензиматичної переробки тваринних жирів на продукти з підвищеною біологічною активністю. Так, існують технології гідролізу жирів стічних вод харчових виробництв за використанням як мікробних ліпаз [13, 16], так і ліпаз підшлункової залози великої рогатої худоби. У результаті ферментативного розщеплення жиру тваринними ліпазами відбувається вивільнення зі структури жирів всього спектру жирних кислот [17]. Таким чином, можуть бути отримані жировмісні добавки з підвищеною біологічною цінністю для харчових композицій і мікробіологічних середовищ [18].

Необхідно відзначити, що пропонується технологія, які дозволяють здійснювати біологічну деструкцію як в аеробних умовах, так і шляхом анаеробного зброджування.

Досить розповсюджений також метод переробки жировмісних відходів харчових підприємств зброджуванням молочнокислими бактеріями. Даний спосіб включає в себе термічну обробку сировини, ферментативний гідроліз, при необхідності пропонується додатково здійснювати фільтрацію [19]. Недоліком цього способу є необхідність здійснення декількох стадій, а також використання ферментного препарату, що істотно підвищує собівартість кінцевого продукту.

Також пропонується анаеробне зброджування відходів з метою отримання біогазу та інших газоподібних продуктів [20]. Залишок, що утворюється при такій переробці відходів, може бути використаний як добриво. Його склад залежить від складу вихідної сировини. У сприятливих для анаеробного зброджування умовах зазвичай розкладається близько 70 % органічних речовин [21]. Головним фактором, що стримує впровадження даної технології на виробничих підприємствах, незважаючи на всі плюси, є суттєві капітальні витрати [22].

Існують також ряд технологічних схем аеробної переробки жировмісних відходів з використанням дріжджових культур, причому ряд дослідників рекомендує помірно-галофільні дріжджі *Yarrowia lipolytica* [23, 24].

Аналіз літератури показує, що дріжджі *Y.lipolytica* успішно застосовуються при очищенні жиромісних стоків підприємств, що займаються переробкою різних видів рослинної сировини. Так, наприклад, доведено, що штам *Y.lipolytica* 3589 знижує хімічне споживання кисню (ХСК) стічних вод підприємств з виробництва пальмової олії на 95 % за два дні [23], а штам *Y.lipolytica* ATCC 20255 знижує ХСК стічних вод виробництва оливкової олії на 80 % за 24 години. При цьому накопичення біомаси дріжджів склало 22,45 г/л [25].

Можливості сучасної біотехнології дозволяють знайти альтернативний спосіб використання жиромісних стоків м'ясопереробних підприємств, який зачіпає не тільки екологічні аспекти виробництва, але і проблему дефіциту кормового білка. Так, в даний час встановлена здатність термофільного штаму *Candida tropicalis* 928 і вищевказаних дріжджів *Y.lipolytica* використовувати жир як вуглецевий субстрат [26]. *Y.lipolytica* рекомендований для очищення стічних вод від жиромісних забруднень в разі використання цільового продукту як кормової добавки.

Вищесказане дозволяє зробити висновок про те, що жиромісні стоки харчових підприємств можуть бути використані як субстрат для культивування мікроорганізмів-продуцентів кормового білка. Аналіз літератури доводить, що дріжджі виду *Y.lipolytica* є однією з культур, використання якої може бути ефективним при проведенні даного процесу.

Постановка завдання та його вирішення

Метою статті є розроблення технологічних основи аеробної біоконверсії жирової складової стоків м'ясопереробних підприємств в білкову кормову добавку. Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- визначити хімічні та мікробіологічні показники жирової фази стоків м'ясопереробних підприємств;
- виділити і охарактеризувати автохтонні мікроорганізми;
- вибрати мікроорганізми з високою ліполітичною активністю, які здатні асимілювати жири в якості єдиного джерела вуглецю;
- вивчити процеси культивування мікроорганізмів-деструкторів на жирових субстратах залежно від попередньої обробки субстрату;
- дослідити вплив різних режимів культивування мікроорганізмів на характеристики технологічного процесу та якість мікробної біомаси.

Матеріали і методи досліджень. Основним об'єктом дослідження були жиромісні стоки м'ясопереробного підприємства ЗАТ «Котовський

м'ясокомбінат», виробничі потужності якого знаходяться у м. Подільськ Одеської області. Хімічні показники усередненої проби відходів (загальний жир, вільні жири, кислотне число жиру) визначали відповідно до ДСТУ 660:2019, ДСТУ ISO 7847:2006, ДСТУ EN 14105:2009. Мікробіологічні характеристики, а також виділення і дослідження автохтонних культур мікроорганізмів здійснювалося з використанням стандартних методів [27].

Мікробними об'єктами були штами мікроорганізмів, що мають ліполітичну активність: бактерії – *B.mesentericus*, *B.subtilis*, *Acinetobacter* sp.; гриби – *A.mysae*, *P.orysae*, дріжджі – *C.scottii*, *Y.lipolytica*. Культивування проводили в колбах об'ємом 250 мл (100 мл середовища) при перемішуванні (150 об/хв) і в ферментаторі об'ємом 5 л із заповненням поживним середовищем на 70 % при перемішуванні (250 об/хв). Ліполітичну активність визначали за реакцією гідролізу оливкової олії [27]. Вміст сирого протеїну, істинного білка, загальних вуглеводів, загального жиру, нуклеїнових кислот в мікробній біомасі визначали відповідно до ДСТУ 8723:2017.

Результати експериментів обробляли методами математичної статистики. Значення показника достовірності знаходили за критерієм Стьюдента при довірчій вірогідності $P = 0,95$ і міри свободи $f = n - 1$. Допустимою величиною відносною помилки рахували її значення, що не перевищує 5 %.

Хімічні та мікробіологічні показники жирових стоків м'ясопереробних підприємств. Оскільки склад жирової фази стоків може істотно варіювати в результаті життєдіяльності автохтонної мікрофлори, а також залежно від якості сировини, що переробляється, зразки відбирали протягом декількох циклів функціонування підприємства з шламозбірника на 1, 5 і 13 добу після надходження. Дослідження хімічного складу жирових відходів стоків одних термінів зберігання (табл. 1) виявили незначні відмінності в масових частках аналізованих сполук в складі жирової сировини, що свідчить про однотипність відходів, що утворюються в ході роботи підприємства. Однак, явні зміни складу жирової маси в процесі її витримування в шламозбірнику свідчать про активний розвиток автохтонної мікрофлори, яка споживає жир, знижуючи його частку. При цьому накопичується мікробна біомаса, в результаті чого зростає вміст сирого протеїну і вуглеводів. Паралельне зниження масової частки вільного жиру і кислотного числа, ймовірно, пов'язане зі споживанням мікрофлорою, що розвивається, найбільш легкозасвоюваних жирів, в той час як важкозасвоювані жири залишаються неспожитими.

Таблиця 1 – Хімічні показники жиромісної фази стоків м'ясопереробки з різними строками зберігання в шламозбірнику*

Зберігання відходів, діб	Загальний жир, %	Вільно-вилучений жир, %	Кислотне число	Сирий протеїн, %
1	86,9...88,4	82,2...84,3	190,1...219,4	12,5...13,9
5	70,3...76,6	63,3...74,6	131,4...140,3	17,5...21,0
13	58,3...61,4	46,1...48,3	118,8...124,6	19,0...22,1

*- з урахуванням розкиду показників різних проб

Таблиця 2 – Мікробіологічні показники жировмісної фази стоків м'ясопереробки з різними строками зберігання в шламозбірнику

Зберігання відходів, діб	КУО, 10 ⁶ кл/г	
	бактерії	гриби
1	100,2	2,5
5	15,4	86,5
13	8,8	167,9

Таблиця 3 – Ростові характеристики *Geotrichum sp.* при культивуванні на жирових відходах в періодичних умовах

Характеристика	Термін зберігання відходів у шламозбірнику, діб		
	1	5	13
Тривалість культивування, год	46	72	82
Швидкість росту, год ⁻¹	0,10	0,06	0,04
Максимальне накопичення біомаси, г/л	13,5	9,1	6,4
Вихід біомаси, г/г	0,68	0,46	0,37
Склад біомаси, %			
– білок	44...45	28...29	19...20
– сирий протеїн	53...55	34...35	23...25
– загальний жир	11,0...12,5	15,3...19,7	25,0...26,5

При вивченні мікробіологічних показників жирових відходів виявлено високу засміченість (до 10⁸ кл/г) відходів (табл. 2). Із збільшенням терміну зберігання відходів знижується чисельність бактерій і зростає кількість грибів.

Зазначено, що інші мікроорганізми (бактерії, плісняві гриби), присутні в поодиноких кількостях, не здатні асимілювати жири і, мабуть, є алохтонними для даного типу відходів. Відносно високі показники засвоєння жирового субстрату мали ізольовані бактерії, які являли собою грампозитивні палички розміром 1,4x0,5 мкм, здатні до утворення ендоспору без зміни форми клітини. Незважаючи на високу екзоцитичну активність, а також здатність асимілювати жири як джерело вуглецю, швидкість росту і максимальне накопичення біомаси у виділених бактерій при зростанні на поживних середовищах із вмістом жирових відходів 20 г/л не перевищували 0,1 год⁻¹ та 2,2 г/л, відповідно. Крім того, виділені бактерії були високочутливі до зміни рН середовища та зараження грибами, що не дозволяє розглядати їх як перспективні деструктори жирових відходів.

Дослідження грибного ізоляту виявило високу активність екзоліпази (120 од./мг АСБ) і ендоліпази (68 од./мг АСБ). За результатами визначення морфологічних ознак і фізіологічних властивостей ізолят був віднесений до дріжджоподібних грибів *Geotrichum sp.* Оскільки виділений мікроорганізм був домінуючим контамінантом відходів і мав високу ліполітичну активність, необхідним етапом подальших досліджень було з'ясування перспективності його використання для біоконверсії жирової фази стоків.

Біоконверсія жировмісної фази стоків м'ясопереробки з використанням виділеного штаму гриба *Geotrichum sp.* Вивчали ріст грибного ізоляту в лабораторному ферментаторі на

середовищі, що містить жирові відходи (20 г/л) з різними термінами зберігання в шламозбірнику (табл. 3).

Одержані результати свідчать про те, що штам *Geotrichum sp.* може бути використаний для біоконверсії жирових відходів: одержувана біомаса містила до 45 % білка. Однак, процес був тривалим, мав недостатньо високу швидкість росту гриба і низький вихід біомаси. Це може бути обумовлено обмеженою здатністю виділеного гриба асимілювати вищі насичені карбонові кислоти.

При дослідженні різних режимів культивування гриба за показниками якості одержуваної біомаси був зроблений висновок про перевагу глибинного гетерофазного культивування в періодичному режимі. Однак, цей режим нерентабельний за економічними показниками. Інші режими культивування (з підживленням субстрату, безперервний) приводили до значного збільшення вмісту ліпідів і зниження кількості білка в кінцевому продукті.

Порівняльна характеристика мікроорганізмів - продуцентів ліпаз. Оскільки автохтонні культури були економічно не перспективні для біоконверсії жирових відходів в білкову кормову добавку, для підбору мікробного деструктора жирів були досліджені мікроорганізми-продуценти ліпаз. Як основні критерії для порівняння штамів було обрано активність екзоліпази та вміст білкових речовин у біомасі (табл. 4).

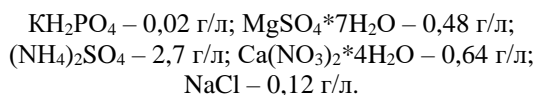
При рості *Y.lipolytica* в лабораторному ферментаторі в середовищі, що містить в якості субстрату жирові відходи (20 г/л), тривалість процесу склала 5 діб, питома швидкість росту 0,05 год⁻¹. Однак, отримана біомаса містила до 21,5 % ліпідів, що свідчить про неповне споживання субстрату, і, отже, про необхідність оптимізації умов проведення процесу.

Таблиця 4 – Характеристика мікроорганізмів - продуцентів ліпаз

Культура	Активність екзоліпази		Сирий протеїн, %
	питома, од/мг АСБ	загальна, од./мл	
<i>Bacillus mesentericus</i>	0,53	2,9	25,4
<i>Bacillus subtilis</i>	0,73	6,7	28,3
<i>Acinetobacter sp.</i>	2,6	42,1	40,1
<i>Aspergillus oryzae</i>	34,2	4,6	31,5
<i>Penicillium oryzae</i>	0,7	5,1	29,7
<i>Candida scottii</i>	39,0	42,5	39,2
<i>Yarrowia lipolytica</i>	303,4	919,0	38,3

Біоконверсія жирних відходів м'ясопереробки з використанням дріжджів *Y.lipolytica*. Оптимізація складу живильного середовища та умов культивування. Досліджувався вплив мінерального складу поживного середовища та умов культивування (температури, рН, аерації, «віку» та концентрації жирних відходів) на ліполітичну активність та накопичення біомаси дріжджів *Y.lipolytica*. Дослідження проводили за методом Бокса-Вілсона, а також варіюванням одного фактора при постійному фоні. Найкращі результати були отримані за таких умов: температура культивування 30-32°C; рН 5,0...5,5; вміст відходів 20 г/л. Збільшення концентрації жирового субстрату понад 20 г/л призводило до суттєвого зниження швидкості росту дріжджів та максимального накопичення біомаси, що пояснюється труднощами в аеруванні, оскільки знижується вміст розчиненого кисню в поживному середовищі і частина його витрачається на спонтанні окислювальні процеси компонентів жиру. Було відзначено, що при використанні жирних відходів, що зберігалися більше 1 доби, спостерігається зниження ростових характеристик дріжджової культури. Таким чином, для здійснення ефективного процесу необхідно використовувати лише «свіжі» відходи.

Встановлено також, що іони калію та кальцію мають стимулюючу дію на екзоліпазу дріжджів, що дозволяє підвищити ліполітичну активність на 4...5%. У результаті оптимізації мінерального складу поживного середовища (з розрахунку на 20 г/л субстрату) рекомендовано використовувати такі мінеральні солі, доступні для великотоннажного культивування:



Спрямована селекція дріжджів *Y.lipolytica* щодо жирового субстрату. У ході роботи було встановлено, що жирові відходи містять компоненти, які пригнічують ріст дріжджів *Y.lipolytica*. Так як інгібуючий ефект був вище у відходах більш тривалих термінів зберігання і з високою засміченістю, був зроблений висновок про мікробну природу інгібіторів. Цей негативний ефект може бути усунутий селекцією дріжджів у напрямку їх адаптації до жирового субстрату, що зберігається. Селекцію вели шляхом багаторазових послідовних

пересівань дріжджів на середовища, що містять відходи жирних стоків м'ясопереробки. У результаті до 7 пасажу істотно підвищилася питома швидкість росту мікроорганізмів і вихід біомаси до 0,8 год⁻¹ і 0,69 г/г, відповідно (рис. 1).

Також спостерігається збільшення вмісту істинного білка з 30,6 до 38,9%. Було відзначено, що за використання адаптованої культури дріжджів, як інокулята, необхідний об'єм засіву знижується до 0,1% об/об. Доведено, що найбільш доцільно використовувати культуру в фазі лінійного росту. Однак при пересіванні адаптованих до жирних відходів дріжджів на вуглецевмісні рідкі/тверді поживні середовища раніше досягнуті результати втрачалися.

Таким чином, для ефективного здійснення біоконверсії жировмісної фази стоків необхідно використовувати штам дріжджів *Y.lipolytica*, селекціонований щодо субстрату, причому зберігатися дріжджі повинні тільки на жировмісних поживних середовищах.

Попередня підготовка жировмісного поживного середовища. Оскільки процес асиміляції жирів мікроорганізмами може бути лімітований площею поверхні субстрату, актуальним є розробка способів підвищення ефективності біоконверсії субстрату шляхом попередньої обробки середовища.

Зменшення розмірів жирних частинок може бути досягнуто хімічним або ферментативним гідролізом, а також за допомогою ультразвукового впливу. В ході досліджень лужний гідроліз сировини проводили з використанням гідроксиду натрію (рН 8...13) з подальшим автоклавуванням при 0,5 і 1 атм. Для гідролізу застосовували панкреатичну ліпазу (1500 од. акт./г), при цьому змінювали концентрацію ферменту і тривалість обробки. Ультразвукову дезінтеграцію проводили в лабораторній ультразвуковій ванні з робочою частотою 22 кГц, змінюючи температуру і тривалість обробки. Було доведено, що проведення гідролізу як лужного, так і ферментативного хоча і дозволяє зменшити розміри частинок жиру, але не збільшує ефективність його біоконверсії дріжджами. На відміну від описаних способів ультразвукове диспергування жиру на стадії підготовки сировини мало значний вплив на ростові характеристики дріжджів, оскільки ультразвукові хвилі стимулюють процеси окиснення жирів [28] і це сприяє попередній частковій деградації субстрату і підвищенню його біодоступності.

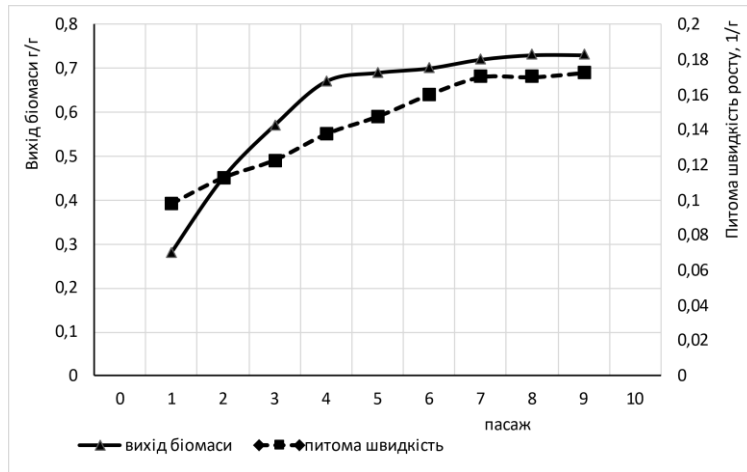


Рисунок 1 – Зміна ростових характеристик дріжджів *Y. lipolytica* в ході селекції щодо до субстрату

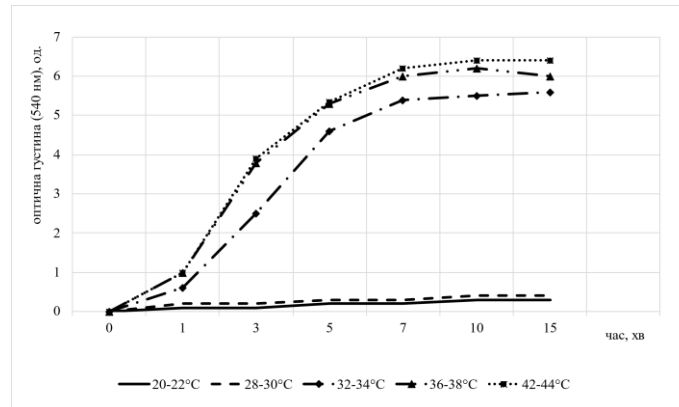


Рисунок 2 – Зміна оптичної густини дисперсії жирових відходів (1 г/л) в поживному середовищі при різних температурах в ході обробки ультразвуком

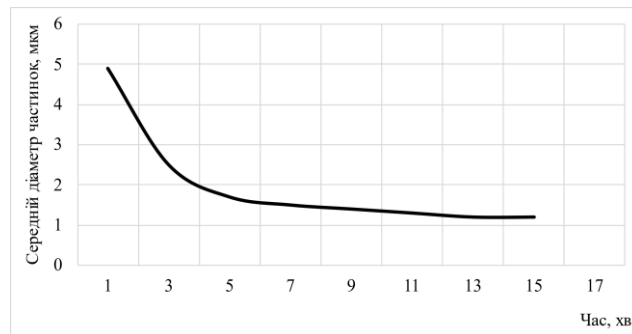


Рисунок 3 – Вплив тривалості ультразвукової обробки на діаметр частинок

Вивчення властивостей (оптична густина) отриманої жирової дисперсії показало, що дія ультразвуком при температурі 30°C і нижче дозволяє досягнути максимального ступеню насичення системи (рис. 2). Найкраща диспергованість жирів у мінеральному середовищі спостерігалася при обробці не менше 7 хв і початковій температурі не менше 32°C що, ймовірно, пов'язано з частковим плавленням тваринного жиру при температурі понад 32°C.

При мікроскопуванні отриманої дисперсії встановлено, що відбувається істотне зменшення розміру жирових частинок. Так, ультразвукова обробка поживного середовища, що містить 20 г/л жирових відходів, протягом 7 хв призводила до зменшення середнього діаметра частинок до 1,5 мкм. Більш тривала дія істотно не впливала на властивості дисперсії (рис. 3).

На властивості дисперсії, що отримували обробкою ультразвуком в оптимальному режимі, впливала концентрація жирів: насичення дисперсії досягалося вже при 5 г/л жиру, а при збільшенні концентрації понад 30 г/л спостерігалася зменшення оптичної густини. Останнє може бути обумовлено підвищеною інтенсивністю коагуляції мікрочастинок, які утворюються, при високих концентраціях речовини, що диспергується. Оптимізацію процесу попередньої обробки сировини за всіма трьома параметрами проводили за результатами росту на ній дріжджів *Y. lipolytica*. Згідно з даними, представленими в табл. 5, оптимальним був режим ультразвукової обробки середовища, що містило 20...30 г/л субстрату при початковій температурі 22...24°C, протягом 7 хв, при якому вихід біомаси збільшився на 45 %.

Таблиця 5 – Накопичення біомаси *Y.lipolytica* при різних початкових концентраціях жирних відходів і режимах попередньої обробки поживного середовища

Початкова концентрація субстрату, г/л	Попередня обробка субстрату ультразвуком		Максимальне накопичення біомаси, г/л	Вихід біомаси, г/г
	тривалість, хв	початкова температура, °С		
10	відсутня		8,14	0,81
10	7	22...24	12,56	1,26
20	відсутня		13,8	0,69
20	7	22...24	19,8	0,99
30	відсутня		19,28	0,64
30	7	22...24	28,50	0,95
50	відсутня		22,71	0,45
50	7	22...24	32,23	0,64
10	6	22...24	9,85	0,99
10	8	22...24	12,57	1,26
10	7	13...15	10,05	1,01
10	7	34...36	12,55	1,26

Окрім того, був виявлений додатковий позитивний ефект ультразвукової попередньої обробки сировини. При культивуванні дріжджів на необроблених жиромісних поживних середовищах у лабораторному ферментаторі субстрат розподілявся нерівномірно в об'ємі ферментатора, налипав на лопаті змішувача і кришку апарату. Після ультразвукової обробки поживного середовища цих недоліків виявлено не було: жир знаходився в культуральній рідині у вигляді дисперсії і не утворював щільних відкладів на поверхнях ферментатора. У результаті попередньої обробки сировини зросли питома швидкість росту (з 0,18 до 0,20 год⁻¹) і накопичення біомаси (до 19,8...28,5 г/л), що істотно вище раніше досягнутих результатів. Таким чином, ультразвукова попередня обробка жирного поживного середовища є необхідним технологічним етапом процесу біоконверсії жирів.

Фізіологічні прийоми підвищення ефективності біодеструкції жирних відходів. Стимулювання росту дріжджів впливом стресових факторів. В даний час у різних біотехнологічних процесах, як один зі способів підвищення їх ефективності, все більшого поширення набуває підхід, заснований на використанні стресових факторів. У дослідженнях як стресовий фактор застосовано перекис водню, який моделював прямий окислювальний стрес. У роботі було встановлено, що даний стресовий фактор має стимулюючу дію та підвищує ефективність процесу біодеструкції, причому найліпший результат досягався при обробці добової культури, що перебувала в середині експоненційної фази.

У випадках використання перекису водню, що індукує окислювальний стрес, найбільший ефект досягався при одноразовому внесенні H₂O₂ у поживне середовище на 22 годину росту культури, що використовувалась як посівний матеріал. Оптимальна концентрація, що викликає позитивний ефект при культивуванні дріжджів на жирних поживних середовищах, становила 2,5 г/л. У цьому випадку вихід біомаси збільшувався до 1,04 г/г при питомій швидкості росту 0,22 год⁻¹.

Отримані результати можуть бути використані для розробки робочих режимів при реалізації

біоконверсії жирних відходів м'ясопереробки у періодичних умовах.

Спрямована селекція дріжджів *Y.lipolytica* на стійкість до окислювального стресу. Аналіз літератури показав, що вплив стресових факторів в ході багаторазових пересівань мікроорганізмів дозволяє збільшити позитивний ефект від разового впливу, селекцією субпопуляції, стійкою до окислювального стресу. У роботі були досліджені кілька варіантів селекції, в яких змінювали як дозу перекису водню, так і вік культури, що піддавалася стресу. Перекис водню застосовували як стимулюючий фактор на стадії підготовки посівного матеріалу. Оптимальним був режим отримання інокуляту при багаторазових пересіваннях культури дріжджів (7 пасажів) із внесенням перекису в кількості 2,5 г/л на 22-ій годині росту першого посіву з наступним більш раннім внесенням H₂O₂ на 1,5% у кожному пасажі.

Використання посівного матеріалу, отриманого вказаним чином при періодичному культивуванні дріжджів на жирному поживному середовищі дозволило істотно збільшити вихід біомаси, середню питому швидкість росту, а так само вміст білкових речовин у кінцевому продукті (табл. 6).

Таким чином, здійснення селекції дріжджів за їх стійкістю до окислювального стресу не тільки суттєво підвищує ростові характеристики культури, але покращує якість продукту.

Дослідження впливу режимів культивування на ефективність процесу біодеструкції жиромісної фази стоків і якість біомаси. Ключовою стадією біотехнологічного виробництва є стадія ферментації. Як відомо, її результативність залежить від особливостей мікроорганізмів, складу поживного середовища і споживчих властивостей цільового продукту. Відпрацювання режимів культивування проводилось в лабораторному ферментаторі (об'єм 5 л, заповнення на 70%).

Оскільки завдання досліджень передбачали не тільки підбір умов, оптимальних для біодеградації жиромісних стоків, але й подальше використання отриманої біомаси як кормової добавки, необхідним було проведення порівняльного аналізу не тільки характеристик процесу, а й якості отриманої біомаси. Були апробовані кілька режимів культивування (табл. 7).

Таблиця 6 – Характеристика процесу культивування дріжджів *Y.lipolytica* на поживних середовищах, що містять жирові відходи (20 г/л)

Характеристика	Посівний матеріал	
	контроль	штам, стійкий до окиснювального стресу
Питома швидкість росту, год ⁻¹	0,20	0,26
Максимальне накопичення біомаси, г/л	19,8	21,8
Вихід, г/г	0,99	1,09
Склад біомаси, %		
- сирий протеїн	41,5...43,5	49,2...51,4
- білок	36,5...38,2	42,6...44,7
- загальний жир	11,6	6,7

Таблиця 7 – Характеристики процесу біоконверсії жировмісної фази стоків (20 г/л) дріжджами *Y.lipolytica* при різних режимах культивування (А – періодичне глибинне; Б – глибинне з підживлення по субстрату; В – твердофазне; Г – глибинне відбірно-доливне; Д – безперервне)

Характеристики	А	Б	В	Г	Д
Питома швидкість росту, год ⁻¹	0,26	0,14	0,01	0,24*	0,24**
Максимальне накопичення біомаси, г/л	24,2	86,9	0,0028 г/г	16,5	16,5
Склад біомаси, %					
- білок	43,5	35,7	менше 1	42,7	41,4
- загальний жир	6,7	18,3	93,6	7,2	7,9

* - доля відбирання культуральної рідини кожен годину;

** - швидкість потоку культуральної рідини.

Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що при використанні дріжджів *Y.lipolytica* для біодеструкції жирових стоків доцільне застосування як доливного, так і безперервного методів культивування, які не призводять до суттєвих змін якості одержуваної біомаси. Вимивання дріжджів не спостерігалось в доливному режимі при 24 % відбирання культуральної рідини на годину, а в разі безперервного режиму – при швидкості потоку 0,24 год⁻¹, при цьому вміст білка і ліпідів складав 42,7 % та 7,2 %, 41,4 % і 7,9 % відповідно.

Висновки

За результатами виконаних досліджень можна зробити такі основні висновки.

1. Визначено основні хімічні та мікробіологічні показники жировмісної фази стоків м'ясопереробних підприємств. Встановлено, що в процесі витримування відходів в шламозбірнику (1...13 діб) в результаті життєдіяльності автохтонних мікроорганізмів, вміст жирів знижується з 87 до 58 %.

2. Встановлено, що домінуючим організмом автохтонної мікрофлори відходів є гриби

Geotrichum.sp., а найбільш перспективним біодеструктором жирів є дріжджі *Yarrowia lipolytica*.

3. Розроблено спосіб попередньої обробки жировмісної твердої фази жирових стоків, що підвищує ефективність їх споживання культурою *Y.lipolytica*. В основі способу є ультразвукове диспергування жирової маси, в результаті чого підвищується біодоступність субстрату і, як наслідок? зростає питома швидкість росту і вихід мікробної біомаси на 11 % і 30 % відповідно.

4. Розроблено способи підготовки посівного матеріалу, що дозволяють підвищити ефективність основного процесу за показниками: виходу біомаси (на 10,1 %); питомої швидкості росту (з 0,20 до 0,26 год⁻¹); вмістом білка (на 16,7 %). Способи включають селекцію (5...7 пасажів) високопродуктивних клонів, що проводиться в напрямках підвищення спорідненості до субстрату і стресостійкості до дії гідроген пероксиду (2,5 г/л).

5. Встановлено, що для біодеструкції жирових стоків доцільне застосування як доливного, так і безперервного методів культивування, які не призводять до суттєвих змін якості одержуваної біомаси.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баль-Прилипка Л., Ніколаєнко М., Чередніченко О. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі та практичні підходи до вдосконалення рецептур ковбасних виробів. *Продовольчі ресурси*. 2022. № 10(19). С. 26-37. DOI: 10.31073/foodresources2022-19-03.
2. Anil K. A. Food processing by-products and their utilization. *Food processing by-products and their utilization*. 2017. № 2. Pp. 1-10.
3. Kuzmin O. V., Isaienko V. M. Development of effective technologies for waste processing of the food industry. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences*. 2020. Pp. 432-450.
4. Ковальчук В. А. Високопродуктивні біоокислювачі в системах очистки стічних вод підприємств м'ясної та молочної промисловості. *Науковий вісник будівництва*. 2010. Вип. 60. С. 247-251.
5. Comprehensive review of water management and wastewater treatment in food processing industries in the framework of water-food-environment nexus / Asgharnejad H. et al. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021. Vol. 20(5). Pp. 4779-4815.
6. Юлевич О. І., Ковтун С. І., Гиль М. І. Біотехнологія. Миколаїв : МДАУ, 2012. 476 с.
7. Паска М. З. Технологія тваринних жирів: навч. пос. Львів : ЛКТ ЛНУВМ та БТ ім. С.З. Гжицького, 2010. 135 с.
8. Kempers P. Lipid biotechnology: Industrially relevant production processes. *European journal of Science and technology*. 2009. Vol. 111, Issue 7. Pp. 627-645. DOI: 10.1002/ejlt.200900057.

9. Ковальчук В. А. Тваринництво та м'ясопереробка: сучасні методи очистки стічних вод. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 59. С. 194-199.
10. Шестопалов О. В., Гетта О. С., Рикусова Н. І. Сучасні методи очищення стічних вод харчової промисловості. *Науково-практичний журнал. Екологічні науки*. 2019. № 2(25). С. 20-27. DOI: 10.32846/2306-9716-2019-2-25-4.
11. Базар О. Утилізація відходів м'ясопереробної промисловості. *Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання* : матеріали III Всеукр. студ. наук.-техн. конф., м. Тернопіль, 23-24 квіт. 2020. Тернопіль, 2020. С. 22.
12. Bilal M., Iqbal H. M. N. Sustainable bioconversion of food waste into high-value products by immobilized enzymes to meet bio-economy challenges and opportunities. *Food Research International*. 2019. Vol. 123. Pp. 226-240. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.04.066.
13. Microbial lipolytic enzymes – promising energy-efficient biocatalysts in bioremediation / Kumar A. et al. *Energy*. 2020. Vol. 192. Pp. 127-142. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116674.
14. Production of photosynthetic bacteria using organic wastewater in photobioreactors in lieu of a culture medium in fermenters: From lab to pilot scale / Lu H. et al. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 259. Pp. 158-163. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120871.
15. A systematic optimization of piggery wastewater treatment with purple phototrophic bacteria / Sepulveda-Munoz C. A., de Godos I., Puyol D., Muñoz R. *Chemosphere*. 2020. Vol. 253. Pp. 134-145. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126621.
16. Vivek P., Sanvidhan G. Effect of lipase from different source on high fat content wastewater of dairy industry. *Indian Journal of Biotechnology*. 2018. Vol. 17(2). Pp. 244-250.
17. Microbial lipases and their industrial applications: a comprehensive review / Chandra P., Enespa, Singh R., Arora P. K. *Microbial Cell Factories*. 2020. Pp. 2-42. DOI: 10.1186/s12934-020-01428-8.
18. Крусір Г. В., Чернишова О. О. Дослідження сумісної утилізації рисової лузги та відходів м'ясопереробних виробництв методом анаеробного зброджування. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2016. № 62(2). С. 23-29.
19. Novik G., Meerovskaya O., Savich V. Waste Degradation and Utilization by Lactic Acid Bacteria: Use of Lactic Acid Bacteria in Production of Food Additives. *Bioenergy and Biogas*. 2017. Pp. 105-146.
20. Голуб Н. Б., Шинкарчук М. В., Козловець О. А. Шляхи підвищення продуктування біогазу при зброджуванні жировмісних відходів шкряного виробництва. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. № 2(259). С. 103-107.
21. Гащенко К. В., Волошин М. Д. Технологія отримання біогазу на основі харчових відходів. *Збірник наукових праць Дніпропетровського технічного університету*. 2019. Том 1, № 34. С. 131-136. DOI: 10.31319/2519-2884.34.2019.26.
22. Пилипенко О. Розвиток харчової промисловості України. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т. 23, № 3. С. 15-25.
23. Zinjjarde S. S., Pant A., Deshpande M. V. Dimorphic transition in *Yarrowia lipolytica* isolated from oil-polluted seawater. *Mycological Research*. 1998. Vol. 10. Pp. 553-558. DOI: 10.1017/S0953756297005418.
24. De Felice B., Pontecorvo G., Carfagna M. Degradation of waste waters from olive oil mills by *Yarrowia lipolytica* ATCC 20255 and *Pseudomonas putida*. *Acta Biotechnologica*. 1997. Vol. 17. Pp. 231-239. DOI: 10.1002/abio.370170306.
25. Scioli C., Vollaro L. The use of *Yarrowia lipolytica* to reduce pollution in olive mill wastewaters. *Water Research*. 1997. Vol. 31, Issue 10. Pp. 2520-2524. DOI: 10.1016/S0043-1354(97)00083-3.
26. Мадані М. М., Шевченко Р. І., Гаркович О. Л. Біоконверсія жировмісної фази стоків рибопереробних підприємств у кормову добавку. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 3 (111). С. 54-66. DOI: 10.31521/2313-092X/2021-3(111)-7.
27. Александрова К. В., Шкода О. С., Васильев Д. А. Визначення активності ферментів в біологічних середовищах. Одиниці активності ферментів. *Ензимопатія. Медична ензимологія : методич. посіб. Запоріжжя: ЗДМУ*, 2015. 45 с.
28. Potential use of pulsed electric technologies and ultrasounds to improve the recovery of high-added value compounds from blackberries / Barba F. J. et al. *Journal of Food Engineering*. 2015. Vol. 167. P. 38-44. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.02.001

Madani M.

BIOCONVERSION OF MEAT PROCESSING FATTY WASTE USING YEAST *Y.LIPOLYTICA*

A technology for the utilization of fat waste from meat processing based on a combination of physical and chemical effects and biological oxidation is proposed. The main chemical and microbiological parameters of the fat-containing phase of effluents of meat processing enterprises were determined. It was established that in the process of holding waste in a sludge collector (1...13 days) as a result of the vital activity of autochthonous microorganisms, the fat content decreases from 87 % to 58 %. The dominant organism of the autochthonous microflora of the waste is the fungus *Geotrichum.sp*. It was established that *Yarrowia lipolytica* yeast, selected for the substrate, is the most promising fat biodestructor.

A method of pretreatment of the fat-containing solid phase of fatty effluents has been developed, which increases the efficiency of their consumption by the *Yarrowia lipolytica* culture. The basis of the method is the ultrasonic dispersion of fat mass, as a result of which the bioavailability of the substrate increases and, as a result, the specific growth rate and yield of microbial biomass increases by 11 % and 30 %, respectively.

The methods of seed preparation are proposed, which allow to increase the efficiency of the main process according to the indicators: biomass yield (by 10.1 %); specific growth rate (from 0.20 to 0.26 h⁻¹); protein content (by 16.7 %). The methods include the selection (5...7 passages) of high-performance clones, which is carried out in the directions of increasing affinity to the substrate and stress resistance to the action of hydrogen peroxide (2.5 g/l).

The obtained results showed that when using yeast *Yarrowia lipolytica* for the biodestruction of fatty effluents, it is advisable to use both top-up and continuous methods of cultivation, which do not lead to significant changes in the quality of the obtained biomass. Yeast leaching was not observed in the top-up mode at 24 % withdrawal of culture liquid per hour, and in the case of continuous mode - at a flow rate of 0.24 h⁻¹, while the protein and lipid content was 42.7 % and 7.2 %, 41.4 % and 7.9 %, respectively.

Key words: aeration tank-mixer, secondary settling tank, waste liquid, biological treatment, activated sludge, regenerator, environmental protection.

REFERENCES

- Bal-Prylypko, L., Nikolaienko, M., & Cherednichenko, O. (2022). Aktualni problemy miasopererobnoi haluzi ta praktychni pidkhody do vdoskonalennia retseptur kovbasnykh vyrobiv [Actual problems of the meat processing industry and practical approaches to improving the recipes of sausage products]. *Prodovolchi resursy*, 10(19), 26-37. DOI: 10.31073/foodresources2022-19-03. [in Ukrainian]
- Anil, K. A. (2017). Food processing by-products and their utilization. *Food processing by-products and their utilization*, 2, 1-10.
- Kuzmin, O. V., & Isaienko, V. M. (2020). *Development of effective technologies for waste processing of the food industry*, 432-450.
- Kovalchuk, V. A. (2010). Vysokoproduktyvni biookysliuvachi v systemakh ochystky stichnykh vod pidpriemstv miasnoi ta molochnoi promyslovosti [High-performance biooxidizers in wastewater treatment systems of meat and dairy enterprises]. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 60, 247-251. [in Ukrainian]
- Asgharnejad, H., Nazloo, E. K., Larijani, M. M., Hajinajaf, N., & Rashidi, H. (2021). Comprehensive review of water management and wastewater treatment in food processing industries in the framework of water-food-environment nexus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4779-4815.

6. Yulevych, O. I., Kovtun, S. I., & Hyl, M. I. (2012). *Biotehnolohiia [Biotechnology]*. Mykolaiv : MDAU, 476. [in Ukrainian]
7. Paska, M. Z. (2010). *Tekhnolohiia tvarynykh zhyriv: navch. pos. [Technology of animal fats: a textbook]*. Lviv: LKT LNUVM ta BT im. S.Z. Hzhyskoho, 135. [in Ukrainian]
8. Kempers, P. (2009). Lipid biotechnology: Industrially relevant production processes. *European journal of Science and technology*, 111(7), 627-645. DOI: 10.1002/ejlt.200900057.
9. Kovalchuk, V. A. (2015). Tvarynytstvo ta miasopererobka: suchasni metody ochystky stichnykh vod [Animal husbandry and meat processing: modern methods of wastewater treatment]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 59, 194-199. [in Ukrainian]
10. Shestopalov, O. V., Hetta, O. S., & Rykusova, N. I. (2019). Suchasni metody ochyshchennia stichnykh vod kharchovoi promyslovosti [Modern methods of wastewater treatment in the food industry]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal. Ekolohichni nauky*, 2(25), 20-27. DOI: 10.32846/2306-9716-2019-2-25-4. [in Ukrainian]
11. Bazar, O. (2020). Utylizatsiia vidkhodiv miasopererobnoi promyslovosti [Waste disposal of meat processing industry]. *Pryrodnychi ta humanitarni nauky. Aktualni pytannia, materialy III Vseukr. stud. nauk.-tekh. konf. [Natural and humanitarian sciences. Current issues, Proceedings of the 3rd All-Ukrainian student Science and Technology Conference]*. Ternopil, 22. [in Ukrainian]
12. Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2019). Sustainable bioconversion of food waste into high-value products by immobilized enzymes to meet bioeconomy challenges and opportunities. *Food Research International*, 123, 226-240. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.04.066.
13. Kumar, A., Gudiukaitė, R., Gricajeva, A., Sadauskas, M., Malunavicius, V., Kamyab, H., Sharma, S., Sharma, T., & Pant, D. (2020). Microbial lipolytic enzymes – promising energy-efficient biocatalysts in bioremediation. *Energy*, 192, 127-142. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116674.
14. Lu, H., Zhang, G., He, S., Peng, C., & Ren, Z. (2020). Production of photosynthetic bacteria using organic wastewater in photobioreactors in lieu of a culture medium in fermenters: From lab to pilot scale. *Journal of Cleaner Production*, 259, 158-163. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120871.
15. Sepulveda-Munoz, C. A., de Godos, I., Puyol, D., & Muñoz, R. (2020). A systematic optimization of piggery wastewater treatment with purple phototrophic bacteria. *Chemosphere*, 253, 134-145. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126621.
16. Vivek, P., & Sanvidhan, G. (2018). Effect of lipase from different source on high fat content wastewater of dairy industry. *Indian Journal of Biotechnology*, 17(2), 244-250. DOI: nopr.niscair.res.in/handle/123456789/45100.
17. Chandra, P., Enespa, Singh, R., & Arora, P. K. (2020). Microbial lipases and their industrial applications: a comprehensive review. *Microbial Cell Factories*, 2, 2-42. DOI: 10.1186/s12934-020-01428-8.
18. Krusir, H. V., & Chernyshova, O. O. (2016). Doslidzhennia sumisnoi utylizatsii rysovoi luzghy ta vidkhodiv miasopererobnykh vyrobnytstv metodom anaerobnoho zbrodzhuvannia [Research on the combined utilization of rice husk and waste from meat processing plants by the method of anaerobic fermentation]. *Grain Products and Mixed Fodders*, 62(2), 23-29. [in Ukrainian]
19. Novik, G., Meerovskaya, O., & Savich, V. (2017). Waste Degradation and Utilization by Lactic Acid Bacteria: Use of Lactic Acid Bacteria in Production of Food Additives. *Bioenergy and Biogas*, 1, 105-146. DOI: 10.5772/intechopen.69284.
20. Holub, N. B., Shynkarchuk, M. V., & Kozlovets, O. A. (2018). Shliakhy pidvyshchennia produkuvannia biohazu pry zbrodzhuvanni zhyrovnisnykh vidkhodiv shkiriannoho vyrobnytstva [Ways to increase biogas production during the fermentation of fat-containing waste from leather production]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 2(259), 103-107. [in Ukrainian]
21. Hatsenko, K. V., & Voloshyn, M. D. (2019). Tekhnolohiia otrymannia biohazu na osnovi kharchovykh vidkhodiv [Technology of biogas production on the basis of food waste]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho tekhnichnoho universytetu*, 1(34), 131-136. DOI: 10.31319/2519-2884.34.2019.26. [in Ukrainian]
22. Pylypenko, O. (2017). Rozvytok kharchovoi promyslovosti Ukrainy [Development of the food industry of Ukraine]. *Naukovi pratsi NUKhT*, 23(3), 15-25. [in Ukrainian]
23. Zinjarde, S. S., Pant, A., & Deshpande, M. V. (1998). Dimorphic transition in *Yarrowia lipolytica* isolated from oil-polluted seawater. *Mycological Research*, 10, 553-558. DOI: 10.1017/S0953756297005418.
24. De Felice, B., Pontecorvo, G., & Carfagna, M. (1997). Degradation of waste waters from olive oil mills by *Yarrowia lipolytica* ATCC 20255 and *Pseudomonas putida*. *Acta Biotechnologica*, 17, 231-239. DOI: 10.1002/abio.370170306.
25. Scioli, C., & Vollaro, L. (1997). The use of *Yarrowia lipolytica* to reduce pollution in olive mill wastewaters. *Water Research*, 31(10), 2520-2524. DOI: 10.1016/S0043-1354(97)00083-3.
26. Madani, M. M., Shevchenko, R. I., & Harkovych, O. L. (2021). Biokonversia zhyrovnisnoi fazy stokiv rybopererobnykh pidpriemstv u kormovu dobavku [Bioconversion of the fat-containing phase of effluents of fish processing enterprises into a feed additive]. *Visnyk aharnoi nauky Prychornomoria*, 3(111), 54-66. DOI: 10.31521/2313-092X/2021-3(111)-7. [in Ukrainian]
27. Aleksandrova, K. V., Shkoda, O. S., & Vasyliev, D. A. (2015). Vyznachennia aktyvnosti fermentiv v biolohichnykh seredovyshchakh. *Odynytsi aktyvnosti fermentiv. Enzymopatii [Determination of enzyme activity in biological environments. Enzyme activity units. Enzymopathies]*. Zaporizhzhia, ZDMU, 45 [in Ukrainian]
28. Barba, F. J., Galanakis, C. M., Esteve, M. J., Frigola, A., & Vorobiev, E. (2015). Potential use of pulsed electric technologies and ultrasounds to improve the recovery of high-added value compounds from blackberries. *Journal of Food Engineering*, 167, 38-44. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.02.001.