

## **Принципи циркуляційної економіки в агробіотехнологіях**

Застосування принципів та підходів циркуляційної економіки, на відміну від лінійної, у біоконверсії овочевих відходів має ряд переваг. Зокрема, це дозволяє мінімізувати відходи, перетворюючи їх на корисні ресурси, такі як біодобриво або біогаз. Такий підхід створює можливості для економічної вигоди, оскільки компанії можуть отримувати додатковий дохід з переробки відходів. Крім того, це сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля шляхом зменшення викидів шкідливих газів та забруднення ґрунтів. Не менш важливо, що це відображається на усвідомленні проблеми відходів та їх ефективному управлінні, сприяючи розвитку інноваційних технологій для більш ефективної їх утилізації [1].

Згідно Держстату України, значну частку від загального обсягу відходів України становлять органічні відходи — приблизно 40%. З них 32% — харчові відходи, які спричиняють серйозні проблеми з навколишнім середовищем, оскільки існує проблема у потребі щорічного збільшення земельних ділянок, які необхідно виділяти під складування відходів, та додаткові витрати певних ресурсів на їх переробку [2]. Саме тому ефективним методом вирішення цієї проблеми є використання принципу 3-R циркуляційної економіки, який включає в себе ефективне використання природних ресурсів завдяки їх переробці. Цей підхід передбачає зменшення відходів за рахунок їхньої біодеструкції або рециклінгу із подальшим використанням у виробництві нових корисних продуктів або відновлення їхньої вартості. Наприклад, використання органічних відходів у якості джерела енергії, як біопалива, або у виробництві органічних добрив для сільськогосподарських потреб [3–5].

Для вирішення поставленого проблематичного питання проведено дослідження, яке направлене на удосконалення та адаптацію сучасних ЕМ-технологій, які є дієвими у країнах ЄС на великих фермах та на рівні невеличких домашніх господарств. Нами запропоновано до використання та реалізації процесу біоконверсії овочевих відходів у біодобриво український біопрепарат «Байкал-ЕМ». Також було використано в процесі деструкції відходів промивні води хлібопекарських виробництв у якості джерела дріжджів та молочнокислих бактерій, які володіють антагоністичними властивостями по відношенню до патогенних культур, в тому числі і пліснявих грибів. Задля інтенсифікації процесів ферментації нами запропоновано додавати до ферментаційного середовища протермінований хліб (цей хліб є відходом, оскільки він не був реалізований в мережах магазинів) у якості активатора бродильних процесів ферментації, оскільки він є додатковим джерелом субстрату для бродильної мікрофлори (рис. 1).

Було досліджено 8 проб із наведеним у таблиці 1 їх кількісним складом.

Для реалізації процесу біоконверсії відходів, задля отримання біодобрива, у колби об'ємом 1 л додавали промивні води хлібопекарських ви-



**Рис. 1.** Складові компоненти біодобрива: *а* — промивні води; *б* — біопрепарат «Байкал-ЕМ»; *в* — протермінований хліб; *г* — овочева суміш (картопля, морква, буряк)



**Рис. 2.** Процес газоутворення у пробах із різним вмістом хліба



**Рис. 3.** *а* — тверда фракція до процесу рідинної ферментації; *б* — тверда фракція після процесу рідинної ферментації

робництв концентрацією 20 %, також попередньо активований протягом 6 годин розчин біопрепарату «Байкал-ЕМ» у воді та овочеву суміш (подрібнений буряк, морква та картопля) із різними концентраціями житнього та пшеничного хліба. Встановлено оптимальне співвідношення твердої фракції до рідкої — 1:5, що забезпечує ефективне розкладання твердої фракції та високий вихід біодобрива.

Ферментація тривала 16 діб, при температурі 37°С, рН 5,3–5,8. На третю добу біоконверсії овочевих відходів у всіх пробах спостерігався ін-

**Табл. 1.** Кількісний склад проб

Номер проби	Сировина			
	Овочева суміш (картопля, морква, буряк), г	Протермінований хліб (житній/пшеничний), % (г)	Промивні води хлібокомбінату, мл	Байкал ЕМ, мл
1	200	пшеничний 1 % (6 г)	990	10
2	200	пшеничний 2 % (18 г)	990	10
3	200	пшеничний 3 % (30 г)	990	10
4	200	житній 1 % (6 г)	990	10
5	200	житній 2 % (18 г)	990	10
6	200	житній 3 % (30 г)	990	10
7	200	житній хліб з ознаками пліснявіння 3 % (30 г)	990	10
8	200	пшеничний хліб з ознаками пліснявіння 2 % (18 г)	990	10

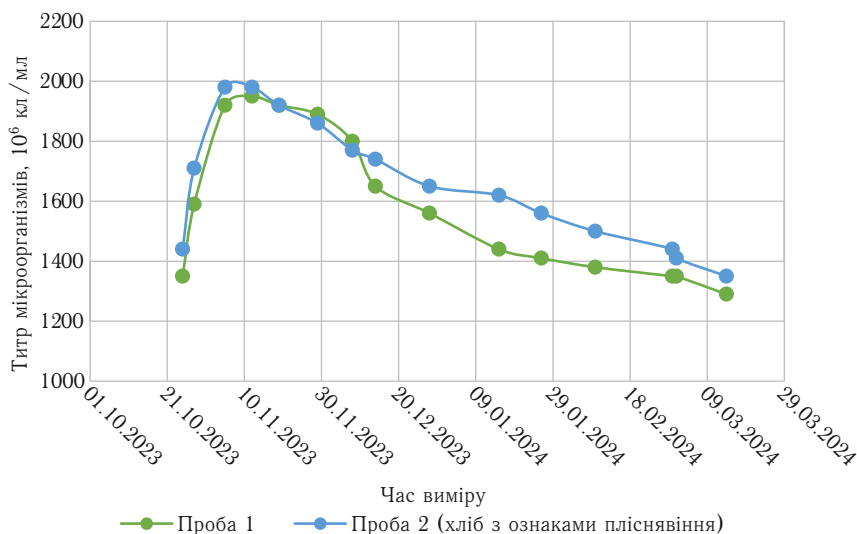
**Табл. 2.** Порівняння твердої фракції біодобрива (дигестату) до/після ферментації

Номер проби	Вага твердої фракції до ферментації, г	Вага твердої фракції після ферментації, г	Коефіцієнт ( $k$ ) зміни ваги твердої фракції
1	206	31,21	6,6
2	218	28,78	7,5
3	230	30,63	7,5
4	206	32,43	6,3
5	218	34,92	6,2
6	230	35,81	6,4
7	230	40,15	5,7
8	218	31,12	7,0

тенсивний процес газоутворення, що свідчить про активацію бродильних процесів (на рис. 2 видно наявність повітряних бульбашок та піни на верхній суміші).

Дослідами встановлено, що найінтенсивніше газоутворення відбувалось у пробах із пшеничним хлібом, кількість якого становила 1 % та 2 %. Пшеничний хліб розкладається швидше та ефективніше мікроорганізмами порівняно з житнім хлібом через більшу ступінь обробки пшеничного борошна, що робить його склад простішим для розкладання мікроорганізмами. Дослідами підтверджено, що додавання хліба у кількості 3 % не доцільно, оскільки знижується інтенсивність бродильних процесів, що пояснюється зниженням газоутворення. Основною характеристикою успішності процесу біоконверсії відходів вважається зменшення ваги та їх обсягу. Нами порівняно вагу відходів на початку біоконверсії та наприкінці її завершення (рис. 3). Результати наведено у таблиці 2.

На основі результатів досліджень, представлених у таблиці 2, можна зробити висновок, що рідинна ферментація овочевих відходів з використанням промивних вод хлібопекарських виробництв, біопрепарату «Байкал



**Рис. 4.** Графік мікробіологічної оцінки дигестату (рідка фракція)

ЕМ» та протермінованого хліба є ефективним методом переробки, оскільки дозволяє отримати біодобриво — дигестат рідка та тверда фракція. Результати дослідження показали значне зменшення вихідної ваги овочевих відходів відносно вихідної групи у 6–7 разів, що свідчить про ефективність процесу ферментації. Важливо зазначити, що найбільше зменшення ваги відходів (у 7,5 разів) відбулось у пробах із вмістом пшеничного хліба 1% та 2%, де попередньо спостерігалася найінтенсивніша ферментація. Ефективне використання саме пшеничного хліба мікроорганізмами обумовлено високим ступенем обробки борошна, внаслідок чого збільшується кількість простих вуглеводів, що сприяє швидшому засвоєнню мікроорганізмами. Ефект зменшення ваги відходів у ході ферментації може бути пояснений активністю мікроорганізмів, які використовуються в процесі ферментації. Промивні води з хлібопекарських виробництв, які є джерелом молочнокислих бактерій та дріжджів разом з біопрепаратом «Байкал-ЕМ» та протермінованим хлібом, створюють оптимальні умови для розвитку працюючої біомаси із достатньо високим титром. Ці мікроорганізми активно розкладають органічні речовини в овочевих відходах, що призводить до втрати ваги та утворення корисних речовин, які накопичуються в культуральній рідині і підвищують біологічну цінність біодобрива. Оцінюючи якість біодобрива за мікробіологічними показникам, встановлено, що отриманий дигестат (рідка фракція) має достатньо тривалий термін зберігання — 4 місяці, протягом яких титр від початку експерименту до його закінчення зменшився із  $1950 \cdot 10^6$  кл./мл до  $1290 \cdot 10^6$  кл./мл (рис. 4). Отримані результати досліджень дозволяють зробити висновки, що отримане біодобриво містить не тільки біогенні елементи, які є важливими для агрокультур, але і консорціум мікроорганізмів, представлений видовим різноманіттям Байкал-ЕМ, навіть при 4 місяцях зберігання.

Отже, запропонована технологія переробки овочевих відходів, яка ба-

зується на основі рідинної ферментації органічних відходів активним консорціумом мікроорганізмів, є доволі ефективною, що підтверджено результатами досліджень. Даний метод може бути використаний у промисловому масштабі для зменшення кількості органічних відходів та зменшення негативного впливу на довкілля задля виробництва корисних продуктів з використанням відходів харчової промисловості. Наразі тривають дослідження, направлені на встановлення ефективності використання отриманого біодобрива під час вирощування зернових та олійних культур. Метою подальших досліджень є встановлення оптимального розведення отриманого біодобрива для вирощування агрокультур.

### Список використаних джерел

1. *Корнієнко І. М. та ін.* Біоконверсія органічних відходів — європейський досвід та українські практики // *Technologies and Engineering*. — 2022. — № 3. — С. 37–51. <http://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.3.4> (дата звернення: 29.01.2024).
2. Про органічні відходи. <http://zerowastelviv.org.ua/pro-orhanichni-vidkhody/> (дата звернення 29.01.2024)
3. *Tambovseva T. T., et al.* Circular Economy: Tendencies and Development Perspectives // *Mechanism of an Economic Regulation*. — 2021. — Vol. 2021, No. 2. — P. 33–42. <http://doi.org/10.21272/mer.2021.92.04> (дата звернення: 30.01.2024).
4. *Кононенко Л. В.* Глобальна циркулярна економіка як засіб побудови нового екологічно стійкого суспільства // *Світ фінансів*. — 2016. — Вип. 4 (49). — С. 148–155.
5. Закон України «Про відходи» № 187/98-ВР від 05.03.1998 р. зі змінами та доповненнями. <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 02.02.2024)



Co-funded by  
the European Union

Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені думки та погляди належать лише авторам і не обов'язково передають погляди Європейського Союзу або Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури. Ні Європейський Союз, ні орган, що надає грант, не можуть нести за них відповідальність.