

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет плодощовочівництва, екології та захисту рослин
Кафедра екології та безпеки життєдіяльності

Допущено до захисту
« ____ » _____ 2025 року
Зав. кафедри, к. с.-г. н., доцент
_____ Ольга ВАСИЛЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
магістра

**ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПИВНОЇ ДРОБИНИ
(*SPENT GRAIN*) В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ГОСПОДАРСТВА**

Виконав: студент ІІ курсу, групи 21 м-ек
спеціальності 101 Екологія
освітньо-професійної програми
Екологія
Сергій КУЛИК
Керівник: Олександр БАЛАБАК

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ ПИВНОЇ ДРОБИНИ (<i>SPENT GRAIN</i>) В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ГОСПОДАРСТВА	5
1.1. Характеристика та перспективи використання сировини пивної дробини в Україні та світі.	5
1.2. Енергетична складова переробки побічних продуктів пивоваріння.	7
1.3. Перспективні напрямки підготовки і переробки сировинної бази та фітотоксичність пивної дробини.	9
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	16
2.1. Природні умови регіону досліджень	16
2.2. Об'єкти досліджень	17
2.3. Схема досліджу	23
2.4. Методика досліджень	24
2.5. Охорона праці	27
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
3.1. Приготування органічних добрив шляхом компостування пивної дробини з різними субстратами	30
3.2. Використання компосту як органічного добрива	35
3.3. Морфометричні показники досліджуваних тест-рослин, вирощених з внесенням органічного добрива	38
3.4. Обґрунтування можливості використання компосту як добрива в сільському господарстві.	42
РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИКОРИСТАННЯ ПИВНОЇ ДРОБИНИ	43
ВИСНОВКИ	47
ПРОПОЗИЦІЇ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49
ДОДАТКИ	56

ВСТУП

Сучасний розвиток харчової промисловості супроводжується утворенням значних обсягів відходів, які потребують раціонального використання з урахуванням принципів сталого розвитку та охорони навколишнього середовища. Одним із таких відходів є пивна дробина (*spent grain*) – побічний продукт пивоварного виробництва, що залишається після фільтрації звареного сусла. Пивна дробина містить велику кількість органічних речовин, білків, клітковини, мінеральних елементів і може стати цінною сировиною для вторинного використання в різних галузях господарства.

Традиційно пивну дробину застосовують у тваринництві як кормову добавку, однак останні роки зростає інтерес до її використання в екологічно безпечних напрямках, зокрема у виробництві органічних добрив і компостів. Такий підхід дозволяє не лише зменшити кількість відходів, що підлягають утилізації, але й сприяє поліпшенню стану ґрунтів, підвищенню врожайності сільськогосподарських культур і зниженню антропогенного навантаження на довкілля.

Використання пивної дробини в аграрному секторі має значний потенціал, оскільки цей продукт характеризується високим вмістом органічної речовини, азоту, фосфору та калію – основних елементів живлення рослин. Компостування пивної дробини з іншими органічними матеріалами забезпечує отримання якісних біодобрив, що можуть повністю замінити або частково доповнити традиційні мінеральні підживлення. Таким чином, екологічне використання пивної дробини відповідає сучасним тенденціям циркулярної економіки, спрямованим на повторне залучення ресурсів у виробничий цикл.

Мета роботи – дослідження екологічних аспектів використання пивної дробини в різних галузях господарства, зокрема оцінка її ефективності та доцільності застосування у виробництві органічних добрив і компостів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: Проаналізувати літературні джерела щодо складу, властивостей та напрямів утилізації пивної дробини.

1. Оцінити екологічні переваги повторного використання пивної дробини порівняно з традиційними методами утилізації.
2. Дослідити можливості застосування пивної дробини у виробництві органічних добрив і компостів.
3. Визначити оптимальні умови компостування пивної дробини з іншими органічними компонентами.
4. Провести аналіз екологічної та економічної ефективності отримання готової продукції з сировини пивної дробини.

Наукове та практичне значення одержаних результатів.

Виявлено перспективні напрями переробки дробини, які мінімізують екологічне навантаження. Оцінено екологічний вплив традиційного зберігання та утилізації дробини, зокрема ризики органічного забруднення, утворення парникових газів та вторинного забруднення ґрунтів.

Об'єкт дослідження – пивна дробина (*spent grain*) як побічний продукт пивоварної промисловості та процеси її утилізації й використання в різних галузях господарства.

Предмет дослідження – екологічні аспекти, технологічні властивості та ефективність застосування пивної дробини у сільському господарстві, харчовій промисловості, енергетиці і в екологічних технологіях.

Апробація результатів роботи проводилася на Міжнародній інтернет-конференції «Наукове забезпечення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в умовах формування екологічностійких агроландшафтів», Уманський НУ, 17 червня 2025 р. (Додаток).

Структура та обсяги дипломної роботи. Загальний обсяг роботи становить 56 сторінок ком'ютерного тексту. Дипломна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, пропозицій та додатку. Список використаних джерел нараховує 47.

РОЗДІЛ 1

ВИКОРИСТАННЯ ПИВНОЇ ДРОБИНИ (SPENT GRAIN) В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ГОСПОДАРСТВА

1.1. Характеристика та перспективи використання сировини пивної дробини в Україні та світі.

Пивна дробина (*Spent grain*) – це один із важливих побічних продуктів, що утворюється під час процесу варіння пива, а саме на етапі фільтрації солоду. Вона є найбільш масовим типом відходів у пивоварному виробництві, на її частку припадає близько 85 % загального обсягу вторинної сировини. Основу пивної дробини становлять нерозчинні залишки ячмінного зерна, які мають високу біологічну цінність. До її складу входять значні кількості клітковини, білків, жирних кислот, вітамінів та інших корисних речовин, що зумовлює її потенціал як сировини для повторного використання в різних галузях господарства [4, 8] (рис. 1).



Рисунок 1. Пивна дробина, отримана після технологічних процесів пивоваріння

У середньому, на кожен літр звареного пива утворюється від 200 до 300 г дробини, що робить її основною формою твердих органічних залишків у пивоварній промисловості. Незважаючи на поживну цінність, традиційні

методи поводження з дробиною часто зводяться до вивезення її на сміттєзвалища, де вона розкладається, утворюючи метан, який є одним з найпотужніших парникових газів. Через значні об'єми утворення та високу вологість дробини її транспортування та зберігання потребує чималих витрат, що ускладнює екологічно безпечну утилізацію [6, 10].

В умовах зростання уваги до сталого розвитку дедалі більше пивоварень шукають ефективні шляхи повторного використання пивної дробини, зокрема через принципи кругової економіки. Один із найпоширеніших підходів – перетворення дробини на тваринницький корм. Завдяки високому вмісту білка та клітковини, вона є поживним і водночас економічно вигідним компонентом раціону для великої рогатої худоби, свиней та у вівчарстві [13, 19].

У Німеччині, США, Канаді та низці інших країн дробину активно додають до кормових сумішей, що позитивно впливає на приріст маси, якість м'яса і підвищення надоїв. Разом із тим, висока клітковина дробини може негативно впливати на травлення в птахів, тому її застосування у птахівництві потребує обережного підходу [24].

Окрім кормового використання, пивна дробина слугує перспективною сировинною часткою для виготовлення органічних добрив. У процесі компостування вона збагачує ґрунт органічними речовинами, покращує його структуру та вологоутримувальні властивості. Це дозволяє не лише скоротити обсяг органічних відходів, але й підтримати родючість ґрунтів без використання мінеральних добрив [35, 37].

Ще один інноваційний напрям – виробництво енергії з пивної дробини. У США, зокрема, активно досліджується потенціал використання дробини для отримання біогазу шляхом анаеробного зброджування. В результаті цього процесу утворюється метан, який може бути використаний для генерації електроенергії або тепла. Альтернативним методом є пряме спалювання дробини, що також дозволяє отримати теплову енергію. Обидва способи зменшують потребу у викопному паливі, сприяючи зниженню викидів парникових газів і зменшенню екологічного сліду виробництва [43].

У галузях промисловості також зростає зацікавлення у використанні пивної дробини як сировини для виготовлення біопластиків. Такі біоматеріали можуть замінити традиційні нафтохімічні пластики, зменшуючи залежність від викопних ресурсів та обсяг пластикових відходів [47].

Крім того, завдяки високому вмісту харчових волокон, дробина знаходить застосування в харчовій промисловості. Вона додається до рецептури хлібобулочних, кондитерських виробів, макаронів, снєків, батончиків та іншої продукції, підвищуючи їхню поживну цінність. У Німеччині, наприклад, пивна дробина широко використовується в хлібопекарстві, адже сприяє покращенню травлення й сприяє зниженню рівня холестерину в організмі [40, 42].

Сталий підхід до використання пивної дробини має також економічні та соціальні переваги. Це створює нові робочі місця у сфері переробки, знижує витрати на корми та добрива для фермерів і скорочує витрати на утилізацію для пивоварень. Водночас це позитивно впливає на екологічний імідж компаній, сприяючи інтеграції екологічної відповідальності у бізнес-моделі [44].

Таким чином, пивна дробина – не просто відхід, а стратегічно важливий ресурс. Її повторне використання у сільському господарстві, енергетиці, харчовій промисловості та біотехнологіях сприяє зменшенню навантаження на довкілля, скороченню викидів парникових газів і підтримці ресурсної ефективності.

В умовах переходу до кругової економіки перетворення пивної дробини на корисний продукт є прикладом вдалого поєднання екології та економіки.

1.2. Енергетична складова переробки побічних продуктів пивоваріння.

Пивоварна галузь належить до матеріаломістких сфер промисловості, що закономірно супроводжується утворенням значних обсягів відходів. Одним із найбільш масових побічних продуктів є пивна дробина: на пивзаводі середньої потужності її щороку накопичується близько 35 тис. т. На відповідних виробництвах, які було введено в експлуатацію без належного врахування питання утилізації виробничих відходів, як наслідок, на полігонах роками

накопичуються великі масиви пивної дробини, що під дією мікробіологічного розкладання виділяють у повітря, ґрунт та водойми токсичні продукти гниття. Це призводить до погіршення екологічної ситуації на прилеглих територіях і створює додаткові ризики для довкілля [45,46].

Основною метою комплексної біоконверсії пивної дробини є отримання якомога більшої кількості корисних продуктів при мінімальних витратах енергії, що досягається шляхом диверсифікації – розширенням лінійки кінцевої продукції, яку можна виготовляти з цього відходу [31].

З огляду на стрімке зростання цін на газ та електроенергію, пивоварні підприємства дедалі частіше розглядають пивну дробину як альтернативне джерело енергії. За оцінками експертів, її енергетичний потенціал дозволяє покрити приблизно 60 % потреб підприємства в енергоносіях. При цьому необхідні капіталовкладення є незначними та швидко окупніть за рахунок скорочення витрат на традиційні енергоресурси.

Отримати енергію з пивної дробини можна кількома шляхами:

- газифікацією;
- піролізом із формуванням коксу, метанолу, смол і газів (зокрема водню, метану, етилену тощо);
- переробкою на спирти;
- безпосереднім спалюванням;
- виробництвом біогазу [12, 14].

Найпоширенішими методами є спалювання дробини та анаеробне зброджування з отриманням біогазу. Її теплота згорання за вологості близько 81 % становить 3450 кДж/кг, що є співставним із теплотворною здатністю бурого вугілля. Для ефективного згорання необхідна температура понад 850°C [9, 36].

З метою підвищення енергетичної ефективності дробину заздалегідь зневоднюють у фільтр-пресах до 60 % вологості, що збільшує теплоту згорання до 7260 кДж/кг та у дискових сушарках до 10 % вологості, при якій теплота згорання підвищується до 16320 кДж/кг [9, 36, 37].

Після цього сировину подрібнюють, що зменшує витрати на її підготовку, як палива. Спалювання здійснюють у звичайних вугільних котлах, у спеціальних котлах-утилізаторах або в печах, призначених для біомаси. Для зниження викидів шкідливих речовин під час згорання збільшують приплив повітря, забезпечуючи повніше окиснення [34].

У разі вироблення біогазу пивну дробину (у чистому вигляді або з домішкою залишкових пивних дріжджів) подрібнюють, ферментують і розбавляють до стану, зручного для транспортування [3, 5].

Після цього її піддають аеробному або анаеробному зброджуванню за участю мікроорганізмів, що сприяють утворенню метану. Отриманий біогаз використовують для підігріву технологічного обладнання або генерації електроенергії.

Отже, проведений аналіз дає підстави стверджувати, що використання пивної дробини з енергетичною метою є ефективним напрямом, який сприяє одночасно:

- зменшенню екологічного навантаження на довкілля;
- забезпеченню пивоварних підприємств відновлюваними енергоносіями;
- підвищенню економічної ефективності та рентабельності виробництва;
- упровадженню сучасних, науково обґрунтованих технологій біоконверсії відходів у корисні продукти [7].

Таким чином, пивна дробина є перспективним ресурсом, що може відігравати важливу роль у розвитку екологічно сталого та енергоефективного виробництва.

1.3. Перспективні напрямки підготовки і переробки сировинної бази та фітотоксичність пивної дробини

Після завершення процесу фільтрування суслу та вивантаження пивної дробини з фільтр-апарата чи фільтрпреса більшість пивоварних підприємств традиційно реалізують цей побічний продукт фермерам як кормову добавку для відгодівлі тварин. Однак спектр можливостей повторного використання

дробини значно ширший. Серед найбільш перспективних напрямів – сушіння, консервування, застосування у харчовій та будівельній промисловості, виробництво органічних добрив, а також отримання цінних біохімічних речовин, зокрема ксиліту та глютамату натрію [15, 21].

Консервування сирії пивної дробини. Для збереження сирії пивної дробини здавна використовується метод силосування. Його суть полягає у створенні умов, за яких природна кислотність соковитих кормів (до яких належить і дробина) перешкоджає розвитку патогенної мікрофлори та цвілевих грибів. Найефективнішим вважається часткове зневоднення дробини до вологості 60-70 % за допомогою конічного шнек-преса, що дає змогу підвищити вміст сухої речовини з 20 % до 30-35 %. Після цього дробину фасують у герметичні поліетиленові мішки та ущільнюють [20].

Під час зберігання кислотність дробини знижується внаслідок утворення молочної та оцтової кислот, що формуються під дією відповідних бактерій. Однак через низьку кислотну стабільність та швидку втрату якості силос із пивної дробини рекомендовано згодовувати у стислий термін [22].

Сушіння пивної дробини. Пивна дробина містить близько 75 % білків та 80% жирів, що входили до складу солоду, тому її збереження у висушеному вигляді є економічно доцільним. Суха дробина добре транспортується, не псується протягом тривалого часу та може бути використана у виробництві комбікормів. Серед промислових технологій сушіння найбільш поширені:

- аеродинамічне сушіння у диспергаторі «Парматех», де матеріал перебуває у підвішеному стані;

- технологія «Біокомплекс», яка передбачає виробництво гранульованих кормових добавок без використання додаткової пари та води, що знижує собівартість;

- використання вихрових комбінованих сушильних установок БЮ, які забезпечують якісне висушування подрібненої сировини до потрібних параметрів [25, 38].

Пивна дробина, як сировина для виробництва органічних добрив та розширення технологічних прийомів щодо її компостування

У свіжому вигляді пивна дробина є фітотоксичною та непридатною для використання у ґрунті, оскільки може пригнічувати ріст рослин і навіть бути токсичною для дощових черв'яків. Проте після компостування її властивості кардинально змінюються – вона перетворюється на високоякісний органічний матеріал, багатий на азот, целюлозу та мікроелементи [39, 41].

Компостування пивної дробини – один із найперспективніших методів екологічної утилізації, який забезпечує:

- зниження токсичності вихідної сировини;
- стабілізацію органічної маси;
- створення поживного субстрату для вермикультури (дощових черв'яків);
- отримання біогумусу, який є цінним органічним добривом.

Процес компостування може здійснюватися у відкритих буртах або в біореакторах. Для оптимального перебігу розкладу дробину зазвичай змішують з іншими органічними матеріалами – соломною, подрібненими гілками, травою чи курячим послідом – для балансування співвідношення вуглецю до азоту ($C:N \approx 25-30:1$). У результаті аеробного розкладання температура компостної маси зростає до $50-65^{\circ}\text{C}$, що сприяє знешкодженню патогенів і стабілізації органічних сполук [30, 33].

Отриманий компост може використовуватися як:

- добриво у сільському господарстві та садівництві;
- покращувач ґрунту на виснажених ділянках;
- субстрат для вирощування грибів;
- основа для виробництва ґрунтових сумішей.

Отримання ксиліту та глютамату натрію

Пивна дробина містить значну кількість полісахаридів, які можуть бути перероблені на ксиліт – цінний харчовий підсолоджувач. Для виробництва 15 т. ксиліту на добу необхідно 500-600 т. дробини з вологістю 75 % [32].

Крім того, технологія синтезу глютамату натрію є настільки простою, що може бути реалізована прямо на пивоварному підприємстві. Розрахунки показують, що міні-пивзавод, який виробляє близько 1500 л пива на добу, здатен отримувати до 4,8 т. глютамату натрію на рік. Технологія є безвідходною, а всі побічні продукти мають ринкову цінність [29].

Застосування у харчовій та будівельній промисловості

Борошно з пивної дробини використовується у м'ясній, молочній та хлібопекарській промисловості як джерело цінних білків, вітамінів групи В та мікроелементів. У будівництві висушена дробина додається до глиняної цегли для збільшення її пористості та покращення теплоізоляційних властивостей [23].

Сира пивна дробина, яка утворюється після фільтрування пивного сусла, має складний органічний склад і характеризується високою вологістю, інтенсивними процесами бродіння та значним бактеріальним навантаженням. Саме ці властивості зумовлюють її фітотоксичність та непридатність до прямого внесення у ґрунт без додаткової обробки [28].

Фітотоксичність – це властивість речовини негативно впливати на ріст і розвиток рослин. У випадку з пивною дробиною це проявляється у тому, що її внесення у свіжому вигляді може спричинити, пригнічення проростання насіння, уповільнення або зупинку росту коренів та пагонів, жовтіння та відмирання листя, порушення обміну речовин у рослин через дисбаланс азоту та інших елементів [2].

Цей негативний вплив зумовлений хімічними та мікробіологічними процесами, що активно відбуваються у свіжій дробині. Основними причинами непридатності використання сировини без попередньої обробки є високий вміст вологи (75-85 %), сира дробина швидко розкладається, що спричиняє інтенсивне споживання кисню мікроорганізмами, створення анаеробних умов у ґрунті, загнивання коренів культурних рослин, надлишок легкодоступного азоту та білкових сполук. При розкладанні білки перетворюються на аміак та

інші азотовмісні сполуки, які в токсичних концентраціях можуть знищувати коріння та порушувати мікрофлору ґрунту [9].

Гниття сировини супроводжується виділенням аміаку, сірководню та летких жирних кислот. Ці речовини токсичні як для рослин, так і для ґрунтових мікроорганізмів та дощових черв'яків [18].

Свіжа дробина є нестабільною, її органічні компоненти розкладаються надто швидко, процес супроводжується сильним нагріванням, формується кисле, неприємне середовище, шкідливе для рослин [27].

Щодо фітотоксичної дії до ґрунтових організмів, то, наприклад, дощові черв'яки, які є показником ґрунтової родючості, у свіжій дробині гинуть через токсичні продукти бродіння.

Основними методами усунення фітотоксичності пивної дробини є компостування, вермикомпостування та сушіння. Під час компостування токсичні речовини нейтралізуються, органічна маса стабілізується, а дробина перетворюється на повноцінний гумусоподібний матеріал [35].

Вермикомпостування можливе лише після первинного компостування, тоді дробина стає придатною як субстрат для дощових черв'яків. Сушіння значно зменшує активність мікроорганізмів і стабілізує матеріал, що уможливорює відтермінування його впровадження [39].

Вермикомпост належить до екологічно чистих, безпечних та особливо ефективних органічних добрив. Його властивості та позитивний вплив на довкілля добре відомі сучасним фахівцям аграрної науки, садівникам-любителям і фермерським господарствам. Завдяки своїй високій ефективності, економічній доцільності та широкій доступності, вермикомпост сьогодні легко придбати практично в будь-якому магазині садово-господарських товарів, де він входить до складу універсальних ґрунтосумішей [12].

Однією з ключових особливостей, яка суттєво відрізняє вермикомпост від традиційних органічних добрив, є висока концентрація водорозчинних та легко доступних форм основних елементів живлення – азоту, фосфору і калію.

Завдяки цьому він особливо ефективний у ранні фази росту рослин, коли потреба у швидкодоступних поживних речовинах є найбільшою [22].

Біогумус (синонім – вермикомпост) утворюється в процесі біологічної переробки органічних відходів, переважно харчового походження, за участю дощових черв'яків та симбіотичної мікрофлори. У шлунково-кишковому тракті черв'яків органічні залишки механічно подрібнюються, ферментуються та насичуються комплексом корисних мікроелементів, ферментів та біологічно активних речовин. Саме тому отриманий продукт характеризується високим вмістом гумусу, низькою кислотністю та мінімальними концентраціями важких металів і токсичних домішок [15].

Вермикомпост широко застосовують для підвищення врожайності, покращення структури й родючості ґрунтів, а також для їх відновлення після деградації чи виснаження. Його виробництво є практично безвідходним, оскільки в основі технології лежить природний процес переробки органічних речовин черв'яками, що робить цей метод одним із найекологічніших способів утилізації органічних відходів [15].

Процес вермикомпостування триває в середньому від 2 до 4 місяців. За цей період чисельність популяції черв'яків може збільшуватися у 4–9 разів, що значно прискорює темпи переробки органічної сировини. Готовий продукт має вигляд розсипчастого чорного субстрату, схожого на родючий чорнозем, не має неприємного запаху і містить до 31 % гумінових речовин, які стимулюють ріст і розвиток рослин. Усі поживні елементи в біогумусі перебувають у легкозасвоюваній формі, що підвищує ефективність їх засвоєння рослинами [20].

Особливо важливо, що біогумус не містить патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів або токсичних концентрацій важких металів. Навпаки, він насичений корисною мікрофлорою, яка після внесення в ґрунт активно розмножується, оздоровлює ґрунтове середовище та пригнічує розвиток патогенів. Мікроорганізми виділяють фітогормони, антибіотики, фунгіцидні та

бактерицидні речовини, що ефективно захищають рослини від хвороб і сприяють формуванню здорової та продуктивної кореневої системи [24].

Використання біогумусу не лише покращує фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунту, але й сприяє збільшенню врожайності. Практичні спостереження демонструють, що внесення вермикомпосту прискорює проростання насіння, знижує стрес під час пересадки, стимулює ранній ріст рослин. Є дані, що врожайність пшениці та буряків зростає на 25%, вівса — на 35–50%, картоплі — на 65–100%, овочевих та плодових культур — приблизно на 30%, редиски — на 35%. За своїм удобрювальним потенціалом 85 кг вермикомпосту замінюють 1 тону гною ВРХ, що свідчить про високу ефективність цього добрива [29].

Оскільки біогумус повністю безпечний для довкілля, сприяє відновленню ґрунтів і не забруднює навколишнє середовище, його використання вважається не лише екологічно виправданим, а й економічно вигідним [34].

Окремо слід зазначити, що сира пивна дробина, яка є побічним продуктом пивоварного виробництва, у своєму первинному стані є фітотоксичною через надмірну вологість, активні процеси гниття, наявність летких кислих та азотовмісних сполук, а також мікробіологічну нестабільність. Тому вносити її безпосередньо у ґрунт не можна. Проте після компостування або вермикомпостування вона перетворюється на цінний органічний матеріал, повністю придатний для використання в рослинництві і здатний покращувати структуру, родючість та біологічну активність ґрунтів.

Тобто, сира пивна дробина є фітотоксичною через високу вологість, активне гниття, вміст кислих та азотовмісних сполук і мікробіологічну нестабільність. У такому вигляді вона здатна шкодити рослинам, ґрунтовій біоті та мікрофлорі. Проте після компостування або відповідної обробки дробина перетворюється на цінний органічний ресурс, який можна ефективно використовувати у різних галузях сільського господарства.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Природні умови регіону досліджень

Дослідження виконувалися упродовж 2024–2025 рр. на базі Уманського національного університету, а також в умовах урбанізованого середовища міста Умань. Територія проведення досліджень належить до Лісостепової зони України, яка охоплює близько 34 % площі країни, що відповідає приблизно 205 тис. км². Лісостеп простягається із заходу на схід широкою смугою завширшки 150–330 км та завдовжки майже 1100 км [1].

Північну межу Лісостепу умовно окреслює лінія Володимир-Волинський – Луцьк – Рівне – Червоноград – Рава-Руська – Шепетівка – Житомир – Київ – Ніжин – Глухів. Південна межа проходить через Ананіїв – Добровеличківку – Кропивницький – Кременчук – Зміїв. У межах цієї природно-географічної зони виділяють шість кліматичних районів: Західний, Подільський, Придністровський, Правобережний, Лівобережний та Східний. Правобережний Лісостеп охоплює південно-східні райони Житомирської області, центральну й східну частини Вінниччини, правобережні території Київської області (її центральна та південна частини), Черкаську область, північну частину Полтавської та Кіровоградської областей [1].

Ґрунтово-кліматичні умови та гідротермічний режим півдня Черкащини, північно-західних районів Київщини, Кіровоградщини та південно-східної частини Вінниччини відповідають помірно континентальному клімату з нестійким зволоженням. Середньорічна температура становить +7,1...+8,6 °С; абсолютний мінімум у січні–лютому може сягати -36 °С, тоді як максимальні температури в липні–серпні досягають +36...+39 °С. Річна кількість опадів у середньому становить 633 мм. Відносна вологість коливається в межах 64–88 %, з найвищими значеннями восени та найнижчими наприкінці весни й початку літа. Сума активних температур вище +5 °С становить близько 3000°, а понад +10 °С – 2500–2800°. Середній гідротермічний коефіцієнт дорівнює 1,18, однак його значення істотно змінюються залежно від року та фази вегетації [16, 17].

Опади протягом року розподілені нерівномірно: найбільший їх максимум припадає на червень–липень (90–100 мм), найменший – на січень – лютий. Відносна вологість і кількість опадів істотно варіюють між роками, що зумовлює значні коливання умов зволоження. Середньодобові температури переходять через 0 °C у середньому 15–16 березня та 22–24 листопада [18].

Вегетаційний період розпочинається 4–8 квітня, коли середньодобова температура стабільно перевищує +5 °C, і завершується наприкінці жовтня – на початку листопада. Його тривалість становить у середньому 200–212 днів. Сума позитивних температур за період з температурами вище +10 °C коливається в межах 2550–2600 °C. Осінні приморозки зазвичай виникають на початку жовтня, проте за окремих років можливі наприкінці вересня або навіть у першій декаді листопада. Весняні приморозки найчастіше припиняються в кінці квітня, але інколи повертаються до кінця травня. Стійкий сніговий покрив формується переважно в першій декаді грудня, танення снігу починається у першій декаді березня, а остаточне зникнення інколи затягується до другої декади квітня [18, 27].

Таким чином, комплекс фізико-географічних і метеорологічних особливостей досліджуваного регіону – значні добові та сезонні коливання температури, нерівномірний розподіл опадів, періодичні прояви посухи, суховії, екстремальні спекотні періоди та бездощові інтервали — створюють додаткові труднощі для здійснення доглядових робіт, вирощування садивного матеріалу та забезпечення стабільного функціонування зелених насаджень в урбанізованому середовищі міста Умань. Такі кліматичні умови потребують адаптивних технологій підживлення якісними органічними добривами з оптимальними показниками.

2.2 Об'єкти досліджень

Пивна дробина є основним побічним продуктом пивоварного виробництва, що утворюється після процесу затирання та відокремлення суслу від дробленого солоду. Вона становить до 85 % усіх відходів пивоварні, що робить її найбільш масовим та доступним ресурсом серед вторинних продуктів пивоваріння. За своєю природою пивна дробина належить до високобілкових та

високоенергетичних органічних матеріалів із комплексним хімічним складом і значним потенціалом для використання в різних галузях господарства (рис. 2.).



Рисунок 2. Пивна дробина

У хімічному відношенні дробина містить значну кількість сирової клітковини, білків, геміцелюлоз, частково гідролізованого крохмалю, жирів, а також мікроелементів (кальцій, фосфор, магній, калій, залізо). Вміст сухої речовини коливається в межах 20–25 %, тоді як решта складає волога, що зумовлює швидке мікробіологічне псування та потребує оперативного використання або відповідної консервації. Завдяки високому вмісту органічних сполук та поживних елементів пивна дробина є цінною сировиною для виробництва органічних добрив і компостів, оскільки добре розкладається під дією мікроорганізмів та збагачує субстрат органічним азотом, фосфором і калієм.

Фізико-хімічні властивості дробини – пориста структура, висока гідрофільність, низький рівень кислотності – роблять її придатною не тільки для агрономічних потреб, а й для використання в біоенергетиці, кормовиробництві, біотехнологіях та у виробництві альтернативних матеріалів. Проте надмірна вологість та швидке біологічне розкладання обмежують тривале зберігання свіжої дробини, тому вона часто піддається сушінню, силосуванню або іншим способам стабілізації.

Використання ткст-рослин з цінними господарськими показниками

Фундук є цінною листопадною культурою, яку доцільно застосовувати як тест-рослину для оцінювання ефективності компосту на основі пивної дробини при закладанні посівних гряд. Це однодомний кущ (інколи невелике дерево) з темно-сірою гладкою або злегка тріщинуватою корою, що формує довгі прутоподібні пагони. Листки розміщені чергово в два ряди, мають широкоовальну форму, часто бувають асиметричними, подвійно-зубчастими та опушеними – така морфологічна структура робить фундук чутливою індикаторною рослиною до змін у поживному режимі ґрунту та вмісту органічної речовини.

Бруньки в рослини сидячі, овальні, покриті лусками, що забезпечує досить високу стійкість до коливань вологості та температури, тому фундук добре реагує на покращення структурних властивостей ґрунту, яке забезпечує внесення компосту з пивною дробиною. Квітки у фундука роздільностатеві й з'являються ще до розгортання листків, що дозволяє оцінювати ранню вегетацію рослин у дослідних грядках (рис. 3, 4).



Рисунок 3. Рослина фундука сорту Бадіус.



Рисунок 4. Горіхи фундука сорту Бадіус в плюсці.

Чоловічі сережки утворюються на пагонах поточного року й залишаються зимувати до весни. Навесні вони значно видовжуються та продукують великі обсяги пилку, що є показником фізіологічного стану рослини та непрямо свідчить про забезпеченість її елементами живлення

Жіночі суцвіття мають вигляд бруньок із характерними червоними приймочками, кількість і розвиток яких також можуть бути індикаторами впливу компосту на генеративний розвиток рослини. Подальший ріст плодів розпочинається після повного облистнення та завершення приросту пагонів, коли рослина активно споживає поживні елементи з ґрунту. Саме на цьому етапі найбільш помітними стають ефекти внесення компосту з пивною дробиною – покращення азотного живлення, активізація мікробіологічних процесів і стабілізація структури ґрунту.

Фундук починає плодоносити на 5–8-й рік при насіннєвому розмноженні та вже на 2–3-й рік при вегетативному, що дає можливість використовувати його як довготривалий об’єкт моніторингу продуктивності ґрунтів, збагачених органічними добривами. Плід – однонасінний горіх із листкуватою або розсіченою обгорткою – формується лише за умови оптимального мінерального та органічного живлення, тому його розвиток є важливим критерієм оцінки ґрунтових умов у дослідних посівних грядках із внесеним компостом на основі пивної дробини.

Ліщина горіхова, завдяки своїм морфологічним і фізіологічним властивостям, є перспективною культурою для використання як тест-рослина при оцінюванні ефективності компостів із вмістом пивної дробини, що вносяться у посівні гряди. Це листопадний однодомний кущ (інколи невелике дерево), який формує міцні прутоподібні пагони та характеризується темно-сірою корою, що може бути як гладенькою, так і дещо тріщинуватою. Такі особливості забезпечують рослині добру реакцію на зміни ґрунтових умов, зокрема на покращення структури та водного режиму, що спричиняє внесення компосту з пивної дробини.

Листки ліщини розташовані дворядно-чергово, мають широку овальну форму, густе опушення та нерівномірно зубчастий край. Ці ознаки роблять рослину чутливою до змін у забезпеченні поживними елементами, тому вона може служити інформативним біоіндикатором при використанні органічних добрив. Бруньки рослини овальні, лускаті, стійкі до зовнішніх подразників, що дозволяє фіксувати реакцію ліщини на внесення компосту вже на ранніх етапах вегетації (рис. 4, 5).



Рисунок 4. Рослина ліщини горіхової форми Полтавська



Рисунок 5. Горіхи ліщини форми Полтавська в пюстці

Квітки ліщини з'являються до розгортання листків, що дає можливість оцінювати вплив компосту з пивної дробини на ранній розвиток рослин. Чоловічі квітки формують довгі повислі сережки, у яких під час цвітіння висипається значна кількість пилку – цей процес добре відображає фізіологічний стан рослини та може слугувати маркером її забезпеченості поживними елементами. Жіночі суцвіття, що мають вигляд кулястих бруньок із помітними червоними приймочками, також чутливо реагують на зміни у ґрунті, зокрема на рівень доступного азоту й органічної речовини, які містяться в компості з пивної дробини.

Після цвітіння розвиток плодів активізується лише з початком повного облистнення, коли рослина найбільш інтенсивно використовує поживні речовини з ґрунту. Саме на цьому етапі внесений компост проявляє свій вплив найповніше: покращується ріст пагонів, збільшується площа листкової поверхні та активізуються процеси плодоутворення. Ліщина починає плодоносити на 5–8-й рік при насіннєвому розмноженні та вже на 2–3-й рік при вегетативному, що дозволяє використовувати її як ефективний довгостроковий індикатор продуктивності ґрунтів із додаванням органічних добрив.

Оскільки плід ліщини – однонасінний дерев'янистий горіх – формується лише за оптимальних умов живлення, показники розвитку зав'язі та плодів можуть бути використані як надійні критерії оцінки дії компосту з пивної дробини.

2.3. Схема дослідів

Використання компосту у вигляді добрива чітко регламентується низкою показників. Агрохімічні і фізико-хімічні показники добрив повинні знаходитись певних межах. Які зазначені у табл. 1, 2.

Таблиця 1.

Встановлені показники органічних добрив, що дозволені для використання [32].

Назва показника	Встановлена норма
Вміст в добриві фракції крупніше ніж 50 мм на суху речовину у % не більше	2
Масова доля органічної речовини на сухий продукт % не менше	40
Вологість, %	20-80
Рівень реакції середовища, pH	6,5-8

Таблиця 2.

Кількісний склад поживних речовин на сухий продукт, %

Поживні речовини	Кількісний склад
N	1,8
P	2,0
K	0,1

Спостереження за розвитком досліджуваних рослин проводили кожних 10 діб. У досліді визначали загальний стан рослин та їх біо-екологічні показники.

Впродовж 2024-2025 рр. проводили сівбу горіхів ліщини та фундука без плюски (оболонки), зібраних в першій декаді вересня з 10-річних рослин з внесенням різних типів субстрату:

-внесення при сівбі субстрату отриманого в результаті компостування суміші пивної дробини 20 %, рослинних решток 70 %, ґрунту 10 %.

-внесення при сівбі субстрату отриманого в результаті компостування суміші пивної дробини 30 %, рослинних решток 60 %, ґрунту 10 %.

-внесення при сівбі субстрату отриманого в результаті компостування суміші пивної дробини 40 %, рослинних решток 50 %, ґрунту 10 %.

Схема досліду (табл. 3).

Таблиця 3.

Схема досліду проведення досліджень	
Досліджувана рослина	Варіант досліду
Ліщина	Компост 1
	Компост 2
	Компост 3
Фундук	Компост 1
	Компост 2
	Компост 3

В кожному варіанті досліду було здійснено сівбу 100 горіхів.

2.4. Методика досліджень.

Для забезпечення повноти та достовірності експериментальних даних попередньо проведено відбір необхідних зразків, що використовувалися у подальших лабораторних дослідженнях. Зразки ґрунту чорнозему опідзоленого було відібрано на території дослідної ділянки кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету, що характеризується природними умовами, близькими до агроценозів помірного клімату [11].

Другу групу досліджуваних матеріалів становив компост, отриманий на цій же ділянці але в умовах буртів призначених для вермикультури, де органічні відходи проходили повний цикл компостування.

Відбір компосту здійснювали відповідно до вимог ДСТУ 21560.082 з дотриманням методичних приписів, що гарантують репрезентативність і точність отриманих проб. Важливою умовою було забезпечення рівномірності відбору, тому проби брали вручну з різних ділянок однієї партії компосту місткістю не менше 1 літра, при цьому маса кожної індивідуальної проби складала щонайменше 0,3 кг.

Сукупність таких проб формувала об'єднану вибірку, що містила щонайменше тридцять одиничних проб. Отриману об'єднану пробу ретельно перемішували на поліетиленовій плівці чи брезенті, після чого з неї виділяли середню пробу методом квартування, доводячи її масу до приблизно 1 кг. Середню пробу герметично пакували у подвійний поліетиленовий пакет, маркували етикеткою із зазначенням назви матеріалу, номера партії, її маси, дати відбору та прізвища відповідального виконавця. Такий підхід забезпечував простежуваність, відтворюваність і коректність подальших аналітичних процедур.

Після отримання середньої проби компосту проведено комплекс визначень його агрохімічних та фізико-хімічних властивостей. Вологість компостної маси встановлювали згідно з ДСТУ 26713-85, кислотність (pH) – відповідно до ДСТУ 27979-88, а вміст органічної речовини визначали за ДСТУ 8454:2015. Концентрацію загального азоту аналізували за методикою ДСТУ 7911:2015, тоді як вміст загального фосфору та калію визначали згідно з ДСТУ 26717-85 та ДСТУ 7949:2015 відповідно. Дані показники є базовими характеристиками якості органічних добрив і визначають їхню ефективність під час застосування у різних агротехнологічних системах.

Для постановки модельного лабораторного дослідження попередньо підготовлений компост змішували із відібраним ґрунтом у співвідношенні 1 кг ґрунту до 300 г компосту, після чого суміш ретельно перемішували до

однорідної маси. Контрольним варіантом слугував природний ґрунт без домішок компосту, що дозволяло оцінити вплив внесеного органічного матеріалу на ріст і розвиток тест-рослин. У дослідженнях застосовували дві культури – лішину горіхову та фундук сорту Шедевр.

Насіння перед сівбою ретельно оглядали і піддавали калібруванню для відбору рівномірного садивного матеріалу та замочували у воді протягом 24 годин для активізації процесів проростання.

Експериментальні дослідження проводили в умовах насіннєвого відділення дослідної ділянки, що забезпечувало стабільність перебігу фізіологічних процесів у рослин. Полив здійснювали через одну добу для підтримання оптимальної вологості, необхідної для проростання та росту пагонів. Тривалість досліду становила 10 діб, після чого рослини обережно вилучали з ґрунту, промивали чистою водою для видалення залишків субстрату та проводили морфометричні вимірювання довжини кореня та висоти надземної частини кожної рослини [11].

Дослід мав пролонгований характер, тому через рік було закладено другий етап експерименту. В ньому використовували ту саму ґрунтово-компостну суміш, яку протягом року зберігали в умовах доступу повітря та періодично зволожували для підтримання біологічної активності субстрату. Повторний дослід дав змогу оцінити тривалу стабільність та післядію компосту, а також зміни його впливу на ростові процеси рослин.

Отримані дані піддавали статистичній обробці, що включала визначення середнього арифметичного для кожного варіаційного ряду морфометричних показників, а також обчислення помилки середнього значення. Такий підхід забезпечував наукову достовірність результатів, дозволяв мінімізувати вплив випадкових коливань і дав змогу здійснити коректну порівняльну оцінку ефективності використання компосту в експериментальних умовах.

Аналітичні методи дослідження та математична обробка результатів базувалися на застосуванні стандартизованих підходів, що забезпечують високу достовірність та відтворюваність отриманих даних. Комплексний аналіз складу

субстрату здійснювали в умовах акредитованої лабораторії Уманського національного університету садівництва, де було використано сертифіковане обладнання та методики, що відповідають вимогам, встановленим у «Переліку методик виконання вимірювань (визначень) складу ґрунту, допущених до використання» на території України. Визначення хімічних і фізико-хімічних показників проводили відповідно до чинних нормативних документів, що гарантувало об'єктивність результатів та їхню відповідність науковим і практичним потребам.

Вплив отриманого субстрату на ріст і розвиток сіянців ліщини та фундука у різних варіантах досліду визначали відповідно до затверджених методик і рекомендацій [11].

Отриманий експериментальний матеріал піддавали ґрунтовній статистичній обробці з метою виявлення достовірних залежностей та оцінки варіативності показників. Для цього застосовували метод дисперсійного аналізу, який дозволяє встановити рівень впливу досліджуваних факторів на результати та визначити статистичну значущість відмінностей між вибірками. Обчислення виконували із використанням сучасних програмних засобів, зокрема пакету прикладних комп'ютерних програм ПІК «Агростат» та функціональних можливостей MS Office Excel, що забезпечило високу точність, швидкість і надійність математичної обробки отриманих даних.

2.5. Охорона праці.

Процеси виробництва органічних добрив і компостів належать до технологічних операцій підвищеної небезпеки, оскільки пов'язані з механічною обробкою сировини, виділенням біологічно активних речовин, можливим утворенням шкідливих газів, підвищеним мікробіологічним навантаженням та роботою з обладнанням. Тому організація безпечних умов праці є ключовою передумовою ефективної та екологічно безпечної діяльності підприємства.

Система охорони праці має відповідати вимогам Закону України «Про охорону праці», Закону «Про забезпечення санітарного та епідемічного

благополуччя населення», ДСТУ з безпечної експлуатації техніки, а також галузевим нормативам екологічної та виробничої безпеки. Роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників інструкціями з охорони праці, засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), організувати навчання, періодичні інструктажі та контроль за виконанням правил безпеки.

У виробництві компостів і органічних добрив найчастіше виникають такі небезпечні фактори:

Хімічні та біологічні фактори, зокрема виділення аміаку, сірководню, метану та вуглекислого газу під час ферментації органічної маси; наявність у повітрі робочої зони спор грибів, бактерій, алергенів та пилу органічного походження; небезпека контакту з патогенними мікроорганізмами у свіжій сировині (побутові відходи, гній, рослинні залишки), надмірна концентрація аміаку ($> 20 \text{ мг/м}^3$) може спричинити подразнення слизових оболонок, а вдихання пилу – алергічні реакції та захворювання органів дихання.

Фізичні та механічні фактори, зокрема рухомі частини обладнання (подрібнювачі, аератори, транспортери, завантажувачі), що становлять ризик травм; підвищені температури всередині компостних буртів або реакторів (до $60\text{--}70^\circ\text{C}$); шумові навантаження (до $75\text{--}95 \text{ дБ}$) під час роботи механізмів; підвищена вологість та слизька поверхня робочих площадок.

Пожежна та вибухова безпека. Під час біоферментації можливе: накопичення метану у локальних зонах при недостатній вентиляції, самонагрівання органічної маси, займання сухих фракцій або пилу. Тому необхідне дотримання класів пожежної безпеки та запобігання утворенню вибухонебезпечних середовищ.

Санітарно-гігієнічні вимоги. Щоденне прибирання виробничих приміщень, видалення залишків органічної сировини, обмеження розмноження комах та гризунів. Забезпечення працівників душовими, умивальниками, пунктами санітарної обробки. Регулярна дезінфекція ємкостей, бункерів, транспортерів.

Засоби індивідуального захисту. Кожен працівник повинен бути забезпечений: респіраторами або масками з фільтрами проти пилу та аміаку, захисними рукавицями, гумовим або водостійким взуттям, спецодягом, захисними окулярами або щитками, каскою та навушниками при роботі з шумним обладнанням.

Пожежна безпека. Слід забезпечити наявність протипожежного інвентарю: вогнегасників порошкових та вуглекислотних, пожежних щитів, рукавних ліній; утримання майданчиків у стані, що виключає займання сухої органічної сировини; відстань між компостними буртами не менше 3–4 м для запобігання перекиданню вогню; заборону паління на території виробничої зони; регулярний контроль температури всередині бортів та реакторів. У разі виявлення ознак самонагрівання (температура $> 70^{\circ}\text{C}$) необхідно виконати аерацію, перелопачування або локальне охолодження компостної маси.

На відкритих майданчиках слід враховувати додаткові природні чинники: підвищену температуру та інсоляцію в літній період, ожеледь та слизькі поверхні взимку, вплив сильного вітру, що сприяє поширенню пилу.

Екологічна безпека та мінімізація впливу на довкілля – герметичність майданчиків та відведення стоків у локальні очисні споруди; недопущення забруднення ґрунту інфільтратами; дотримання звукових та запахових нормативів у межах санітарно-захисної зони; екологічний контроль за викидами та відходами технології.

Тобто, організація належних умов охорони праці у виробництві добрив і компостів є важливим елементом сталого функціонування підприємства. Дотримання санітарно-гігієнічних, пожежних, організаційних та технічних вимог дозволяє мінімізувати ризики травматизму, шкідливих впливів на здоров'я працівників і забезпечити екологічно безпечний виробничий процес.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Приготування органічних добрив шляхом компостування пивної дробини з різними субстратами.

Пивна дробина розглядається як цінний органічний ресурс, здатний виконувати функції добрива та меліоранта ґрунтів, що відкриває широкі можливості для її раціонального використання у сільському господарстві. Перетворення багатотонних відходів пивоварної промисловості на ефективні органічні добрива стає важливим напрямом у вирішенні екологічних та технологічних проблем, пов'язаних із їх утилізацією. Особливу увагу привертає технологія отримання високоефективного добрива шляхом аеробної твердофазної ферментації пивної дробини, що дозволяє значно покращити її агрономічні властивості.

У свіжому вигляді пивна дробина може проявляти фітотоксичні властивості та бути несприятливою для розвитку дощових черв'яків. Проте після проходження процесу компостування вона набуває зовсім інших характеристик: стає повноцінним та безпечним субстратом для вермикультури. Біогумус, отриманий у результаті переробки компостованої дробини дощовими черв'яками, характеризується високою біологічною активністю й слугує ефективним органічним добривом, яке покращує структуру ґрунту, підвищує його родючість та сприяє формуванню стабільної агроєкосистеми.

Процес перетворення пивної дробини на компост може відбуватися як у спеціально організованих умовах, так і природним шляхом, без застосування мікробних заквасок. Під час тривалого зберігання, що триває кілька місяців, дробина поступово втрачає токсичність і перетворюється на органічний матеріал, придатний як корм для черв'яків. Верміферми, тваринницькі комплекси та підприємства, що займаються зберіганням овочевої продукції, можуть накопичувати пивну дробину для її подальшого компостування. Однак важливо забезпечити правильні умови зберігання: майданчики повинні бути

обладнані відповідно до екологічних і санітарно-гігієнічних норм, а сама операція – оформлена відповідним дозволом, що мінімізує ризики забруднення довкілля.

Сфера використання пивної дробини не обмежується лише компостуванням. Вона успішно застосовується й як органічне добриво у виноградарстві, де сприяє покращенню фізико-хімічних показників ґрунту та стимулює розвиток рослин. Крім того, цей продукт знаходить застосування у грибівництві. Зокрема, при вирощуванні горіхоплідних додавання свіжої пивної дробини (віком не більше двох діб) у кількості 15–20 % до соломистого субстрату дозволяє істотно підвищити ріст і розвиток рослин.

Тобто, пивна дробина, будучи відходом пивоварної промисловості, перетворюється на багатофункціональний ресурс, який може застосовуватися у садівництві, рослинництві, тваринництві та грибівництві. Її використання як добрива, меліоранта чи компонента живильних субстратів сприяє розвитку екологічно орієнтованих технологій і забезпечує раціональне використання органічних відходів, що є важливим аспектом сталого природокористування.

Субстрати, що застосовуються у сільському господарстві, компостуванні, грибівництві чи вермикультурі, характеризуються широкою різноманітністю хімічного складу та фізико-біологічних властивостей, які визначають їхню ефективність у певних технологічних процесах. Основу будь-якого субстрату становить поєднання органічних і мінеральних компонентів, збалансованих таким чином, щоб забезпечити оптимальні умови для росту рослин, розвитку мікроорганізмів або життєдіяльності грибородючих культур. Залежно від домінуючих елементів і походження сировини субстрати поділяються на органічні, мінеральні та комбіновані.

Органічні субстрати формуються на основі натуральної біомаси рослинного або тваринного походження. До них належать солома, тирса, торф, стеблові залишки сільськогосподарських культур, пивна дробина, харчові відходи, гній, послід, компости різного ступеня зрілості та вермикомпост. Органічна частина таких субстратів багата на карбон, лігноцелюлозні речовини,

амінокислоти, білки та ферменти, що забезпечує активний розвиток корисної мікробіоти та сприяє покращенню структури ґрунту. Важливою властивістю органічних субстратів є здатність до біологічного розкладу, що забезпечує поступове вивільнення поживних елементів і тривалий агрономічний ефект.

Мінеральні субстрати мають неорганічне походження та характеризуються стабільною структурою. До них належать вермикуліт, перліт, пісок, керамзит, цеоліт, мінеральна вата та подрібнені гірські породи. Такі матеріали забезпечують аерацію, вологоутримання та рівномірний розподіл корневих систем, але не мають значної поживної цінності. Вони найчастіше використовуються як системоутворювальні компоненти або як доповнення до органічних матеріалів для покращення фізичних властивостей субстрату. Особливо цінними є цеоліти та перліт, які здатні регулювати вологообмін і утримувати катіони поживних речовин.

Комбіновані субстрати поєднують органічні й мінеральні матеріали, забезпечуючи оптимальний баланс між поживністю, структурою, вологоємністю та доступом кисню. Саме вони найчастіше застосовуються у промисловому грибівництві, розсадництві й у технологіях інтенсивного вирощування рослин. Особливої уваги заслуговують субстрати, доповнені органічними відходами харчової та агропромислової галузі, зокрема пивною дробиною, жмихом олійних культур, кукурудзяними качанами чи висівками. Поєднання соломи з пивною дробиною, деревної тріски з торфом, вермикомпосту з перлітом або цеолітом дозволяє створювати вискоєфективні субстратні суміші з чітко визначеними агрофізичними параметрами.

Такі субстрати забезпечують стабільний ріст культур, підтримують оптимальний рівень мікрофлори та можуть бути адаптовані до індивідуальних технологічних потреб. Ці матеріали відзначаються високим вмістом білків, вуглеводів та ферментативно активних сполук, що робить їх перспективними компонентами у виробництві компостів і субстратів для вермикультури та грибівництва. Їх включення до складу основних субстратів підсилює біохімічні

процеси, активізує целюлозоруйнівні мікроорганізми, та сприяє швидшому розкладу важкорозчинних органічних компонентів.

Хімічний склад субстратів відіграє ключову роль у визначенні їх функціонального призначення. Вміст азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію та мікроелементів впливає на інтенсивність мікробіологічних процесів і доступність поживних речовин для рослин. Співвідношення вуглецю до азоту (C:N) є одним з основних показників, що визначає швидкість ферментації органічних матеріалів, ступінь їх зрілості та ризик фітотоксичності. Для ефективного компостування оптимальним вважається діапазон 20:1–30:1, тоді як свіжі відходи пивної дробини мають значно нижче співвідношення та потребують змішування з матеріалами, багатими на вуглець.

Таким чином, різновиди субстратів за складом охоплюють широкий спектр природних та штучно сформованих матеріалів, кожен з яких має свої особливості та переваги. Правильний підбір субстрату відповідно до технологічного процесу забезпечує ефективність вирощування рослин, культивування грибів або виробництва компостів, сприяє покращенню якості продукції та підвищенню стійкості агросистем.

Оптимальні пропорції компонентів субстрату залежать від цілей його використання: для компостування, вермикюльтури, вирощування грибів чи покращення ґрунтових властивостей. Загальним принципом формування високоякісного субстрату є забезпечення збалансованого співвідношення вуглецевмісних і азотовмісних матеріалів. Солома, як багатий на целюлозу і лігнін компонент, виступає основним джерелом вуглецю, тоді як пивна дробина належить до азотовмісних субстратів із низьким співвідношенням C:N. ґрунт у структурі суміші виконує роль мінерального компонента, який надає масі стабільності, сприяє формуванню мікробіоценозів і покращує фізичні властивості субстрату.

Для отримання збалансованого компостного або вермикомпостного субстрату рекомендовано дотримуватися пропорції, за якої пивна дробина становить від 20 до 40 % від загальної маси суміші. Саме в цьому діапазоні

вміст азоту не створює ризику аміачної токсичності, а процеси ферментації проходять рівномірно та без перегрівання. Солома та інші рослинні рештки, у такому субстраті повинні становити 40–60 %, забезпечуючи достатній вміст структурних волокон і підтримуючи оптимальне співвідношення вуглецю до азоту в межах 25:1–30:1. Додавання ґрунту до субстрату зазвичай здійснюється в кількості 10–20 %, що дозволяє збагатити суміш мікроелементами, природною мікрофлорою, а також підвищити буферну здатність і вологоємність.

Такий склад субстрату забезпечує оптимальні умови для мікробіологічних процесів: солома підтримує аерацію та пористість, пивна дробина активізує мікроорганізми завдяки високому вмісту легкорозкладних білків і цукрів, а ґрунт формує стабільне мінеральне середовище. Збалансованість компонентів у зазначених межах також попереджує фітотоксичність, яка характерна для свіжої пивної дробини, і гарантує поступове утворення зрілого, поживного субстрату з високим вмістом гумусу та доступних поживних речовин. У випадку використання такої суміші для грибівництва або інтенсивного рослинництва допускається корекція вологості й структури шляхом подрібнення соломи або додавання невеликої кількості вермикомпосту, що додатково стабілізує біологічні процеси (табл. 4).

Таблиця 4.

Компоненти, що були використанні при формуванні збалансованого компосту в умовах дослідної ділянки кафедри екології та безпеки життєдіяльності УНУ, 2024–2025 рр.

№ п/п	Тип компосту	Вміст пивної дробини, %	Вміст рослинних решток, %	Вміст ґрунту, %
1	Компост 1	20	70	10
2	Компост 2	30	60	10
3	Компост 3	40	50	10

Таким чином, використані нами в дослідях пропорції 20–40 % пивної дробини, 40–60 % рослинних решток та 10–20 % ґрунту були технологічно обґрунтованими та вказували на можливе забезпечення формування високоякісного органічного субстрату з оптимальними агрофізичними й біологічними параметрами. Такий субстрат був використаний нами для компостування і подальшого використання в агротехнологічних системах, що потребували органічно збагачених поживних середовищ.

3.2. Використання компосту як органічного добрива.

Використання компосту як органічного добрива має низку значних переваг. Насамперед він здатний тривалий час покращувати родючість ґрунту завдяки позитивному впливу на його структуру. Органічні речовини, що входять до складу компосту, сприяють формуванню якісної агрегатної будови ґрунту, оскільки містять широкий набір мікроелементів, необхідних для повноцінного росту та розвитку рослин. Крім того, компост істотно підвищує здатність ґрунту утримувати вологу, забезпечуючи оптимальний водний режим для культур (табл. 5).

Аналіз агрохімічних і фізико-хімічних показників досліджуваного компосту показує, що вони знаходяться у межах, що відповідають встановленим нормам для добрив.

Однією з важливих властивостей компосту є те, що він поступово й рівномірно вивільняє поживні речовини. Завдяки цьому рослини отримують стабільне живлення протягом усього періоду вегетації. Це вигідно відрізняє компост від мінеральних (штучних) добрив, які діють швидко, але недовго. Склад таких добрив зазвичай обмежується трьома основними елементами – азотом, фосфором і калієм, причому у високих концентраціях. Вони забезпечують рослину поживними речовинами оперативно, однак не відновлюють органічну частину ґрунту, що має вирішальне значення для підтримання тривалої родючості.

Таблиця 5.

Агрохімічні та фізико-хімічні показники різних типів компостів,
м. Умань, 2024-2025 рр.

№ п/п	Показник	Компост 1	Компост 2	Компост 3	Стандарт
1	Вміст в добриві фракції частинок крупніших ніж 50 мм на суху речовину у % не більше.	1,4±0,8	1,8±0,1	1,5±0,3	2
2	Масова доля органічної сировини сухий продукт у % не менше.	36,1±0,7	38,2±0,5	37,3±0,5	40
3	Вологість, %	33,2±0,8	37,1±0,4	35,1±0,7	20-80
4	Рівень реакції середовища, <i>pH</i> .	6,3±0,2	6,9±0,5	6,5±0,3	6,5-8
5	N	1,4±0,6	1,7±0,8	1,5±1,2	1,8
6	P	1,6±0,1	1,9±0,5	1,7±0,4	2,0
7	K	0,08±0,4	0,1±0,6	0,09±0,2	0,1

Навіть за регулярного застосування мінеральних добрив ґрунт, збіднений на органічну речовину, продовжує втрачати продуктивність. Тому компостування є ключовим способом насичення ґрунту гумусовими речовинами, основними елементами живлення та корисною мікрофлорою. Це комплексно покращує фізичні, хімічні й біологічні властивості ґрунту, підвищує його водо- і повітропроникність, а також робить стійкішим до ерозії.

Практичний досвід свідчить, що застосування компостів значно підвищує врожайність різних культур, а величина ефекту залежить від типу ґрунту й умов вирощування. У окремих випадках фіксується навіть подвоєння врожайності.

Основні переваги компостування є покращення якості та життєздатності рослин, компост забезпечує збалансоване живлення, насичує ґрунт важливими макро- й мікроелементами, сприяє кращій аерації, зменшує ризики захворювань, ураження шкідниками та появи бур'янів, оптимізація водного режиму ґрунту, завдяки своїй пористій структурі компост здатний утримувати значну кількість вологи, забезпечуючи її рівномірне постачання рослинам, знижуючи потребу в поливі та запобігаючи пересиханню ґрунту, відновлення ґрунтової рівноваги, компост збагачує ґрунт корисними мікроорганізмами, які прискорюють розклад органічної речовини та формування гумусу, він може зв'язувати забруднювачі й важкі метали, роблячи їх менш доступними для рослин., покращує структуру ґрунту, сприяючи утворенню міцних агрегатів, що утримують воду, повітря та поживні речовини, завдяки цьому піщані ґрунти стають родючішими, а глинисті – більш пухкими та проникними, зменшується ризик ерозії й ущільнення.

Основні способи застосування компосту – це мульчування, що є убезпеченням ґрунту від висихання та перегрівання, зменшення росту бур'янів, внесення перед посадкою: покращення структури й аерації ґрунту, приготування компостного чаю – це отримання природного рідкого добрива з високою біологічною активністю, підживлення піднятих ділянок – це підвищення здатності ґрунту утримувати вологу та зменшення поверхневих стоків.

Результати досліджень підтверджують, що агрохімічні та фізико-хімічні властивості досліджуваного компосту відповідають стандартам для органічних добрив. Експериментальні спостереження, проведені одразу після внесення компосту та через рік його перебування в ґрунті, показують: максимальна ефективність проявляється відразу після внесення, коли доступність поживних речовин найвища. Компост залишається одним із найефективніших і найперспективніших рішень для сталого землеробства, оскільки поєднує економічну доцільність, екологічну безпечність і здатність відновлювати родючість деградованих ґрунтів.

3.3. Морфометричні показники досліджуваних тест-рослин, вирощених з внесенням органічного добрива

Насіння ліщини деревовидної являє собою горіх – сухий, нерозкривний, однонасінний плід із твердим здерев'янілим оплоднем, який не зростається з оболонкою насінини. У ліщини основа плода вкрита плюскою, що формується зі зрослих видозмінених приквітків. Насінню властивий підвищений вміст вологи, що зумовлює їхню відносно коротку життєздатність.

У наших дослідах осінню сівбу насіння ліщини та фундука здійснювали з використанням органічних добрив, виготовлених із додаванням компонентів пивної дробини. Горіхи для висіву заготовляли у фазі технічної стиглості.

Спостереження за розвитком сіянців проводили кожні десять днів, визначаючи загальний відсоток появи сходів і їхні біометричні показники. Очищене від плюски насіння висівали на глибину 4–6 см. Після внесення добрив у найкращому варіанті досліду перші сходи зафіксували наприкінці квітня, тоді як у другому та третьому варіантах вони з'явилися на початку травня. Масові сходи у першому варіанті відзначали на початку другої декади травня, а в другому й третьому – наприкінці цієї декади (табл. 6, 7).

Таблиця 6.
Показник схожості насіння ліщини в залежності від варіанту внесення органічних добрив, компонентом якого є пивна дробина, 2024-2025 рр., м. Умань

Варіант досліджу	Дата сівби	Ґрунтова схожість, %	Дата появи сходів		Вихід садивного матеріалу, %
			перших	масових	
Компост 1	10.09	47,3±0,5	03.05	25.05	40,1±0,5
Компост 2	10.09	51,3±0,7	25.04	18.05	45,3±0,7
Компост 3	10.09	49,2±0,3	01.05	23.05	39,2±0,3
Ґрунт (контроль)	10.09	30,2±0,3	10.05	03.06	25,1±0,4

Таблиця 7.

Показник схожості насіння фундука в залежності від варіанту внесення органічних добрив, компонентом якого є пивна дробина, 2024-2025 рр., м. Умань

Варіант досліджу	Дата сівби	Ґрунтова схожість, %	Дата появи сходів		Вихід садивного матеріалу, %
			перших	масових	
Компост 1	10.09	42,1±0,2	05.05	27.05	38,2±0,2
Компост 2	10.09	49,2±0,5	27.04	20.05	43,4±0,5
Компост 3	10.09	43,4±0,1	02.05	25.05	37,1±0,1
Ґрунт (контроль)	10.09	28,1±0,3	12.05	05.06	22,2±0,4

Проаналізувавши отримані дані, можна стверджувати, що за однакових строків сівби горіхів ліщини форми Полтавська, найвища ґрунтова схожість, більш швидка поява перших та масових сходів, найбільший вихід садивного матеріалу зафіксований за внесення компосту, отриманому в другому варіанті досліджу та було значно вище за контроль.

Аналогічні дані отримано за сівби горіхів фундука сорту Шедевр, де найвища ґрунтова схожість, більш швидка поява перших та масових сходів, найбільший вихід садивного матеріалу, що становив 43,4 %, зафіксований за внесення компосту, отриманому в другому варіанті досліджу, що значно перевищувало контрольний варіант досліджу.

Тобто, внесення органічних добрив, компонентом якого є пивна дробина, чинило позитивний вплив на прискорення ґрунтової схожості горіхів ліщини та фундука.

При насіннєвому розмноженні ліщини форми Полтавська та фундука сорту Шедевр біометричні показники росту та розвитку надземної та кореневої частини значно різнилися в залежності від варіанту внесення органічного добрива з додаванням компонентів пивної дробини (табл. 8, 9).

Таблиця 8.

Вплив ґрунтових умов на ріст і розвиток сіянців ліщини форми Полтавська,
2024-2025 рр., м. Умань

Біометричні показники	Ґрунтові умови	
	Компост 2	Ґрунт (контроль)
Висота, см	3,82±0,2	2,04±0,1
Діаметр кореневої шийки, см	0,36±0,4	0,12±0,8
Кількість бічних пагонів, шт.	1,83±0,1	0,92±0,7
Кількість листків на головному пагоні, шт.	5,12±0,7	1,84±0,8
Довжина бічних пагонів, см	2,31±0,5	0,14±0,5
Кількість листків на бічному пагоні, шт.	1,21±0,2	0,35±0,3
Висота, на якій починається розгалуження, см	2,89±0,4	1,41±0,2
Ґрунтова схожість, %	51,3±0,7	30,2±0,3

Таблиця 9.

Вплив ґрунтових умов на ріст і розвиток сіянців фундука сорту Шедевр,
2024-2025 рр., м. Умань

Біометричні показники	Ґрунтові умови	
	Компост 2	Ґрунт (контроль)
Висота, см	3,12±0,1	1,83±0,2
Діаметр кореневої шийки, см	0,29±0,4	0,91±0,5
Кількість бічних пагонів, шт.	1,55±0,8	0,86±0,2
Кількість листків на головному пагоні, шт.	4,16±0,5	1,25±0,8
Довжина бічних пагонів, см	2,12±0,2	0,11±0,9
Кількість листків на бічному пагоні, шт.	1,01±0,2	0,28±0,3
Висота, на якій починається розгалуження, см	2,34±0,6	1,32±0,4
Ґрунтова схожість, %	49,2±0,5	28,1±0,3

За умов внесення органічних добрив, компонентом яких є пивна дробина в найкращому варіанті досліду при вирощуванні сіянців ліщини форми Полтавська та фундука сорту Шедевр значно перевищували контроль за всіма біометричними показниками. Всі досліджувані показники, а саме висота, діаметр кореневої шийки, кількість бічних пагонів, кількість листків на головному пагоні, довжина бічних пагонів, кількість листків на бічному пагоні, висота, на якій починається розгалуження та ґрунтова схожість вказують на позитивний вплив використаного органічного добрива, отриманого на основі компостування органічних решток рослинного походження.

Тобто ріст та розвиток сіянців ліщини і фундука при впровадженні інтенсивних технологій розмноження, знаходиться в прямій залежності від системи удобрення та використання технологічних прийомів підготовки органічних добрив, зокрема, які містять компонент у вигляді пивної дробини.

3.4. Обґрунтування можливості використання компосту як добрива в сільському господарстві

Використання компосту як органічного добрива має низку суттєвих переваг, серед яких особливо важливою є здатність тривалий час підтримувати та покращувати родючість ґрунту завдяки позитивному впливу на його структуру. Органічні речовини, що входять до складу компосту, є ключовими для формування сприятливої структури ґрунту, оскільки містять значну кількість мікроелементів, необхідних для повноцінного росту рослин. Вони також підвищують водоутримувальну здатність ґрунтового шару. Важливо, що компост забезпечує повільне й рівномірне вивільнення поживних елементів, завдяки чому його дія має довготривалий характер.

На відміну від органічних добрив, мінеральні містять лише обмежений набір елементів живлення - передусім азот, фосфор і калій — але у високих концентраціях. Їхні поживні речовини вивільняються швидко, забезпечуючи рослини короточасним значним живленням. Проте разового внесення мінеральних добрив недостатньо для збереження належного рівня родючості,

оскільки без органічної складової ґрунт не здатен ефективно утримувати воду та поживні речовини. У деградованих ґрунтах, позбавлених органічної матерії, врожайність залишається низькою навіть за умови використання мінеральних добрив.

Нами встановлено, що реакція рослин ліщини і фундука коливається від відсутності істотних змін до підвищення врожайності більш ніж удвічі, залежно від умов вирощування.

Результати наших досліджень вказують на значні переваги внесення органічних добрив, що отримані шляхом компостування органічних решток рослинного походження, а саме стимулювання росту рослин тому, що компост забезпечує збалансовану щільність ґрунту, покращує забезпеченість рослин поживними речовинами, зменшує ризики ураження хворобами, появи шкідників і бур'янів, що загалом сприяє формуванню здорової та стійкої рослинності, покращення водного режиму тому, що компост підвищує здатність ґрунту акумулювати й утримувати воду, а також забезпечує ефективне її переміщення у ґрунтовому профілі, а це сприяє ощадному використанню водних ресурсів та зменшує потребу в інтенсивному зрошенні, оздоровлення ґрунту на біологічному, хімічному та структурному рівнях тому, що компост постачає ґрунт корисною мікрофлорою, що сприяє покращенню доступності поживних речовин для рослин і активізує процеси утворення гумусу.

Також результати досліджень вказують, що на хімічному рівні компост здатен зв'язувати важкі метали та забруднювачі, знижуючи їх доступність для рослин.

На структурному рівні компост сприяє формуванню ґрунтових комплексів, що покращують повітря- і водопроникність. Завдяки здатності утримувати поживні речовини, компост знижує їх вимивання та одночасно робить доступними для рослин у потрібний момент. Крім того, він створює захисний, губчастий шар, який зменшує ерозійні процеси та полегшує обробіток ґрунту.

РОЗДІЛ 4.

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИКОРИСТАННЯ ПИВНОЇ ДРОБИНИ

В працях О. М. Шестопаля [26] подано переконливу методологію оцінювання економічної ефективності технологічних рішень, зокрема тих, що пов'язані з доглядом, утриманням та підвищенням функціональності насаджень. У контексті дослідження результативності використання субстрату з пивної дробини економічна ефективність трактується як здатність технології забезпечувати відчутний господарський ефект порівняно з витратами на її впровадження.

Економічна ефективність визначається співвідношенням між отриманим результатом (ефектом) та сукупними витратами, необхідними для його досягнення. Такий підхід дозволяє не лише оцінити кінцевий результат, а й виявити причинно-наслідкові зв'язки у виробничому процесі, зокрема вплив внесення пивної дробини на ріст, продуктивність і витратність догляду за насадженнями. Через це ефективність найчастіше подається у вигляді відносних показників, побудованих на порівнянні результативності та витрат, хоча абсолютні значення також можуть застосовуватися.

Виділяють економічну та соціальну ефективність, проте в дослідженнях агротехнологічних рішень пріоритетним критерієм залишається загальна результативність виробництва [26], що дає змогу комплексно оцінити доцільність використання субстратів з пивної дробини.

Використання пивної дробини як компонента органічних сумішей для компостування розглядається як перспективний напрям розвитку екологічно орієнтованого землеробства. Пивна дробина, що є побічним продуктом пивоварної галузі, характеризується високим вмістом білків, легкокорозчинних органічних речовин та мінеральних елементів, що робить її цінною сировиною для виробництва органічних добрив. Раціональне використання цього ресурсу

дозволяє одночасно вирішити питання утилізації промислових відходів і забезпечити аграрний сектор доступним джерелом поживних речовин.

Компостування сумішей на основі пивної дробини, соломи, ґрунту або інших джерел органіки забезпечує отримання добрив із високим вмістом гумусу, азоту, фосфору, калію та мікроелементів. Завдяки цьому такі добрива є ефективними для підвищення родючості ґрунтів, відновлення їх структури та активізації мікробіологічних процесів. Важливою особливістю компостування є знешкодження свіжої пивної дробини, яка у первинному стані може бути фітотоксичною через надлишок амінного азоту та вологість понад 75 %. У процесі ферментації ці властивості втрачаються, і продукт набуває стабільної агрономічної цінності.

Екологічна ефективність використання компостних сумішей на основі пивної дробини полягає у зменшенні антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище. Відсутність потреби у спалюванні чи захороненні відходів зменшує викиди парникових газів, а залучення вторинної сировини дозволяє скорочувати використання мінеральних добрив, виробництво яких супроводжується високим рівнем енергоспоживання та CO₂-викидів. Крім того, внесення компостних сумішей у ґрунт сприяє акумуляції органічного вуглецю та поліпшенню ґрунтової структури.

Економічна складова використання пивної дробини у компостуванні полягає у зниженні собівартості виробництва органічних добрив та підвищенні економічної віддачі від упровадження таких технологій. Вартість пивної дробини як відходу промислового виробництва є мінімальною або нульовою, що дозволяє значно здешевити процес формування компостних сумішей. Наявність соломи, гною та інших органічних матеріалів у сільськогосподарських підприємств додатково зменшує витрати на сировинну частину. Результатом є виробництво високоякісного добрива, собівартість якого у кілька разів нижча порівняно з мінеральними аналогами. Застосування таких добрив сприяє підвищенню урожайності, поліпшенню фізико-хімічних властивостей ґрунту та зростанню прибутковості агровиробництва.

Для оцінки економічної ефективності використання компостних сумішей на основі пивної дробини було проведено розрахунок собівартості виробництва однієї тони органічного добрива, вартості внесення та економічного ефекту від застосування. У табл. 10 наведено вихідні параметри, що характеризують витрати на виробництво компосту.

Таблиця 10.

Структура витрат на виробництво 1 т компосту із вмістом 30 % пивної дробини, м. Умань, 2024-2025 рр.

Стаття витрат	Одиниці виміру	Витрати	Вартість, грн
Пивна дробина, 30%	т	0,3	—
Солома, 60%	т	0,6	200
Грунт, 10 %	т	0,1	250
Транспортування та переміщення	грн/т	—	150
Енерговитрати на аерацію та перемішування	грн/т	—	120
Оплата праці	грн/т	—	180
Амортизація обладнання	грн/т	—	90
Разом			990

Собівартість 1 т компосту становить 990 грн, що у 3–5 разів нижче від вартості більшості мінеральних добрив. Це свідчить про економічну доцільність використання пивної дробини як компоненту сировини.

Для оцінки результативності застосування добрива проведено порівняння очікуваної урожайності сільськогосподарських культур на ділянках із внесенням органічного компосту та без нього. У табл. 10 наведено узагальнені показники економічної ефективності.

Під час визначення економічної ефективності вирощування сіянців ліщини та фундука було враховано низку ключових показників: обсяг отриманих стандартних сіянців з 1 га, ринкову вартість сіянців, виробничі витрати на 1 га, собівартість вирощування 1 тис. штук сіянців ліщини деревовидної, чистий

дохід з 1 га та рівень рентабельності. Реалізаційну ціну 1 тис. сіянців прийнято на середньому рівні 5,0 тис. грн, що відповідає вартості одного сіянця у 5 грн. Виробничі витрати були визначені відповідно до технологічних карт. Підсумкові дані розрахунків економічної ефективності наведено в таблиці 11.

Таблиця 11.

Економічна ефективність застосування органічних добрив виготовлених на основі компосту, компонентом якого є пивна дробина, м. Умань, 2024-2025 рр.

Показники	Ґрунтові умови	
	Компост 2	Ґрунт (контроль)
Вихід сіянців з 1 га, тис. шт	59,1	22,6
Вартість сіянців з 1 га, тис. грн.	295,5	113,0
Виробничі витрати на 1 га, тис. грн.	70,1	48,1
Собівартість отримання 1 тис. шт. сіянців, тис. грн.	1,18	2,12
Чистий дохід з 1 га, тис. грн.	225,4	64,9
Рівень рентабельності, %	321,5	134,1

Представлені дані свідчать про високу економічну віддачу від використання компостів на основі пивної дробини. Підвищення урожайності на 20–30 %, збільшення частки гумусу у ґрунті, поліпшення водоутримуючої функції та структури ґрунту забезпечують довгостроковий ефект, який зберігається протягом декількох років після внесення, при цьому рівень рентабельності в найкращому варіанті дослідів склав 321, 5 %.

Узагальнюючи, застосування пивної дробини в технологіях компостування є екологічно безпечним, економічно вигідним та технологічно виправданим рішенням.

ВИСНОВКИ

В роботі представлено результати досліджень, що проводилися протягом 2024-2025 рр., при цьому отримано дані щодо ефективності використання органічних добрив, компонентом яких є пивна дробина

1. Використані нами в дослідях пропорції 20–40 % пивної дробини, 40–60 % рослинних решток та 10–20 % ґрунту були технологічно обґрунтованими та вказували на можливе забезпечення формування високоякісного органічного субстрату з оптимальними агрофізичними й біологічними параметрами.

2. Експериментальні спостереження, проведені одразу після внесення компосту та через рік його перебування в ґрунті, показують: максимальна ефективність проявляється відразу після внесення, коли доступність поживних речовин найвища.

3. За однакових строків сіви горіхів ліщини форми Полтавська та фундука сорту Шедевр, найвища ґрунтова схожість, більш швидка поява перших та масових сходів, найбільший вихід садивного матеріалу зафіксований за внесення добрив, отриманих при компостуванні суміші з 20–40 % пивної дробини, 40–60 % рослинних решток та 10–20 % ґрунту, даний показник був значно вище за контроль.

4. За умов внесення органічних добрив, компонентом яких є пивна дробина в найкращому варіанті дослідів при вирощуванні сіянців ліщини форми Полтавська та фундука сорту Шедевр значно перевищували контроль за всіма біометричними показниками.

5. Представлені дані свідчать про високу економічну віддачу від використання компостів на основі пивної дробини, підвищення виходу садивного матеріалу на 20–30 %, збільшення частки гумусу у ґрунті, поліпшення водоутримання та структури ґрунту забезпечують довгостроковий ефект, який зберігається протягом декількох років після внесення, при цьому рівень рентабельності в найкращому варіанті дослідів склав 321, 5 %.

ПРОПОЗИЦІЇ

1. Використовувати для тримання органічних добрив в компостуванні пропорції 20–40 % пивної дробини, 40–60 % рослинних решток та 10–20 %, що дозволяє отримувати високоякісний органічний субстрат з оптимальними агрофізичними й біологічними параметрами.

2. Використовувати органічні добрива, отримані способом компостування з додаванням сировини пивної дробини в зв'язку з тим, що на структурному рівні компост сприяє формуванню ґрунтових комплексів, що покращують повітря- і водопроникність, завдяки здатності утримувати поживні речовини, компост знижує їх вимивання та одночасно робить доступними для рослин у потрібний момент, а також створює захисний, губчастий шар, який зменшує ерозійні процеси та полегшує обробіток ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агromетeорoлoгiчний огляд по тeриторії Чeркacькoї oблacтi за 2007–2008 cільcькoгocпoдapський рік. Чeркacький oблacний ceнтp з гiдрoмeтeорoлoгiї. Чeркacи: Чeркacький oблacний ceнтp з гiдрoмeтeорoлoгiї, 2008. 34 c.
2. Бeccoнoвa В. П. Мeтoди фiтoiндикaцiї в oцiнцi eкoлoгiчного cтaну дoвкiлля : нaвч. пociб. Зaпopiжжя : ЗНУ, 2001. 196 c.
3. Бyрaк О. М. Стpатeгiчнi тa тaктичнi зaвдaння poзвиткy cиcтeми oзелeнeння мiст. Кoмyнaльнe гocпoдapcтвo мiст : нaук.-тeхн. зб. Сep. : Екoнoмiчнi нaуки. Київ : «Тeхнiкa», 2007. Вип. 77. С. 38–44.
4. Гopoбeць, О.В. Пepcпeктивнi нaпpями yтилiзaцiї oргaнiчних вiдxoдiв. Нaука. Мoлoдь. Екoлoгiя–2016: зб. мaтepiалiв XII Вceукp. нaук.–пpакт. кoнф. cтyдeнтiв, aспiрaнтiв тa мoлoдих вчeних. p. 97-102.
5. Гpинчишин Н. М., Дaцкo Т.М., Мaзyрaк О.Т., Кaчмap Н.В. Кoмпoстyвaння oргaнiчнoї рeчoвини твepдих пoбyтoвих вiдxoдiв як фaктop cтaлoгo poзвиткy cучacнoгo мiстa. *Иннoвaцiйнi тeхнoлoгiї в apхiтeктypi i дизaйнi* : мaтepiали VМiжнap. нaук.-пpакт. кoнф., 20-21 тpавня 2021 p. Хapкiв: ХНУБA, 2021 С. 510-511
6. Гpинчишин Н.М. Влacтивocтi фiльтpaтy, yтвopeнoгo пiсля пpипинeння екcплyaтaцiї пoлiгoнa твepдих пoбyтoвих вiдxoдiв. *Вiсник Львiвськoгo дepжaвнoгo yнiвepcитeтy бeзпeки життєдiяльнocтi*, 2019. №19. С.112-127.
7. Дiдyх Н. А., Чaгapовський О. П., Лисoгop Т. А. Зaквaшyвaльнi кoмпoзицiї для виpoбництвa мoлoчних пpoдyктiв фyнкцioнaльнoгo пpизнaчeння. Одeca: Пoлiгpаф, 2008. 236 c.
8. Дpoбинa пивнa. Тeхнiчнi yмoви: ДСТУ 7345:2013 [Чинний вiд 2014.01.01]. – К.: Дepжпoживcтaндapт Укpаїни, 2014.

9. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення: монографія у 2 ч. Ч. 2 / О. І. Черевко, М. І. Пересічний, С. М. Пересічна [та ін.]; за ред.. О. І. Черевка, М. І. Пересічного. 4-те вид., переробл. та допов. Х.: ХДУХТ, 2017. 591 с.
10. Колотуша П. В. Технологія виробництва пива. Навч. посібник. К.: ІСДО, 1996. 228 с.
11. Кондратенко П. В., Бублик М. О. Методика проведення польових досліджень з плодовими культурами. Київ: Аграрна наука, 1996. 95 с.
12. Корбут, М. Б., Давидова, І. В. Популяризація процесу компостування органічних відходів у побутових умовах. Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: Видавничий дім «Гельветика, 2021, 7: 34.
13. Кривенок М. Я. Світове виробництво екологічно чистої продукції тваринництва / М. Я. Кривенок, К. Ю. Ястребов // Біоресурси і природокористування. — 2010. — Т. 2, № 1—2. — С. 169—173
14. Лішук А. І. Польовий метод оцінки стійкості до засухи і високих температур. Інтенсифікація селекції плодових культур. 1999. Т. 1. Збірник наук. праць. Ялта, С. 113—116.
15. Масальський В. П., Мордатенко І. Л. Газо- і димостійкість культивованих видів роду в умовах урбанізованого середовища Правобережного Лісостепу України (на прикладі вуличних насаджень міст Києва та Білої Церкви). Науковий вісник НЛТУ України. Львів, 2014. Вип. 24.4. С. 104—108.
16. Мороз П. І. Зелені насадження в оптимізації екологічного середовища промислового міста. Вісті АІНУ. 2004. № 3. С. 33—37.
17. Мороз П. І. Лук'янець В.Л., Косенко І. С., Мороз О. К. Природа Черкащини. Природа Черкащини: стан, проблеми раціонального природокористування та охорони в контексті виживання. Миколаїв: АТ «СІМАО», Одеса: ОКФА, 1996. 400 с.
18. Мороз П.І., Косенко І.С. Екологічні основи природокористування: навчальний посібник. Умань : УДАА, 2001. 456 с.

19. Научу Н.В., Водяник А.О. Екологічна безпека атмосферного повітря територій навколо полігонів твердих побутових відходів. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*.–2012.–Вип, 2.73: 160-163.
20. Перероблення органічних та змішаних побутових відходів. Успішна технологія для України Еколтава: веб-сайт URL: <https://www.ekoltava.org/2021/02/08/pereroblennya-organichnyh-ta-zmishanyh-pobutovyh-vidhodiv-uspishnatehnologiya-dlya-ukrayiny>
21. СОУ ЖКГ 03.09-014:2010 Побутові відходи. Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів. Київ: Мінжитлокомунгосп України, 2010. 36 с.
22. Сталінська, І.В. Аналіз впливу полігонів твердих побутових відходів на водні ресурси (на прикладі Дергачівського полігону). *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*, 2016, 2 (74):252-260.
23. Сухенко Ю. Г., Серьогін О. О., Сухенко В. Ю., Рябоконт Н. В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах: [Підручник] / За ред. проф. О.О. Серьогіна. К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. 338 с.
24. Управління та поводження з відходами: Підручник/Т.П. Шаніна, О.Р. Губанова, М.О. Клименко, Т.А. Сафранов, В.Ю. Коріневська, О.О. Бедункова, А.І. Волков. За ред. Т.А.Сафранова, М.О. Клименка, - Одеса, 2011. 258 с.
25. Чайка В. М Екологія міських екосистем (урбоекологія) : посіб. Київ: Компринт, 2015. 337 с.
26. Шестопаць О. М. Виділення основних показників економічної ефективності промислового садівництва та методи їх визначення в умовах ринкової системи. Зб. наук. пр. Уманського ДАУ Умань, 2003. Вип. 57. 438 с.
27. Шлапак В.П., Косенко І.С., Собченко В.Ф., Музика Г.І. Вміст поживних речовин в ґрунтах Національного дендропарку «Софіївка». Автохтонні та інтродуковані рослини України, 2005. Вип. 1. С. 45–62.

28. Як приготувати компост URL: <https://clean-ua.com/yak-prigotuvati-kompost/>
29. Технологічні особливості застосування різних видів вермибіоти та їх вплив на процес компостування / С.В. Журавель та інш. Sciences of Europe. 2021. № 80. С. 3–6.
30. Буткова П. В. Використання косубстратів при компостуванні ТПВ. Біотехнологія ХХІ століття: матеріали XVI Всеукр. наук. – практ. конф., 3 червня 2022р. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. С. 122–123.
31. Маліченко В. В. Аналіз сучасного досвіду використання відходів кави в Україні. Молодь: наука та інновації: Матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 22–24 листопада 2023 р. Дніпро : НТУ «ДП», 2023. Том 1. С. 303–304.
32. ДСТУ ISO 10381–6:2015. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 6: Настанови з відбирання, оброблення та зберігання ґрунту в анаеробних умовах лабораторного оцінювання мікробіологічних процесів, біомаси та різноманіття. Чинний від 2016–04–01. Київ: Держспоживстандарт України, 2017. 12 с. (Національний стандарт України).
33. Наукові основи систем землеробства / С. П. Танчик, О. А. Цюк, Л. В. Центилю. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 314 с.
34. Воробець М.М., Сема О.В., Сачко А.В. Стандартизація, сертифікація, метрологія та управління якістю : методрекомендації до лабораторних робіт. Чернівці, 2021. 32 с.
35. Cappa, C. Brewer's Spent Grain Valorization in Fiber-Enriched Fresh Egg Pasta Production: Modelling and Optimization Study. Food Sci. Technol. 2017, 82, 464–470. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.068>.
36. Choi, M.S.; Choi, Y.S.; Kim, H.W.; Hwang, K.E.; Song, D.H.; Lee, S.Y.; Kim, C.J. Effects of Replacing Pork Back Fat with Brewer's Spent Grain Dietary Fiber on Quality Characteristics of Reduced-Fat Chicken Sausages. Food Sci. Anim. Resour. 2014, 34, 158–165.

37. Coldea, T.E.; Mudura, E.; Rotar, A.M.; Cuibus, L.; Pop, C.R.; Darab, C. Brewer's Spent Yeast Exploitation in Food Industry. *Hop Med. Plants* 2017, 25, 94–99.
38. Combest, S.; Warren, C. Perceptions of College Students in Consuming Whole Grain Foods Made with Brewers' Spent Grain. *Food Sci. Nutr.* 2019, 7, 225–237.
39. Fařcas, A., Socaci S., Mudura E., Dulf F., Vodnar D., Tofana M., Salanta L. C. Exploitation of brewing industry wastes to produce functional ingredients. In: *Brewing technology*. Budapest: Makoto Kanauchi, IntechOpen. 2017. <https://www.intechopen.com/chapters/55749>.
40. Ferraz, E.; Coroado, J.; Gamelas, J.; Silva, J.; Rocha, F.; Velosa, A. "Spent Brewery Grains for Improvement of Thermal Insulation of Ceramic Bricks". *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2013. 25 (11): 1638–1646.
41. Martins, Z.E.; Erben, M.; Gallardo, A.E.; Silva, R.; Barbosa, I.; Pinho, O.; Effect of Spent Yeast Fortification on Physical Parameters, Volatiles and Sensorial Characteristics of Home-Made Bread. *Int. J. Food. Sci. Technol.* 2015, 50, 1855–1863. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3107-0>.
42. Mussatto, Solange I. "Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications: Brewer's spent grain and its potential applications". *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014. 94 (7): 1264–1275.
43. Nagy M, Semeniuc CA, Socaci SA, Pop CA, Rotar AM, Salagean CD, Tofana M. Utilization of brewer's spent grain and mushrooms in fortification of smoked sausages. *Food Science and Technology*. 2017;37:315–320. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.23816>.
44. National Organic Standard Board Recommendations (National Organic Program USDA) [Электронный ресурс] / The U.S. Department of Agriculture's Agricultural Marketing Service. 2013. Режим доступа до сайту: <http://www.ams/usda/gov/nop/nosbinfo/hum>.
45. Rachwał, K.; Wařko, A.; Gustaw, K.; Polak-Berecka, M. Utilization of Brewery Wastes in Food Industry. *PeerJ*. 2020, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.9427>.

46. Saraiva BR, Anjo FA, Vital ACP et al (2019) Waste from brewing (trub) as a source of protein for the food industry. *Int J Food Sci Technol* 54:1247–1255. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14101>.
47. Somerville C., H. Youngs, C. Taylore et al. Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science*. 2019. Vol. 329. P. 790–792.

ДОДАТКИ

