

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

БІОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ

Лабораторний практикум

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Біотехнології»
спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія»*

Укладачі: В. С. Жукова, Д. С. Колтишева

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2026

УДК 604.4:628.47
Ж85

Укладачі: Жукова В. С., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології
Колтишева Д. С., д-р філос., асистент кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

Рецензент Луценко Т.М., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри трансляційної медичної біоінженерії ФБМІ, заступник декана з міжнародного співробітництва ФБМІ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор Щурська К.О., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 8 від 04.06.2026 р.)
за поданням Вченої ради факультету біотехнології і біотехніки
(протокол № 10 від 25.05.2026 р.)*

Ж85 Біотехнології переробки відходів [Електронний ресурс] : лаб. практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Біотехнології» спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія (спец. G21) / уклад.: В. С. Жукова, Д. С. Колтишева; – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2026. – 51 с.

ISBN 978-966-990-299-3 (Ел.)

У посібнику викладено лабораторні роботи для аналізу та дослідження ґрунту, компосту як результату біотехнологій переробки відходів. Наведено теоретичні відомості, перелік реактивів, обладнання та приладів для аналізів, хід виконання, формули для розрахунку, зміст звіту та контрольні запитання.

Для студентів – здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Біотехнології» спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія». Може бути корисним магістрам, аспірантам, інженерно-технічним і науковим працівникам, які займаються дослідженнями біотехнологій переробки відходів.

УДК 604.4:628.47

ISBN 978-966-990-299-3 (Ел.)

© В. С. Жукова, Д. С. Колтишева, 2026
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Техніка безпеки при виконанні лабораторних робіт.....	6
Лабораторна робота № 1. Підготовка проб компосту для аналізу, визначення кислотності компосту.....	9
Лабораторна робота № 2. Визначення вмісту гумусу, органічного вуглецю у компості	24
Лабораторна робота № 3. Визначення біогенних елементів у компості.....	31
Лабораторна робота № 4. Переробка органічних відходів за допомогою вермикультури.....	42
Перелік використаних джерел	49
Додаток.....	50

ВСТУП

Безпечні біотехнології утилізації відходів, що уможливлюють вирішення проблеми забруднення довкілля є актуальним напрямком дослідження сьогодення. Вивчення безпечних біотехнологій утилізації відходів дає можливість вирішити проблеми забруднення довкілля, отримати додаткові матеріали та енергію, які можна використовувати для господарських потреб; ознайомлення із Zero Waste: стилем життя за принципом «нуль відходів». Сучасний розвиток біотехнологічних методів переробки відходів є ключовим етапом переходу до економіки замкненого циклу, де біологічні агенти виступають головним інструментом трансформації антропогенного навантаження на корисні ресурси.

Лабораторний практикум з «Біотехнології переробки відходів» покликаний сформувати у студентів фундаментальні навички експериментального дослідження процесів біоконверсії, починаючи від підготовки субстратів і закінчуючи аналітичним контролем якості кінцевих продуктів. Також ознайомити студента з теоретичним підґрунтям, практичними навичками для застосування біотехнологічних методів переробки, таких як компостування, вермикомпостування біовідходів, біовилуговування, тощо які націлені на зменшення об'ємів відходів, що захоронюють та отримання корисного продукту для відновлення ґрунтів.

Після засвоєння кредитного модуля, включно з лабораторною складовою, студенти мають продемонструвати такі компетентності:

- підбирати біологічні агенти на основі їх мікробіологічних та біохімічних властивостей для компостування, вермикомпостування, біовилуговування відходів;
- планувати та розраховувати ділянки технологічних схем щодо переробки побутових та промислових відходів;

- підбирати методи утилізації промислових відходів, серед яких відходи органічного походження, відходи косметичної, харчової галузі, фарм-відходи, медичні відходи.

Програма дисципліни базується на знаннях, отриманих студентами з попередніх фундаментальних та професійно-орієнтованих дисциплін, таких як хімія, біохімія, промислова екологія.

Отримані знання дозволять майбутнім фахівцям застосовувати їх в дипломному проєктуванні, при розробці програм утилізації відходів міст та промисловості, використовуючи сучасні біотехнології.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Під час проведення лабораторних робіт викладач і студенти повинні дотримуватись положень відповідних нормативних документів та інструкцій кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології КПІ ім. Ігоря Сікорського.

При роботі в лабораторії слід дотримуватись наступних загальних вимог:

1. Лабораторні роботи студентам дозволяється виконувати тільки у присутності викладача та/або інженерів.

2. Кожен студент повинен працювати в лабораторії на закріпленому за ним робочому місці. Після заняття студенти прибирають за собою та здають своє робоче місце інженерам.

3. Перед початком занять викладач, інженери і студенти повинні одягнути лабораторний одяг (бавовняний халат), за необхідності також хімічно- або термостійкі рукавички, окуляри тощо.

4. До виконання дослідів допускають лише студентів, які орієнтуються в протоколі виконання лабораторних робіт. Будь-яке відхилення від ходу виконання має бути узгоджене з викладачем.

5. Розлиті реактиви необхідно знешкоджувати та прибирати під керівництвом викладача.

6. Переносити посуд необхідно тримаючи за горловину та підтримуючи знизу. За необхідності можна використати термостійкі рукавички, рушники, щипці тощо.

7. Реактиви необхідно розмішувати скляною паличкою якщо не передбачено іншого, обережно, не торкаючись стінок посуду задля запобігання розбиття посуду та травмування.

8. Якщо розчинення або будь-який інший лабораторний процес супроводжується нагріванням або використовують нагріту суміш – необхідно

використовувати термостійкий посуд. При перенесенні гарячого посуду необхідно використовувати термостійкі рукавички, рушники, щипці тощо.

9. Леткі горючі речовини заборонено нагрівати на відкритому вогні.

10. Заборонено використовувати несправні електричні прилади.

11. Всі дослідження з леткими речовинами, особливо легкозаймистими та горючими, мають бути здійсненні у включеній витяжній шафі. При цьому витяжна шафа має бути включена за 5 хв до початку роботи та вимкнена через 30 хв після завершення. Всі нагрівальні прилади у витяжній шафі при цьому мають бути вимкнені.

При виникненні надзвичайних ситуацій під час проведення лабораторних робіт необхідно:

1. При виникненні пожежі перш за все треба вимкнути всі електроприлади, потім гасити полум'я. Для гасіння пожежі необхідно використовувати вогнегасник (залежно від класу пожежі та класу вогнегасника), також можливо скористатись піском. Заборонено гасити водою палаючі електроприлади та органічні речовини.

2. При опіках, необхідно діяти залежно від ступеню опіку. При незначних ураженнях необхідно охолодити ділянку опіку: тримати під струменем прохолодної (не крижаної) проточної води. Заборонено використовувати олії, оскільки вони можуть погіршити стан опіку. За більш складних опіків необхідно накласти стерильну, нетугу пов'язку і негайно звернутись до лікаря.

3. При порізах, необхідно переглянути місце ураження на наявність уламків. Оцінити безпечність витягання уламків, якщо це небезпечно, необхідно зафіксувати рану і негайно звернутись до лікаря. Якщо ж уламків в місці ураження немає, або ж витягання їх є безпечним, необхідно очистити рану, промити перекисом, накласти стерильну нетугу пов'язку або заклеїти лейкопластиром, залежно від важкості ураження. Якщо наявна кровотеча, необхідно затиснути судину вище рани (ближче до серця).

4. При ураженні електричним струмом, необхідно негайно вимкнути струм тумблером або витягнути з розетки прилад. Підходити необхідно обережно, неширокими кроками. Торкатись потерпілого, який знаходиться під струмом заборонено. При будь-якому ураженні струму, навіть якщо потерпілий залишався у свідомості, необхідно звернутись до лікаря через ризик проблем із серцем.

5. У разі потрапляння кислоти на руки необхідно промити великою кількістю води, і далі, за потреби, нейтралізувати 3–5 % розчином соди.

6. У разі потрапляння лугу на руки необхідно промити великою кількістю проточної води, і далі, за потреби, нейтралізувати 3–5 % розчином оцтової кислоти.

7. У разі потрапляння реагентів у очі, необхідно промити великою кількістю води та звернутись до лікаря.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.

ПІДГОТОВКА ПРОБ КОМПОСТУ ДЛЯ АНАЛІЗУ, ВИЗНАЧЕННЯ КИСЛОТНОСТІ КОМПОСТУ

Відбір та підготовка проб ґрунту, компосту до лабораторних аналізів

Мета роботи: навчитись правильно підготувати зразки ґрунту, компосту до лабораторних аналізів.

Теоретичні відомості

Ґрунт – природно-історичне органо-мінеральне тіло, яке утворилося на поверхні земної кори і є осередком найбільшої концентрації поживних речовин, основою життя та розвитку людства завдяки найціннішій своїй властивості – родючості (ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів). При відборі проб ґрунту в Україні керуються певними законодавчими положеннями:

- ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб; (стандарт не поширюється на відбирання проб у разі спеціальних видів обстеження – у разі локальних забруднень, викликаних точковими джерелами забруднення: звалищами, складами хімічних речовин, нафтопроводами, фермами тощо, а також патогенними організмами і вірусами, леткими хімічними речовинами).
- ДСТУ ISO 10381-1:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT);
- ДСТУ ISO 10381-2:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT);
- ДСТУ ISO 10381-3:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 3. Настанови з безпеки (ISO 10381-3:2001, IDT), тощо.

Хімічний склад ґрунтів на відміну від природних вод та повітря є більш стабільним у часі та просторі. Відбір проб ґрунту проводиться на пробних майданчиках – частині досліджуваної території, яка характеризується подібними

умовами. При відборі проб ґрунту необхідно врахувати багато факторів: тип ґрунту, рельєф ділянки, що досліджується, товщину шару ґрунту, тощо.

Зразок ґрунту повинен відображати середній стан об'єкта, який вивчається. В межах кожної елементарної ділянки прокладають маршрутний хід (рис. 1), по якому відбирають елементарну пробу. На не еродованих ґрунтах маршрутний хід прокладають посередині елементарної ділянки вздовж її довгої сторони. На еродованих ґрунтових відмінах, що розташовані на схилах довжиною більше 200 м, маршрутні ходи прокладають вздовж схилу, а на більш коротких – впоперек схилу [1].

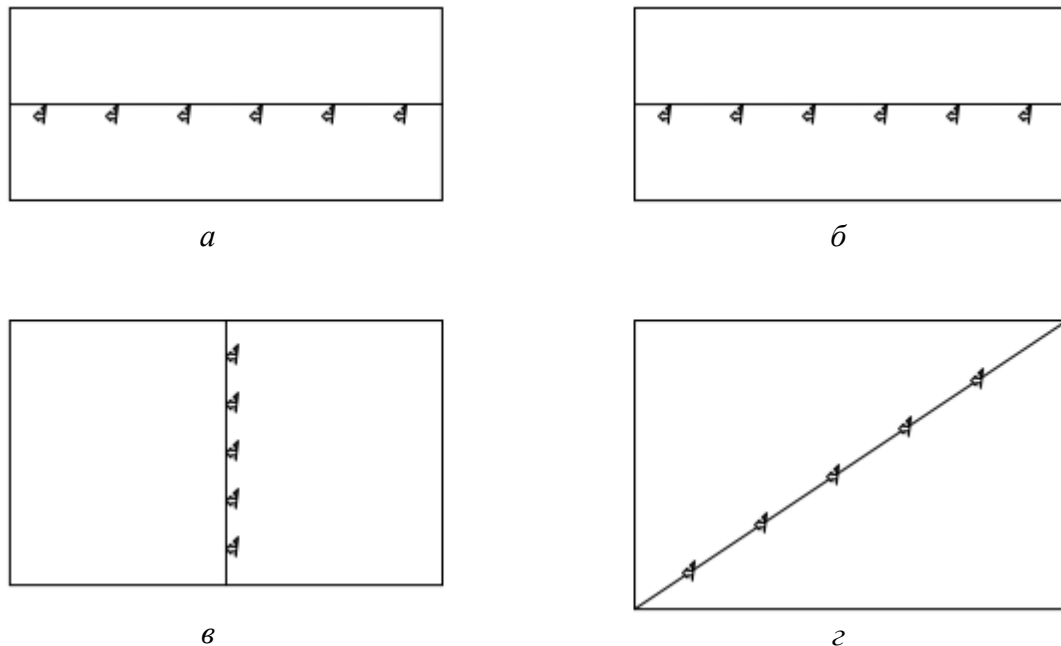


Рис. 1. Схеми прокладення маршрутних ходів:

- а) не еродовані ґрунти; б) еродовані ґрунти, довжина схилу більше 200 м;
в) еродовані ґрунти, довжина схилу менше 200 м; г) лісові і плодові розсадники

Гніздова проба – проба ґрунту, складена з двох або більше точкових проб, змішаних у відповідних пропорціях і відібраних навколо попередньо визначеної точки відбору проб. Для хімічного аналізу маса гніздової проби повинна становити не менше 1 кг.

Для контролю забруднення нафтою та нафтопродуктами, важкими металами – проби відбирають пошарово з глибини 0–5 см (поверхневий шар) і 5–20 см (орний шар). Іноді проби відбирають і на глибині 20–90 см (підорний шар).

Зразки ґрунту з глибини 0–20 см використовуються, для того щоб визначити рН ґрунту (потребу у вапнуванні), органічні речовини, вміст фосфору, калію, сірки. При регулярному відборі проб необхідно дотримуватися однієї і тієї ж глибини відбору проб з поля, це дозволить порівнювати результати аналізів і простежувати тенденцію. Відбір проб глибше, ніж з 20 см призводить до зниження точності результатів аналізу для органічної речовини, фосфору і цинку.

Зразки з глибини 0–20 см і нижче необхідні, щоб точно оцінити кількість нітратного азоту в кореневій зоні, тому що азот в нітратній формі легко вилугується (вимивається) водою в підорні шари ґрунту. Нітратний азот в кореневій зоні з легкістю використовується рослинами. У більшості ґрунтів коріння однорічних рослин проникає на глибину до 120 см і більше. Щоб точно визначити вміст нітратного азоту в кореневій зоні рослин, зразки ґрунту повинні бути відібрані з глибини 60–90 см. Глибина відбору зразка на нітратний азот 60 см – це мінімальна глибина, рекомендована для нітратного азоту, і вона не дозволить визначити для рослин доступний нітратний азот так точно як зразок з більшої глибини. Для зернових культур з неглибокими кореневими зонами, типу бобів, ріпаку і проса, зразок з глибини 60 см оптимальний. Якщо зразки ґрунту для визначення нітратного азоту були взяті з підорного горизонтів, рекомендації для зернових культур будуть засновані на історичних усереднених даних по нітратному азоту, і точність рекомендацій щодо внесення добрив може знизитися.

При вивченні впливу пестицидів та інших хімічних речовин на мікрофлору і процеси самоочищення в більш глибоких шарах ґрунту, для відбору проб ґрунту користуються шурфом глибиною до 1 м. Проби відбираються із стінки шурфу стерильним інструментом через кожні 10 см. Відібрані зразки поміщають в

стерильний посуд і доставляють в лабораторію. При неможливості приступити до дослідження ґрунту негайно, допускається зберігання зразка при температурі 4–5 °С, але не більше 24 годин.

Відбір проб однорідного ґрунту здійснюється методом «конверта» у п'яти точках, розташованих по двох діагоналях ділянки й у місцях їхнього перетину площі 0,5 га. Великі площі поділяють на декілька ділянок, і з кожної відбираються проби. Глибина відбору залежить від мети дослідження. Зразки упаковують у поліетиленові або бавовняні мішечки, пакети зроблені з пергаменту, алюмінієвої фольги та ін. Пакет нумерують. Проби постачають паспортом із указівкою номера; дати; місця і глибини відбору; речовини (або речовин), що слід визначити; прізвища і посади осіб, що відібрали пробу. Для відбору зразків ґрунту використовують бури різної конструкції (рис. 2).



Рис. 2. Бури для відбору проб ґрунту

Обробка ґрунту для аналізу. В агрохімічному аналізі розрізняють три види проб: попередню, середню (лабораторну) та аналітичну (ДСТУ ISO 11464:2007 Якість ґрунту. Попереднє обробляння зразків для фізико-хімічного аналізу).

Попередню (гніздову) пробу відбирають безпосередньо в полі. Відбирання зразків проводять при хорошій погоді вранці, до настання спеки, або в кінці дня (завжди в один час). Умови відбирання зразків повинні бути однаковими в усіх

варіантах. Кожен зразок зберігається в коробці або мішечку, які повинні мати чітко заповнену етикетку.

Середню пробу готують з попереднього зразка. Для цього пробу добре змішують і відбирають квадратуванням або в окремих місцях середню пробу. Краще це робити, розстеливши ґрунт тонким шаром на склі або фанері.

Для підготовки до хімічного аналізу зразки середньої проби ґрунту розкладають на чистій підкладці тонким шаром і висушують при кімнатній температурі або при нагріванні до 60 °С до крихкого стану.

Великі грудки ґрунту спочатку розбивають молотком, попередньо загорнувши їх у цупкий папір або тканину. Потім розтирають зразки ґрунту на дрібний порошок у металічних, фарфорових ступках товкачиком. Для спеціальних аналізів (наприклад, гумусу у ґрунті) зразки розтирають в агатових ступках. Ступінь подрібнення повітряно-сухого матеріалу має бути таким, щоб ґрунт проходив крізь сито з отворами діаметром 1 мм (рис. 3). Маса середньої проби ґрунту становить від 200 г до 1 кг.



Рис. 3. Сита для просіювання ґрунту

Зберігають зразки протягом 10 місяців у провітрюваному приміщенні в закритих картонних, полімерних чи бляшаних коробках. При відбиранні наважок пробу ще раз ретельно перемішують, щоб виключити можливість розшарування часточок за розмірами та масою.

Аналітичну пробу відбирають із повітряно-сухої середньої проби: подрібнений ґрунт розподіляють тонким рівномірним шаром на пергаментному папері

у вигляді квадрата, який діагоналями поділяють на чотири трикутники, з двох протилежних трикутників ґрунт відкидають. Залишок старанно перемішують і знову рівномірно розподіляють на папері; операцію повторюють поки на пергаментному папері залишиться орієнтовно стільки ґрунту, скільки потрібно для аналітичної проби.

Для обліку ґрунтових мікроорганізмів і ентеровірусів досить наважки від 1 до 10 г, для санітарних показників мікроорганізмів від 1 до 30 г, для патогенних ентеробактерій (50–60 г).

Ґрунти або ґрунтові зразки як полідисперсна субстанція здатні утримувати в своєму об'ємі різні кількості та категорії вологи. Якщо зразок ґрунту з польовою вологістю (після опадів) розстелити в кімнаті або лабораторії і дати йому декілька днів просохнути (при вологості кімнатного повітря), то такий ґрунт втратить переважну більшість польової вологості і міститиме лише вологу абсорбовану з повітря. Такий ґрунт називають повітряно-сухим а вологу яка міститься в такому ґрунті називають **гігроскопічною**.

Повітряно-сухі зразки ґрунту використовуються для подальшої визначення в ньому різних елементів (NPK), показника рН, гумусу, мікроелементів тощо. Проте в такому ґрунті міститься невелика кількість гігроскопічної вологи. Усі результати аналізів проведених зразках ґрунту обов'язково виражають з розрахунку на 100 г (або кг) абсолютно сухого ґрунту. Варто пам'ятати, що ґрунт висушений при температурі 105 °С називають абсолютно сухим, тобто таким, що не містить вологи.

В подальшому для переводу результатів будь-якого аналізу який виконаний з повітряно-сухого зразка на абсолютно сухий ґрунт використовують поправочний коефіцієнт гігроскопічності K_r на якій перемножують отриманий результат. Для його визначення нам необхідно визначити вміст гігроскопічної вологи в повітря на сухому ґрунті та на її основі розрахувати коефіцієнт

гігроскопічності, який будемо використовувати в наступних лабораторних роботах.

Матеріали, обладнання та реактиви

Цупкий папір; шпатель; сито; сушильна шафа; ступка; ваги.



Рис. 4. Фото обладнання для лабораторної роботи:
1 – сито; 2 – ексикатор; 3 – фільтрувальний папір; 4 – шпатель; 5 – металеві бюкси;
6 – ступка; 7 – універсальний індикаторний папір; 8 – ваги



Рис. 5. Сушильна шафа Labexpert

Підготування аналітичної проби

1. Довести попередній зразок ґрунту до повітряно-сухого стану. Взятую попередню пробу відібраного ґрунту/компосту, розсипати в приміщенні шаром 1,5–2 см на цупкому папері. Довести зразок до сухого стану (ґрунт має бути сухий на дотик), щодня його перемішуючи, сушіння проводити при кімнатній температурі. Для захисту зразка від пилу прикрити його під час сушіння папером. Або висушити у сушильній шафі при температурі 60 °С (рис. 5), висушування проводять в сушильній шафі з відкритими кришками бюксів;

2. Підготувати середню пробу ґрунту. Для цього після доведення зразка до повітряно-сухого стану вибрати із зразка включення, розрівняти ґрунт на папері рівним шаром і надавши йому вигляд прямокутника, розділити на чотири частини діагональними лініями («метод конверту»), відібрати дві протилежні частини (два протилежні «трикутники»), старанно перемішати ґрунт, що залишився, і знову розрівняти на папері, надавши йому прямокутника. Повторити попередні операції кілька разів, аж поки на папері не залишиться близько 200 г ґрунту. Отриману середню пробу пересипають в коробку і вкладають в неї відповідну етикетку.

3. Підготувати аналітичну пробу ґрунту/компосту для подальшого аналізу. Для цього:

а) з середньої проби взяти близько 100 г ґрунту методом «конверту»;

б) розтерти відібраний ґрунт у ступці;

в) повністю просіяти ґрунт крізь сито з діаметром отворів 0,25–1 мм; якщо частина ґрунту не пройшла крізь отвори сита, то його слід подрібнити і знову просіяти; потрібно досягти повного проходження зразка крізь сито, а не відсівати з нього дрібнозернистої частини, бо однорідний зразок штучно поділятиметься на неоднорідні частини;

г) зважити необхідну для подальшого аналізу масу наважки ґрунт/компосту.

Визначення вмісту гігроскопічної вологи та коефіцієнт перерахунку на сухий ґрунт

Гігроскопічна вода, що вбирається ґрунтом, може видалятися з нього при температурі 100–105 °С.

1. У попередньо висушеному і зваженому бюксі з притертою кришкою на аналітичних терезах (з точністю до 0,001 г) зважують 1–2 г аналітичної проби повітряно-сухого ґрунту.
2. Бюкс з відкритою кришкою поміщають у сушильну шафу і висушують ґрунтову пробу в зазначених вище температурних умовах впродовж 6 годин.
3. Бюкс з наважкою виймають з шафи, закривають кришкою (абсолютно сухий ґрунт сильно вбирає вологу з повітря і знову стає повітряно-сухим) і ставлять в ексікатор на 20–30 хв для охолодження.
4. Після охолодження зважують бюкс з наважкою з точністю до 0,001 г.

Масову частку гігроскопічної вологи w_r відносно маси повітряно-сухої ґрунтової проби визначають за наступною формулою:

$$w_r = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m}, \%$$

де m_1 – маса бюкса з повітряно-сухим ґрунтом (до висушування), г;

m_2 – маса бюкса з абсолютно сухим ґрунтом (після висушування), г;

m – маса наважки повітряно-сухого ґрунту, г.

Коефіцієнт перерахунку на сухий ґрунт:

$$K_r = \frac{100}{100 - w_r}$$

де w_r – масова частка гігроскопічної вологи повітряно-сухого ґрунту, %.

Коефіцієнт гігроскопічності K_g величина безрозмірна і при перемножуванні результатів аналізів (гумус, біогенні елементи) проведених в повітряно-сухих зразках на K_g , отримаємо значення в перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

2. Визначення кислотності ґрунту

Мета: навчитись визначати кислотність ґрунту згідно із загальноприйнятими методиками.

Теоретичні відомості

При визначенні кислотності ґрунту керуються певними законодавчими положеннями:

- ДСТУ 7862:2015 Якість ґрунту. Визначення активної кислотності.
- ДСТУ 7910:2015 Якість ґрунту. Визначення обмінної кислотності.
- ДСТУ 7537:2014 Якість ґрунту. Визначення гідролітичної кислотності.

Кислотність ґрунту викликається водневими іонами, які можуть бути у вільному стані в ґрунтовому розчині або увібрані ґрунтовими колоїдами. В останньому випадку іони водню можуть бути витіснені з увібраного стану розчином солі (наприклад, KCl). Наявність у ґрунті увібраного Гідрогену значно погіршує його властивості і ґрунт втрачає структуру, з нього досить легко вимиваються необхідні для рослин поживні речовини, родючість ґрунту різко знижується.

Кислотність ґрунту – це його властивість, зумовлена наявністю іонів H^+ в ґрунтовому розчині та обмінних іонів H^+ , Al^{3+} і Mn^{2+} в ґрунтовому вбирному комплексі. Нейтральний розчин має рН, що дорівнює 7; величина рН, менша 7, свідчить про кислу реакцію, а більша 7 – про лужну. Кисла реакція властива дерново-підзолистим і болотним ґрунтам, нейтральна – чорноземам, лужна – каштановим, сіроземам та солонцям [2].

Кислотність ґрунту поділяють на **активну або актуальну**, зумовлену наявністю в ґрунтовому розчині органічних кислот, які виділяються в зовнішнє

середовище кореневою системою рослин, і внаслідок розщеплення вугільної кислоти ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$). Вона безпосередньо впливає на розвиток рослин і ґрунтових мікроорганізмів.

Потенційна або пасивна (прихована) кислотність, пов'язана з наявністю іонів H^+ та Al^{3+} , увібраних ґрунтовим вбирним комплексом. Вона завжди більша за актуальну, оскільки складається із кислотності ґрунтового розчину і кислотності, що утворюється за рахунок увібраних ґрунтом іонів H^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} . Це прихована, або зв'язана щодо ґрунтового розчину, кислотність, яка проявляється внаслідок перебігу обмінної реакції між ґрунтовим вбирним комплексом і ґрунтовим розчином.

Потенційна поділяється на **обмінну** і **гідролітичну**. Обмінна кислотність зумовлюється наявністю іонів H^+ та Al^{3+} , які витісняє із ґрунтового вбирного комплексу нейтральна сіль сильної основи і сильної кислоти, як це має місце при внесенні хлориду калію на кислих ґрунтах. Обмінна кислотність може збільшуватись на фоні внесення добрив, особливо в разі застосуванні їх в значних дозах. Підвищення кислотності за рахунок внесення мінеральних добрив значно погіршує умови росту й розвитку рослин, чутливих до кислотності ґрунту.

Гідролітична – це та частина потенціальної кислотності, яка проявляється при взаємодії ґрунту з гідролітично лужними солями. При обробці ґрунту нейтральною сіллю не всі іони H^+ переходять в розчин. Частина їх залишається в ґрунтовому вбирному комплексі і може бути переведена в розчин тільки при обробці ґрунту розчином гідролітично лужної солі (CH_3COONa). Отже, кислотність CH_3COONa – витяжки складається з гідролітичної, обмінної та актуальної. Гідролітична кислотність показує максимально можливу кількість водню й алюмінію, що знаходяться в обмінному стані в ґрунті. Вимірюють гідролітичну кислотність в мг-екв/100 г ґрунту і позначають індексом $\Gamma_{\text{к}}$. За величиною гідролітичної кислотності розраховують дози вапна, необхідного для нейтралізації всіх присутніх у ґрунті іонів водню та алюмінію. Отже, під терміном

«гідролітична кислотність» слід розуміти загальну кислотність ґрунту (актуальної, обмінної і гідролітичної). Кислотність ґрунту визначають у водних (активну кислотність) і сольових (потенціальну кислотність) витяжках та методом титрування (гідролітична кислотність).

Для розрахунку дози вапна поряд із такими показниками, як обмінна кислотність, ступінь насичення основами, гранулометричний склад ґрунту, слід визначати величину гідролітичної кислотності.

Матеріали, обладнання та реактиви

Зразки ґрунту; фарфорові чашки; лакмусові папірці; рН-метр; електронні ваги; лійка; штатив з тримачами; колба; мірна піпетка на 50 мл; 1,0 н оцтовокислий натрій (CH_3COONa) рН = 8,0–8,2; 0,1 н розчин NaOH; 1%-й розчин фенолфталеїну.

Хід роботи

Визначення активної реакції ґрунтового розчину зразків ґрунту

1. 10 г повітряно сухого ґрунту, розтертого і просіяного крізь сито з отворами $\varnothing$ 1 мм, зважують на технічних терезах з точністю до 0,1 г і переносять у плоскодонну колбу місткістю 100 мл.
2. Приливають мірною колбою або циліндром 50 мл дистильованої води за співвідношення ґрунт:вода 1:5, ретельно збовтують 5 хв за допомогою магнітної мішалки.
3. Фільтрують крізь паперові фільтри.
4. У витяжку занурюють на 1 см індикаторний папір та за допомогою порівняння з еталонною кольоровою шкалою визначають рН розчину (рис. 6).

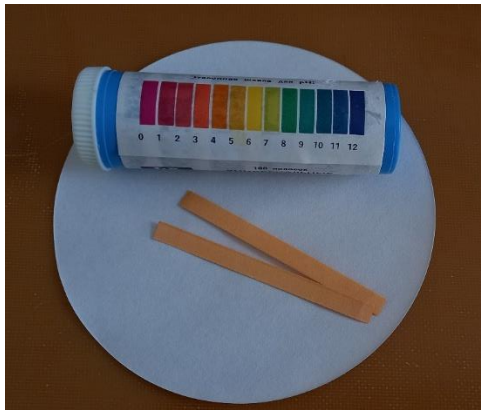


Рис. 6. Універсальний індикаторний папір

5. Для підвищення точності результату – витяжку визначають і на рН-метрі (див. п. 3).

Визначення обмінної кислотності потенціометричним методом

1. 20 г повітряно сухого ґрунту, розтертого і просіяного крізь сито з $\varnothing$ 1 мм, зважують на технічних терезах з точністю до 0,1 г і переносять у плоскодонну колбу місткістю 100 мл.
2. Мірною колбою приливають 50 мл 1,0 н розчину KCl (рН 5,6–6,0).
3. Колбу закривають пробкою і збовтують 15 хв за допомогою магнітної мішалки.
4. Після відстоювання в чистий скляний стаканчик зливають прозору частину суспензії і вимірюють рН KCl потенціометричним методом (рис. 7).

Визначення гідролітичної кислотності

1. 40 г повітряно-сухого ґрунту, просіяного крізь сито з $\varnothing$ 1 мм переносять у колбу на 250 мл, доливають 100 мл 1,0 н розчину ацетату натрію (CH_3COONa).
2. Вміст колби збовтують 15 хв за допомогою магнітної мішалки. Перед фільтруванням ще раз добре збовтують її і одразу переносять ґрунт на фільтр.

3. Суспензію фільтрують через паперовий фільтр (першу порцію фільтрату відкидають). Якщо фільтрат буде каламутний, то пропускають його ще раз крізь той самий фільтр з ґрунтом.
4. Мірною піпеткою відбирають 50 мл фільтрату і переносять у колбу. В колбу вносять 3–4 краплі фенолфталеїну і титрують розчин 0,1 н розчином лугу (NaOH) до блідо-рожевого забарвлення.



Рис. 7. Зовнішній вигляд рН-метра Sanxin

Обчислюють гідролітичну кислотність Γ_k за формулою у ммоль H^+ на 100 г ґрунту:

$$\Gamma_k = \frac{a \cdot 250 \cdot K \cdot K_r}{V}$$

де a – кількість 0,1 н розчину NaOH, витраченого на титрування, мл;

250 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

K – концентрація розчину NaOH, моль/л;

K_r – коефіцієнт перерахунку на сухий ґрунт;

V – об'єм фільтрату взятого для титрування, мл.

Визначити гідролітичну кислотність при масових аналізах допускається за значенням рН суспензії (нефільтрована проба, пункти 1, 2), шляхом вимірювання на рН-метрі. Значення рН переводять у $\Gamma_{\text{к-рН}}$ у ммоль/100 ґрунту використовуючи дод. А. 1, ДСТУ 7537:2014 Якість ґрунту. Визначення гідролітичної кислотності (див. додаток).

Завдання: Описати метод підготовки ґрунту/компосту, який використовували у роботі. Проаналізувати отримані значення рН для проби ґрунту/компосту, спрогнозувати який це тип ґрунту, можливості використання такого ґрунту/компосту для сільського господарства. У електронному протоколі надати фото місця відбору проби ґрунту/компосту до аналізу, фото наважки, отримані значення кислотності, вологості.

Контрольні питання:

1. Що таке кислотність ґрунтового розчину? Чим вона зумовлена?
2. Які види кислотній реакції ґрунтового розчину Ви знаєте?
3. Проведіть порівняльну оцінку формам кислотності ґрунтів.
4. Які методи визначення реакції ґрунтового розчину Вам відомі?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ГУМУСУ, ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ У КОМПСТІ

Мета роботи: визначити вміст гумусу (у відсотках) та органічного вуглецю у дослідних зразках компосту/грунту.

Теоретичні відомості

Лабораторна робота базується на ДСТУ Б В.2.1-16:2009. Методи лабораторного визначення вмісту органічних речовин у ґрунті. Національний стандарт України.

Гумус – сукупність всіх органічних сполук у ґрунтовому профілі, які втратили зв'язок з елементами структурної організації клітин і тканин.

Для встановлення кількості гумусу визначають вміст вуглецю органічних речовин, що розклалися у ґрунті, – органічного вуглецю.

Для визначення органічного вуглецю застосовують методи:

- оксидометричний;
- сухого спалювання.

Оксидометричний метод застосовують для визначення органічного вуглецю в піщаних і глинистих ґрунтах, які містять менше ніж 10 % гумусу, а в ґрунтах, які містять хлориди, – після видалення останніх.

Метод не допускається застосовувати для визначення органічного вуглецю в піщаних і глинистих ґрунтах морського, лиманного, старичного, озерного та болотного походження. Для цього застосовують метод сухого спалювання [3].

Вміст органічного вуглецю в ґрунті визначають у відсотках сухої речовини проби та перераховують на кількісний вміст гумусу, застосовуючи коефіцієнт 1,724.

Вміст вуглецю в чорноземах коливається в межах 3–6 %, найвищі значення до 12 %.

Оксидометричний метод

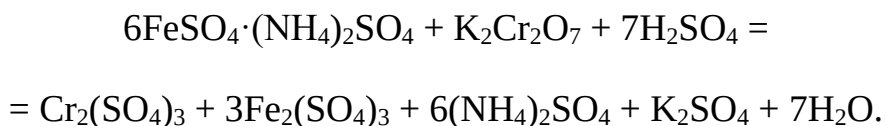
Органічну речовину окиснюють калій біхромат у сильно кислому середовищі до утворення вуглекислоти, потім титруванням виділяють надлишок калій біхромату розчином солі Мора та визначають вміст органічного вуглецю в ґрунті за різницею об'ємів солі Мора, витрачених на титрування двохромовоокислого калію в досліді без ґрунту та у досліді з ґрунтом.

Реакція окиснення відбувається за рівнянням:



Невитрачений на окиснення залишок хромової суміші відтитровують сіллю Мора. За різницею між результатами холостого визначення та результатами, отриманими для наважки ґрунту, визначають кількість гумусу в ґрунті. Таким методом можна визначити вміст гумусу до 10 %. Тому для проведення досліді з компостом його розводять прокаленим піском в 4 рази.

Надлишок двохромовоокислого калію відтитровують сіллю Мора за реакцією:



Таблиця 1.

Залежність ваги наважки від забарвлення ґрунту

Забарвлення сухого ґрунту	Вміст гумусу, %	Вага наважки, г
Дуже чорне або темно-коричневе	10–15	0,05– 0,1
Чорне або коричневе	7–10	0,1–0,15
Темно-сіре	4–7	0,1 5–0,2
Сіре	2–4	0,2–0,6
Світло-сіре	1–2	0,5–1
Білясте	< 1	1,0

Маса проби ґрунту для аналізу залежить від вмісту гумусу у ґрунті. Вага наважки повинна бути від 0,05 г до 1 г у залежності від передбачуваного вмісту гумусу у ґрунті відповідно до таблиці 1.

Приготування розчинів біхромату калію, солі Мора, фенілантранілової кислоти:

- Розчин $K_2Cr_2O_7$ в розведеній сульфатній кислоті. Взяти 40 г тонко подрібненого в фарфоровій ступці кристалічного $K_2Cr_2O_7$, розчинити приблизно в 500 см³ дистильованої води (можна підігріти для кращого розчинення), профільтрувати. Довести об'єм дистильованою водою до 1 дм³. Розчин перелити у велику термостійку колбу і туди долити невеликими порціями (приблизно по 100 см³) 1 дм³ H_2SO_4 , обережно перемішуючи (розчин підвищує температуру). Розчин закрити і залишити стояти добу до повного охолодження.
- Сіль Мора 0,2 н розчин. 80 г солі Мора насипати в термостійку (відбувається екзотермічна реакція) колбу об'ємом 1 л, додати 1 н розчин сульфатної кислоти на 2/3 колби, профільтрувати, після цього довести об'єм до мітки 1 л дистильованою водою і добре перемішати.
- Робочий розчин фенілантранілової кислоти. Підготувати 0,2 % розчин соди. Розчинити 0,2 г фенілантранілової кислоти в 100 см³ розчину соди (спочатку до кислоти додати кілька краплин розчину соди, розтерти паличкою до кашоподібного стану і далі доливати розчин перемішуючи). Розчин фенілантранілової кислоти може зберігатися тривалий час (декілька місяців у холодильнику).

Метод спалювання оснований на отриманні різниці при прокалюванні ґрунту/компосту за температури 900 °С. Під час прокалювання компост втрачає гумус (тобто всі органічні речовини) і адсорбовані гази. Тому, порівнюючи різницю у вазі висушеного до видалення гігроскопічної води (5 год за 105 °С) та

прокаленого (1 год за 900 °C) можна вирахувати вагу всієї органічної речовини компосту.

Матеріали, обладнання та реактиви

Зразки ґрунту, компосту, піску (висушені до постійної маси), аналітичні ваги, бюретки, колби на 100 см³ з пробкою-холодильником, електрична плита, промивалка, пісок, 0,4 н розчин K₂Cr₂O₇ у H₂SO₄ розведений (1:1); 0,2 н розчин солі Мора (NH₄)₂SO₄FeSO₄·6H₂O; розчин фенілантранілової кислоти.

Хід роботи

Оксидометричний метод

1. В залежності від типу досліджуваної проби:

– якщо аналізується **ґрунт** із орієнтовним вмістом гумусу до 10 %, то потрібно взяти середню пробу і підготувати з неї аналітичну: висушити до повітряно-сухого стану; видалити всі органічні включення – корінці, листки; розтерти і просіяти через сито з отворами 0,25 мм. Вага наважки повинна бути від 0,05 г до 1 г у залежності від передбачуваного вмісту гумусу (див. табл.) та без додавання піску. Взяти наважку встановленої за табл. ваги та помістити у суху конічну колбу об'ємом 100 см³;

– якщо аналізується **компост** (із орієнтовним вмістом гумусу більше ніж 10 %), то потрібно взяти середню пробу і підготувати з неї аналітичну: висушити до повітряно-сухого стану; видалити всі органічні включення – корінці, листки; розтерти і просіяти через сито з отворами 0,25 мм. Далі змішати пробу компосту з попередньо прокаленим за 800 °C піском у співвідношенні 1:3. Взяти наважки 0,1 г повітряно-сухого компосту та 0,3 г піску. Суміш старанно перемішати. Взяти наважку отриманої суміші 0,05 г та помістити у суху конічну колбу об'ємом 100 см³.

2. Долити у колбу 10 см³ хромової суміші (0,4 н розчину K₂Cr₂O₇ у сульфатній за допомогою піпетки). Вміст у колбі обережно перемішати рухами колби по колу.

Колбу закрити лійкою для охолодження водяних парів та поставити на електричну плитку у піщану баню. По мірі нагрівання з рідини виділяються бульбашки CO₂, після цього розчин закипає. Кипіння повинно бути слабким та продовжуватися не більше 5 хв (без виділення пари з лійки); воно повинно бути ледве помітним, тобто виділення бульбашок вуглекислоти, які утворюються від окислення органічних речовин ґрунту, повинно бути численним, при цьому бульбашки мають бути трохи більші макового зерна. Час кип'ятіння відлічують із моменту появи першої відносно великої бульбашки газу.

При кип'ятінні забарвлення розчину повинно змінюватися від жовтого-рячого до бурувато-коричневого. Якщо з'являється зелене забарвлення, це говорить про повну витрату хромової кислоти та можливу нестачу її на окиснення гумусу. Дослід слід повторити, зменшивши наважку ґрунту.

Після закінчення кип'ятіння колбу знімають із плитки (бані) обмивають лійку невеликою кількістю води (до 20 см³), дають колбі охолонути до кімнатної температури та проводять титрування.

Додають 5–6 крапель індикатора – фенілантранілової кислоти і титрують 0,2 н розчином солі Мора до зміни забарвлення на зелене. Під кінець титрування розчин солі Мора підливають по краплях, увесь час перемішуючи розчин енергійним збовтуванням.

3. Перед початком або наприкінці випробування проводять дослід без ґрунту (холоста проба) для встановлення співвідношення між розчинами хромової суміші та солі Мора в умовах, аналогічних п. 2. У дві конічні колби ємністю 100 мл наливають по 10 мл хромової суміші, для рівномірності кипіння додають на кінчику тонкого шпателя приблизно 0,2 г розтертої до порошку пропеченої пемзи (використовувати для цієї мети пісок не допускається), суміш

у колбах кип'ять 5 хв відповідно до п. 2. Після охолодження прокип'ячену хромову суміш титрують розчином 0,2 моль/дм³ солі Мора та визначають середню (з двох дослідів) кількість солі Мора, що була витрачена на титрування 10 мл хромової суміші.

4. Обчислюють процент вуглецю (C) у пробі ґрунту/компосту за формулою:

$$C = \frac{(a - b) \cdot N \cdot 0,003 \cdot 100}{m},$$

де a – кількість солі Мора, витраченої на титрування холостої проби, см³;

b – кількість солі Мора, витраченої на титрування дослідженого зразку, см³;

N – нормальність солі Мора, що встановлюється її титруванням розчину перманганату (0,1 моль/дм³);

m – наважка ґрунту, г;

0,003 – величина ¼ мг – еквівалент вуглецю. Молярна маса вуглецю 12,01/4 = 3, де ¼ фактор еквівалентності вуглецю.

Отримане значення C для компосту потрібно помножити на 4 (кратність розведення проби піском).

5. Вміст гумусу обчислюють за формулою (вміст органічного вуглецю у гумусі близько 58 %):

$$H = C \cdot 1,724.$$

Оцінювання похибки вимірювань

Похибка зважування проб повинна бути не більше ніж $\pm 0,0002$ г при визначенні органічного вуглецю (за умови використання ваги 3–4 класу точності – $\pm 0,001$ г). Похибка результатів паралельних визначень органічних речовин не повинна перевищувати 2,5 % від середньої величини, що визначається. Якщо розбіжність між результатами двох паралельних визначень перевищує 2,5 %, кількість визначень слід збільшити до трьох і більше.

Метод спалювання (визначення гумусу)

1. У фарфоровому тиглі зважують 1,0 г повітряно сухого компосту, просіяного через сито. Дослід проводять у 2–3 повторностях.
2. Тигель з наважкою поміщають в холодну муфельну піч та прокалюють при температурі 900 °С 1 годину (час рахують з моменту розігріву печі до потрібної температури).
3. Виймають тигель з муфельної печі, закривають кришкою та ставлять у ексикатор для охолодження.
4. Потім зважують тигель на аналітичних вагах.
5. Паралельно встановлюють вміст гігроскопічної вологи в ґрунті/компості – див. ЛР № 1.

Завдання: Проаналізувати отримане оксидометричним методом значення вмісту органічного вуглецю та гумусу в ґрунті/компості. У електронний протокол додати фото проби ґрунту/компосту до, після кип'ятіння і після титрування. Розрахувати відсотку гумусу у пробі і проаналізувати його вміст згідно ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів.

Контрольні запитання:

1. Чому при кип'ятінні колір проби може змінитися на зелений?
2. На якому принципі заснований оксидометричний метод?
3. Як обчислюють відсоток вуглецю у ґрунті?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. ВИЗНАЧЕННЯ БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ У КОМПОСТІ

Визначення вмісту сполук азоту у компості

Мета роботи: навчитись визначати вміст амонійного та нітратного азоту у компості, ґрунті.

Теоретичні відомості

Безпосередньо доступними для живлення рослин є мінеральні сполуки азоту, які у ґрунті представлені іонами амонію та нітрат-іонами. Солей азотистої кислоти – нітритів, у ґрунті мало та їхня роль у харчуванні рослин недостатньо виявлена. За деякими даними, нітрити шкідливі для рослин.

Співвідношення амонійного і нітратного азоту в ґрунті досить динамічне і залежить від мікробіологічної активності. Тому судити про забезпеченість ґрунтів азотом по одиничному визначенню некоректно і лише повторні визначення протягом вегетаційного періоду дають уявлення про азотний режим ґрунту.

Амонійний азот екстрагують з ґрунту 1 н розчином KCl. У витяжку переходить амоній, що знаходиться в обмінному стані, а також амоній розчинних у воді амонійних солей. Оскільки, амоній водорозчинних солей становить лише невелику частина азоту, що переходить у сольову витяжку, вважають цей метод методом визначення обмінного амонію.

Метод базується на прямому потенціометричному вимірюванні активності іона в ґрунтовій водній пасті або водній суспензії, або в ґрунті *in situ* [4].

Примітка. Термін «*in situ*» (лат. «на місці розташування», «там і такий, як є») загальноприйнятий для позначення аналізування об'єкта в його натурному стані.

Аналізування здійснюється вимірюванням електродного потенціалу, тобто рівноважного електричного потенціалу іонселективного електрода (ICE), чутливого

до іона, який визначають, у водному середовищі, що містить цей іон. Електродний потенціал вимірюють відносно допоміжного електрода порівняння.

Визначання активності амонію в лабораторних умовах проводять лише у свіжовідібраних (не висушених) зразках ґрунту.

Матеріали, обладнання та реактиви

Конічні колби на 250 см³, мірні колби на 50 см³, фільтрувальний папір синя стрічка, електрична мішалка, аналітичні ваги, іономір, електроди для визначення NO₃⁻ та NH₄⁺.

Хід роботи

Встановлення електродної функції

Готування градуювальних розчинів. Розчини готують методом послідовного розведення. Вихідні розчини найвищої концентрації готують з наважок відповідної солі, взятих на вагах з точністю до трьох знаків після коми. Наважки солей, необхідні для готування 100 мл 0,1 М градуювальних розчинів: NH₄Cl – 0,535 г та KNO₃ – 1,011г. Наважку відповідної масою переносять у мірну колбу на 100 см³, доводять до позначки дистильованою водою, перемішують, струшуючи закриту колбу, до повного розчинення наважки (розчин № 1).

Для готування розчину № 2 з розчину № 1 відбирають піпеткою 10 см³ розчину № 1, переносять у мірну колбу на 100 см³, доводять до позначки дистильованою водою і перемішують.

Для готування розчину № 3 з розчину № 2 беруть піпеткою 10 см³ розчину № 2, переносять у мірну колбу на 100 см³, доводять до позначки дистильованою водою і перемішують.

Для готування розчину № 4 з розчину № 3 беруть піпеткою 10 см³ розчину № 3, переносять у мірну колбу на 20 см³, доводять до позначки дистильованою водою і перемішують.

Для градування електрода наливають 5–10 см³ градувального розчину в стакан місткістю 50 см³. Вимірювальний електрод та електрод порівняння, підключені до відповідних гнізд потенціометра, обполіскують дистильованою водою, осушують фільтрувальним папером. Занурюють обидва електроди безпосередньо у градувальний розчин у випадку вимірювання активності необхідного іону.

Операцію повторюють для кожного з градувальних розчинів серії, починаючи з найвищої концентрації і продовжуючи в напрямку її зменшення. Для скляних електродів у розчин має бути повністю занурена індикаторна кулька. Покази іономера знімають через 1–3 хв після встановлення постійного значення і записують. Будують градувальний графік.

Визначення амонійного азоту

Водні витяжки можуть бути підготовані при будь-якому співвідношенні води і ґрунту. Однак прийнято готувати водні витяжки для визначення амонійного азоту при співвідношенні 1:1, тобто на 1 частину наважки брати 1 частину води.

Беруть 10 г ґрунту/компосту (свіжовідібраний зразок, із видаленими органічними включеннями – корінці, листки, розтертий і просіяний через сито з отворами 0,25 мм) і 10 см³ дистильованої води. Потім перемішують протягом 10 хв за допомогою магнітної мішалки і фільтрують через паперовий фільтр.

В отриманій пробі за допомогою іономіру визначають вміст NH₄⁺.

Приведення активного вмісту *A* іона NH₄⁺ до одиниці маси ґрунту:

$$A = \frac{a \cdot V \cdot M}{m},$$

де *A* – активний вміст NH₄⁺ у повітряно-сухому ґрунті, мг/кг;

a – виміряна активність іона NH₄⁺ у водній фазі суспензії, ммоль/дм³;

M – відносна молекулярна маса іона NH₄⁺, мг/ммоль;

m – маса ґрунту, який взято для готування суспензії, г;

V – загальний об'єм витяжки, см³.

Визначення нітратів

Водні витяжки можуть бути підготовані при будь-якому співвідношенні води і ґрунту. Однак прийнято готувати водні витяжки при співвідношенні 1:5, тобто на 1 частину наважки брати 5 частин води.

Беруть 10 г ґрунту/компосту (аналітична проба) і 50 см³ дистильованої води. Потім перемішують протягом 10 хв за допомогою магнітної мішалки і фільтрують через паперовий фільтр. В отриманій пробі за допомогою іономіру визначають вміст NO₃⁻.

Приведення активного вмісту A іона NO₃⁻ до одиниці маси ґрунту:

$$A = \frac{a \cdot V \cdot M}{m},$$

де A – активний вміст NO₃⁻ у повітряно-сухому ґрунті, мг/кг;

a – виміряна активність іона у водній фазі суспензії, ммоль/дм³;

M – відносна молекулярна маса NO₃⁻, мг/ммоль;

V – об'єм води, яку додано до ґрунту в суспензії, см³;

m – маса ґрунту, який взято для готування суспензії, г;

Визначення вмісту сполук фосфору у компості

Мета роботи: опрацювати методику визначення концентрацій фосфору у компості, ґрунті.

Теоретичні відомості

Фосфор входить до складу органічних і мінеральних сполук ґрунту. Вміст загального фосфору в ґрунтах становить 0,05–0,15 % P₂O₅. Органічні сполуки фосфору представлені в основному фосфоліпідами, нуклеїновими кислотами та їхніми похідними, гексозофосфатами, фосфопротеїдами. Фосфор входить до складу гумінових і фульвокислот гумусу. У чорноземних ґрунтах вміст фосфору органічних сполук переважає над мінеральними, а в дерново-підзолистих – навпаки. Фосфор органічних сполук доступний рослинам після гідролітичного

розкладання їх фосфатазами і мікроорганізмами ґрунту. Значна частина фосфору ґрунту перебуває у важкодоступних формах, які стають доступними рослинам внаслідок дії на них корневих виділень і мікроорганізмів. Внесення добрив сприяє нагромадженню в ґрунті органічних і мінеральних сполук фосфору.

У живленні рослин основна роль належить мінеральним сполукам фосфору, які представлені залишками апатиту, фосфориту, солями фосфорних кислот. Мінеральні сполуки фосфору в ґрунті, що перебувають у постійній взаємодії та динамічній рівновазі, можна поділити на три групи: сполуки фосфору, які є в ґрунтовому розчині; осажені або адсорбовані сполуки фосфору на поверхні твердих фаз ґрунту; важкорозчинні фосфати, які є в мінеральному скелеті ґрунту в первинних і вторинних мінералах (ця група є резервом, за рахунок якого можуть поповнюватися запаси фосфатів на поверхні твердих фаз).

У живленні рослин важлива роль належить також сполукам фосфору, які перебувають у ґрунтовому розчині. Основними і найбільш засвоюваними сполуками є солі фосфатної кислоти. Метафосфати і пірофосфати меншою мірою засвоюються рослинами. Рослини найкраще засвоюють дигідрофосфати ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), які вважають водорозчинними. Менш доступні для рослин гідрофосфати (CaHPO_4 , MgHPO_4), які розчинні в слабких кислотах. Фосфати $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ розчинні у сильних кислотах.

Засвоюваність фосфору рослинами значною мірою залежить від процесів поглинання сполук фосфору. Внаслідок поглинання аніони фосфатної кислоти спочатку адсорбуються обмінними колоїдами ґрунту. У кислому середовищі глинисті мінерали адсорбують фосфат-іони. Аніони карбонатів і органічних кислот, гумат натрію витісняють адсорбовані фосфат-іони. Цим і пояснюється велика доступність адсорбованих фосфат-іонів.

Обмінно-поглинуті фосфат-іони поступово переходять у хімічно осажені. Внаслідок хімічного осадження дигідрофосфати переходять у гідрофосфати, що

зумовлює меншу розчинність і доступність сполук фосфору рослинам. У нейтральних і карбонатних ґрунтах утворюються в значній кількості фосфати кальцію і магнію, у кислих – фосфати заліза та алюмінію. Фосфор фосфату алюмінію більш доступний для рослин, ніж фосфор фосфату заліза. Фосфати кальцію і магнію, що утворилися, спочатку перебувають в аморфному стані, їх фосфор лише частково доступний рослинам [5].

Залежно від мети і завдань, які стоять перед дослідником, у ґрунті можуть визначати: загальний вміст фосфору, вміст органічних і мінеральних сполук фосфору, вміст і рухомість сполук фосфору, ступень рухливості фосфатів, груповий і фракційний склад фосфатів тощо.

Визначення сполук фосфору в ґрунті складається з кількох етапів.

1. Переведення фосфору з твердої фази ґрунту в розчин, внаслідок чого отримують ґрунтові витяжки, які містять ті чи інші сполуки фосфору. Це можна здійснити за допомогою сплавлення наважки ґрунту з содою, розкладанням її плавиковою кислотою, обробкою при нагріванні або на холоді концентрованими і розбавленими мінеральними кислотами, буферними чи сольовими розчинами тощо.

2. Підготовка ґрунтових витяжок до аналізу: знебарвлення, окиснення, випарювання, відновлення, осадження та ін.

3. Визначення фосфору в розчинах різними методами: гравіметричним, титриметричним, фотометричним. Найбільш поширеним, зручним і швидким є фотометричний метод визначення сполук фосфору в ґрунтових витяжках.

Для різних ґрунтів характерні певні сполуки фосфору. Залежно від їхнього складу вибирають конкретний метод визначення сполук фосфору.

Враховуючи переважаючі сполуки фосфору у ґрунті і їхню доступність рослинам, застосовують різні екстрагенти для вилучення рухомих сполук фосфору (0,2 н розчин HCl, розчини оцтової і сульфатної кислот тощо). Тому, основною відмінною властивістю методик визначення рухомих сполук фосфору

є розчинник, який застосовують для вилучення певних рухомих сполук фосфору з ґрунту. Кількісно визначають фосфор у більшості методик колориметричним методом. Наприклад, рухомі сполуки фосфору в дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтах визначають методом Кірсанова, в чорноземах некарбонатних – за методом Чирікова, в карбонатних ґрунтах – за методами Мачигіна, Олсена, в кислих, нейтральних і карбонатних ґрунтах – за методом Брейя і Куртца.

Для діагностики фосфатного стану ґрунтів використовують один з трьох методів: Карпінського–Зам’ятіної (ДСТУ 4727), Мачигіна (ДСТУ 4114) або Олсена (ДСТУ ISO 11263). Фракційний склад мінеральних сполук фосфору визначають за методами Чанга–Джексона, Гінзбург–Лебедевої, груповий склад – за методом Чирікова.

Оптимальний вміст рухомого фосфору в кислих і нейтральних ґрунтах становить 100–150 мг P_2O_5 на 1000 г ґрунту, в карбонатних – 30–35 мг. За національними стандартами результати вимірювань фосфору подають у розрахунку на P_2O_5 , а згідно з міжнародними методами – на елементарний фосфор (P).

Для визначення рухомого фосфору в кислих підзолистих ґрунтах широко застосовують метод Кірсанова. Метод заснований на екстрагуванні фосфору з ґрунту 0,2 н розчином соляної кислоти при відношенні ґрунту до розчину 1:5 з наступним визначенням концентрації фосфору на спектрофотометрі. Забезпеченість рухомих фосфором (у мг/100 г ґрунту) ґрунтів оцінюється за шкалою:

- Дуже низька < 3,0
- Низька 3,1–8,0
- Середня 8,1–15,0
- Підвищена 15,1–20,0
- Висока 20,1–30,0

При взаємодії ортофосфат-іонів з молібдатом в кислому середовищі утворюється жовта гетерополікислота, яка під дією відновників перетворюється

в інтенсивно забарвлену синю сполуку. Були запропоновані різні відновники, але з них найбільш стійкі, постійні за складом продукти реакції дає лише аскорбінова кислота, яка є слабким відновником. Однак відновлення аскорбіновою кислотою, відбувається тільки при підвищеній температурі, тобто в умовах, коли поліфосфати і органічні ефіри фосфорної кислоти гідролізують з утворенням ортофосфорної кислоти. Введення в розчин солі стибію призводить до утворення більш складної сполуки, до складу якого входить стибій у співвідношенні $\text{Sb:P} = 1:1$. Реакція тоді проходить швидко і при кімнатній температурі, підвищується інтенсивність забарвлення, а поліфосфати і складні ефіри фосфорної кислоти в цих умовах в реакцію не вступають, результати показують лише вміст ортофосфат-іонів в пробі.

Ортофосфати після реакції з молібдатом в середовищі сульфатної кислоти, в присутності іонів тривалентного стибію і після відновлення аскорбіновою кислотою забарвлюють розчин у синій колір, що дає можливість їх виміряти [6].

Методика встановлює алгоритм кількісного визначення фосфатів у розчинах з діапазоном вмісту $2\text{--}5 \text{ мг/дм}^3$ у перерахуванні на P_2O_5 .

Методика є обов'язковою для аналітичної служби органів державного контролю за рівнем забрудненім та станом навколишнього природного середовища.

Матеріали, обладнання та реактиви

Спектрофотометр та кювети товщиною 5 см, ваги лабораторні аналітичні, таймер або годинник пісочний, колби мірні 100, 500, 1000 см^3 , піпетки мірні градуйовані об'ємом 2, 5, 10, 25 см^3 , циліндри мірні об'ємом 25, 50, 100 см^3 , фільтри паперові знезолені «синя стрічка».

Хід роботи

Приготування реактивів

1. Основний розчин дигідрофосфат калію KH_2PO_4 – готують таким чином, щоб 1 см^3 розчину відповідав $0,1 \text{ мг } \text{P}_2\text{O}_5$, розчиняють $0,1916 \text{ г } \text{KH}_2\text{PO}_4$ в 1 дм^3 .

3. Змішаний реактив готується безпосередньо перед проведенням визначення концентрації фосфатів.

Усі розчини (крім розчину сульфатної кислоти) зберігаються у холодильнику.

Приготування реактивів для змішаного розчину:

1. Розчин сульфатної кислоти готують шляхом доливання 70 см^3 концентрованої сульфатної кислоти H_2SO_4 до води 400 см^3 , проводять перемішування, а потім після охолодження доводять до 500 см^3 .
2. Розчин аскорбінової кислоти: $2,68 \text{ г}$ аскорбінової кислоти розчиняють в 100 см^3 дистильованої води.
3. Розчин молібденовокислого амонію: 3 г молібденово кислого амонію $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ розчиняють у 100 см^3 дистильованої води.
4. Розчин калія антимошилтарtrat: $0,048 \text{ г}$ розчиняють у 100 см^3 дистильованої води.

Змішаний розчин готують шляхом додавання 25 см^3 сульфатної кислоти (1), 10 см^3 аскорбінової кислоти, 10 см^3 розчину молібденовокислого амонію (3) та 5 см^3 калій сурм'яновиннокислого (4).

Побудова градуувального графіка

1. Готують серію з 5 розчинів з різної концентрацією фосфат-іонів $0,01$; $0,05$; $0,1$; $0,3$; $0,5 \text{ мг/дм}^3$, для чого послідовно відбирають $0,1$; $0,5$; $0,1$; $0,3$; $0,5 \text{ см}^3$ основного розчину фосфату калію у 100 см^3 мірні колби, додають трохи дистильованої води і перемішують.
2. Далі у кожну колбу по черзі додають 5 см^3 змішаного реактиву та доводять дистильованою водою до 100 см^3 та перемішують.

3. Через 15 хв визначають оптичну густину на спектрофотометрі при $\lambda = 690$ нм. Оптичну густину розчинів вимірюють у кюветах (5 см), порівнюючи з оптичною густиною холостого визначення (проба з реактивами, замість досліджуваного розчину – дистиллят).
4. Будують градувальний графік у MS Excel з визначенням коефіцієнту детермінації (значення достовірності апроксимації) та рівняння градувальної прямої, отриманої за методом найменших квадратів.

Проведення дослідження

10 г ґрунту зважують на технічних вагах і пересипають в колбу на 100 см³. Туди ж доливають 50 см³ 0,2 н НСІ. Збовтують 1 хв. Дають відстоятися 15 хв і фільтрують через паперовий фільтр. Беруть піпеткою 10 см³ фільтрату в мірну колбу на 100 см³, доливають до половини водою, додають 5 см³ змішаного реактиву і доводять до мітки водою. Перемішують, відстоюють 15 хв і вимірюють оптичну густину розчину на спектрофотометрі при $\lambda = 690$ нм.

Вміст фосфору розраховують за формулою:

$$P = \frac{a \cdot V \cdot 1000}{V_1 \cdot b},$$

де P – кількість P_2O_5 в мг на 1 кг повітряно-сухого ґрунту;

a – значення P_2O_5 з градувального графіку, мг/мл;

b – наважка ґрунту, г;

V – загальний об'єм витяжки, см³;

V_1 – об'єм витяжки, взятої для аналізу, см³;

1000 – коефіцієнт для перерахунку на 1 кг ґрунту.

Завдання. Сформувати висновки про якість ґрунту для вирощування сільськогосподарських культур на основі отриманих результатів концентрації сполук азоту та фосфатів. У висновках порівняти отримані результати концентрації сполук азоту та фосфатів зі значеннями, які характерні для різних типів

компосту, ґрунту згідно ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів.

Контрольні запитання

1. Як впливають сполуки фосфору на ріст та розвиток рослин?
2. В яких сполуках у живих організмах міститься фосфор та в яких формах?
3. Як впливають сполуки фосфору на водні екосистеми?
4. На якому принципі базується метод визначення сполук фосфору?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. ПЕРЕРОБКА ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕРМИКУЛЬТУРИ

Мета роботи: опрацювати методику переробки ряду органічних відходів з одночасним отриманням компосту за допомогою вермикультури.

Теоретичні відомості

Отримання біогумусу ґрунтується на здатності дощових черв'яків використовувати органічні рештки, трансформувати їх у кишечнику і виділяти у вигляді копролітів. Дощові черв'яки – найбільші представники безхребетних, які входять до складу ґрунтової макрофауни. Їх частка становить не менш як половини всієї біомаси ґрунту. Значення черв'яків у екосистемі ґрунту полягає у редукції об'єму органіки, яка поступає у його верхній шар, її мінералізації, концентруванні мінеральних речовин у копролітах, що робить їх більш доступними для рослин. Технологія вермикомпостування заснована на харчовій активності дощових черв'яків. Захоплюючи і змішуючи в процесі харчування органічні залишки з мінеральними частинками ґрунту, переварюючи їх і збагачуючи власною мікрофлорою, ферментами, біологічно активними речовинами, дощові черв'яки виробляють копроліти (копрос – випорожнення, літос – камінь) з високим вмістом гумусу, мікро- і макроелементів. У кишечнику дощових черв'яків відбуваються часткова мінералізація і гуміфікація органічного матеріалу, з'єднання аміаку з лігніном, зміна мінералогічного і гранулометричного складу, формування гумусових речовин і модифікація мікробіоценозів субстратів, які конвертуються. Вермикультура трансформує відходи в високоефективне біодобриво (біогумус) в формі агрегатів розміром 1–5–10 мм, з хорошою структурою і водостійкістю структурних агрегатів, з підвищеним вмістом гумусу (14–20 %) обмінного калію, рухомого фосфору, кальцію, з пролонгованою дією при внесенні в ґрунт. В процесі вермикомпостування спостерігається зміна гранулометричного складу субстрату. Зменшується частка пилюватої фракції (менше 0,25 мм), збільшується маса

агрономічно-цінних агрегатів розміром 0,25–7 мм. При цьому максимальної маси досягає фракція 2 мм, до складу якої входять копроліти дощових черв'яків. Ступінь збільшення цієї фракції залежить від вмісту і складу органічної частини вихідного субстрату. При цьому збільшується водостійкість агрегатів, сума яких також підвищується зі зростанням частини, яка конвертується в складі субстрату [7]. Загалом технологію вермикомпостування можна умовно розділити на три етапи. Перший етап вермикомпостування полягає в приготуванні органомінеральної компостної суміші. Органічні відходи і наповнювач-структуроутворювач змішують і зволожують до значення вологості 70–80 % (на дотик як мокре полотенце). Відповідно якісний, готовий до поселення черв'яків, субстрат є вологим, однорідним за кольором, температура якого складає 19–22 °С, рН близько 7, відносна вологість 80 %. Для зменшення тривалості біоконверсії відходів обов'язковою умовою є їхнє попереднє подрібнення. На другому етапі отримані органо-мінеральні компостні суміші заселяють культурою дощових черв'яків. З великої кількості існуючих видів дощових черв'яків найбільш придатною вважається рід дощового черв'яка *Eisenia*, що характеризується високою швидкістю зростання, плодючістю (в сприятливих умовах потомство становить 1500 особин на рік), тривалістю життя до 16 років. В умовах вермикультури один черв'як відкладає до 70 яєць на рік, з кожного виводиться від 2 до 20 нащадків. Щільність заселення черв'яків досягає в середньому 120 особин/м², а біомаса – 50 г/м² (за маси тіла одного черв'яка 0,5–1,5 г). Тривалість компостування – 1–3 місяці, в залежності від виду органічних відходів. На третьому етапі дощові черв'яки відокремлюються від субстрату, вермикомпост висушується та використовується, при цьому біомаса черв'яків теж використовується як цінна кормова добавка. Під час риття ходів за добу черв'як пропускає через себе кількість ґрунту (відходів), що дорівнює його масі. При активній діяльності в році близько 200 днів загальна кількість переробленої маси складе 400–600 т/га. При переробці маси ґрунту черв'яки не тільки інтенсифікують процеси розкладання органіки, а й вибірково впливають на

мікрофлору. Виділені ними антибіотики негативно впливають на патогенну мікрофлору. Органічна маса, в якій мешкають дощові черв'яки, втрачає неприємний запах розкладання відходів, знезаражується, стає гранульованою і грудкуватою, що дуже важливо для обробки рослин, і набуває приємний запах землі. Метод переробки органічних відходів за допомогою черв'яків актуальний тим, що в ньому не застосовуються хімічні реагенти, відповідно не постає необхідність в додаткових технологічних процесах і переробці побічних продуктів. Крім того, в процесі переробки відходів дощовими черв'яками виключено забруднення навколишнього середовища. Фундаментальні розробки по вермикомпостуванню органічних відходів і успішний практичний досвід дають змогу сформулювати загальні методичні підходи та вимоги до організації вермикомпостування в промислових масштабах. У загальному вигляді ці вимоги зводяться до наступного: успішне використання дощових черв'яків у процесах переробки органічних відходів у промислових масштабах можливе при умові створення для них оптимальних умов, які відповідають біологічним потребам виду. До основних факторів, що визначають не просто виживання черв'яків, а й стимулюють їх життєдіяльність, відносяться: якість вихідного субстрату, температура, наявність кисню, вологість субстрату. Актуальними є проведення досліджень з переробки органічних відходів за допомогою вермикультури з метою отримання необхідної інформації по підборі технологій, визначення параметрів ведення процесу, оптимізації кількісного виходу вермикомпосту і досягнення його заданої якості. З досвіду фахівців біотехнології відомо, що органічна речовина, яка підлягає вермикультивуванню, повинна містити легкозасвоювані вуглеводи та клітковину у кількості не менше 20–25 %. Опале листя містить значну кількість біополімерів, зокрема вуглеводів (клітковина, легкозброджувані вуглеводи, крохмаль та інші біологічно активні речовини), які можуть слугувати поживним середовищем. Одним із напрямків роботи щодо утилізації опалого листя є використання його як складової частини поживного середовища для вермикультивування. Вермикультура – це популяція земляних

черв'яків (*vermis* (лат.) – черв'як) разом із супутніми мікроорганізмами, нижчими грибами, найпростішими, комахами у органічному субстраті, який служить їм середовищем перебування та їжі. У вермикультурі можна використати аборигенні види черв'яків, які поселяються у компості при компостуванні на відкритому ґрунті або селекційовані штами та гібриди черв'яків. В основному, використовують види *Eisenia fetida*, *Lumbricus rubellus*, але і *Lumbricus terrestris* та інші види можна застосувати для мінералізації органічних решток після їх закопування у ґрунт. Під назвою земляні, або дощові черв'яки, розуміють різні види, що відносяться до сімейства *Lumbricidae* (*Lumbricus*, *Eisenia*, *Allolobophora*), класу малощетинкових (*Oligochaeta*), підтипу пояскових (*Clitellata*), типу кільчастих (*Annelida*).

Найбільш широко використовується гнойовий (компостний) черв'як *E. fetida* та червоний каліфорнійський черв *Eisenia andrei* – порівняно невеликий вид довжиною 6–10 см (*Eisenia fetida*) та 8–22 см (*Eisenia andrei*). *E. fetida* відповідає смугастій морфі, при цьому область навколо міжсегментарного жолобка не має пігментації і виглядає блідою або жовтою; отже, загальні назви дощового черв'яка «тигровий черв'як»; тоді як *E. andrei*, звичайний «червоний» черв'як.

E. andrei широко розповсюджений у світі, в тому числі в Україні. Забарвлення його сегментів червоне або червоно-коричнєве, з більш світлими бороздками, які розділяють сегменти. У природних умовах кожна статевозріла особина *E. andrei* дає щотижня 1–2 кокони, із яких приблизно через 3 тижні виводиться від 2 до 20 ювенільних особин, із яких виживає в середньому 4. Показники для *E. andrei* дещо вищі. Через 3 місяці настає їх статева зрілість. У середньому за рік 1 черв'як дає 200–400 особин потомства. Молоді особини при досягненні статевої зрілості мають масу до 0,5 г. Дорослі особини живуть 10–15 років, сягаючи в довжину до 8–10 см при масі до 1,0 г.

В 1969 р. в США в штаті Каліфорнія було виведено гібрид гнійного черв'яка *E. fetida*, що одержав назву червоного каліфорнійського черв'яка (ЧКЧ,

Eisenia fetida red hybrid of California). Він характеризується високою інтенсивністю живлення та швидкістю утилізації субстратів – за сприятливих умов органічні відходи переробляються за 1–2 місяці; швидким статевим дозріванням (6–8 неділь), високим рівнем плодючості (відкладає до 10 коконів у неділю, в рік – до 70 коконів з врахуванням циклу розмноження). Важлива особливість ЧКЧ – втрата інстинкту залишати місце проживання при несприятливих умовах середовища. Тому його можна культивувати в грядках під відкритим небом без ризику втратити популяцію. Він добре розмножується у неволі на відходах різного походження – всіх видах гною, соломі, макулатурі, опалому листі, побутовому смітті. Це найбільш розповсюджений культивований вид у світі, що застосовується для вермикомпостування відходів та отримання біодобрих.

Недоліком ЧКЧ є – його тропічне походження і, як наслідок, теплолюбність. Тому в умовах помірної кліматичної зони, характерної для України, його можна вирощувати в більшості випадках тільки у приміщеннях, теплицях. На жаль, часто ЧКЧ, якого рекламують та продають в Україні, насправді таким не являється. Загалом, тривалість всього процесу складає 2–3 роки. Крім того, внаслідок недотримання умов технології та правил ветеринарно-санітарного контролю, більшість дощових черв'яків місцевого походження уражено нематодами – круглими червами-паразитами, багато видів яких фітопатогенні для сільськогосподарських культур (картоплі, буряка, моркви тощо) та знижують їх врожайність. Боротьба з нематодами надзвичайно складна та малоефективна. Тому слід дуже зважено підходити до вибору маточного поголів'я ЧКЧ. Культури *E. fetida* відносно невимогливі до живлення. Найкраще вони розмножуються на органічних субстратах, які попередньо пройшли мікробіологічне компостування. Деякі лінії можуть успішно розмножуватися на субстратах, що містять свіжий гній великої рогатої худоби, коней, свиней, птиці, а також сапропель, осад стічних вод. При вирощуванні на відходах за оптимальних умов (температура субстрату 22 °С, вологість 75 %, рН 7,0) цикл розвитку черв'яків триває 160 діб.

Протягом року вони проходять два цикли розмноження та збільшують свою чисельність більш ніж у 1000 разів.

Матеріали, обладнання та реактиви

Контейнер для проведення компостування, ніж, лопатки, ґрунт мінеральний, вермикультура, відходи в якості органічного субстрату (побутові відходи, відходи харчової промисловості, осади промислових стічних вод).

Хід роботи

Кормом для черв'яків є різні відходи, які пройшли процес ферментації. Існують такі вимоги до вихідного органічного субстрату (відходів) для одержання якісного корму для черв'яків: вологість 70–80 %, рН 6,8–7,2, достатня кількість целюлози (20–25 %), вміст оксидів заліза не більше 10 %, відсутність твердих частин – металевих, дерев'яних, камінців, скла тощо.

Для проведення ферментації 50 г відходів розміщують в ґрунті та засипають шаром землі зверху. В протокол записують масу землі. В умовах доступу води і кисню та під впливом мікроорганізмів-аеробів, які є на субстраті (грибів, актиноміцетів, бактерій) і також додаються окремо для пришвидшення процесів, органічні відходи розкладаються.

У результаті гідролітичного розщеплення високомолекулярних сполук (білків, жирів, вуглеводів) утворюються проміжні й кінцеві низькомолекулярні продукти, які споживаються черв'яками. Процес ферментації субстрату проходить у двох температурних режимах. Після закладки субстрату температура всередині підвищується до термофільних величин (50–60 °C), а потім зменшується до мезофільних значень (25–35 °C) і через декілька місяців знижується до температури довкілля. Стабільність цього показника свідчить про закінчення ферментації і придатності субстрату для годівлі черв'яків. Біотермічні процеси, які відбуваються при температурі 50–60 °C, згубно діють на патогенну мікрофлору, яйця і личинки гельмінтів, насіння бур'янів, а сечовина і гіпурова кислота, які

містяться в гноєві, розкладаються до аміаку, двоокису вуглецю і води. Надмірну кислотність нейтралізують шляхом додавання необхідної кількості вапна, крейди, дефекату, сланцевої золи, мергелю й інших речовин, які є одночасно й мінеральними домішками. Високу лужність усувають надмірним поливом. Для забезпечення достатньої аерації субстрату його ретельно перемішують.

Контейнер заселяють черв'яками разом з компостом, в якому вони знаходилися. Їх рівномірно розподіляють по поверхні. Заселення проводиться у денні години, оскільки черв'яки бояться світла і швидко занурюються у субстрат. Після цього поверхня ложа зволожується і покривається соломною або мішковиною.

В кожену секцію заселяють приблизно 5 особин однакового розміру, попередньо їх зважуючі. Пересихання тіла черв'яків може призвести до загибелі особин. Тому після закладки, субстрат зволожують 1 раз на день протягом чотирьох днів, а потім щотижнево протягом 30 діб. Підтримувати вологість необхідно в межах 70–80 %, а вносити органічний субстрат необхідно не рідше, ніж один раз на два тижні.

Завдання. Кожна бригада підбирає своє співвідношення різних видів відходів для дослідження та вносить до лабораторного журналу дату, вид та масу субстрату. По завершенню вермикомпостування необхідно ретельно перемішати отриманий компост і провести його аналіз див. лабораторні 1–3.

Контрольні запитання

1. Які параметри середовища (температура, вологість, кислотність) є оптимальними для життєдіяльності вермикультури
2. Як порушення параметрів середовища впливає на ефективність переробки відходів.
3. Які типи органічних відходів є придатними для вермикультивування, а які речовини категорично заборонено додавати у вермикомпостер і чому?

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Якість ґрунту. Відбирання проб : ДСТУ 4287:2004. [Чинний від 2005-07-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 10 с. (Національний стандарт України)
2. Якість ґрунту. Визначення активної кислотності : ДСТУ 7862:2015. [Чинний від 2016-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 11 с. (Національний стандарт України).
3. Ґрунти. Методи визначення вмісту органічної речовини : ДСТУ Б В.2.1-16:2009. [Чинний від 2010-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 26 с. (Державний стандарт України)
4. Якість ґрунту. Визначання активності іонів калію, амонію, нітрату і хлору потенціометричним методом : ДСТУ 4725:2007. [Чинний від 2008-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 14 с. (Державний стандарт України)
5. Господаренко Г. П. Агрохімічний аналіз : підручник. Київ : Сік Груп Україна, 2017. 488 с.
6. Екобіотехнологія та біоенергетика. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ., які навчаються за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія», освітньою програмою «Біотехнології» та 163 «Біомедична інженерія» освітньою програмою «Регенеративна та біофармацевтична інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. Ю. Козар, Л. С. Зубченко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 63 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42547> (дата звернення: 03.09.2026).
7. Vermicomposting: Sustainable Tool for Agriculture Environs / R. A. Mir et al. Microbiota and Biofertilizers. Cham, 2020. P. 57–67. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3_4 (дата звернення: 03.09.2026).

ДОДАТОК

Гідролітична кислотність за значеннями рН суспензії, моль на 100 г ґрунту

рН суспензії	Соті частки рН									
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
6	17,3	16,9	16,6	16,2	15,8	15,5	15,2	14,9	14,5	14,2
6,1	13,9	13,6	13,3	13,1	12,8	12,5	12,2	12,0	11,7	11,5
6,2	11,2	11,0	11,0	10,8	10,5	10,3	10,1	9,84	9,64	9,23
6,3	9,04	8,83	8,65	8,45	8,28	8,11	7,92	7,76	7,59	7,41
6,4	7,28	7,11	6,97	6,81	6,69	6,53	6,38	6,25	6,11	5,98
6,5	5,85	5,73	5,61	5,48	5,37	5,25	5,14	5,03	4,92	4,82
6,6	4,71	4,61	4,52	4,42	4,32	4,23	4,14	4,05	3,96	3,82
6,7	3,79	3,71	3,63	3,56	3,48	3,4	3,33	3,26	3,19	3,13
6,8	3,05	2,99	2,92	2,86	2,8	2,74	2,68	2,62	2,57	2,52
6,9	2,46	2,41	2,35	2,31	2,25	2,21	2,16	2,11	2,07	2,02
7,0	1,98	1,94	1,9	1,86	1,82	1,78	1,74	1,70	1,67	1,63
7,1	1,60	1,56	1,53	1,5	1,46	1,43	1,4	1,37	1,34	1,31
7,2	1,28	1,26	1,23	1,2	1,18	1,15	1,13	1,1	1,08	1,06
7,3	1,03	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85
7,4	0,83	0,81	0,8	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,7	0,68
7,5	0,67	0,66	0,64	0,63	0,61	0,6	0,59	0,58	0,56	0,55
7,6	0,54	0,53	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44
7,7	0,43	0,43	0,42	0,41	0,4	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36
7,8	0,35	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,31	0,3	0,29	0,29
7,9	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23
8,0	Менше ніж 0,23									

Навчальне видання

Жукова Вероніка Сергіївна
Колтишева Діна Сергіївна

БІОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ

Лабораторний практикум

Навчальний посібник

В авторській редакції
Технічне редагування *Людмили Котовської*

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056
<https://kpi.ua>
Реєстр. № НП 25/26-428.
Формат 60×84^{1/8}. Гарнітура Times.
1 файл (1,89 Мб). Обл.-вид. арк. 2,11. Поз. 26-1-2-018.
Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
м. Київ, 03056
тел. (044) 204-81-78