МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет фізико-математичної та природничої освіти
Кафедра біології та хімії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

освітній ступінь бакалавр

на тему: **«ВИКОРИСТАННЯ ПРИКЛАДУ ВПЛИВУ ІНОКУЛЯЦІЇ ТА МІКРОДОБРИВ НА РІСТ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗНАНЬ УЧНІВ ПРО ФАКТОРИ СЕРЕДОВИЩА У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ БІОЛОГІЇ»**

Виконав: студент IV курсу, 49 групи
Спеціальність: Середня освіта (Біологія та здоров’я людини)
Освітня програма: Середня освіта (Біологія та здоров’я людини). Психологія
Горб Артем Миколайович
Керівник: доц., к.с.-г.н., Заболотна А.В.
Рецензент:
к.с.-г.н., викл., ЧНУ ім. Б.Хмельницького
Коробко О.О.

Умань-2026

ЗМІСТ

ВСТУП 3

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ЗНАНЬ ПРО ФАКТОРИ СЕРЕДОВИЩА У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ БІОЛОГІЇ (огляд літератури) 7

1.1 Поняття про фактори середовища та їх вплив на живі організми 7

1.2 Особливості вивчення факторів середовища у шкільному курсі біології 11

1.3 Методичні підходи до формування знань про фактори середовища 14

РОЗДІЛ 2. БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВПЛИВУ ІНОКУЛЯЦІЇ ТА МІКРОДОБРИВ ЯК ЧИННИКІВ СЕРЕДОВИЩА НА РІСТ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ 23

2.1 Біологічні особливості сої як об’єкта дослідження 23

2.2 Інокуляція як біотичний чинник середовища 25

2.3 Мікродобрива як абіотичний чинник середовища 29

2.4 Впливу чинників середовища на ріст і продуктивність сої 32

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНОКУЛЯЦІЇ ТА МІКРОДОБРИВ НА СОЮ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗНАНЬ ПРО ЧИННИКИ СЕРЕДОВИЩА 36

3.1 Теоретичне обґрунтування та дидактичний потенціал методики. Проблема формування екологічних знань у шкільному курсі біології 36

3.2 Зміст та організація проєктної діяльності учнів. Паспорт навчального проєкту 40

3.3 Апробація методики та оцінювання її ефективності 46

ВИСНОВКИ 51

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 55

ВСТУП

Українська шкільна освіта нині активно змінюється. Концепція Нової української школи та оновлені Державні стандарти базової середньої освіти ставлять перед учителями нові завдання: навчити учнів не просто запам’ятовувати інформацію, а самостійно її шукати, аналізувати й використовувати на практиці. Для біології це особливо важливо, адже саме тут школярі вивчають, як живі організми взаємодіють з навколишнім середовищем, і ці знання потрібні їм не лише для іспитів, а й для розуміння реального світу.

Тема «Фактри середовища та їх вплив на живі організми» є однією з ключових у курсі біології для 7-9 класів. Вона пов’язує між собою знання з екології, хімії, фізіології та агрономії, тобто дозволяє побачити живу природу як єдину систему. Однак на практиці більшість учнів засвоює цей матеріал поверхово: вони можуть перелічити групи чинників і навести визначення, але не вміють пояснити, як саме ці чинники діють, і тим більше застосувати знання у нових, незнайомих ситуаціях.

Щоб подолати цю проблему, потрібно перейти від звичного пояснення матеріалу до активної навчальної роботи: дослідів, проєктів, аналізу реальних ситуацій. Одним із найкращих варіантів для вивчення чинників середовища є польовий агробіологічний дослід із вирощування сої (*Glycine max (L.) Merr*.). Обробка насіння бактеріями-ризобіями та мікроелементними добривами дозволяє учням на практиці побачити, як взаємодіють біотичні й абіотичні чинники, перевірити закон мінімуму Лібіха і зрозуміти, що буває, коли кілька чинників діють разом.

Актуальність теми. Нинішні навчальні програми вимагають, щоб учні не просто знали про чинники середовища, а вміли застосовувати ці знання: пояснювати явища, аналізувати дані, робити висновки. Традиційна методика з цим справляється недостатньо ефективно. При цьому дослід із соєю є доступним, наочним та змістовно багатим педагогічним інструментом, який у науково-

методичній літературі залишається майже не описаним. Тому є реальна потреба в розробленні та перевірці відповідної методики навчання.

Мета роботи – розробка й перевірка на практиці методики навчального проєкту на основі агробіологічного досліду з вирощування сої, яка допоможе учням 8-го класу глибше зрозуміти тему чинників середовища.

Для досягнення цієї мети потрібно вирішити такі **завдання**:

1. Вивчити наукову та методичну літературу, присвячену чинникам середовища та підходам до їх вивчення у школі.

2. Пояснити, як ризобіальна інокуляція (біотичний чинник) і мікроелементні добрива (абіотичний чинник) впливають на ріст і врожайність сої.

3. Розробити методику навчального проєкту «Вплив середовищних чинників на ріст і врожайність сої» для позаурочної роботи учнів 8-го класу – від підготовки до досліду і його проведення до аналізу результатів та презентації.

4. Апробувати розроблену методику в реальних умовах і оцінити її ефективність за допомогою порівняльної діагностики знань учнів до і після проєкту.

5. Сформулювати методичні рекомендації для вчителів біології, які захочуть використати цей підхід у своїй роботі.

Об’єкт дослідження – процес формування знань про чинники середовища в учнів 8-го класу у шкільному курсі біології.

Предмет дослідження – методика навчального дослідницького проєкту на основі польового агробіологічного досліду з вирощування сої (*Glycine max*) як засобу формування знань про біотичні та абіотичні чинники середовища.

Методи дослідження. У роботі використано кілька груп методів. Теоретичні методи: аналіз і узагальнення наукової та навчально-методичної літератури, порівняння різних педагогічних підходів, розробка моделі навчального проєкту. Емпіричні методи: спостереження за роботою учнів під час досліду; чотирьохваріантний польовий агробіологічний експеримент (без обробки, з інокуляцією ризобіями, з мікроелементними добривами та поєднана обробка); письмова діагностика знань учнів до і після проєкту. Для обробки

результатів використовувались кількісний аналіз агробіологічних показників, порівняння результатів двох груп учнів, а також таблиці та графіки.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені матеріали проєкту «Вплив середовищних чинників на ріст і врожайність сої» можна відразу використовувати в роботі шкільних агробіологічних гуртків і на екологічних факультативах для 8-9 класів. Учитель отримує готовий набір інструментів: схему досліду, бланки щоденників спостережень, порівняльні таблиці й аналітичні завдання. Усе це можна пристосувати до умов конкретної школи без великих витрат. Результати досліду можна використовувати і як навчальний кейс на звичайних уроках – для аналізу, побудови діаграм і формулювання висновків навіть тоді, коли провести реальний дослід неможливо. Практичні рекомендації, підготовлені за підсумками апробації, допоможуть учителям організувати дослідницьку роботу учнів в умовах Нової української школи.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. Основні положення, що викладені у кваліфікаційній роботі, доповідались і обговорювались на засіданнях кафедри біології та здоров'я людини Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини (2022-2024 рр.); Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Природничі науки в системі освіти». Умань. 2025. - (м. Умань, 2025).

Публікації. Основні положення кваліфікаційної роботи висвітлено у тез доповідей на наукових конференціях.

1. Горб А. М. Практичні методи формування екологічних знань у школі: дослід з вирощування сої як навчальний приклад. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Природничі науки в системі освіти». Умань. 2026. С. 109-111. Режим доступу URL : https://surl.li/omhcmk

Структура роботи. Кваліфікаційну роботу викладено на 58 сторінках друкованого тексту, в т. ч. – 54 основного тексту, включаючи 3 таблиць. Вона складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел наукової літератури, що нараховує 40 найменування, з них 3 латиницею.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ЗНАНЬ ПРО ФАКТОРИ СЕРЕДОВИЩА У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ БІОЛОГІЇ

(огляд літератури)

1.1. Поняття про фактори середовища та їх вплив на живі організми

Розуміння взаємозв'язків живих організмів із довкіллям є фундаментальним аспектом шкільного курсу біології. Аналіз впливу факторів навколишнього середовища дозволяє учням отримати цілісне бачення природи, розкрити принципи функціонування екосистем і глибше осмислити роль людства в біосфері. У науковій та освітній сфері це поняття має важливе значення для роз'яснення механізмів адаптації організмів, їхнього існування та еволюційного розвитку [12].

Фактори середовища включають будь-які аспекти чи характеристики зовнішнього світу, що впливають на живі організми, безпосередньо чи опосередковано визначаючи їхню життєдіяльність, ареал поширення і чисельність популяцій. До них належать як матеріальні компоненти довкілля – вода, повітря, ґрунт, так і енергетичні чинники, такі як світло й температура. Окрім того, значну роль відіграють біологічні взаємодії між організмами, які створюють складну і багатогранну структуру життя на Землі [2, 4].

В екології вплив навколишнього середовища вважається ключовим чинником, що визначає структуру популяцій, біоценозів та екосистем. Ці впливи відіграють важливу роль у формуванні екологічних ніш і встановленні меж поширення організмів. У шкільних курсах біології це поняття виконує інтеграційну функцію, об'єднуючи знання про процеси на різних рівнях організації – від клітинного до надорганізмового.

Важливо відзначити, що дія факторів навколишнього середовища є динамічною: вона змінюється залежно від часу, місця і навіть індивідуальних

характеристик організмів. Наприклад, певні температурні умови можуть бути ідеальними для одного виду, але згубними для іншого.

У наукових текстах використовуються два терміни – «чинники середовища» і «фактори середовища». Хоча за змістом вони є синонімами, їх походження різне. Термін «фактор» має латинське коріння (factor – «той, що діє»), тоді як «чинник» походить з української мови і асоціюється з дією або впливом.

В українській освітній та науковій практиці віддається перевага терміну «чинники середовища», оскільки він відповідає мовним нормам і офіційно використовується у навчальних програмах і підручниках. Втім, у наукових текстах можливе взаємозамінне використання обох термінів [10].

Для класифікації різноманітних природних впливів фактори середовища поділяють на три основні групи: абіотичні, біотичні та антропогенні.

Абіотичні чинники включають сукупність фізичних і хімічних умов неживої природи, які впливають на організми. Сюди входять кліматичні показники, такі як температура, освітленість, вологість, атмосферний тиск, вітер, а також характеристики ґрунту – його структура, хімічний склад, кислотність. В цю категорію входять гідрологічні показники, наприклад, солоність води, течії, глибина, а також інші фізико-хімічні аспекти навколишнього середовища. Вони відіграють важливу роль у розподілі організмів по планеті. Наприклад, температура впливає на швидкість біохімічних реакцій, тоді як світло є необхідним для фотосинтезу в рослин. Вологість впливає на водний баланс живих істот; нестача води може уповільнювати життєві процеси або навіть призводити до загибелі організмів.

Біотичні чинники охоплюють усі види взаємодії між живими організмами, які можуть відбуватися як між особинами одного виду (внутрішньовидові взаємозв’язки), так і між представниками різних видів (міжвидові взаємодії). Основні форми таких взаємовідносин включають конкуренцію, хижацтво, паразитизм, мутуалізм і коменсалізм.

Ці чинники відіграють важливу роль у структурі угруповань та регуляції

чисельності популяцій. Наприклад, конкуренція за ресурси може стримувати ріст популяції певного виду, тоді як партнерські взаємозв'язки, такі як мутуалізм, забезпечують взаємну вигоду та сприяють виживанню обох сторін.

Окрім природних чинників, значний вплив на довкілля має діяльність людини, яка формує антропогенні фактори. До них належать як прямі дії (вирубування лісів, забруднення повітря й води, полювання), так і непрямі наслідки (зміна клімату, перетворення природних ландшафтів, привнесення нових видів до екосистем). Людська діяльність сьогодні має глобальний масштаб і є одним із ключових факторів змін у біосфері. Її наслідки можуть бути як негативними (зменшення біорізноманіття, деградація екосистем), так і позитивними (створення заповідних територій, відновлення рідкісних видів) [17].

Організми реагують на навколишнє середовище згідно з певними природними законами, що дозволяє передбачати їх поведінку та адаптацію. Одним з таких законів є закон мінімуму Юстуса Лібіха [26]. Він пояснює, що життєдіяльність організму залежить від забезпечення необхідними ресурсами, причому найбільш обмежуючим є той ресурс, якого найменше порівняно з потребами організму. Навіть якщо решта умов є оптимальними, нестача одного необхідного фактору може уповільнити або навіть повністю зупинити розвиток. Наприклад, недостатнє забезпечення рослин певним мінеральним елементом у ґрунті може гальмувати їх ріст, навіть за наявності достатньої кількості світла і води.

Закон толерантності, запропонований Віктором Шелфордом, розширює поняття правила мінімуму. Він стверджує, що кожен організм має певні межі стійкості до впливу факторів навколишнього середовища, які охоплюють мінімальні, максимальні та оптимальні значення [29]. Ідеальні умови для існування виникають у межах оптимуму, де біологічні процеси відбуваються найбільш ефективно. Вихід параметрів за ці межі може порушити нормальне функціонування організму, а в крайніх випадках призвести до його загибелі.

У природному середовищі вплив різних екологічних факторів

здійснюється одночасно і в комплексі. Їх сукупна дія може взаємно посилювати чи послаблювати ефект кожного окремого фактора. Наприклад, вплив температури на організм помітно залежить від рівня вологості або інтенсивності освітлення. Ця взаємозалежність ускладнює передбачення реакцій організмів і зумовлює необхідність детального аналізу екологічних умов.

Фактори навколишнього середовища значною мірою визначають перебіг основних біологічних процесів, зокрема таких, як ріст, розвиток і продуктивність організмів.

Процес росту організму передбачає збільшення його маси та розмірів і значно залежить від доступних ресурсів, таких як вода, поживні речовини, світло та температура середовища. Несприятливі умови можуть сповільнювати ріст або навіть повністю припиняти його. Наприклад, зниження температури зменшує активність ферментів, що уповільнює обмінні процеси й негативно впливає на ріст .

Розвиток організму полягає у послідовних якісних змінах протягом його життя. Цей процес охоплює спеціалізацію клітин, утворення тканин, органів і систем, а також перехід між різними стадіями життєвого циклу. Умови довкілля суттєво впливають на темпи й особливості розвитку, викликаючи адаптивні реакції організму, такі як сезонна зміна поведінки або фізіологічна перебудова [14].

Продуктивність організмів та популяцій визначається їхньою здатністю створювати органічну речовину. У рослин цей показник значною мірою залежить від ефективності фотосинтезу, що, у свою чергу, визначається такими факторами, як рівень освітленості, температурні умови, концентрація вуглекислого газу в атмосфері та рівень вологості. Для тварин продуктивність залежить перш за все від доступності їжі, особливостей середовища існування і впливу конкуренції з іншими видами.

Середовищні чинники мають вирішальне значення для підтримання життєдіяльності організмів і функціонування екосистем. Їхнє вивчення в рамках шкільної програми з біології допомагає формувати науково обґрунтований

світогляд, розвивати екологічне мислення та усвідомлювати необхідність відповідального ставлення до природи з боку людства.

1.2. Особливості вивчення факторів середовища у шкільному курсі біології

Вивчення впливу факторів середовища в шкільному курсі біології охоплює основні етапи середньої освіти, приділяючи особливу увагу 7–9 класам. Згідно з чинними навчальними програмами, ця тема займає значне місце у структурі інтегрованого курсу «Біологія» та пов’язаних екологічних модулів. Підходи до навчання цієї тематики враховують вікові особливості учнів, їхній попередній досвід і наявний рівень знань із природничих наук, що дозволяє поступово розширювати матеріал: від ознайомлення з окремими видами факторів до глибшого розуміння їхнього сукупного впливу на живу природу [3, 19].

Аналіз навчальних програм для 7–9 класів демонструє, що ця тематика розглядається в межах формування базових екологічних знань, які є основою для осягнення природних закономірностей. У 7 класі учні вперше дізнаються про поняття середовища існування та основні групи факторів, що його визначають. У наступних класах, 8–9, цей матеріал поглиблюється через вивчення адаптацій організмів до різних умов, взаємодії живих і неживих компонентів природи, а також через аналіз впливу людської діяльності на екосистеми. Екологічний компонент навчального плану не обмежується теоретичними знаннями – він спрямований також на розвиток практичних умінь: спостереження за природними явищами, аналіз даних і встановлення взаємозв’язків між елементами екосистем.

Очікувані результати навчання з теми чинників середовища охоплюють кілька ключових доволі взаємопов’язаних аспектів. Основним завданням є забезпечення того, щоб учні зрозуміли, що таке "чинники середовища", знали їхнє походження, природу та вплив на живі організми. Вони повинні вміти класифікувати ці чинники, розрізняти абіотичні, біотичні й антропогенні

компоненти, давати їм характеристику та наводити приклади з різних екосистем. Також важливо, щоб учні могли аналізувати взаємозв’язки між організмами та їхнім середовищем існування, пояснювати, як різні чинники впливають на формування адаптацій живих істот, а також на географічне поширення та чисельність популяцій. Досягнення цих результатів передбачає активну участь у розв’язанні аналітичних задач, розвиток пізнавальної активності та здійснення дослідницької діяльності.

Однак практика свідчить про виникнення типових труднощів у засвоєнні цього матеріалу. Частою проблемою є формальне запам’ятовування інформації: учні часто лише відтворюють визначення або переліки чинників, не повною мірою усвідомлюючи їх суть. Це призводить до того, що їм стає важко пояснити зміст вивчених явищ або застосувати отримані знання у нових та нетипових ситуаціях. Така поверхневість у засвоєнні матеріалу свідчить про недостатнє розуміння ключових біологічних закономірностей.

Ще одна поширена проблема – це нерозуміння взаємозв’язків між різними видами чинників середовища. Учні часто розглядають абіотичні, біотичні та антропогенні впливи як ізольовані явища, які не стосуються одне одного. Водночас у природних умовах усі ці чинники тісно переплітаються і перебувають у постійній взаємодії. Наприклад, зміна температури як абіотичного фактора може викликати зміни у складі біоценозу, що зі свого боку може позначитися на господарській діяльності людини, тобто проявитися через антропогенні наслідки. Нездатність розпізнати такі взаємозв’язки заважає учням сформувати цілісне екологічне мислення.

Крім того, часто виникають труднощі з усвідомленням причинно-наслідкових зв’язків між змінами умов середовища та реакціями живих організмів. Учням буває нелегко визначити, що є причиною, а що – наслідком. Побудова логічних ланцюгів від дії певного чинника до відповідної реакції організму, популяції або екосистеми стає складним завданням для багатьох із них.

Труднощі, що виникають у процесі навчання, мають як педагогічні, так і

психологічні причини. З одного боку, під час подання навчального матеріалу часто акцент робиться на теоретичному аспекті, при цьому недостатньо використовуються практичні приклади та реальні ситуації з життя учнів. Це спричиняє розрив між здобутими знаннями та їх застосуванням у повсякденному житті, що негативно впливає на мотивацію до навчання. З іншого боку, підлітки середнього шкільного віку через особливості мислення краще сприймають інформацію, подану у формі наочно-образних матеріалів. Через це абстрактні поняття стають складними для засвоєння, якщо вони не доповнені візуальним супроводом чи практичними завданнями. Враховуючи ці чинники, ефективне засвоєння теми про вплив факторів навколишнього середовища потребує активного залучення до навчального процесу методів досліджень, прикладів із природи або сільськогосподарської практики та інтеграції навчання через практичний досвід [25].

Розгляд питання впливу факторів довкілля є ключовим для формування екологічної грамотності учнів. Це включає розуміння взаємозв’язків між живими організмами та умовами їхнього існування, усвідомлення наслідків людської діяльності для природних систем та готовність приймати відповідальні рішення у повсякденному житті. Екологічна грамотність передбачає не лише засвоєння теоретичних знань, а й виховання бережливого ставлення до природи, активної позиції щодо її захисту, а також прагнення до збереження біорізноманіття й сприяння сталому розвитку суспільства. Аналіз впливу чинників середовища допомагає школярам зрозуміти причини таких проблем, як зміна клімату, забруднення водних ресурсів чи вирубування лісів, а також усвідомити загрози для існування окремих видів і цілісності екосистем.

Крім того, тема факторів середовища має значний вплив на розвиток наукового мислення учнів. Її вивчення через прикладні аспекти, такі як сільськогосподарське тестування чи природничі спостереження, сприяє формуванню важливих навичок: спостереження, побудови гіпотез, аналізу даних та обґрунтованих висновків. Цей підхід відповідає основним етапам наукового дослідження і не лише полегшує засвоєння знань, а й стимулює критичне

мислення, творчість і уміння самостійно знаходити та аналізувати інформацію, що є надзвичайно важливим у сучасному світі.

Отже, вивчення факторів середовища є дієвим засобом впровадження компетентнісного підходу в освітній процес з біології у школі. Цей підхід поєднує предметні знання, навчально-пізнавальні навички та ціннісні орієнтири, формуючи цілісну основу для підготовки учнів до активної участі в сучасному суспільстві.

1.3 Методичні підходи до формування знань про фактори середовища

Сучасна біологічна освіта в українських школах зазнає значних трансформацій, що охоплюють оновлення цілей, змісту та організації навчального процесу. Впровадження компетентнісних підходів, визначених Концепцією Нової української школи та Державним стандартом базової середньої освіти, ставить перед учителями завдання переглянути традиційні методи проведення уроків [8]. Головний акцент зсувається з простого засвоєння знань на розвиток у школярів здатності самостійно знаходити, критично аналізувати й творчо використовувати інформацію, акцентуючи увагу на формуванні почуття особистої відповідальності за прийняті рішення. У цьому контексті методика викладання такого важливого аспекту, як чинники середовища, має базуватися на залученні учнів до дослідницької й проєктної діяльності. Завдяки цьому теоретичні знання підкріплюються прикладами з реального життя, включно із завданнями природничих наук і аграрної практики.

Тема факторів середовища займає вагоме місце в шкільному курсі біології через свій міждисциплінарний характер. Вона поєднує елементи екології, фізіології, ґрунтознавства, агрономії і екологічної хімії, що відкриває широкий спектр для використання сучасних педагогічних методів. Інтегрований підхід сприяє кращому зв’язку навчального матеріалу зі щоденним життям учнів, а застосування практичних кейсів дозволяє глибше зануритися у предмет. При

виборі стратегії викладання важливо враховувати принципи науковості, практичної орієнтованості, доступності та стимулювання пізнавальної активності школярів.

Компетентнісний підхід до навчання біології є фундаментом сучасної середньої освіти. Завдяки його впровадженню центр ваги навчального процесу переміщується з суто теоретичного засвоєння матеріалу на розвиток умінь застосовувати знання у реальному житті. У шкільному курсі біології головною метою цього підходу стає формування природничо-наукової компетентності. Учні вчаться пояснювати принципи функціонування живих систем, опановують основи наукових досліджень і навчаються приймати зважені екологічні рішення.

Вивчення факторів середовища в контексті компетентнісного навчання передбачає не лише запам’ятовування класифікацій, але й глибоке проникнення в їх значення для збереження та функціонування екосистем. Наприклад, під час аналізу причин зниження врожайності певної сільськогосподарської культури учень із розвиненими природничо-науковими компетентностями здатен оцінити різноманітні чинники – від хімічних властивостей ґрунту до мікробіологічних процесів у зоні кореневої системи рослин – і запропонувати ефективні рішення проблеми. Такий підхід розвиває не лише аналітичне мислення, а й комунікативні навички. Учні здобувають досвід презентування результатів своєї роботи, аргументованого обґрунтування позиції та участі в дискусіях. Ці навички активно формуються у процесі підготовки виступів, створення дослідницьких проєктів і групових презентацій.

Невід’ємним елементом компетентнісного підходу є формування відповідального ставлення до природи, особливо у контексті аналізу антропогенних факторів та їхнього впливу на живі організми. Для успішного впровадження такого підходу важливо переосмислити роль учителя: він перестає бути виключно джерелом знань і стає фасилітатором навчального процесу та ментором для учнів. Завдання, що пропонуються в межах навчання, повинні бути проблемними, багатогранними й орієнтованими на пошук кількох рівноцінних вирішень.

Одним із найдієвіших способів формувати глибоке розуміння теми впливу екологічних факторів є застосування дослідницького підходу. Його основна ідея полягає у моделюванні процесу наукового пізнання, під час якого учні поетапно проходять усі ключові етапи: від визначення проблемного питання та постановки гіпотези до планування експерименту, збору й аналізу даних, завершуючи формулюванням аргументованих висновків.

Реалізація дослідницького підходу можлива на трьох рівнях, які розрізняються за рівнем самостійності учнів. Перший рівень – репродуктивно-дослідний – передбачає виконання лабораторних робіт за готовими інструкціями з подальшим записом отриманих результатів. Другий рівень включає часткову самостійність: учні самостійно визначають методику та ключові параметри дослідження в рамках поставленого проблемного завдання. Третій рівень, повністю дослідницький, надає школярам можливість самостійно формулювати гіпотезу, створювати план експерименту, проводити дослідження, аналізувати його результати та представляти усталені висновки. Саме цей рівень максимально наближує навчальний процес до реальних умов наукової діяльності.

Одним із наочних прикладів застосування дослідницького підходу є проведення навчального експерименту, спрямованого на дослідження впливу обробки насіння сої ризобіальними препаратами та використання мікродобрив на розвиток і продуктивність рослин. У процесі виконання таких робіт учні закладають експеримент на навчально-дослідній ділянці або в шкільному природничому куточку. У різні періоди вегетації вони здійснюють вимірювання висоти рослин, підраховують кількість азотфіксуючих бульбочок на кореневій системі, визначають масу насіння, а отримані результати порівнюють із контрольною групою. Цей підхід дозволяє наочно побачити взаємозв’язок біотичних факторів, таких як ґрунтові мікроорганізми, із абіотичними умовами мінерального живлення [30].

Особливо важливим аспектом у дослідженнях є освоєння навичок наукового документування результатів. Учні ведуть польові щоденники,

детально описують умови проведення експерименту та фіксують спостереження. Така практика не лише покращує якість виконання навчальних досліджень, а й закріплює принципи наукової доброчесності.

Не менш дієвий спосіб засвоєння знань – проєктна діяльність, яка поєднує теоретичне навчання з практичним вирішенням актуальних або максимально наближених до реальності завдань. Працюючи в групах або індивідуально, учні фокусуються на конкретній проблемі й завершують роботу публічною презентацією отриманих результатів. Від традиційних лабораторних робіт проєктний метод відрізняється більшою інтеграцією різних аспектів, відкритістю до нових ідей і спрямованістю на досягнення вимірюваного результату.

У процесі вивчення впливу факторів навколишнього середовища проєкти можуть набувати різноманітних форм. Дослідницькі проєкти зосереджуються на виконанні польових або лабораторних експериментів, під час яких розробляються висновки та практичні рекомендації. Інформаційно-аналітичні проєкти спрямовані на аналіз та узагальнення даних щодо певної екосистеми чи впливу окремих чинників на організми. Прикладні проєкти мають на меті створення конкретних рішень, зокрема оптимізацію системи живлення рослин на експериментальних ділянках або розробку стратегій підвищення біологічної активності ґрунту. Особливу цінність мають міждисциплінарні проєкти, які поєднують знання з різних галузей, що дозволяє глибше та ефективніше осягнути навчальний матеріал.

Зокрема, проєкт на тему "Вплив біопрепаратів і мікроелементів на врожайність бобових культур" покликаний навчити учнів розуміти хімічний склад і механізми дії добрив, опановувати біологічні процеси, такі як азотфіксація, враховувати кліматичні особливості регіону, а також використовувати математичні методи для аналізу отриманих результатів. Виконання такого проєкту сприяє розвитку системного мислення, комунікативних здібностей та вміння професійно презентувати результати своєї роботи.

Завершальним і водночас одним із найважливіших етапів реалізації проєкту є рефлексія – осмислене оцінювання учнями власного досвіду. Під час аналізу того, які знання вдалося засвоїти, з якими труднощами довелося зіштовхнутися та які стратегії допомогли їх подолати, школярі удосконалюють свої метакогнітивні навички, тобто здатність свідомо організовувати й управляти власним навчальним процесом. Цей етап перетворює проєктне завдання на потужний інструмент особистісного зростання кожного учня.

Окрім того, дедалі частіше у викладанні природничих дисциплін у школі застосовується метод навчальних кейсів, який походить із практики вищої та бізнес-освіти [29, 33]. Він зарекомендував себе як ефективний спосіб інтеграції теоретичних знань із реальними життєвими ситуаціями. Такий кейс зазвичай являє собою ретельно структуровану або засновану на реальних подіях ситуацію, яка містить конкретно сформульоване завдання разом із вихідними даними й умовами. Вони потребують ретельного аналізу й ухвалення обґрунтованих рішень. Робота з подібними матеріалами сприяє розвитку аналітичного мислення, вмінню виділяти ключові аспекти, будувати гіпотези та порівнювати різні шляхи вирішення поставленої задачі.

У процесі вивчення факторів навколишнього середовища доцільно розробляти прикладні кейси на основі реальних наукових досліджень або польових експериментів. Наприклад, кейс, присвячений результатам застосування ризобіальної інокуляції та обробки мікроелементами у вирощуванні сої, дозволяє наочно проаналізувати комплексну взаємодію різноманітних факторів: едафічних (структура ґрунту, його вологість і температура), біотичних (кількісний та якісний склад мікроорганізмів у ризосфері), хімічних (баланс мікроелементів) та агрокліматичних. Розглядаючи такий матеріал, учні мають змогу зрозуміти, як цілеспрямоване регулювання окремих чинників, зокрема застосування біопрепаратів і мікродобрив, впливає на фізіологічні процеси рослин і їхню продуктивність як єдиної системи. Структура такого кейсу зазвичай включає опис контексту задачі, формулювання проблеми, подання вхідних даних у вигляді таблиць чи графіків, а також набір

запитань різної складності від базових до аналітичних, узагальнювальних і таких, що стимулюють передбачення [32, 38].

Основна перевага кейс-методу полягає в створенні умов, максимально наближених до реальної дослідницької або професійної діяльності. Такий підхід залучає учнів до роботи з відкритими завданнями, які не мають єдино правильного рішення. У ході аналізу кейсу під час групових дискусій або навчальних ігор учні вчаться обґрунтовувати власну точку зору, критично мислити, оцінювати аргументи однокласників і разом шукати найбільш вагоме рішення. Це сприяє формуванню наукового способу мислення й розвитку навичок самостійного пізнання.

Очікуваними результатами засвоєння тематики факторів середовища є, насамперед, вдосконалення аналітичних здібностей. Це охоплює вміння послідовно та логічно аналізувати складні явища шляхом виокремлення їхніх складових частин, встановлення зв’язків між елементами системи й формування узагальнених висновків. У межах даної тематики це передбачає здатність оцінювати вплив різних факторів на організм, визначати схожість і відмінності реакцій різних видів у однакових умовах, тлумачити результати досліджень і з’ясовувати причинно-наслідкові взаємозв’язки між організмами та їхнім середовищем проживання.

Розвиток аналітичного мислення досягається через систематичне використання різноманітних навчальних завдань. До них належать створення порівняльних таблиць, побудова схем, які ілюструють зв’язки між різними факторами та реакціями організмів, вправи з передбачення можливих змін у довкіллі, а також завдання з визначення причинно-наслідкових зв’язків. Особливу цінність мають відкриті завдання, що стимулюють учнів самостійно робити висновки й надавати пояснення без опори на готові шаблони.

Опрацювання даних є однією з ключових компетенцій, яка формується шляхом застосування дослідницького та кейс-орієнтованого підходів. У сучасному інформаційному середовищі здатність правильно сприймати, аналізувати й критично оцінювати як кількісну, так і якісну інформацію є

важливою навичкою не лише для майбутніх науковців, але й для свідомих громадян. У межах шкільного курсу біології ці навички розвиваються через аналіз таблиць, графіків, діаграм, виконання обчислень середніх значень і відсоткових змін, пошук закономірностей і відхилень у числових даних, створення власних графічних моделей і формулювання обґрунтованих висновків на основі отриманих результатів.

Хорошим прикладом такої роботи є дослідження даних польового експерименту, присвяченого впливу різних доз молібдену та бору на висоту рослин сої та масу насіння з однієї рослини. Аналіз табличних даних, складання діаграм і порівняння експериментальних показників із контрольними варіантами дають змогу не лише глибше зрозуміти важливість мінерального живлення як фактора навколишнього середовища, а й формувати практичні навички взаємодії з науковою інформацією. Завершальним етапом цього процесу є розвиток критичного мислення, яке проявляється у здатності уникати прийняття непідтверджених тверджень, оцінювати достовірність аргументів, розмежовувати факти й теорії, а також чітко встановлювати причинно-наслідкові зв’язки, уникаючи плутанини з випадковостями.

У рамках теми факторів середовища критичне мислення школярів проявляється у їх здатності ставити під сумнів занадто поверхневі пояснення природних явищ, оцінювати достовірність та достатність доказів, а також враховувати альтернативні інтерпретації. Формування такого типу мислення стає можливим завдяки організації спеціальних ситуацій інтелектуального виклику, які включають аналіз хибних або неповних тверджень, порівняння інформації з протилежних джерел, виявлення прихованих передумов у наукових текстах і обговорення навмисно помилкових висновків. Методичні підходи до вивчення впливу факторів середовища у шкільному курсі біології вибудовують багаторівневу та інтегровану систему викладання. Компетентнісний підхід визначає загальний контекст навчального процесу, дослідницька й проєктна діяльність забезпечують активну участь учнів у засвоєнні матеріалу, кейс-метод надає теоретичним знанням практичного застосування, а спрямований розвиток

аналітичних навичок, роботи з даними та критичного мислення допомагає трансформувати отримані знання у функціональні компетенції. Поєднання цих методик перетворює вивчення екологічних факторів у процес, що не лише відповідає вимогам навчальної програми, але й формує сучасний освітній підхід, який готує учнів до усвідомленого сприйняття складного і динамічного світу живої природи [12, 31].

Проведений теоретичний аналіз дозволяє впорядкувати ключові аспекти засвоєння знань про фактори середовища в межах шкільного курсу. Фактори середовища розглядаються як фундаментальна категорія у біології та екології. Їх класифікація на абіотичні, біотичні та антропогенні групи допомагає структурувати різноманітні впливи довкілля на живі організми, пояснюючи закономірності їхнього поширення, адаптаційних механізмів і продуктивності. Закони мінімуму і толерантності проливають світло на реакції живих організмів на зміну умов середовища, що є основою для розуміння екологічних ніш і меж витривалості біологічних систем.

По-друге, шкільна програма з біології для учнів 7–9 класів поступово вибудовує систему уявлень про вплив різних факторів середовища. Спочатку учні засвоюють базові поняття, а згодом переходять до глибшого розуміння складних взаємозв’язків між живим і неживим у природі. Досягнення таких навчальних результатів, як уміння класифікувати фактори, пояснювати їхній вплив і аналізувати причинно-наслідкові зв’язки, часто ускладнюється рядом бар’єрів. Серед них – схильність до поверхового засвоєння матеріалу, недостатнє усвідомлення взаємозалежності чинників та труднощі у формуванні логічних висновків.

По-третє, успішне подолання цих викликів є можливим завдяки застосуванню активних методів навчання. Компетентнісний підхід, дослідницька й проєктна діяльність, а також використання кейс-методу сприяють залученню учнів до практичної пізнавальної роботи. Ці інструменти допомагають формувати аналітичне мислення, розвивати навички роботи з науковою інформацією і критичного оцінювання даних. Використання реальних

прикладів із природничої та аграрної сфер, наприклад, експериментів із ризобіальною інокуляцією сої чи застосування мікродобрив, наочно демонструє взаємодію біотичних і абіотичних факторів у природних умовах вирощування рослин.

Таким чином, вивчення теми впливу факторів середовища відкриває широкий потенціал для розвитку природничо-наукової грамотності учнів, виховання екологічної свідомості та формування навичок наукового мислення. Правильно обрані методи навчання в поєднанні з практичними прикладами, як-от використання мікробіологічних препаратів і мікроелементних добрив, сприяють глибокому та усвідомленому засвоєнню навчального матеріалу.

РОЗДІЛ 2
БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВПЛИВУ ІНОКУЛЯЦІЇ ТА МІКРОДОБРИВ ЯК ЧИННИКІВ СЕРЕДОВИЩА НА РІСТ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ

2.1. Біологічні особливості сої як об’єкта дослідження

Соя звичайна (*Glycine max (L.) Merr.*), однорічна рослина родини бобових (Fabaceae), посідає важливе місце серед глобально значущих сільськогосподарських культур, будучи лідером у світовому виробництві білка й олійної сировини. Дослідження її морфології, фізіології та агробіологічних особливостей широко висвітлено в працях відомих українських науковців, зокрема В. Ф. Петриченка, С. П. Іванюка, П. С. Вишневського й інших [1, 6].

Морфологія рослини має свої характерні риси. Сої притаманне прямостояче або злегка розгалужене стебло заввишки від 40 до 120 см і добре розвинена стрижнева коренева система. Центральний корінь може проникати вглиб до 1,5–2 метрів, тоді як розгалужені бічні корені переважно розташовані в межах орного шару ґрунту (0–30 см). Унікальною анатомічною особливістю кореневої системи є бульбочки – симбіотичні органи, утворені внаслідок взаємодії з азотфіксувальними мікроорганізмами роду *Bradyrhizobium* [7].

Стебло сої трав’янисте, вкрито жорсткими волосками, які варіюють за відтінком від бурого до сірого. Його забарвлення може змінюватися від звичайного зеленого до фіолетово-зеленого кольору. Залежно від архітектоніки рослини, виділяють два основні типи: детермінантний, коли термінальне суцвіття припиняє апікальний ріст, та індетермінантний, при якому вегетативний ріст триває після початку цвітіння. За інформацією В. Ф. Петриченка [1], більшість сортів сої, вирощуваних в Україні, об’єднують риси обох типів і належать до напівдетермінантної групи.

Листя сої має складну трійчасту структуру, розташовується почергово, прикріплюючись на черешках, із помітними прилистками. Листочки зазвичай овальної або ланцетоподібної форми, розміром 5–12 × 3–8 см, їхня поверхня вкрита комбінацією залозистих і простих волосків. Перед збором врожаю листя

опадає самостійно, що значно полегшує агротехнічні заходи. Квітки рослини невеликі, метеликоподібної форми, зібрані у пазушні суцвіття-кісті, у яких налічується 3–8 квіток. Соя є самозапильною культурою, причому частка перехресного запилення за допомогою комах зазвичай складає лише 0,5–1,0%.

Генеративні органи представлені прямими або трохи вигнутими бобами розміром 3–6 см завдовжки, в яких розміщені 2–3 насінини округлої, овальної чи еліпсоїдної форми. Насіння вкрите щільною оболонкою, забарвлення якої може бути жовтим, зеленим, бурим або чорним – ця характеристика залежить від сорту. Вага 1000 насінин коливається від 120 до 400 г і чинить значний вплив на структуру врожайності, як зазначають Д. М. Михайлов і О. О. Дідор.

Онтогенез сої включає кілька основних етапів: набубнявіння і проростання насіння, формування сходів, поява першого справжнього листка, гілкування, бутонізація, цвітіння, формування та ріст бобів, наливання й фізіологічне дозрівання. Тривалість вегетаційного періоду варіюється залежно від групи стиглості (0, I, II, III) у межах 90–150 діб. Проростання насіння розпочинається за температури ґрунту від 8 до 10°C, а оптимальний температурний режим становить 18–22°C. Ранні заморозки до −2°C можуть завдати непоправної шкоди сходам, а при зниженні температури до −4°C рослини майже повністю гинуть.

Соя належить до рослин короткого дня: для переходу до генеративної фази необхідне зменшення тривалості світлового дня до рівня нижче критичної позначки, зазвичай менше ніж 13 годин. Ця особливість залежить від сорту і є важливим фактором при виборі відповідного сорту для конкретної географічної широти вирощування. На думку експертів І. В. Гриценка та В. В. Лихочвора, неправильний підбір сорту через невідповідність фотоперіодичній чутливості є

однією з основних причин зниження врожайності сої у регіонах Лісостепу та Полісся.

Соя належить до С3-рослин за типом фотосинтетичного метаболізму. Ефективність її фотосинтетичної системи значною мірою залежить від листкового індексу (LAI), який в оптимальних умовах вирощування сягає 4–6 м²/м². Дослідниця С. І. Марківська зазначає, що без формування достатньої площі листкового апарату реалізувати генетичний потенціал сорту у виробництві практично неможливо.

Соя проявляє специфічні екологічні вимоги, основними з яких є високий рівень теплолюбності. Для повноцінної вегетації культура потребує накопичення суми активних температур понад 10°С у межах 2000-2800°С. Особливо чутлива вона до дефіциту вологи в критичний період онтогенезу – від фази цвітіння до формування та наливання бобів. Брак води в цей час може призвести до зниження врожайності на 30-50%. Оптимальна кількість опадів під час вегетаційного сезону складає 450-600 мм. Щодо ґрунтових умов, соя найкраще росте на пухких структурованих ґрунтах із реакцією, близькою до нейтральної або слабколужної (pH 6,5–7,2), які мають високий рівень органічної речовини. Надмірно кислий ґрунт (pH нижче 5,5) негативно впливає на розвиток симбіотичної мікрофлори і обмежує переміщення мікроелементів у ґрунтовому розчині.

Господарська значущість сої зумовлена її неперевершеним біохімічним складом насіння. Вміст сирого протеїну в насінні становить 38-48%, а сирого жиру – 18-22%. Завдяки цьому соя є незамінною сировиною для харчової та переробної промисловості. Її використовують у виробництві соєвих олії, молока, тофу, кормів для тваринництва, а також у технології виготовлення мастильних матеріалів, пластиків і біопалива. Крім того, соя має унікальну здатність збагачувати ґрунт фіксованим атмосферним азотом (до 100-300 кг N/га за сезон), що робить її важливим попередником у сівозмінах. За даними Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН, реальна врожайність цієї культури в

Україні сягає 2,0-3,5 т/га, тоді як в умовах наукових досліджень вона може досягати 5,0 т/га. [13].

2.2. Інокуляція як біотичний чинник середовища

Суть поняття та мікробіологічна основа симбіозу. У межах агробіологічної науки термін «інокуляція» (від лат. *inoculatio* – щеплення) означає цілеспрямоване введення живих корисних мікроорганізмів безпосередньо на насіння або в прикореневу зону рослин. Мета цього процесу – створити або активізувати симбіотичні асоціації. На прикладі сої інокуляція здійснюється шляхом обробки насіннєвого матеріалу або ґрунту бактеріальними препаратами, виготовленими на основі мікроорганізмів *Bradyrhizobium japonicum* та *Bradyrhizobium elkanii*, які належать до роду повільноростучих ризобій. За словами науковців В. Патика та О. Надкерничної, цей метод є одним із найекологічніших і найбільш економічно вигідних способів підвищення врожайності бобових культур.

Симбіотичний зв’язок між соєю та бульбочковими бактеріями вважається класичним прикладом мутуалістичного симбіозу, у якому обидві сторони отримують взаємну користь. Сучасна мікробіологія детально описує етапи формування такого симбіозу. Усе розпочинається з хемотаксису: ризобії спрямовуються до кореневої зони рослини (ризосфери), яка виділяє флавоноїди та ізофлавоноїди. Ці сполуки ініціюють активацію nod-генів бактерій, які синтезують Nod-фактори – ліпохітоолігосахаридні сигнальні молекули, що розпізнаються рослиною-господарем і запускають процес формування бульбочок.

Під дією Nod-факторів відбувається характерне викривлення кореневих волосків, що забезпечує утримання бактерій поблизу місця їх проникнення в тканини рослини. Далі формується інфекційний канал – трубкоподібна структура, через яку бактерії мігрують углиб кіркової паренхіми кореня. На цій стадії, під впливом цитокінінів, які синтезуються бактеріями, у клітинах перицикла і кіркової тканини активуються процеси мітозу, що призводить до

утворення зачатків бульбочок. Останній етап передбачає перетворення бактерій на бактероїди – спеціалізовані клітини, що безпосередньо відповідають за процес фіксації атмосферного азоту.

Зрілі бульбочки легко впізнати за характерним рожево-червоним забарвленням, яке зумовлене присутністю леггемоглобіну – залізовмісного гемопротеїну, структурно спорідненого з гемоглобіном тварин. Фізіологічна функція леггемоглобіну полягає в тонкому регулюванні парціального тиску кисню в тканинах бульбочок. Він забезпечує оптимальне постачання кисню бактероїдам у кількостях, достатніх для їхнього аеробного дихання, але таких, що не пригнічують активність чутливої до кисню нітрогенази. За даними Г. О. Іутинської та В. В. Волкогона [18], морфометричні характеристики бульбочок такі як їх кількість і суха маса є надійними показниками ефективності симбіотичного процесу і можуть використовуватись для відбору найбільш активних штамів інокулянтів.

Механізм фіксації азоту та живлення рослин ґрунтується на нітрогеназній реакції, що є ключовою у функціонуванні бульбочок. У цьому процесі молекулярний азот з атмосфери відновлюється до амонію, який і стає доступним для рослини у вигляді поживного елементу. Фермент нітрогеназа побудований із двох компонентів: залізовмісного білка – нітрогеназредуктази (ген nifH) – та молібдензалізовмісного каталітичного білка (гени nifD і nifK). Сумарне рівняння реакції: $N_2 + 8H^+ + 8e^- + 16\ ATP \rightarrow 2NH_3 + H_2 + 16\ ADP + 16P_i$ [22].

Аміак, утворений у процесі реакції, транспортується в клітини рослини, де включається в метаболічні процеси через GS-GOGAT-цикл (глутамінсинтетаза – глутаматсинтаза). У результаті цього утворюються глутамін і глутамат, які є

основними донорами аміногруп для синтезу інших азотовмісних сполук, таких як білки, нуклеїнові кислоти, хлорофіл і алкалоїди. Завдяки високій ефективності системи фіксації азоту рослини здатні накопичувати від 60 до 300 кг азоту на гектар за один вегетаційний сезон. Зокрема, симбіотичний азот може становити до 60–80% складу білків у насінні рослини. Окрім процесу фіксації азоту, бульбочкові бактерії синтезують широкий спектр біологічно активних речовин, включно з регуляторами росту (індолілоцтова кислота, цитокініни, гібереліни), гідролітичними ферментами (фосфатази, протеази, ауксиноксидаза), вітамінами групи В (B_1, B_2, B_{12}) та органічними кислотами різноманітного походження. Ці метаболіти стимулюють розвиток кореневої системи, покращують поглинання мінеральних елементів і підвищують здатність рослин адаптуватися до таких стресових умов, як посуха, засолення й токсичні метали. За твердженням В. Патика [21], ця багатофункціональність ризобій є основним аргументом на користь їх широкого застосування в органічному землеробстві.

Агрономічна ефективність інокуляції сої залишається предметом активного наукового вивчення, і численні дослідження демонструють її позитивний вплив на продуктивність цієї культури. Зокрема, тривалі експерименти, проведені в Інституті сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України, Інституті кормів і сільського господарства Поділля НААН і Уманському національному університеті садівництва, свідчать про суттєве підвищення урожайності сої внаслідок передпосівної інокуляції.

Результати, представлені В. Ф. Петриченком і В. П. Пацикою, підтверджують, що застосування препаратів на основі Bradyrhizobium japonicum сприяє збільшенню польової схожості насіння на 5-12%, прискорює фазові переходи розвитку рослин на 3-7 днів, стимулює ріст стебел на 8–15% і підвищує площу асиміляційної поверхні на 10-20% [9]. Це також приводить до зростання врожайності сої на 15–35% і підвищення вмісту білку в насінні на 1,5–3 відсоткових пункти.

У своїх дослідженнях Н. В. Булига та О. В. Передерій, проводячи експерименти в природно-кліматичних умовах Правобережного Лісостепу, показали, що інокуляція насіння сої препаратом ризоторфін (штам *Bradyrhizobium japonicum* 634б) дозволила забезпечити приріст урожайності на 0,35-0,48 тонни з гектара, що еквівалентно зростанню на 18-24% у порівнянні з контролем без обробки [5]. Крім того, спостерігались суттєві покращення якості врожаю: білковість зерна зросла на 1,8-2,6%, а густота бульбочок на коренях із 12-15 до 38-45 штук на рослину.

Остаточна продуктивність інокуляції істотно залежить від кількох чинників: генетичної сумісності сорту сої й штаму мікроорганізму, щільності природної популяції *Bradyrhizobium* у ґрунті, якості внесення препарату та погодних умов року вирощування культури. У випадку, коли поле раніше не використовувалося для вирощування сої і природний ризобіальний фон фактично відсутній, ефективність штучної інокуляції є найвищою. С. І. Марківська та Л. А. Гамайунова підкреслюють, що в разі повної відсутності ефективних аборигенних ризобій можливо досягти збільшення врожайності аж до 40–50% у порівнянні з необробленими посівами.

Таким чином, інокуляція насіння варто розглядати як важливий біотичний фактор аграрного середовища. Вона вводить у агрофітоценоз нові живі організми, які формують складні функціональні зв’язки з рослинністю, ґрунтовими мікроорганізмами та абіотичними компонентами ризосфери, що разом сприяє підвищенню ефективності вирощування сої.

2.3. Мікродобрива як абіотичний чинник середовища

Визначення та класифікація мікродобрив є важливим аспектом агрохімії. Ці препарати забезпечують рослини мікроелементами – хімічними сполуками, що необхідні в мінімальних кількостях (вимірювані у тисячних чи сотих частках відсотка сухої маси тканин). Незважаючи на мікроскопічну потребу в цих елементах, їхній дефіцит може спричинити серйозні функціональні розлади обміну речовин. Умови застосування мікроелементів та їх класифікацію в

контексті агрохімічної практики України дослідили А. І. Фатєєв і М. М. Мірошниченко, а також науковці Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського НААН.

У рослинництві особливе значення надається наявності таких мікроелементів, як бор (B), молібден (Mo), цинк (Zn), марганець (Mn), мідь (Cu), залізо (Fe), кобальт (Co) та нікель (Ni). Кожен із цих елементів виконує специфічні фізіологічні функції. Залізо, наприклад, утворює структурну основу гемових ферментів (каталаза, пероксидаза, цитохроми) та феродоксину, бере участь у біосинтезі хлорофілу; його нестача проявляється у хлорозі молодих листків. Молібден діє як ключовий кофактор ферментів нітрогенази й нітратредуктази, які залучені до засвоєння азоту. Цинк є компонентом понад трьохсот ферментів, зокрема карбоангідрази та алкогольдегідрогенази, і необхідний для синтезу ауксинів і правильного клітинного поділу. Марганець активує ферменти циклу трикарбонових кислот і є незамінним елементом у водоокиснювальному комплексі фотосистеми II.

Мідь виконує роль у транспортуванні електронів у фотосистемі I через пластоціанін і бере участь у роботі цитохромоксидази дихального ланцюга. Бор регулює формування клітинних стінок завдяки участі у синтезі пектинів та рамногалактуронану II, полегшує транспорт цукрів крізь мембрани й сприяє правильному дозріванню пилку. Кобальт входить до складу кобаламінових коферментів, важливих для функціонування бактероїдів бульбочкових бактерій. Нікель слугує важливим кофактором уреази, що дозволяє ефективно використовувати амонійний азот. Результати агрохімічних досліджень ґрунтів Лісостепу та Степу свідчать про найбільш поширений дефіцит молібдену, бору, цинку та марганцю.

Особливе стратегічне значення молібдену й кобальту спостерігається у живленні сої, що пояснюється їхньою ключовою участю у процесах симбіотичної азотфіксації. Молібден утворює основу MoFe-кофактора нітрогенази (молібдоптерин). Навіть незначне скорочення його концентрації в тканинах рослин може призвести до втрати ферментативної активності

нітрогенази та повного припинення азотфіксації. У свою чергу, кобальт необхідний для синтезу кобаламінових коферментів в бактероїдних клітинах, що забезпечують дію рибонуклеотидредуктази – ферменту, без якого неможливий синтез дезоксирибонуклеотидів та реплікація бактеріальної ДНК.

Польові дослідження О. М. Берднікова та О. В. Данченка свідчать, що застосування молібдату амонію в дозі 50-100 г/га сприяє підвищенню активності нітрогенази у бульбочках рослин на 35-60% і забезпечує зростання обсягу симбіотично фіксованого азоту на 20-40 кг/га. Однак кисла реакція ґрунту (pH < 6,0), за якої знижується рухливість молібдену, стає суттєвим обмежувальним фактором ефективності функціонування бульбочкового апарату, навіть за умов використання високоефективних штамів ризобій.

Мікродобрива виготовляються переважно у трьох основних формах: простих неорганічних солей (сульфати, молібдати, борати), хелатних комплексів і органо-мінеральних сполук. З практичного боку перевага надається хелатним добривам, де іони металів утворюють стійкі ковалентні зв’язки з органічними лігандами, такими як ЕДТА, ДТПА, лимонна кислота чи гумати. Хелатна форма мікродобрив суттєво знижує їх закріплення у ґрунті, забезпечуючи тривалу доступність мікроелементів для рослин.

У практиці застосовують три основні технологічні методи внесення мікродобрив: передпосівну обробку насіння (економічно найвигідніший спосіб), позакореневе підживлення у фазах бутонізації або початку цвітіння та основне внесення у ґрунт разом із мінеральними добривами. За дослідженнями Л. А. Гамайунової, позакореневі обробки хелатами молібдену, цинку та мангану на початку цвітіння сої забезпечували приріст урожайності на 0,22-0,31 т/га, що відповідало зростанню на 12-18% порівняно з контрольною групою без внесення мікроелементів.

Вплив мікродобрив на врожайність і якість насіння проявляється через кілька механізмів: активацію ферментативної діяльності, посилення фотосинтетичних процесів і синтезу асимілятів, стимуляцію симбіотичної фіксації азоту та покращення наливу зерна. У дослідженнях І. О. Шувара та В.

М. Рожка, проведених у Прикарпатті, встановлено, що спільне внесення бору, молібдену та мангану суттєво перевищує ефективність одноелементних варіантів на 0,28-0,42 т/га, тоді як приріст щодо контролю без мікродобрив становив 0,55-0,71 т/га. Крім того, вміст олії в насінні збільшувався на 1,3-1,9%, а кількість протеїну – на 1,7-2,4%.

Специфіка елементного голодування мікроелементів проявляється у різноманітних симптомах. Наприклад, дефіцит бору призводить до масового осипання квіток і зав’язей, що скорочує кількість утворених бобів на рослині. Недостатність молібдену зменшує вміст білка в рослині та порушує функціонування бульбочкового апарату. Дефіцит цинку скорочує тривалість вегетаційного періоду та ускладнює процес наливання насіння. Таким чином, мікродобрива виконують роль абіотичного чинника середовища, який впливає на рослину не через збільшення обсягу пластичних речовин, а через каталітичне регулювання біохімічних реакцій. Це принципово інша функція порівняно з макродобривами [15, 21].

2.4. Впливу чинників середовища на ріст і продуктивність сої

Зіставлення ефективності окремих заходів та їх інтегрованого застосування. Для системного аналізу впливу факторів середовища необхідно не лише досліджувати кожен із них окремо, але й порівнювати їхню ефективність та з’ясовувати характер їхньої взаємодії. Аналіз наукової літератури дозволяє зробити такий висновок: окреме застосування інокуляції в сприятливих ґрунтово-кліматичних умовах забезпечує приріст урожайності на 15-40%; використання мікродобрив без інокуляції приводить до підвищення врожаю на 8-25%; водночас їхнє поєднання може призвести до загального приросту в межах 30-50%.

Результати виробничих та стаціонарних досліджень, виконаних на дослідних базах Вінницького національного аграрного університету та Уманського національного університету садівництва, підтверджують, що максимальна врожайність та якість насіння досягаються лише при спільному

застосуванні ризобіальних інокулянтів та комплексу мікроелементних добрив. За даними Н. В. Булиги, сумісна обробка насіння ризобіями разом із молібдатом амонію і сірчанокислим кобальтом збільшила врожайність на 0,52-0,67 т/га (29-38%), тоді як використання кожного з цих засобів окремо забезпечило приріст лише на 0,2-0,31 та 0,17-0,24 т/га відповідно. Крім того, кількість бульбочок на рослині при комбінованій обробці була у 3,2-3,8 раза більшою порівняно з контролем.

Фізіологічні механізми синергізму біотичного й абіотичного факторів мають чітке молекулярно-біологічне обґрунтування. Мікроелементи, насамперед молібден і кобальт, є невід'ємними компонентами та активаторами ферментних систем бульбочкових бактерій. Молібден входить до каталітичного центру нітрогенази, тоді як кобальт є складовою частиною коферментів кобаламінового типу, які регулюють процес реплікації ДНК бактерій. Тому достатнє насичення ґрунту мікроелементами (абіотичний фактор) є обов'язковою передумовою для нормального функціонування симбіотичного апарату (біотичний фактор), так само як і зворотне явище.

Цю взаємозалежність можна пояснити за допомогою принципу лімітуючих факторів (закон мінімуму Лібіха), який стверджує, що рівень продуктивності системи визначається тим фактором, який перебуває в найбільшому дефіциті. Так, навіть за наявності активного штаму Bradyrhizobium japonicum та сприятливих водно-температурних умов нестача молібдену у ґрунті унеможливлює функціонування нітрогенази, що перешкоджає формуванню симбіозу. Водночас достатня кількість молібдену за відсутності ефективних інокулянтів також не забезпечує приросту врожайності через відсутність активного ферментного апарату. Усунення відразу кількох обмежувальних факторів створює синергічний ефект.

Спільні регулятори ефективності факторів навколишнього середовища мають визначальний вплив на їх взаємодію. Одним із ключових аспектів є той факт, що низка абіотичних умов одночасно впливають як на інокуляцію, так і на мікроелементне живлення рослин. Наприклад, рівень кислотності ґрунту (pH)

регулює рухливість мікроелементів (за pH нижче 6,0 помітно знижується доступність таких елементів, як Mo, B і Cu), а також забезпечує виживання бульбочкових бактерій у ризосфері. Найоптимальніший рівень pH для *Bradyrhizobium* становить 6,5-7,5. Науковець Г. О. Іутинська зазначає, що ефективність інокуляції навіть перевіреними штамами на кислих ґрунтах залишається низькою без додаткових заходів, таких як вапнування або використання хелатних форм мікродобрив.

Щодо температури ґрунту, то її зниження до менше ніж 12°C або підвищення до понад 35°C суттєво пригнічує як активність нітрогенази, так і здатність коріння поглинати мікроелементи. Водночас недостатня вологість ґрунту також негативно впливає на обмінні процеси у бульбочках і транспорт іонів у ксилемному потоці. Усі ці приклади наочно демонструють, що чинники навколишнього середовища не функціонують ізольовано, а утворюють складну взаємопов’язану систему. Зміна одного з чинників неминуче віддзеркалюється на інших, порушуючи їхню роботу.

Даний матеріал має чималий методичний потенціал для навчання біології в школі. Інформація про взаємодію інокуляції та мікродобрив у процесі вирощування сої є надзвичайно корисною для розвитку у школярів розуміння понять «чинники середовища» та «екологічна толерантність організмів».

По-перше, матеріал допомагає перейти від теоретичного поділу факторів на біотичні та абіотичні до конкретного пояснення молекулярних механізмів їхньої дії. Наприклад, бактерія, як живий організм, і хімічний елемент у складі ґрунту взаємодіють різними способами, але в їхній функціональності вони тісно пов’язані одне з одним.

По-друге, інформація дозволяє вибудовувати логічні причинно-наслідкові ланцюги – основу наукового мислення. Для мікроелементного компонента такий ланцюг може бути представленим таким чином: молібден у ґрунтовому розчині сприяє його засвоєнню корінням рослин

→ синтезу MoFe–кофактора нітрогенази → каталізу реакції відновлення молекулярного азоту (N_2) → утворенню амоніаку (NH_3) → запуску реакцій GS–GOGAT → формуванню амінокислот та білків → накопиченню біомаси. Для мікробіологічного компонента ланцюг виглядає наступним чином: внесення штаму B. japonicum → колонізація кореневих волосків рослини → активація сигнального каскаду Nod–факторів → диференціація бактероїдів → процес азотфіксації → забезпечення рослини додатковим азотом → формування вищих врожаїв. Ці моделі зрозумілі для учнів, їх можна підтвердити експериментально та відтворювати у лабораторних умовах [27].

Використання результатів реальних польових агробіологічних досліджень, як власних, так і взятих із наукових джерел, як навчального матеріалу сприяє розвитку у школярів дослідницьких навичок. Це включає вміння критично аналізувати кількісні дані, порівнювати різні варіанти експерименту й формулювати аргументовані висновки. Такий підхід повністю відповідає вимогам профільного навчання та забезпечує ґрунтовну підготовку учнів до участі в діяльності Малої академії наук України. Детальний опис дидактичних розробок, що базуються на цьому матеріалі, представлено в третьому розділі роботи.

Теоретичний аналіз дозволяє зробити чотири ключових висновки. По-перше, соя є оптимальним об’єктом для вивчення екологічних факторів. Її висока чутливість до мікробіологічного стану ґрунту та мікроелементного живлення, а також чітка реакція урожайності роблять цю культуру показовою моделлю для демонстрації відповідного матеріалу. По-друге, передпосівне інокулювання ґрунту бульбочковими бактеріями виступає біотичним фактором середовища, який завдяки механізму симбіотичної азотфіксації підвищує врожайність

культури на 15-40% і покращує якість зерна. По-третє, мікродобрива є абіотичним чинником, що впливає на метаболізм рослини на рівні ферментативних процесів і сприяє збільшенню врожайності на 8-25%. По-четверте, спільне використання інокуляції та мікродобрив забезпечує синергічний ефект із приростом продуктивності до 30-50%. Цей ефект пояснюється комплексною взаємодією мікроелементів і ферментних систем ризобій, що слугує яскравим прикладом дії закону мінімуму Лібіха. Застосування такого підходу у шкільній програмі є надзвичайно важливим для формування системного розуміння взаємозв’язків організму з середовищем.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНОКУЛЯЦІЇ ТА МІКРОДОБРИВ НА СОЮ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗНАНЬ ПРО ЧИННИКИ СЕРЕДОВИЩА

3.1. Теоретичне обґрунтування та дидактичний потенціал методики. Проблема формування екологічних знань у шкільному курсі біології

Реформування природничо-наукової освіти в Україні здійснюється з акцентом на перехід від передачі готових знань до формування здатності учнів самостійно їх здобувати та використовувати на практиці. Ця тенденція особливо чітко простежується у екологічному компоненті шкільного курсу біології, зокрема в темі «Організм і навколишнє середовище». У межах цієї теми восьмикласники повинні опанувати поняття біотичних, абіотичних і антропогенних чинників. У рамках чинної програми для 8-го класу учням необхідно не лише ознайомитися з відповідними визначеннями, а й навчитися розрізняти типи чинників у конкретних ситуаціях, пояснювати механізми їхнього впливу на живий організм. Проте педагогічний досвід свідчить, що без практичного ознайомлення з живими об’єктами та власного дослідницького досвіду засвоєння цих понять часто залишаються поверховими. Учні повторюють визначення, але не здатні самостійно аналізувати реальні приклади взаємодії організму з навколишнім середовищем.

Подолати ці обмеження можна через залучення учнів до практичної дослідницької діяльності із живими об’єктами у природних або наближених до природних умовах. Такий особистий досвід пізнання перетворює абстрактні поняття у конкретні пережиті відкриття, сприяючи глибшому й усвідомленішому засвоєнню матеріалу. Державний стандарт базової середньої освіти 2020 року нормативно закріплює цю концепцію, визначаючи дослідницьку компетентність як одну з ключових складових природничо-наукової підготовки, якою має володіти кожен випускник базової школи.

У педагогічній науці принцип інтеграції теоретичного навчання та практичної діяльності вважається одним із основоположних. Його значущість особливо відчутна в контексті викладання екологічних понять, адже такі терміни, як «екологічний чинник», «лімітувальний фактор» чи «біотична взаємодія», за своєю природою мають динамічний характер. Вони описують не стільки окремі факти, скільки процеси – живі взаємозв'язки між організмом і його середовищем. Для формування цих понять на такому рівні, щоб ними можна було впевнено оперувати, важливо забезпечити учням можливість безпосереднього спостереження або самостійного відтворення описаних процесів. Саме таку можливість надає польовий агробіологічний експеримент із вирощуванням сої: учень може наочно переконатися, як зміна одного з параметрів середовища – наприклад, присутності ризобій чи мікроелементів – впливає на вигляд і врожайність рослин.

Окрім розвитку предметного розуміння, практична діяльність відіграє ключову роль у формуванні загальних інтелектуальних умінь. Завдяки експериментам учні вдосконалюють навички порівняння, узагальнення, аналізу причинно-наслідкових зв'язків і формування аргументованих висновків. У межах таксономії Блума ці дії належать до найвищих когнітивних рівнів (аналізу, синтезу й оцінювання), які практично неможливо освоїти через звичайну фронтальну роботу з підручником.

Методика проектного навчання має довготривалу й добре обґрунтовану історію. Її теоретичною основою стала прагматична педагогіка Джона Дьюї, яка стверджує, що справжнє пізнання досягається лише через діяльність і власну участь у розв'язанні актуальних і значущих проблем. Дослідницький навчальний проект є однією з форм такого підходу, де центральна роль відведена самостійному дослідженню учнів. У цьому процесі вони проходять увесь ланцюг наукового пошуку: від постановки гіпотези і планування методики до збору необхідних даних і перевірки початкового припущення. [5].

Дидактичні можливості проєктної діяльності у викладанні природничих дисциплін були досліджені такими вченими, як О. І. Пометун, Л. В. Пироженко,

Н. М. Буринська та іншими [9]. Підсумовуючи їхні напрацювання, можна визначити чотири ключові ефекти: глибше розуміння навчального матеріалу порівняно з традиційними методами; зміцнення міжпредметних зв’язків; розвиток наскрізних компетентностей, зокрема критичного мислення, комунікативних навичок і цифрової грамотності; а також помітне зростання навчальної мотивації через особисту залученість учня в досягнення результату.

Обрання сої (Glycine max) як об’єкта дослідження та двох видів обробки насіння (бактеріальна інокуляція і мікроелементне живлення) як дослідницьких факторів є обґрунтованим. З практичного погляду, насіння сої легко доступне, а рослина добре пристосовується до вирощування як на шкільній дослідній ділянці, так і на присадибних ділянках, завершуючи свій вегетаційний цикл за один сезон. З концептуального погляду, інокуляція демонструє дію біотичних чинників – живий організм (бактерія) впливає на життєдіяльність іншого живого організму (рослини), тоді як мікродобрива виступають типовим прикладом абіотичних чинників, що представляють неживу природу й безпосередньо впливають на метаболічні процеси рослини. Методичне поєднання обох типів чинників у межах одного досліду є унікальним [16].

Сильним аспектом цього кейсу є його міжпредметна багатогранність. Він органічно інтегрує знання з таких предметів, як біологія (морфологія рослин, симбіоз, фотосинтез, обмін речовин), хімія (дія мінеральних речовин, механізми ферментативного каталізу), екологія (вплив середовищних чинників, закон мінімуму), а також елементи агрономічної науки. Така змістова інтеграція гармонійно узгоджується з принципами STEM-освіти та забезпечує навчальному процесу практичну спрямованість у сучасному соціокультурному контексті [24].

Методика, побудована на цьому кейсі, має чотири важливі дидактичні ресурси. Перше – формування причинно-наслідкових зв’язків: наприклад, логічний ланцюг від інокуляції ризобіями до підвищення врожаю є зрозумілим, дослідним і доступним для сприйняття школярами. Друге – розвиток системного мислення: учні розглядають рослину не ізольовано, а як елемент складної екосистеми, що взаємодіє з іншими організмами та середовищем. Третє –

міжпредметна інтеграція знань із біології, хімії, екології й агрономії. Четверте – безпосередній зв’язок навчання із реальними умовами сільськогосподарського виробництва: усвідомлення того, що проведений дослід є своєрідною моделлю реального агрономічного дослідження, сприяє підвищенню інтересу учнів і додає процесу навчання особистісного й практичного сенсу [37].

Реалізація запропонованої методики відбувається у форматі позаурочної діяльності, зокрема в рамках гуртка агробіологічного спрямування або екологічного факультативу. Такий формат обрано з огляду на три ключові фактори. По-перше, проведення польового досліду потребує тривалого часу, що неможливо обмежити рамками стандартного уроку. По-друге, позаурочна форма організації забезпечує значно більшу гнучкість у плануванні спостережень і фіксації отриманих результатів. По-третє, добровільний характер участі у факультативах дозволяє залучати учнів із високим рівнем мотивації до природознавчих досліджень, що позитивно впливає на якість виконання наукових завдань.

Хронологічні межі проєкту, що охоплюють період з травня по жовтень, дозволяють простежити повний вегетаційний цикл обраної культури і задокументувати всі важливі показники її продуктивності. Такий підхід, при якому практичне дослідження передує теоретичному осмисленню отриманих даних, слугує моделлю реальної наукової роботи. Він також значною мірою сприяє формуванню дослідницької культури школярів [24].

3.2. Зміст та організація проєктної діяльності учнів. Паспорт навчального проєкту

Проєкт отримав назву «Вплив середовищних чинників на ріст і врожайність сої» та орієнтований на учнів 8-го класу загальної середньої школи. Він належить до дослідницьких природничо-наукових ініціатив, основу яких складає самостійно організований і проведений польовий агробіологічний експеримент. У рамках цього проєкту учні виконують кількісний аналіз даних і формулюють висновки, використовуючи шкільну екологічну термінологію. Тривалість роботи охоплює весь вегетаційний цикл рослин, із розбиттям на етапи: квітень-травень – підготовка до досліду наприкінці навчального року, червень-серпень – проведення основних дослідницьких робіт у період літніх канікул, вересень-жовтень – аналіз отриманих даних і презентація результатів, яка припадає на початок нового навчального року.

Проєкт має значну освітню і виховну цінність для учнів завдяки поєднанню практичного та теоретичного аспектів. Вирощування реальної культури та отримання фактичного врожаю забезпечують елемент практичної значущості, пробуджуючи особистісний інтерес до завдання. Можливість самостійно визначати закономірності й спільно ділитися результатами під час презентації сприяє розвиткові в учнів почуття власної важливості в освітньому процесі. Окрім цього, проєкт сприяє формуванню ключових компетентностей, визначених концепцією Нової української школи: самоорганізації, відповідальності за виконання покладених обов’язків, а також здатності контролювати та оцінювати хід і результати власної діяльності [39].

Підготовчий етап є ключем до успіху всього дослідження, і тому потребує максимальної методичної точності. Протягом перших двох-трьох занять учні та вчитель спільно занурюються в тему та закладають організаційні основи для реалізації проєкту.

На першому занятті педагог ознайомлює учнів із значенням сої як сільськогосподарської культури, її взаємодією з ґрунтовими мікроорганізмами,

поняттями симбіозу та мінерального живлення рослин. Цей матеріал стає базою для розуміння ключових понять: «чинник середовища», «біотичний чинник» (наприклад, роль ризобій як живих організмів, що впливають на рослину-господаря) та «абіотичний чинник» (як-от хімічний склад ґрунту та мікроелементи). Упродовж цього заняття учасники гуртка з допомогою вчителя спільно формулюють проблемне запитання: «Як передпосівна інокуляція і збагачення насіння мікроелементами впливають на ріст і врожайність сої?» На основі цього висувається припущення: «Обробка насіння цими методами матиме позитивний вплив на рослини, а їхнє поєднання забезпечить ще кращі результати».

На другому занятті учні разом із педагогом розробляють план польового досліду, який включає чотири варіанти обробки насіння: варіант 1 – контроль (насіння не обробляється), варіант 2 – інокуляція препаратом *Bradyrhizobium japonicum*, варіант 3 – обробка комплексним хелатним мікродобривом із вмістом Mo, Co, Zn, B, варіант 4 – поєднана обробка інокулянтом та мікродобривом. Для отримання достовірних результатів кожен із варіантів дублюють двічі. Окрім цього, учням надаються стандартні зразки спостережних щоденників для реєстрації параметрів: висота рослин (см), кількість бобів на одну рослину (шт.), кількість бульбочок (шт.), загальний морфологічний стан рослин та дати настання фенологічних фаз.

Для забезпечення якісного проведення дослідів учитель надає учасникам насіння сої рекомендованих сортів для конкретного регіону (група стиглості 2–3), бактеріальний інокулянт або ризоторфін, хелатне комплексне добриво з мікроелементами, а також методичні рекомендації щодо підготовки ґрунту. Земельні ділянки для експерименту обираються в добре освітлених місцях із нейтральним рівнем кислотності ґрунту, достатнім водозабезпеченням. Це можуть бути як шкільні дослідні ділянки, так і городи самих учнів.

Завершальним етапом підготовчого етапу є практичний інструктаж, під час якого розглядаються основні правила роботи з мікробіологічними препаратами. Особливу увагу приділяють умовам їх зберігання при низьких температурах,

захисту від впливу сонячного світла, а також заходам безпеки для уникнення контакту зі слизовими оболонками. Окрім цього, детально пояснюється техніка вимірювання висоти рослин, послідовність підкопування коренів і підрахунку бульбочок, а також правила ведення записів у польовому щоденнику. Особливий акцент робиться на значенні контрольного варіанту як обов’язкової точки порівняння у кожному науковому експерименті.

Основна частина дослідження, що перевершує інші етапи за обсягом і тривалістю, починається вже у першій декаді червня зі здійснення висівання насіння, яке було підготовлено заздалегідь.

Підготовка насіннєвого матеріалу здійснюється безпосередньо перед висіванням. Для першого сценарію з інокуляцією зволожене насіння ретельно змішують із порошковим ризоторфіном у рекомендованій пропорції – приблизно 200 грамів препарату на 10 кг насіння. Після цього насіння необхідно захистити від дії прямого сонячного світла до самого моменту висіву. У другому сценарії з використанням мікродобрив насіння обприскують розчином хелатного добрива у відповідності до норм, зазначених виробником (орієнтовно 50–80 мл на 1 кг). У третьому комбінованому сценарії мікродобрива наносяться першими, після чого, після часткового висихання, додається ризоторфін. Контрольне насіння, яке служить еталоном у дослідженні, зберігається без будь-якої попередньої обробки.

Систематичні спостереження проводяться після появи перших сходів, що зазвичай настає протягом 8–12 діб після висівання. Відтоді учні регулярно здійснюють облікові роботи, дотримуючись графіка із проміжком у 10–14 діб. Під час таких спостережень фіксуються середня висота трьох-п’яти обраних для обліку рослин кожного варіанта (вимірюється від кореневої шийки до верхнього листка), поточна фенологічна фаза розвитку, стан листостеблового апарату, включаючи забарвлення, пружність тканин, наявність хлорозу чи інших ушкоджень, а також ступінь розвитку кореневої системи, доступний для візуального аналізу.

Оцінка стану кореневих бульбочок. Наприкінці серпня, перед початком збирання врожаю, у кожному варіанті обережно підкопують по 3 рослини і проводять детальний огляд кореневої системи. Підраховують загальну кількість бульбочок, розрізняючи активні (рожево-червоне забарвлення леггемоглобіну) і неактивні (білі або зеленуваті). Усі дані з описом розміру і розміщення бульбочок вносять до щоденника.

Фінальний облік урожаю. У фазі фізіологічного дозрівання бобів (кінець серпня - початок вересня) проводять ручне збирання з наступним поелементним обліком структури врожаю: підраховують кількість бобів на рослині, зважують насіння з одного куща та визначають масу 1000 насінин. Ці три показники в сукупності характеризують реалізований продуктивний потенціал рослини в кожному варіанті досліду.

На перших заняттях гуртка після початку нового навчального року учасники збирають зведені матеріали і разом з учителем переходять від масиву «сирих» спостережень до смислових висновків. Цей перехід і є головною навчальною подією всього проєкту.

Систематизація даних. Учні зводять записи щоденників у єдину порівняльну таблицю. Нижче наведено зразкову форму цього документа.

Таблиця 3.1.

Порівняльні показники росту і продуктивності сої за варіантами досліду

Варіант досліду	Висота рослин, см	К-сть бульбочок, шт.	К-сть бобів на рослині, шт.	Маса насіння з куща, г
Контроль (без обробки)	–	–	–	–
Інокуляція	–	–	–	–
Мікродобрива	–	–	–	–
Інокуляція + мікродобрива	–	–	–	–

Примітка: прочерки замінюються фактичними середніми значеннями, отриманими учнями в ході досліду.

Отримані учнями дані в процесі дослідження слугують основою для побудови графіків, що демонструють динаміку росту. Паралельно з таблицями учні складають лінійні графіки, які відображають зміну висоти рослин на різні дати спостережень для кожного експериментального варіанту. Аналіз кривих, нанесених на одному графіку, дає змогу візуально визначити, на якому етапі онтогенезу досліджувані чинники проявляють найвираженіший вплив.

Під час обговорень результатів учні під керівництвом педагога працюють над серією питань: чи підтвердилось попереднє припущення? Який варіант продемонстрував найкращі результати і чому? Яка фізіологічна роль бульбочкових бактерій у забезпеченні рослин азотом? Як мікроелементи впливають на ріст і формування урожаю? Чому поєднання обох чинників показало більшу ефективність, ніж кожен з них окремо? Яким чином отримані результати пов’язані з поняттями «біотичний чинник» і «абіотичний чинник», що розглядалися у шкільному курсі?

Заключним етапом аналізу стає самостійне формулювання письмових висновків. Учень, підсумовуючи результати, зазначає, що передпосівна обробка сої ризобіями була біотичним чинником середовища і позитивно вплинула на продуктивність рослин у порівнянні з необробленим контролем. Мікродобрива, які виступають абіотичним чинником, також покращували розвиток рослин. Найкращими виявилися результати варіанта, де було застосовано комбіновану обробку, що свідчить про синергічний ефект взаємодії цих двох чинників. Отримані дані підтверджують загальновідомий екологічний принцип: продуктивність організму залежить від сукупності взаємопов’язаних умов навколишнього середовища.

У рамках тематичних занять або уроків, присвячених вивченню екологічних чинників, учасники проєкту виступають перед класом із презентацією результатів власного дослідження. Цей підхід трансформує індивідуальну дослідницьку діяльність у навчальний ресурс для всієї групи.

Форма презентації варіюється залежно від доступних технічних засобів: учні можуть провести усну доповідь з використанням таблиць та графіків, створити мультимедійну презентацію з фотографіями рослин та бульбочок або оформити плакат чи стенд. Особливий ефект справляє демонстрація натуральних зразків – насіння всіх варіантів, засушених коренів із бульбочками або бобів – адже такий спосіб подачі значно посилює довіру до представлених кількісних даних.

Після виступів учитель організовує класну дискусію, допомагаючи групі осмислити результати інших учнів та пов’язати їх із поняттями навчальної програми. Питання для обговорення охоплюють ключові аспекти теми: чи мають бульбочкові бактерії вплив на соєві рослини і якщо так – до якого типу чинників їх можна віднести? Як мікроелементи з мікродобрив впливають на життєві функції рослин? Що таке синергічний ефект і чому він виникає? Як зміняться результати експерименту за умов кислого ґрунту або посухи?

Завершальне слово вчителя будується на дидактичному принципі «від конкретного до абстрактного»: дані власного досліду стають відправною точкою для виведення загальнобіологічних закономірностей – закону мінімуму Лібіха, принципу взаємодії чинників, концепції екологічної толерантності організму. Такий рух від особисто пережитого факту до узагальненого правила забезпечує і глибоке теоретичне розуміння, і міцне запам’ятовування через прив’язку до власного досвіду.

У межах проєкту застосовується комплекс взаємопов’язаних методів навчання: дослідницький метод (самостійне проведення польового досліду від планування до висновків), проблемний метод (формулювання гіпотези, її перевірка на власних даних), метод проєктів (підпорядкування всієї пізнавальної діяльності реальному практичному завданню), метод аналізу кількісних даних (статистичне опрацювання і графічна візуалізація результатів).

Організаційно проєкт поєднує два режими роботи: індивідуальний (кожен учасник самостійно веде свій дослід і щоденник) і колективний (спільне опрацювання результатів, взаємна перевірка даних, підготовка і проведення

групової презентації). Таке поєднання розвиває водночас самостійність і вміння працювати в команді – дві компетентності, рівно важливі для сучасного учня.

Навчальні завдання проєкту системно охоплюють усі рівні когнітивної таксономії Блума. Запам’ятовування та відтворення: засвоєння назв варіантів, термінів і параметрів обліку. Розуміння: пояснення дії досліджуваних чинників. Застосування: використання теоретичних знань при закладці та веденні досліду. Аналіз: виявлення відмінностей між варіантами, формулювання закономірностей. Синтез: складання власних висновків у вигляді пов’язаного тексту. Оцінювання: рефлексія якості власної роботи і критичне осмислення обмежень отриманих результатів.

3.3. Апробація методики та оцінювання її ефективності

Перевірку запропонованої методики здійснено в реальних педагогічних умовах – на заняттях гуртка «Юний агробіолог» у загальноосвітній школі. Групу апробації склали 12 учнів 8-го класу, які брали участь у проєкті протягом одного повного вегетаційного циклу. Дослід паралельно вівся на шкільній дослідній ділянці та на присадибних городах учасників за уніфікованою чотиривіантною схемою, описаною в підрозділі 3.2. За підсумками сезону було закладено 4 варіанти у дворазовій повторності і зафіксовано 72 спостережні записи.

Зведені дані польового досліду, отримані учасниками апробації та усереднені по всій групі, представлено в таблиці 3.2, дані якої переконливо відображають позитивний вплив обох досліджуваних чинників і особливо їх поєднання. Максимум за всіма показниками зафіксований у варіанті 4: маса зерна з рослини досягла 14,9 г проти 9,4 г у контролі, що становить приріст 58%. Автономна дія кожного чинника виявилася скромнішою: інокуляція дала +35%, мікродобрива – +20%, що узгоджується з відомими даними агробіологічної літератури [28, 35].

Таблиця 3.2.

Середні показники продуктивності сої за варіантами досліду (апробація)

Варіант досліду	Висота рослин, см	К-сть бульбочок, шт.	К-сть бобів, шт./рослину	Маса насіння, г/рослину	Приріст до контролю, %
Контроль	47,2	8	14,3	9,4	–
Інокуляція	54,8	39	19,1	12,7	+35
Мікродобрива	51,3	11	17,2	11,3	+20
Інокуляція + мікродобрива	61,4	46	23,8	14,9	+58

Кількість функціонально активних бульбочок у варіанті 4 перевищила контрольний рівень у 5,8 раза, що свідчить про суттєву активацію симбіотичного апарату за умов поліпшеного мікроелементного живлення.

Для оцінки дидактичної ефективності методики використано порівняльно-діагностичну процедуру: учасники проєктної та звичайної (контрольної) груп виконували однакові письмові завдання двічі – на початку і після завершення проєкту. Результати порівняння наведено в таблиці 3.3.

Аналіз даних виявляє разючу різницю в динаміці навчальних досягнень. Найчутливішими до методики виявились два показники, що відповідають найвищим рівням таксономії Блума: «встановлення причинно-наслідкових зв’язків» зросло у проєктній групі на 54 відсоткових пункти (проти +17 у контрольній) і «застосування знань у новій ситуації» – на 55 в.п. (проти +19). Ці цифри підтверджують, що участь у дослідницькому проєкті формує не механічне запам’ятовування понять, а їх повноцінне операційне засвоєння.

Цифрові показники таблиці 3.3 доповнюються якісними спостереженнями, зробленими під час презентаційного блоку. Було зафіксовано,що учасники проєкту впевнено і без підказок вживали терміни «біотичний чинник», «абіотичний чинник», «лімітуючий чинник», «синергічна дія» в усних відповідях, наводячи конкретні приклади з власного досліду.

Таблиця 3.3.

Результати діагностики рівня знань про чинники середовища

Показник	Проєктна група: до, %	Проєктна група: після, %	Контрольна група: до, %	Контрольна група: після, %
Правильне визначення понять	52	89	54	68
Розмежування типів чинників	41	92	43	61
Встановлення причинно-наслідкових зв’язків	33	87	35	52
Застосування знань у новій ситуації	28	83	27	46

Письмові висновки демонстрували логічно вибудовані аргументаційні ланцюги. Рівень зацікавленості темою екологічних чинників в учасників проєкту помітно перевищував аналогічний показник в однолітків.

Особливу увагу привертають результати виконання завдань на перенесення. Коли учасникам запропонували пояснити, як зміниться ефективність інокуляції в умовах ґрунтової посухи або підкисленого ґрунту – обставин, що раніше не розглядалися у межах досліду, – більшість демонструвала здатність давати логічні відповіді, ґрунтуючись на засвоєних поняттях. Це свідчить про формування у школярів не лише вузькоспеціальних знань, а й узагальнених природничо-наукових компетентностей.

Разом із тим, апробація методики виявила кілька недоліків, які необхідно врахувати для вдосконалення її застосування у майбутньому. По-перше, частина учасників помилялася при вимірюванні висоти рослин через недостатньо деталізований інструктаж з техніки вимірювань. По-друге, варіативність у режимах поливу, спричинена тим, що деякі учні проводили експеримент удома, впливала на результати. По-третє, відсутність запланованих консультацій

протягом липня призводила до зниження методичної точності підходів окремих учасників. З огляду на ці чинники, доцільним було б у майбутньому приділити більше уваги попередньому інструктажу, впровадити регулярні онлайн-консультації та забезпечити єдиний контроль за умовами поливу.

Аналіз отриманого досвіду дозволяє виокремити чотири ключові рекомендації для педагогів, які планують використовувати подібну методику у своїй роботі. По-перше, підготовчий етап проєкту варто інтегрувати в уроки з тем «Рослини і навколишнє середовище» або «Різноманітність квіткових рослин», щоб учні мали базові знання для успішного старту. По-друге, на етапі літнього польового дослідження необхідно забезпечити сталість зворотного зв’язку через чати в месенджері або шкільну онлайн-платформу. Це дозволить оперативно коригувати помилки та покращити якість спостережень. По-третє, заключний аналітичний етап слід організовувати таким чином, щоб учасники спочатку працювали в парах чи малих групах для первинного обговорення отриманих даних і формулювання власних висновків перед загальною дискусією. Такий підхід дає кожному змогу чіткіше зрозуміти свою позицію. По-четверте, завершальні презентації набувають більшої ефективності, коли доповідачі демонструють реальні фотографії з експериментів – наприклад, зображення самих рослин і бульбочок. Візуальні матеріали додають переконливості кількісним даним та утримують зацікавленість слухачів.

Методика, яка базується на проведенні дослідницького проєкту з вирощування сої за чотирма варіантами обробки насіння, пройшла успішну апробацію і продемонструвала високу дидактичну ефективність. Учасники отримали реальні кількісні дані, які сприяли усвідомленому вивченню таких понять, як біотичні й абіотичні чинники, синергічна взаємодія та закон мінімуму. Порівняльний аналіз засвідчив, що приріст умінь визначати причинно-наслідкові зв’язки і застосовувати знання у нових умовах у проектній групі втричі перевершував аналогічний показник у контрольній групі з традиційною моделлю навчання. Ці результати є вагомим аргументом на користь впровадження

описаної методики в позашкільну роботу гуртків природничого напряму та факультативних курсів з екологічної біології.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена розробленню та педагогічній перевірці методики дослідницького навчального проєкту, в основу якого покладено агробіологічний польовий дослід із культурою сої (*Glycine max (L.) Merr*.). Головною метою даного підходу є сформування в учнів 8-го класу глибокого розуміння біотичних і абіотичних чинників навколишнього середовища засобами активної пізнавальної діяльності, а не через пасивне сприйняття інформації. Виконані завдання дозволяють сформулювати такі висновки.

1. Вивчення наукових і навчально-методичних джерел дозволило з'ясувати, що екологічні чинники середовища утворюють системний об'єкт пізнання, без якого неможливо збагнути ані логіку функціонування живих організмів, ані закономірності будови екосистем. Розподіл цих чинників на три групи: абіотичні, біотичні й антропогенні, що є не просто зручною класифікаційною схемою, а відображенням реальної різноякісності природних впливів на організм. Закон мінімуму Лібіха і закон толерантності Шелфорда розкривають механізми, за якими середовище обмежує чи стимулює розвиток живих систем, і є теоретичним фундаментом для пояснення адаптацій, розповсюдження видів та меж стійкості популяцій. Попри вагомість цієї теми в шкільних програмах 7-9 класів, педагогічний аналіз виявив системну ваду традиційних методів її викладання: учні опановують термінологію, проте не набувають здатності застосовувати ці поняття поза межами відтвореного визначення, що визначає актуальність пошуку альтернативних дидактичних рішень.

2. Детальне дослідження біологічних механізмів впливу інокуляції та мікроелементних добрив на ріст і продуктивність сої підтвердило, що ці два чинники належать до принципово різних за природою, проте взаємозалежних категорій. Ризобіальна інокуляція є класичним прикладом дії біотичного чинника, де бактерії роду *Bradyrhizobium japonicum* вступають із рослиною в мутуалістичний симбіоз через ланцюг молекулярних сигналів – від хемотаксису й активації nod-генів до утворення леггемоглобіновмісних бульбочок і синтезу

нітрогеназного комплексу. Завдяки цьому рослина отримує від 60 до 300 кг біологічно фіксованого азоту на гектар, що супроводжується зростанням врожайності на 15–35% порівняно з необробленим посівом. Мікродобрива діють за іншою логікою як абіотичний чинник каталітичного характеру: молібден і кобальт не є будівельним матеріалом для клітини, але виступають незамінними кофакторами ферментних систем, зокрема нітрогенази й кобаламінових коферментів бактероїдів. Навіть незначний дефіцит цих елементів блокує азотфіксацію незалежно від кількості бактерій у ризосфері. Використання хелатних мікродобривних комплексів здатне підвищити врожайність ще на 8–25% порівняно з варіантом без мікроелементного живлення.

3. На підставі отриманих теоретичних знань розроблено методику навчального проєкту «Вплив середовищних чинників на ріст і врожайність сої», призначену для позаурочної роботи гуртка або екологічного факультативу для учнів 8-го класу. Дослід побудовано за чотирьохваріантною схемою: необроблений контроль, монообробка ризобіями, монообробка мікроелементами та поєднана обробка обома видами препаратів. Хронологічно проєкт охоплює повний вегетаційний сезон: підготовчий блок у квітні-травні, польовий моніторинг у червні-серпні та аналітично-презентаційна фаза у вересні–жовтні. Кожен етап забезпечено методичним інструментарієм: щоденниками спостережень, обліковими таблицями, завданнями різного когнітивного рівня. Концептуальна основа методики є компетентнісний підхід НУШ, принципи дослідницької і проєктної педагогіки, а також ідеологія STEM-навчання, яка передбачає органічну міждисциплінарну інтеграцію біологічних, хімічних, екологічних і агрономічних знань. Вибір сої як навчального об’єкта зумовлений її доступністю, коротким вегетаційним циклом і тим, що в одному посіві можна спостерігати одночасну дію обох типів досліджуваних чинників.

4. Апробацію методики проведено в реальних педагогічних умовах: гурток «Юний агробіолог» загальноосвітньої школи, 12 учасників восьмого класу, один повний вегетаційний сезон. Агробіологічні результати виявилися статистично переконливими: маса насіння з рослини у варіанті з поєднаною обробкою досягла

14,9 г, що перевищило контрольне значення на 58%; лише інокуляція дала приріст у 35%, лише мікродобрива – у 20%. Щільність активних бульбочок у комбінованому варіанті перевищила контроль у 5,8 раза, що наочно підтверджує синергічний характер взаємодії біотичного й абіотичного чинників, класичну ілюстрацію закону мінімуму Лібіха у реальних умовах. Дидактичний вимір апробації зафіксував ще виразніший ефект. За даними порівняльної діагностики, показник розмежування типів чинників у проєктній групі зріс із 41 до 92%, уміння встановлювати причинно-наслідкові зв'язки: із 33 до 87%, а перенесення знань у нові умови – із 28 до 83%. У контрольній групі з традиційним навчанням ті самі показники зросли відповідно лише на 18, 17 і 19 відсоткових пунктів. Розрив між групами в умінні застосовувати знання у нестандартних ситуаціях становив 36 відсоткових пунктів – це принципова різниця, яка свідчить не про кращу пам'ять, а про якісно інший рівень засвоєння.

5. Досвід апробації дав змогу сформулювати конкретні практичні поради для вчителів біології. Підготовчий етап проєкту варто вбудовувати в уроки, що передують темі «Організм і навколишнє середовище», так учні виходять на польовий дослід уже зі сформованою понятійною базою. Протягом літнього польового моніторингу ефективним є підтримання регулярного методичного зв'язку з учасниками через цифрові платформи, що дозволяє вчасно виявляти і виправляти помилки в техніці вимірювань і документування. Аналіз зібраних даних доцільно організовувати поетапно: спочатку в парах, потім у малих групах і лише після того – у загальній дискусії, щоб кожен учасник мав можливість сформулювати власну позицію до зіткнення з думками однокласників. Під час фінальних презентацій висока доказовість забезпечується не лише цифрами, а й натуральними зразками та фотографіями рослин, бульбочок і врожаю з візуальним підкріплення кількісних даних, що суттєво посилює сприйняття результатів аудиторією.

Підбиваючи підсумки, можна стверджувати, що агробіологічний дослід із соєю виявився не лише педагогічно результативним, а й концептуально точним: він надає учням можливість самостійно пережити та осмислити ключові

екологічні закономірності, а не отримати їх у готовому вигляді. Дослідницька модель навчання, застосована у роботі, сформувала у школярів проєктної групи більш ніж утричі вищий приріст умінь аналізувати причинно-наслідкові зв’язки й переносити здобуті знання у нові ситуації порівняно з однолітками, які навчались за традиційною схемою. Це є вагомим аргументом на користь систематичного впровадження подібних методик у позаурочну роботу гуртків природничого спрямування та факультативних курсів у закладах загальної середньої освіти.

Перспективи подальших наукових пошуків пов’язані з кількома напрямами. Розширення об’єктної бази дозволить охопити інші бобові культури: горох, квасолю, люпин та отримати порівняльні дані про залежність ефективності методики від виду рослини-об’єкта. Цифровізація інструментарію, розроблення мобільних застосунків і QR-щоденників для фіксації польових спостережень здатні підвищити точність і зручність документування. Нарешті, масштабніше порівняльне дослідження в різних освітніх контекстах (міська і сільська школа, профільні та загальноосвітні класи) дасть відповідь на питання, наскільки умови закладу впливають на відтворюваність досягнутих результатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андерсон Р. Дж., Блум Б. С. Таксономія цілей навчання / пер. з англ. Київ : Навчальна книга, 2005. 352 с.

2. Бабич А. О., Бабич-Побережна А. А. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої у світі : монографія. Київ : Аграрні науки, 2011. 548 с.

3. Виготський Л. С. Педагогічна психологія / пер. з рос. Київ : Педагогічна думка, 2021. 480 с.

4. Волкогон В. В. Мікробіологічні аспекти відтворення родючості ґрунтів. Агровісник. 2012. № 9. С. 12–15.

5. Гончаренко С. У. Педагогічні дослідження: методологічні поради молодим науковцям. Київ–Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2008. 278 с.

6. Господаренко Г. М., Бахмат О. М., Прокопчук І. В., Вишневська Л. В. Складові технології вирощування сої : навчальний посібник / за заг. ред. Г. М. Господаренка. Умань : Сочінський М. М., 2019. 205 с.

7. Господаренко Г. М. та ін. Симбіотична азотфіксація та врожай : монографія / за заг. ред. Г. М. Господаренка. Умань : Сочінський М. М., 2017. 323 с.

8. Грицай Н. Б. Методика навчання біології : навчальний посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 272 с.

9. Державний стандарт базової середньої освіти : затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 30 вересня 2020 р. № 898. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/898-2020-п (дата звернення: 12.03.2026).

10. Дьюї Дж. Демократія і освіта / пер. з англ. Львів : Літопис, 2003. 294 с.

11. Іутинська Г. О. Ґрунтова мікробіологія : навчальний посібник. Київ : Арістей, 2006. 284 с.

12. Іванюк С. П. Соя: монографія. Вінниця : Діло, 2012. 240 с.

13. Кисіль В. І. та ін. Рекомендації щодо виробництва сої в Лісостепу України. Харків : ІР НААН, 2016. 32 с. URL: https://www.irbis-nbuv.gov.ua (дата звернення: 01.02.2026).

14. Концепція реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа» на період до 2029 року : схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.12.2016 № 988-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/988-2016-р (дата звернення: 10.03.2026).

15. Коць С. Я. Симбіоз бобових рослин з бульбочковими бактеріями: механізми, регуляція, ефективність. Фізіологія рослин і генетика. 2019. Т. 51. № 4. С. 283–300.

16. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур : навчальний посібник. 4-те вид. Львів : НФФ «Українські технології», 2014. 492 с.

17. Мороз І. В., Степанюк А. В., Гончар О. Д. Загальна методика навчання біології : навчальний посібник / за ред. І. В. Мороза. Київ : Либідь, 2006. 590 с.

18. Мусієнко М. М., Серебряков В. В., Брайон О. В. Екологія : тлумачний словник. Київ : Либідь, 2004. 376 с.

19. Нова українська школа : порадник для вчителя / за заг. ред. Н. М. Бібік. Київ : Літера ЛТД, 2018. 160 с.

20. Одум Ю. Основи екології / пер. з англ. Москва : Мир, 1975. 740 с.

21. Патика В. П., Коць С. Я., Волкогон В. В. та ін. Біологічний азот / за ред. В. П. Патики. Київ : Світ, 2003. 424 с.

22. Патика В. П. Мікроорганізми і альтернативне землеробство. Київ : Урожай, 1993. 176 с.

23. Петриченко В. Ф. Сільськогосподарська мікробіологія і збалансований розвиток агроекосистем. Вісник аграрної науки. 2009. № 8. С. 5–10.

24. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. П. та ін. Соя : монографія. Вінниця : Діло, 2016. 392 с.

25. Петриченко В. Ф., Пацика В. П. Інокуляція бобових культур ризобіальними препаратами. Вісник аграрної науки. 2007. № 5. С. 16–21.

26. Піддячий М. І. Компетентнісно орієнтоване навчання: сутність, форми і методи. Київ : Педагогічна думка, 2018. 93 с.

27. Пометун О. І., Пироженко Л. В. Сучасний урок. Інтерактивні технології навчання : науково-методичний посібник / за ред. О. І. Пометун. Київ : Видавництво А. С. К., 2004. 192 с.

28. Про освіту : Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (дата звернення: 05.02.2026).

29. Реймерс М. Ф. Природокористування : словник-довідник. Москва : Думка, 1990. 637 с.

30. Савченко О. Я. Дидактика початкової освіти : підручник. Київ : Грамота, 2012. 504 с.

31. Степанюк А. В. Теорія і методика навчання біології в старшій школі : практикум. Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2015. 112 с.

32. Типова освітня програма для 5–9 класів закладів загальної середньої освіти : затверджена наказом МОН України від 19.02.2021 № 235. URL: https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi (дата звернення: 15.03.2026).

33. Топузов О. М., Засєкіна Т. М. Науково-методичний супровід нової української школи: підсумки вебконференції НАПН України. Вісник Національної академії педагогічних наук України. 2021. Т. 3. № 2. DOI: 10.37472/2707-305X-2021-3-2-1-1.

34. Фатєєв А. І., Мірошниченко М. М. Агрохімія мікроелементів. Харків : Видавництво ХНУ, 2013. 188 с.

35. Шелфорд В. Е. Закон толерантності як основа екологічних досліджень / пер. з англ. Основи сучасної екології. Київ : Вища школа, 1995. С. 68–74.

36. Шувар І. А., Рожко В. М. Мікродобрива та їхній вплив на врожайність зернобобових культур у Прикарпатті. Агрономія і ґрунтознавство. 2015. Вип. 3. С. 44–50.

37. Ярошенко О. Г. Компетентнісно орієнтоване вивчення біології в 6–9 класах : методичний посібник для вчителів. Київ : НАПН України, Інститут педагогіки, 2019. 144 с.

38. Bergersen F. J. Biological Nitrogen Fixation: Ecology, Technology and Physiology. New York : Plenum Press, 1992. 428 p.

39. Graham P. H., Vance C. P. Legumes: Importance and Constraints to Greater Use. Plant Physiology. 2003. Vol. 131. No. 3. P. 872–877.

40. Smith B. E. Nitrogenase Reveals Its Inner Secrets. Science. 2002. Vol. 297. No. 5587. P. 1654–1655.