

Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка
Природничо-географічний факультет
Кафедра загальної біології та екології

Охват Наталія Євгеніївна

**ПРОДУКТИВНІСТЬ РОСЛИН ГОРОХУ У ВОДНІЙ КУЛЬТУРІ БЕЗ
НІТРОГЕНУ**

Спеціальність 014 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини)
Галузь знань 01 Освіта/Педагогіка

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітнього ступеню магістра

Науковий керівник:

_____ М. П.Москаленко

кандидат біологічних наук, доцент
кафедри загальної біології та екології
2 грудня 2020 року

Виконавець:

_____ Н. Є. Охват

2 грудня 2020 року

Суми 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1	
ПОНЯТТЯ ПРО ВОДНІ КУЛЬТУРИ.....	5
РОЗДІЛ 2	
КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ.....	7
РОЗДІЛ 3	
КРУГООБІГ НІТРОГЕНУ.....	12
3.1 Молекулярний механізм азотфіксації	15
РОЗДІЛ 4	
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	18
РОЗДІЛ 5	
ПРОДУКТИВНІСТЬ ВОДНОЇ КУЛЬТУРИ ГОРОХУ БЕЗ НІТРОГЕНУ..	23
РОЗДІЛ 6	
ПОРІВНЯННЯ РЕАКЦІЇ ВОДНИХ КУЛЬТУР ГОРОХУ ТА КУКУРУДЗИ НА ВІДСУТНІСТЬ НІТРОГЕНУ	37
РОЗДІЛ 7	
ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ВИКЛАДАННІ ШКІЛЬНОГО КУРСУ БІОЛОГІЇ.....	41
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Для нормального зростання і розвитку рослин необхідні різні елементи живлення. За сучасними даними, таких елементів близько 20-ти, один з найважливіших з них – Нітроген. Молекула простої речовини азоту є однією із найінертніших у хімічному плані. Але усім відомо, що хімічний елемент Нітроген є необхідною складовою частиною надважливих сполук усіх живих організмів. Молекулярний азот атмосфери не може засвоюватися більшістю вищих рослин. В той же час ці рослини можуть використовувати для свого живлення переважно мінеральні сполуки даного елемента, які знаходяться у ґрунті. Однак існує велика група ґрунтових вільноживучих і симбіотичних мікроорганізмів, які завдяки наявності у них ферменту нітрогенази, мають здатність засвоювати молекулярний азот атмосфери.

В умовах вегетаційного досвіду з вирощуванням рослин у водній культурі на повній поживній суміші з виключенням елементів мінерального живлення можна визначити значення певного елемента або процесу мінерального живлення. При ліквідації досліду отримають унаочнення того, як відсутність деяких з елементів мінерального живлення впливає на розвиток рослин.

Мета. Експериментальне вивчення впливу Нітрогену та процесу азотфіксації на продуктивність водної культури гороху.

Завдання. Провести вегетаційний дослід з вирощування рослин гороху в умовах водної культури на повній поживній суміші та з виключенням Нітрогену і додаванням ґрунту, що містить бульбочкові бактерії.

Об'єкт дослідження. Мінеральне живлення культурних рослин.

Предмет. Дослідні рослини гороху.

Методи. Вегетаційний дослід з водними культурами. Статистичний метод. Порівняльний аналіз отриманих наочних результатів з впливу відсутності елементів мінерального живлення на розвиток і ріст рослин.

Апробація результатів роботи. Результати роботи зафіксовані у публікаціях автора, представлених у списку літератури.

Практичне значення роботи полягає у використанні отриманих нами результатів вчителями середніх загальноосвітніх шкіл для викладання наступних тем навчальної програми з біології: 6 клас. Тема 3 «Рослини». Зміст: «Корінь, пагін: будова та основні функції»; 7 клас. Тема 4 «Організми і середовище існування». Зміст: «Співіснування організмів в угрупованнях». Біологія та екологія. Рівень стандарту: 10 клас. Тема «Біорізноманіття». Зміст «Прокаріотичні організми: археї та бактерії. Особливості їх організації та функціонування».

Структура. Дипломна робота складається із вступу, 7 розділів, висновків, списку використаної літератури, містить 16 малюнків, 5 таблиць, викладена на 46 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ПОНЯТТЯ ПРО ВОДНІ КУЛЬТУРИ

Водна культура – спосіб вирощування рослин в розчині поживних речовин. Досліди Вудварда над додаванням до води неорганічних солей не дали нічого позитивного; невірні висновки пояснюються недосконалістю тогочасної хімії. Після Дюгамеля водна культура лише в кінці 50-х років 20го століття була знову застосована Саксом. З тих пір вона отримала певне раціональне застосування і стала плідним методом при вивченні процесів живлення рослин. Сакс занурював коріння культивованих рослин поперемінно в два наявних розчини, з яких кожен містив тільки частину поживних елементів. Рослини, що були вирощені таким шляхом, добре росли і приносили плоди. Цей метод фракціонованих розчинів надалі був витіснений більш практичним і зручним методом Кнопа, за яким культура росла в одному розчині, що включав всі зольні поживні речовини разом [2].

При вдалій водній культурі рослини відмінно розвиваються, квітнуть, дають плоди; врожай іноді в кілька разів може перевершувати урожай із звичайного родючого ґрунту [20].

Величезна перевага водної культури в порівнянні з іншими способами вирощування рослин полягає в тому, що рослини можуть бути легко перенесені з розчину в розчин без пошкодження коренів, а поживний розчин легко можна піддати хімічному аналізу. Що ж до самого проведення досліду, то поступають таким чином: насіння пророщують на тканині, натягнутій в неглибокому посуді над дистильованою водою. Вода ледь їх торкає з нижнього боку; корінці через дірки в тканині направляють у воду. Коли корінці досягнуть довжини 2-3 сантиметрів, рослини переносяться в циліндричні посудини або банки з широким горлом з живильним розчином. Найчастіше використовують так званий нормальний розчин Кнопа: 1 частина KNO_3 , 1 частина K_2HPO_4 , 1 частина MgSO_4 , 4 частини $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ і трохи осаду фосфорнокислого заліза. Концентрацію розчину для молодих паростків

беруть в 1-2 тисячних; надалі протягом досвіду підсилюють до 3-5 тисячних. Посуд щільно закривають розрізаною пробкою з діркою, в яку обережно затискають рослину, оповиту в цьому місці ватою. Паросток повинен щільно триматися в пробці, і бути зануреним в розчин лише корінням; частина ж насіння із запасними поживними речовинами (товсті сім'ядолі), повинна залишатися тільки вологою, над водою [11].

Пробку попередньо проварюють у парафіні, а щоб у самому розчині не з'явилися різні дрібні зелені водорості, розвиток яких міг би вплинути на результат досвіду, посудину з розчином поміщають в непрозорий футляр або ж обгортають чорним фотопапером. У міру росту рослин, їх переносять у великі посудини з новими свіжими розчинами, старі ж розчини піддають необхідному дослідженню для вивчення змін, що відбулися в них. При ретельному дотриманні умов досвіду виходять, як було згадано вище, відмінні результати.

В умовах проведення вегетаційного досвіду з вирощуванням рослин у водній культурі на повної поживній суміші і з виключенням елементів живлення визначають значення хімічних елементів у житті рослин. Наприкінці досвіду отримують унаочнення того, як відсутність певного з елементів впливає на розвиток рослин [19].

РОЗДІЛ 2

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

У живленні рослин, крім головних макроелементів – Нітрогену, Фосфору і Калію, беруть участь 76 елементів періодичної системи Д. І. Менделєєва. До макроелементів належать хімічні елементи, вміст яких у ґрунті і рослинах зазвичай становить від кількох відсотків до сотих часток відсотка в перерахунку на суху речовину. Тому поділ на макро- та мікроелементи є досить умовним. Дослідники проводять межу між цими двома групами по різним елементам. Це обумовлено тим, що дослідження впливу елементів мінерального живлення на ріст рослин здійснюється на різних рослинних об'єктах та в різних заданих умовах. Тому вміст кожного елемента в різних рослинах в різних дослідах зрозуміло буде різним. Інтервал вмісту кожного елемента, виражений у відсотках, може коливатися в достатньо широких межах [19].

До мікроелементів відносять Нітроген, Оксиген, Карбон, Гідроген, Сульфур, Фосфор, Кальцій, Калій, Магній, Ферум, Натрій. Дуже часто останні два елементи відносять до мікроелементів, або їх місце віддають іншим хімічним елементам, наприклад Купруму або Цинку.

Серед цих наведених елементів мінерального живлення не всі є власне мінеральними Карбон, Гідроген, Оксиген та Нітроген називають органогенними, оскільки ці елементи насамперед входять до складу органічних сполук [7].

Карбон Сполуки карбону є основою всіх рослинних і тваринних організмів. Забезпечуючи життя, цей елемент здійснює в природі постійний кругообіг. У складі вуглекислого газу Карбон присутній в атмосфері Землі, а також у розчиненому вигляді присутній у воді. Живі організми, (переважно рослини) засвоюють його з атмосфери чи води завдяки фізіологічному процесу, який має назву фіксація Карбону. Інші організми, нездатні

засвоювати Карбон, отримують його через харчові ланцюги. Карбон частково повертається в атмосферу у вигляді CO_2 як продукт дихання або горіння. Карбон повертається в атмосферу за рахунок тривалого геологічного колообігу як наслідок дегазації порід, вулканічній діяльності тощо [15].

Оксиген становить 42% сухої маси рослин. Цей хімічний елемент – найпоширеніший на Землі, у повітрі O_2 – 20,93 % за об'ємом. До складу води входить 88,8 % Оксигену. Він входить до складу практично всіх гірських порід, ґрунтів, а також клітин усіх рослинних і тваринних організмів. Також він входить до складу білків, нуклеїнових кислот, жирів, вуглеводів тощо. Вільний оксиген відіграє велику роль в біохімічних і фізіологічних процесах, зокрема в диханні. Діяльність зелених рослин і деяких бактерій є джерелом вільного кисню на Землі.

Гідроген. На відміну від Оксигену, що існує на Землі у зв'язаному, і вільному станах, практично весь Гідроген знаходиться у вигляді хімічних сполук. Найпоширенішими з них є вода. Відома велика кількість сполук Гідрогену з Карбоном, це вуглеводневі сполуки. Гідроген входить до складу практично всіх органічних речовин і присутній у всіх живих організмах [4].

Сульфур На його долю припадає 0,05% маси земної кори. Він присутній також у вільному стані (самородна сірка). Найважливішими його природними сполуками є сульфіди різноманітних металів. Сульфур у великій кількості міститься в живих організмах, оскільки входить до складу білкових молекул. Дисульфідний зв'язок у структурі білка виникає за рахунок зв'язування двох атомів сульфуру, так званий SS-зв'язок (дисульфідний місток -C-S-S-C.). Існують наступні ознаки дефіциту Сульфуру: світло-зелене забарвлення листків, потім жовтого, частково з відтінком червоного. Стебла стають тонкими, ламкими, рано здерев'яніють, листки вузькі та видовжені [15].

Фосфор – один з найпоширеніших хімічних елементів земної кори: 0,08-0,09% її маси. Фосфор знаходиться у всіх органах рослин, але найбільше його в плодах і насінні. Фосфор – один з основних

макроелементів, що підвищує врожайність сільськогосподарських рослин. Входить до складу білків та АТФ, ДНК, є біогенним хімічним елементом. АТФ слугує головним енергетичним коферментом в рослинній клітині. Фосфоліпіди формують клітинні мембрани. Фосфор позитивно впливає на генеративні органи рослини.

Ознаки дефіциту Фосфора: гальмування росту, листки з нижнього боку набувають синьо-зеленого кольору. У рослин, які плодоносять стебла та окремі листки стають рожево-синіми або набувають синьо-зеленого забарвлення [14].

Калій. Цей хімічний елемент не входить до складу органічних сполук, але забезпечує стійкість рослин до засухи, низьких температур, хвороб та впливу шкідників, відіграє активну роль у забезпеченні водного режиму рослин, забезпечує активне перенесення речовин рослиною та посилює розвиток кореневої системи. Калій інтенсифікує синтез і транспорт важливих хімічних речовин в репродуктивні органи. Більша частина даного хімічного елементу розміщується у вакуолярному клітинному соці у складі водорозчинних солей. Калій та його сполуки легко переміщуються у воді, тому він вимивається при тривалих опадах або занадто частому поливі на зрошуваних полях і це призводить до калійного голодування рослин. Він сприяє кращому засвоєнню інших хімічних елементів (фосфору), процесам різного синтезу, поглинанню вуглекислоти з повітря, а також азоту, заліза.

Основні ознаки нестачі Калію – втрата тургору листками та молодими пагонами, на краях листка виникають світло-зелені плями, які при подальшому калійному голодуванні стають коричневими [5].

Нітроген. У природі Нітроген існує у вигляді азоту N_2 (проста речовина). Об'ємна частка азоту в атмосферному повітрі становить біля 78,%. Зв'язаний Нітроген зустрічається у середовищі в основному у вигляді солей нітратної кислоти ($NaNO_3$, KNO_3). Нітроген – макроелемент, що входить до складу більшості органічних сполук, біологічно активних речовин

та коферментів: вітамінів, гормонів, антибіотиків, міститься в різноманітних рослинних і тваринних організмах (білки, нуклеїнові та амінокислоти).

Основна ознака дефіциту Нітрогену – гальмування росту рослин.

На перелічені вище елементи разом припадає 95% сухої маси рослин після їх висушування. Решта 5% припадають на так звані зольні речовини: S, P, K, Ca, Mg, Fe, Na та ін. (мікроелементи). Зольними їх називають тому що вони залишаються у золі після спалювання рослин [10].

На сучасному етапі розвитку людства значну кількість газоподібних сполук Нітрогену виділяє в атмосферу промисловість. Коренева система рослин здатна поглинати з ґрунту тільки іонні форми Нітрогену – катіон амонію NH_4 і нітрат-іон NO_3 . Це так званий мінеральний Нітроген ґрунту. Основною формою такого ґрунтового Нітрогену є гумус. Загальний вміст цього хімічного елементу в орному шарі різних ґрунтів змінюється в широких інтервалах, що пояснюється, насамперед, неоднаковим вмістом в різних ґрунтах саме гумусу [13].

Валовий вміст Нітрогену в орному шарі становить від 1,5 до 15 т/га. Але основна частина ґрунтового Нітрогену (до 99%) міститься у вигляді органічних хімічних сполук (білкових і гумусових речовин), недоступних для живлення коренями рослин. Розкладання органічних нітрогеновмісних речовин до аміаку (амоніфікацію) здійснюють різноманітні мікроорганізми на всіх ґрунтах при різній реакції середовища, але воно сповільнюється без кисню (анаеробні умови) при сильно кислій або лужній реакції середовища. Амонійний Нітроген у ґрунті піддається нітрифікації – окисненню нітрифікуючими бактеріями до нітратів і нітритів. До значних втрат у вигляді молекулярного азоту або оксидів Нітрогену різного ступеню окислення призводить денітрифікація, яка полягає у відновленні нітратів біологічним або хімічним шляхом. В умовах сильних атмосферних опадів ґрунт промивається від нітратів, які втрачаються. Це властиво для піщаних і супіщаних ґрунтів.

Протягом вегетаційного періоду вміст Нітрогену в рослинах змінюється. У молодому віці рослини потребують більше Нітрогену, синтез азотистих речовин переважає над їх розпадом. При наростанні органічної маси вміст Нітрогену зменшується. Нестача Нітрогену гальмує утворення органів плодоношення і призводить до зниження врожаю та зменшення кількості білка в сільськогосподарській продукції [6].

Нітрогенове голодування рослин передусім характеризується хлорозом - листки стають блідо-зеленими. У разі нестачі Нітрогену відбувається його перерозподіл між органами в рослині. З найстаріших листків Нітроген, що вивільнився після руйнування хлорофілу, переміщується до атрагуючих точок росту. Старі листки при цьому стають червоними або жовтими. При дефіциті Нітрогену всі органи – листки, стебла, плоди менші, ніж у рослин при нормальному мінеральному живленні. За відсутності цього елемента затримується закладка квіткових бруньок на наступний рік або вони зовсім не утворюються.

В сільському господарстві людина вирощує бобові рослини, у яких на коренях утворюються бульби через симбіоз із бульбочковими бактеріями. Останні забезпечують збатність бобових рослин фіксувати атмосферний азот. В той же час вони здатні харчуватися і пов'язаними формами азоту у ґрунті – сполуками амонію і азотної кислоти. Рослини від себе повертають бактеріям продукти власного фотосинтезу у вигляді водорозчинних вуглеводів та мінеральних речовин, які вони поглинають із ґрунту.

Наприкінці 19 сторіччя голландський вчений Бейерінк виділив азот фіксуючі бактерії з бульбочок гороху, вики, чини, квасолі. Вони отримали назву *Bacillus radicicola*. Пізніше Б. Франк запропонував поширену сьогодні родову назву цих бактерій - *Rhizobium* (від грец. *Rhizo* - корінь, *bio* - життя) [8].

РОЗДІЛ 3

КРУГООБІГ НІТРОГЕНУ

Органічна речовина ґрунту утворюється, із рослинного опаду та решток тварин. Ці залишки разом з мінеральними сполуками створюють середовище для існування у ґрунті мікроорганізмів – бактерій і грибів. Для отримання енергії ці мікроорганізми розкладають органічніку, при цьому руйнують хімічні зв'язки і вивільняють невеликі водорозчинні неорганічні компоненти, які вже знову поглинаються рослинами. Завдяки цьому відбувається кругообіг хімічних елементів через тваринні і рослинні організми та ґрунт.

Кругообіг Нітрогену – сукупність хімічних перетворень сполук, які містять даний елемент і які забезпечують його переміщення через рослини, тварини і ґрунт. Так як молекула азоту зв'язує два атоми Нітрогену потрійним ковалентним неполярним зв'язком розірвати його дуже важко і, відповідно, включити в побудову тіла живих організмів. Тому атмосферний азот фактично неможливо використати для потреб рослин. Через це Нітроген в доступній формі є лімітуючим фактором, що стримує ріст сільськогосподарських рослин (рис. 3.1)

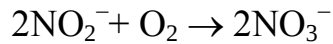
Амоніфікація. Більша частина Нітрогену надходить в ґрунт із відмерлих органічних решток, які містять цей елемент: білки, амінокислоти, нуклеїнові кислоти та інші органічні сполуки. Ці сполуки надалі мінералізуються сапрофітними бактеріями або грибами, які включають Нітроген у властиві їм амінокислоти та білки. Надлишок цього елемента виділяється у вигляді аміаку (NH_3). Який потім розчиняється у ґрунтовому розчині і перетворюється на іон амонію (NH_4^+) [23].

Нітрифікація. Це процес подальшого окиснення аміаку або іону амонію (нітрифікація). І він відбувається з виділенням енергії. До такого окиснення здатна невелика група ґрунтових бактерій. Енергія, що вивільняється, використовується цими мікроорганізмами для відновлення

карбону вуглекислоти повітря аналогічно до використання енергії світла для цього зеленими фото синтезуючими рослинами. Такі мікроорганізми організми називають хемосинтезуючими автотрофами.



Інший рід бактерій, *Nitrobacter*, продовжує окиснення нітритів до нітратів (NO_3^-) також з вивільненням енергії:



Більшу частину Нітрогену рослини поглинають саме у вигляді нітратів, через негативний заряд аніону NO_3^- , завдяки якому він знаходиться в ґрунтовому розчині. А катіон NH_4^+ , який адсорбується на поверхні твердої фази, є недоступним для рослин (рис. 3.1).

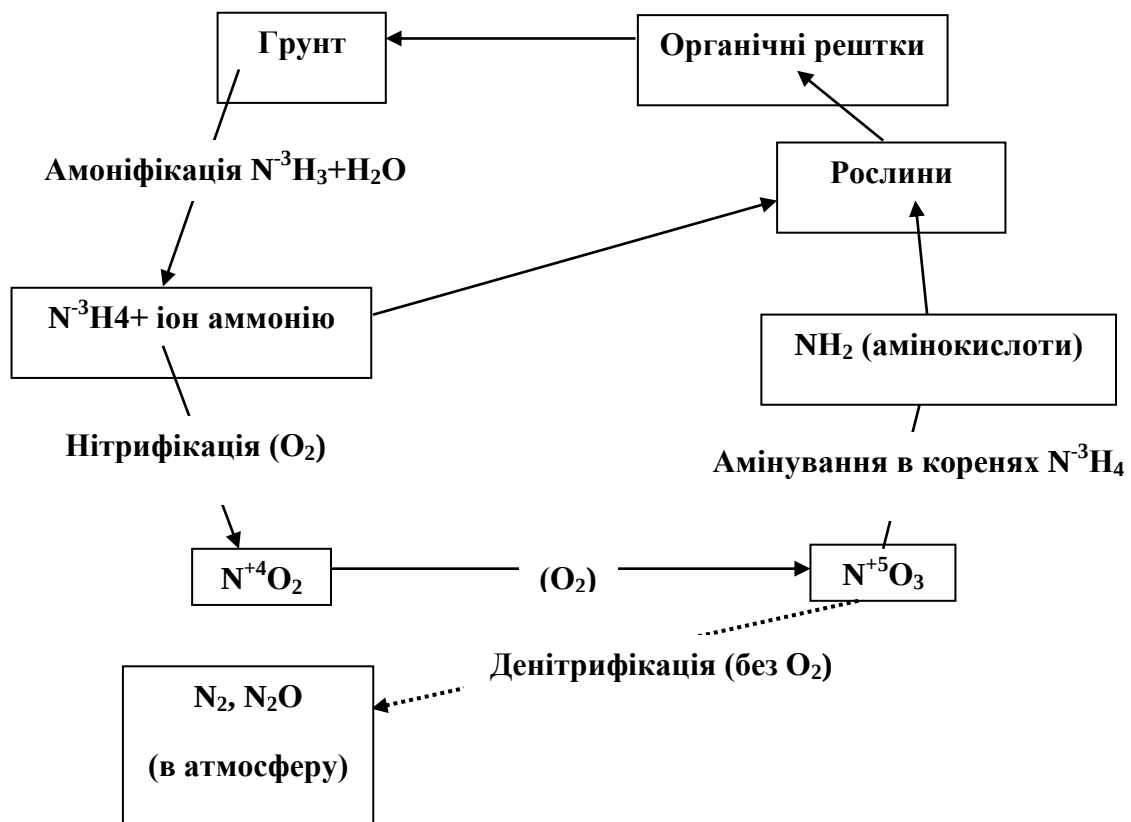


Рис. 3.1 Кругообіг Нітрогену

Амінування. В молодих клітинах кореню відбувається включення поглинутого із ґрунту Нітрогену в органічні сполуки. Надалі весь Нітроген піднімається у надземну частину рослин у складі органічних речовин.

Після потрапляння у відповідну тканину рослин, нітрати знов відновлюються до іонів амонію. Отримані іони NH_4^+ переносяться на карбонові сполуки, з одночасним амінуванням - утворенням амінокислот.

В рослинах здійснюється також синтез інших складних органічних сполук, що містять Нітроген – хлорофіл та інші органічні молекули з порфіриновими кільцями, АТФ, АДФ, НАД, НАДФ, вітаміни, нуклеїнові кислоти [20].

Денітрифікація. Це зворотний нітрифікації процес. В анаеробних умовах нітрати часто знову відновлюються бактеріями денітрифікаторами до газоподібного молекулярного азоту (N_2), або оксиду нітрогену (N_2O). Останні втрачаються так як повертаються в атмосферу. Денітрифікація відбувається за умови низького вмісту кисню у ґрунті.

Азотфіксація. Процес, в якому інертний молекулярний азот (N_2), відновлюється до іону амонію NH_4^+ і стає доступним для здійснення реакції амінування. Для того, щоб розірвати хімічний зв'язок в молекулі азоту, а потім атоми Нітрогену зв'язати з іншими елементами в нові сполуки треба витратити велику кількість енергії.

В природному середовищі відбувається неферментативне або ферментативне руйнування молекули N_2 . Перше відбувається під час грози або під дією космічного випромінювання. До неферментативного відноситься і штучний промисловий спосіб фіксації атмосферного азоту, пов'язаний зі значними енергетичними витратами та високим тиском у присутності каталізаторів.

Ферментативне розщеплення атмосферного N_2 починається з азотфіксації, яке здійснюють азотфіксуючі мікроорганізми (симбіотичні бактерії). Найбільш поширеною природі є азотфіксуюча бактерія *Rhizobium*. В симбіотичній співпраці рослини надають бактеріям цукрові сполуки карбону, як джерело енергії для розщеплення азоту, що здійснюється бактеріальним ферментом нітрогеназою. В свою чергу рослини отримують

від бульбочкових бактерій нітроген у складі сполук, які можна використати для синтезу білка.

Окрім бобових існують рослини з інших родин, здатні взаємодіяти з азотфіксуючими бактеріями – мирт болотяний, вільха, гриби актиноміцети та ін. [4].

Механізм утворення симбіозу. Симбіоз починається з прикріплення бактерій до корневих волосків, які ростуть. Далі бактерії руйнують клітинну оболонку кореневого волоска за допомогою ферментів. Кореневий волосок зупиняється в рості і починає відкладати додаткову кількість полі цукрового матеріалу клітинної стінки в середину кореневого волоска. Внаслідок такого вrostання цього матеріалу утворюється трубка (інфекційна нитка). Потрапивши до цієї трубки, бактерія рухається далі нею до кори кореня. Бактеріальний симбіонт (бактероїд) провокує поділ клітин в сусідніх ділянках кори.

Вихід бактерій із інфекційної нитки до вмістилищ, утворених плазма лемою кореневого волоска рослини господаря, постійний поділ бактероїдів та корових клітин кореня, закінчується утворенням пухлиноподібних бульбочок на поверхні кореня.

В залежності від природи речовин, у складі яких вони отримують Нітроген від бактерій, бобові ділять на декілька груп,. Так у люпину, віки, гороху – це амінокислота аспарагін; у сої, квасолі, бобів – сечовина та її похідні, уреїди. Синтез цих сполук починається в інфікованих клітинах кореню і продовжується в незаражених [22].

3.1 Молекулярний механізм азотфіксації.

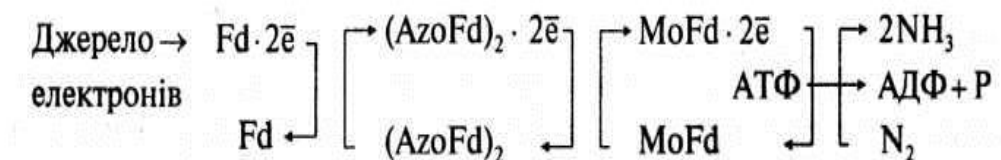
Штучні технології, які використовують, щоб одержати з атмосферного повітря NH_3 , потребують тиску і високих температур. Біологічна фіксація азоту відбувається за звичайних умов. Процес відбувається в бактероїді (збільшеній у розмірі бактерії), оточеному мембраною.

Ферментна система, яка здійснює фіксацію N_2 , називається нітрогеназою. Нітрогеназа складається з двох білкових субодиниць - високомолекулярного білку (містить молібден та ферум і називається молібдофередоксином), і низькомолекулярного білка (містить лише ферум і називається азофередоксином).

Нітрогеназа каталізує відновлення субстрату – молекулу азоту N_2 , гідроліз АТФ і АТФ-залежне виділення H_2 [1].

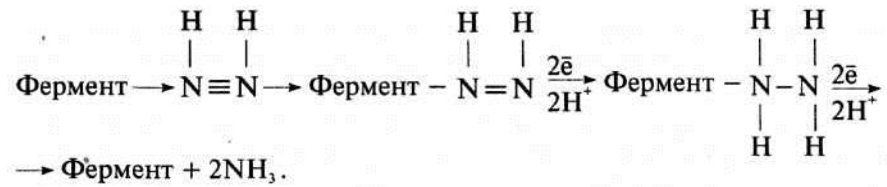
Нітрогеназа каталізує процес, при якому водень переноситься на N_2 з утворенням NH_3 . Активування водню і азоту в клітинах азотфіксаторів, необхідних для відновлення N_2 до NH_3 , здійснюється білком фередоксином. Електрони, які утворюються в ланцюзі окислювально-відновних процесів, в бактеріальній клітині активують молекулярний азот і водень.

Незалежно від джерела електронів всі вони повинні передаватись до нітрогенази переносником електронів (Fd):

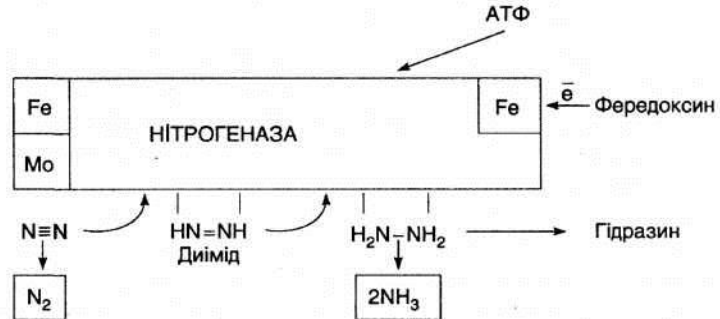


Так як для відновлення N_2 до NH_3 потрібно шість електронів а у ланцюзі перенесення електронів, який складається із фередоксину (Fd), азофередоксину (AzoFd), і молібдофередоксину (MoFd), за один раз переносяться тільки два електрони, реакція повинна складатися із послідовних двоелектронних стадій. Вважають, що відновлення відбувається через наступні проміжні стадії.

Аміак, який утворюється в результаті такого відновлення молекулярного азоту, реагує з піровиноградною, щавлево-оцтовою кислотами бактеріальної клітини і утворюються амінокислоти [21].



Наводимо схему перебігу цього процесу в клітині:



До фіксації Нітрогену здатні також несимбіотичні бактерії *Azotobacter* (аеробні) і *Clostridium* (анаеробні), і деякі фотосинтезуючі ціанобактерії [13].

РОЗДІЛ 4

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою нашого досліду було вивчення впливу макроелементу Нітрогену та процесу фіксації азоту на продуктивність рослин гороху у водній культурі; оволодіння технікою фізіологічного експерименту.

Головні ідеї досліду полягали в наступному:

Варіант 1. Визначити продуктивність рослин гороху на повній поживній суміші. Процес азотфіксації при цьому відсутній так як ґрунт як джерело бульбочкових бактерій у повній поживній суміші відсутній (рис. 4.1).



Рис. 4.1 Досліді рослини варіанту повна поживна суміш

Варіант 2. Визначити продуктивність рослин гороху на повній поживній суміші з додаванням ґрунту як джерела бульбочкових бактерій (з процесом азотфіксації) (рис. 4.2).



Рис 4.2 Дослідні рослини варіанту повна поживна суміш + ґрунт

Варіант 3. Визначити продуктивність рослин гороху на повній поживній суміші з виключенням Нітрогену (без азотфіксації) (рис. 4.3).



Рис. 4.3 Дослідні рослини варіанту повна поживна суміш з вилученням Нітрогену.

Варіант 4. Визначити продуктивність рослин гороху на повній поживній суміші з виключенням Нітрогену та з додаванням ґрунту (з процесом азотфіксації) (рис. 4.4).



Рис. 4.4 Дослідні рослини варіанту повна поживна суміш з вилученням Нітрогену + ґрунт.

Для досягнення поставленої мети у варіант 2 та 4 з першого дня досліду під час кожної зміни поживного розчину додавали по 1 г ґрунту, як джерело вільноживучих азот фіксуючих бактерій. Після ліквідації досліду провести порівняння продуктивності рослин гороху у всіх дослідних варіантах. Завдання під час проведення досліду: провести вегетаційний дослід з вирощування рослин в умовах водної культури на повній поживній суміші і з виключенням Нітрогену та з додаванням ґрунту, який містить бульбочкові бактерії [9].

Об'єкт дослідження: дослідні рослини гороху. Горох (*Pisum L.*) – однорічна рослина з родини Бобових. У сільськогосподарському виробництві поширені два види гороху: посівний (*P. sativum L.*) і польовий (*P. arvense L.*).

Відібрали 100-200 здорових насінин, однакових за розмірами. Обгорнули фільтрувальним папером чашку Петрі або блюдце, поклали вгору дном в кристалізатор з водою так, щоб рівень води був трохи нижче дна перекинутої чашки. По краю чашки розкласти насіння, прикрили кристалізатор склом і поставити в тепле місце. Коли у насіння з'явилися корінці (1-1,5см), їх посадили на поверхні пропарафінованої марлі із отворами для розсади, яка була натягнута на кристалізатор [18].

Виготовлення поживних сумішей. В якості поживної суміші використовували суміш Сакса-Кнопа, до якої додали Манган.

Варіант 1. Повна суміш Кнопа (на 1 л розчину):

Варіант 2. Повна суміш Кнопа + ґрунт.

Варіант 3. Суміш з виключенням Нітрогену (на 1 л розчину):

Варіант 4 Суміш з виключенням Нітрогену + ґрунт

Нормальні поживні розчини фізіологічно врівноважені (збалансовані), в них відсутнє явище антагонізму іонів.

Для вирощування рослин гороху у водній культурі взяли скляні банки місткістю від 0,3 до 3 л. Для монтажу посудин необхідні: пінопласт, білий і чорний папір для чохлів; нитки або шпагат; папір для етикеток; ножиці; клейстер; парафін; водяна баня; пінцети. Для банок зробили пінопластові кришки з двома отворами діаметром 0,5 см в кожній для розташування насіння та палички, до якої прив'язують стебло [9].

Ззовні посудини були пофарбовані чорним лаком для затемнення кореневої системи або обгорнуті світлонепроникним папером для затемнення кореневої системи [9].

Відібрали однакові за довжиною стебел, за кількістю і довжиною коренів та листків по 3 екземпляри рослин для кожного варіанту досліду. Повторність кожного варіанту досліду була 3-х кратною [17].

Регулярно проводили зміну розчинів, змінюючи їх один раз на тиждень. Підтримували однаковий рівень розчинів в посудинах шляхом щоденного доливання в посудини води, при цьому вести строгий її облік.

Щоб подати кисень, розчини перемішували паличкою або переливали в посудину більшого об'єму, енергійно струшуючи, та виливали назад. [18].

Протягом всього дослідів вели фенологічні спостереження; кожні 7 днів вимірювали розміри надземних частин, визначали площу листків, відмічали загальний стан рослини та появу нових листків, сліdkували, щоб поживна суміш була оптимальною за концентрацією іонів Гідрогену[9].

Рослини вийняли з посудин. Сушили в сушильній шафі при температурі 108⁰С до постійної сухої ваги. Отримані результати занесли у підсумкову таблицю [18].

Необхідно зазначити, що температурний режим був сприятливий для гороху, адже оптимальні температури для росту даної культури – інтервал 20-25⁰С.

РОЗДІЛ 5

ПРОДУКТИВНІСТЬ РОСЛИН ГОРОХУ В ВОДНІЙ КУЛЬТУРІ БЕЗ НІТРОГЕНУ

Для визначення впливу такого елементу мінерального живлення як Нітроген на ріст і розвиток культурних рослин, нами було закладено дослід, методика проведення якого була наведена у попередньому розділі (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Дослідні варіанти водної культури

Головні ідеї дослідів полягали в наступному:

1. Визначити продуктивність рослин гороху на повній поживній суміші. Процес азотфіксації при цьому відсутній так як ґрунт як джерело бульбочкових бактерій у повній поживній суміші відсутній.

2. Визначити продуктивність рослин гороху на повній поживній суміші з додаванням ґрунту. Ґрунт виступав в цьому випадку джерелом азотфіксуючих бактерій для здійснення процесу азотфіксації.

3. Визначити продуктивність рослин гороху на повній поживній суміші з виключенням Нітрогену (без азотфіксації).

4. Визначити продуктивність рослин гороху на повній поживній суміші з виключенням Нітрогену та з додаванням ґрунту (з процесом азотфіксації).

5. Провести порівняння продуктивності рослин гороху у всіх дослідних варіантах.

Протягом 53 діб з моменту проростання насіння гороху ми отримували показники продуктивності дослідних і контрольних рослин. Один із таких показників – висота рослин. Він визначався з урахуванням піднятих вгору всіх листків гороху у вертикальне положення. Динаміка змін висоти рослин в досліді і контролі представлена в таблиці 5.1 та на рисунку 5.2.

Таблиця 5.1

Динаміка висоти рослин гороху в різних варіантах досліді водної культури (см)

Варіант / дата, вік рослини	02.05.18 (17 діб)	10.05.18 (25 діб)	16.05.18 (30 діб)	23.05.18 (38 діб)	30.05.18 (45 діб)	07.06.18 (53 доби)
Варіант 1 (повна поживна суміш)	25	31	39	44	44	42
Варіант 2 (повна поживна суміш + ґрунт)	26	35	46	53	55	55
Варіант 3 (без Нітрогену)	21	30	38	47	44	45
Варіант 4 (без Нітрогену + ґрунт)	24	35	48	54	53	54

Окрім представлених в таблиці варіантів було також закладено контрольний варіант вирощування рослин гороху на дистильованій воді. Рослини варіанту вирощування без елементів мінерального живлення через

декілька днів припинили свій ріст і почали засихати, тому в обговоренні і порівняльному аналізі в якості контролю ми використовували рослини, вирощені на повній поживній суміші. Бульбочки на коренях з'явилися у рослин варіанту 2 та 4 через 30 діб вегетації (16.05.2018).

На рисунку 5.2 не вказані цифрові значення кожного виміру висоти рослин протягом періоду дослідів для того, щоб уникнути перевантаження рисунку. В той же час визначити головні тенденції і напрямки зміни висоти дослідних і контрольних рослин виходячи з даних малюнку достатньо легко.

Зазначимо, що до 25 доби вирощування рослин гороху у різних варіантах водної культури практично були дуже близькими за висотою. Однак надалі рослини у варіанті 1 (повна поживна суміш) та варіанті 3 (без Нітрогену) сповільнили ріст у висоту.

На момент ліквідації дослідів рослини цих варіантів були суттєво нижчими, ніж у варіанті 2 та 4 (на 8-9%). Це суттєво для рослин з достатньо коротким вегетаційним періодом.

Важко пояснити те, що рослини у варіанті повної поживної суміші мали одну висоту з рослинами, що були вирощені без Нітрогену. Адже вони мали суттєво переважати останні за даним показником, тому що всі ростові процеси потребують нітрогену для амінокислот білків.

З іншого боку показовим є те, що додавання ґрунту і діяльність бульбочкових бактерій як азотфіксаторів забезпечило перевагу рослин із варіантів з ґрунтом над іншими рослинами. Особливо показовим є той факт, що таку перевагу мали рослини варіанту 4, адже нітроген був відсутній у поживній суміші. Це означає, що бульбочкові бактерії через процес азотфіксації Нітрогену повітря забезпечили рослини даного варіанту достатньою кількістю Нітрогену для забезпечення росту рослини у висоту (рис. 5.2).

Наступним показником, який визначали протягом періоду проведення дослідів була кількість листків дослідних рослин (таблиця 5.2).

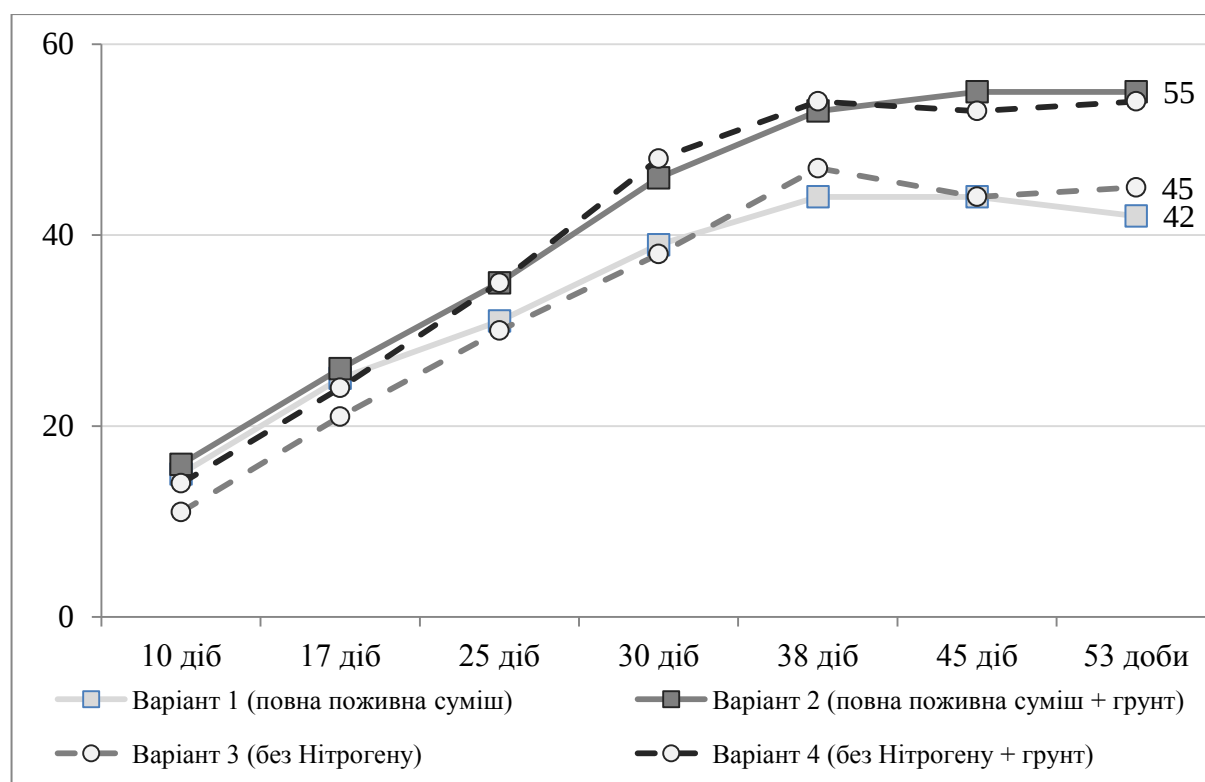


Рис. 5.2 Динаміка висоти рослин гороху дослідних варіантів водної культури протягом всього досліду (см)

Необхідно зазначити, що кількість листків у рослин різних варіантів досліду протягом перших 30 днів вегетації була практично однаковою. Надалі з'явилися суттєві відмінності між варіантами за даним показником (рис. 5.3).

Таблиця 5.2

Динаміка кількості листків у рослин гороху в різних варіантах досліду водної культури (живі + сухі = разом) (шт)

Варіант / дата, вік рослини	02.05.18 (17 діб) ж+с=р	10.05.18 (25 діб) ж+с=р	16.05.18 (30 діб) ж+с=р	23.05.18 (38 діб) ж+с=р	30.05.18 (45 діб) ж+с=р	07.06.18 (53 доби) ж+с=р
Варіант 1 (повна поживна суміш)	14	20	28+9=37	32+11=43	30+24=54	16+42=58
Варіант 2 (повна поживна суміш + ґрунт)	12	22	30+4=34	42+7=49	40+16=56	32+28=60
Варіант 3 (без Нітрогену)	14	20	28+5=33	30+10=40	26+20=46	6+46=52
Варіант 4 (без Нітрогену + ґрунт)	14	24	28+8=36	40+13=53	36+24=60	24+36=60

Рослини варіанту 3 (без Нітрогену) з 30 дня вегетації суттєво відставали за загальною кількістю листків на рослині (52 листка проти 60). Це виглядає цілком логічно.

Дуже показово, що альтернативний йому варіант 4 (без Нітрогену + ґрунт) в якому на рослинах з середини вегетації з'явилися бульбочки на корені, переважав за кількістю листків усі інші варіанти протягом усього періоду вегетації і на момент ліквідації дослідів мав їх 60. Так само, як і інший варіант з ґрунтом (варіант 2: повна поживна суміш + ґрунт) (рис. 5.3). В цьому варіанті також з'явилися бульбочки на коренях гороху в середині вегетації.

Це говорить про те, що процес азотфіксації суттєво впливає на ріст і закладання листків у рослин гороху, незважаючи навіть на відсутність Нітрогену в поживній суміші

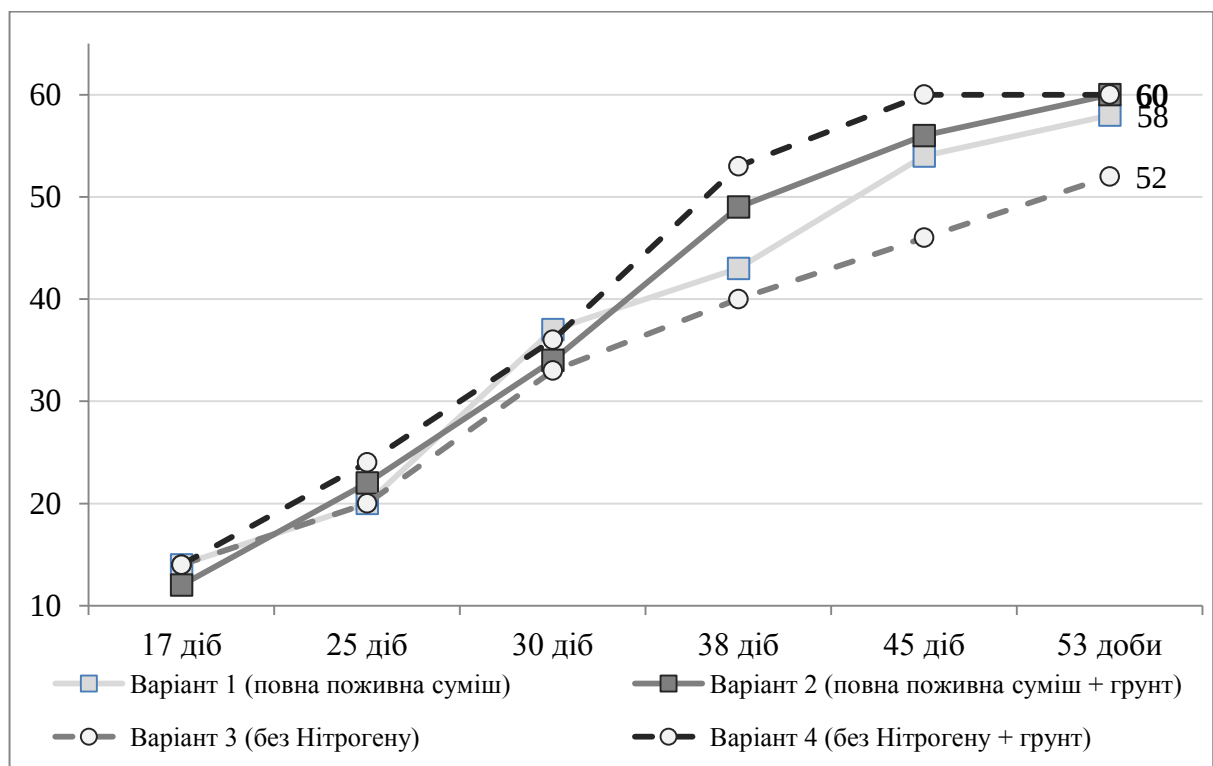


Рис. 5.3 Кількість листків на рослинах гороху дослідних варіантів водної культури протягом всього дослідження (шт)

Загальна кількість листків є дуже важливим показником, але з точки зору кінцевої продуктивності такої сільськогосподарської культури, як горох дуже важливо враховувати сухі листки із загальної кількості листків на

рослині. Адже засохлі листки не приймають участі у фотосинтезі і не забезпечують пряму зернової продуктивності наприкінці вегетації. Хоча опосередковано вони також відіграють роль в цьому процесі через розподіл асимілятів із засохлих листків у інші органи рослини.

Частка сухих листків від загальної їх кількості протягом усього періоду вегетації в усіх варіантах представлена на рисунку 5.4. Як видно з представлених на рисунку даних найменша частка сухих листків під час усіх вимірів протягом вегетації зафіксована у рослин з варіанту 2 (повна поживна суміш + ґрунт). Відсоток сухих листків у цьому варіанті був удвічі меншим, ніж в інших варіантах. На момент ліквідації досліду – 46% проти 88% у варіанті 3 (без Нітрогену), хоча на початку вегетації варіант 3 мав ідентичні показники частки сухих листків – по 12-13% (рис. 5.4).

Альтернативний варіант 1 (повна поживна суміш) продемонстрував також високий відсоток сухих листків – 72%.

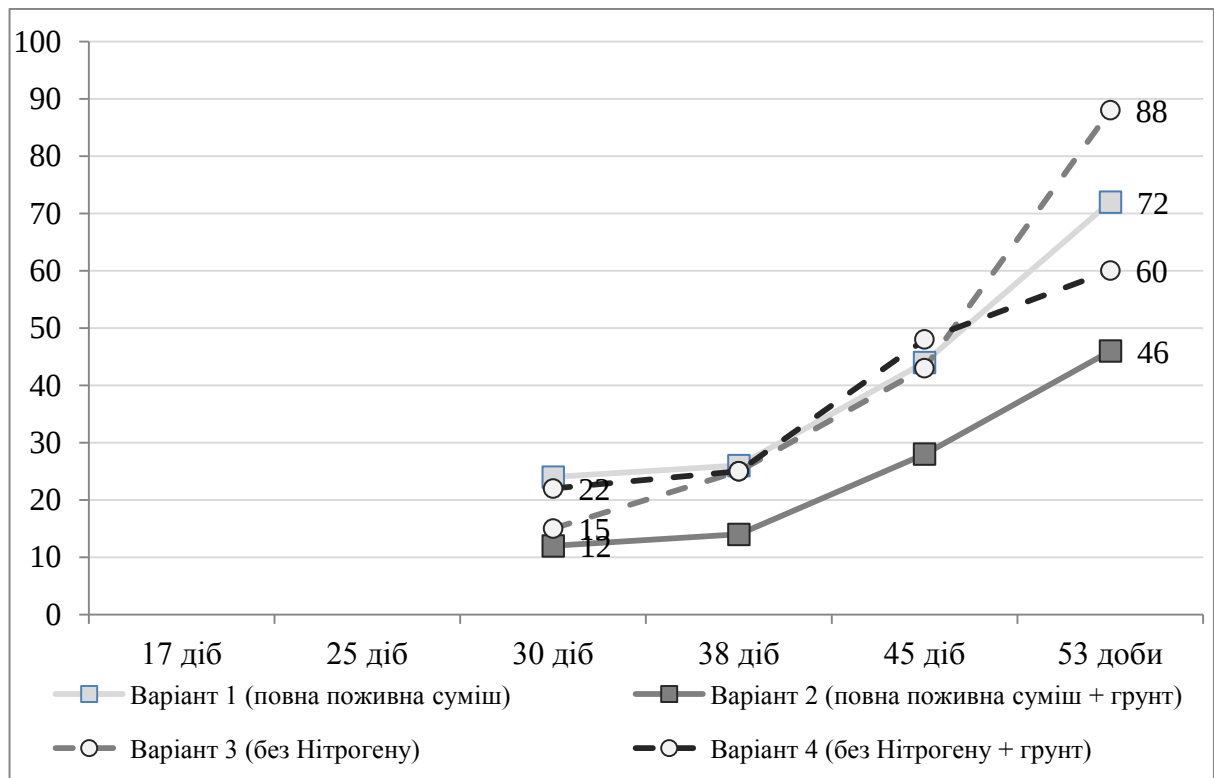


Рис. 5.4 Частка сухих листків на рослинах гороху дослідних варіантів водної культури протягом всього досліду (%)

Треба зазначити, що обидва варіанти з наявним ґрунтом у суміші, та бульбочками на коренях мали меншу частку сухих листків на момент ліквідації досліду, ніж альтернативні їм варіанти без ґрунту. Це говорить про те, що процес азотфіксації, залучення атмосферного Нітрогену до обміну у рослин гороху забезпечував кращі умови існування листків у складі рослин гороху в нашому досліді та їх більш тривале життя протягом вегетації (рис. 5.4).

Іще одним з головних показників продуктивності рослин є площа їх листкової поверхні та її динаміка протягом вегетації. При підрахунках площі листкової поверхні згідно поширених методик не враховують площу засохлих листків, а лише живих, зелених.

На рисунку 5.5 не вказані цифрові значення кожного виміру площі листків рослин протягом періоду досліду для того, щоб уникнути перевантаження рисунку.

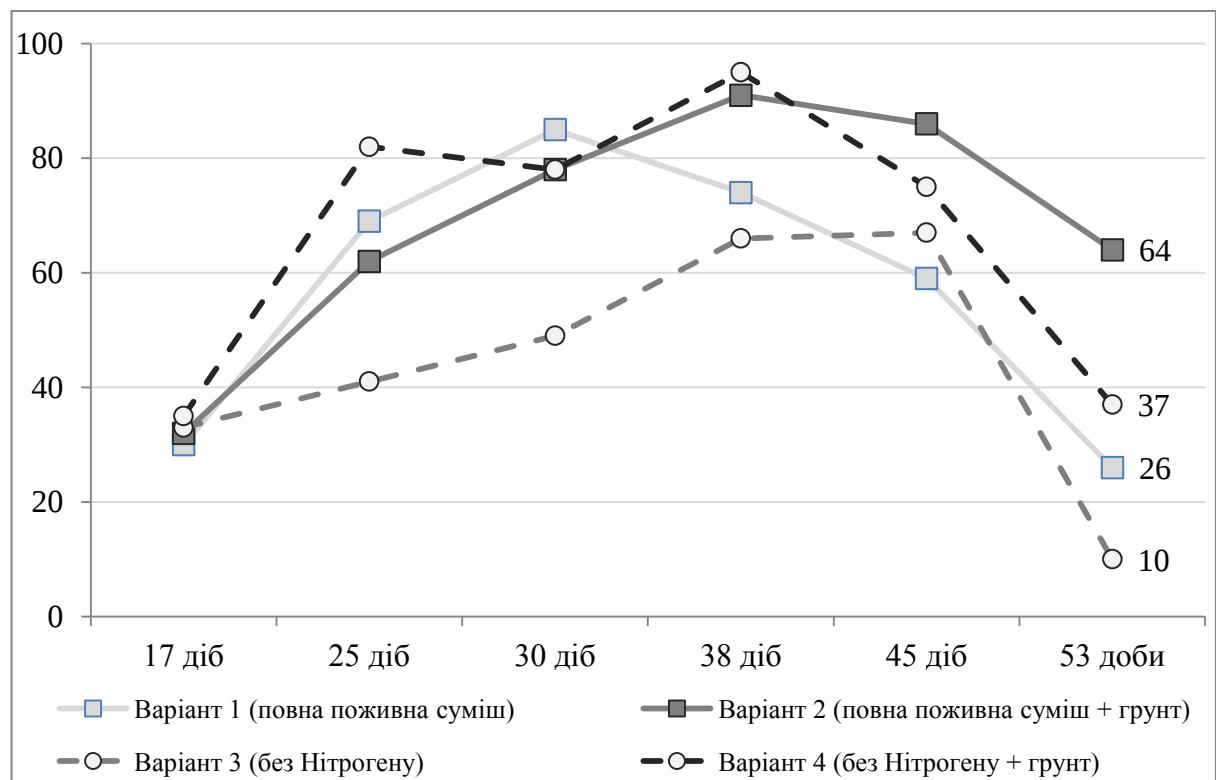


Рис. 5.5 Динаміка площі живих зелених листків рослин гороху дослідних варіантів водної культури протягом всього досліду (см²)

В той же час визначити головні тенденції і напрямки зміни площі листків дослідних і контрольних рослин виходячи з даних малюнку достатньо легко.

Так найменшу площу листової поверхні протягом усього періоду дослідження зафіксовано у рослин варіанта 3 (без Нітрогену). А на момент ліквідації досліду різниця в даному показнику між рослинами різних варіантів була дуже великою (рис. 5.5).

Рослини альтернативного варіанту 3, варіанту 4 (без Нітрогену + ґрунт) продемонстрували найбільшу швидкість нарощування площі листків на початку вегетації (рис. 5.5). Однак наприкінці вегетації площа живих листків значно скоротилась, хоча і переважала свій альтернативний варіант 3 у 3,7 рази: 37 см^2 проти 10 см^2 . Це знову говорить про те, що наявність в культурі бульбочкових бактерій забезпечує більш високу стійкість листового апарату та зберігання його площі протягом вегетації.

Це ж саме стосується і варіантів з повною поживною сумішшю. Відсутність ґрунту та азот фіксуючих бульбочкових бактерій (варіант 1) обумовило різке падіння площі листової поверхні у рослин даного варіанту в другій половині періоду досліду до 27 см^2 на момент ліквідації досліду. Альтернативний варіант 2 (повна поживна суміш + ґрунт) продемонстрував найкращі показники збереження площі листової поверхні протягом вегетації. Фінальна площа листків – 64 см^2 проти 26 см^2 у рослин варіанту 1. Тобто це у 2,5 рази більше (рис. 5.6).

Наведені результати ще раз доводять вагомість процесу азотфіксації та його роль у реалізації продуктивності рослин.

Альфа і омега продуктивності рослин у фізіології рослин вважається показник «суха маса» цілої рослини або будь-яких окремих органів. Адже саме суха маса – це речовини, створені рослиною під час вегетації, а не поглинута коренем волога ґрунту.

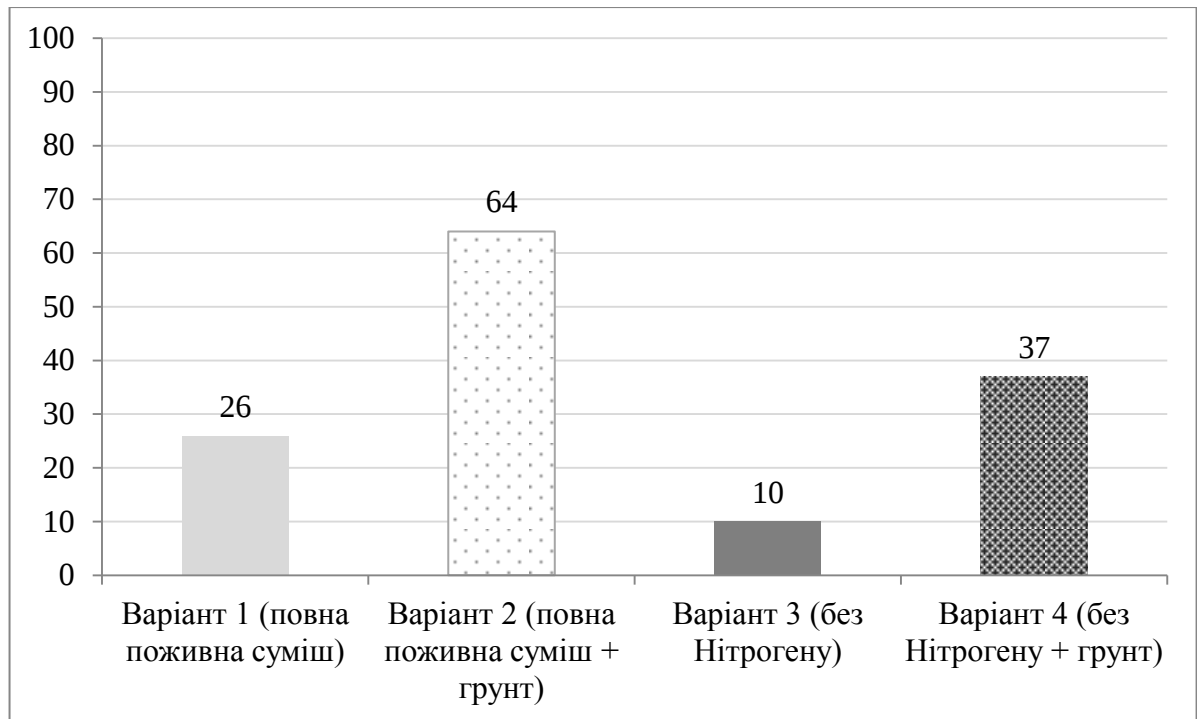


Рис. 5.6 Площа листків рослин гороху різних варіантів дослідів водної культури на момент його ліквідації (см²)

Тому після закінчення дослідів було визначено сирі і сухі маси надземної частини та кореневих систем дослідних рослин всіх варіантів (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3

Остаточні показники продуктивності на момент ліквідації дослідів з водною культурою гороху 07.06.2018

Висота рослини (см)	Площа листків (см ²)	Сира маса надземної частини (г)	Суха маса надземної частини (г)	Сира маса кореня (г)	Суха маса кореня (г)	Сира маса плодів (г)	Суха маса плодів (г)	Суха маса цілої рослини (г)
Варіант 1 (повна поживна суміш)								
42	26	3,76	0,53	1,45	0,16	1,7	0,32	1,01
Варіант 2 (повна поживна суміш + ґрунт)								
55	64	5,4	0,53	1,28	0,16	2,66	0,47	1,16
Варіант 3 (без Нітрогену)								
45	11	2,8	0,36	1,56	0,15	1,15	0,19	0,7
Варіант 4 (без Нітрогену + ґрунт)								
55	37	4,2	0,42	2,15	0,18	1,9	0,39	0,99

Показовою була суха маса рослин гороху в різних варіантах на момент ліквідації досліду (рис. 5.7).

Рослини з варіанту 2 (повна поживна суміш з додаванням ґрунту) за рахунок процесу азотфіксації та кращого залучення Нітрогену в обмінні процеси мали змогу збільшити свою суху масу в порівнянні з рослинами альтернативного варіанту 1 на 13% (1,16 г проти 1,01г відповідно).

Іще більш різюча відмінність у варіантах, де рослини вирощувались без Нітрогену. Додавання ґрунту і, отже, азотфіксуючих бульбочкових бактерій забезпечило перевагу рослин варіанту 4 (без Нітрогену з додаванням ґрунту) над варіантом 3 (без Нітрогену) на 30% (0,99г проти 0,7г відповідно).

Різний відсоток збільшення маси дослідних рослин у цих варіантах говорить про те, що у випадку повного набору елементів мінерального живлення (включно з Нітрогеном) рослини менш чутливі до процесу азотфіксації і збільшують приріст сухої ваги на менший відсоток. Рослини які існують в середовищі без Нітрогену дуже чутливо реагують на процес азотфіксації і можливість залучення даного хімічного елемента із повітря атмосфери (рис. 5.7).

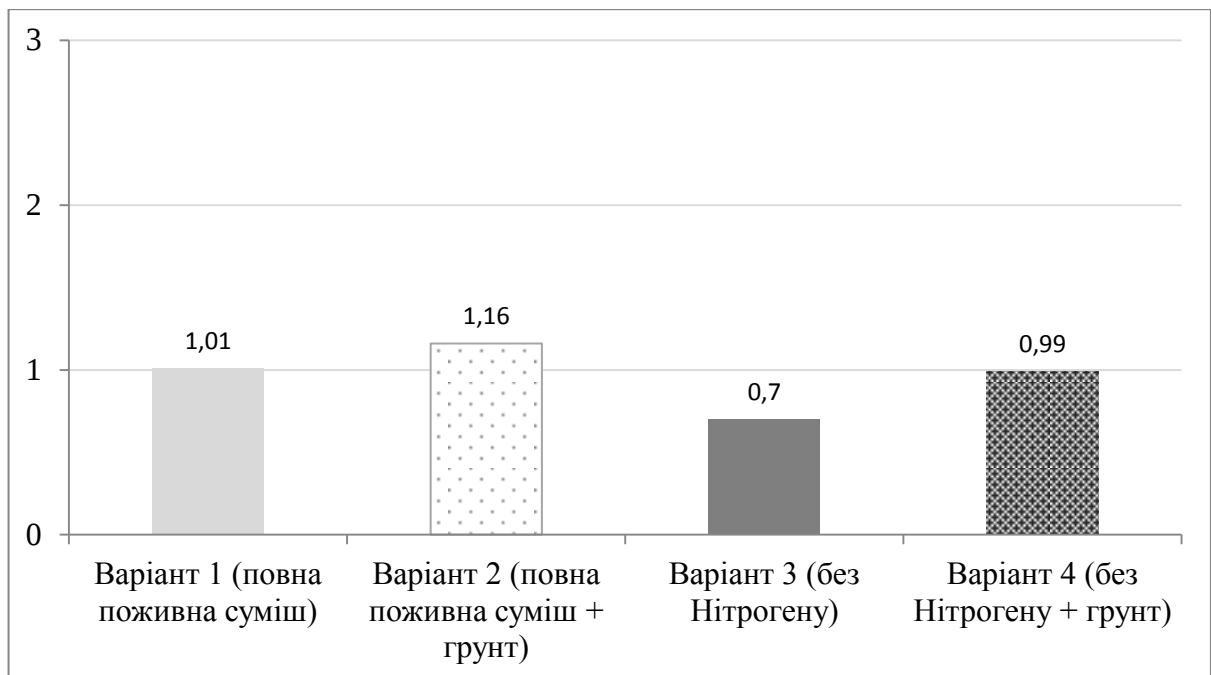


Рис. 5.7 Суха маса рослин гороху різних варіантів на момент ліквідації досліду (г)

Ми дослідили, які органи рослин гороху у водній культурі найбільш чутливі до здійснення процесу азотфіксації з точки зору збільшення їх продуктивності через ріст сухої маси (рис. 5.8).

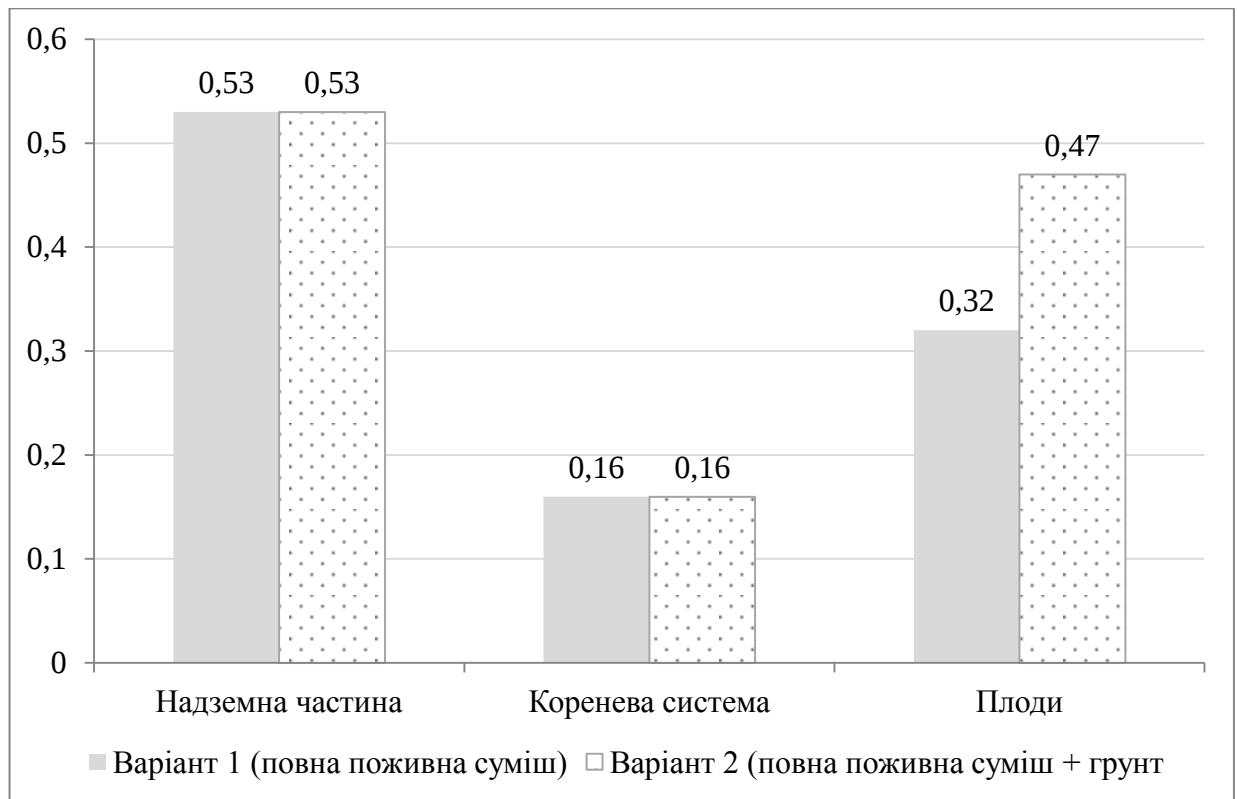


Рис. 5.8 Суха маса окремих органів дослідних рослин гороху у водній культурі (варіант 1 та 2) (г)

Встановлено, що у рослин, вирощених як на повній поживній суміші (варіант 1) так і на повній поживній суміші з ґрунтом (варіант 2), суха маса окремих органів по різному реагувала на процес азотфіксації та додаткове залучення Нітрогену із атмосфери повітря. Так надземна частина (за виключенням плодів) та коренева система у рослин обох варіантів дослідів продемонстрували однакову продуктивність на момент ліквідації дослідів. Це говорить про те, що ці органи рослин гороху мало чутливі до процесу азотфіксації у симбіозі рослин з відповідними бактеріями.

Зафіксовано, що плоди рослин у варіанті 1 та варіанті 2 суттєво відрізнялись за сухою масою. А саме: у варіанті 2 поява в середовищі бульбочкових бактерій і забезпечене ними додаткове залучення Нітрогену

дослідними рослинами обумовило більшу суху масу плодів рослин даного варіанту на 32% (0,47г проти 0,32 у варіанті 1).

Проміжний висновок наступний. За умов оптимальної кількості всіх елементів мінерального живлення у рослин гороху додаткове надходження Нітрогену в результаті діяльності азот фіксуючих бульбочкових бактерій забезпечує збільшення продуктивності генеративних, а не вегетативних органів (рис. 5.8).

Також нами було встановлено, у рослин, вирощених на повній поживній суміші з виключенням Нітрогену (варіант 3) і з виключенням Нітрогену, але з додаванням ґрунту (варіант 4), суха маса окремих органів зовсім інакше реагувала на процес азотфіксації та додаткове залучення Нітрогену із атмосфери повітря (рис. 5.8).

На відміну від варіанту 2 у рослин варіанту 4 всі без винятку органи (вегетативні і генеративні) збільшили свою суху масу після початку процесу азотфіксації. Але збільшення продуктивності у різних органів відбулося по різному (рис. 5.9).

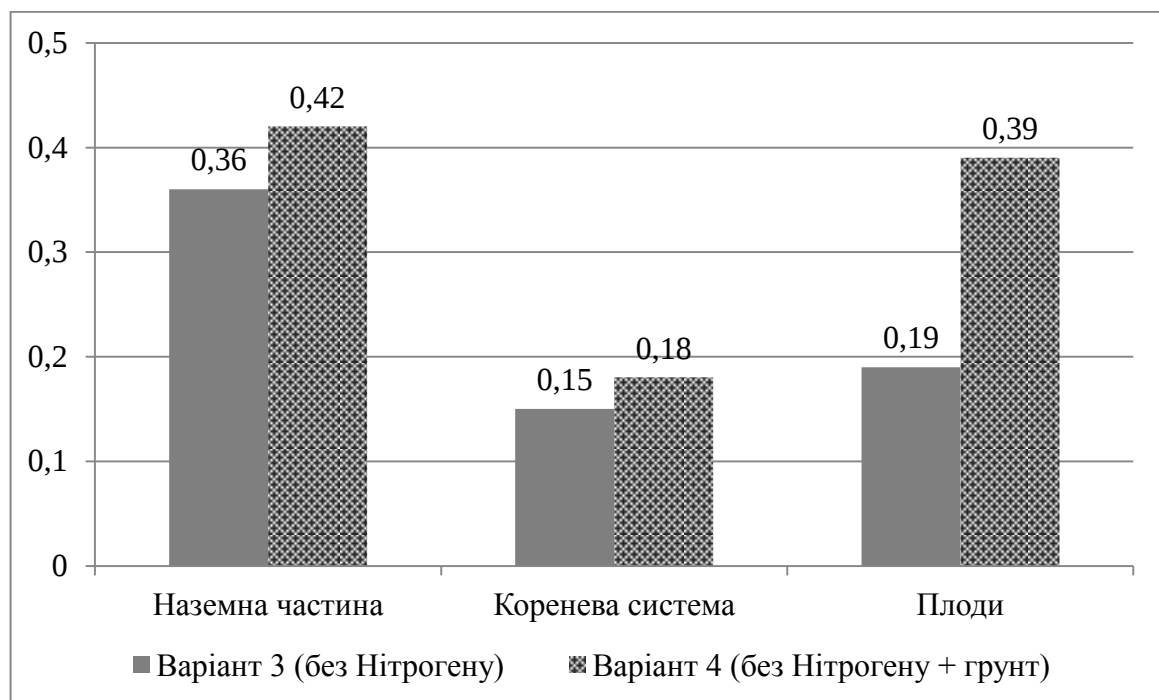


Рис. 5.9 Суха маса окремих органів дослідних рослин гороху у водній культурі (варіант 3 та 4) (г)

Найменший приріст сухої маси зафіксовано у надземної частини рослин варіанту 4-14% (0,42г проти 0,36г у надземної частини варіанту 3).

Таким чином встановлено, що надземна частина найменш чутлива до процесу азотфіксації і симбіозу з бульбочковими бактеріями.

На 17% була більша суха маса кореневої системи рослин варіанту 4 на момент ліквідації дослідів. Таким чином друга по чутливості до діяльності азотфіксуючих бактерій була коренева система рослин, які були вирощені на повній поживній суміші з виключенням Нітрогену.

Найбільший відгук на симбіоз з бульбочковими бактеріями продемонстрували плоди гороху – збільшення сухої маси більш ніж у два рази в порівнянні з рослинами з варіанту 3, які існували без симбіозу з азотфіксуючими бактеріями (0,39г проти 0,18г).

Ми провели порівняльний аналіз сухої маси плодів рослин всіх дослідних рослин на момент ліквідації дослідів. Було встановлено, що найменшу суху масу мали плоди рослин водної культури гороху, які були вирощені з виключенням Нітрогену (варіант 3) – 0,19г (рис. 5.10).

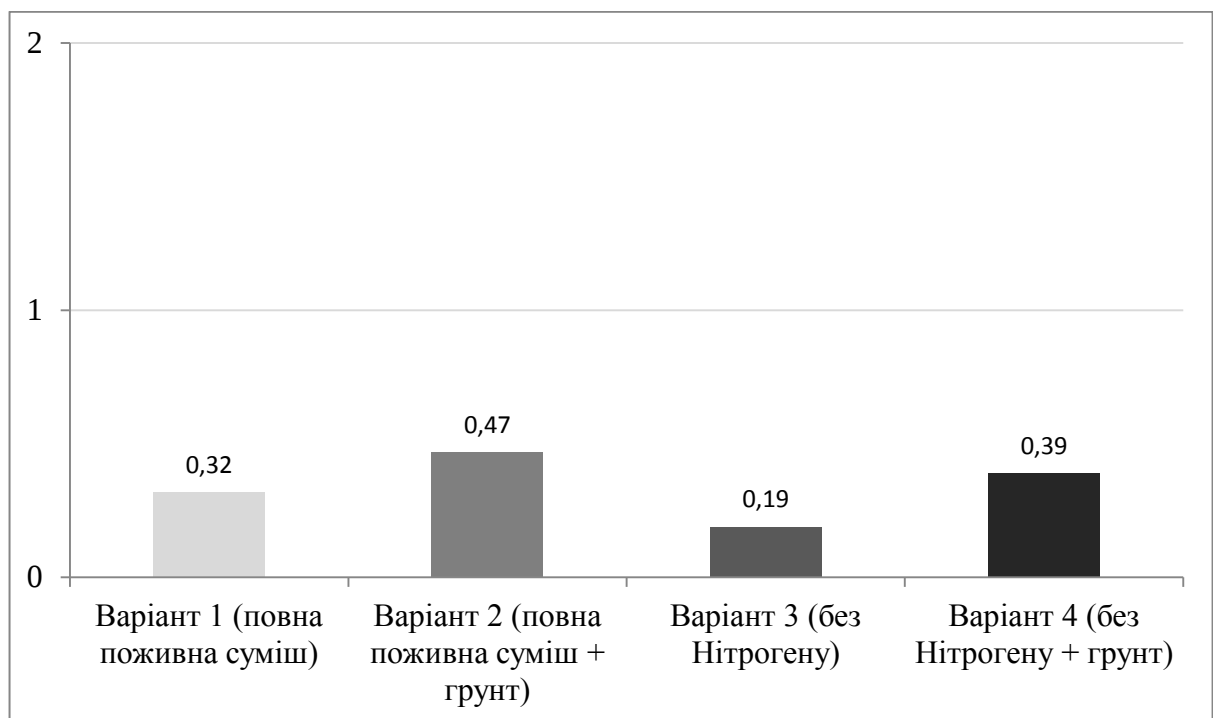


Рис. 5.10 Суха маса плодів рослин гороху різних варіантів на момент ліквідації дослідів (г)

Це виглядає цілком логічним, адже плодові елементи є основним атрагуючим центром на рослині і потребують велику кількість білка для формування насіння. На другому місці розташовані рослини, вирощені на повній поживній суміші (варіант 1). Суха маса цих рослин – 0,32 г. Це у 1,7 рази більше, ніж з виключенням Нітрогену. Даний результат повністю відповідає потребам рослин гороху в Нітрогені та інших елементах мінерального живлення.

Показовим є те, що поява в альтернативних варіантах (2 та 4) ґрунту з бульбочковими бактеріями та формування відповідної азотфіксуючої активності цих бактерій привело до більших показників сухої маси рослин даних варіантів у порівнянні з їх візаві – 1 та 3 варіантами відповідно (рис. 5.10). Ця різниця була суттєвою та повторила тенденцію різниць між сухою вагою всієї надземної частини рослин дослідних варіантів (рис. 5.7).

РОЗДІЛ 6

ПОРІВНЯННЯ РЕАКЦІЇ ВОДНИХ КУЛЬТУР ГОРОХУ ТА КУКУРУДЗИ НА ВІДСУТНІСТЬ НІТРОГЕНУ

Використавши результати проведених раніше на кафедрі загальної біології та екології досліджень, ми порівняли реакцію водних культур гороху та кукурудзи на відсутність у водній культурі Нітрогену [10].

Ми порівняли отримані ними результати для культури кукурудзи із нашими даними. В обох дослідженнях були присутні контрольні варіанти з повною поживною сумішшю та дослідні із відсутністю Нітрогену в суміші. Для порівняння були взяті однакові показники продуктивності (висота рослин, площа листків тощо). На рисунку 6.1 представлені для порівняння різниці висоти рослин водної культури кукурудзи та гороху на повній поживній суміші та у варіанті без Нітрогену.

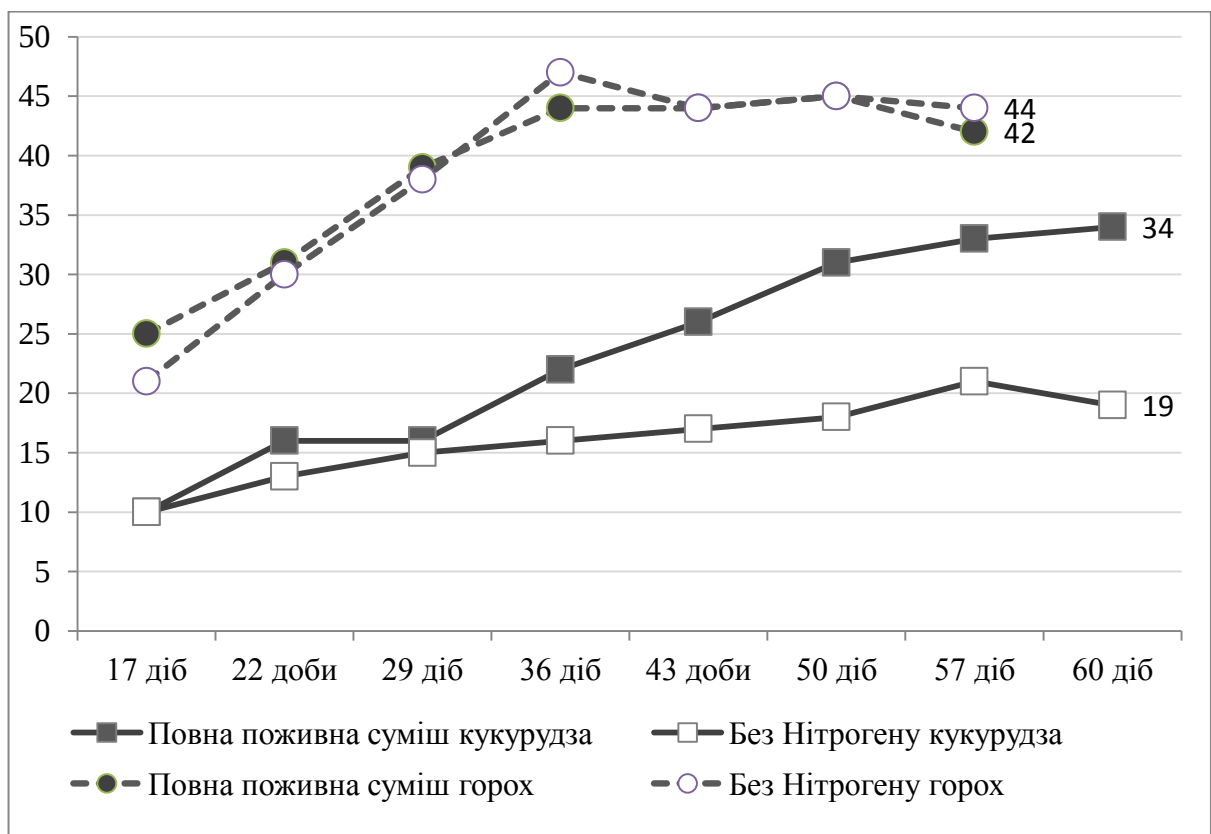


Рис. 6.1 Динаміка зміни висоти рослин кукурудзи та гороху, що були вирощені на повній поживній суміші та з виключенням Нітрогену (см).

Встановлено, що до 30-ї доби рослини кукурудзи на повній поживній суміші та без Нітрогену практично не відрізнялися за висотою. Але

починаючи з 30-ї доби рослини у варіанті без Нітрогену практично припинили свій ріст у висоту, а рослини на повній поживній суміші поступово росли і збільшували висоту рослин. На момент ліквідації досліду різниця у висоті дослідних та контрольних рослин була майже у 2 рази більшою на користь контрольних рослин: 34 см проти 19 см. Тобто починаючи з 30-ї доби відбулося кардинальне відставання росту дослідних рослин на поживній суміші без Нітрогену.

На тому ж рисунку 6.1 представлені аналогічні дані для рослин гороху в тих же умовах водної культури і дослідних варіантах. Як видно із даних рисунку 6.1 висота контрольних (повна поживна суміш) і дослідних (без Нітрогену) практично не відрізнялась протягом усього періоду досліду (57 діб). В день ліквідації досліду рослини в обох варіантах мали практично однакову висоту – біля 42-44 см.

Проміжний висновок полягає у тому, що ріст рослин кукурудзи, в порівнянні з горохом, набагато більш чутливий до відсутності такого макроелементу мінерального живлення, як Нітроген.

Іще один показник продуктивності рослин, який ми проаналізували для водної культури кукурудзи та гороху – це площа листків дослідних рослин.

На рисунку 6.2 представлено динаміку зміни площі живих листків кукурудзи та гороху, що були вирощені на повній поживній суміші та з виключенням Нітрогену.

У водній культурі кукурудзи, починаючи з 36 доби, почали інтенсивно відмирати листки у варіанті без Нітрогену. Тому на момент ліквідації досліду їх фактично не залишилось (площа 2 см²). У контролі ж (повна поживна суміш) зафіксовано 15,8 см². Це у 8 разів більше, ніж в досліді. Тобто кукурудза продемонструвала високу чутливість площі листової поверхні до відсутності Нітрогену у поживній суміші.

На тому ж рисунку 6.2 представлені аналогічні дані для рослин гороху в тих же умовах водної культури і дослідних варіантах. Як видно із даних

рисунку 6.2 площа листової поверхні рослин гороху в контролі була більшою, ніж у варіанті без Нітрогену протягом фактично всього терміну дослідження. Але ця різниця була набагато меншою, ніж для водної культури кукурудзи. В день ліквідації дослідження у контрольних рослин на повній поживній суміші площа листків становила 16 см², а у варіанті без Нітрогену – 8 см². Тобто різниця становила у 2 рази на користь контролю.

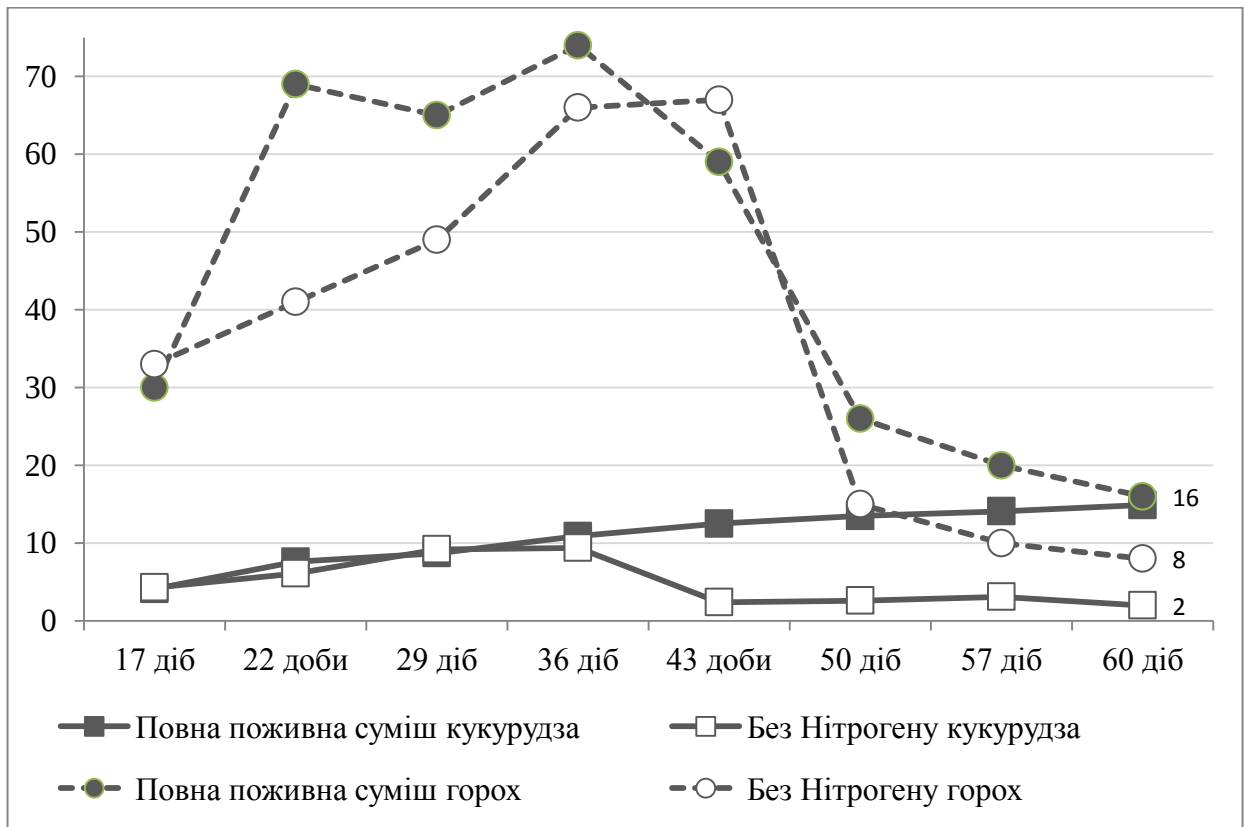


Рис. 6.2 Динаміка зміни площі живих листків кукурудзи та гороху, що були вирощені на повній поживній суміші та з виключенням Нітрогену (см²)

Проміжний висновок виглядає наступним чином. Площа листків рослин кукурудзи, в порівнянні з горохом, набагато більш чутлива до відсутності такого макроелементу мінерального живлення, як Нітроген.

Ми також проаналізували дані сухої ваги в контролі і варіанті без Нітрогену для кінцевих показників продуктивності рослин в момент ліквідації дослідження. Зафіксовано, що вирощування рослин кукурудзи без Нітрогену привело до зменшення сухої ваги дослідних рослин на 19% в порівнянні з сухою вагою рослин, вирощених на повній поживній суміші.

У випадку з горохом ситуація наступна. Зафіксовано, що вирощування рослин гороху без Нітрогену привело до зменшення сухої ваги дослідних рослин на 30% в порівнянні з сухою вагою рослин, вирощених на повній поживній суміші.

Як бачимо, незважаючи на попередні проаналізовані показники, рослини кукурудзи в порівнянні з рослинами гороху показали більшу стійкість до відсутності Нітрогену як елементу мінерального живлення з точки зору кінцевої продуктивності на момент ліквідації досліду.

РОЗДІЛ 7

ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ВИКЛАДАННІ ШКІЛЬНОГО КУРСУ БІОЛОГІЇ

Практичне значення нашого дослідження полягає у використанні отриманих результатів вчителями середніх загальноосвітніх шкіл для викладання наступних тем навчальної програми з біології:

6 клас. Тема 3 «Рослини». Зміст: «Корінь, пагін: будова та основні функції»;

Використання при вивченні даної теми результатів наших досліджень допоможе учням:

- оперувати термінами- вегетативні органи рослини (корінь, стебло, листок, брунька), живлення рослин,
- аналізувати значення живлення в житті рослин;
- планувати власні спостереження будови та життєдіяльності рослини;
- прогнозувати результати власних спостережень;
- практикувати досліди, що підтверджують основні процеси життєдіяльності рослин;
- дотримуватися правил роботи з лабораторним обладнанням;
- застосовувати знання для догляду за рослинами
- називати умови та речовини, необхідні для життєдіяльності рослин;
- усвідомлювати що рослина – цілісний організм.

7 клас. Тема 4 «Організми і середовище існування». Зміст: «Співіснування організмів в угрупованнях».

10-11 клас. Біологія та екологія. Рівень стандарту. 10 клас. Тема «Біорізноманіття». Зміст «Прокаріотичні організми: археї та бактерії. Особливості їх організації та функціонування».

Використання при вивченні даної теми результатів наших досліджень допоможе учням:

- оперувати термінами та поняттями прокаріоти, еукаріоти.

- наводити приклади бактерій, одноклітинних еукаріотів;
- характеризувати прокаріотичні організми, еукаріотичні організми;
- встановлювати елементарні причинно-наслідкові зв'язки між екологічними процесами та явищами;
- оцінювати важливість систематики для сучасних біологічних досліджень

Учням, згідно програми пропонується для реалізації проект «Складання характеристики виду за видовими критеріями».

Результати наших досліджень раніше були опубліковані у 2019 та 2020 роках в матеріалах наукових конференцій [14,18].

На підставі проведених досліджень ми дійшли наступних висновків.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що наявність в поживних сумішах азот фіксуючих бактерій обумовило найбільшу висоту рослин гороху відповідних дослідних варіантів.
2. Зафіксовано, що рослини гороху з бульбочковими бактеріями на коренях переважали всі інші дослідні рослини за кількістю сформованих листків.
3. Рослини двох варіантів з наявним ґрунтом у суміші і бульбочками на коренях мали меншу частку сухих листків протягом вегетації та на момент ліквідації досліду, ніж альтернативні їм варіанти без ґрунту.
4. Найменшу площу листової поверхні протягом усього періоду дослідження зафіксовано у рослин варіанта 3 (без Нітрогену).
5. Наявність у водній культурі бульбочкових бактерій забезпечила більшу площу листків на рослинах гороху відповідних варіантів протягом вегетації.
6. Встановлено, що рослини гороху які існували в середовищі без Нітрогену реагували на можливість залучення даного хімічного елемента із повітря атмосфери збільшенням своєї сухої ваги.
7. Зафіксовано, що у випадку наявності в середовищі повного набору елементів мінерального живлення рослини гороху менш чутливі до процесу азотфіксації і в результаті появи бульбочкових бактерій в повній поживній суміші збільшують приріст сухої ваги на менший відсоток.
8. Рослини гороху на повній поживній суміші реагували на процес азотфіксації збільшенням сухої маси плодів на 32%, інші органи не змінили свою суху масу.
9. У рослин гороху, вирощених без Нітрогену після азотфіксації всі органи збільшили свою суху масу, плоди – у два рази.

10. Висота рослин кукурудзи, в порівнянні з горохом, набагато більш чутливий до відсутності такого макроелементу мінерального живлення, як Нітроген.

11. Площа листків рослин кукурудзи, в порівнянні з горохом, набагато більш чутлива до відсутності такого макроелементу мінерального живлення, як Нітроген.

12. Встановлено, що рослини кукурудзи в порівнянні з рослинами гороху показали більшу стійкість до відсутності Нітрогену як елементу мінерального живлення з точки зору кінцевої продуктивності на момент ліквідації досліду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Битюцкий Н. П. Необходимые микроэлементы растений. СПб: Издательство ДЕАН, 2005. 256 с.
2. Векірчик К.М. Фізіологія рослин: Практикум. Київ : Вища шк. 1984. 238с.
3. Викторов Д. П. Практикум по физиологии растений. Воронеж: Изд-Воронеж. ун-та, 1991. 158 с.
4. Гладюк М. М. Основы агрохімії. Хімія в сільському господарстві. Київ : Ірпінь: Перун, 2003. 288 с.
5. Основы мікробіології / Гудзь С. П. та ін. Київ. 1991. 338с.
6. Дорохов В. І., Шелест З. М., Скиба Г. В., Барабаш О. М. Біогеохімія. Житомир: ЖДТУ, 2004. 272с.
7. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин. Суми : «Університетська книга». 2004. 354с.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир, 1989. 241 с.
9. Казаков Е. О. Методологічні основи постановки експерименту з фізіології рослин. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. 272с.
10. Ковальчук О. В. Вплив макро- та мікроелементів на ріст водної культури кукурудзи. *Теоретичні та прикладні аспекти досліджень з біології, географії та хімії* (25 квітня 2017 р., м. Суми). С. 22-27.
11. Коць С. Я., Петерсен Н. В.. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин. К : Логос. 2009. 182 с.
12. Красильникова Л. А., Авксентьева О. А., Жмурко В. В. Биохимия растений. Харьков : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2011. 200 с.
13. Москаленко М. П. Фізіологія рослин. Ч.I. Курс лекцій. Суми : СумДПУ ім А.С.Макаренка, 2006. 87 с.
14. Москаленко М. П., Охват Н. Є. Продуктивність рослин гороху у водній культурі. *Актуальні проблеми дослідження довкілля. Збірник*

наукових праць (за матеріалами VIII Міжнародної конференції, присвяченої 10-річчю створення Гетьманського національного природного парку (24-26 травня 2019 р., м. Суми). СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2019. С. 249 – 252.

15. Мусієнко М. М. Екологія рослин. Київ : Либідь, 2006. 432 с.

16. Навчальна програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Біологія 6-9 класи. Програма затверджена Наказом Міністерства освіти і науки України № 804 від 07.06.2017. URL: <https://osvita.ua/school/program/program-5-9/56139/>

17. Навчальна програма з біології і екології (рівень стандарту) для 10-11 класів загальноосвітніх шкіл, затверджена Наказом Міністерства освіти і науки № 1407 від 23 жовтня 2017 року. URL : <https://mon.gov.ua/ua/osvita/.../navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv>

18. Охват Н. Є. Показники площі листків водної культури гороху та кукурудзи без Нітрогену. *Освітні та наукові виміри природничих наук* (за матеріалами I Всеукраїнської заочної наукової конференції (8 грудня 2020 р., м. Суми) : СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2020. С. 81-83.

19. Полевой В. В. Физиология растений. Москва : Высшая школа, 1989, 464 с.

20. Летние практические занятия по физиологии растений. / Ф.Д. Сказкин и др. Москва : Просвещение, 1973. 208 с.

21. Сухарева І. Х. Польова практика з курсу фізіології рослин. Суми : СумДПУ ім.. А.С. Макаренка, 2004. 95 с.

22. Терек О. І., Пацула О. І. Ріст і розвиток рослин. Львів: Видавництво Львівського університету, 2011. 328 с.

23. Физиология растений / Н. А. Алехина и др. Москва : Академия, 2005. 635 с.

24. Физиология растений. Онлайн-энциклопедия. URL : www.fizrast.ru

25. Фотосинтез: В 2-х т. [пер. с англ.] / ред. Говинджи. Москва : Мир, 1987. Т. 1, 1987. 728 с.

26. Хелд Г. В. Биохимия растений. Москва : БИНОМ, 2011. 471 с.