

РОЗДІЛ 3. ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ АГРОЦЕНОЗІВ ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ

3.1. Фізіологічні показники і продуктивність люпину білого за впливу регуляторів росту рослин

Зернобобові культури серед палітри сільськогосподарських рослин є одними з найважливіших і найпоширеніших у світі, в тому числі й в Україні. У світовому землеробстві за площами посіву та валовими зборами вони займають друге місце після зернових. Посівні площі зернобобових культур перевищують 200 млн. га, а валовий збір – 400 млн. т, що пов'язано з їх біологічними особливостями та якісним складом зерна. Зазначені культури слугують найдешевшим джерелом високоякісних білків, як для харчування населення, так і для годівлі сільськогосподарських тварин і птахів. Зерно бобових характеризується високим вмістом вітамінів, мінеральних елементів, інших біологічно активних речовин. Завдяки біологічній фіксації азоту у симбіозі з бульбочковими бактеріями культури цієї групи суттєво покращують рівень родючості ґрунтів без значних матеріальних затрат [25].

Важливими бобовими культурами, які використовуються людиною як харчові, кормові, для поліпшення родючості ґрунту як сидеральні, проявляють фітогербіцидні властивості, застосовуються в медицині є види роду Люпин [55]. На сьогодні світовим лідером з вирощування люпину є Австралія [92]. Також, зазначену культуру вирощують у Німеччині, Португалії, Франції, Іспанії, Італії, Чилі та Перу. Люпин займає за валовим виробництвом і посівними площами серед зернобобових восьме місце у світі, Європі та серед країн ЄС, четверте в Україні, третє в Німеччині, друге в Білорусі та перше в Океанії [44].

Основна цінність люпину для фермерів – поповненням запасів азоту у ґрунті [120]. Як правило, росте на бідних ґрунтах краще, порівняно з більшістю інших видів сільськогосподарських культур [111]. Люпин здатний поглинати фосфати з ґрунту і потребує лише калію, що забезпечує високий урожай культури [55, 56, 109]. Завдяки видільній активності кореневої системи у ризосфері формується корисна мікрофлора. Ґрунтові мікроорганізми сприяють

поглинанню рослинами заліза та інших елементів живлення [115]. В орному горизонті ґрунту біодоступність заліза та фосфору часто нижча потреби рослин, що спричиняє дефіцит зазначених поживних речовин. В умовах з обмеженою кількістю фосфору, білий люпин активізує механізми, що сприяють розчиненню фосфатів у ґрунті за допомогою морфологічних, фізіологічних та молекулярних адаптацій. Подібні зміни трапляються також у коренях люпину білого до дефіциту заліза [112].

Отже, рослини люпину не вимагають особливих затрат при вирощуванні, але характеризуються високим вмістом білків у зерні (38-52 %) та надземній масі [55], хорошою насінневою продуктивністю – 25-45 ц/га та урожаєм зеленої маси – 600-900 ц/га, разом з поживними залишками потрапляє у ґрунт 50-180 кг біологічно чистого нітрогену, який використовується наступними культурами сівозміни [44, 56]. З поміж палітри зернобобових культур люпин білий та соя культурна характеризуються найвищою азотфіксувальною активністю [7]. Упродовж вегетаційного періоду вони поглинають з атмосферного повітря 70-280 кг/га молекулярного нітрогену [44]. Показано, що рослини люпину білого за сприятливих умов упродовж онтогенезу здатні засвоїти з повітря від 200 до 400 кг/га та 600 кг/га [55] молекулярного нітрогену.

Люпин білий є основною ланкою в системі екологічного землеробства та може використовуватись як дешеве джерело біопалива, порівняно із вже відомими культурами. Україна повинна в найближчі роки мати 4-6 % ріллі під екологічним землеробством. Таким чином, у даний час люпин розглядається не тільки як високобілкова культура, а й як фактор енергозбереження та біологізації землеробства [44] і відновлення родючості ґрунту [119].

У сучасних умовах євроінтеграції та виходу України на міжнародний ринок впровадження органічного виробництва харчових зернобобових культур може суттєво підвищити експортні можливості вітчизняних виробників сільськогосподарської продукції. Одним із найважливіших завдань сучасної біології та сільського господарства є інтенсифікації виробництва екологічно безпечної рослинної продукції з одночасним зниженням матеріальних та

енергетичних витрат й антропогенного навантаження на агроєкосистеми. У зв'язку з цим, виникає необхідність в удосконаленні наявних та розробці нових елементів агротехніки вирощування сільськогосподарських рослин [21].

Особливого значення в технологіях вирощування люпину білого надають мінеральним добривам, оскільки вищезазначена культура є чутливою до елементів живлення, особливо на ранніх етапах онтогенезу, коли ще не сформувався на коренях рослин симбіотичний апарат [7]. Але, водночас, зазначені хімічні сполуки можуть негативно впливати як на агрофітоценози, так і на природне навколишнє середовище, що обмежує використання зерна люпину білого в харчуванні, в тому числі й дієтичному. Зважаючи на це, актуальним є пошук шляхів зниження негативної дії мінеральних азотних добрив на посіви культури, серед яких варто виокремити часткову заміну останніх на екологічно безпечні біологічні препарати природного походження – мікробні та з рістрегулювальною дією.

Застосування препаратів на основі біологічно активних речовин стало важливим елементом агротехнологій, спрямованих на підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Використання регуляторів росту рослин (РРР) підвищує насіннєву продуктивність, поліпшує якість вирощуваної продукції, стійкість до хвороб і інших стресорів, зав'язування плодів, пришвидшує їх досягання, запобігає вилягання злакових культур, зменшує вміст в продукції нітратів і радіонуклідів [2, 8].

3.1.1. Ростові процеси рослин люпину білого за впливу біологічно активних речовин

Важливою функцією рослинного організму є здатність до ростових процесів упродовж онтогенезу за рахунок твірних тканин. У процесі поділу клітин апікальних меристем відбувається ріст стебла у висоту, а кореня у довжину. Ріст рослин є фізіологічним показником, що істотно залежить від процесів повітряного (фотосинтезу) та кореневого живлення. Розміри

рослинного організму та межі мінливості показників запрограмовані на рівні генотипу [72]. На процеси росту рослин впливають макро- та мікроелементи, що є складовими речовин рослинного організму і виконують як структурну так і регуляторну функцію. Тому для активних процесів росту необхідне збалансоване забезпечення культурних рослин усіма елементами мінерального живлення, зокрема, нітрогеном (азотом).

Основою процесів росту і розвитку рослинного організму є здатність до реалізації генетичної інформації на різних рівнях організації: від молекулярного, клітинного до органного та організменного у конкретних умовах навколишнього середовища. Функцію координаторів та інтеграторів зазначених вище процесів виконують фітогормони. Екзогенне застосування РРР впливає на зовнішні морфогенетичні та ростові параметри [8].

На основі зазначеного вище, важливо було встановити ефективність застосування РРР за параметрами процесів росту люпину білого сорту Макарівський (оригіатор ННЦ «Інститут землеробства НААН») в ґрунтово-кліматичних умовах Тернопільської обл. (ТО) (Західний Лісостеп України), оскільки ґрунтово-кліматичні умови конкретного регіону вирощування культурних рослин також впливають на ефективність застосування РРР. Сорт є скоростиглим (тривалість періоду вегетації – 108 днів), високоврожайний за насіннєвою продуктивністю (4,0-4,2 т/га) і зеленою масою. Біологічний урожай сухої речовини становить 11,9 т/га. Кількість білків у зерні – 39,7 %, у сухій речовині надземних органів – 20,1 %, олії в насінні – 10,5 %. Маса 1000 насінин – 290-310 г. Насіння та зелена надземна маса характеризуються низьким вмістом алкалоїдів (0,017 % та 0,010 %) [19].

У дослідженнях використано РРР Емістим С (синтезовано з продуктів метаболізму грибів-епіфітів рослин женьшеню та обліпихи, що колонізують кореневі системи; компонентами препарату є фітогормони ауксинової, цитокінінової та гіберелінової природи, амінокислоти, жирні кислоти, вітаміни та мікроелементи) [2] та Епін (синтезовано на основі діючої речовини 24-епібрасиноліду – стероїдного фітогормону) [57], у дозах, запропонованих

виробниками (25 мл/т) із розрахунку 2 % від маси насіння. Технологія вирощування рослин люпину білого була типовою для Лісостепу України (норма висіву – 700 тис. насінин на 1 га, ширина міжрядь – 45 см, глибина загортання насіння – 3-4 см, сівбу здійснювали в першій половині квітня) [21]. Висівали культуру у польовій 8-пільній сівозміні без застосування добрив та хімічних засобів захисту.

Встановлено (табл. 3.1.1), що висота стебла люпину білого сорту Макарівський контрольного і дослідних варіантів за передпосівної обробки насіння PPP у фенологічних стадіях росту цвітіння та зеленого бобу статистично вірогідно не відрізнялася. Упродовж вегетаційного періоду 2017 р. у зазначених вище стадіях виявлено тенденцію щодо зростання показника висоти стебла люпину білого за обробки насіння перед сівбою PPP Емістим С, що на 2,1 % та 3,4 % більше порівняно з контролем.

Аналогічні дослідження упродовж 2018 р. показали (табл. 3.1.2) також тенденцію до збільшення висоти стебла рослин за впливу Емістиму С та Епіну у фенологічній стадії цвітіння, що на 4,8 % та 1,5 % більше порівняно з контролем. Варто зазначити, що на стадії зеленого бобу виявлено статистично вірогідну різницю за висотою стебла люпину білого варіанту Емістим С.

Аналогічну закономірність за показником висоти стебла люпину білого виявлено і в 2019 р. (табл. 3.1.3). Приріст показника висота стебла у фенологічній стадії цвітіння рослин становив 4,9 %, а під час стадії зеленого бобу – 6,8 %, що статистично вірогідно відрізнявся під контролю.

Таблиця 3.1.1 – Вплив PPP на висоту стебла та облиствлення рослин люпину білого сорту Макарівський, (2017 р.), $M \pm m$, $n = 40$

Варіант	Показник			
	Висота стебла, см	Відсоток до контролю	Кількість листків, шт.	Відсоток до контролю
Фенологічна стадія цвітіння				
Контроль	56,8±1,21	100,0	18,1±0,57	100,0
Емістим С	58,0±0,78	102,1	22,9±0,38*	126,5
Епін	56,4±0,96	99,3	21,4±0,64	118,2

Фенологічна стадія зеленого бобу				
Контроль	64,0±0,49	100,0	34,3±1,99	100,0
Емістим С	66,2±1,22	103,4	38,7±2,02*	112,8
Епін	64,7±0,75	101,1	36,5±2,79	106,4

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Таблиця 3.1.2 – Вплив РРР на висоту стебла та облиствлення рослин люпину білого сорту Макарівський, (2018 р.), $M \pm m$, $n = 40$

Варіант	Показник			
	Висота стебла, см	Відсоток до контролю	Кількість листків, шт	Відсоток до контролю
Фенологічна стадія цвітіння				
Контроль	54,6±1,22	100,0	16,5±0,58	100,0
Емістим С	57,2±0,75	104,8	21,9±0,37*	132,7
Епін	55,4±0,98	101,5	19,3±0,66*	117,0
Фенологічна стадія зеленого бобу				
Контроль	69,9±0,81	100,0	26,4±2,01	100,0
Емістим С	76,5±2,02*	109,4	34,3±2,21*	129,9
Епін	74,8±2,12	107,0	27,3±2,13	103,4

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$

Важливим критерієм, що характеризує процеси росту рослин є кількість листків на рослині (табл. 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3). Оскільки, надземна маса люпину білого використовується на корм тваринам, то доцільно проаналізувати ефективність застосування РРР за параметром відсоток облиствлення рослин. За зазначеним показником оцінюють якість надземної маси. Виявлено статистично вірогідну різницю за показником облиствлення рослин люпину білого 2017 р. упродовж досліджуваного періоду.

Таблиця 3.1.3 – Вплив РРР на висоту стебла та облиствлення рослин люпину білого сорту Макарівський, (2019 р.), $M \pm m$, $n = 40$

Варіант	Показник			
	Висота стебла, см	Відсоток до контролю	Кількість листків, шт.	Відсоток до контролю
Фенологічна стадія цвітіння				
Контроль	56,8±1,23	100,0	18,4±0,45	100,0
Емістим С	59,6±0,67	104,9	24,7±0,34*	34,2

Епін	57,9±0,88	101,9	19,9±0,61*	108,2
Фенологічна стадія зеленого бобу				
Контроль	71,9±0,78	100,0	25,7±1,01	100,0
Емістим С	78,6±1,03*	106,8	36,2±1,32*	140,8
Епін	75,7±1,13	105,3	29,8±1,13*	116,0

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

У фенологічних стадіях цвітіння і зеленого бобу кількість листків на рослині люпину білого за передпосівної обробки насіння РРР Емістим С збільшилась на 26,5 % та 12,8 %. У 2018 році за зазначеним показником виявлено аналогічні результати за впливу Емістиму С (приріст порівняно з контролем становив 32,7 % та 29,9 %), але статистично вірогідне збільшення кількості листків на рослині на 17,0 % визначено також на стадії цвітіння за впливу РРР Епін. Варто зазначити, що упродовж вегетаційного періоду 2019 р. виявлено також стимулювальний вплив РРР Емістим С на наростання листків і відтак облиствлення рослин. За впливу зазначеного РРР кількість листків на рослинах люпину білого зросла на 34,2 % (стадія цвітіння) та 40,8 % (стадія зеленого бобу).

Збільшення чисельності листків на рослинах люпину білого сорту Макарівський за впливу біологічно активних речовин вплинуло відповідно і на показник їх маси. Результати досліджень показали статистично вірогідну різницю порівняно з контрольним варіантом за показником маси листків люпину білого за передпосівної обробки насіння РРР Емістим С (табл. 3.1.4). За впливу рістрегулятора Епін визначено тенденцію до підвищення зазначеного параметра в межах похибки. За використання РРР Емістиму С для обробки насіння перед сівбою підвищився відсоток облиствлення рослин і становив відповідно 53,4 % (стадія цвітіння) та 41,8 % (стадія зеленого бобу) (контроль – 47,7 % та 37,7 %) (2017 р.). Встановлено, що під час стадії цвітіння маса сирих листків рослин люпину білого у відсотках до загальної маси надземних органів рослини є більшою, порівняно з фенологічною стадією зеленого бобу. Це пов'язано з тим, що у зазначеній стадії спостерігається всихання нижніх листків і здерев'яніння нижньої частини стебла.

Таблиця 3.1.4 – Вплив РРР на біометричні параметри люпину білого сорту Макарівський, (2017 р.), $M \pm m$, $n = 20$

Варіант	Показник				
	Сира маса кореня, г	Відсоток до контролю	Сира маса пагона, г	Відсоток до контролю	Сира маса листків, г
Фенологічна стадія цвітіння					
Контроль	1,91±0,17	100,0	17,21±1,25	100,0	8,21±0,63
Емістим С	1,83±0,13	95,8	20,34±0,57*	118,2	10,89±0,39*
Епін	2,06±0,15	107,8	19,65±0,87	114,2	9,18±0,43
Фенологічна стадія зеленого бобу					
Контроль	4,82±0,34	100,0	40,73±0,79	100,0	15,34±1,31
Емістим С	5,16±0,41	107,1	43,68±0,88*	107,2	18,25±1,30*
Епін	4,68±0,44	97,1	43,73±1,17	107,4	15,55±1,46

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Аналогічну закономірність стосовно облиствлення рослин люпину білого визначено також упродовж вегетаційного періоду 2018 р. (табл. 3.1.5).

Відсоток облиствлення рослин варіанту контроль становив 50,4 (фенологічна стадія цвітіння) та 37,2 (стадія зеленого бобу), за передпосівної обробки насіння РРР Емістим С – 59,2 (стадія цвітіння) та 39,8 (стадія зеленого бобу).

Упродовж вегетаційного періоду 2019 р. кліматичні умови були сприятливими для ростових процесів люпину білого. Рослини характеризувалися високим травостоєм з добре розвиненими листками. РРР сприяли наростанню листків на стеблах і відповідно збільшенню їх сирої маси (табл. 3.1.6). Виявлено статистично вірогідну різницю порівняно з контрольним варіантом за показником сира маса листків за передпосівної обробки насіння Емістимом С упродовж стадій цвітіння та зеленого бобу.

Таблиця 3.1.5 – Вплив регуляторів росту рослин на біометричні показники люпину білого сорту Макарівський, (2018 р.), $M \pm m$, $n = 20$

Варіант	Показник				
	Сира маса кореня, г	Відсоток до контролю	Сира маса пагона, г	Відсоток до контролю	Сира маса листків, г

Фенологічна стадія цвітіння					
Контроль	2,81±0,17	100,0	18,32±1,25	100,0	9,24±0,62
Емістим С	2,96±0,13	105,3	21,35±0,57	116,5	12,64±0,37*
Епін	3,06±0,15	108,9	19,66±0,87	107,3	10,17±0,46
Фенологічна стадія зеленого бобу					
Контроль	8,22±0,32	100,0	54,31±5,01	100,0	25,35±1,35
Емістим С	12,29±0,39*	149,5	78,57±5,74*	144,7	31,25±1,30*
Епін	8,61±0,74	104,7	77,29±8,62*	142,3	26,89±1,46

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Ще одним важливим показником, що характеризує фотосинтетичну продуктивність рослин і відтак їх ростові процеси є маса надземних органів. Варто зазначити, що статистично вірогідну різницю за показником сира маса надземних органів виявлено за обробки насіння перед сівбою РРР Емістим С упродовж фенологічних стадій цвітіння та зеленого бобу в 2017 та 2019 рр. і зеленого бобу – у 2018 р. (див. табл. 3.1.4, 3.1.5, 3.1.6).

РРР Епін також суттєво впливав на наростання надземних органів у рослин люпину білого упродовж стадії зеленого бобу вегетаційних періодів 2018 та 2019 рр. За показником сира маса кореня визначено статистично вірогідну різницю у фенологічній стадії зеленого бобу упродовж вегетаційних періодів 2018 та 2019 років. За впливу РРР Епін спостерігається тенденція щодо стимуляції ростових процесів кореневої системи (2017, 2018 рр.). На стадії зеленого бобу упродовж вегетаційного періоду 2019 р. сира маса кореня за впливу Епіну статистично вірогідно підвищилася на 29,1 % порівняно з контролем.

Таблиця 3.1.6 – Вплив регуляторів росту рослин на біометричні показники люпину білого сорту Макарівський, (2019 р.), $M \pm m$, $n = 20$

Варіант	Показник				
	Сира маса кореня, г	Відсоток до контролю	Сира маса пагона, г	Відсоток до контролю	Сира маса листків, г
Фенологічна стадія цвітіння					
Контроль	2,68±0,13	100,0	17,68±1,18	100,0	9,69±0,61
Емістим С	2,85±0,16	106,3	22,43±0,49*	126,9	13,36±0,42*
Епін	2,89±0,16	107,8	18,46±0,88	104,4	10,58±0,48
Фенологічна стадія зеленого бобу					

Контроль	7,48±0,34	100,0	53,78±3,12	100,0	24,73±1,26
Емістим С	11,88±0,379*	158,8	79,68±3,17*	148,1	32,42±1,13*
Епін	9,66±0,66*	129,1	76,42±3,36*	142,1	27,83±1,14

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Отже, РРР Емістим С за обробки насіння люпину білого сорту Макарівський перед сівбою у ґрунтово-кліматичних умовах ТО суттєво впливав на показники ростових процесів рослин. Виявлено тенденцію у підвищенні показників росту люпину білого за впливу РРР Епін. У ґрунтово-кліматичних умовах ТО (Західний Лісостеп України) за показниками росту ефективнішим біологічним препаратом виявився РРР Емістим С.

3.1.2. Формування симбіотичної системи «люпин білий – бульбочкові бактерії люпину» на фоні спонтанної інокуляції

Симбіотична азотфіксація бобових культур з бульбочковими бактеріями є найпотужнішим і екологічно безпечним механізмом постачання нітрогену для процесів росту, розвитку і формування продуктивності рослин. Важливе значення у підвищенні рівня ефективності азотфіксувальної системи бобових належить макросимбіонту (рослині), його сортовим особливостям, а також генотипу мікросимбіонта та його внеску в загальний процес симбіотичного зв'язування нітрогену атмосфери [21]. Одним із основних засобів підвищення активності симбіотичної азотфіксації є інтродукція у ризосферу рослин активних штамів бульбочкових бактерій [5, 7, 21,]. Фактором впливу на інтродуковані штами бульбочкових бактерій і популяції місцевих азотфіксувальних мікроорганізмів є біологічно активні речовини [1].

З огляду на зазначене вище наступним етапом експериментальних досліджень було встановити ефективність застосування РРР Емістим С та Епін за показниками формування симбіотичних систем на коренях за передпосівної обробки насіння люпину білого зазначеними біологічно активними речовинами. Важливими параметрами формування азотфіксувальних систем, що характеризують ефективність біологічних препаратів на основі фіторогмонів є кількість та маса бульбочок, їхнє забарвлення, форма та розміщення на кореневій системі. Встановлено, що у рослин люпину білого контрольного та дослідних

варіантів бульбочки нарастали здебільшого на головному корені рослин. Незначну їх кількість виявлено також і на бічних коренях. Бульбочки в основному були рожевого забарвлення, що свідчить про активну фіксацію ними з атмосферного повітря молекулярного нітрогену. Відомо, що критеріями оцінки симбіотичних систем є морфологічні ознаки бульбочок (забарвлення, форма), їх розміщення на коренях бобових рослин [7, 21].

Формування симбіотичного апарату на коренях люпину білого за передпосівної обробки насіння PPP Емістим С та Епін оцінювали за показником «сира маса бульбочок». Встановлено, що маса сирих бульбочок на коренях люпину білого сорту Макарівський у фенологічній стадії росту цвітіння була найбільшою (табл. 3.1.6).

Варто зазначити, що у ґрунтах дослідної ділянки агробіолабораторії наявні місцеві популяції бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium sp.* (*Lupinus*), які самовільно заселили корені люпину білого сорту Макарівський контрольного варіанту та дослідних, за обробки біопрепаратами Емістим С та Епін. Це пов'язано з тим, що види роду Люпин вирощуються на полях агробіолабораторії більше 20-ти років і в попередніх дослідженнях застосовували для інокуляції насіння мікробіологічні препарати на основі селекціонованих штамів *Bradyrhizobium sp.* (*Lupinus*) методом аналітичної селекції.

Таблиця 3.1.6 – Формування симбіотичних систем на коренях люпину білого сорту Макарівський за впливу PPP, $M \pm m$, $n = 20$

Варіант	Стадія росту та розвитку			
	цвітіння		зеленого бобу	
	Сира маса бульбочок, г	% до контролю	Сира маса бульбочок, г	% до контролю
Вегетаційний період 2017 р.				
Контроль	0,54±0,04	100,0	0,34±0,03	100,0
Емістим С	0,73±0,03*	135,2	0,54±0,02*	158,2
Епін	0,56±0,04	103,7	0,41±0,02*	120,6
Вегетаційний період 2018 р.				
Контроль	0,42±0,06	100,0	0,27±0,03	100,0
Емістим С	0,66±0,03*	157,1	0,38±0,02*	140,7
Епін	0,54±0,04*	128,6	0,30±0,03*	111,1
Вегетаційний період 2019 р.				

Контроль	0,53±0,05	100,0	0,31±0,03	100,0
Емістим С	0,76±0,03*	143,4	0,47±0,02*	151,6
Епін	0,65±0,04*	122,6	0,39±0,10*	125,8

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Обробка насіння люпину білого перед сівбою РРР Емістим С сприяла найактивнішому наростанню бульбочок у формі муфт на коренях рослин упродовж трьох років дослідження у фенологічній стадії цвітіння. Їх маса у зазначеній стадії на 35,2 % (2017 р.), 57,1 % (2018р.) та 43,4 % (2019 р.) була вищою, порівняно з масою бульбочок на коренях рослин варіанту контроль.

Передпосівна обробка насіння Епіном також статистично вірогідно збільшувала сиру масу бульбочок на коренях люпину у зазначеній стадії в 2018 та 2019 рр. (на 28,6 % та 22,6 % відповідно), про що вказує величина коефіцієнта Стюдента. Під час цвітіння рослин упродовж вегетаційного періоду 2017 року виявлено тенденцію до інтенсивнішого наростання бульбочок за впливу Епіну, але істотної різниці порівняно з контролем не виявлено. Очевидно, біологічно активні речовини, що входять до складу препаратів підвищували вірулентність популяцій місцевих бульбочкових бактерій люпину ґрунту.

Упродовж досліджуваного періоду у фенологічній стадії зеленого бобу рослин люпину білого виявлено зниження маси нативних бульбочок на коренях, порівняно з стадією цвітіння, оскільки вже почалося їх руйнування (лізис). Візуальне оцінювання стану бульбочок показало, що їх забарвлення стало буре і консистенція менш щільна. Деякі бульбочки були майже зруйнованими, що відповідно вплинуло на зниження показника їх маси.

У фенологічній стадії росту зелений біб виявлено також стимулювальний вплив біологічно активних речовин препаратів Емістим С та Епін на формування симбіотичних систем на коренях люпину. Активніше, як і в фенологічній стадії цвітіння, на показник маси бульбочок впливав РРР Емістим С. Варто зазначити, що обробка насіння перед сівбою РРР сприяла повільнішому старінню бульбочок на коренях рослин порівняно з контрольним варіантом. За впливу біологічного препарату Емістим С маса сирих бульбочок була на 58,2 % (2017 р.), 40,7 % (2018 р.) та 51,6 % (2019 р.) більшою порівняно з показниками контролю і зазначені експериментальні дані є статистично достовірними.

За впливу біопрепарату Епін маса сирих бульбочок на коренях рослин також була статистично вірогідно вищою порівняно з контролем на 20,6 % (2017 р.), 11,1 % (2018 р.) та 25,8 % (2019 р.).

Отже, місцеві популяції *Bradyrhizobium sp.* (Lupinus) в ґрунтово-кліматичних умовах Тернопільської області (Західний Лісостеп України) були вірулентними, що відповідно і сприяло наростанню бульбочок на коренях люпину білого. Розміщення бульбочок в основному на головному корені стрижневої кореневої системи та їх рожеве забарвлення вказують про хорошу активність фіксації симбіотичним апаратом молекулярного нітрогену з повітря. На формування симбіотичних систем на кореневій системі люпину білого сорту Макарівський біологічний препарат Емістим С активніше впливав порівняно з брасиностероїдом Епін. РРР сповільнювали процеси старіння і лізису бульбочок на коренях люпину білого.

3.1.3. Ефективність обробки насіння перед сівбою регуляторами росту рослин за показниками водообміну люпину білого

Вода займає домінуюче положення з поміж хімічних речовин, що є складовими компонентами рослинних організмів у кількісному співвідношенні. Вона знаходиться у рослині в усіх клітинах та її структурних компартментах, тканинах та органах. Але показник кількості води є мінливим, залежить від виду рослин, умов його зростання і неоднаковий у різних органах однієї рослини, в тканинах одного органу. Вміст води в рослині змінюється упродовж онтогенезу. Високий вміст води характерний для вегетативних органів. У тканинах рослин її кількість коливається в межах 70–99 % від сирої маси [57].

Ефективність обробки насіння перед сівбою регуляторами росту рослин оцінювали за такими показниками водообміну листків люпину білого: водоутримувальна здатність та їх водний дефіцит. Виявлено залежність показника водоутримувальної здатності листків люпину білого від обробки насіння перед сівбою ріст стимуляторами. Дослідження показали (табл. 3.1.7), що за використання препарату Емістим С у фенологічній стадії цвітіння листки рослин люпину білого через 2, 4, та 6 год. втрачали більше на 24,2 %, 19,1 % та

18,1% води порівняно з контролем, зазначені зміни були статистично вірогідними (вегетаційний період 2017 р.). За впливу РРР Епін суттєвої різниці між показниками водоутримувальної здатності листків контрольного і дослідного варіантів не визначено. Під час стадії зеленого бобу статистично вірогідної різниці за показником кількості втраченої води не виявлено. Параметри водовтрати через 2, 4, 6 та 24 год. листків рослин контрольного і дослідних варіантів відрізнялися в межах похибки.

Упродовж вегетаційного періоду 2018 року спостерігалось збільшення кількості днів з підвищеною температурою атмосферного повітря. Зазначені кліматичні умови могли також вплинути на водоутримувальну здатність біоколоїдів клітин листків люпину білого. Дослідження показали (табл. 3.1.8), що під час стадії стеблуння за використання Емістиму С через 4 год. листки втрачали води менше порівняно з контролем і зазначений параметр був статистично вірогідним. Через 6 та 24 год. навпаки, листки люпину білого вірогідно більше втрачали води порівняно з контролем. За обробки насіння перед сівбою РРР Епін у зазначеній вище стадії упродовж періоду дослідження визначено статистично вірогідні показники кількості втраченої води. Упродовж фенологічних стадій цвітіння та зелений біб виявлено аналогічну закономірність у параметрах кількості втраченої води за впливу препарату Епін. Лише через 2 год. у стадії зелений біб визначено незначне збільшення втрати води листками люпину білого. Це пов'язано з тим, що для РРР Епін характерна антистресова активність [57].

За обробки насіння перед сівбою РРР Емістим С під час стадії цвітіння листки втрачали вірогідно більше води лише через 2 год. після їх зривання, а через 24 год. – навпаки суттєво менше. Під час стадії зелений біб листки люпину білого статистично вірогідно втрачали менше води порівняно з контролем. Це вказує про те, що в умовах посухи РРР Емістим С шляхом зменшення водовтрати листками підвищує стійкість рослин.

Таблиця 3.1.7 – Водоутримувальна здатність листків рослин люпину білого сорту Макарівський за впливу регуляторів росту Емістим С та Епін, (2017 р.), $M \pm m$, $n = 4$

Час через:	Кількість втраченої води, %				
	Фенологічна стадія росту цвітіння				
	Контроль	Емістим С	Відсоток до контролю	Епін	Відсоток до контролю
2 год.	29,85±0,60	37,07±0,83*	124,2	31,33±0,69	105,0
4 год.	38,09±0,82	45,38±0,87*	119,1	37,40±0,36	98,2
6 год.	45,45±0,90	53,66±1,48*	118,1	44,02±0,64	96,8
24 год.	83,93±0,43	85,40±0,10	101,7	85,24±0,32	101,6
Фенологічна стадія росту зелений біб					
2 год.	27,20±0,46	27,89±0,55	102,5	28,93±0,66	106,4
4 год.	34,03±0,63	33,70±0,56	99,0	35,92±0,83	105,5
6 год.	37,94±0,79	37,95±0,66	100,0	39,71±0,87	104,7
24 год.	61,86±1,71	60,16±0,68	97,2	63,91±1,48	103,3

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Таблиця 3.1.8 – Водоутримуюча здатність листків рослин люпину білого сорту Макарівський за впливу регуляторів росту Емістим С та Епін, (2018 р.), $M \pm m$, $n = 4$

Час через:	Кількість втраченої води, %				
	Фенологічна стадія росту стеблуння				
	Контроль	Емістим С	Відсоток до контролю	Епін	Відсоток до контролю
2 год.	7,56±0,39	6,47±0,33	85,6	18,76±0,12*	248,1
4 год.	15,94±0,19	13,13±0,61*	82,4	25,14±0,3*	157,7
6 год.	20,46±0,36	24,56±0,87*	120,0	32,07±0,24*	156,7
24 год.	74,24±0,79	79,69±1,24*	107,3	78,09±0,34*	105,2
Фенологічна стадія росту цвітіння					
2 год.	25,91±0,29	32,68±0,39*	126,1	31,67±0,14*	122,3
4 год.	32,84±0,72	33,52±0,26	102,1	35,39±0,21*	107,8
6 год.	38,37±0,65	39,06±0,28	101,8	42,36±0,29*	110,4
24 год.	79,39±0,73	76,36±0,43*	96,2	75,78±0,17*	95,4
Фенологічна стадія росту зелений біб					
2 год.	33,55±0,42	30,97±0,38*	92,3	34,06±0,31	101,5
4 год.	50,17±0,07	45,11±0,38*	89,9	47,91±0,28*	95,5
6 год.	61,13±0,16	55,53±0,32*	90,8	56,77±0,18*	92,9
24 год.	96,21±0,63	97,62±0,34	101,5	99,42±0,17*	103,3

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Експериментальні дослідження упродовж вегетаційного періоду 2019 року вказують також про мінливість параметрів водоутримувальної здатності листків люпину білого (рис. 3.1.1 – 3.1.3). Зокрема, найбільше значення втрати води через 24 год. виявлено у фенологічній стадії росту цвітіння, що становило $96,48 \pm 0,19$ % та $94,74 \pm 0,43$ %).

У фенологічній стадії росту зелений біб спостерігали тенденцію до зниження водовіддачі за впливу Емістиму С порівняно із контролем. Під час сизого бобу значної різниці за впливом на вище зазначений показник через 24 год. між дослідними препаратами не виявлено: $54,93 \pm 1,22$ % та $54,25 \pm 1,48$ % відносно контролю.

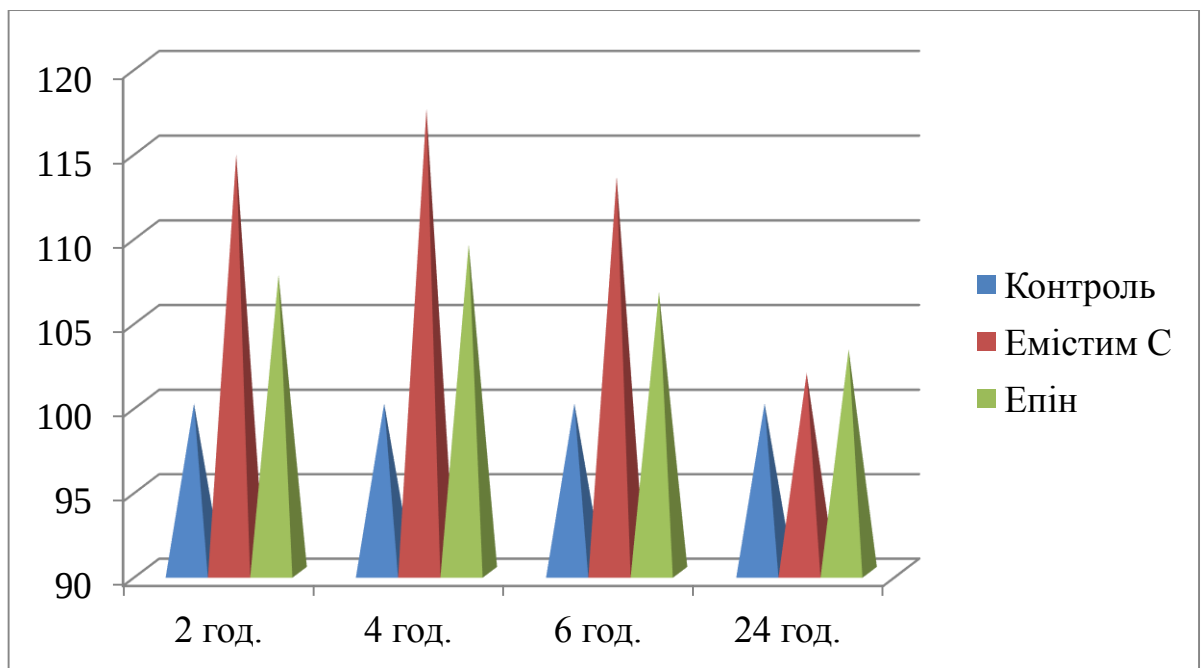


Рис. 3.1.1. – Відсоток водоутримуючої здатності листків люпину білого сорту Макарівський у фенологічній стадії росту цвітіння (2019 р.).

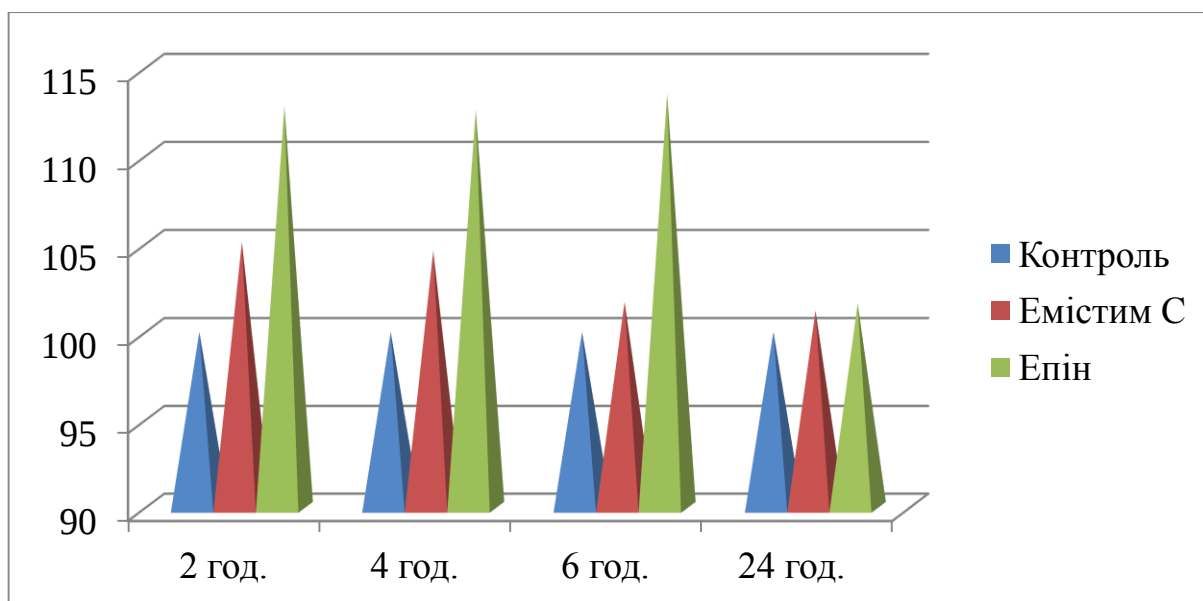


Рис. 3.1.2. – Відсоток водоутримуючої здатності листків люпину білого сорту Макарівський у фенологічній стадії росту зелений біб (2019 р.).

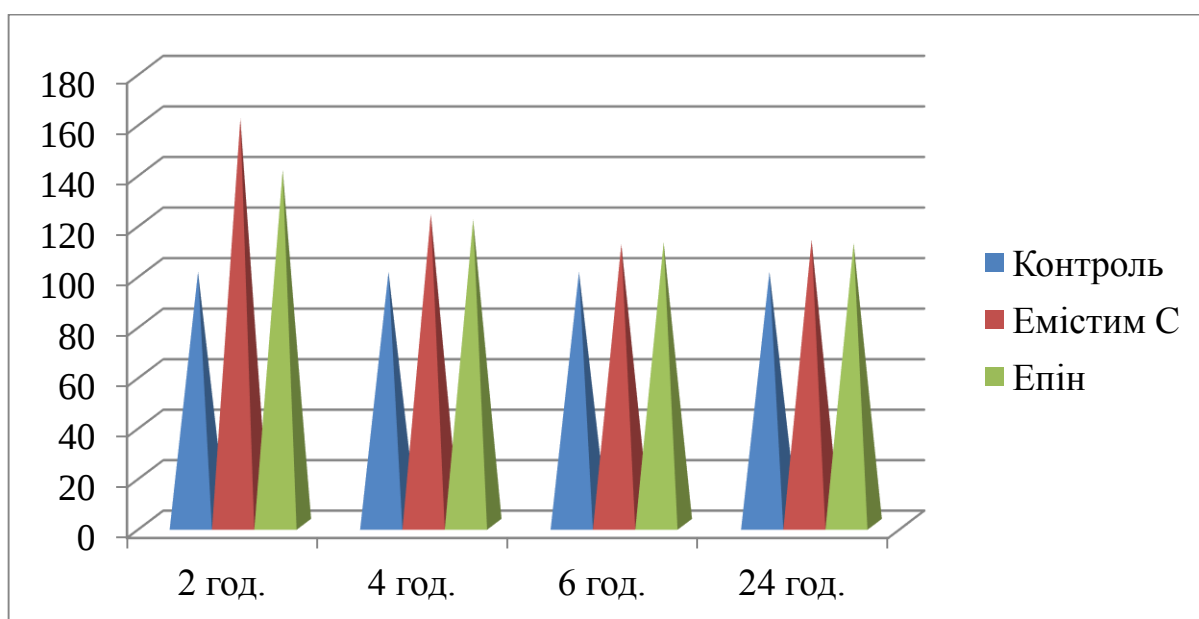


Рис. 3.1.3. – Відсоток водоутримуючої здатності листків люпину білого сорту Макарівський на фенологічній стадії росту сизий біб (2019 р.).

Достовірні дані водоутримуючої здатності листків люпину білого за величиною коефіцієнта Стюдента отримано за використання біопрепаратів Епіну (37,04, 42,87, і 97,73 %) через 4, 6 та 24 год. та Емістиму С (29,10, 39,75, 45,59 і 96,48 %) через 2, 4, 6 та 24 год. під час цвітіння, а також у наступні стадії росту при застосуванні РРР Епін – 39,70 та 57,62 % через 2 та 6 год. відповідно (зелений біб) та 6,68 і 11,45 % через 2 та 4 год. (сизий біб).

За передпосівної обробки насіння Емістимом С показник кількості втраченої води листками люпину білого у фенологічній стадії росту зелений біб через 2, 4, 6 та 24 год. істотно не відрізнявся від контролю. У стадії росту сизий біб виявлено достовірне значення водовіддачі листками води порівняно з контролем через 2, 4 та 24 год., що становило відповідно 7,64, 11,65 та 54,93% (контроль – 4,76, 9,49 та 48,72 %).

Отже, значну кількість води втрачають листки люпину білого сорту Макарівський у фенологічних стадіях росту цвітіння та зелений біб. Під час сизого бобу водовіддача листками знижується порівняно з попередніми стадіями росту у 3,8-5,3 рази. Очевидно, це пов'язано із вмістом вільної води у листках. За впливу біостимуляторів росту рослин природного походження Емістим С та Епін, встановлено зниження водоутримуючої здатності тканин листків люпину білого.

Важливим параметром, що характеризує процеси водообміну листків рослин є їх водний дефіцит. За достатньої кількості вологи в ґрунті рослина не відчуває водного дефіциту в своїх органах. У умовах дефіциту води в ґрунті в органах рослини виникає також її дефіцит. У зв'язку з аридизацією клімату кількість води, що поступає в кореневу систему рослинного організму впродовж зазначеного часу може бути значно нижчою, порівняно з тією кількістю, що витрачається листками на транспірацію. Зазначене явище називається водний дефіцит – фізіологічний показник рослини у стані напруженості, виражають його у відсотках від повного насичення водою тканин рослини [57].

За втрати клітинами листків більше 20 % води, інтенсивність процесу фотосинтезу дуже знижується, більше 50 % – припиняється взагалі, оскільки з води у світловій фазі фотосинтезу утворюється кисень [86]. Тому важливою характеристикою фізіологічних процесів є оцінка ступеня дефіциту, якого зазнають рослини в умовах дослідів.

Встановлено, що під час стадії цвітіння за обробки насіння РРР Емістим С істотної різниці за показником водного дефіциту листків порівняно з

контролем не виявлено (результати дослідження 2017 р.) (табл. 3.1.9). За впливу PPP Епін визначено статистично вірогідне зниження зазначеного показника. Під час стадії зеленого бобу показник водного дефіциту листків люпину також істотно відрізнявся від аналогічного показника контрольного варіанту.

Дослідження, проведені упродовж фенологічних стадій росту 2018 року показали певний дефіцит води у листках і контрольних і дослідних рослин (табл. 3.1.10). Це пов'язано з тим, що вегетаційний період характеризувався посушливими умовами, що виникли в результаті практичної відсутності атмосферних опадів. Упродовж стадії стеблуння лише дослідні рослини варіанту Епін характеризувалися достовірно нижчим порівняно з контролем показником водного дефіциту. Очевидно, антистресові властивості зазначеного PPP сприяли вищій посухостійкості люпину білого у зазначеній фенологічній стадії росту. Під час цвітіння та сизого бобу спостерігається тенденція до зниження водного дефіциту за впливу PPP.

Таблиця 3.1.9 – Водний дефіцит листків (%) рослин люпину білого сорту Макарівський за впливу PPP Емістим С та Епін (за дефіцитом), (2017 р.), $M \pm m$, $n = 4$

Варіант	Стадія цвітіння		Стадія зеленого бобу	
Контроль	Час:	10,49±0,19	Час:	3,92±0,23
Емістим С	10.05 год t= 18°C	11,84±0,36	12.00 год t= 21°C	3,15±0,25
Епін		9,63±0,18*		1,83±0,35*

Примітка: *– достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Таблиця 3.1.10 – Водний дефіцит листків рослин люпину білого сорту Макарівський за впливу PPP Емістим С та Епін (за дефіцитом), (2018 р.), $M \pm m$, $n = 4$

Варіант	Стадія стеблуння		Стадія цвітіння		Стадія сизого бобу	
Контроль	Час:	20,44±0,50	Час:	16,37±0,30	Час:	17,43±0,47
Емістим С	10.25 год. t= 20°C	18,96±0,49	9.05 год. t= 23°C	15,59±0,18	9.45 год. t= 25°C	16,73±0,34
Епін		15,04±0,84*		15,72±0,62		15,97±0,44

Примітка: *– достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Дослідження, проведені упродовж вегетаційного періоду 2019 року, (табл. 3.1.11, 3.1.12) показали достовірні показники зниження водного дефіциту листків.

Таблиця 3.1.11 – Водний дефіцит рослин люпину білого сорту Макарівський за дії РРР Емістим С та Епін (за дефіцитом), (2019 р.) , $M \pm m$, $n = 4$

Варіант	Стадія цвітіння		Стадія зеленого бобу		Стадія сизого бобу	
Контроль	Час:	19,95±0,66	Час:	17,03±0,47	Час:	31,40±0,43
Емістим С	10.25	14,41± 0,79*	9.05 год. t= 23°C	11,03±0,54*	9.45 год. t= 25°C	29,53±1,25
Епін	год. t= 20°C	14,25±0,88*		11,05±0,51*		26,20±0,84*

Примітка: *– достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Таблиця 3.1.12 – Водний дефіцит рослин люпину білого сорту Макарівський за дії РРР Емістим С та Епін (за водовідновленням), (2019 р.), $M \pm m$, $n = 4$

Варіант	Стадія цвітіння		Стадія зеленого бобу		Стадія сизого бобу	
Контроль	Час:	119,93±0,799	Час:	106,28±0,45	Час:	133,7±0,727
Емістим С	10.25	113,64±0,842*	9.05 год. t= 23°C	104,76±0,493*	9.45 год. t= 25°C	130,4±1,869
Епін	год. t= 20°C	113,34±0,912*		110,3±0,506*		126,85±1,132*

Примітка: *– достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Дослідження проводили в ранішній період доби, оскільки відомо, що з 6 год. ранку до 12 продиhi в більшості рослин відкриті. Оскільки за використання РРР знижувався водний дефіцит листків, то відповідно водовідновлення їх було нижчим порівняно з показниками контрольного варіанту (табл. 3.1.12).

Отже, на основі проведених досліджень стосовно впливу біологічно активних речовин на показники водного дефіциту листків люпину білого сорту Макарівський за вирощування в умовах Тернопільської обл. встановлено їх зниження. РРР Епін виявився більш ефективним за зазначеним вище показником порівняно з РРР Емістим С.

3.1.4. Насіннєва продуктивність люпину білого за впливу Емістиму С та Епіну

На фізіологічні процеси формування врожайності впливає значна кількість факторів, що не піддаються регулюванню (інсоляція, температура,

опаді, інші явища природи) також такі, якими людина може керувати (сорт, агротехніка, добрива, засоби захисту рослин від бур'янів, шкідників, хвороб, регулятори росту, технологія зрошення, збирання врожаю тощо). Найбільша продуктивність культури досягається за оптимального їх співвідношення на всіх етапах росту і розвитку рослин. Чим вони ближчі до оптимальних параметрів, тим кращі передумови високої продуктивності [21, 58].

Аналіз літературних джерел з проблеми насіннєвої продуктивності люпину білого показує, що дослідження технологічних прийомів необхідно проводити на різних сортах та в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. У таких країнах, як Чехія, Словаччина, Австрія, Бельгія, Швейцарія, Туніс застосування інокуляції насіння [95] та мікродобрив здійснюється з урахуванням сортової реакції рослин, що забезпечує вищу ефективність їх дії. Потенційні можливості сільськогосподарських культур реалізуються у середньому на 50 %, тому розробка технологічних прийомів вирощування люпину білого з метою підвищення якісних показників насіннєвої продуктивності є актуальною науковою проблемою з великим практичним значенням [44].

На основі 3-річних польових досліджень встановлено стимулювальний вплив регуляторів росту рослин Емістим С та Епін на основні елементи продуктивності люпину білого сорту Макарівський у ґрунтово-кліматичних умовах ТО Західного Лісостепу України (табл. 3.1.13).

Таблиця 3.1.13 – Вплив регуляторів росту рослин на урожай люпину білого сорту Макарівський, (2017-2019 рр.)

Варіант	Показник						
	Висота рослин, см	Висота кріплення нижніх бобів, см	К-сть бобів на рослині, шт.	К-сть насінин на росл., шт.	К-сть насінин в 1 бобі, шт.	Маса насінин на рослині, г	Маса 1000 насінин, г
Контроль	69,9±0,8	41,8±1,3	5,7±0,5	19,2±0,9	3,4±0,2	5,06±0,31	263,5±5,6
Емістим С	73,5±1,2	43,3±2,1	6,3±0,5*	24,1±0,5*	3,8±0,2*	7,06±0,26*	293,8±4,4*
Епін	74,8±2,1*	47,0±1,2*	5,9±0,4	21,2±1,2	3,6±0,1	5,93±0,21*	281,5±5,1*

Примітка: * – достовірна різниця порівняно з контролем при $p < 0,05$.

Збирання урожаю насіння проводили у період повної стиглості насіння, коли закінчилося надходження органічних речовин у процесі наливання насіння з материнського організму. У кінці вегетаційного періоду висота рослин дослідного варіанту за передпосівної обробки насіння РРР Епін істотно відрізнялася від контролю на 7,0 %. За використання Емістиму С виявлено тенденцію до збільшення зазначеного вище показника.

Кількість бобів на рослині є важливим і одночасно найбільш перемінним елементом структури врожаю зернобобових. Реалізація потенціальних можливостей зазначених вище культур за згаданою ознакою залежить від низки факторів. Зокрема, кількість бобів на рослині корелює з гілкуванням, яке, в свою чергу, залежить від запасів вологи і поживних речовин у ґрунті. За їх нестачі вони надходять тільки в головне стебло. Ранні строки сівби також сприяють збільшенню кількості бобів на рослині. При цьому низькі температури стимулюють диференціацію генеративних органів, більш раннє цвітіння та утворення більшої кількості бобів [21]. Встановлено, що найбільше бобів сформувалося на рослині за передпосівної обробки насіння РРР Емістим С, що на 10,5 % вище контролю, дещо менше у варіанті за використання Епіну (на 3,3% вище до контролю). Середня довжина бобу становила: контроль – $4,5 \pm 0,1$ см; Емістим С – $4,7 \pm 0,1$ см; Епін – $4,9 \pm 0,1$ см). Кількість насінин у бобі люпину білого за впливу Емістиму С підвищилася на 12,7 %, а Епіну – 6,2 %, відповідно до контролю.

Важливими показниками, що характеризують насіннєву продуктивність культури є кількість і маса насіння з однієї рослини та маса 1000 насінин. За передпосівної обробки насіння РРР Емістим С кількість насінин на 1 рослині збільшилась на 25,5 %, Епін – 10,4 % до контролю. Істотну різницю виявлено за показником маси насіння на 1 рослині, за екзогенної обробки насіння препаратом Емістим С зазначений вище показник збільшився на 39,5 % порівняно з контролем, а РРР Епін – 17,2 %. РРР впливали також на показник маси 1000 насінин. Дослідження показали статистично вірогідний приріст

вищезазначеного показника за використання Емістиму С, що на 11,7 % більше контролю.

Біологічний урожай насіння люпину білого сорту Макарівський у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України (ТО) у контрольному варіанті становив 27,4 ц/га. За обробки насіння РРР Емістим С та Епін відповідно 29,5 та 28,3 ц/га, $HP_{0,05} = 1,3$ (табл. 3.1.14).

Отже, дослідження продуктивності люпину білого засвідчило, що динаміка елементів урожайності залежить від впливу біостимуляторів росту рослин природного походження, які визначають продуктивність рослин у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України.

Таблиця 3.1.14. – Вплив РРР на зернову продуктивність люпину білого сорту Макарівський, (середнє за 2017-2019 рр.)

Варіант	Урожайність зерна, ц/га	Приріст урожаю зерна%	
		ц/га	
Контроль	27,4	–	–
Емістим С	28,3	2,1	7,7
Епін	29,5*	0,9	3,3
HP_{05}	1,3		

Показано, що за впливу РРР Емістим С висота рослини на період збирання урожаю насіння істотно не відрізняється. РРР Епін статистично вірогідно стимулював ростові процеси стебла люпину білого. Встановлено, що кількість бобів на 1 рослині, кількість насінин на 1-ій рослині, маса насіння з 1-ї рослини та кількість насінин в 1-му бобі найбільша за передпосівної обробки насіння біостимулятором Емістим С.

3.1.5. Якість насіння люпину білого за використання препаратів біологічного походження

Незбалансованість сучасного харчування, неспроможність забезпечити організм людини необхідною кількістю незамінних мікронутрієнтів є глобальною проблемою для країн всього світу в тому числі й України. Вирішення зазначеної проблеми можливе за рахунок селекції високоврожайних

і високопоживних сільськогосподарських культур [23]. Серед великої палітри зернобобових рослин особливою кормовою, продовольчою, лікарською і технічною культурою землеробства світу є люпин білий (*Lupinus albus* L.), насіння якого накопичує значну кількість білків (32,2 % і за сприятливих умов може містити до 50 г на 100 г зерна) [117, 121], клітковини (16,2 %), олії (5,95 %) [114, 122], цукрів (5,82 %), з яких частка сахарози складає 71,0 %, а також 3,9 мг/кг тіаміну, 2,3 мг/кг рибофлавіну і 39 мг/кг ніацину.

Отже, люпин білий є відмінною харчовою культурою з високою поживною цінністю [89], широко застосовується як у традиційних так і сучасних галузях виробництва. Насіння люпину, а також продукти його переробки широко використовуються у різних галузях харчової промисловості як недороге джерело повноцінних білків, ненасичених жирних кислот, пектину та ін. Крім кондитерських, макаронних, хлібобулочних виробів, білкова паста з люпину може використовуватися у ковбасній та м'ясоконсервній промисловості [81, 87]. Люпин є сировиною для створення безглютенових продуктів дитячого харчування, що мають дієтичні та лікувально-профілактичні властивості. На основі люпину створюється харчування для діабетиків [87, 105, 104].

Дослідження корисних властивостей білків насіння люпину впродовж останнього десятиліття [76, 100] сприяли тому, що фармацевтична промисловість зацікавлена у їх застосуванні для підтримки здоров'я людини [113]. Використання насіння люпину в харчовому раціоні знижує вміст ліпопротеїдів низької щільності, поліпшує функції кишечника та підвищує почуття ситості [109], також зменшує рівень холестерину в крові [87]. Фенольні речовини насіння також сприятливо впливають на здоров'я людини [84]. Таким чином, люпин може виконувати важливу роль у забезпеченні цінного білкового харчування для зростаючого населення планети впродовж найближчих декількох десятиліть [109], тому сьогодні багато дослідників інвестують кошти в альтернативні стратегії біоконтролю вирощування люпину [118].

Оскільки люпин накопичує у насінні значну кількість поживних речовин, є перспективною харчовою і лікарською культурою, у симбіозі з

бульбочковими бактеріями активно фіксує молекулярний азот повітря [55], то критерієм оцінки активності функціонування симбіотичних систем може слугувати не тільки насіннева продуктивність бобової культури, а й вміст сирого протеїну у зерні [7], показником харчової цінності люпину білого – кількість поживних речовин у насінні.

Показники якості насіння певною мірою пов'язані з його біохімічними особливостями. Із усіх поживних речовин, які виконують важливу роль у забезпеченні життєдіяльності живого організму, провідне місце відводиться білкам (протеїнам), оскільки вони є основою всіх життєвих функцій живих організмів. Протеїни – це органічні сполуки, до складу яких входить нітроген. У рослинних кормах азотисті речовини називають «сирим протеїном», який складається із двох груп речовин – білків та амідів. Всі білки незалежно від структури, властивостей і функцій, побудовані з одних і тих самих амінокислот, проте вони відрізняються один від одного кількісним співвідношенням та послідовністю амінокислот. Білки є структурним матеріалом організму і носієм життя, оскільки всі життєві процеси пов'язані з білковим обміном [34].

На основі результатів польових досліджень показано, що вміст протеїну у зерні люпину залежав від технології вирощування культури. Якісні показники насіння оцінювали на інфрачервоному аналізаторі NIR Systems 4500 в ННЦ «Інститут землеробства НААН України». Дослідження, проведені упродовж 3-ох років показали, що РРР Емістим С та Епін істотно впливали на якісний склад речовин насіння люпину білого. За використання біологічно активних речовин препаратів Емістиму С та Епіну виявлено статистично достовірний приріст протеїну на 7,9 %, 2,9 %, білків – 8,1 % та 1,9 % (табл. 3.1.14).

Варіант	Протеїн	Білки	Олія	Зола	Клітковина	Гігроско- пічна волога	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	31,28	28,51	6,28	3,29	10,09	8,23	1,31	1,26
Емістим С	33,75	30,81	6,65	3,34	10,89	8,28	1,35	1,26
Епін	32,18	29,06	6,42	3,26	10,49	8,11	1,35	1,25

НІР ₀₅	0,12	0,14	0,08	0, 07	0,06	0,07	0,04	0,04
-------------------	------	------	------	-------	------	------	------	------

Таблиця 4.1.14 – Вплив РРР на хімічний склад насіння люпину білого сорту Макарівський, (2017-2019 рр.), $M \pm m$, $n=3$

Значну харчову й біологічну цінність має люпинова олія, багата на біологічно активні речовини – поліненасичені жирні кислоти, токофероли, фітостероли, каротиноїди тощо. Основний компонент такої олії – жирні кислоти, переважно ненасичені (81-83 %), зокрема олеїнова – 53-55 %. На насичені жирні кислоти (пальмітинову, стеаринову та ін.) припадає приблизно 10 %. Люпинова олія багата на жиророзчинні вітаміни і провітаміни – токофероли, стероли та каротиноїди [3]. Застосування в технології вирощування РРР Емістим С та Епін вірогідно збільшувало вміст олії в насінні люпину білого сорту Макарівський на 5,9 % та 2,2 % відповідно.

Одним із важливих компонентів у складі насіння є клітковина. Її значення в раціоні харчування людини складно переоцінити, оскільки речовина кожного дня необхідна абсолютно всім незалежно від їх фізичного навантаження, віку, комплекції і стану здоров'я. Клітковина – це полісукор високого ступеня полімеризації, з якого, в основному, побудовано клітинні стінки рослинних тканин. Клітковина не перетравлюється в органах травлення людини, але виконує важливі фізіологічні функції – сприяє адсорбції та виведенню шкідливих речовин із організму, зменшенню відкладення холестерину на стінках судин, стимуляції перистальтики кишечника [23]. Клітковина є одним із показників, який вказує на якість рослинної продукції. Уміст клітковини у досліджуваному насінні люпину білого сорту Макарівський залежно від застосування біологічних препаратів у технології вирощування зростав на 7,9 % та 4,0%.

Важливим компонентом рослинної продукції є зола – негорючий залишок, що утворюється з мінеральних речовин при повному обугленні. За кількістю і складом золи, в якій містяться мінеральні сполуки також оцінюють якість продукту [23]. Відомо, що вміст золи у насінні люпину складає 3,5-4,2 %, з переважним вмістом оксидів калію і фосфору.

Зазначені РРР істотно не впливали на вміст золи та накопичення мінеральних сполук фосфору і калію у насінні люпину білого за вирощування у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України

Отже, поліпшення інтенсивності ростових процесів, формування симбіотичних систем на коренях люпину білого, підвищення стійкості до посухи за передпосівної обробки насіння РРР Емістим С та Епін сприяло формуванню вищої продуктивності та кращих якісних показників зерна. Ефективнішим біологічним препаратом за показниками якісного складу насіння люпину білого сорту Макарівський за вирощування в умовах ТО виявився РРР Емістим С.

3.2. Продуктивність нуту звичайного (*Cicer arietinum* L.) за передпосівної обробки насіння мікробними препаратами

Зміни клімату в сторону глобального потепління та суттєве збільшення тривалості посушливих періодів останнім часом, вимагає інтродукції нетрадиційних для природних зон України зернобобових культур [46]. Показано, що на материковій частині України за останні 30 років середні показники температури упродовж року зросли на 1,2 °С [28]. Аридизація клімату торкнулася і західних областей України. Тут також очікується зменшення кількості атмосферних опадів влітку та восени, що сприятиме розвитку спекотливих і сухіших умов [28].

Однією із перспективних культур для Західного Лісостепу України найближчим часом може стати нут звичайний (*Cicer arietinum* L.) (турецький горох, баранячий горох), який є економічно вигідною культурою і стабілізуватиме господарства, завдяки біологічній фіксації молекулярного нітрогену покращуватиме родючість ґрунту, високому вмісту протеїнів у зерні вирішить проблему виробництва харчового та кормового білка. За посівними площами серед зернобобових культур у світі нут звичайний займає третє місце після сої культурної і квасолі звичайної та є однією із найприбутковіших сільськогосподарських рослин в Україні (FAO, 2020) [91]. Відомо, що з поміж світових виробників нуту лідирує Індія, вона виробляє приблизно 70 % від

загального світового виробництва, Пакистан та Іран – 10 та 5 %, Туреччина та Австралія – 4 та 3 % відповідно [110]. Технологія вирощування нуту звичайного є низько затратною, проте культура характеризується високою насінневою продуктивністю, за сприятливих умов урожайність може становити 3,5–5,0 т/га, окрім того, вона добре пристосована до умов сухого та помірного клімату [96]. Унікальна здатність нуту звичайного до фіксації атмосферного азоту разом з симбіотичними азотфіксувальними мікроорганізмами значною мірою сприяє збереженню та поліпшенню родючості ґрунту, оскільки залишає після збирання урожаю 100-120 кг/га вільно доступного біологічного азоту [31, 34, 79] та на кожному гектарі післяжнивні рештки, еквівалентні 15–20 т перегною [11].

Варто зазначити, що *Cicer arietinum* L. є важливою харчовою та кормовою культурою. Його насіння характеризується високим вмістом складних вуглеводів (50-60 %) [34], білків (варіює від 20,1 до 32,4 % [31] – 34 % [34], вітамінів (рибофлавін, ніацин, тіамін, фолат і попередник вітаміну А – каротин) [107], мінералів (кальцію, калію, селену) та харчових волокон і є повноцінною складовою щоденного раціону населення в багатьох країнах світу [42,78,101]. Білки нуту характеризуються високою перетравністю, коефіцієнт перетравності становить 80-83 % [34] та якістю порівняно з іншими зернобобовими культурами, містять збалансований склад амінокислот, значну кількість незамінних амінокислот, зокрема, метіоніну та триптофану [31]. За біологічною цінністю білки нуту займають перше місце серед інших сільськогосподарських культур і за якісними показниками прийняті за стандарт [85].

Завдяки хорошому якісному складу насіння, нут звичайний широко використовується у харчуванні. Переваги споживання нуту для здоров'я людини, пов'язані із зниженням ризику серцево-судинних, онкологічних захворювань та діабету, насіння використовується як урологічний засіб [73, 77, 99, 106], має найвищі гіпохолестерильні властивості [123], містить високу частку біологічно активних речовин: флавоноїди, терпени та стероїди, які позитивно впливають на організм людини. Зазначено, що найбільша кількість

флавоноїдів і фенолів накопичується в оболонці насіння (коричневе насіння містить у 11-13 разів більше цих речовин у порівнянні із білонасінними сортами) [43,83]. Із насіння нуту виготовляють паштет, консерви, халву, сурогати кави та готують різні страви. Для харчових цілей головним чином використовують сорти із білим насінням, із темним вирощують на корм тваринам [34]. Для приготування консервованої продукції більш придатні сорти Пам'ять і Скарб (досліджувані сорти: Одисей, Пам'ять, Тріумф, Буджак та Скарб селекції Селекційно–генетичного інституту–Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення), які виділяються високим ступенем набухання насіння [32, 53, 54].

Оскільки нут звичайний має широкий діапазон адаптації, важливе агротехнічне значення [73], то розширення виробництва культури та вдосконалення технології її вирощування для кожного регіону країни є актуальною проблемою сьогодення. Скорочення посівних площ в Україні під сільськогосподарськими рослинами у зв'язку з військовою агресією росії та зміна клімату вимагають інтродукції культур, нетипових для агрокліматичної зони Західний Лісостеп, з метою забезпечення зростаючих потреб населення у продуктах харчування та поліпшення кормової бази для тваринництва [74].

Важливе значення у сучасних агротехнологіях, спрямованих на біологізацію землеробства і вирощування екологічно безпечної рослинної продукції, є використання біологічних препаратів [7, 45, 56, 62]. Сьогодні в сільському господарстві України широко використовуються мікробіологічні препарати на основі корисних мікроорганізмів для підвищення інтенсивності процесів азотфіксації, мобілізації фосфатів у ризосфері культурних рослин, стимуляції їх росту та розвитку, збільшення продуктивності та поліпшення якості урожаю, також захисту від збудників хвороб і шкідників [34]. Особливе місце в розробленні технологій вирощування нуту звичайного займають мікробіологічні препарати на основі азотфіксувальних бактерій, оскільки дана бобова культура утворює взаємовигідне співжиття з діазотрофами, які позитивно впливають як на агробіоценози, так і на природне середовище, що

сприяє вирощуванню екологічно безпечного зерна, що може використовуватися в харчуванні, в тому числі й дієтичному. Зважаючи на це, актуальним є пошук шляхів підвищення продуктивності нуту звичайного, серед яких варто виокремити передпосівну інокуляцію насіння біологічними препаратами на основі азотфіксувальних бактерій [74].

Метою досліджень було встановити вплив *Mesorhizobium ciceri* штаму ND-64 (БС) та Ризогуміну на фізіологічні процеси та продуктивність нуту звичайного сорту Ярина. Дослідження впливу мікробних препаратів на фізіологічні процеси нуту звичайного проводили у польових умовах на ділянках агробіолабораторії ТНПУ, а також у лабораторії фізіології рослин і мікробіології у трьох варіантах та чотирьох повтореннях. Насіння контрольного варіанту зволожували водою, а дослідні – БС та Ризогуміном згідно норм виробника. Технологія вирощування нуту звичайного типова для Лісостепу України: норма висіву становить 0,4 млн. шт./га, ширина міжрядь 45 см, глибина сівби – 3-4 см, строк сівби – третя декада квітня. Висівали культу у 8-пільній польовій сівозміні без використання добрив та хімічних засобів захисту. Система догляду за рослинами передбачала лише агротехнічні прийоми. Мікробіологічні препарати отримали в Інституті сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України (м. Чернігів). Насіння отримали із Селекційно-генетичного інституту (м. Одеса).

Для інокуляції насіння нуту звичайного з метою поліпшення азотного живлення культури, підвищення її продуктивності та біологізації землеробства в практиці сільського господарства застосовують комплексний мікробний препарат Ризогумін. Основними компонентами препарату є суспензія бульбочкових бактерій нуту *Mesorhizobium ciceri* (перший компонент) та фізіологічно активні речовини біологічного походження (ауксини, цитокініни, амінокислоти, гумінові кислоти), мікроелементи в хелатованій формі та сполуки макроелементів у стартових концентраціях (другий компонент) [45].

Сорт Ярина характеризується напівстиснутою формою куща, є високорослим (55-65 см), з слабким антоціановим забарвленням стебла,

листіків та прилістків, світлокоричневим забарвленням насіння, яке при зберіганні темніє. Сорт середньоранньостиглий з крупним насінням (маса 1000 насінин – 390–410 г), високоврожайний, потенціал – понад 5 т/га, середня врожайність – 2,7 – 3,2 т/га, вміст білків у насінні – 28 %, олії –18 %. Характеризується високою посухостійкістю (9 балів), стійкий до фузаріозу та аскохітозу. Рекомендований до вирощування для Степу, Лісостепу та Полісся [29, 34].

3.2.1. Фізіологія водного режиму рослин нуту звичайного за впливу мікробних препаратів

Параметри водообміну є важливими оскільки характеризують стан рослини залежно від чинників зовнішнього середовища. Вивчення показників водного режиму на різних рівнях організації і формування організму рослини за мінливих умов навколишнього середовища є актуальною проблемою в умовах аридизації клімату. У літературі наявні відомості про результати дослідження процесів зміни водного балансу рослин при дії на них недостачі або надлишку вологи і мінливих температурних умов вирощування [57], але обмежені стосовно впливу мікробних препаратів на зазначені вище процеси.

Важливим фізіологічним процесом, що суттєво впливає на життєздатність рослин, оскільки слугує верхнім рушієм води і поживних речовин є транспірація. Зміни інтенсивності випаровування води з поверхні рослини, що зумовлені абіотичними чинниками, позначаються на низці фізіологічних процесів, які є взаємопов'язаними між собою. Зокрема, процес транспірації з процесом фотосинтезу безпосередньо не пов'язані, але створює низку сприятливих передумов для його інтенсивнішого протікання: забезпечує надходження від коренів до листків необхідних мінеральних елементів; не допускає перегрівання листків і відповідно рослини в цілому; за рахунок відкритих продихових щілин сприяє кращому надходженню CO₂ в листки. Тому загальна продуктивність рослин і їхня стійкість до несприятливих умов докілька значною мірою пов'язані з процесом транспірації.

Дослідження показали, що приріст показника інтенсивності транспірації у фазі бутонізації порівняно з контролем за обробки насіння нуту звичайного сорту Ярина перед сівбою БС становив 2,1 % (табл. 3.2.1). Статистично вірогідної різниці за показником інтенсивності транспірації під час бутонізації рослин між контролем і дослідними варіантами не визначено. Дослідження проводили о 10.00 год., оскільки в цей час продиhi відкриті. Відомо, що для рослин характерних добовий хід руху продиhiв. З 6.00 год. ранку до 12.00 год. продиhi в більшості рослин є відкритими. З дванадцятої години до шістнадцятої – продиhi привідкриті або закриті і з 16.00 – продиhi знову відкриваються [57].

Під час цвітіння нуту звичайного сорту Ярина інтенсивність транспірації його листків суттєво знижувалася на 52,1 і 33,5 % за передпосівної обробки насіння БС та мікробним препаратом Ризогумін. За використання БС інтенсивність випаровування води з поверхні листків нуту звичайного порівняно з контролем знижувалась у 2,1 рази, Ризогуміну – 1,5 рази.

На початку утворення бобів рослинами нуту звичайного виявлено тенденцію до зниження інтенсивності транспірації за впливу БС та мікробного препарату Ризогумін. Зазначений показник знижувався порівняно з контролем на 9,6 % і 4,6 %, але ці зміни не були статистично вірогідними.

Таблиця 3.2.1 – Вплив біопрепаратів на інтенсивність транспірації листків нуту звичайного сорту Ярина

Варіант	Стадія росту і розвитку рослин					
	бутонізації		цвітіння		початок утворення бобів	
	г·м ² /год	% до контролю	г·м ² /год	% до контролю	г·м ² /год	% до контролю
Контроль	213,94 ± 12,62	100,0	454,97 ± 23,32	100,0	550,79 ± 25,88	100,0
БС	218,32 ± 13,47	102,1	217,73 ± 4,36*	47,9	497,69 ± 30,22	90,4
Ризогумін	202,17 ± 10,16	94,5	302,38 ± 12,61*	66,5	525,59 ± 22,89	95,4

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Отже, за використання БС і Ризогуміну інтенсивність транспірації листків нуту звичайного сорту Ярина під час бутонізації і початку утворення бобів статистично вірогідно не відрізнялася від контролю. Під час цвітіння рослин зазначений вище показник суттєво знижувався.

Ще одним вагомим показником, що характеризує процеси водообміну в рослинах є водоутримуюча здатність їх тканин. Зазначений параметр характеризує процес втрати листками води від вихідної їх сирової маси під час в'янення через певний проміжок часу: 2, 4, 6, 24 год. Встановлено (табл. 3.2.2), що під час бутонізації втрата води листками нуту звичайного сорту Ярина за дії БС становила 38,6 % через 2 години, 59,7 % – через 4 години, 40,6 % – через 6 годин, 9,7% – через 24 години. За впливу комплексного мікробіологічного препарату Ризогумін водовтрати дещо менші: 20,5 % – через 2 години, 55,6 % – через 4 години, 34,7% – через 6 години і 9,73% – через 24 години. Визначені показники водоутримуючої здатності листків є статистично достовірними.

Отже, обробка насіння перед сівбою біопрепаратами БС і Ризогумін, у стадії бутонізації сприяла зменшенню водоутримуючої здатності листків нуту звичайного сорту Ярина. Очевидно, це пов'язано з тим, що у тканинах листків за впливу мікробних препаратів вищий вміст вільної води порівняно з контрольними.

Таблиця 3.2.2 – Вплив біопрепаратів на водоутримуючу здатність листків (кількість втраченої води у %) нуту звичайного сорту Ярина

Час через:	Стадія бутонізації		
	Контроль	БС	Ризогумін
2 год.	8,05 ± 0,39	11,16 ± 0,47*	9,70 ± 0,65*
% до контролю	100	138,6	120,5
4 год.	11,19 ± 0,49	17,87 ± 0,77*	17,41 ± 1,19*
% до контролю	100	159,7	155,6
6 год.	14,91 ± 0,62	19,95 ± 0,74*	20,08 ± 1,22*
% до контролю	100	140,6	134,7
24 год.	57,26 ± 0,95	62,80 ± 0,79*	62,83 ± 1,46*

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Під час цвітіння рослин найнижче значення втрати води листками через 2 години становило 7,1 %, через 6 годин – 3,8 % за обробки насіння біопрепаратом Ризогумін; через 24 години – 2,1 % за обробки насіння БС, але зазначені показники не є статистично вірогідними (табл. 3.2.3). Як і в попередній фенологічній стадії росту і розвитку рослин виявлено суттєве збільшення показника кількості втраченої води листками нуту звичайного через 2, 4 та 6 год. за обробки насіння перед сівбою БС та за впливу комплексного препарату Ризогумін лише через 4 години після зривання листків.

Отже, композиційний мікробний препарат Ризогумін істотніше впливав на збільшення водоутримуючої здатності листків нуту звичайного сорту Ярина порівняно із застосуванням БС під час цвітіння рослин.

На початку утворення бобів (табл. 3.2.4) найнижче значення втрати води листками нуту звичайного через 2 години становило 8,1 % і зазначений показник є вірогідним, через 4 години – 3,4 %, через 6 год. – 0,7 % за обробки насіння перед сівбою БС; через 24 години – 6,2 % за обробки насіння перед сівбою мікробним препаратом Ризогумін, зазначена величина показника водовтрати є також достовірною.

Таблиця 4.2.3 – Вплив біопрепаратів на водоутримуючу здатність листків (кількість втраченої води у %) нуту звичайного сорту Ярина

Час через:	Стадія цвітіння		
	Контроль	БС	Ризогумін
2 год.	14,05 ± 0,71	16,87 ± 0,32*	13,05 ± 0,69
% до контролю	100	120,1	92,9
4 год.	23,56 ± 1,25	31,5 ± 1,16*	27,56 ± 1,27*
% до контролю	100	133,7	117,0
6 год.	34,20 ± 1,17	39,06 ± 1,17*	32,90 ± 0,67
% до контролю	100	114,2	96,2
24 год	63,71 ± 0,92	62,4 ± 1,82	64,69 ± 0,27
% до контролю	100	97,9	101,5

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Таблиця 3.2.4 – Вплив біопрепаратів на водоутримуючу здатність листків (кількість втраченої води у %) нуту звичайного сорту Ярина

Час через:	Стадія початок утворення бобів		
	Контроль	БС	Ризогумін
2 год.	24,32 ± 0,79	22,35 ± 0,43*	23,64 ± 0,48
% до контролю	100	91,9	97,2
4 год.	27,06 ± 0,76	26,15 ± 0,25	27,03 ± 0,29
% до контролю	100	96,6	99,9
6 год.	30,56 ± 0,75	30,34 ± 0,41	30,96 ± 0,67
% до контролю	100	99,3	101,3
24 год.	54,81 ± 1,03	56,87 ± 0,59	51,42 ± 0,16*
% до контролю	100	103,8	93,8

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Отже, мікробні препарати БС і Ризогумін на початку утворення бобів майже суттєво не впливали на показники водоутримуючої здатності листків нуту звичайного сорту Ярина. Виявлено тенденцію до збільшення водоутримуючої здатності колоїдів тканин листків рослин. Очевидно, це пов'язано з тим, що у генеративних стадіях росту і розвитку рослин знижується інтенсивність ростових процесів та, відповідно, вміст вільної води у листках нуту звичайного.

Ще одним фізіологічним показником, що характеризує процес водообміну в рослинах є водний дефіцит. Він виникає у рослин при значній посузі, призводить до низки порушень метаболізму. Зокрема, у клітинах рослинних тканин знижується вміст як вільної, так і зв'язаної води. При цьому збільшується концентрація клітинного соку у вакуолях. Оболонки гідратів, які характерні для білків, починають поступово руйнуватися, у результаті цього спостерігається денатурація протеїнів і втрати ними каталітичних властивостей. За порушення нативної структури молекули білків виникає ще одне негативне явище – змінюється нормальна структура біологічних мембран [57].

За результатами проведених досліджень (табл. 3.2.5) встановлено, що у стадії бутонізації у варіанті БС порівняно з контролем показник водного дефіциту листків нуту звичайного сорту Ярина знизився на 1,8 %, а у варіанті Ризогумін зріс на 0,6 %. Зазначені показники водного дефіциту листків

дослідних варіантів статистично вірогідно не відрізняються від аналогічних контрольного варіанту. Під час цвітіння у варіанті БС показник водного дефіциту листків нуту звичайного порівняно з контролем знизився на 16,7 %, у варіанті Ризогумін – на 31,6 %, зазначені величини статистично вірогідно відрізняються від контролю. На початку утворення бобів у варіанті БС показник водного дефіциту листків нуту звичайного сорту Ярина знизився на 5,0 %, у варіанті Ризогумін – на 40,4 %.

Таблиця 3.2.5 – Вплив біопрепаратів на показник водного дефіциту листків нуту звичайного сорту Ярина

Варіант	Стадія росту і розвитку рослин					
	бутонізації		цвітіння		початок утворення бобів	
	% води	% до контролю	% води	% до контролю	% води	% до контролю
Контроль	39,48 ± 2,90	100	38,43 ± 1,40	100	20,73 ± 2,31	100
Ризобофіт	38,77 ± 1,28	98,2	32 ± 1,78*	83,3	19,70 ± 0,81	95,0
Ризогумін	39,71 ± 1,93	100,6	26,28 ± 1,63*	68,4	12,36* ± 1,25	59,6

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Отже, мікробіологічні препарати статистично вірогідно знижували водний дефіцит листків у стадіях цвітіння та початку утворення бобів. Біопрепарат Ризогумін істотніше впливав на зменшення параметра водного дефіциту листків нуту звичайного сорту Ярина порівняно із застосуванням БС.

Важливим показником, що характеризує водообмін рослин є кількість води у листках. Життєдіяльність структурних компонентів клітини, тканин і органів рослини обумовлена наявністю вільної та зв'язаної води. За результатами досліджень (табл. 3.2.6) встановлено, що у стадії бутонізації порівняно з контролем за впливу БС загальна кількість води у листках нуту звичайного сорту Ярина зросла на 5,41 %, а за впливу мікробного препарату Ризогумін – на 5,07 %, зазначені показники є статистично вірогідними.

Таблиця 3.2.6 – Вплив біопрепаратів на вміст води в листках нуту звичайного сорту Ярина

Варіант	Стадія росту і розвитку рослин					
	бутонізація		цвітіння		початок утворення бобів	
	% води	% до контролю	% води	% до контролю	% води	% до контролю
Контроль	59,28 ± 0,54	100	72,76 ± 0,43	100	71,32 ± 0,47	100
БС	62,49 ± 0,41*	105,41	72,12 ± 0,88	99,12	73,73 ± 0,17*	103,38
Ризогумін	62,29 ± 0,76*	105,07	71,76 ± 1,07	98,62	72,07 ± 0,31	101,05

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Під час цвітіння рослин нуту звичайного сорту Ярина біопрепарати істотно не впливали на показник вмісту води у листках. Виявлено тенденцію до зниження вмісту води у листках рослин нуту звичайного.

Приріст показника вмісту води в листках рослин на початку утворення бобів за впливу БС становить 3,38%, Ризогуміну – 1,05%. Передпосівна обробка насіння БС істотно впливала на показник вмісту води у листках нуту звичайного сорту Ярина. За впливу композиційного мікробного препарату Ризогумін виявлено тенденцію до оводнення тканин листків рослин.

Отже, біопрепарати БС та Ризогумін сприяли збільшенню кількості води в листках нуту звичайного сорту Ярина, лише у фазі цвітіння мікробні препарати істотно не впливали на зазначений показник. Біопрепарат БС виявився більш ефективним порівняно з Ризогуміном щодо стимулювального впливу на показник вмісту води в листках дослідних рослин.

На основі проведених досліджень встановлено, що процеси водообміну рослин нуту звичайного сорту Ярина залежать від передпосівної обробки насіння мікробними препаратами БС та Ризогумін і фенологічної стадії росту і розвитку рослин.

3.2.2. Ефективність застосування мікробних препаратів БС та Ризогумін за показниками ростових процесів нуту звичайного сорту Ярина

Відомо [11, 67], що у колекційних форм нуту звичайного висота рослин коливається від 15 до 95 см. Встановлено позитивну кореляцію насіннєвої продуктивності з висотою рослин ($r=0,38-0,52$). Низькорослі форми, як правило, з коротким вегетаційним періодом, формують дрібне насіння, малопродуктивні, а під час посухи упродовж вегетаційного періоду їх висота знижується на 30-40 %, що може спричинити великі втрати врожаю під час збирання. Крім того, висота рослин позитивно корелює з тривалістю періоду цвітіння. Однак, за надмірного зволоження упродовж вегетації дуже високорослі сорти навіть при невеликому вітру можуть полягати, особливо це спостерігається у сортів з високим прикріпленням нижніх бобів. На основі багаторічних спостережень визначено оптимальну для умов півдня України висоту рослин – 50–60 см [53, 54, 67]. Однак, в умовах Західного Лісостепу України такі дослідження не виконувались, що і визначило актуальність одного із завдань наших досліджень.

Вплив біопрепаратів на ростові процеси нуту звичайного сорту Ярина на початку цвітіння представлено у таблиці 3.2.7.

Ознака «висота стебла» характеризує зразок не тільки за висотою, але й за придатністю до прямого механізованого збирання врожаю. За передпосівної обробки насіння нуту звичайного сорту Ярина БС та Ризогуміном приріст висоти стебла дослідних рослин порівняно з контролем становив 12,6 % і 0,5 %. Варто зазначити, що обробка насіння перед сівбою БС істотно збільшувала висоту стебла нуту звичайного, а за використання композиційного мікробного препарату Ризогумін травостій дослідних рослин не відрізнявся від контрольних.

Важливим показником, що характеризує ростові процеси рослин і впливає на продуктивність культури є її облиствлення. Встановлено, що на початку цвітіння приріст показника кількості листків у результаті обробки насіння нуту

БС становив 3%, але зазначена величина не є статистично вірогідною. Ризогумін також істотно не вплинув на зазначений вище показник.

Стебло нуту звичайного має здатність до галуження біля кореневої шийки. Встановлено статистично вірогідний приріст показника кількості бічних пагонів за дії БС та біопрепарату Ризогумін, який становив 34,5 % і 50,2 %.

Таблиця 3.2.7 – Вплив біопрепаратів на ростові процеси нуту звичайного

Варіант	Стадія початок цвітіння					
	Висота стебла, см	% до контролю	К-ть листків, шт.	% до контролю	К-ть бічних пагонів, шт.	% до контролю
Контроль	36,03 ± 1,77	100	54,21 ± 6,0	100	2,09 ± 0,74	100
БС	40,56 ± 1,60*	112,6	55,83 ± 6,72	103,0	2,81 ± 0,62*	134,5
Ризогумін	39,23 ± 1,98	100,5	48,2 ± 5,78	88,9	3,14 ± 0,73*	150,2

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Отже, мікробний препарат БС стимулював ростові процеси стебла нуту звичайного сорту Ярина на початку цвітіння. Обидва біологічні препарати істотно впливали на наростання пагонів у кущі рослини.

Вплив біопрепаратів на ростові процеси нуту звичайного сорту Ярина у стадії цвітіння представлено у таблиці 3.2.8.

Таблиця 3.2.8 – Вплив біопрепаратів на ростові процеси нуту звичайного

Варіант	Стадія цвітіння					
	Висота стебла, см	% до контролю	К-ть листків, шт.	% до контролю	К-ть бічних пагонів, шт.	% до контролю
Контроль	51,23 ± 2,01	100	62,25 ± 5,95	100	2,27 ± 0,27	100
БС	49,31 ± 5,57	96,3	64,83 ± 2,61	104,1	2,91 ± 0,11*	128,2
Ризогумін	57,16* ± 1,25	111,6	64,38 ± 4,27	103,4	3,25 ± 0,14*	143,2

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

За результатами дослідження встановлено, що порівняно з контролем за впливу біопрепарату Ризогумін приріст висоти стебла дослідних рослин становив 11,6 %, БС істотно не вплинула на даний показник.

Передпосівна обробка насіння нуту звичайного сорту Ярина біопрепаратами БС і Ризогумін сприяла збільшенню кількості листків на

рослиніц. Приріст зазначених показників становив 4,1 і 3,4 %, але він не був статистично вірогідним аналогічно стадії початок цвітіння. Встановлено, що упродовж цвітіння, порівняно з попередньою стадією, зберіглася тенденція стосовно галуження стебла нуту звичайного сорту Ярина. Під час масового цвітіння приріст показників кількості бічних пагонів за дії біопрепаратів БС та Ризогумін становив 28,2 % і 43,2 %, що статистично достовірно.

Отже, біопрепарати БС і Ризогумін у стадії цвітіння суттєво стимулювали лише галуження стебла нуту звичайного сорту Ярина.

Вплив біопрепаратів на ростові процеси нуту звичайного сорту Ярина у стадії утворення бобів представлено у таблиці 3.2.9.

Таблиця 3.2.9 – Вплив біопрепаратів на ростові процеси нуту звичайного

Варіант	Стадія утворення бобів					
	Висота стебла, см	% до контролю	К-ть листків, шт.	% до контролю	К-ть бічних пагонів, шт.	% до контролю
Контроль	93,40 ± 3,25	100	95 ± 7,59	100	6,10 ± 0,57	100
БС	89,8 ± 1,93	96,1	90,75 ± 6,77	95,5	6,00 ± 0,86	98,4
Ризогумін	86,90 ± 3,64	93,0	97,30 ± 6,73	102,4	6,78 ± 0,65	111,4

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Біопрепарати БС та Ризогумін на стадії утворення бобів не стимулювали ростові процеси нуту звичайного сорту Ярина, що пояснюється фізіологією ростових процесів на етапі старіння рослин. Виявлено тенденцію до збільшення облиствлення рослин та галуження стебла за впливу Ризогуміну.

Важливими показниками, які також характеризують ростові процеси рослин є маса їх коренів та надземних органів. Встановлено, що біопрепарати впливали на показник маси надземної частини, сухої маси пагонів та маси коренів нуту звичайного сорту Ярина на початку утворення бобів (табл. 3.2.10).

Рослини нуту звичайного вступають у симбіоз із бульбочковими бактеріями виду *Mesorhizobium ciceri*, формують азотфіксувальні бульбочки і здатні засвоювати молекулярний нітроген з повітря [46, 48]. Багаті на азот кореневі залишки нуту, також солома добре розкладаються у поверхневому шарі ґрунту, збагачуючи його поживними речовинами, завдяки чому культура є

однією з кращих попередників для пшениці озимої та інших небобових рослин за умови ефективного симбіозу з бульбочковими бактеріями [65].

У ґрунтах України немає аборигенних популяцій бульбочкових бактерій нуту і лише в окремих регіонах, де раніше вирощували зазначену культуру, зустрічаються локальні популяції *Mesorhizobium ciceri*. Тому, для формування азотфіксувальної бобово-ризобіальної системи і забезпечення живлення рослин молекулярним нітрогеном повітря необхідна передпосівна обробка насіння біопрепаратами на основі бульбочкових бактерій [5, 7, 31, 45].

Мікробні препарати впливали на формування симбіотичної системи нуту звичайного сорту Ярина. Приріст показника маси бульбочок за дії БС та Ризогуміну становив 7,5 % і 33,6 %, а приріст показника кількості бульбочок спостерігався лише за дії Ризогуміну – 10,91 % (табл. 3.2.10). Бульбочки на кореневій системі нуту звичайного за обробки насіння перед сівбою мікробними препаратами були більшими, що відповідно вплинули на показник їх маси.

Таблиця 3.2.10 – Вплив біопрепаратів на вегетативну масу та симбіотичний апарат нуту звичайного сорту Ярина у стадії початок утворення бобів

Показник	Контроль	БС	Ризогумін
Сира маса надземної частини, г	27,51 ± 2,31	24,14 ± 1,97	26,99 ± 1,86
% до контролю	100	87,75	98,11
Суха маса надземної частини, г	7,30 ± 0,60	6,17 ± 0,71	7,17 ± 0,63
% до контролю	100	84,52	98,22
Маса коренів, г	4,60 ± 0,34	4,27 ± 0,22	4,30 ± 0,15
% до контролю	100	92,82	93,47
Маса бульбочок, г	1,34 ± 0,19	1,44 ± 0,17	1,79 ± 0,15
% до контролю	100	107,46	133,58
Кількість бульбочок, шт.	18,33 ± 2,76	17,22 ± 2,81	20,33 ± 1,75
% до контролю	100	93,94	110,91

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Отже, ефективнішим біопрепаратом у стадії початок утворення бобів за показниками маси та кількості бульбочок (формування симбіотичної системи) на коренях нуту звичайного виявився Ризогумін.

Встановлено, що у стадії утворення бобів біопрепарати впливали на показник сирої маси надземних органів нуту звичайного сорту Ярина (табл. 3.2.11). За передпосівної обробки насіння нуту звичайного біопрепаратом Ризогумін приріст показників сирої та сухої маси надземних органів дослідних рослин у порівнянні з контролем становив 22,2 % та 22,9 %, маси коренів – 8,2 %, маси бульбочок – 48,9 %, кількості бульбочок – 83,3 %. БС істотно не впливав на зазначені вище показники. Варто зазначити, що у ґрунті ділянок агробіолабораторії ТНПУ наявні місцеві популяції бульбочкових бактерій нуту, які спонтанно інокулювали корені нуту звичайного контрольного варіанту.

За впливу зазначеного біопрепарату виявлено тенденцію до зростання перелічених вище показників. За застосування Ризобофіту та Ризогуміну краще розвивається коренева система, що відповідно поліпшує живлення рослин. Необхідно зазначити, що у фазі утворення бобів встановлено достовірний приріст показника 40,5 %).кількості бобів за дії Ризобофіту та Ризогуміну (37,6 % та

Таблиця 3.2.11 – Вплив біопрепаратів на вегетативну масу та симбіотичний апарат нуту звичайного сорту Ярина у фазі утворення бобів

Показник	Контроль	БС	Ризогумін
Сира маса надземних органів, г	51,52 ± 4,22	55,23 ± 4,28	59,61 ± 4,11*
% до контролю	100	107,20	115,70
Суша маса надземних органів, г	18,09 ± 1,83	17,94 ± 1,90	22,24 ± 1,10*
Маса коренів, г	4,75 ± 0,57	5,12 ± 0,50	5,14 ± 0,65
% до контролю	100	107,79	108,21
Маса бульбочок, г	0,47 ± 0,08	0,60 ± 0,09	0,70 ± 0,11*
% до контролю	100	127,66	148,93
Кількість бульбочок, шт.	3,0 ± 0,48	3,9 ± 0,73	5,5 ± 0,97*
% до контролю	100	130,00	183,33
Кількість бобів, шт.	13,60 ± 1,94	18,71 ± 1,93*	19,11 ± 1,10*
% до контролю	100	137,57	140,51

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Отже, комплексний мікробіологічний препарат Ризогумін ефективніше впливав порівняно з БС на формування симбіотичної системи та збільшення вегетативної маси рослин нуту звичайного сорту Ярина у стадії утворення бобів.

4.2.3. Вплив мікробних препаратів БС та Ризогуміну на насіннєву продуктивність нуту звичайного

Вплив біопрепаратів на основні елементи продуктивності нуту звичайного сорту Ярина представлено у таблиці 3.2.12.

Таблиця 3.2.12 – Вплив біопрепаратів на основні елементи продуктивності нуту звичайного сорту Ярина

Показник	Контроль	Ризобофіт	Ризогумін
висота рослини, см	121,43 ± 15,24	120,66 ± 20,04	115,75 ± 14,81
% до контролю	100	99,36	95,32
висота кріплення нижніх бобів, см	41,77 ± 2,08	45,1 ± 1,92	51,56 ± 2,08*
% до контролю	100	107,97	123,44
кількість бобів на 1 рослині, шт.	12,75 ± 7,3	18,01 ± 7,45*	19,25 ± 5,91*
% до контролю	100	141,25	150,98
довжина бобів, см	2,11 ± 0,13	2,23 ± 0,15	2,06 ± 0,12
% до контролю	100	105,69	97,63
кількість насінин на 1 рослині, шт.	14,93 ± 0,81	18,73 ± 1,35*	19,88 ± 1,87*
% до контролю	100	125,45	133,15
маса насіння, г (з 1 м ²)	16,45 ± 0,22	20,48 ± 0,58*	20,87 ± 0,60*
% до контролю	100	124,50	126,87

Примітка: * – достовірна різниця з контролем при $p < 0,05$

Важливим показником, що необхідно враховувати при механізованому збиранні врожаю є висота прикріплення нижнього бобу на стеблі рослини [21, 26]. Зазначений показник залежить від двох ознак. Першої – довжини рослини до нижнього плодоносного бобу. Остання в свою чергу, тісно пов'язана з довжиною всього стебла. Другої – форми куща: чим компактніший кущ, тим вище знаходяться перші боби від поверхні ґрунту. Тому при обранні насіння варто надавати перевагу сортам із компактною або стоячою формою куща, щоб вберегти урожай. Встановлено, що в результаті обробки насіння БС та Ризогуміном приріст показника висоти кріплення нижніх бобів становив 8,0 % та 23,4 %. За впливу Ризогуміну виявлено статистично вірогідний зазначений вище показник.

Для формування врожаю сільськогосподарських культур велике значення має кількість бобів на рослині [41]. Мікробіологічні препарати БС та Ризогумін істотно впливали на формування бобів на рослинах нуту звичайного сорту Ярина. Приріст показників кількості бобів на одній рослині за передпосівної обробки насіння біопрепаратами становив відповідно 41,2 та 51,0 %. Мікробіологічні препарати суттєво не впливали на довжину бобу. Спостерігається лише тенденція до зростання зазначеного показника за впливу БС на 5,7 %.

Важливим показником, що характеризує насінневу продуктивність рослин є маса насіння з рослини [41]. Зазначений показник залежить суттєво від кількості бобів на рослині. Між цими параметрами існує пряма кореляційна залежність. Для нуту звичайного сорту Ярина характерні здебільшого однонасінні боби, рідше 2- і 3-насінні. Встановлено статистично вірогідний приріст показника маси насіння з рослини за впливу БС та Ризогуміну. Він становив 25,5 % та 33,2 %.

Ефективність елементів технології у посівах сільськогосподарських культур оцінюють за їх насінневою продуктивністю. У результаті проведених досліджень встановлено статистично вірогідне зростання урожайності нуту звичайного сорту Ярина за обробки насіння перед сівбою мікробними препаратами за вирощування у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України (ТО). Приріст показника врожаю насіння становив 24,5 та 26,9 %. Комплексний препарат Ризогумін упродовж онтогенезу рослин істотніше активізував фізіологічні процеси порівняно з БС і відповідно ефективнішим виявився й за показником насінневої продуктивності нуту звичайного сорту Ярина.

Отже, застосування мікробних препаратів *Mesorhizobium ciceri* штаму ND-64 і Ризогуміну для передпосівної обробки насіння нуту звичайного сорту Ярина сприяло підвищенню насінневої продуктивності культури.

3.3. Вплив добрива ЕМ-1 на фізіологічні показники і продуктивність квасолі звичайної

Квасоля є цінною зернобобовою високобілковою харчовою культурою. Вміст білка в її зерні становить 28-30%, який за якістю наближається до білків м'яса і добре засвоюється організмом людини. Насіння квасолі містить також органічні і мінеральні речовини: вуглеводи – 45-52%, в тому числі цукор – 5,2%, жири – 1,8%, зольні елементи – 4,0%, а також вітаміни А, В₁, В₂ та ін. Зерно широко використовують для приготування різних поживних і смачних страв – супів, борщів, вінегретів, пирогів, пюре тощо, дієтичних страв для хворих під час захворювань печінки, сечового міхура, як сировину для консервної промисловості тощо. У харчуванні використовують також зелені боби (спаржеві сорти квасолі), які містять до 15,7% білка, до 2,0% цукру, багаті на суху речовину та вітамін С [26, 61, 27].

Як кормова культура квасоля майже не використовується, адже її зелена маса містить отруйні речовини і погано поїдається худобою. Солому їдять лише кози і вівці. Зернові відходи квасолі – поживний корм для тварин, тільки згодовувати його треба після термічної обробки, яка руйнує отруйний глікозид фазеолунатин [60, 61].

Важливим є те, що квасоля вступає в симбіоз з бульбочковими бактеріями, що розглядається як важливий чинник зростання продуктивності самої культури та інших рослин сівозміни. Підвищення ефективності симбіотичної азотфіксації можна досягти за рахунок комплексу селекційних, агротехнічних та інших заходів, зокрема, застосуванням бактеріальних препаратів і біологічно активних речовин [1, 2, 7, 8, 12, 13, 38, 39].

На сьогодні велика увага приділяється альтернативним способам ведення сільського господарства, які б забезпечили максимальну урожайність та допомогли отримати екологічно чисту рослинну продукцію [48, 51].

Матеріалом досліджень була квасоля звичайна (*Phaseolus L.*) сорту Буковинка, яка занесена до реєстру сортів рослин, що придатні до поширення в Україні з 2004 року [19].

Сорт Буковинка має за формою кущове стебло, середньо розгалужене. Рослини за висотою сягають 50-55 см [50, 68].

Під час цвітіння утворюються білі квіти, які зібрані в китиці із 2-6 штук. Висота кріплення нижнього бобу 15-17 см. Боби характеризуються високою стійкістю до розтріскування. Насіння сорту біле, еліптичної форми з гладкою поверхнею та блискучим білим рубчиком. Маса 1000 насінин – 233-246 г та містить до 26% білка. Дуже добре розварюється [49].

Буковинка є технологічним сортом зернового напрямку з вегетаційним періодом 80-85 днів і середньою врожайністю 26,3-26,7 ц/га [49].

Вагомим чинником підвищення продуктивності агроєкосистем, потенціал яких у даний час використовується недостатньо, є активізація мікробно-рослинної взаємодії шляхом внесення біопрепаратів природного походження. Вони інтенсифікують фізіолого-біохімічні процеси у рослинах, підвищують їх стійкість до хвороб і позитивно впливають на мікроорганізми ґрунту. Так, через невикористання біопрепаратів азотфіксувальних мікроорганізмів для обробки насіння бобових культур, виробництво недобирає як мінімум 10-30% їх урожаю. Застосування симбіотичних азотфіксаторів збільшується вміст білків у насінні на 2-6%, навіть за наявності в ґрунті популяцій аборигенних ризобій [24, 38, 48].

Серед мікробних добрив важливе місце у світовому землеробстві займають препарати серії ЕМ, зокрема ЕМ-1. Дуже широкий діапазон дії мікроорганізмів, які входять до складу ЕМ-препарату – є головною причиною його багатофункціональності. Мікроорганізми ЕМ-добрив сприяють росту і розвитку рослин, придушують шкідливі мікроорганізми, інтенсифікують азотфіксацію, вони запобігають зараженню ґрунту шкідливими комахами та личинками, підвищують родючість ґрунту тощо [14, 36, 37, 52, 82, 97, 98].

Мікробіологічне ЕМ-добриво позитивно впливає на ріст і розвиток рослин за рахунок стимулювання процесів ґрунтового живлення, інтенсивності проростання насіння, захисту від патогенів, оптимізації фітогормонального

статусу рослин тощо за рахунок наявних в препараті біологічно активних речовин та мікробіологічних процесів індукованих у ґрунті [52, 82, 97, 98].

Мікробіологічне добриво ЕМ-1 у готовому для використання вигляді являє собою жовто-коричневу рідину з кефірно-силосним запахом і кислим смаком, pH середовища в межах 3,5, добре розчиняється у воді [82].

Препарат включає 86 видів різних анаеробних та аеробних мікроорганізмів. У домінуючу групу мікроорганізмів входять фотосинтезуючі та молочнокислі бактерії, дріжджі, актиноміцети, ферментуючі гриби тощо. Кожна група організмів по своєму корисна для рослин і ґрунту. Так, фотосинтезуючі бактерії є незалежними мікроорганізмами, що самопідтримуються. Ці бактерії синтезують корисні речовини (АК, НК, БАР, цукри) з корневих виділень рослин, органічних матеріалів і/або шкідливих газів (наприклад, сірководню), використовуючи сонячне світло та тепло ґрунту як джерело енергії. Ці метаболіти поглинаються рослинами безпосередньо і також діють як субстрати для інших бактерій [82, 98].

У цілому, основними діючими компонентами препарату ЕМ-1 є живі культури *Lactobacillus plantarum* – $4,7 \times 10^5$ КУО/мл, *Rhodopseudomonas palustris* – 1×10^2 КУО/мл, *Saccharomyces cerevisiae* – $2,9 \times 10^5$ КУО/мл, *Azotobakter* – $4,0 \times 10^4$ КУО/мл [18].

Для досліджень використовували мікробіологічний препарат ЕМ-1 виробництва польської фірми «Greenland technologia EM» [97].

ЕМ-1 – це «сплячі мікроорганізми», які потрібно активувати за допомогою теплої води і меляси. Для малих об'ємів препарату змішують 20 мл ЕМ-1 з 20 мл меляси і 0,5 л нехлорованої води. Після бродіння утворюється активний ЕМ-препарат (ЕМ-А) [97].

Вегетаційні досліді проводились у лабораторії фізіології рослин і мікробіології кафедри ботаніки та зоології Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.

Насіння висівали у ростильні з ґрунтом, який мульчували піском та на перші 3 доби пророщування вкривали поліетиленовою плівкою для

зменшення втрат вологи. Вологість субстрату для пророщування підтримували ваговим методом на рівні 60% повної вологоємності. Ростильні поміщали у вентильований термостат за середньої температури 25 °С (соя) і 20 °С (квасоля).

Також рослини квасолі вирощувались у ґрунтовій вегетаційній культурі в пластикових горшках по 4 шт. Загальна маса посудини 4,195 кг за вологості субстрату 60% ПВ.

Польові досліді проводили за загальноприйнятою для Лісостепу України технологію вирощування сої і квасолі [61], але без застосування пестицидів і ґрунтового внесення добрив. Строк сівби – перша декада травня, спосіб – широкорядний з міжряддям 45 см, норма – 700 тис./га для сої і 400 тис./га – квасолі, попередник – кукурудза на зерно і картопля, відповідно.

Розміщення варіантів досліді послідовне із 4-разовим повторенням.

Мікробіологічне добриво застосовували для 1 годинного зволоження насіння сої і квасолі перед посівом, як у вегетаційних так і польових дослідіх. Концентрація розчину ЕМ-1 20% (варіант «ЕМ-1») чи у дистильованій воді (варіант «Контроль») у кількості 2% від маси насінневого матеріалу.

У польових умовах у фенологічні стадії росту «поява суцвіття – початок цвітіння» (ВВСН 51-61) сою двічі з інтервалом 10 діб обприскували розчином добрива Плантафол 10.54.10 концентрацією 3 г/л з розрахунку витрати робочого розчину 300 л/га. Рослини контрольного варіанту зволожували водою.

Дослідження проростання квасолі сорту Буковинка у ґрунтовій вегетаційній культурі виявило зростання лабораторної схожості насіння на 9,9% порівняно з контролем та відсутність стимулюючого впливу на ріст 10-ти добових проростків (табл. 3.3.1).

Таблиця 3.3.1 – Вплив мікробіологічного добрива ЕМ-1 на проростання і ріст проростків квасолі звичайної сорту Буковинка в лабораторних умовах

Показник	Контроль	ЕМ-1
лабораторна схожість, %	55,5±3,7	61,0±5,4
висота 10-добових проростків, см	6,6±0,09	6,6±0,08

У польових умовах виявлена тенденція впливу ЕМ-1 на проростання насіння була подібною. Так, польова схожість насіння квасолі сорту

Буковинка під впливом мікробіологічного добрива мала тенденцію до зростання – на 3,5% до контролю, а висота рослин у стадію появи перших справжніх листків була навіть на 2% нижчою (табл. 3.3.2).

Таблиця 3.3.2 – Вплив мікробіологічного добрива ЕМ-1 на проростання і ріст проростків квасолі звичайної сорту Буковинка в польових умовах

Показник	Контроль	ЕМ-1
польова схожість, %	90,6±1,6	93,8±1,3
висота 20-добових проростків, см	4,9±0,07	4,8±0,06

Зазначені зміни у проростанні насіння, на нашу думку, пояснюються захисними і стимулюючим впливом ЕМ-1 на проростання та недостатнім часом такої дії на молоді вегетуючі рослини, що проявляється також у піщаній культурі [33].

Аналогічно, у стадію бутонізації під впливом добрива маса сирих і сухих коренів та вміст у них води практично не змінювались (табл. 3.3.3). У стадію ж цвітіння дія мікробіологічного добрива на ростові процеси рослин квасолі проявилась у значній мірі.

Так, за дії ЕМ-1 у цей час на 22,1% до контролю зростала маса сирій надземної частини рослин за рахунок збільшення, переважно, маси і площі листової поверхні на 30,0% і 24,3%, відповідно, та маси сухого стебла – на 18,0% (табл. 3.3.4).

За впливу передпосівного намочування біопрепаратом зростала також кількість листків на рослинах квасолі на 9,3%, їх висота – на 7,0% та діаметр стебла – на 3,7% до контролю та на 1,2% зменшувався вміст води в листках, що можна пояснити значнішим накопиченням у них сухих речовин (табл. 3.3.4).

Таблиця 3.3.3 – Маса й оводнення кореневої системи рослин квасолі сорту Буковинка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 у стадію бутонізації

Показник	Контроль	ЕМ-1
маса сирих коренів, г/рослину	2,64±0,18	2,69±0,11
маса сухих коренів, мг/рослину	688,8±51,9	671,4±36,1
вміст води, %	74,0±0,5	75,0±1,0

Аналогічне зростання маси сирії та сухої надземної частини рослин квасолі під впливом мікробіологічного добрива ЕМ-1 було виявлено у цю ж стадію цвітіння в 2017 р. (табл. 3.3.5).

Таблиця 3.3.4 – Ростові процеси рослин квасолі звичайної сорту Буковинка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 у стадію цвітіння

Показник	Контроль	ЕМ-1
маса сирії надземної частини, г	76,5±6,4	93,4±8,7
кількість листків на рослині, шт.	15,4±1,1	16,9±1,0
маса сирих листків, г	34,9±2,9	34,9±2,9*
площа листків, см ²	1760,7±160,4	2188,5±167,7
висота рослини, см	50,5±1,5	54,1±1,2
діаметр стебла біля кореневої шийки, см	0,57±0,02	0,59±0,02
маса сухого стебла без листків, г	7,2±0,94	8,5±0,73
вміст води в листках, %	74,5±0,4	73,6±0,4

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Таблиця 3.3.5 – Маса надземної частини рослин квасолі звичайної сорту Буковинка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 у стадію цвітіння

Показник	Контроль	ЕМ-1
маса сирії надземної частини, г/рослину	77,5±3,7	96,9±6,4*
маса сухої надземної частини, г/рослину	12,2±0,6	15,2±1,1

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

У стадію зеленого бобу вплив біодобрива ЕМ-1 на ростові процеси рослин квасолі сорту Буковинка був ще значніший, ніж у стадію цвітіння.

Зростання маси сирії надземної частини рослин квасолі становило 30,1% порівняно з контролем, що відбувалось за рахунок збільшення на 16,0% облиствленості пагонів, на 28,0% маси сирих листків, на 38,5% їх площі та більшої на 32,4% маси сухого стебла (табл. 3.3.6).

Отже, ріст є інтегральним показником, що обумовлює фізіологічний стан рослини, який може вказувати на ефективність бобово-ризобіального симбіозу [7, 24]. Ефективність утворення симбіозу прийнято оцінювати за кількістю і масою бульбочок, які, як правило, характеризується рясним утворенням і збільшеною величиною та рожевим кольором. За малоактивного симбіозу бульбочки дрібні, білого, жовтого або зеленого забарвлення [24].

Таблиця 3.3.6 – Ростові процеси рослин квасолі звичайної сорту Буковинка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 у стадію зеленого бобу

Показник	Контроль	ЕМ-1
маса сирій надземної частини, г	119,7±11,4	155,7±8,3*
кількість листків на рослині, шт.	16,9±1,1	19,6±1,0
маса сирих листків, г	37,9±3,1	48,5±2,1*
площа листків, см ²	1275,9±104,5	1767,5±81,9*
маса сухого стебла з бобами без листків, г	14,8±1,6	19,6±1,3*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Передпосівна обробка насінневого матеріалу мікробіологічним добривом сприяла утворенню симбіозу між рослинами досліджуваного сорту квасолі Буковинка і місцевими аборигенними штамми ризобій.

За дії ЕМ-1 на коренях квасолі у стадію бутонізації утворювалося на 40,1% більше активних бульбочок, ніж у контролі, які мали на 25,1% і 25,5% більшу масу у сирому і сухому станах, відповідно. Зазначене кількісне зростання утворів було на стільки вагомим, що навіть зменшення їх сухої маси на 10,5% не вплинуло на їх загальну масу (табл. 3.3.7).

Таблиця 3.3.7 – Бобово-ризобіальний симбіоз рослин квасолі звичайної сорту Буковинка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 у стадію бутонізації

Показник	Контроль	ЕМ-1
кількість бульбочок, шт./рослину	16,0±1,2	22,4±1,6*
маса сирих бульбочок, мг/ рослину	369,3±13,0	461,8±15,9*
маса сухих бульбочок, мг/ рослину	90,6±3,3	113,7±4,2*
маса 1 сухої бульбочки, мг	5,86±0,26	5,25±0,13*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Отже, ЕМ-1 позитивно впливає на утворення квасолево-ризобіального симбіозу на основі аборигенних популяцій *Rhizobium phaseoli*, що було відмічено і в інших дослідженнях із аналогічним мікробіологічним добривом «Байкал ЕМ-1У» [103] та, очевидно, стимулює їх нітрогеназну активність, як і в піщаній вегетаційній культурі із виробничим штамом 700 [39].

Серед шляхів підвищення продуктивності культурних рослин, великі перспективи має запровадження ЕМ-технології, яка за 3-5 років без застосування хімічних добрив і пестицидів, може повернути ґрунтам високу

природну родючість та дати зростання екологічно чистого врожаю [6, 37, 52, 82, 97, 98, 103].

Аналіз структури урожаю квасолі звичайної сорту Буковинка у 2016 році засвідчив, що передпосівне зволоження насіння розчином ЕМ-1 зумовило зростання біологічного урожаю надземної маси без листя культури на 16,4% та маси зерна на 23,0% за рахунок підвищення сукупності показників (табл. 3.3.8).

Зокрема, рослини дослідного варіанту мали вищу густоту стеблостою на 21,7% від контролю, що можна пояснити відомим захисним ефектом мікробіологічного добрива ЕМ-1 проти ґрунтових патогенних організмів, які пошкоджують насіння під час його проростання і рослини під час вегетації [14, 52, 82].

Передпосівна обробка квасолі ЕМ-добривом стимулювала ріст рослин у висоту – дослідні рослини під час збирання урожаю були вищими від контрольних на 10,0%.

Мікробіологічний препарат стимулював утворення генеративних органів на рослинах квасолі і, як наслідок, відбувалось утворення більшої на 4,7% кількості бобів на рослину (табл. 3.3.8).

Препарат також проявляв тенденцію підвищення на 1,1% росту бобів у довжину і на 1,5% їх озернення (табл. 4.3.8), що відповідає літературним даним про стабільність кількості насінин у плодах бобових, як генетично детермінованої дуже стабільної і важко змінюваної ознаки [24].

Мікробіологічне добриво на 6,3% до контролю підвищувало кількість насінин на рослину, перш за все, за рахунок зазначеного вище зростання на них кількості бобів, а не змін в їх озерненні.

За рахунок збільшення на 6,3% чисельності насінин на рослинах зростала і їх маса на 17,3% порівняно з контролем. Значніше підвищення маси насіння на рослинах, ніж їх кількості, можна пояснити зростанням маси 1000 насінин на 9,7% до контролю (табл. 3.3.8).

Важливим технологічним параметром, який впливає на якість збирання бобових культур є висота кріплення нижніх бобів [24].

Мікробіологічне добриво ЕМ-1 не виявляло значного впливу на показник висоти кріплення нижніх бобів квасолі звичайної сорту Буковинка, адже було виявлено невірогідне зменшення цього показника на 0,9% до контролю (табл. 3.3.8).

Таблиця 3.3.8 – Основні елементи продуктивності квасолі звичайної сорту Буковинка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 (2016 р.)

Показник	Контроль	ЕМ-1
густота рослин, тис. шт./га	255,6±3,0	311,1±7,3*
висота рослин, см	56,1±1,9	61,7±1,5*
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	38,0±1,5	44,2±1,4*
кількість бобів на 1 рослину, шт.	10,6±0,7	11,1±0,4
довжина бобів, см	9,0±0,07	9,1±0,06
висота кріплення нижніх бобів, см	11,5±0,5	11,4±0,5
кількість насінин на 1 рослину, шт.	41,6±2,8	44,2±1,9
маса насіння на 1 рослину, г	8,1±0,55	9,5±0,41*
кількість насінин в 1 бобові, шт.	3,95±0,10	4,01±0,09
маса 1000 насінин, г	195,6±2,8	214,5±2,3*
біологічний урожай зерна, ц/га	23,0±0,8	28,3±0,3*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Аналіз структури урожаю квасолі звичайної сорту Буковинка у 2017 році показав, що передпосівне зволоження насіння розчином ЕМ-1 зумовило зростання біологічного урожаю надземної маси культури без листя на 13,7% та маси зерна на 15,2% за рахунок підвищення різних показників (табл. 4.3.9). Зокрема, рослини дослідного варіанту мали вищу густоту стеблостою на 4,5% від контролю та під час збирання урожаю були вищими від контрольних на 11,3% (табл. 3.3.9).

Мікробіологічний препарат стимулював утворення генеративних органів на рослинах квасолі і, як наслідок, відбувалось утворення більшої на 11,8% кількості бобів, підвищення на 4,4% їх довжини та на 2,6% озернення (табл. 3.3.9).

Мікробіологічне добриво на 18,1% до контролю підвищувало кількість насінин на рослину, завдяки чому зростала і їх маса на 19,5%. (табл. 3.3.9).

Вагомість насіння за дії ЕМ-1 фактично не змінювалась – зростання маси 1000 насінин лише на 0,1% до контролю.

Мікробіологічне добриво ЕМ-1, як і у попередній рік, не виявляло значного впливу на показник висоти кріплення нижніх бобів квасолі звичайної сорту Буковинка, адже було виявлено статистично невірогідне збільшення цього показника на 1,9% до контролю (табл. 3.3.9).

Таблиця 3.3.9 – Основні елементи продуктивності квасолі звичайної сорту Буковинка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 (2017 р.)

Показник	Контроль	ЕМ-1
густота рослин, тис. шт./га	248,1±6,8	259,3±7,4
висота рослин, см	43,2±1,2	48,0±1,4*
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	48,5±1,3	55,2±3,9
кількість бобів на 1 рослину, шт.	14,6±1,0	16,4±1,0
довжина бобів, см	9,3±0,02	9,7±0,06*
висота кріплення нижніх бобів, см	9,6±0,4	9,8±0,6
кількість насінин на 1 рослину, шт.	64,8±4,7	76,5±4,7*
маса насіння на 1 рослину, г	11,7±0,85	14,0±0,86*
кількість насінин в 1 бобові, шт.	4,58±0,16	4,70±0,11
маса 1000 насінин, г	181,2±3,5	181,3±5,0
біологічний урожай зерна, ц/га	29,3±1,1	33,8±1,4*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

У 2018 р., очевидно, через нестачу вологи у травні і частині червня, вплив ЕМ-1 на продуктивність квасолі був менш вираженим. Зростання біологічного урожаю зерна становило 3,8% до контролю і біологічного урожаю надземної маси 2,1% за рахунок вищої густоти рослин на 11,2% та більшої маси 1000 насінин на 9,6%, довших на 3,3% до контролю бобів (табл. 3.3.10).

Таблиця 3.3.10 – Основні елементи продуктивності квасолі звичайної сорту Буковинка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 (2018 р.)

Показник	Контроль	ЕМ-1
густота рослин, тис. шт./га	296,3±4,7	329,6±10,6*
висота рослин, см	44,5±1,6	44,1±0,9
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	38,5±1,0	39,3±1,6
кількість бобів на 1 рослину, шт.	10,0±0,5	10,3±0,3
довжина бобів, см	9,2±0,07	9,5±0,06*
висота кріплення нижніх бобів, см	11,0±0,3	11,1±0,4
кількість насінин на 1 рослину, шт.	36,8±2,4	36,5±1,5
маса насіння на 1 рослину, г	7,7±0,51	8,4±0,35
кількість насінин в 1 бобові, шт.	3,60±0,12	3,61±0,12
маса 1000 насінин, г	210,1±4,5	230,3±6,2*
біологічний урожай зерна, ц/га	26,2±1,6	27,2±0,9

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Отже, передпосівна обробка насіння біопрепаратом ЕМ-1 є ефективним елементом технології вирощування квасолі звичайної, який, у середньому за три роки досліджень, підвищував біологічний урожай насіння на 14,0% і надземної маси на 10,7% переважно за рахунок формування густішого на 12,5% і вищого на 6,8% стеблостою та зростання загальної кількості насіння на рослинах на 7,9%, їх маси – на 15,3% та величини (маса 1000 насінин) – на 6,5% до контролю (табл. 3.3.11).

Таблиця 3.3.11 – Основні елементи продуктивності квасолі звичайної сорту Буковинка за дії добрива ЕМ-1 (середнє за 2016-2018 р.), % до контролю

Показник	ЕМ-1
густота рослин, тис. шт./га	112,5
висота рослин, см	106,8
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	110,7
кількість бобів на 1 рослину, шт.	106,5
довжина бобів, см	102,9
висота кріплення нижніх бобів, см	100,6
кількість насінин на 1 рослину, шт.	107,9
маса насіння на 1 рослину, г	115,3
кількість насінин в 1 бобові, шт.	101,5
маса 1000 насінин, г	106,5
біологічний урожай зерна, ц/га	114,0

3.4. Вплив добрива ЕМ-1 на фізіологічні показники і продуктивність сої культурної

Соя – найпоширеніша зернобобова культура, яку вирощують на площі понад 120 млн. га [91]. Стабільний інтерес до виробництва сої пояснюється її використанням як цінної технічної, продовольчої і кормової культури. Насіння є унікальним за вмістом мінеральних та органічних речовин. Воно містить у середньому 39% білків, 24% вуглеводів, 20% напіввисихаючої харчової олії, 5% зольних елементів (з переважним вмістом калію, фосфору і кальцію), вітаміни А, В, С, D, Е та ферменти. Білок зерна сої за амінокислотним складом наближається до білків тваринного походження, містить багато незамінних амінокислот – лізину, метіоніну, триптофану [9, 26, 61, 70].

Соя є важливою технічною культурою. Вона займає перше місце у світовому виробництві рослинної олії. У процесі технічної переробки із сої виготовляють фарби, лаки, клей, пластмасу, мило, волокна тощо. Соя – цінна кормова рослина. З неї одержують корми для тварин, зокрема макуху, соєвий шрот, дерть, соєве молоко, білкові концентрати, зелений корм, сіно, силос, соломку. Соя має важливе агротехнічне значення, оскільки вона засвоює азот з повітря, залишає після себе 60-90 кг/га біологічно фіксованого азоту, очищає поле від бур'янів, є добрим попередником для багатьох с.-г. культур [5, 26, 61].

Україна має природні ресурси, які відповідають біологічним вимогам до вирощування сої. На сьогодні понад 150 сортів сої занесених до Державного реєстру сортів рослин країни з потенціалом урожайності 2,5-3 т/га і більше. Нарощування виробництва сої в Україні здійснюється переважно за рахунок зростання посівних площ, проте врожайність перебуває на низькому рівні. Так, у 2016 році площі посівів зернобобових культур в Україні становили 7,2 млн. га, з них посіви сої – 1,86 млн. га, у 2017 році площа посів сої зросла до 1,88 млн. га за середньої врожайності 19,3 ц/га [19, 91].

Матеріалом дослідження була соя культурна (*Glycine max* Moench.) сорту Аннушка.

Сорт сої Аннушка належить до скоростиглих сортів із вегетацією 75-85 днів, має зерновий напрямок використання та високий потенціал продуктивності – до 42 ц/га і більше. В Україні є національним стандартом для скоростиглих сортів [59].

Сорт напівдетермінантного типу, кущ стиснений. Висота рослин 80-110 см, середня кількість вузлів на стеблі 10-15 шт., висота кріплення нижнього боба 12-15 см, забарвлення стебла і бобів темно-сіре, гіпокотиль з антоціаном. Колір квіток фіолетовий. Листок світло-зелений, пухирчастість помірна. Стебло за товщиною тонке (<7мм). Середній листочок ланцетний, за формою верхівки загострений, середній за розміром. Біб сірий, за довжиною середній (40,0-50,0 мм), вузький (<9,0 мм), овально-видовжений. Насіння овально-округле, жовте,

рубчик жовтий, лінійний з вічком. Час початку цвітіння (10% квіток розпустилося) від дуже раннього до раннього [30, 59].

Рослини сорту стійкі до посухи, вилягання, осипання, мають високу польову стійкість до хвороб. Сорт має підвищену кількість бобів на рослині та насінин в бобі (більше 20% 4-насінних бобів) порівняно з іншими сортами. Маса 1000 насінин – 110-115 г. Насіння придатне для харчової переробки, вміст білка у насінні – 40,0-43,2%, олії-18,0-21,0% [59].

Сорт Аннушка, дуже пластичний, рекомендований до поширення в усіх природно-кліматичних зонах. Норма висіву 700-900 тис. схожих насінин на гектар. Глибина загортання насіння – 3-6 см. Рекомендована ширина міжрядь 15-45 см [59, 61].

Важливим завданням сучасного аграрного виробництва є розробка шляхів підвищення продуктивності культурних рослин та родючості ґрунтів. Велика увага приділяється альтернативним способам ведення сільського господарства, які б забезпечили максимальну врожайність та допомогли отримати екологічно чисту рослинну продукцію. Найперспективнішим елементом екологічно безпечних технологій є запровадження багатофункціональної ЕМ-технології [14, 36, 37, 82, 97, 98].

Відомо, що мікробіологічне добриво ЕМ-1 позитивно впливає на проростання насіння та захищає проростки від патогенів [71, 82, 98].

Дослідження процесу проростання [22] сої культурної сорту Аннушка у ґрунтовій вегетаційній культурі виявило тенденцію до зниження лабораторної схожості насіння на 3,5% порівняно з контролем та збільшення на 6,5% висоти 7-ти добових проростків (табл. 3.4.1).

Таблиця 3.4.1 – Вплив мікробіологічного добрива ЕМ-1 на проростання і ріст рослин сої культурної сорту Аннушка у вегетаційних умовах

Показник	Контроль	ЕМ-1
лабораторна схожість, %	71,0±5,0	68,5±3,8
висота 7-добових проростків, см	12,4±0,2	13,3±0,2*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

У польових умовах ЕМ-1 виявляв стимулюючий вплив як на проростання сої так і на її ріст. Так, польова схожість насіння культури під впливом мікробіологічного добрива зростала – на 2,5% до контролю, а висота рослин у стадію появи перших справжніх листків була на 7,8% вищою (табл. 3.4.2).

Зазначені зміни у схожості насіння, на нашу думку, пояснюються захисним і стимулюючим впливом ЕМ-1 на проростання та специфікою лабораторного контрольованого експерименту.

Подальше дослідження морфогенезу рослин сої сорту Аннушка показало позитивний стимулюючий вплив мікробіологічного добрива ЕМ-1 на більшість із досліджуваних показників.

Таблиця 3.4.2 – Вплив мікробіологічного добрива ЕМ-1 на польову схожість і ріст рослин сої культурної сорту Аннушка (2018 р.)

Показник	Контроль	ЕМ-1
польова схожість, %	71,8 ±0,6	73,6±0,5*
висота 10-добових проростків, см	4,4±0,08	4,8±0,11*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Так, коренева система рослин сої у стадію бутонізації, після передпосівної обробки насіння біопрепаратом, мала дещо вищий на 2,2% до контролю вміст води, на 5,1% більшу масу сирих коренів та на 2,0% їх масу в сухому стані (табл. 3.4.3).

У стадію цвітіння за дії ЕМ-1 виявлено зростання маси сирої наземної частини рослин на 18,3% порівняно з контролем, що можна пояснити підвищенням маси листків і стебла. У дослідних рослин вірогідно збільшувалась маса сирих листків на 21,0% до контролю за рахунок зростання їх кількості на 14,1% та площі – на 11,4%, а також підвищувалась на 3,6% маса сухого стебла без листків (табл. 3.4.4).

У цю стадію росту не виявлено значного впливу мікробіологічного добрива на показники висоти рослин та вмісту води в листках – недостовірне підвищення на 0,6 % та 0,9% порівняно з контролем, відповідно. Під впливом добрива у дослідних рослин відбувалось зростання діаметру стебла біля кореневої шийки на 5,9% порівняно з контрольними рослинами, що сприяє

посиленню його механічної міцності та запобігає вилягання рослин і створює технологічні переваги під час збирання урожаю (табл. 3.3.4).

Таблиця 3.4.3 – Маса і оводнення кореневої системи рослин сої культурної сорту Аннушка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 у стадію бутонізації

Показник	Контроль	ЕМ-1
маса сирих коренів, г/рослину	1,17±0,05	1,23±0,10
маса сухих коренів, мг/рослину	404,4±13,6	405,2±15,0
вміст води, %	65,1±0,9	66,6±0,9

Таблиця 3.4.4 – Морфометричні показники рослин сої культурної сорту Аннушка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 у стадію цвітіння

Показник	Контроль	ЕМ-1
маса сирій надземної частини, г	39,6±2,7	46,8±2,4
кількість листків на рослині, шт.	11,1±0,6	12,6±0,7
маса сирих листків, г	13,4±0,6	16,2±0,8*
площа листків, см ²	938,8±45,9	1046,3±51,3
висота рослини, см	87,9±2,2	88,4±1,5
діаметр стебла біля кореневої шийки, см	0,53±0,02	0,56±0,02
маса сухого стебла без листків, г	16,5±0,10	17,1±0,64
вміст води в листках, %	70,6±1,1	71,3±1,1

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

У стадію зеленого бобу також виявлено позитивний вплив мікробіологічного добрива ЕМ-1 на формування надземної маси рослин сої – зростання на 12,2% до контролю. Необхідно відзначити, що досліджуване біодобриво сприяло суттєвому зростанню накопичення сухої біомаси у надземній частині рослин сої. Так, за дії ЕМ-1 маса сухої надземної частини дослідних рослин сої була вірогідно вищою на 24,1% порівняно з контрольними (табл. 3.4.5).

Таблиця 3.4.5 – Маса надземної частини рослин сої культурної сорту Аннушка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 у стадію зеленого бобу

Показник	Контроль	ЕМ-1
маса сирій надземної частини, г/рослину	35,57±1,20	39,91±4,34
маса сухої надземної частини, г/рослину	6,43±0,25	7,99±0,57*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Дослідження рослин сої у стадію цвітіння виявило значний стимулюючий ефект ЕМ-препарату на активізацію утворення соєво-ризобіального симбіозу на основі аборигенних популяцій *Bradyrhizobium japonicum*, що було відмічено і в інших дослідженнях [6, 103]. Передпосівна обробка насіння добривом підвищувала, порівняно з контролем, масу сирих на 8,3% і сухих на 11,4% бульбочок, за рахунок зростання їх кількості на 7,5% та розмірів на 2,7% (табл. 3.4.6)

Отже, в ґрунтово-кліматичних умовах ТО встановлено позитивний вплив передпосівної обробки насіння мікробіологічним добривом ЕМ-1 на морфометричні показники сої сорту Аннушка – збільшенням маси сирих листків на 21,0% за рахунок вищої на 14,1% облиствленості пагонів та більшої на 11,4% їх загальної площі, а також зростання загальної надземної маси на 18,3% (рис. 4.4.1) та інтенсифікувалось утворення бобово-ризобіального симбіозу між рослинами і місцевими аборигенними популяціями бульбочкових бактерій, що проявлялось у підвищенні загальної маси сирих і сухих бульбочок.

Таблиця 3.4.6 – Бобово-ризобіальний симбіоз рослин сої культурної сорту Аннушка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 у стадію цвітіння

Показник	Контроль	ЕМ-1
кількість бульбочок, шт./рослину	26,5±1,7	28,5±1,7
маса сирих бульбочок, мг/ рослину	503,8±17,2	545,8±16,9
маса сухих бульбочок, мг/ рослину	167,2±6,0	186,2±3,5*
маса 1 сухої бульбочки, мг	6,62±0,42	6,80±0,17

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Основним результатом запровадження у рослинництво ЕМ-технології є підвищення продуктивності культурних рослин без застосування хімічних добрив і пестицидів та повернення ґрунтам високої природної родючості.

Аналіз структури урожаю сої культурної у 2016 р. засвідчив, що зростання біологічного урожаю надземної маси без листя на 11,4% та його господарсько найважливішої частини – маси зерна – на 10,3% відбувається за рахунок формування достовірно вищої густоти рослин на 7,1% до контролю (табл. 3.4.7).

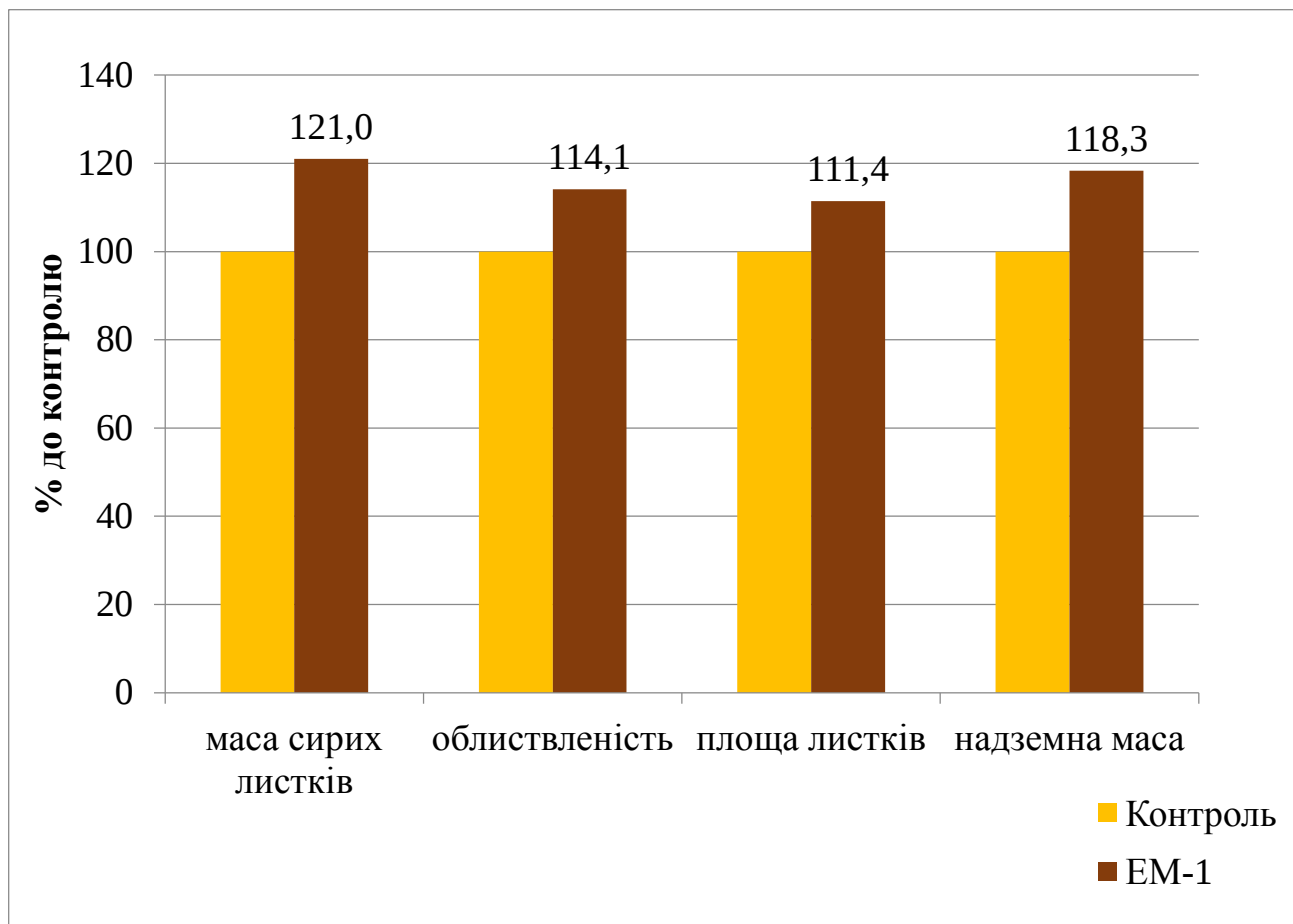


Рис. 3.4.1. Зростання основних морфометричних показників рослин сої культурної сорту Аннушка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1

Отримані результати вищої густоти рослин сої можна пояснити відомим захисним ефектом мікробіологічного добрива ЕМ-1 проти ґрунтових патогенних організмів, які пошкоджують насіння під час його проростання та рослини під час їх вегетації [52, 82].

Передпосівна обробка насіння сої ЕМ-добривом стимулювала ріст рослин у висоту. Так, дослідні рослини під час збирання урожаю були достовірно на 5,0% вищими порівняно з контрольними.

Мікробіологічний препарат стимулював утворення генеративних органів на рослинах сої і, як наслідок, відбувалось незначне зростання на 0,6% кількості бобів на рослину (табл. 3.4.7, рис. 3.4.2).

Препарат також вірогідно підвищував на 4,9% ріст бобів у довжину, але, разом з тим, слабо виявляв дію на зростання їх озернення – підвищення лише 2,5% (рис. 3.4.2), що відповідає літературним даним про стабільність кількості

насінин у плодах бобових як генетично детермінованої дуже стабільної ознаки [7, 47].

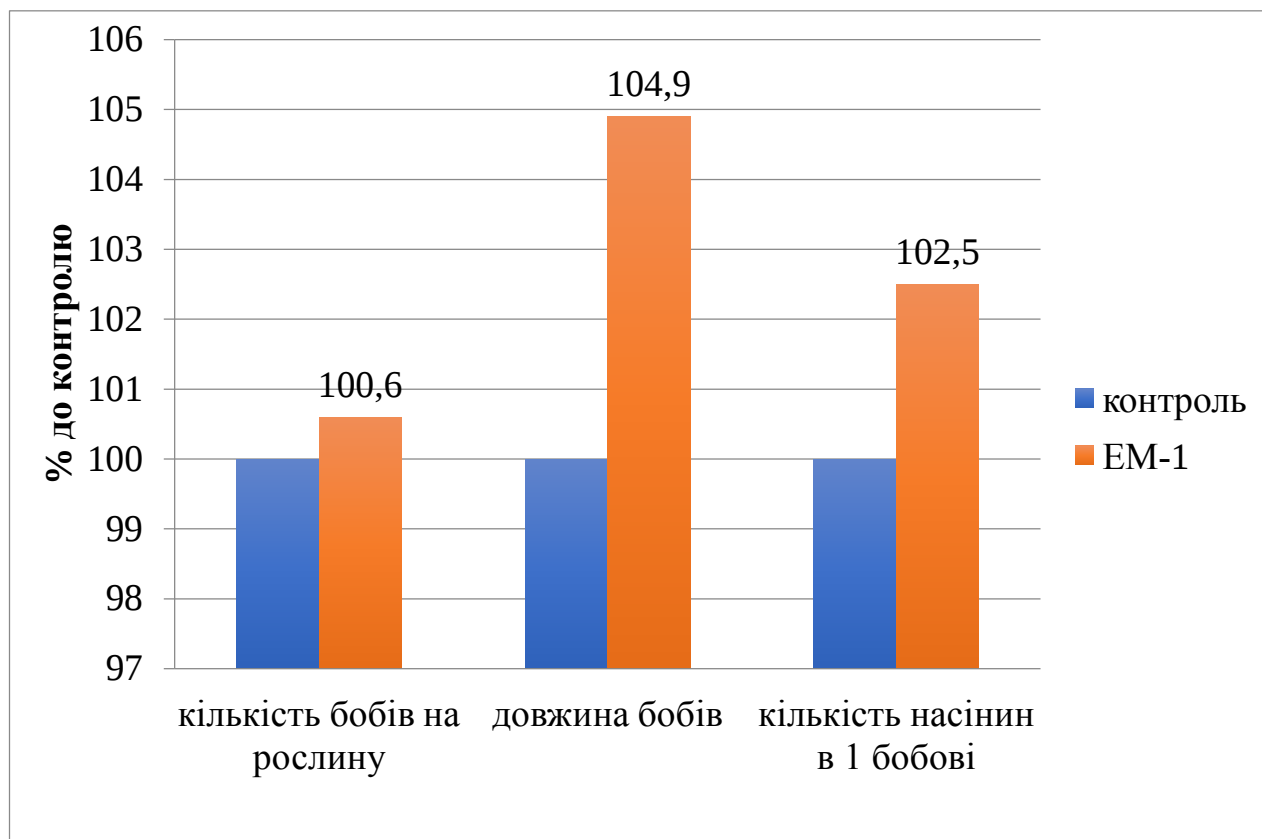


Рис. 3.4.2. Вплив біопрепарату ЕМ-1 на утворення генеративних органів сої культурної сорту Аннушка

Відповідно, відсутність знаного зростання кількості бобів на рослинах сої та їх озернення під впливом мікробіологічного добрива не виявляло значного впливу і на збільшення кількості насінин, порівняно з контролем даний показник зріс лише на 3,3%.

У зв'язку з незначним збільшенням чисельності насінин на рослинах, збільшення показника їх загальної маси становило лише 4,8% порівняно контролем. Низькі показники підвищення маси насіння на рослинах можна пояснити, поряд із незначним зростанням їх кількості, невисоким підвищенням маси 1000 насінин на 1,3% порівняно з контролем (табл. 3.4.7).

Важливим технологічним параметром, який впливає на якість збирання бобових культур є висота кріплення нижніх бобів [61].

Мікробіологічне добриво ЕМ-1 виявило значний вплив на висоту кріплення нижніх бобів сої культурної сорту Аннушка – достовірне збільшення на 11,3% до контролю (табл. 3.4.7).

Таблиця 3.4.7 – Основні елементи продуктивності сої культурної сорту Аннушка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 (2016 р.)

Показник	Контроль	ЕМ-1
густота рослин, тис. шт./га	539,7±9,3	577,8±9,7*
висота рослин, см	90,3±1,0	94,8±0,9*
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	48,4±1,3	53,9±1,6*
кількість бобів на 1 рослину, шт.	16,7±0,4	16,8±0,4
довжина бобів, см	4,1±0,02	4,3±0,02*
висота кріплення нижніх бобів, см	14,2±0,3	15,8±0,5*
кількість насінин на 1 рослину, шт.	33,4±0,9	34,5±0,8
маса насіння на 1 рослину, г	4,2±0,11	4,4±0,11
кількість насінин в 1 бобові, шт.	2,02±0,03	2,07±0,02
маса 1000 насінин, г	125,6±0,9	127,2±1,9
біологічний урожай зерна, ц/га	22,3±0,7	24,6±0,9

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Під впливом добрива ЕМ-1 у 2017 році відбулося зростання біологічного врожаю зерна сої з на 1,0 ц/га (4,6%) та зростання врожаю наземної маси без листя – на 0,7 ц/га (1,6%) порівняно з контролем (табл. 3.4.8).

Передпосівна обробка насінневого матеріалу мікробіологічним добривом стимулювала утворення генеративних органів, як наслідок показник кількості бобів на рослину зріс на 2,0%, показник кількості насінин на рослину – на 3,1% порівняно з контролем (табл. 3.4.8).

ЕМ-добриво стимулювало на 2,4% ріст бобів у довжину, але, разом з тим, не виявляло дії на зростання їх озернення – підвищення лише на 0,5 %, що також відповідає літературним даним [47] (табл. 3.4.8).

Показник маси насіння на рослину зріс на 4,9 % порівняно контролем. Це можна пояснити зростанням маси 1000 насінин на 2,5% до контролю та незначним збільшенням чисельності насінин на рослинах (табл. 3.4.8).

Дослідження елементів продуктивності показало, що зазначене підвищення продуктивності сої культурної сорту Аннушка зумовлене формуванням вищої густоти рослин на 10,3% порівняно з контрольними

рослинами. Разом з тим, не встановлено значного впливу мікробіологічного добрива ЕМ-1 на показники висоти кріплення нижніх бобів та висоти самих рослин (табл. 3.4.8), яке було виявлено у попередній рік.

Таблиця 3.4.8 – Основні елементи продуктивності сої культурної сорту Аннушка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 (2017 р.)

Показник	Контроль	ЕМ-1
густота рослин, тис. шт./га	540,7±19,6	596,3±19,4
висота рослин, см	67,5±0,7	67,9±0,8
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	44,5±0,4	45,2±1,2
кількість бобів на 1 рослину, шт.	15,4±0,3	15,7±0,3
довжина бобів, см	4,1±0,02	4,2±0,02
висота кріплення нижніх бобів, см	15,2±0,3	15,9±0,4
кількість насінин на 1 рослину, шт.	28,9±0,6	29,8±0,7
маса насіння на 1 рослину, г	4,1±0,09	4,3±0,10
кількість насінин в 1 бобові, шт.	1,88±0,02	1,89±0,02
маса 1000 насінин, г	141,2±3,1	144,7±2,8
біологічний урожай зерна, ц/га	21,9±0,4	22,9±0,6

*Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем*

У 2018 р. передпосівне зволоження насіння розчином ЕМ-1 зумовило зростання біологічного урожаю зерна на 11,3% до контролю і біологічного урожаю надземної маси 13,6% за рахунок вищої густоти рослин на 9,5%, вищих на 3,9% рослин, більшої маси 1000 насінин на 4,7%, та вищої маси насіння на рослинах на 11,9% до контролю (табл. 3.4.9).

Виявлена також позитивна тенденція до зростання на 9,6% кількості і на 2,5% довжини бобів, на 6,4% кількості насінин на рослинах та відсутність позитивних змін, як і у попередні роки, озернення бобів (табл. 3.4.9).

Таким чином, у середньому за 2016, 2017 і 2018 рр. досліджень, зволоження насіння сої культурної сорту Аннушка 20% розчином мікробіологічного добрива ЕМ-1 підвищувало її біологічний урожай насіння на 8,7% і надземної маси на 8,9% переважно за рахунок формування густішого на 9,0% і вищого на 3,2% стеблостою, зростання на 7,2% загальної маси насіння на рослинах, вагомості насіння на 2,8%, кількості на 4,1% і довжини на 3,3% бобів тощо. Стимулював зростання на 7,2% висоти кріплення нижніх бобів, що створює технологічні переваги під час збирання урожаю [61] (табл. 3.4.10).

Таблиця 3.4.9 – Основні елементи продуктивності сої культурної сорту Аннушка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1 (2018 р.)

Показник	Контроль	ЕМ-1
густота рослин, тис. шт./га	507,4±6,8	555,6±19,0*
висота рослин, см	75,1±0,9	78,0±1,1*
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	51,5±0,8	58,5±1,1*
кількість бобів на 1 рослину, шт.	17,7±0,5	19,4±0,7
довжина бобів, см	4,0±0,07	4,1±0,02
висота кріплення нижніх бобів, см	14,0±0,3	14,8±0,3
кількість насінин на 1 рослину, шт.	32,8±1,0	34,9±1,4
маса насіння на 1 рослину, г	5,9±0,18	6,6±0,27*
кількість насінин в 1 бобові, шт.	1,86±0,02	1,81±0,02
маса 1000 насінин, г	180,6±3,2	189,1±2,7*
біологічний урожай зерна, ц/га	28,4±0,7	31,6±0,8*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Таблиця 3.4.10 – Основні елементи продуктивності сої культурної сорту Аннушка за дії мікробіологічного добрива ЕМ-1, % до контролю (середнє за 2016-2018 рр.)

Показник	ЕМ-1
густота рослин, тис. шт./га	109,0
висота рослин, см	103,2
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	108,9
кількість бобів на 1 рослину, шт.	104,1
довжина бобів, см	103,3
висота кріплення нижніх бобів, см	107,2
кількість насінин на 1 рослину, шт.	104,3
маса насіння на 1 рослину, г	107,2
кількість насінин в 1 бобові, шт.	100,1
маса 1000 насінин, г	102,8
біологічний урожай зерна, ц/га	108,7

3.5. Вплив позакореневого підживлення добривом Плантафол на деякі фізіологічні показники і продуктивність сої культурної

У світі важливою олійною і білковою культурою є соя. Саме цій рослині належать лідируючі позиції із виробництва харчової олії та забезпеченні людства високобілковими продуктами харчування. Частка соєвої олії у загальному світовому виробництві становить біля 30%. Олія сої належить до групи лінолево-олеїнових напіввисихаючих харчових олій, які необхідні для

людини, як джерело енергії, незамінних жирних кислот, жиророзчинних вітамінів тощо. За вмістом у насінні та якісним складом білки сої перевищують інші продовольчі та кормові сільськогосподарські культури. Вони включають усі незамінні амінокислоти і велику кількість біологічно активних сполук, що в цілому дуже наближує їх до тваринних білків [7, 66].

Унікальний хімічний склад сої, який поєднується із її властивістю до симбіотичної фіксації атмосферного азоту, спонукає все більше приділяти уваги вирощуванню цієї культури. Так, в Україні, як і всьому світі, спостерігається тенденція зростання валового виробництва сої. Якщо в Україні у 2000 р. було висіяно сою на площі 60,6 тис. га і зібрано 64,4 тис. т зерна, то у 2010 р. – 1,04 млн га і 1,68 млн т., 2017 р. – 1,98 млн га і 3,90 млн. т. Зростання виробництва відбувалось, перш за все, за рахунок розширення посівних площ та незначного зростання урожайності, яка у 2017 р. становила 19,7 ц/га, що далеко не вичерпує можливості сучасних сортів цієї культури [91].

Для досягнення високих показників продуктивності сої, як і всіх культурних рослин, необхідно оптимально поєднати процеси фотосинтезу, живлення і морфогенезу [16].

Фотосинтез є складним фізіологічним процесом утворення органічних речовин із мінеральних за участі енергії сонця, який лежить в основі накопичення біологічної маси рослинами, а отже і формування урожаю сільськогосподарськими культурами.

Адаптація рослин до умов навколишнього середовища, а відтак підтримка гомеостазу між вуглецевмісними (вуглеводи, ліпіди), азотовмісними сполуками (нуклеїнові кислоти, амінокислоти, білки) та вторинними метаболітами (терпени, алкалоїди, фенольні сполуки) відбувається через зміну засвоєння, розподілу вуглецю і поживних речовин. Такі зміни, у більшості випадків, підтримують ріст і розвиток рослин, впливають на стан фотосинтетичного апарату (ФА), зокрема, на перебіг первинних процесів фотосинтезу (ППФ). Останні, як правило, оцінюються через явище флуоресценції хлорофілу а та описуються біофізичними параметрами [15].

Відомо, що позакоренева обробка мікродобривами впливає на величину антени світлозбиральних комплексів (СЗК), на кількість активної форми хлорофілу в СЗК фотосистеми II (ФС II), Qb невідновлювальних комплексів та на квантову ефективність фотохімічного перетворення енергії (ФПСII) загалом. Існуючий зв'язок між ефективністю фотохімії ФС II та активністю рибулозобісфосфаткарбоксилази (РБФК), як ключового ферменту темної фази фотосинтезу, обумовлює зміни продуктивності фотосинтезу [10, 93].

Отже, фотосинтез залежить від багатьох чинників, у тому числі і від мінерального живлення, яке дає рослинам необхідні хімічні елементи, включає їх до обміну речовин та є одним із основних факторів регулювання їх росту, розвитку і продуктивності. Крім того, сам фотосинтез є необхідною умовою ефективного використання елементів мінерального живлення, адже постачає цьому процесу енергію [15, 16, 40, 88].

Со́я, як квіткова рослина, переважну кількість мінеральних елементів живлення поглинає із ґрунту кореневою системою, а також здатна засвоювати їх надземними органами, тобто позакоренево. Тому, дуже часто для усунення недоліків ґрунтового живлення, застосовують швидке і дієве позакореневе підживлення, яке компенсує обмежене надходження мінеральних речовин з ґрунту через їх нестачу чи за зниженої активності кореневої системи рослин. Необхідно зазначити, що ефективність дії позакореневого підживлення залежить від багатьох чинників, таких як фенологічна стадія росту рослини, дефіцит певного елементу мінерального живлення у ґрунті, погодних умов тощо [10, 16, 122, 63, 75].

Сучасні добрива для позакореневого підживлення рослин виготовляються із хімічно чистої сировини з високим ступенем подрібнення, із низькою вологістю та включенням мікроелементів у хелатній формі з додаванням стабілізаторів, прилипачів тощо [10].

Мікроелементи у формі хелатів металів є найбільш доступними для сільськогосподарських культур. Відомий їх вплив на чисту продуктивність фотосинтезу, врожайність та якість насіннєвого матеріалу [10]. Через дію на

компоненти антиоксидантної системи рослин [127], а відтак на фотосинтетичну активність листкового апарату, вони здатні забезпечувати стійкість рослинного організму до хвороб та інших стресових факторів зовнішнього середовища.

Добриво Планатфол 10.54.10 (Plantafol 10.54.10) виробляється італійською фірмою Валагро (Valagro SpA) та поширюється в Україні ТОВ «АгріСол» [18]. Платафол 10.54.10 містить азоту – 10%, фосфору – 54%, калію – 10%, а також мікроелементи – бор 0,02% і хелати у формі EDTA: заліза – 0,01%, марганцю – 0,05%, цинку – 0,05%, міді – 0,005% [75].

Одним із ефективних шляхів виявлення раннього стресу в рослин є метод індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ). Аналіз даних ІФХ дає можливість оцінити критичні параметри та з'ясувати зміни у функціональній активності фотосинтетичного апарату за дії позакореневої обробки мікродобривами. Зміни флуоресценції хлорофілу є відображенням окисно-відновлювального стану реакційних центрів (РЦ) ФС II [93]. Дослідження реакції фотосинтетичної системи рослин сої на позакореневе підживлення Платафолом 10.54.10 виявило відсутність прямого впливу використаного мінерального добрива на квантовий вихід фотохімії ФС II (Φ_{PSII}). Водночас, відносний вміст хлорофілу (SPAD), який корелює із загальним вмістом азоту в листках рослин [108], статистично значимо зростав (табл. 3.5.1).

Таблиця 3.5.1 – Флуоресцентні параметри та відносний вміст хлорофілів у сої культурної сорту Аннушка за дії добрива Платафол 10.54.10, в.о., $M \pm SD$

Параметри	Контроль	Дослід
Φ_{PSII}	0,50±0,03	0,51±0,04
ϕNPQ	0,20±0,02	0,17±0,02*
ϕNO	0,30±0,02	0,32±0,02*
NPQt	0,68±0,07	0,60±0,06*
qL	0,33±0,04	0,34±0,05
LEF	114,57±21,64	110,22±18,87
SPAD	47,02±2,95	50,09±2,43*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем; Φ_{PSII} – КВАНТОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФС II, NPQt – нефотохімічне гасіння, оцінене без темної адаптації, ϕNPQ – квантовий вихід NPQ, ϕNO – частка світлової енергії, що поглинається ФС II та втрачається через нерегульовані процеси; qL – частка відкритих реакційних центрів ФС II, LEF – лінійний електронний транспорт, SPAD – відносний вміст хлорофілу.

Враховуючи те, що флуоресценція хлорофілу є обернено пропорційною до фотосинтетичної активності листків [93] та конкурує із фотохімічним (qP) та нефотохімічним гасінням хлорофілу (NPQ) [108, 102], спостерігається зниження рівня останнього у дослідному варіанті, що був оцінений за відсутності темної адаптації рослин ($NPQt$). Ймовірно, це може бути обумовлено не лише різними рівнями фотохімічного розділення зарядів у РЦ дослідних та контрольних рослин, а і різною інтенсивністю лінійного транспорту електронів (LEF). Однак, окисно-відновний стан Q_A (первинний хіноновий акцептор електронів ФС II), оцінка якого здійснювалась за показником qL (кількість відкритих РЦ у ФС II) [121] і лінійний електронний транспорт (LEF) контрольної та дослідної груп суттєво не відрізнялись (табл. 3.5.1).

Отже, застосоване комплексне добриво Плантафол знижує частку теплової дисипації надлишкової світлової енергії у РЦ ФС II, але статистично значимо не впливає на LEF . Раніше, у роботах [86], було продемонстровано, що швидка компонента нефотохімічного гасіння (qE), у порівнянні з LEF , є більш чутливою до зміни CO_2 та O_2 [86].

Відомо, що за умов, коли активність світлових реакцій значно перевищує інтенсивність ензиматичних процесів у циклі Кальвіна, який утилізує АТФ і НАДФН, відбувається зниження pH люмена тилакоїда [86]. Такий дисбаланс світлової і темної стадій фотосинтезу запускає ланцюг процесів, які призводять до виникнення теплової дисипації квантів. При цьому, основний внесок у процес нефотохімічного гасіння має qE [93], що залежить від трансмембранного градієнту протонів і ступеня деєпоксидзації пігментів ксантофілового циклу [86, 93].

Для аналізу стану підкислення просвіту тилакоїдів та активності АТФ-синтази, були використані параметри $ECSt$, g_{H^+} та v_{H^+} [86], що оцінюються через явище електрохромної зміни абсорбції хлоропластів у ділянці 520 нм [86, 130] та характеризують зміни pH люмена тилакоїда і відтік протонів через АТФ-синтазу відповідно [121, 129]. Зниження рівня $ECSt$, яке спостерігається

за умов позакореневої обробки рослин добривом Плантафол (табл. 3.5.2), обумовлювало зниження рівня NPQt та ϕ NPQ, що згідно літературних даних, є закономірним [86, 93, 102]. Відтак, тенденція до підкислення тилакоїдного простору, що наявна у контролі, обумовлює зростання швидкості відтоку протонів через АТФ-синтазу (g_H^+) (табл. 3.5.2). Остання, є критичною зв'язуючою ланкою між світловими та темновими реакціями фотосинтезу і метаболізмом рослинного організму загалом [86].

Таблиця 3.5.2 – Флуоресцентні параметри сої культурної сорту Аннушка за дії добрива Плантафол 10.54.10, у.о., $M \pm SD$

Параметри	Контроль	Дослід
$ECSt$	537 $\pm$ 185	481 $\pm$ 125
g_H^+	197 $\pm$ 19,80	191 $\pm$ 17,62
v_H^+	0,10 $\pm$ 0,03	0,09 $\pm$ 0,02
загальна к-ть активних центрів ФС І	1,94 $\pm$ 0,38	2,19 $\pm$ 0,32*
частка відкритих центрів ФС І	0,99 $\pm$ 0,43	0,89 $\pm$ 0,15
частка центрів ФС І в окисленому стані	0,33 $\pm$ 0,20	0,25 $\pm$ 0,12

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем; $ECSt$ – загальна величина затухання електрохромної зміни абсорбції хлоропластів, mAU; g_H^+ – стаціонарна швидкість потоку протонів крізь АТФ-синтазу хлоропласта; v_H^+ – протонна провідність АТФ-синтази хлоропластів.

Отже, за дії Плантафолу на рослини сої, на фоні відсутності достовірної різниці у швидкості лінійного електронного транспорту порівняно з контрольною групою, зменшується рівень NPQt. Під час цього, зростає загальна кількість активних РЦ ФС І ($p < 0,05$), а відтак спостерігається тенденція до зменшення частки відкритих та окислених РЦ ФС І [86, 102], що, можливо, у кінцевому результаті призведе до збільшення рівня АТФ через циклічний транспорт електронів та кількості відновлених еквівалентів НАДФН.

Дослідження продуктивності сої культурної сорту Аннушка виявило, що позакореневе підживлення комплексним мінеральним добривом Плантафол підвищує врожай зерна культури на 4,9 ц/га (табл. 3.5.3).

Аналіз елементів продуктивності показав, що зростання урожаю відбувалось за рахунок формування на 15,0% вищої біологічної надземної маси із вищою на 8,0% густотою стеблостою та зростання насінневої продуктивності

переважно за рахунок підвищення загальної маси насіння на рослинах на 10,2% і його вагомості – на 7,9% порівняно з контролем. За дії Пантафолу відбувалось збільшення на 6,4% висоти кріплення нижніх бобів, а також виявлена тенденція до зростання на 5,7% кількості бобів і на 2,1% кількості насінин на рослинах (табл. 3.5.3).

Таблиця 3.5.3 – Основні елементи продуктивності сої культурної сорту Аннушка за дії добрива Пантафол 10.54.10

Показник	Контроль	Пантафол
густота рослин, тис. шт./га	507,4±6,8	548,1±15,9*
висота рослин, см	75,1±0,9	75,2±1,0
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	51,5±0,8	59,2±2,0*
кількість бобів на 1 рослину, шт.	17,7±0,5	18,7±0,7
довжина бобів, см	4,0±0,07	3,9±0,03
висота кріплення нижніх бобів, см	14,0±0,3	14,9±0,4*
кількість насінин на 1 рослину, шт.	32,8±1,0	33,5±1,2
маса насіння на 1 рослину, г	5,9±0,18	6,5±0,23*
кількість насінин в 1 бобові, шт.	1,86±0,02	1,83±0,03
маса 1000 насінин (вагомість), г	180,6±3,2	194,9±2,6*
біологічний урожай зерна, ц/га	28,4±0,7	33,3±1,4*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Отже, основними чинниками зростання продуктивності сої культурної за дії добрива Пантафол було підвищення надземної маси і густоти рослин під час збирання урожаю, збільшення загальної маси зерна на рослинах та його вагомості, що відповідає даним, щодо високої чутливості останнього показника на екзогенні впливи [7].

Підвищення зернової продуктивності сої сорту Аннушка на 17,3% під впливом позакореневого підживлення Пантафолом 10.54.10 відповідає літературним даним, щодо 15,0-18,0% зростання урожаю зерна соєю після передпосівної обробки насіння та дворазового позакореневого підживлення мікродобривами [69].

ЛІТЕРАТУРА ДО РОЗДІЛУ 3

1. Агроэкологическая роль азотфиксирующих микроорганизмов в аллелопатии высших растений / В. Ф. Патыка и др.; под ред. В. Ф. Патыки. Киев : Основа, 2004. 320 с.

2. Анішин Л. А., Пономаренко С. П., Грицаєнко З. М. Регулятори росту рослин. Рекомендації по застосуванню. Київ: ДП МНТЦ «Агробіотех», 2011. 40 с.
3. Арсеньєва Л. Ю., Бондар Н. П., Головченко О. В. Використання насіння люпину для виробництва високобілкових харчових продуктів. *Вісник ДонДУЕТ*, 2003. № 1 (17), С. 79 – 83.
4. Бабич А.О. Соя для здоров'я і життя на планеті Земля. Київ : Аграрна наука, 1998. 272 с.
5. Биологическая фиксация азота: в 4 т. Киев : Логос, 2010. Т. 1: Бобово-ризобиальный симбиоз / С. Я. Коць и др. 508 с.
6. Биологическая фиксация азота: в 4 т. Киев. : Логос, 2011. Т. 3: Генетика азотфиксации, генетическая инженерия штаммов / С. Я. Коць и др. 404 с.
7. Біологічний азот / Патика В. П. та ін. Київ : Світ, 2003. 424 с.
8. Біологічно активні речовини в рослинництві / Грицаєнко З. М. та ін. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2008. 352 с.
9. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин: підручник / В. Д. Паламарчук та ін. Вінниця, 2013. 713 с.
10. Богдан М. М. Фізіологічне обґрунтування застосування комплексних добрив у посівах пшениці озимої : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.12. Умань, 2016. 23 с.
11. Бушулян О. В., Січкарь В. І. Нут. Генетика, селекція, насінництво, технологія вирощування: монографія. Одеса: СГІ-НЦНС, 2009. 246 с.
12. Векірчик К. М., Конончук О. Б. Стан і перспективи досліджень впливу обробки насіння БАР та інокуляції ризобіями на азотфіксацію, ріст, розвиток і продуктивність квасолі звичайної і сої культурної в умовах Тернопільської області. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*: в 2 т. / голов. ред. В. В. Моргун. Київ, 2001. Т. 1. С. 231–236.
13. Векірчик К. М., Пида С. В., Конончук О. Б. Деякі аспекти підвищення азотфіксувальної активності та продуктивності зернобобових культур в умовах Західного Поділля. *Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Сер.: Біологія*. 2000. №1. С. 27–32.
14. Векірчик К., Конончук О., Троцька О. Земля просить допомоги : препарати ефективних мікроорганізмів (ЕМ) – найефективніші ліки Землі. *Освітнянин*. 2006. № 4 (82). С. 37–40.
15. Герц А. І., Конончук О. Б. Зміна деяких фізіологічних показників рослин *Phaseolus vulgaris* L. за різної концентрації наномолібдену. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2017. № 1 (68). С. 106–115.
16. Городній М. М. Агрохімія : підруч. Київ : Арістей, 2008. 936 с.
17. Грицаєнко З. М. Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунту. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
18. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні за 2020 р. *Міністерство захисту довкілля та*

- природних ресурсів України*. URL: <https://mepr.gov.ua/content/derzhavniy-reestr-pesticidiv-i-agrohimikativ-dozvolenih-do-vikoristannya-v-ukraini-dopovnennya-z-01012017-zgidno-vimog-postanovi-kabinetu-ministriv-ukraini-vid-21112007--1328.html>.
19. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reustr-sortiv-roslin>
 20. Дудка В. Позакореневе підживлення рослин. Хибні теорії та практичні помилки. *Агроном*. 2010. URL: <https://agronom.com.ua/pozakoreneve-pidzhyvleniya-hybn-teoriyi-ta-praktychni-pomylyky/>.
 21. Довідник з вирощування зернових та зернобобових культур / В.В. Лихочвор, Бомба М.І., Дубковецький С.В., Онищук Д.М., Ільницький М.В. Львів: Українські технології, 1999. 408 с.
 22. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-11]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2003. 173 с.
 23. Дубініна А. А., Попова Т. М., Ленерт С. О. Хімічний склад пшона із зерна проса різних сортів, районованих у Харківській області. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2013. вип. 2. С. 151 – 158.
 24. Екологія мікроорганізмів : посіб. для вузів / В. П. Патики та ін.; за ред. В. П. Патики. Київ : Основа, 2007. 192 с.
 25. Зернобобові культури в світі, Україні та на Одещині <https://oda.od.gov.ua/wp-content/uploads/2020/06/5ae1d9f849884.pdf>
 26. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво : підручник / за ред. О. І. Зінченка. Київ : Аграрна освіта, 2001. 592 с.
 27. Іванюк С. В., Лехман А. А., Овчарук О. В. Мінливість показників якості зерна сортів квасолі звичайної в умовах Лісостепу правобережного України. *Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб. Вінниця*, 2015. Вип. 80. С. 17–24.
 28. Іванюта С. П., Коломієць О. О., Малиновська О. А., Якушенко Л. М. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / за ред. С. П. Іванюти. Київ : НІСД, 2020. 110 с. URL: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf (дата звернення: 20.08.2023).
 29. Ідентифікація ознак зернобобових культур (квасоля, нут, сочевиця) / Кириченко В. В. та ін.; за ред. В. В. Кириченка. Харків : ІР ім. Юр'єва УААН, 2009. 118 с.
 30. Інформаційно-довідкова система «Сорт». *Український інститут експертизи сортів рослин*. URL: <http://sort.sops.gov.ua/search/search>.
 31. Каленська С., Охота О. Нут кращий за сою, але його потрібно вміти вирощувати. *Пропозиція*. 2013. №12. С. 82–86.
 32. Каталог сортів та гібридів селекційно-генетичного інституту національного центру насіннєзнавства та сортовивчення. Одеса, 2023. 128 с.

33. Катренич О. В., Конончук О. Б., Пида С. В. Комбіноване застосування біодобрива «Байкал ЕМ-1 У» та інокуляції квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L.) в умовах піщаної культури. *Проблеми та перспективи наук в умовах глобалізації* : матер. VI Всеукр. наук. конф. (Тернопіль, 15 груд. 2010 р.) : у 2 ч. Тернопіль : ТНПУ імені Володимира Гнатюка, 2010. Ч. 2: Фізичне виховання, фізика, інформатика, математика, техніка, біологія, хімія. С. 76–80.
34. Колесніков М. О., Кадиров Т. Р. Рекомендації по вирощуванню нуту в умовах півдня України. Мелітополь: ТДАТУ. 2022. 44 с.
35. Конончук О. Б. Навчальна практика з основ сільського господарства: навч. посіб. 3-є вид., виправ., допов. Тернопіль : ФОП Осадца Ю. В., 2020. 136 с.
36. Конончук О. Б., Векірчик К. М. Результати застосування мікробіологічного біопрепарату «Байкал ЕМ-1 У» на квасолі і сої в умовах Тернопілля. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2009. № 1–2 (39). С. 48–55.
37. Конончук О. Б., Векірчик К. М., Троцька О. С. Вплив мікробіологічного препарату «Байкал ЕМ-1У» на деякі фізіолого-біохімічні показники і продуктивність квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L.). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2007. № 1 (31). С. 72–80.
38. Конончук О. Б., Пида С. В. Регуляція фізіолого-біохімічних процесів у квасолі звичайної застосуванням *Rhizobium phaseoli* і «Байкал ЕМ-1У». *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2012. Вип. 79. Ч. 1: Агрономія. С. 56–64.
39. Конончук О. Б., Пида С. В., Григорюк І. П. Ефективність інокулюючої суміші «Байкал ЕМ-1У» – *Rhizobium phaseoli* на рослинах квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L.) сорту Надія. *Біоресурси і природокористування*. 2012. Т. 4, № 5–6. С. 24–31.
40. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин : навч. посіб. 2-е вид., переробл. і допов. Київ : Логос, 2009. 184 с.
41. Логоша О. В., Воробей Ю. О., Романова І. М., Усманова Т. О., Бушулян О. В. Новий штам *Mesorhizobium* sp. 1 та його вплив на структурні показники врожаю нуту сорту Скарб. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2018. Вип. 27. С. 40–44. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smik_2018_27_8.
42. Любич В. В. Сучасні досягнення круп'яного виробництва. *Вісник Уманського НУС*. 2021. №1. С. 78–82.
43. Любич В. В., Красноштан В. І., Войтовська В. І., Климович Н. М. Формування якості насіння різних сортів нуту. *Збірника наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2023. Випуск 102. Частина 1. С. 109 – 115. URL: <https://doi:10.32782/2415-8240-2023-102-1-109-115>

- 44.Мазур В. А., Панцирева Г. В., Дідур І. М., Прокопчук В. М. Люпин білий. Генетичний потенціал та його реалізація у сільськогосподарське виробництво: монографія. Вінниця: ТВОРИ, 2018. 231 с.
- 45.Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика : [монографія] / [В.В. Волкогон, О.В. Надкернична, Т.М. Ковалевська, Л.М. Токмакова та ін.]; за ред. В.В. Волкогона. К. : Аграрна наука, 2006. 312 с.
46. Мойсієнко В. В. Наукове обґрунтування шляхів підвищення продуктивності нуту (*Cicer arietinum* L.) в Україні. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2017. № 2(1). С. 3-11. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2017_2%281%29_3.
- 47.Наукові основи ведення зернового господарства / Сайко В. Ф. та ін. Київ : Урожай, 1994. 336 с.
- 48.Наукові основи сучасних технологій вирощування високобілкових культур / Петриченко В. Ф. та ін. *Вісник аграрної науки*. 2003. С. 15–19.
- 49.Овчарук В. І., Овчарук О. В., Білик Т. Л. Фенологічні фази росту і розвитку рослин квасолі звичайної та їх тривалість в умовах західного Лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2013. Вип. 83. С. 34–37.
- 50.Овчарук О. В. Характеристика сортів квасолі звичайної в умовах Лісостепу західного. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 17(1). С. 236–239.
- 51.Основи органічного виробництва: навч. посіб. / Стецишин П. О. та ін. вид. 2-ге, змін. і доповн. Вінниця : Нова Книга, 2011. 552 с.
- 52.Пакулов К. Н., Элисеев А. М., Гулей А. Б. ЭМ-технология в растениеводстве. Харьков : Лира, 2012. 20 с.
- 53.Пасічник С. М. Скринінг зразків нуту з комплексом цінних господарських ознак. *Селекція і насінництво*. 2018. Вип. 113. С. 125–135.
- 54.Пасічник С. М., Січкарь В. І. Біохімічні та технологічні якості колекційних зразків нуту. *Селекція і насінництво*. 2016. Вип. 110. С. 162–170.
- 55.Пида С. В. Роль люпину в біологічному землеробстві. *Агроекологічний журнал*, 2002. №4, С. 39 – 45.
- 56.Пида С. В. Фізіологія симбіозу систем *Bradyrhizobium* sp. (Lupinus): алелопатичний аналіз. автореферат дис. , Умань, 2007. 44 с.
- 57.Пида С. В., Кобрин І. М., Вакуленко В. О., Москалюк Н. В. Процеси водообміну в люпину білого та люпину жовтого за впливу регуляторів росту рослин. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка. 2017. № 2 (69). С. 100-104.
- 58.Підпалій І., Липовий В., Панцирева Г. Формування урожайності люпину білого залежно від технологічних прийомів вирощування в умовах Правобережного лісостепу України. *Аграрна економіка*, 2015. № (3-4), 8. С. 83 – 87.
- 59.ПП «Наукова селекційно-насінницька фірма «Сосвій вік». URL: <http://www.soya-ua.biznes-pro.ua/?page=2&id=30420>.

60. Рослинництво : підруч. / Каленська С. М. та ін.; за ред. О. Я. Шевчука. Київ : НАУУ, 2005. 502 с.
61. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / Лихочвор В. В. та ін.; за ред. Лихочвора В. В., Петриченка В. Ф. 3-є вид., виправ., допов. Львів : НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.
62. Сайт Інституту сільськогосподарської мікробіології НААНУ [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://ishm.org.ua>.
63. Санін Ю. В., Санін В. А. Особливості позакореневого підживлення сільськогосподарських культур мікроелементами. *Агрономія Сьогодні*. 2012. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/218-osoblyvosti-pozakorenevoho-pidzhyvlennia-silskohospodarskykh-kultur-mikroelementamy.html>.
64. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві. / Каленська С. М. та ін. Вінниця : Рогальська І. О., 2015. 448 с.
65. Січкач В. І. Пестициди та азотфіксація зернобобових культур. *Спецвипуск ж. Пропозиція. Сучасні агротехнології із застосування біопрепаратів та регуляторів росту*. 2015. С. 32–34.
66. Соя: промислова переробка, кормові добавки, продукти харчування / Адаменко Ф. Ф. та др. 2-е изд. Київ : Нора-принт, 2003. 476 с.
67. Скитський В. Ю., Шевченко А. М., Степанова Т. Є. Аналіз зразків колекції нуту за продуктивністю та придатністю до використання в селекції на сході України. *Генетичні ресурси рослин*. Харків, 2009. №7. С. 134–139.
68. Створення нових сортів квасолі та їх впровадження у виробництво / М. Г. Голохоринська та ін. *Міжвід. темат. наук. зб. інституту рослинництва ім. Юр'єва УААН*. Харків, 2005. № 90. С. 149–152.
69. Тарасенко О. Листкове підживлення зернових мікроелементами. *Пропозиція*. 2017. URL: <https://propozitsiya.com.ua/listkove-pidzhivlennya-mikroelementami-zernovih>.
70. Технології вирощування сої для умов різного фінансового стану товаровиробників / за ред. Д. І. Мазоренка, Г. Є. Мазнева. Харків : Майдан, 2008. 146 с.
71. ТОВ ЕМ Україна. URL: <https://www.embio.in.ua/>.
72. Терек О. І., Пацула О. І. Ріст і розвиток рослин : навч. посіб. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 328 с.
73. Черкашина А. В., Ковальов В. М., Ковальов С. В. Перспективи використання нуту звичайного. *Сьогодення та майбутнє фармації* : тези доп. Всеукр. Конгресу. (16 – 19 квітня 2008 року). Харків, 2008. С. 190
74. Чернік І. В., Тригуба О. В. Нут звичайний *Cicer arietinum* L.) – перспективна бобова культура Західного Лісостепу України. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія Біологія, 2023. Т. 83, № 3–4. С. 117–126.
75. 1AgriSol. URL: <http://agrisol.com.ua/index.php/katalog/mineralnye-udobreniya/plantafol/product/view/4/36>.

76. A multidisciplinary investigation on the bioavailability and activity of peptides from lupin protein. / Lammi C. et al. *Journal of Functional Foods*. 2016, vol. 2 – 4. P. 297 – 306. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.017>.
77. Abou Arab E. A., Helmy I. M. F., Bareth G. F. Nutritional evaluation and functional properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour and the improvement of spaghetti produced from it. *Journal of American Science*. 2010. Vol. 6. P. 1055–1057.
78. Aguilera Y., Benitez V., Molia E., Esteban R. M., Martin-Cabrejas M. A. Influence of dehydration process in castellano chickpea: changes in bioactive carbohydrates and functional properties. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2011. Vol. 66. P. 391–400.
79. Amal A., Laila M., Aladdin H., Abdelfattah B. Effects of γ -radiation on chickpea (*Cicer arietinum*) varieties and their tolerance to salinity stress. *Acta agriculturae Slovenica*. 2022. 118(2). P. 1–16. URL: <https://doi.org/10.14720/aas.2022.118.2.2538>.
80. Andrews P. K. How Foliar-Applied Nutrients Affect Stresses in Perennial Fruit Plants. *Acta Horticulturae*. 2002. Vol. 594. P. 49–55.
81. Arnoldi A., Boschini G., Zanoni C., Lammi C. () The health benefits of sweet lupin seed flours and isolated proteins. *Journal of Functional Foods*. 2015, vol. 18 (A). P. 550 – 563. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.08.012>.
82. Auerbach R. Organic Agriculture A Handbook. URL: <http://lindros.co.za/what-we-do/books/organic-agriculture-handbook/>.
83. Baptista A., Pinho O., Pinto E., Casal S., Mota C., Ferreira I. Characterization of protein and fat composition of seeds from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and bambara groundnuts (*Vigna subterranea* L. Verdc) from Mozambique. *Food Measure*. 2017. Vol. 11. P. 442–450.
84. Bioaccessibility of defatted lupin seed phenolic compounds in a standardized static in vitro digestion system. / Czubinski J. et al. *Food Research International*. 2019, vol. 116. P. 1126 – 1134. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.057>.
85. Burstin J., Gallardo K., Mir R., Varshney R. K., Duc G. Improving protein content and nutrition quality. *Biology and breeding of food legumes*. CABI, Camlridge, USA. 2011. P. 314–328.
86. Chloroplast ATP Synthase Modulation of the Thylakoid Proton Motive Force: Implications for Photosystem I and Photosystem II Photoprotection / Atsuko Kanazawa et al. *Front. plant sci*. 2017. Vol. 8, № 719. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00719/>. (Last accessed: 02.04.2019).
87. Cholesterol-lowering effect of whole lupin (*Lupinus albus*) seed and its protein isolate. / Fontanari G. G. et al. *Food Chemistry*. vol. 132 (3) P. 1521 – 1526. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.145>.
88. Epstein E. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. New York : Wiley, 1971. 412 p. URL: <https://archive.org/details/mineralnutrition00epst/page/n5>. (Last accessed: 14.01.2019).

89. Erbaş M., Certel M., Uslu M. K. Some chemical properties of white lupin seeds (*Lupinus albus* L.). *Food Chemistry*. 2005, vol. 89(3). P. 341 – 345. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.040>.
90. Food and agriculture organization of the United Nations. FAO. [Electronic resource]. URL: <http://faostat.fao.org/site/636/default.aspx#ancor> (дата звернення: 24.08.2023).
91. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/>.
92. French R. J. *Lupin: Agronomy Encyclopedia of Food Grains* (Second Edition). 2016, vol. 4. P. 231 – 239. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00194-7>.
93. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel / Kalaji HM et al. *Photosynth Res*. 2017. Vol. 132, №1. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27815801>
94. Gupta Y. P. Developmental algometry and plant type in chickpea. *Int. Chickpea Newslett*. 1981. № 4. P. 8–9.
95. Genetic diversity of rhizobia associated with root nodules of white lupin (*Lupinus albus* L.) in Tunisian calcareous soils. / Tounsi-Hammami S. et al. *Systematic and Applied Microbiology*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2019.04.002>.
96. Giovanni De C., Pavan S., Taranto F., Rienzo Di V., Miazzi M. M., Marcotrigiano A. R., Mangini G., Montemurro C., Ricciardi L., Lotti C. Genetic variation of a global germplasm collection of chickpea (*Cicer arietinum* L.) including Italian accessions at risk of genetic erosion. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2017. 23 (1.), P. 197–205. URL: <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0397-4>
97. Greenland technologia EM. URL: <http://www.emgreen.pl/produkty/68-em1>.
98. Higa T. Effective Microorganisms in the context of Kyusei Nature Farming – A Technology for the Future. URL: http://websvr182-93-122-95.alpha-prm.jp/english/KNF_Data_Base_Web/PDF%20KNF%20Conf%20Data/C6-KA-213.pdf.
99. Iqbal R., Azhar I., Iqbal M. N., Hamid I., Zahoor M., Akhtar M. F., Mahmood Z. A., Ullah R., Alotaibi A. Chemical characterization, antioxidant and antidiabetic activities of a novel polyherbal formulation comprising of *Hordeum vulgare*, *Elettaria cardamomum* and *Cicer arietinum* extracts. *Heliyon*. 2023. 9 (9). P. e19292. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19292>.
100. Judith C. M. Wolkers-Rooijackers, Martha F. Endika, Eddy J. Smid Enhancing vitamin B12 in lupin tempeh by in situ fortification. *LWT*. 2018, vol. 96. P. 513 – 518. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.062>.
101. Jukanti A. K., Ismail M., Kucukoner E. Nutritional Quality and Health Benefits of Chickpea (*Cicer Arietinum* L.): A Review. *British Journal of Nutrition*. 2012. 108. P. 11–26. URL: <https://doi.org/10.1017/S0007114512000797>.

102. Kanazawa A., Kramer D. In vivo modulation of nonphotochemical exciton quenching (NPQ) by regulation of the chloroplast ATP synthase. *PNAS*. 2002. Vol. 99, № 20. URL: <https://www.pnas.org/content/99/20/12789>. (Last accessed: 02.02.2019).
103. Kononchuk O. B., Pyda S.V. The efficiency of combined use of inoculation and EM-technologies in the cultivation of legumes. *Development of natural sciences in countries of the European Union taking into account the challenges of XXI century: collective monograph*. Lublin, Poland : Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2018. C. 197–215.
104. Lupin seed hydrolysate promotes G-protein-coupled receptor, intracellular Ca²⁺ and enhanced glycolytic metabolism-mediated insulin secretion from BRIN-BD11 pancreatic beta cells. / Tapadia M. et al. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2019, vol. 480. P. 83 – 96. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2018.10.015>.
105. Lupin seed γ -conglutin: Extraction and purification methods – A review. / Mane Sharmilee P. *Trends in Food Science & Technology*. 2018, vol. 73/ P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.008>.
106. Malviya R., Dey Sh., Pandey A., Gayen D. Genome-wide identification and expression pattern analysis of lipoxygenase genes of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to accelerated aging. *Gene*. 2023. 874. P. 147482. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2023.147482>.
107. Mehrotra S. S., Dimkpa C. O., Goyal V. Survival mechanisms of chickpea (*Cicer arietinum*) under saline conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2023. 205. P. 108168. URL: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108168>.
108. MultispeQ Beta: a tool for large-scale plant phenotyping connected to the open PhotosynQ network / Sebastian Kuhlger et al. *R. Soc. open sci.* 2016. Vol. 3, №10. URL: <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/3/10/160592>.
109. Noort van de M. Chapter 10 - Lupin: An important protein and nutrient source. *Sustainable Protein Sources*, 2017. P. 165 – 183. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00010-X>.
110. Pandey A., Sharma P., Mishra D., Dey S., Malviya R., Gayen D. Genome-wide identification of the fibrillin gene family in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and its response to drought stress. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. 234. P. 123757. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123757>
111. Petterson D. S. Lupin: Overview *Encyclopedia of Food Grains* (Second Edition). 2016, vol. 1. P. 280-286. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00036-X>.
112. Physiological and transcriptomic data highlight common features between iron and phosphorus acquisition mechanisms in white lupin roots. / Venuti S. et al. *Plant Science*. 2019, vol. 285. P. 110 – 121. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.04.026>.

113. Proteomics for exploiting diversity of lupin seed storage proteins and their use as nutraceuticals for health and welfare / Cabello-Hurtado F. et al. Journal of Proteomics. 2016, vol. 143. P. 57 – 68. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.03.026>.
114. Sbihi H. M., Nehdi I. A., Tan C. P., Al-Resayes S. I. Bitter and sweet lupin (*Lupinus albus* L.) seeds and seed oils: A comparison study of their compositions and physicochemical properties. Industrial Crops and Products. 2013, vol. 49. P. 573 – 579. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.05.020>.
115. Shifts in microbial community structure influence the availability of Fe and other micronutrients to lupin (*Lupinus albus* L.). / Ana de Santiago et al. /Applied Soil Ecology. 2019, vol. 144. P. 42 – 50. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.06.018>.
116. Singh R. P., Singh B. D. Recovery of rare interspecific hybrids of gram *C.arietinum* L.x *C.cuneatum* L. through tissue culture. Curr. Sci. 1989. V. 58. P. 874–876.
117. Tabrett S., Blyth D., Bourne N., Glencross B. Digestibility of *Lupinus albus* lupin meals in barramundi (*Lates calcarifer*). Aquaculture. 2012, vol. 364-365. P. 1 – 5. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.07.024>.
118. The potential of Brassicaceae biofumigant crops to manage *Pleiochaeta setosa* in sustainable lupin cultivation. Dewitte K. et al. Biological Control. 2019, vol. 132. P. 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.02.020>.
119. The rotation of white lupin (*Lupinus albus* L.) with metal-accumulating plant crops: A strategy to increase the benefits of soil phytoremediation. / Fumagalli P. et al. Journal of Environmental Management. 2014, vol. 145. P. 35 – 42. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.06.001>.
120. The yield and chemical composition of winter oilseed rape seeds depending on different nitrogen fertilization rates and preceding crop. / Fordoński G. et al. Journal of Elementology. 2016, vol. 21(4). P. 1225 – 1234. <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.2.1122>.
121. Trugo L. C, Baer von E., Baer von D. Lupin : Breeding. Encyclopedia of Food Grains (Second Edition). 2016, vol. 4. P. 325 – 332. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00211-4>.
122. Uzun B., Arslan C., Karhan M., Toker C. Fat and fatty acids of white lupin (*Lupinus albus* L.) in comparison to sesame (*Sesamum indicum* L.). Food Chemistr. 2007, vol. 102 (1). P. 45 – 49. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.059>
123. Zia-Ul-Haq M., Iqbal S., Ahmad S., Imran M., Niaz A., Bhanger M. I. Nutritional and compositional study of Desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Punjab, Pakistan. Food Chemistry. 2007. Vol. 105. P. 1357–1363.