

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

МУСІЄНКО ЛІНА АНАТОЛІЇВНА

УДК: 631.8 : 631.445.4] : 633.35 (477.4)

ДИСЕРТАЦІЯ

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ СОЧЕВИЦІ НА ЧОРНОЗЕМІ
ОПІДЗОЛЕНОМУ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

201 Агрономія

20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Ліна МУСІЄНКО

Науковий керівник: Господаренко Григорій Миколайович, доктор
сільськогосподарських наук, професор

АНОТАЦІЯ

Мусієнко Л. А. Оптимізація системи удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія» (20 – Аграрні науки та продовольство). – Уманський національний університет садівництва, Умань, 2023.

Зернобобові культури з кожним роком займають все вагомніше місце у структурі посівних площ України. Це спричинене не лише тим, що вони є відносно дешевим джерелом високоякісного рослинного білка для харчування населення, а й тим, що їх вирощування сприяє поліпшенню ґрунту.

Сочевиця відносно нова культура для нашого краю, тому актуальним є вивчення оптимальних доз добрив і доцільність застосування мікробного препарату. У кваліфікаційній роботі досліджено вплив різних доз добрив на формування продуктивності сочевиці та якісних показників отриманого врожаю; встановлено вплив передпосівної обробки насінневого матеріалу мікробним препаратом на формування симбіотичного азотфіксувального апарату.

Основу дисертації становлять матеріали науково-дослідної роботи, яка входила до складу ПНД НААН 01 «Ґрунтові ресурси: прогноз розвитку, збалансоване використання та управління» за завданням 01.03.01.02.Ф. «Розробити науково-методичні основи управління живленням та адаптації сільськогосподарських рослин до екстремальних змін погодних умов протягом вегетаційного періоду» (2016–2020 рр., номер державної реєстрації 0116U000597), а також програми наукових досліджень Уманського НУС «Оптимізація використання природного і ресурсного потенціалу агроecosystem Правобережного Лісостепу України» (2016–2020 рр., номер державної реєстрації 0116U003207) за тематикою кафедри агрохімії і

грунтознавства «Розробити нормативні параметри родючості чорнозему опідзоленого та оптимальні режими мінерального живлення сільськогосподарських культур» та «Збалансоване використання, прогноз і управління природним та ресурсним потенціалом агроecosystem України» (2021–2025 рр., номер державної реєстрації 0121U112521) за тематикою кафедри агрохімії і ґрунтознавства «Забезпечення раціонального використання ґрунтових ресурсів та управління мінеральним живленням сільськогосподарських культур».

Метою дослідження була оптимізація системи живлення сочевиці встановленням оптимальних доз мінеральних добрив у поєднанні з передпосівною інокуляцією насіння азотфіксувальними бактеріями, застосування сірки і молібдену для отримання високого і якісного врожаю на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу.

Для досягнення цієї мети вирішувалися такі завдання: визначити зміни поживного режиму чорнозему опідзоленого під впливом удобрення; визначити вплив інокуляції та різних доз удобрювальних продуктів на функціонування бобово-ризобіального апарату сочевиці; виявити вплив удобрення та інокуляції на формування врожайності та якісні показники насіння сочевиці; встановити залежність динаміки вмісту та винесення основних елементів живлення сочевицею від системи удобрення; провести агрохімічне, енергетичне та економічне оцінювання ефективності різних доз добрив та використання бактеріального препарату на посівах сочевиці.

Об'єкт досліджень – вплив різних удобрювальних продуктів на зміну кількості та якості врожаю сочевиці, поживного режиму ґрунту та балансу елементів живлення в ньому.

Предмет дослідження – оптимізація системи удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому в умовах Правобережного Лісостеп застосуванням різних видів і доз мінеральних добрив у поєднанні з бактеріальним препаратом.

Уперше для умов Правобережного Лісостепу України розроблено систему удобрення сочевиці, яка передбачає внесення стартових доз азотних добрив на фосфорно-калійному тлі, поліпшення сірчаного і молібденового живлення рослин і передпосівної інокуляції насіння.

Удосконалено систему удобрення сочевиці уточненням форм і доз мінеральних добрив та їх поєднання з обробленням насіння бактеріальним препаратом.

Дістало подальшого розвитку обґрунтування можливості зниження дози азотних добрив за проведення передпосівної інокуляції насіння сочевиці бактеріальним препаратом, внесення сірки і молібдену.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні науково обґрунтованої системи удобрення сочевиці, що дасть можливість отримувати високі та якісні врожаї за мінімальних економічних і енергетичних витрат. Проведені дослідження дозволили оцінити вплив різних удобрювальних продуктів на показники поживного режиму ґрунту, врожайність і якість сочевиці, баланс елементів живлення в ґрунті. Вони є основою для розроблення системи удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу, що забезпечить приріст урожайності 0,86–0,90 т/га з отриманням прибутку від удобрення та інокуляції 11,0–13,6 тис. грн/га.

Основні результати дослідження впроваджено в ПСП «ЕЛІТ» с. Нерубайки Голованівського району Кіровоградської області на площі 50 га (акт від 01.03.2023 р.), також впроваджено в навчальний процес Навчально-наукового інституту інноватики, природокористування та інфраструктури Західноукраїнського національного університету (акт від 27.12.2022 р.) і ВСП Заліщицького фахового коледжу імені Є. Храпливого НУБіП України (акт від 29.12.2022 р.).

Встановлено вплив різного удобрення на динаміку вмісту азоту мінеральних сполук у ґрунті впродовж вегетації сочевиці. Так, у фазу гілкування і цвітіння у кореневмісному шарі ґрунту (0–20 см) цей показник у

варіанті досліду $N_{60}P_{30}K_{60}$ становив відповідно 30,9 і 23,4 мг/кг, що відповідно на 7,6 і 2,8 мг/кг більше порівняно з контролем. У фазу утворення бобів у варіанті досліду фон + $N_{30}S_{34}$ + Мо вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті був на 7 % більшим, ніж у контролі. У фазу повної стиглості насіння переваги за цим показником зберігалися лише у варіанті з внесенням високої дози азотного добрива (фон + N_{60} + Мо), що на 25 % більше від контролю.

Показано, що внесення фосфорних і калійних добрив позитивно впливає на поживний режим ґрунту. Найбільше це проявляється на початку вегетації сочевиці. В кінці вегетації різниця між показниками вмісту рухомих сполук фосфору і калію незначна, що пояснюється низькими дозами внесення добрив.

Дослідженнями підтверджено інтенсивне використання рослинами сочевиці сірки. Так, упродовж вегетаційного періоду вміст її рухомих сполук у ґрунті зменшувався і у фазу повної стиглості варіював від 6,0 до 4,0 мг/кг залежно від шару ґрунту, що на 2,8–4,5 мг/кг менше, ніж у фазу сходів.

Встановлено залежність зміни показників площі листової поверхні та чистої продуктивності фотосинтезу сочевиці залежно від доз азотних добрив та інокуляції. Так, з поліпшенням азотного живлення (варіант фон + N_{60} + Мо) площа листової поверхні у фазу гілкування збільшувалася на 6,6 тис. м²/га (за показника на контролі 14,3 тис. м²/га), залежно від інокуляції – на 5,4, від удобрення з інокуляцією – на 10,5 тис. м²/га; у фазу цвітіння – відповідно на 5,5; 4,1 і 9,6; утворення бобів – на 4,7; 4,7 і 7,8 тис. м²/га.

Доведено, що за внесення S_{34} у вигляді сульфату амонію сприяє поліпшенню сірчаного живлення рослин і у поєднанні з обробкою насіння молібдатом амонію сприяє формуванню максимального показника кількості бульбочок як у варіанті без інокуляції, так із її проведенням – відповідно 20 і 26 шт./рослину, що на 11 і 17 шт. більше порівняно з абсолютним контролем. Інокуляція сприяє збільшенню їх кількості на 3–6 шт./рослину залежно від

варіанту удобрення. Маса бульбочок від інокуляції збільшилася на 21 %, а за її поєднання з удобренням на 53 %.

Сочевиця в умовах дослідів мала незначний рівень азотфіксації. Завдяки проведенню інокуляції бульбочковими бактеріями частка азоту в господарському винесенні його урожаєм збільшувалася на 9–15 % і найбільшою була у варіанті дослідів фон+N₃₀S₃₄+Mo. Відмічено зниження даного показника за підвищення дози азотних добрив до 60 кг/га азоту.

Виявлено позитивний вплив внесення мінеральних добрив у поєднанні з обробленням насіння препаратом Ризоактив Бобові на продуктивність сочевиці. Найбільша врожайність на ділянках без інокуляції забезпечував варіант дослідів Фон + N₆₀ + Mo – на рівні 2,33 т/га, а з інокуляцією – 2,53 т/га. Інокуляція сприяє збільшенню врожайності насіння на 8–14 % залежно від удобрення. Поліпшення умов мінерального живлення рослин завдяки удобренню та інокуляції сприяє підвищенню вмісту білка в насінні на 6 %. При цьому істотної зміни інших якісних його показників (жир, крохмаль, клітковина) не спостерігається.

Виявлено, що динаміка вмісту основних елементів живлення в рослинах сочевиці залежно від фази росту й розвитку рослин і удобрення. У фазу повної стиглості відмічено більший вміст азоту, фосфору і сірки у насінні сочевиці, а калію, кальцію і магнію – у соломі. Вміст таких мікроелементів, як залізо, манган, мідь, бор і кобальт накопичується більше в соломі сочевиці, а цинку і молібдену – в насінні. На формування 1 т насіння рослини сочевиці використовують: азоту 33–35 кг/га, P₂O₅ – 10–11, K₂O – 10–12 кг/га, а з відповідною кількістю соломи – відповідно 41–47 кг/га, 15–16 і 24–28 кг/га залежно від удобрення.

Доведено, що інокуляція впливає на коефіцієнти використання елементів живлення з добрива. При цьому використання азоту з добрива зменшується на 13–27 %, що свідчить про симбіотичну азотфіксацію. Коефіцієнт використання фосфору і калію з добрив, навпаки, підвищується відповідно на 10 і 15–20 % залежно від варіанту удобрення.

Визначено, що за вирощування сочевиці з вилученням з поля соломи складається від'ємний баланс основних елементів живлення, окрім варіанту досліду $P_{30}K_{40}$, де баланс фосфору й калію додатний. Залишення на полі соломи і внесення $P_{30}K_{40}$ забезпечує додатний балансу фосфору і калію на рівні відповідно +3–10 кг/га P_2O_5 і 11–19 кг/га K_2O залежно від варіанту удобрення. Баланс азоту при цьому залишається від'ємним, з найменшим дефіцитом (–1...–16 кг/га) за внесення азотних добрив у дозі 60 кг/га д. р. і проведенні інокуляції насіння сочевиці.

За розрахованою агрохімічною, економічною і енергетичною ефективністю найкращим є варіант досліду фон + $N_{30}S_{34}$ + Мо (без та з інокуляцією насіння), який забезпечує окупність добрив відповідно на рівні 5,7 і 8,6 кг насіння/кг д. р. добрив, прибуток – 6040 і 13630 грн/га, рівень рентабельності – 65 і 142 %, чистий енергетичний прибуток – 5953 і 11187 МДж/га, коефіцієнт енергетичної ефективності – 1,36 і 2,55 та найнижчу енергетичну собівартість – 7656 і 5092 МДж/т насіння.

Ключові слова: дози мінеральних добрив, інокуляція насіння, поживний режим ґрунту, азотфіксувальний апарат, засвоєння макро- й мікроелементів, урожайність, якість насіння.

SUMMARY

L. A. Musienko, Optimization of lentil fertilization system on podzolic chernozem of the Right-Bank forest-steppe of Ukraine. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the Philosophy Doctor degree in 201 "Agronomy" speciality (20 - Agricultural sciences and food). – Uman National University of Horticulture, Uman, 2023.

Every year, grain legumes occupy an increasingly important place in the structure of the crop acreage of Ukraine. This is due not only to the fact that they are a relatively cheap source of high-quality vegetable protein for human nutrition, but also to the fact that their cultivation contributes to soil improvement.

Lentil is a relatively new crop for our region, therefore it is important to study the optimal fertilizer doses and the feasibility of using a microbial preparation. In the qualifying work, the effect of different doses of fertilizers on the formation of lentil productivity and quality indicators of the obtained crop was investigated; the effect of pre-sowing seed treatment with a microbial preparation on the formation of the symbiotic nitrogen-fixing apparatus was established.

The basis of the dissertation is research work materials, which was part of the PSS NAAS 01 "Soil Resources: development forecast, balanced use and management" according to the task 01.03.01.02.F. "To develop scientific and methodical bases of nutrition management and adaptation of agricultural plants to extreme changes in weather conditions during the growing season" (2016–2020, state registration number 0116U000597), as well as the program of scientific research of Uman NUH "Optimization of the use of natural and resource potential of the agro-ecosystems of the Right-Bank forest-steppe of Ukraine" (2016–2020, state registration number 0116U003207) on the topic of the department of agrochemistry and soil science "Develop normative parameters of podzolic chernozem fertility and optimal regimes of agricultural crop mineral nutrition" and "Balanced use, forecast and management of natural and resource potential of agro-ecosystems of Ukraine" (2021–2025, state registration number 0121U112521) on the topic of the department of agrochemistry and soil science "Ensuring rational use of soil resources and management of agricultural crop mineral nutrition".

The purpose of the research was to optimize the lentil nutrition system by establishing the optimal mineral fertilizer doses in combination with pre-sowing seed inoculation with nitrogen-fixing bacteria, the use of sulfur and molybdenum to obtain a high and quality harvest on podzolic chernozem of the Right-Bank forest-steppe.

To achieve this goal, the following tasks were solved: to establish fertilizer effect on the nutrient regime of podzolic chernozem; to determine the effect of inoculation and different doses of fertilizer products on the functioning of the leguminous rhizobial lentil apparatus; to determine the effect of fertilization and

inoculation on yield formation and quality indicators of lentil seeds; to prove the dynamics dependence of the content and removal of the main nutrients in lentil from the fertilization system; to conduct agrochemical, energy and economic evaluation of the effectiveness of different fertilizer doses and the use of a bacterial preparation on lentil crops.

The object of the research is the effect of various fertilizer products on the change in the quantity and quality of lentil crop, soil nutritive regime and the balance of nutrients in it.

The subject of the research is the optimization of lentil fertilization system on podzolic chernozem under the conditions of the Right-Bank forest-steppe using different types and doses of mineral fertilizers in combination with the bacterial preparation.

For the first time, the lentil fertilization system has been developed under the conditions of the Right-Bank forest-steppe of Ukraine, which provides for the introduction of nitrogen fertilizer starting doses on a phosphorus-potassium background, improvement of sulfur and molybdenum plant nutrition and pre-sowing seed inoculation.

The lentil fertilization system has been improved by specifying the forms, doses of mineral fertilizers and their combination with seed treatment with the bacterial preparation.

Further development of the substantiation of the possible reduction of nitrogen fertilizer doses by carrying out pre-sowing lentil seed inoculation with the bacterial preparation, introduction of sulfur and molybdenum was received.

The practical significance of the obtained results lies in the development of a scientifically based system of lentil fertilization, which will make it possible to obtain high and quality crops with minimal economic and energy costs. The conducted research made it possible to evaluate the impact of various fertilizer products on the parameters of soil nutritive regime, the yield and quality of lentil, the balance of soil nutrients. They are the basis for the development of the lentil fertilization system on chernozem podzolic of the Right-Bank forest-steppe, which

will ensure an increase in productivity of 0.86–0.90 t/ha with a profit from fertilization and inoculation of 11.0–13.6 thousand UAH/ha.

The main results of the research have been implemented in "ELIT" PFB (private farm business) of Nerubayki village, the Golovaniv district, the Kirovohrad region on an area of 50 hectares (act dated March 1, 2023), also implemented in the educational process of Educational and Scientific Institute of Innovation, Nature Management and Infrastructure of West Ukrainian National University (act dated December 27, 2022) and SSU (Separated Structural Unit) of Zalishchytskyi Professional College named after E. Khraplyvyi of NULES of Ukraine (act dated December 29, 2022).

The effect of different fertilizers on the dynamics of the nitrogen content of mineral compounds in soil during lentil growing season was established. Thus, in the stage of branching and flowering in a root soil layer (0–20 cm), this indicator in $N_{60}P_{30}K_{60}$ experiment variant was 30.9 and 23.4 mg/kg, which is 7.6 and 2.8 mg/kg more, respectively, compared to the control. In the stage of pod formation in the experiment variant of background+ $N_{30}S_{34}+Mo$, the nitrogen content of mineral compounds in the soil was 7% higher than in the control. In the firm ripe stage, the advantages of this indicator were preserved only in the variant with the introduction of a high dose of nitrogen fertilizer (background+ $N_{60}+Mo$), which is 25% more than the control.

It has been shown that the application of phosphorus and potash fertilizers has a positive effect on the soil nutritive regime. This is most apparent at the beginning of the lentil vegetation. At the end of the growing season, the difference between the content indicators of mobile compounds of phosphorus and potassium is insignificant, which is explained by low doses of fertilizers.

Research has confirmed intensive use of sulfur by lentil plants. Thus, during the growing season, the content of its mobile compounds in the soil decreased and in firm ripe stage varied from 6.0 to 4.0 mg/kg depending on soil layer, which is 2.8–4.5 mg/kg less than in seedling stage.

The dependence of changes in the indicators of the leaf surface area and the net productivity of lentil photosynthesis was established depending on nitrogen fertilizer doses and inoculation. Thus, with the improvement of nitrogen supply (background+N₆₀+Mo variant), the leaf surface area in the branching stage increased by 6.6 thousand m²/ha (with the control indicator of 14.3 thousand m²/ha), depending on the inoculation - by 5.4, on fertilization with inoculation - by 10.5 thousand m²/ha; during the flowering stage – by 5.5, respectively; 4.1 and 9.6; pod formation - by 4.7; 4.7 and 7.8 thousand m²/ha.

It has been proven that the introduction of S₃₄ in the form of ammonium sulfate improves sulfur plant nutrition and, in combination with seed treatment with ammonium molybdate, contributes to the formation of the maximum number of bulbils both in inoculation and non-inoculation variants - 20 and 26 pcs/plant, respectively, which is 11 and 17 pcs more compared to the absolute control. Inoculation helps to increase their number by 3–6 pcs/plant depending on the fertilizer variant. Bulbil mass increased by 21% after inoculation, and by 53% when combined with fertilizer.

Lentil under the experiment had an insignificant level of nitrogen fixation. Due to bulbil bacteria inoculation, the share of nitrogen in the economic removal by its crop increased by 9–15% and was the largest in background+N₃₀S₃₄+Mo experiment variant. A decrease in this indicator was noted when the dose of nitrogen fertilizers was increased to 60 kg/ha of nitrogen.

A positive effect of mineral fertilizer application in combination with seed treatment with Ryzoactyv Bobovi preparation on lentil productivity was revealed. The highest yield on non-inoculation plots was provided by background + N₆₀+Mo experiment variant - at the level of 2.33 t/ha, and with inoculation - 2.53 t/ha. Inoculation contributes to increase in seed yield by 8–14% depending on the fertilizer. Improving the conditions of mineral plant nutrition due to fertilization and inoculation contributes to increase seed protein content by 6%. At the same time, no significant changes in its other quality indicators (fat, starch, fiber) are observed.

It was found that the dynamics of the main nutrient content in lentil plants depends on the stage of plant growth and development as well as fertilizer. In the stage of full ripeness, a higher content of nitrogen, phosphorus and sulfur was noted in lentil seeds, and potassium, calcium and magnesium - in straw. The content of such microelements as iron, manganese, copper, boron and cobalt accumulates more in lentil straw, and zinc and molybdenum - in seeds. To form 1 ton of lentil seeds, the following are used: nitrogen 33–35 kg/ha, P_2O_5 – 10–11, K_2O – 10–12 kg/ha, and with the corresponding amount of straw – 41–47 kg/ha, 15–16 and 24–28 kg/ha, respectively depending on the fertilizer.

It has been proven that inoculation affects the coefficients of recovery from fertilizer. In this case, the use of nitrogen from fertilizer decreases by 13–27%, which indicates symbiotic nitrogen fixation. The utilization coefficient of phosphorus and potassium from fertilizers, on the contrary, increases by 10 and 15–20%, respectively, depending on the fertilizer variant.

It was determined that the lentil cultivation with straw removal from the field results in a negative balance of the main nutrients, except for $P_{30}K_{40}$ experiment, where the balance of phosphorus and potassium is positive. Leaving straw on the field and applying $P_{30}K_{40}$ ensures a positive balance of phosphorus and potassium at the level of +3–10 kg/ha P_2O_5 and 11–19 kg/ha K_2O , respectively, depending on the fertilizer. At the same time, nitrogen balance remains negative, with the smallest deficit (–1...–16 kg/ha) due to the application of nitrogen fertilizers at a dose of 60 kg/ha per year and lentil seed inoculation.

According to the calculated agrochemical, economic and energy efficiency, the best experiment variant is background+ $N_{30}S_{34}+Mo$ (without and with seed inoculation), which ensures fertilizer payback at the level of 5.7 and 8.6 kg of seeds/kg active ingredient of fertilizers, profit – 6040 and 13630 UAH/ha, profitability level – 65 and 142%, net energy profit – 5953 and 11187 MJ/ ha, the coefficient of energy efficiency – 1.36 and 2.55 and the lowest energy cost – 7656 and 5092 MJ/t of seeds.

Key words: mineral fertilizer doses, seed inoculation, soil nutritive regime, nitrogen fixing apparatus, uptake of macro- and microelements, crop productivity, seed quality.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України:

1. Рассадіна І. Ю., Недвига М. В., Нікітіна О. В., Мусієнко Л. А. Вплив мінерального удобрення та інокуляції на врожайність сочевиці. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2020. Вип. 96(1). С. 160–169.

2. Мусієнко Л. А. Вплив мінерального живлення на урожайність сочевиці. *«Наукові доповіді НУБіП України»*. №4(98). 2022.

3. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Поживний режим ґрунту під сочевицею залежно від удобрення. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 30–33.

4. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Винесення елементів живлення сочевицею залежно від удобрення в правобережному лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. № 101. Ч.1. С. 122–128.

Матеріали науково-практичних конференцій:

5. Мусієнко Л. А. Шляхи оптимізації системи мінерального живлення сочевиці харчової у Правобережному Лісостепу. *Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві* : матеріали XIII наукової конференції молодих вчених, присвяченої 100-річчю з дня заснування Національної академії аграрних наук України (м. Чернігів, 24–25 жовтня 2018 р.). Чернігів: видавець Брагінець О. В., 2018. С. 92–94.

6. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Урожайність сочевиці залежно від складових системи удобрення. *«Сучасні системи удобрення сільськогосподарських культур»* : збірник доповідей Міжнародної науково-практичної конференції (м. Дніпро, 11 вересня 2020). Дніпро : Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, 2020. С. 90–93.

7. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Система удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому. *«Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва»* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 26–27 листопада 2020 р.). Харків : ХНАУ, 2020. Ч. 1. С. 150–152.

8. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А., Л. А. Столяр Л. А. Ефективність азотфіксації сочевиці залежно від удобрення. *Біологічні процеси оптимізації продукційного процесу культурних рослин* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції, присвяченої 60-річчю ІСМАВ НААН (м. Чернігів, 26–27 жовтня 2021 р.). Чернігів : видавець Брагінець О. В., 2021. С. 135–137.

9. Мусієнко Л. А. Урожайність сочевиці на чорноземі опідзоленому залежно від умов мінерального живлення. *Науково-технологічне та методичне забезпечення виробництва екологічної, конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в сучасних умовах* : Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Умань, 15 червня 2022 року). Умань: Ред.-вид. відділ УНУС, 2022. С. 54–55.

10. Musiienko L. A., Bekhta D. A., Blazhchuk Yu. O., Melnyk M. V. Innovative aspects of the elements of the lentil mineral nutrition system in the right bank forest steppe. *Eurasian scientific discussions*. Proceedings of the 13th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2023. P. 21–27.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН І НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ З ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ СОЧЕВИЦІ (огляд літератури)	22
1.1 Особливості мінерального живлення сочевиці.....	22
1.2 Умови ефективного функціонування бобово-ризобіального апарату.....	29
1.3 Ефективність застосування добрив у поєднанні з мікробними препаратами під сочевицю.....	33
РОЗДІЛ 2 УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	36
2.1 Ґрунтово-кліматичні та агрометеорологічні умови	36
2.2 Методика проведення дослідження.....	45
РОЗДІЛ 3 ПОЖИВНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ СОЧЕВИЦІ	50
3.1 Азотний режим ґрунту.....	51
3.2 Фосфорний режим ґрунту.....	58
3.3 Калійний режим ґрунту.....	60
3.4 Вміст у ґрунті рухомих сполук сірки і мікроелементів.....	62
РОЗДІЛ 4 ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ТА ЯКОСТІ НАСІННЯ СОЧЕВИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ	70
4.1 Ріст і розвиток сочевиці.....	70
4.2 Фотосинтезувальна система сочевиці та її продуктивність.....	73
4.3 Формування симбіотичного азотфіксувального апарату.....	79
4.4 Структура врожаю сочевиці.....	83
4.5 Урожайність і якість насіння сочевиці.....	85

РОЗДІЛ 5 ЗАСВОЄННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИНАМИ СОЧЕВИЦІ ТА БАЛАНС ЇХ У ҐРУНТІ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ.....	96
5.1 Динаміка вмісту елементів живлення в рослинах.....	96
5.2 Винесення елементів живлення врожаєм і коефіцієнти їх використання з добрив.....	113
5.3 Баланс елементів живлення в ґрунті.....	128
РОЗДІЛ 6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ І МІКРОБНОГО ПРЕПАРАТУ В ПОСІВАХ СОЧЕВИЦІ.....	132
6.1 Агрохімічна ефективність.....	132
6.2 Економічна ефективність.....	134
6.3 Енергетична ефективність.....	136
ВИСНОВКИ.....	140
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	144
ДОДАТКИ.....	165

ВСТУП

Для агропромислового комплексу України нині особливо важливим є виробництво та науково обґрунтоване застосування мінеральних добрив. Приріст урожайності сільськогосподарських культур у нашій державі, який здатні забезпечити мінеральні добрива у середньому становить 25–30 %. Вони також позитивно впливають на поліпшення біохімічних показників якості вирощеної продукції. Застосування добрив необхідно проводити на основі розроблених раціональних систем удобрення сільськогосподарських культур. Такі системи мають бути економічно і енергетично обґрунтованими, екологічно безпечними, адаптованими до конкретних соціально-економічних і ґрунтово-кліматичних умов [84].

Віднедавна поміж зернобобових культур набирає поширення така нішева культура, як сочевиця. Сочевиця (*Lens culinaris Medik*) є важливою зернобобовою культурою. За вмістом білка, що змінюється в межах 26–34 %, вона поступається лише сої та бобам кормовим. Посівні площі та валове її виробництво також значно зросло в таких країнах, як Канада, Туреччина, Індія та Пакистан [135].

Обґрунтування вибору теми дослідження. Сочевиця є перспективною культурою для України. Важливість її вирощування полягає не лише в харчовій цінності для людини, а й в тому, що як і всі зернобобові вона є добрим поліпшувачем ґрунту. Для реалізації її біологічного потенціалу врожайності важливим є створення оптимальних умов мінерального живлення. Поряд із цим не менш важливим для підвищення її продуктивності є застосування біологічних препаратів на основі азотфіксувальних бактерій.

Актуальність теми зумовлюється недостатнім вивченням питань системи удобрення сочевиці в умовах Правобережного Лісостепу, а також доцільності застосування інокулянтів за її вирощування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основу дисертації становлять матеріали науково-дослідної роботи, яка входила до

складу ПНД НААН 01 «Ґрунтові ресурси: прогноз розвитку, збалансоване використання та управління» за завданням 01.03.01.02.Ф. «Розробити науково-методичні основи управління живленням та адаптації сільськогосподарських рослин до екстремальних змін погодних умов протягом вегетаційного періоду» (2016–2020 рр., номер державної реєстрації 0116U000597), а також програми наукових досліджень Уманського НУС «Оптимізація використання природного і ресурсного потенціалу агроєкосистем Правобережного Лісостепу України» (2016–2020 рр., номер державної реєстрації 0116U003207) за тематикою кафедри агрохімії і ґрунтознавства «Розробити нормативні параметри родючості чорнозему опідзоленого та оптимальні режими мінерального живлення сільськогосподарських культур» та «Збалансоване використання, прогноз і управління природним та ресурсним потенціалом агроєкосистем України» (2021–2025 рр., номер державної реєстрації 0121U112521) за тематикою кафедри агрохімії і ґрунтознавства «Забезпечення раціонального використання ґрунтових ресурсів та управління мінеральним живленням сільськогосподарських культур».

Мета і завдання досліджень. Метою дослідження була оптимізація системи живлення сочевиці встановленням оптимальних доз мінеральних добрив у поєднанні з передпосівною інокуляцією насіння азотфіксуючими бактеріями, застосування сірки і молібдену для отримання високого і якісного врожаю на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу.

Для досягнення цієї мети вирішувалися такі завдання:

- ✓ визначити зміни поживного режиму чорнозему опідзоленого під впливом удобрення;
- ✓ визначити вплив інокуляції та різних доз удобрювальних продуктів на функціонування бобово-ризобіального апарату сочевиці;
- ✓ виявити вплив удобрення та інокуляції на формування врожайності та якісні показники насіння сочевиці;

- ✓ встановити залежність динаміки вмісту та винесення основних елементів живлення сочевицею від системи удобрення;
- ✓ провести агрохімічне, енергетичне та економічне оцінювання ефективності різних доз добрив та використання бактеріального препарату на посівах сочевиці.

Об'єкт досліджень – вплив різних удобрювальних продуктів на зміну кількості та якості врожаю сочевиці, поживного режиму ґрунту та балансу елементів живлення в ньому.

Предмет дослідження – оптимізація системи удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому в умовах Правобережного Лісостеп застосуванням різних видів і доз мінеральних добрив у поєднанні з бактеріальним препаратом.

Методи дослідження. У роботі використано такі методи досліджень: польовий – полягає у вивченні предмету досліджень в умовах досліду; лабораторні – визначення якісних показників ґрунту, вмісту елементів живлення в рослинах, показників якості отриманої продукції за стандартизованими і атестованими методами; балансовий – для розрахунку балансу елементів живлення; розрахунково-порівняльний – оцінювання агрохімічної, економічної й енергетичної ефективності застосування мінеральних добрив під посіви сочевиці; математично-статистичний – для проведення дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізів отриманих результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів. *Уперше* для умов Правобережного Лісостепу України розроблено систему удобрення сочевиці, яка передбачає внесення стартових доз азотних добрив на фосфорно-калійному тлі, поліпшення сірчаного і молібденового живлення рослин і передпосівної інокуляції насіння.

Удосконалено систему удобрення сочевиці уточненням форм і доз мінеральних добрив та їх поєднання з обробленням насіння бактеріальним препаратом.

Дістало подальшого розвитку обґрунтування можливості зниження дози азотних добрив за проведення передпосівної інокуляції насіння сочевиці бактеріальним препаратом, внесення сірки і молібдену.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні науково обґрунтованої системи удобрення сочевиці, що дасть можливість отримувати високі та якісні врожаї за мінімальних економічних і енергетичних витрат. Проведені дослідження дозволили оцінити вплив різних удобрювальних продуктів на показники поживного режиму ґрунту, врожайність і якість сочевиці, баланс елементів живлення в ґрунті. Вони є основою для розроблення системи удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу для отримання врожайності 2,5 т/га, а її приросту від удобрення та інокуляції 0,86–0,90 т/га з отриманням прибутку 11,0–13,6 тис. грн/га.

Основні результати дослідження впроваджено в ПСП «ЕЛІТ» с. Нерубайки Голованівського району Кіровоградської області на площі 50 га (акт від 01.03.2023 р.), також впроваджено в навчальний процес Навчально-наукового інституту інноватики, природокористування та інфраструктури Західноукраїнського національного університету (акт від 27.12.2022 р.) і ВСП Заліщицького фахового коледжу імені Є. Храпливого НУБіП України (акт від 29.12.2022 р.).

Особистий внесок здобувача. Відповідно поставленої мети і завдань здобувачкою була розроблена програма наукових досліджень, підбір методик, опрацювання вітчизняної і закордонної літератури за темою дисертації, проведено польові та лабораторні роботи згідно плану дослідження, виконано математично-статистичну обробку отриманих результатів дослідження, оприлюднено отримані результати, зроблено висновки і на основі них розроблено рекомендації виробництву, апробовано отримані результати і написана дисертація для здобуття наукового ступеня доктор філософії. Одержані результати є доробком авторки і повністю належать їй. Публікації з оприлюднення отриманих результатів підготовлено

самостійно та у співавторстві, де авторкою висвітлено власні отримані результати та ідеї.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати проведеного дослідження обговорювалися на засіданнях кафедри (щорічний звіт виконання плану), оприлюднено та обговорено на: XIII науковій конференції молодих вчених, присвяченій 100-річчю з дня заснування Національної академії аграрних наук України (м. Чернігів, 24–25 жовтня 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні системи удобрення сільськогосподарських культур» (м. Дніпро, 11 вересня 2020 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва» (м. Харків, 26–27 листопада 2020 р.); Всеукраїнській науково-практичній онлайн-конференції, присвяченій 60-річчю ІСМАВ НААН (м. Чернігів, 26–27 жовтня 2021 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Науково-технологічне та методичне забезпечення виробництва екологічної, конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в сучасних умовах» (м. Умань, 15 червня 2022 р.); 13th International scientific and practical conference (Barcelona, Spain, 2023).

Публікації. Результати досліджень дисертаційної роботи опубліковано в 10 наукових працях, з яких 4 статті у фахових виданнях України і 6 праць у матеріалах науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Основний текст дисертаційної роботи викладено на 170 сторінках машинопису, який складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту 133 сторінок машинопису. Робота ілюстрована 32 таблицями і 18 рисунками. Список використаних джерел налічує 204 найменування, з них – 160 кирилицею та латиницею – 44.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН І НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ З ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ СОЧЕВИЦІ (огляд літератури)

1.1 Особливості мінерального живлення сочевиці

Важливим чинником, що впливає на ріст і розвиток рослин є їх мінеральне живлення. На початку вегетації сочевиця росте повільно, засвоює мало поживних речовин, тому високі врожаї можна отримати лише на незабур'ячених полях. До найкращих попередників для неї можна віднести просапні культури (кукурудзу, картоплю, буряк цукровий та пшеницю озиму [25, 157]).

Не бажано висівати сочевицю по сочевиці, а також рекомендується повертати її на те ж саме поле вирощування не раніше ніж через 5–6 років, щоб не спровокувати розмноження нематод. Також не варто висівати сочевицю поблизу багаторічних зернобобових трав, де зазвичай накопичується багато спільних шкідників [70].

До найпридатніших для вирощування сочевиці можна віднести достатньо удобрені й окультурені чорноземи та сірі лісові ґрунти середньо суглинкового гранулометричного складу. Не рекомендується сіяти сочевицю після удобрення гноєм або іншими органічними добривами, тому що вона нарощуватиме велику зелену масу, що негативно вплине на плодоношення. Кращим буде розміщення сочевиці в сівозмінах другою або третьою культурою після внесення органічних добрив [89]. Аналогічні дані отримали в п'ятирічних дослідженнях на Петровській селекційно-дослідній станції, де врожайність насіння сочевиці, посіяної на полі з внесенням гною, була на 0,07 т/га нижчою, а соломи – на 0,07 т/га – більшою, ніж без внесення гною. Це пов'язано з тим, що внесення в ґрунт азоту з гноєм або повним мінеральним добривом сприяє розвитку зеленої маси сочевиці. При цьому

рослини уражуються іржею, сильніше вилягають, утворюється менше бобів, і як наслідок розтягується вегетаційний період та зменшується врожайність насіння сочевиці [70]. Тому застосування органічних добрив може підвищити врожай сочевиці, якщо їх вносити під попередник.

На мінеральне живлення рослин істотно впливає поживний режим ґрунту, який суттєво залежить від його родючості. Вміст потенційно доступних елементів живлення (азоту, фосфору, калію та інших) у зоні розміщення кореневої системи рослин в ґрунті впродовж вегетації рослини характеризує рівень родючості ґрунту [25, 76].

Оптимальним цілеспрямованим управлінням поживним режимом ґрунту є збалансоване застосування елементів живлення в системі удобрення певної культури, що супроводжується синергетичним ефектом у формуванні її продуктивності та окупності витрат на застосування мінеральних добрив. Підвищення врожайності сільськогосподарських культур та окупності витрат пов'язаних з використанням мінеральних добрив можна досягти збалансуванням окремих елементів живлення в системі удобрення [22, 151, 183].

Зернобобові відомі своєю здатністю до зв'язування природним чином атмосферного азоту в ґрунті, а в деяких випадках добре використовують запаси фосфору, який знаходиться в ґрунті, і як наслідок значно знижують потребу в синтетичних мінеральних добривах [31, 198].

Сочевиця не вимоглива до вологи, що робить можливість її поширення в посушливих умовах Степу та Лісостепу. Порівняно з горохом, квасолею, бобами кормовими сочевиця здатна краще переносити посуху [156]. Для формування високого врожаю їй достатньо 150–200 мм опадів за вегетаційний період, у той час як транспіраційний коефіцієнт у гороху знаходиться на рівні 400–600 мм [139].

Відмінною особливістю зернобобових є їх здатність у симбіозі з бульбочковими бактеріями засвоювати азот безпосередньо з повітря і забезпечувати себе азотним живленням. Тому за сприятливих умов

вирощування, зернобобові культури, зазвичай не потребують азотного удобрення. За внесення 20–60 кг/га азоту мінеральних сполук підвищення врожайності не спостерігається, а фіксація азоту з повітря навпаки знижується зі збільшенням дози його внесення. Лише за внесення невеликих доз мінерального азоту на бідних дерново-підзолистих ґрунтах легкого гранулометричного складу спостерігається підвищення врожаю деяких зернобобових культур (наприклад квасолі або сої) [35].

Середнє винесення основних елементів з ґрунту на формування 1 т насіння сочевиці становить: 58 кг азоту, 20 – P_2O_5 і 28 – K_2O [36, 135, 156, 178]. Загальновідомим є той факт, що бобові культури, в тому числі і сочевиця, здатні забезпечити 2/3 своїх потреб в азоті з повітря завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями, тому важливим для зменшення потреби рослин в азоті мінеральних сполук є створення оптимальних умов для роботи азотфіксувальних бактерій. Як наслідок на цьому тлі в рослин сочевиці спостерігається підвищена потреба в фосфорному та калійному живленні. Ці елементи (фосфор і калій) впливають на поліпшення умов симбіотичної азотфіксації [3, 9, 42, 77, 156, 161].

Саме через симбіотичну здатність бобових засвоювати молекулярний азот з атмосфери обумовлена певна специфіка їх мінерального, а особливо азотного удобрення [171]. Тому, система удобрення зернобобових культур повинна бути спрямована на оптимальне поєднання застосування біологічного азоту та азоту мінеральних добрив, що збалансує його колообіг у сівозміні [12, 18, 37, 44].

Сочевиця здатна підвищувати родючість ґрунту. Так, дослідження що проводилися в Канаді показали, що найкращі показники за накопиченням азоту в ґрунті та мікробіологічною діяльністю (збільшення від 171 до 287 %) були за вирощування культур у ланці сівозміни «сочевиця – пшениця», а гірші – у ланці «горох – пшениця» [165, 166]. Так, сочевиця завдяки симбіозу з азотфіксувальними бактеріями може засвоювати значну кількість атмосферного азоту (до 80 кг/га). На кожному гектарі після збирання врожаю

сочевиці залишається така кількість поживних речовин з післяжнивними рештками, скільки від внесення 10 т перегною [25, 76, 156].

Азотне живлення зернобобових культур може відбуватися трьома шляхами:

- вся потреба в азоті покривається завдяки мінеральним добривам та азоту мінеральних сполук ґрунту;
- потреба в азоті покривається азотом насіння та фіксацією його з атмосфери;
- рослини комбінують використання як мінерального, так і біологічно зв'язаного азоту атмосфери [33, 42, 199].

Вважається, що існує певний ризик якщо опиратися на азотне живлення, яке направлене лише на біологічну фіксацію азоту, тому що необхідну кількість біологічного азоту рослини зможуть отримати лише за умови достатнього розвитку та активної діяльності симбіотичного апарату [47, 81, 93, 155, 202].

Також основними добривами для зернобобових є фосфорні і калійні. Під зернобобові культури можна використовувати всі форми фосфорних добрив, в тому числі і важкорозчинні фосфати, з врахуванням їх внесення восени під основний обробіток ґрунту [35, 190, 193, 204].

Післяжнивні рештки, що залишаються на полі після збирання зернобобових культур мають високий вміст азоту, що сприяє не тільки його накопиченню, а й здатне пришвидшити мінералізацію органічних речовин і підвищити доступності елементів живлення. Як наслідок, збільшується врожайність наступних культур сівозміни [35, 186, 190].

Найбільше значення у фіксації азоту з атмосфери відводиться специфічним бактеріям з роду *Rhizobium*, що мешкають у наростах (бульбочках) на кореневій системі бобових рослин, що вступили у симбіоз з рослиною-господарем [15, 42, 77, 188].

Внесення фосфорних і калійних добрив під зернобобові культури на відміну від питання азотного живлення не є дискусійним. Серед більшості

науковців аргументованим є твердження про необхідність внесення фосфору та калію [119, 191, 192, 204]. Внесення фосфорних і калійних добрив (по 40–60 кг/га діючої речовини) може забезпечити приріст урожаю насіння в межах від 0,3 до 0,7 т/га [89].

Забезпечення фосфором на оптимальному рівні здатне стимулювати розвиток кореневої системи, що в свою чергу поліпшує використання рослинами води і елементів живлення та водний баланс в цілому. Вітаміни і багато ферментів мають у своєму складі фосфор. До складу органічних сполук на відміну від фосфору калій не входить. У рослинах він знаходиться в іонній формі, велика його концентрація спостерігається у цитоплазмі та вакуолях, відсутній у ядрі. Основна маса калію (до 80 %) знаходиться у клітинному соці та легко вимивається водою. Калій бере активну участь у вуглеводневому і білковому обміні рослин, синтезує геміцелюлозу, целюлозу, пектинові речовини, що підвищує стійкість до вилягання [40].

Нині світова практика застосування добрив приділяє багато уваги сірці. Вона є одним з найважливіших елементів живлення, життя без якого не можливе, є одним із основних складників білка [200]. Потреба у сірці прирівнюється до потреби у фосфорі [162]. Зернобобові відносять до рослин, що середньо вибагливі до сірки, за вегетаційний період засвоюють її орієнтовно від 20 до 40 кг/га [25, 92, 93, 184, 193]. Сірка поглинається рослинами з ґрунту, джерелом якого є солі сірчаної кислоти. Вміст її у рослинах змінюється від 0,02 до 1,8 %. Так, наприклад для бобових трав критичною концентрацією сульфатної сірки у ґрунтах є 12 мг/кг ґрунту.

Важлива участь сірки відводиться в створенні просторових структур білків, що в свою чергу підвищує білковість врожаю. Вона входить до складу таких амінокислот, як метіонін (21,5 % S) та цистин (27 % S) [71]. В науковій літературі є дані про стимулювальну роль сірки у симбіотичній діяльності зернобобових культур та бульбочкових бактерій [20]. Також сірка входить до складу коферменту А, сульфоліпідів (ефірозв'язувальних сульфат тіаміну, біотину) [71]. Надлишкове внесення сірки (у ґрунт чи позакоренево)

спричинює дефіцит молібдену (MoO_4^{2-}). Це є наслідком антагонізму між сульфат- і молібден-іонами [20].

Близько 90 % сірки у ґрунті знаходиться в органічній формі та стає доступною лише після процесу її мінералізації мікроорганізмами до іона SO_4^{2-} , якому властива міграція по профілю ґрунту за межі зони розміщення кореневої системи. Майже 30 % потреби рослин у сірці покривається поглинанням листками з атмосфери. Близько 50 % сірки від її надходження в ґрунт з добривами може втрачатися внаслідок вимивання, що становить від 8 до 15 кг/га [92, 93].

Поряд з потребою макроелементів, не менш важливим є забезпечення рослин сочевиці мікроелементами, адже вони підвищують стійкість рослин до екстремальних температур, посухи, хвороб, посилюють азотфіксацію з повітря, активують процес фотосинтезу, поліпшують синтез хлорофілу. Потреба в мікродобривах прямо пропорційна підвищенню внесення макродобрив [25, 124, 169, 175, 176, 196, 197].

Також важливе місце для ефективної роботи симбіотичного комплексу необхідні відвести мікродобривам, зокрема молібденовим, кобальтовим та борним. Молібден входить до складу нітрогенази, що зв'язує азот з повітря, а бор позитивно впливає на розвиток судинно-провідної системи [3, 9, 25, 156]. Так, в насінні бобових, порівняно із злаковими культурами, накопичується в 7–17 разів більше молібдену і в 4 рази більше кобальту [25].

Внесення мікродобрив може значно впливати на ріст і розвиток рослин сочевиці. Так, різними дослідженнями було зафіксовано збільшення біомаси та врожаю насіння за застосування таких елементів: мангану [168], молібдену [167], цинку [176], заліза [194] та бору [196]. На формування хорошої якості насіння та вміст білку в ньому високою ефективністю відзначилися мангану [168] і цинку [169].

Особливістю застосування органічних добрив під сочевицю є те, що для їх ефективності вносити їх варто під перед попередник. У дослідях, які проводилися на Миронівській селекційній станції (Київська область)

попередником для сочевиці був буряк цукровий, висіяний після пшениці озимої. Органічні добрива вносили, як під пшеницю, так і під буряк. За дев'ять років досліджень приріст урожайності сочевиці за внесення органічних і мінеральних добрив під попередник по двох сівозмінах у середньому становив 0,14–0,26 т/га, а от за внесення лише мінеральних добрив – 0,06–0,16 т/га. Внесення гною в дозі 27 т/га під буряк цукровий забезпечило найбільший середній приріст урожайності сочевиці – 0,26 т/га. Також позитивна реакція відмічалася на внесення гною під передпопередник. У цих же дослідах отримано приріст урожайності сочевиці 0,19 т/га за внесення 20 т/га гною під пшеницю озиму. На тлі внесення органічного добрива під зяблеву оранку вносилося від 300–500 кг/га фосфоритного борошна, а під весняну культивуацію 200–300 кг/га суперфосфату гранульованого і 150–200 кг/га калійної солі змішаної. Необхідність внесення азотних добрив спостерігалася лише на початку розвитку сочевиці, коли на корінні ще не оселилися бульбочкові бактерії. За слабого розвитку рослин рекомендовано підживлення азотними добривами у дозі 10–15 кг/га д. р. [70].

З попереднім твердженням згодні й інші вчені, які зазначають, що на родючих ґрунтах після удобрених попередників, потреба сочевиці в добривах не спостерігається. Після неудобрених попередників, на бідних ґрунтах під оранку рекомендовано вносити фосфорні і калійні добрива у дозі $P_{40-60}K_{40-60}$. Застосування азотних добрив є менш ефективне порівняно зі створенням оптимальних умов для симбіотичної азотфіксації [5, 44, 89, 90, 99].

Отже, для одержання високих врожаїв сочевиці потрібне оптимальне забезпечення рослин усіма чинниками життєдіяльності, в тому числі необхідними елементами живлення для ефективного їх розвитку. Навіть тимчасові порушення ростових процесів здатні зменшити інтенсивність рівня формування врожайності, що в свою чергу також суттєво залежить від взаємодії рослини з навколишнім середовищем. Одержання високих врожаїв можна забезпечити системою заходів, орієнтованих на створення належних умов мінерального живлення для повноцінного росту та розвитку рослини.

1.2 Умови ефективного функціонування бобово-ризобіального апарату

Аналіз наукових публікацій показує, що впродовж останніх десятиліть зросла і продовжує зростати цікавість до біологічної азотфіксації [12, 16, 18, 33, 47, 50, 127, 129, 141, 156, 174, 195]. Азотфіксація має визначальне значення не лише в азотному балансі біосфери, а й в можливості зменшення застосування азоту мінеральних сполук у технології вирощування сільськогосподарських культур, що знизить енергетичні витрати на їх вирощування. Це пов'язано не тільки з визначальним значенням цього процесу в азотному балансі біосфери, а й з можливістю скорочення обсягів застосування промислових сполук азоту в технологіях вирощування польових культур.

Серед теоретичних і практичних розробок спрямованих на значне підвищення рівня фіксації молекулярного азоту з атмосфери, значне місце належить мікроорганізмам-азотфіксаторам, насамперед, бульбочковим бактеріям [99, 189]. Симбіоз ризобій з бобовими рослинами здатний фіксувати молекулярний азот повітря. При цьому забезпечується потреба в ньому макросимбіонта і відбувається накопичення його у верхньому шарі ґрунту [82]. Більше половини фіксованого на планеті азоту припадає на функціонування симбіозу бобових рослин і бульбочкових бактерій. Так, у ґрунтово-кліматичних умовах України, залежно від бобової культури, бобово-ризобіальні системи щорічно фіксують з атмосфери від 40 до 300 кг і більше азоту на 1 га [17, 82, 99, 103, 122, 130, 154].

Інокуляція насіння мікробними препаратами бобових культур має позитивний вплив на загальний стан рослин: у них активуються метаболічні процеси, зокрема азотний обмін, фотосинтез, підвищується резистентність до фітопатогенів, вони формують кращі біометричні показники, що в цілому, позитивно відображається на врожайності [46, 74, 122].

Дослідженнями, що проводилися, як в Україні, так і за кордоном встановлено, що в симбіозі із бульбочковими бактеріями бобові культури здатні фіксувати значну кількість азоту: соя – 90–240, конюшина – 180–670 кг/га, боби – 100–550, люпин – 150–450, люцерна – 200–460, горох – 70–160, пасовища з бобовими – 100–260 кг/га [25]. Тому, провідне значення в забезпеченні агроценозів біологічним азотом належить симбіотичній азотфіксації. Збільшення її масштабів здатне поліпшити родючість ґрунтів, зменшити енергетичні витрати у землеробстві та знизити техногенне навантаження на довкілля [78, 103]. Бобові культури, які мають великий біологічний потенціал азотфіксації мають значний вплив на створення додатного балансу азоту в ґрунті, що сприяє відновленню його родючості [76].

Ґрунт являє собою систему, що може містити в 1 г мільярди клітин ґрунтової мікрофлори [17], при цьому мати велике розмаїття видового складу (близько 4000 видів) [200].

Найбільш поширеними представниками мікрофлори ґрунту є бактерії і гриби [190]. Однак, на масу мікроорганізмів може припадати лише від 0,1 до 1,0 % органічної речовини ґрунту [172, 182].

Впродовж періоду вегетації сільськогосподарських культур чисельність мікроорганізмів у ґрунті значно змінюється. Істотний вплив на мікробіоту ґрунту має обробіток ґрунту, тепловий режим, удобрення, зволоження та інші чинники навколишнього природного середовища і складові технології вирощування культур [17].

Сочевиця, як і решта зернобобових культур є унікальна через свою здатність до симбіозу з бульбочковими бактеріями роду *Rhizobium*.

За допомогою бульбочкових бактерій біологічною особливістю однорічних зернових бобових культур, як і багаторічних бобових трав є засвоєння азоту з повітря. У вивченні проблем біологічної фіксації азоту зернобобовими культурами значний вклад у науці зробили низка вчених [13, 16, 21, 37, 42–44, 46, 47, 78, 82, 86, 97, 120, 141, 155, 160]. На інтенсивність

фіксації атмосферного азоту бобовими впливає комплекс умов. Зокрема, бульбочкові бактерії мають особливість обирати рослину-господаря, тобто вони поселяються лише на певній групі бобових рослин. Так, вважається, що бульбочкові бактерії люпину, сої, бобів кормових мають чітко виражену сортову специфічність, а бульбочкові бактерії люцерни, гороху, машу – слабовиражену [4, 16, 18, 48, 127, 148, 173, 188]. На активність засвоєння азоту з повітря великий вплив має концентрація леггемоглобіну в бульбочках. Леггемоглобін виконує функцію перенесення кисню [82, 99].

Ефективним є поєднання бактеризації насіння з рядковим внесенням фосфорних або складних добрив. Внесення складних добрив на інокульованих посівах дозволяє в 1,5 рази підвищити врожайність зерна і на 20–50 % окупність добрив [33].

Для симбіозу вологість ґрунту має більше значення, ніж для росту й розвитку рослин. Оптимальною вважають вологість ґрунту – 60–70 % від повної польової вологості [33, 129, 192, 193].

Зниження температури нижче оптимальної має менший вплив на азотфіксацію, ніж таке саме підвищення. Деякі види бобових рослин за температури 30 °С повільно фіксують молекулярний азот. За низьких температур (менше як 10 °С) засвоєння атмосферного азоту припиняється, а бульбочки не утворюються [33].

Згідно проведених оглядів численних даних польових дослідів, багато вчених вказують на негативний вплив азоту мінеральних сполук на симбіотичну азотфіксацію і врожайність бобових культур, а високі його дози на бідних ґрунтах поліпшують початковий ріст рослин і гальмують утворення азотфіксувальних бульбочок [12, 33, 127, 173, 191, 192, 202].

Фосфорні й калійні добрива мають позитивний вплив на симбіотичну діяльність бульбочкових бактерій. Так, у досліді у варіанті із внесенням P₉₀K₉₀ сорт сої Устя накопичував 82,7 кг/га симбіотичного азоту, а сорт Легенда – 75,4 кг/га [96]. Подібні результати впливу фосфорних і калійних добрив отримали й інші вчені [2, 97].

Проведення передпосівної бактеризації насіння забезпечує бобові культури активними штамми бульбочкових бактерій, що зумовлює подвоєння, і навіть потроєння надходження в агроценози біологічного азоту [17].

Важливий показник симбіотичної діяльності бульбочкових бактерій і зернобобових культур, зокрема сочевиці, є утворення й наростання маси бульбочок, які мають значний вплив на інтенсивність фіксації молекулярного азоту з повітря. Середня маса бульбочок впливає на ступінь активності симбіотичного препарату. На симбіотичну активність має вплив також фаза розвитку рослин і умовами вирощування, що можна регулювати інокуляцією спеціальними бактеріальними препаратами і оптимізацією доз мінеральних добрив [44].

Дослідженнями, проведеними В. П. Дерев'янським [46] встановлено, що оброблення насіння мікробними препаратами сприяло збільшенню утворення бульбочок у базальній частині кореня рослин сої до 30–38 шт/рослину, тоді як без інокуляції цей показник був у межах 8–9 шт/рослину. В дослідженнях В. Ф. Камінського [74], передпосівна інокуляція сої забезпечувала збільшення маси бульбочок в середньому від 0,15 до 0,35 г/рослину проти контрольного варіанту досліду, де показники становили 0,67 г/рослину.

За даними Л. В. Центиля [155], сприяння активізації формування і функціонування симбіотичного апарату в сорту гороху Сталкер, було завдяки застосування Ризогуміну для передпосівної бактеризації насіння. Завдяки цьому зростала чисельність і маса бульбочок в порівнянні з варіантами без передпосівної бактеризації. У цьому варіанті було відмічено збільшення нітрогеназної активності у два рази порівняно з контролем. На процес азотфіксації сприятливо впливали: післядія компосту і гною та використання рослинних решток. Також по цих агрофонах підсилювалася позитивна дія Ризобофіту на функціонування бобоворизобіального симбіозу [154].

Отже, на ефективність функціонування бобово-ризобіального симбіозу поряд із зовнішніми умовами середовища, вагомий вплив має застосування молібденових та оптимальної дози азотних добрив.

1.3 Ефективність застосування добрив у поєднанні з мікробними препаратами під сочевицю

Завдяки підвищенню зацікавленості до екологізації аграрного виробництва, під час вирощування сільськогосподарських культур, нині стало актуальним використання мікробних препаратів, у тому числі й азотфіксувальних бактерій. Своєрідним прикладом безвідходної технології у посівах бобових є біологічна азотфіксація, де коефіцієнт використання азоту в бобово-ризобіальних системах наближений до 100 % [130]. Тому, пріоритетним напрямком сучасного світового землеробства є використання можливостей симбіотичної азотфіксації для підвищення врожайності бобових культур та відновлення родючості ґрунтів. У цьому випадку важливим є вирішення питання забезпечення високоефективного симбіозу зернобобових культур із відповідними штамми бульбочкових бактерій. Азотфіксувальний потенціал симбіозу аборигенних мікроорганізмів з бобовими культурами зазвичай обумовлений невисокою активністю або недостатньою їх чисельністю в зоні проростання насіння. Тому, у зв'язку з цим, технології вирощування бобових культур обов'язково повинні передбачати такий агрозахід, як передпосівне оброблення (інокуляція) насіння мікробними препаратами штамів відповідних ризобій, які не тільки сприяють підвищенню продуктивності рослин, а й зумовлюють інтродукцію в ґрунт мікробіоценози високоефективних штамів бульбочкових бактерій [90, 130].

Дослідження впливу мінеральних добрив та інокуляції на продуктивність сочевиці проводили низка вчених [12, 21, 37, 42–44, 48, 125, 139, 156, 160, 169, 191, 192]. Тук, за даними [21] висота рослин на тлі

внесення мінеральних добрив збільшувалася на 3,3–3,4 %, тоді як інокуляція насіння з поєднанням підживлення рослин підвищували цей показник відповідно на 5,1 та 4,8 %. Зафіксовано найбільший приріст висоти рослин (10,8–12,2 %) за суміщення цих заходів. Окрім впливу на висоту рослин, внесення мінеральних добрив та інокуляція насіння зумовлювало збільшення кількості бобів та насіння, а також маси 1000 насінин. Найістотніше підвищення цих показників було відмічено у варіантах досліду з внесенням мінеральних добрив у дозах $N_{15}P_{45}K_{45}$ та $N_{10}P_{40}K_{55}$.

У праці [160] висвітлено, як інокуляція насіння та добрива впливають на фотосинтетичну діяльність рослин сочевиці. В разі застосування $N_{90}P_{60}K_{60}$ площа листової поверхні була найбільшою і збільшувалася за сівби інокуюваним насінням на 9–13 %. Найбільша врожайність зерна забезпечувало внесення $N_{30}P_{60}K_{60}$. Сівба інокуюваним насінням збільшила врожайність сочевиці на 2–15 % залежно від рівня удобрення.

Інокуляція насіння та застосування різних доз добрив має значний вплив на симбіотичну діяльність рослини [42, 44, 141]. Дослідження [43], показали, що передпосівна інокуляція забезпечила збільшення маси бульбочок на 27 %, а їх кількості – на 13–34 %.

У дослідженнях впливу мінеральних добрив та інокуляції насіння встановлено, що приріст урожайності зерна сочевиці від підживлення рослин мікродобривом досягав 23 %, передпосівної інокуляції насіння 22 %, поєднання інокуляції і позакореневого підживлення – 34 %. Удобрення в поєднанні з інокуляцією підвищувало приріст урожайності на 54 %, а удобрення з підживленням мікродобривом на 53 %. У той же час поєднання інокуляції насіння, удобрення та позакореневого підживлення збільшувало продуктивність рослин на 61 % [21].

Інокуляція насіння також впливає на підвищення вмісту білка в зерні. Порівняно з контролем (без інокуляції) вміст білка в насінні сочевиці підвищувався на 2,7%, у варіанті інокуляція + $P_{46}K_{28,5} + B_1$ - на 3,9 %, а інокуляція + $P_{46}K_{28,5} + Mo_{0,5}$ – на 4,3 %. Максимальний збір білка був 0,56 т/га,

що забезпечувалося спільним внесенням фосфорних, калійних і мікродобрив на тлі проведення інокуляції, що було більше відносно контролю в 2,13 рази [50].

У дослідженнях, проведених в умовах Центрального Таджикистану отримали максимальну врожайність насіння сочевиці 1,44 т/га за спільного внесення фосфорних і калійних ($P_{46}K_{28,5}$) і мікродобрив ($B_1Mo_{0,5}$) у поєднанні з інокуляцією, що перевищувало контроль на 0,65 т/га або на 82 %, а в роки зі сприятливими за зволоженням умовами він становив 1,70 т/га. Приріст урожаю насіння у відношенні до контролю завдяки інокуляції складав за роки досліджень 0,27 т/га (34 %). Внесення $P_{46}K_{28,5}$ з молібденом і бором на тлі інокуляції збільшувало врожай на 0,39–0,43 т/га, а внесення азоту в дозі N_{85} знижувало його відповідно на 0,06 т/га [12].

Висновки до розділу:

1. В умовах сьогодення за нестачі тваринного білку, альтернативою є використання в харчування рослинного білка зернобобових культур, однією з яких і є сочевиця.
2. Поряд з харчовою цінністю сочевиці, не менш важлива є її цінність, як ґрунтового поліпшувача, адже здатність залишати після себе значну кількість азоту та раннє звільнення поля робить її відмінним попередником для озимих та більшості сільськогосподарських культур.
3. В сучасних економічних умовах є важливим раціональне застосування добрив та пошук шляхів їх оптимізації. Важливим і спірним питанням є застосування саме азотних добрив, через їх вплив на симбіотичну азотфіксацію.
4. При вирощуванні сочевиці велику увагу слід надавати умовам для нормального розвитку симбіотичного апарату, що забезпечить перехід рослини сочевиці на живлення азотом з повітря.

Публікації авторки, які відображають основні положення цього розділу [28, 29, 30, 100, 102, 137].

РОЗДІЛ 2

УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Ґрунтово-кліматичні та агрометеорологічні умови

Формування продуктивності сочевиці, як і всіх сільськогосподарських культур, залежить не лише від технології вирощування, а й від ґрунтово-кліматичних умов регіону вирощування. Детальний їх аналіз дозволяє знайти пояснення низки особливостей росту й розвитку та орієнтуватися в її потенційних можливостях у певних умовах [134].

Дослідження проводилися впродовж 2018–2021 рр. на дослідному полі Уманського національного університету садівництва, що розташоване в Маньківському природно-сільськогосподарському районі Середньо-Дніпровсько-Бузького округу Лісостепової Правобережної провінції України з географічними координатами 48°46' північної широти, 30°14' східної довготи. Висота над рівнем моря становить 245 м [123, 140].

Лісостепова ґрунтово-кліматична зона в межах України простягається на 1500 км і є перехідною від лісо-лучної до чорноземно-степової. Загальна площа Лісостепу становить 20699,3 тис. га (34 %) території України, з яких 65 % припадає на сільськогосподарські угіддя. Вона поділяється на три фізико-географічні підзони: Прикарпатську, Лівобережно-Дніпровську і Правобережно-Дніпровську [23].

Рельєф дослідного поля являє собою підвищене, вирівняне плато вододілу південно-східної і північно-західної експозицій. Поверхня плато вирівняна, з нахилом менше ніж 2–3°, тому поверхневий стік талих і атмосферних вод повільний і змиву ґрунту майже не відбувається. Підземні води залягають не глибше 25 м, тому їх вплив на будову і властивості ґрунту, а також на водоспоживання сільськогосподарських культур майже відсутній. Зволоження ґрунту відбувається завдяки атмосферним опадам, тому волога є лімітувальним чинником отримання високих врожаїв.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі. За своїми властивостями він займає проміжне місце між темно-сірим опідзоленим ґрунтом і чорноземом типовим [105]. Тому, одержані в польових дослідях дані можуть бути поширені і на ці підтипи ґрунтів.

Профіль чорнозему опідзоленого об'єднує в собі генетичні ознаки, що притаманні чорноземам типовим (висока і глибока гумусованість, наявність кротовин та ін.) і темно-сірим лісовим ґрунтам (чіткіша диференціація профілю за алювіально-ілювіальним типом, ущільнення та оглинювання в середній частині профілю, глибока вилуженість карбонатів, білувата присипка в гумусовому горизонті) [133]. Ці ознаки змінюються залежно від кліматичних і геоморфологічних умов ґрунтоутворення. Глибина гумусового горизонту залежить від крутизни схилу, експозиції і умов зволоження. Ілювіальний та елювіальний горизонти зазвичай виділяються на ґрунтах важкого гранулометричного складу. За решти однакових умов ці ознаки чіткіші на схилах північних експозицій.

Чорнозему опідзоленому характерні порівняно невеликі запаси органічних речовин у гумусовому горизонті та глибоке залягання карбонатного горизонту. Зазвичай карбонати залягають на такій глибині, звідки не завжди проходить їх капілярне підняття до гумусового горизонту, тому у верхній частині гумусового горизонту періодично може спостерігатися дефіцит кальцію в ґрунтовому розчині та незначне його підкислення [113, 132].

Гранулометричний склад чорнозему опідзоленого залежить від географічного положення. Зазвичай у ньому переважають крупні пиловаті часточки (40–65 %), мулисті (в межах 17–40) і фізична глина (23–65 %), однак з півночі на південь поступово відбуваються зміни від крупнопиловато-важкосуглинкових до пиловато-важкосуглинкових і навіть легкоглинистих [11, 132, 133]. Для нього характерний перерозподіл до 5 % мулистих часточок з елювіального в ілювіальний горизонт. Верхній горизонт збіднений на півтораоксида, але в ньому більше SiO_2 .

Чорноземні ґрунти мають високу природну родючість, але тривале землеробське використання призвело до агрофізичної деградації, втрат органічних речовин і, як наслідок, відбулося значне зниження їх потенційної природної родючості в цілому.

Вміст гумусу в ґрунті дослідних ділянок, згідно ДСТУ4289:2004 [55], підвищений (3,80 %), реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної ($pH_{\text{ксл}} 5,7$), вміст азоту легкогідролізованих сполук за ДСТУ 7863:2015 [63] – низький, рухомих сполук фосфору і калію за ДСТУ 4115:2002 [52] – підвищений. Він характеризується середнім вмістом кальцію, магнію, низьким вмістом мангану, цинку та міді, середнім вмістом кобальту (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Агрохімічні характеристики чорнозему опідзоленого дослідних ділянок

Показник		Глибина відбирання зразка, см	
		0–20	20–40
$pH_{\text{ксл}}$		5,6	5,8
Вміст гумусу, %		3,80	3,72
Ємність катіонного обміну, смоль/кг		27,4	28,2
Гідролітична кислотність, смоль/кг		2,68	2,55
Ступінь насиченості основами, %		89,8	91,0
Вміст рухомих сполук, мг/кг	$N_{\text{мін}}$	28	26
	P_2O_5	131	126
	K_2O	119	114
	S	9,9	9,2
	Zn	0,53	0,41
	Cu	0,15	0,14
	Mo	0,17	0,15
	Co	0,33	0,30
	Mn	32,0	26,2
	B	1,61	1,44

Отже, за агрохімічними показниками чорнозем опідзолений дослідного поля є придатним для вирощування основних польових культур за умови оптимального волого забезпечення, температурного режиму та умов мінерального живлення рослин. За умов належного рівня агротехнології він здатний забезпечити отримання високих і сталих урожаїв їх районованих сортів і гібридів сільськогосподарських культур.

Поряд з впливом людської діяльності на формування врожаю сільськогосподарських культур, не менш важливим є вплив погодних умов упродовж вегетаційного періоду [151]. В умовах Правобережного Лісостепу України волога є одним з основних чинників, що лімітують їх продуктивність [1].

Клімат регіону досліджень за тепловим режимом помірно-середньо-континентальний. Сума активних температур в межах 2400 °С на півночі та 3200 °С на півдні Правобережної Лісостепової провінції, гідротермічний коефіцієнт – 1,1–1,2. Період з середньодобовою температурою в регіоні вище (+5) °С триває до 230 діб, понад (+10)°С залежно від року – 140–160 діб.

Припинення біологічної вегетації внаслідок стійкого переходу середньодобової температури нижче (+5) °С зазвичай настає 6 листопада, весняне відновлення вегетації із стійким переходом середньодобової температури вище (+5) °С – 29 березня [150].

Для Правобережного Лісостепу характерні чітко виражені пори року. Початком осіннього періоду вважається пониження температури повітря до (+15) °С. Осінь в період проведення досліджень була тривалою, зазвичай теплою і сонячною. Перехід температури повітря нижче (+10) °С наступав із середини жовтня. У кінці жовтня зазвичай наступала похмура та дощова погода. В кінець осені періодично випадали дощ і сніг, що сприяло накопиченню вологи у ґрунті.

Зима настає за стійкого переходу середньодобової температури повітря через 0 °С і зазвичай починається в другій половині листопада, а закінчується в першій половині березня. Для зими характерна переважно

тепла і хмарна погода з періодичними відлигами, під час яких сніговий покрив розтає і потім під дією мінусових температур утворюється льодова кірка. Середня тривалість зимового періоду 104–117 діб, але в окремі роки можна спостерігати тривалість його від 62–80 до 118–147 діб. Найхолодніший його період характеризується зниженням середньої температури повітря до рівня $(-5)\dots(-7)$ °С. За зимовий період випадає 110–140 мм опадів, тобто лише 15–25 % від їх річної кількості. Стійкий сніговий покрив зазвичай можна спостерігати з другої декади грудня. Середня глибина промерзання ґрунту – 58 см, в окремі роки – до 100 см.

Перехід середньодобової температури повітря через 0 °С вважається початком весни. Потепління зазвичай відбувається в другій декаді березня і триває до початку третьої декади травня. Тривалість весняного періоду 55–65 діб, із середньою температурою повітря 9–10 °С та кількістю опадів 80–95 мм (20–25 % річної кількості).

Відтавання ґрунту до глибини 30 см спостерігається в середині березня, а на повну глибину – в кінці березня. Агрофізична зрілість верхнього шару ґрунту настає 10–15 квітня.

В травні зазвичай спостерігаються заморозки. Середня багаторічна дата останнього заморозку на поверхні ґрунту відмічалась 1–7 травня, в повітрі – 27 травня.

Перехід до літа (середньодобова температура повітря переходить через позначку $(+15)$ °С) в регіоні відбувається на початку третьої декади травня і за багаторічними даними триває 101–116 діб – до середини вересня. Тепла та порівняно волога погода позитивно впливає на проходження вегетації сільськогосподарськими культурами помірного поясу. Проте в окремі роки спостерігається літня посуха, спричинена тривалою нестачею надходження вологи з опадами та дією високих температур повітря, що призводить до великих втрат ґрунтових її запасів. Ці явища посилюють процес природного ущільнення ґрунту, тому досить часто в середині вегетаційного періоду, він стає злитим, масивної бриластої структури, верхній шар стає досить щільним

і твердим. В окремі роки навпаки, можуть спостерігатися часті та інтенсивні зливові дощі [1, 34].

За літній період у середньому випадає 233 мм (35–40 % річної кількості). Середня кількість опадів за період, коли температурами вище (+10) °С зменшується від 379 мм на півночі до 305 мм на півдні регіону, а відповідно гідротермічний коефіцієнт – від 1,4 до 1,1.

Погодні умови у роки проведення досліджень мали певні особливості.

Весна 2018 року розпочалася в третій декаді березня і була тривалою, спостерігалися наростання тепла в квітні та нетипово теплий травень. Кількість опадів у березні на 26,6 мм перевищувала середнє багаторічне значення, але в квітні та травні їх випадало менше норми, відповідно на 30,5 і 36,7 мм (табл. 2.2).

В першій декаді травня спостерігалось швидке наростання тепла, і досягало 19,8 °С, що на 6,8 °С перевищило типові для району показники. У другу та третю декади травня спостерігалось незначне зниження цього показника, тому сумарне місячне перевищення температури проти середніх багаторічних показників було 3,3 °С. В середньому за два останні весняні місяці спостерігався сумарний дефіцит опадів 67,2 мм, що пояснюється їх відсутністю з першої декади квітня до третьої декади травня.

Літо 2018 року було теплим, із середньою температурою повітря 21,0 °С, що на 2,7 °С вище кліматичної норми, а атмосферних опадів було на 55,1 мм менше – 177,9 мм. Середня температура повітря літніх місяців була відповідно 20,2; 20,7 та 22,1 °С, що на 2,6, 1,7 та 3,9 °С вище типової величини місцевості. Атмосферні опади літнього сезону мали зливовий характер у червні і липні, а їх кількість складала 175,3 мм, що на рівні кліматичної норми, а от в серпні їх було на 56,4 мм менше, що викликало посушливі умови [106].

Весна 2019 року розпочалася на початку березня з температурою в межах 4,7–4,3 °С та перевищувала типові значення місяця (4,1 °С). У другій декаді квітня відмічено наростання тепла до 7,3 °С, а в третій – до 12,4 °С,

Таблиця 2.2

Метеорологічні умови у роки вирощування сочевиці (метеостанція Умань)

Показник	Всього за рік	Місяць											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сума опадів, мм													
Середнє багаторічне	586	38	34	36	41	52	81	68	49	61	43	43	40
2018	600,8	58,4	43,7	65,6	17,5	18,3	82,4	92,9	2,6	105,2	13,8	49,9	50,5
2019	376,6	55,1	23,8	16,3	22,4	35,6	69,8	33,8	19,2	30,6	10,3	14,0	45,7
2020	479,0	12,7	50,5	23,9	21,0	101,0	70,4	21,4	17,1	27,4	81,5	19,4	32,6
2021	641,6	59,7	43,2	32,4	49,9	56,4	104,7	89,8	69,9	16,2	7,0	21,2	91,2
Середня температура повітря, °С													
Середнє багаторічне	8,8	-3,4	-2,3	2,5	9,7	15,4	19,0	20,9	20,1	14,5	8,3	2,8	-1,8
2018	9,2	-3,0	-3,6	-1,5	13,5	17,9	20,2	20,7	22,1	15,8	10,1	0,2	-2,0
2019	10,4	-4,7	0,5	4,5	9,6	17,0	23,4	20,0	20,7	15,6	10,0	5,5	2,2
2020	10,7	0,4	2,2	6,3	9,2	12,5	20,9	21,6	21,2	17,8	12,7	3,7	0,0
2021	8,7	-2,3	-3,8	2,0	7,4	14,0	19,8	23,2	20,3	13,0	7,2	4,7	-1,0

проте опадів за місяць випало лише 53 % від норми. Недобором опадів характеризувався і травень, упродовж якого випало 35,6 мм опадів за середньобогаторічного показника 55 мм. Сумарне місячне перевищення температури травня проти типового було на рівні 3,7 °С. Літо виявилось спекотним – середня температура повітря 21,4 °С (на 3,1 °С вище кліматичної норми); атмосферних опадів було 122,8 мм, тобто на 53 % менше кліматичної норми. Середні температури повітря за літні місяці склали 23,4; 20,0 та 20,7 °С, що вище типової відповідно на 5,8; 1,0 та 2,5 °С. Атмосферні опади літнього сезону мали короткочасний, зливовий характер. Так, у червні, липні та серпні їхня кількість відповідно була менше середніх багаторічних значень, що призвело до посушливих умов. Негативна дія високих денних температур повітря більшості літніх днів пом'якшувало її зниження в нічний час та рясні роси, що дозволяло рослинам частково відновлювати баланс вологи і не досягати показника стійкого в'янення [107].

За температурним режимом весна 2020 року розпочалася в середині січня із встановлення температури на рівні 1,0–1,3 °С. Температура в лютому була в межах від 0,5 до 3,2 °С, а перевищення типових значень січня і лютого складало відповідно 6,0 і 6,4 °С. Південні потоки теплих повітряних мас спричинили відхилення середньомісячної температури березня від середньобогаторічного значення на 5,9 °С і становило – 6,3 °С. У квітні продовжувалося наростання тепла, але в межах середньобогаторічних значень. Упродовж місяця атмосферних опадів випало на 27 мм менше норми (21 мм). У травні панувала похмура, прохолодна погода з температурою від 11,6 до 13,5 °С, з середньою температурою 12,5 °С, що на 2,1 °С нижче середньобогаторічного показника. В травні випало 101 мм, що на 46 мм перевищувало середньобогаторічний показник.

Літо 2020 року було спекотним і посушливим, із середньою температурою повітря 21,2 °С, що на 3,0 °С вище середньобогаторічного показника. Сума атмосферних опадів становила 108,9 мм, що на 124,1 мм (47 %) менше середньобогаторічного. Атмосферні опади влітку були зливові,

але короткочасні. Так, у червні, липні і серпні їхня кількість була меншою середньобагаторічних значень відповідно на 16,6; 65,6 і 41,9 мм, що призвело до нетипових умов погоди. З другої декади липня почалася спекотна та суха погода упродовж 40 діб (температура повітря в денні години підвищувалася до 32,2–34,1 °С), що погіршувало умови формування врожаю сільськогосподарських культур [108].

Весна 2021 року видалася холодною. Середньомісячні температури становили у березні – 2,0 °С, квітні – 7,4 і травні – 14,0 °С, що відповідно на 0,5; 2,3 та 1,4 °С нижче багаторічних значень. Сума опадів за весняний період на 9,7 мм перевищувала норму. Відхилення значень температури повітря від середньобагаторічного показника по декадах склало в березні від 0,1 до 0,9 °С, в квітні – від 1,3 до 3,6 °С, а в травні було прохолодніше на 1,2–1,7 °С. У цілому весняний період 2021 року був сприятливим за кількістю атмосферних опадів – 138,7 мм (норма 129 мм) на тлі пониження температури проти середньобагаторічних значень на 1,4 °С. Літо 2021 року було одним із найтепліших за період тривалих спостережень з контрастним температурним режимом (від прохолодних днів і холодних ночей, до спеки і задухи, проте багаторічні температурні рекорди при цьому не відзначалися); різними за інтенсивністю, нерівномірними атмосферними опадами, які впродовж тривалого періоду вегетації забезпечили потреби рослин вологою. Середня температура повітря сезону становила 21,1 °С, що на 1,1 °С вище позначки середнього багаторічного значення. Сума атмосферних опадів була на 66,4 мм більше норми і становила 264,4 мм. За період із середньодобовою температурою повітря ≥ 10 °С гідротермічний коефіцієнт становив 1,2 – недостатнє зволоження; в межах місяців змінювався в наступній послідовності: червень – 1,8 (надмірне зволоження), липень – 1,33 (достатнє зволоження), серпень – 1,1 (недостатнє зволоження) [109].

Отже, в цілому ґрунтово-кліматичні умови регіону придатні для отримання високої продуктивності сочевиці.

2.2 Методика проведення досліджень

Полеві досліді закладали за такою схемою:

- | | |
|--|---|
| 1. Без добрив (контроль) | 6. Фон + N ₃₀ S ₃₄ |
| 2. P ₃₀ K ₄₀ – фон | 7. Фон + N ₆₀ |
| 3. K ₄₀ + N ₆₀ | 8. Фон + N ₃₀ + Mo |
| 4. P ₃₀ + N ₆₀ | 9. Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo |
| 5. Фон + N ₃₀ | 10. Фон + N ₆₀ + Mo. |
- 11–20. Варіанти 1–10 + інокуляція.

Повторність досліду триразова. Площа дослідної ділянки 36 м², облікової – 25 м².

Дослідження проводили з сортом сочевиці Антоніна, оригінатор якого є Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України. Він рекомендований для вирощування в зоні Степу і Лісостепу. Морфологічні ідентифікаційні ознаки сорту Антоніна: забарвлення сім'ядолей зеленувато-жовте; габітус рослини напівпрямий; не вони не мають антоціанового забарвлення. Під час цвітіння рослини середньої висоти мають помірну інтенсивність галушення. Листки еліптичні, помірного зеленого забарвлення, розмір і кількість листочків середня. На вузлах формується по дві квітки середнього розміру білого забарвлення без фіолетових смуг на парусі і крилах. Інтенсивність забарвлення бобу перед збиральною стиглістю помірна. На момент збиральної стиглості забарвлення зелене. Біб за шириною та довжиною (без дзьобика) – середній з 1–2-ма насінинами. Суха насінина за шириною широка, профіль у поздовжньому розрізі – еліптичний, основне забарвлення шкірки – зеленувато-жовте [73].

Сорт сочевиці Антоніна має такі показники господарської придатності: висота рослини становить 55 см, висота кріплення нижнього бобу – 16 см, тривалість періоду вегетації – 73 доби. Урожайність насіння – 2,1 т/га, маса 1000 насінин – 55,8 г. Вміст білка – 23,4 %. Стійкість бобів до розтріскування – 6 бала. Дружність досягання – 8 бала. Стійкість рослин до вилягання та сухостійкість – 7 бала. Стійкість проти ураження аскохітозом – 6 бала,

фузаріозом і бактеріальним в'яненням – 7. Стійкість проти попелиці – 6 бала [73].

Технологія вирощування сочевиці була рекомендованою для регіону проведення досліджень. В сівозміні сочевиця розміщувалися після ячменю ярого.

Після збирання попередника проводилося дискування на глибину 6–8 см та оранку на 22–24 см. Весною проводили вирівнювання зябу та передпосівну культивуацію.

Сівбу сочевиці проводили за температурного режиму ґрунту 7–10 °С, сівалкою СЗ–3,6 з шириною міжрядь 15 см. Глибина загортання насіння 6 см.

Система удобрення сочевиці передбачала внесення під зяблеву оранку фосфорних (суперфосфату гранульованого) та калійних добрив (калію хлористого). Весною під передпосівну культивуацію згідно схеми досліду вносили азотні добрива (аміачну селітру та сульфат амонію). Молібден вносився передпосівним обробленням насіння сочевиці молібдатом амонію в дозі 300 г/т.

Для проведення передпосівної інокуляції насіння сочевиці використовувався препарат Ризоактив Бобові. Титр життєздатних клітин – не менше 2×10^9 КУО/мл препарату, рекомендована доза препарату 1–3 л/т насіння. Оскільки, сочевицю вперше вирощували на дослідних ділянках, для більш активного заселення бактерій, насіння обробляли максимальною дозою бактеріального препарату.

Всі удобрювальні продукти, які використовувалися в дослідях включені в «Перелік пестицидів та агрохімікатів дозволених до використання в Україні» [131].

Дослідження проводилися згідно загальноприйнятих методик з наукових досліджень [69].

Під час проведення досліджень з сочевицею виконувалися такі спостереження та аналізи:

➤ перед закладанням дослідів проводили відбір проб для агрохімічного дослідження ґрунту згідно ДСТУ 4287:2004 [54] і визначали такі показники:

- вміст гумусу згідно з ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини [55];
 - рН інструментальним методом згідно ДСТУ ISO 10390:2007 Якість ґрунту. Визначення рН [66];
 - гідролітичну кислотність за ДСТУ 7537:2014 Якість ґрунту. Визначення гідролітичної кислотності [62].
 - вміст легкогідролізованого азоту за методом Корнфілда (ДСТУ 7863:2015 Якість ґрунту. Визначення легкогідролізованого азоту методом Корнфілда) [63];
 - рухомі сполуки фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова (ДСТУ 4115-2002 Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і обмінного калію) [52];
 - рухомі сполуки сірки – за ДСТУ 8347:2015 Якість ґрунту. Визначення рухомої сірки в модифікації ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського [65]
 - визначення нітратного та амонійного азоту за ДСТУ 4729:2007 Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського [56]
 - вміст рухомих форм мікроелементів (у буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8) – методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії згідно з ДСТУ 4770.1:2007 [57]; ДСТУ 4770.2:2007[58]; ДСТУ 4770.6:2007 [60];
 - вміст рухомих сполук молібдену – за методом Григгу в модифікації ЦІНАО : ОСТ 10 151-88 [24];
 - вміст рухомих сполук кобальту – ДСТУ 4770.5:2007 [59];
 - вміст рухомих сполук бору – за методом Х. М. Починка [24].
- під час вегетації сочевиці виконувалися обліки і спостереження:
- площу листової поверхні – за методом висічок [69];
 - кількість і масу бульбочок на рослині – згідно методики, описаної В. В. Волкогоном та ін. [19];
 - структуру урожаю сочевиці перед збиранням урожаю [69];

- облік урожаю зерна проводили методом суцільного збирання [69].

У рослинних зразках визначали:

- вміст сухої речовини термостатно-гравіметричним методом [68];
- чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) розраховували за формулою [71]

$$\text{ЧПФ} = (B_2 - B_1) / (0,5 * (L_1 + L_2) * t),$$

де B_1, B_2 – суха маса рослин на початку і в кінці облікового періоду, г;

$(B_2 - B_1)$ – приріст сухої маси за обліковий період, г;

L_1 і L_2 – площа листків на початку і в кінці облікового періоду, м²;

t – період між двома обліками, дб.

Аналітичні дослідження проводилися згідно загальноприйнятих методик за такими показниками:

- вмісту азоту, фосфору, калію методом мокрого озолення за МВВ 31-497058-019-2005 [98].
- показники якості (вміст сирих білка, жиру, клітковини) методом інфрачервоної спектроскопії [53];
- масу 1000 зерен – за ДСТУ ISO 520:2015 Зернові і бобові. Визначення маси 1000 зерен [67];
- вміст кальцію, магнію, сірки, мікроелементів у рослинному матеріалі відповідно до ДСТУ 8123:2015 [64].

Урожайні дані обробляли методом дисперсійного аналізу згідно «Основи наукових досліджень в агрономії» [69] з використанням сучасного пакету програм («AGROSTAT», Excel, Statistica 8.0);

Коефіцієнти використання основних елементів живлення (N, P, K) з мінеральних добрив розраховували різницевим методом, порівнянням варіанту досліді з повним мінеральним добривом (NPK) з парними їх комбінаціями (PK, NK, NP) [25].

Баланс елементів живлення в ґрунті розраховували за спрощеною методикою. Азот, що надходив в ґрунт з насінням, атмосферними опадами і фіксований з повітря вільноіснуючими мікроорганізмами прирівнювали до природних витрат (ерозія, вимивання, звітрювання), вважали, що фосфор і калій

від ерозії й вимивання покривалися надходженням з насінням і атмосферними опадами, тому до прибуткової частини балансу враховували лише надходження елементів живлення з мінеральними добривами, а азоту – й завдяки симбіотичній азотфіксації [36].

Оптимальні дози добрив та доцільність застосування мікробного препарату визначали за показниками агрохімічної, економічної та енергетичної ефективності з урахуванням витрат за технологічними картами та цін реалізації насіння сочевиці у IV кварталі 2022 року [25].

Висновки до розділу:

1. Характеристика ґрунтових умов місця проведення досліджень вказує на їх типовість для Правобережного Лісостепу та придатність для вирощування найбільш поширених сільськогосподарських культур, в тому числі і сочевиці.
2. Гідротермічні умови у роки проведення досліджень, не дивлячись на певні відхилення, були типовими для регіону, що дозволило об'єктивно оцінити вплив досліджуваних чинників на процеси росту, розвитку та формування продуктивності сочевиці.
3. Наукові дослідження виконували згідно ДСТУ та загальноприйнятих методик. Агротехнологія в досліді була загальноприйнятою для регіону, крім чинників, що вивчалися в досліді.

РОЗДІЛ 3

ПОЖИВНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ

СОЧЕВИЦІ

Важливим чинником впливу на обмін речовин у рослині є поживний режим ґрунту. Основним показником, що його регулює є родючість ґрунту. Вважається, що родючість ґрунту є важливим енергетичним ресурсом, який не може зрівнятися з іншими видами енергії за значенням для аграрного виробництва [10]. Показником, що його характеризує є вміст потенційно доступних елементів живлення в кореневмісному шарі ґрунту впродовж вегетації, перш за все азоту, фосфору й калію. Вважають, що поліпшити ці показники можна внесенням добрив. Проте, якщо мінеральні добрива застосуються у низьких дозах, то можливе навіть зменшення вмісту елементів живлення в ґрунті [27].

Причинами зниження родючості ґрунтів є нехтування одного із законів землеробства – повернення елементів живлення, що були винесені з урожаєм, а також застосування незбалансованої системи удобрення, де переважає частка азоту. Завдяки внесенню азотних добрив посилюється використання ґрунтових запасів азоту, що пов'язано з пришвидшеною мінералізацією його лабільних органічних сполук. Бездефіцитний або додатний баланс гумусу є основною умовою для відновлення родючості ґрунтів [10, 45, 147, 150].

Збереження та відновлення родючості ґрунтів, отримання високих і якісних урожаїв сільськогосподарських культур без застосування мінеральних і органічних добрив практично не можливе. Тенденція щорічного світового зростання потреб у добривах пов'язана з прагненням аграріїв отримувати високі врожаї сільськогосподарських культур [128].

Завдяки оптимізації мінерального живлення можна підвищити рівень врожаю зернобобової культури в умовах достатнього вологозабезпечення на 34–83 % та на 28–30 % за менш сприятливих умов [91].

Присутність у ґрунті мінеральних сполук, особливо таких елементів, як азот, фосфор і калій стимулює ростові процеси. Однак, занадто високий рівень живлення ними гальмує вчасне формування репродуктивних органів рослин [71]. Тому, є потреба в дослідженнях поживного режиму ґрунту, та встановлення потреби у дозах внесення удобрювальних продуктів для його регулювання.

У формуванні продуктивності та якості врожаю сочевиці значна роль належить особливостям росту та розвитку рослин, тому є важливим доскональне вивчення усіх змін, що відбуваються впродовж вегетації з рослинами під впливом різних складових технології вирощування, серед яких важливе значення має формування поживного режиму ґрунту.

3.1 Азотний режим ґрунту

Вважається, що азот найважливіший елемент для життєдіяльності рослин, що входить до складу білків, хлорофілу, алкалоїдів, нуклеїнових кислот, ферментів та інших органічних речовин. Його нестача може викликати незворотні фізіологічні та морфологічні зміни, що призведуть до зменшення рівня врожайності культур [112, 201]. Азот бере участь у білковому та вуглеводному обміні рослин, передачі спадкової інформації організму, фотосинтезі [25].

Азот є найбільш лабільним порівняно з іншими макроелементами. На його мінливість значно впливають фізико-хімічні властивості ґрунту, його гранулометричний склад, мікробіологічні процеси, а також видовий склад культур сівозміни [17].

Накопичення азоту в ґрунті залежить від таких процесів: нітрифікація, амоніфікація, хімічне та біологічне поглинання, необмінна фіксація, споживання сільськогосподарськими культурами та бур'янами, вимивання. Також певна частина азоту надходить з атмосферними опадами, серед якого переважає аміачна форма азоту [34].

Основне значення серед азоту мінеральних сполук у живленні рослин належить нітратній та амонійній формам азоту ґрунтового розчину або колоїдів. Ці сполуки азоту легкокорозчинні, динамічні в часі й легкодоступні рослинам. На їх доступність впливають біологічні процеси, що проходять у ґрунті, які в свою чергу залежать від погодних і ґрунтових умов [17, 51, 118].

У польових умовах роль нітратного та амонійного азоту в живленні рослин не однакова. Нітрати – це основна форма азотного живлення рослин. Цінність амонійного форми, як джерела азоту менша, і досить значний його вміст в ґрунті ще не означає доброї забезпеченості рослин цим елементом. Він є менш доступним для рослин порівняно з нітратною формою, особливо це проявляється на ґрунтах з кислою реакцією. Амоній знаходиться в ґрунті в поглинутому стані, а кисла реакція ґрунтового розчину гальмує процес нітрифікації [49].

Для характеристики азотного режиму ґрунту зазвичай прийнято визначати вміст нітратної та амонійної форм азоту, що є рухомими і найбільш доступними для рослин. Результати проведених досліджень вказують на помітне підвищення в ґрунті, як нітратної, так і амонійної форм азоту в першу чергу залежно від доз азотних добрив і строку визначення (табл. 3.1, 3.2).

Встановлено, що в різні періоди росту й розвитку рослин сочевиці у варіантах дослідів відбувалися суттєві зміни у забезпеченні азотом нітратних сполук. Як видно з даних табл. 3.1, у варіанті дослідів, де не вносилися добрива (контроль) на період гілкування сочевиці вміст нітратного азоту в кореневмісному шарі ґрунту 0–20 см у середньому за роки проведення досліджень був найменшим – 7,5 мг/кг. Також цей показник був низький у варіанті дослідів де вносилися лише фосфорні і калійні добрива – 7,6 мг/кг ґрунту.

Таблиця 3.1

Динаміка вмісту азоту нітратів (N-NO₃) у ґрунті під посівами сочевиці залежно від удобрення (2018–2021 рр.),

мг/кг

Варіант дослідження	Фаза росту й розвитку рослин											
	Гілкування			Цвітіння			Утворення бобів			Повна стиглість		
	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60
Без добрив (контроль)	7,5	6,2	5,7	7,0	5,9	5,1	6,0	5,1	5,1	3,5	1,9	1,1
P ₃₀ K ₄₀ – фон	7,6	6,1	5,4	7,1	4,8	5,3	5,8	5,3	3,4	2,0	1,5	1,2
K ₄₀ + N ₆₀	10,6	7,1	5,2	9,1	4,8	5,1	6,3	4,9	3,2	2,7	1,6	1,2
P ₃₀ + N ₆₀	10,8	7,1	5,1	8,8	5,4	5,1	6,1	5,1	2,8	2,8	1,4	1,2
Фон + N ₃₀	9,1	6,9	4,9	7,2	5,2	5,0	6,2	4,8	2,8	2,7	1,6	1,7
Фон + N ₃₀ S ₃₄	9,2	7,0	4,9	7,3	4,9	5,2	6,2	5,0	2,9	2,8	1,3	1,6
Фон + N ₆₀	11,1	7,5	5,1	8,9	5,2	4,8	6,4	5,2	3,0	2,9	1,5	1,3
Фон + N ₃₀ + Mo	9,1	7,2	5,2	7,1	5,2	4,7	6,3	5,0	3,0	3,0	1,7	1,6
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	9,5	7,3	5,4	7,3	5,2	4,8	6,1	4,9	3,2	3,2	1,7	1,7
Фон + N ₆₀ + Mo	11,2	7,4	5,3	9,2	5,3	4,9	6,2	5,3	2,9	3,3	1,6	1,5
HIP ₀₅	0,7	0,4	0,3	0,6	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2

В шарах ґрунту 20–40 та 40–60 см спостерігалася тенденція до зниження вмісту нітратного азоту. Це пояснюється тим, що азотні добрива в досліді вносили навесні під передпосівну культивуацію, що обмежувало їх переміщення по профілю ґрунту. В літній період у регіоні проведення досліджень, не дивлячись на випадання опадів, іде висхідний рух вологи. Крім того, нижчі шари ґрунту мають менший вміст органічних речовин, тому азоту нітратних сполук утворюється менше, порівняно з верхнім шаром ґрунту.

В наступні фази росту й розвитку рослин: цвітіння, утворення бобів, повна стиглість, спостерігалася зниження вмісту нітратного азоту в результаті інтенсивного його використання рослинами і мікроорганізмами. Найнижчий вміст нітратного азоту в усіх досліджуваних шарах ґрунту відмічено в фазу повної стиглості, що пояснюється використанням його на формування врожаю, зниженням вологості ґрунту і затуханням процесу нітрифікації. Внесення азотних добрив, незалежно від форм – аміачна селітра чи сульфат амонію, сприяло підвищенню його вмісту найбільше в шарі ґрунту 0–20 см. На початку вегетації сочевиці було відмічено незначне підвищення вмісту нітратів і в шарі 20–40 см. Значної різниці з вмістом нітратів як між варіантами досліді, так і шарами ґрунту за внесення аміачної селітри і сульфату амонію, внесених в еквівалентній кількості азоту, не виявлено. Це свідчить про високу мікробіологічну активність чорнозему опідзоленого.

Поряд з нітратної формою азоту, рослини використовують й амонійну. Основними джерелами амонійного азоту є мінеральні добрива та процеси амоніфікації – розкладання органічних сполук під дією мікроорганізмів-амоніфікаторів. Дані щодо вмісту амонійних форм азоту в ґрунті наведено в табл. 3.2.

З даних табл. 3.2 видно, що найменший вміст амонійного азоту відмічено в усі стадії розвитку рослин у кореневмісному шарі 0–20 см у варіанті досліді без внесення добрив.

Таблиця 3.2

Динаміка вмісту амонійного азоту (N-NH₄) у ґрунті під посівами сочевиці залежно від удобрення (2018–2021 рр.), мг/кг

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин											
	Гілкування			Цвітіння			Утворення бобів			Повна стиглість		
	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60
	Шар ґрунту, см											
	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60
Без добрив (контроль)	15,8	13,1	9,5	13,6	9,0	6,0	8,4	6,1	4,9	4,0	2,5	1,9
P ₃₀ K ₄₀ – фон	16,2	13,2	9,1	14,1	9,5	6,2	9,1	6,1	5,3	4,0	2,7	2,0
K ₄₀ + N ₆₀	19,1	13,2	9,9	14,0	8,9	8,0	8,7	6,1	5,5	4,1	3,9	3,0
P ₃₀ + N ₆₀	19,2	13,1	10,0	13,9	9,0	8,1	8,6	6,0	5,3	4,0	3,7	2,9
Фон + N ₃₀	17,5	13,3	9,8	14,0	9,3	7,0	8,8	6,4	5,5	4,2	2,8	2,0
Фон + N ₃₀ S ₃₄	17,8	13,5	10,0	14,0	9,4	7,1	9,0	5,8	5,9	4,1	3,0	2,2
Фон + N ₆₀	19,8	13,5	9,5	14,5	8,8	8,2	9,0	5,8	6,1	4,5	3,4	2,5
Фон + N ₃₀ + Mo	17,5	13,1	9,8	14,2	8,7	7,3	9,2	6,1	6,0	4,3	3,0	2,3
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	17,1	12,8	9,7	14,5	8,9	7,5	8,8	5,8	6,3	4,5	3,2	2,5
Фон + N ₆₀ + Mo	19,2	13,1	10,1	13,9	9,2	8,5	8,5	6,1	6,5	4,6	2,9	2,8
<i>HIP</i> ₀₅	1,3	0,7	0,6	0,8	0,5	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2

Так, як вміст нітратного азоту в динаміці зменшується під час вегетації, так і вміст амонійного азоту має тенденцію до зменшення не залежно від варіанту досліду й шару ґрунту. Слід відмітити, що внесення азотних мінеральних добрив сприяє підвищенню вмісту амонійної та нітратної форм азоту в ґрунті. Проте в окремих варіантах відмічається навпаки, його зменшення відносно контролю, що можна пояснити активним формуванням біомаси рослин внаслідок високого забезпечення іншими елементами живлення. Як наслідок формується вищий врожай, який потребує більшого засвоєння азоту з ґрунту. Азотний режим ґрунту в значній мірі залежав від вмісту амонійного й нітратного азоту та їх динаміки за період вегетації, адже азот мінеральних сполук є основним джерелом живлення рослин. Встановлено, що вміст азоту мінеральних сполук змінювався залежно від удобрення та шару ґрунту (табл. 3.3).

Варто відмітити, що визначення вмісту азоту мінеральних сполук, залежно від варіанту досліду та досліджуваної фази росту й розвитку сочевиці спостерігались аналогічні тенденції, що й при визначенні нітратної та амонійної форм.

За внесення азотних добрив у дозі 60 кг/га д. р. на тлі $P_{30}K_{40}$ у фазу гілкування сочевиці вміст азоту мінеральних сполук підвищувався в шарі ґрунту 0–20 см на 33 %, а в шарі 20–40 см – на 9 % за вмісту на контролі відповідно 23,3 і 19,3 мг/кг. У динаміці різниця між варіантами досліду за цим показником зменшувалася, що свідчить про використання азоту на формування врожаю сочевиці, а також трансформацію його в органічні сполуки ґрунту, засвоєння мікроорганізмами, тощо.

Дослідженнями встановлено, що за внесення азотних добрив у складі азоту мінеральних сполук ґрунту збільшується частка азоту нітратів. Так, у фазу гілкування сочевиці частка нітратів у ґрунті на ділянках без добрив у шарі ґрунту 0–20 см становила 32 %, тоді як за внесення N_{60} на тлі $P_{30}K_{40}$ – 36 %.

**Динаміка вмісту азоту мінеральних сполук (N-NO₃ + N-NH₄) у ґрунті під посівами сочевиці залежно від
удобрення (2018–2021 рр.), мг/кг**

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин											
	Гілкування			Цвітіння			Утворення бобів			Повна стиглість		
	Шар ґрунту, см											
	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60
Без добрив (контроль)	23,3	19,3	15,2	20,6	14,9	11,1	14,4	11,2	8,4	5,9	4,0	3,0
P ₃₀ K ₄₀ – фон	23,8	19,3	14,5	21,2	14,3	11,5	14,9	11,4	8,7	6,0	4,2	3,2
K ₄₀ + N ₆₀	29,7	20,3	15,1	23,1	13,7	13,1	15,0	17,0	8,7	6,8	5,5	4,2
P ₃₀ + N ₆₀	30,0	20,3	15,1	22,7	14,4	13,2	14,7	11,1	8,1	6,8	5,1	4,1
Фон + N ₃₀	26,6	20,2	14,7	21,2	14,5	12,0	15,0	11,2	8,3	6,9	4,4	3,7
Фон + N ₃₀ S ₃₄	27,0	20,5	14,9	21,3	14,3	12,3	15,2	10,8	8,8	6,9	4,3	3,8
Фон + N ₆₀	30,9	21,0	14,6	23,4	14,0	13,0	15,4	11,1	9,1	7,4	4,9	3,8
Фон + N ₃₀ + Mo	26,6	20,3	15,0	21,3	13,9	12,0	15,5	11,1	9,0	7,3	4,7	3,9
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	26,6	20,1	15,1	21,8	14,1	12,3	14,9	10,7	9,5	7,7	4,9	4,2
Фон + N ₆₀ + Mo	30,4	20,5	15,4	23,1	14,5	13,4	14,7	11,4	9,4	7,9	4,5	4,3

Отже, внесення азотних добрив, незалежно від форми – аміачна селітра чи сульфат амонію, сприяє поліпшенню азотного режиму ґрунту. Ці зміни найбільше стосуються шару ґрунту 0–20 см і майже не відбуваються в шарі 40–60 см. Від стадії гілкування до повної стиглості сочевиці вміст азоту мінеральних сполук знижується в 4–5 разів залежно від варіанту дослідів, що свідчить про інтенсивне його засвоєння рослинами і трансформацію в ґрунті.

3.2 Фосфорний режим ґрунту

Характерною ознакою, що вказує на родючість ґрунту є рівень його забезпеченості рухомими сполуками фосфору [115, 117, 121]. На доступність фосфору рослинам впливають такі чинники: погодні умови і вологість ґрунту, запас його в ґрунті та ступінь рухомості, дози і строки внесення добрив та ін. [121].

Внесення невеликих доз фосфору додатково стимулює ефект підвищення рухомості залишкових фосфатів. У ґрунтах, серед мінеральних форм фосфору, зустрічаються сполуки різної рухомості, серед яких найдоступнішими для живлення рослин є розчинні фосфати. Під розчинними або рухомими фосфатами розуміють не лише ті форми, що можуть бути засвоєні рослинами, а й ті, що здатні повільно переходити у ґрунтовий розчин і становлять резерв поповнення джерел фосфору для живлення рослин [115, 116].

Споживання фосфору рослинами зазвичай відбувається у вигляді аніонів фосфорної кислоти – H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} . Рівень доступного фосфору для рослин у верхніх шарах ґрунту також підвищується завдяки біологічному переміщенню фосфору з ґрунтоутворювальної породи. Існує пряма залежність збільшення вмісту рухливих форм фосфору в орному шарі ґрунту, залежно від кількості мінералів, що містять фосфор в ґрунтоутворювальній породі. Найбільша кількість доступних форм фосфору притаманна слабокислоту середовищі чорнозему вилуженого [117].

Засвоєння основної кількості фосфору рослинами припадає на перший період вегетації, що сприяє створенню його запасу, який потім реутилізується. Тому, для кращого розвитку кореневої системи і поглинання нею поживних речовин, важливо забезпечити рослини фосфором ще на початку вегетації. Недостатня забезпеченість фосфором у цей період може призвести до недобору врожаю, незважаючи на наступне посилене фосфорне живлення в пізніші строки [114].

Результати досліджень показали, що вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті в усі періоди визначення був вищий в шарі ґрунту 0–20 см, ніж в шарі 20–40 см (табл 3.4). Це можна пояснити, як глибиною внесення добрив та обробітку ґрунту, так і генетичними особливостями чорнозему опідзоленого.

Таблиця 3.4

Динаміка вмісту рухомих сполук фосфору (P_2O_5) у ґрунті під посівами сочевиці залежно від удобрення (2018–2021 рр.), мг/кг

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин							
	Гілкування		Цвітіння		Утворення бобів		Повна стиглість	
	Шар ґрунту, см							
	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40
Без добрив (контроль)	123	115	120	113	119	111	122	102
$P_{30} K_{40}$ – фон	128	129	124	114	126	115	129	115
$K_{40} + N_{60}$	120	112	117	114	111	112	120	102
$P_{30} + N_{60}$	129	128	123	113	126	115	123	110
Фон + N_{30}	130	124	128	115	126	114	124	114
Фон + $N_{30} S_{34}$	132	127	129	117	127	115	125	102
Фон + N_{60}	131	122	124	116	126	114	124	105
Фон + $N_{30} + Mo$	132	129	126	116	127	117	125	106
Фон + $N_{30} S_{34} + Mo$	130	129	129	116	128	119	122	106
Фон + $N_{60} + Mo$	128	126	128	117	124	116	121	104
<i>НІР₀₅</i>	8	7	7	6	7	5	6	5

Найбільший вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті відмічено в перший період його визначення, а саме у фазу гілкування сочевиці. У фазу цвітіння та утворення бобів спостерігалася тенденція до зменшення їх вмісту в ґрунті, що пояснюється активним використанням рослинами даного елемента, а також переходом у важкорозчинні сполуки. Під кінець вегетації рослин відмічена тенденція деякого відновлення вмісту рухомих фосфатів, що перш за все пояснюється незначним засвоєнням їх рослинами.

У фазу повної стиглості сочевиці різниця за їх вмістом у ґрунті між варіантами досліду була в межах помилки досліду. Це свідчить про те, що фосфорні добрива внесені в дозі 30 кг/га д. р. за внесення під зяблеву оранку на глибину 22–24 см сприяє поліпшенню фосфорного режиму орного шару ґрунту лише в першій половині вегетації сочевиці.

За внесення сульфату амонію в середньому за роки проведення досліджень відмічена тенденція поліпшення фосфатного режиму ґрунту, що можна пояснити підкисленням ґрунтового розчину цією формою добрива.

3.3 Калійний режим ґрунту

Під час вирощування високих урожаїв сільськогосподарських культур створюються умови, за яких вміст рухомих сполук калію в ґрунті лімітує отримання високих урожаїв. Нестача калію призводить до порушення життєво важливих циклів рослин, підвищує ураження рослин грибковими хворобами, призводить до зниження фотосинтетичної діяльності. Достатнє забезпечення рослин цим елементом підвищує стійкість посівів до вилягання, поліпшує їх фітосанітарний стан [40]. За умов збалансованого поєднання калію і фосфору відбувається пом'якшення дії надмірного азотного живлення рослинами [121].

На загальний вміст обмінних форм калію в ґрунті впливають різні чинники: ґрунтоутворювальні породи, їх мінералогічний склад, гранулометричний склад ґрунту. Порівняно з іншими макроелементами калій

не входить до складу органічних сполук, але сприяє переміщенню вуглеводів у клітинах і рослині, нормальному перебігу реакцій фотосинтезу. За достатнього калійного живлення зростає інтенсивність накопичення вуглеводів у рослині, що в свою чергу підвищує якість урожаю. Хоч і валовий вміст калію в орному шарі високий, його міграція по профілю ґрунту незначна. Калій мінеральних сполук ґрунту практично не доступний рослинам, але після переходу в іонну форму він легко ними засвоюється. Щорічно вивільняється певна кількість калію з мінералів, але цей процес знаходиться в тісній залежності з гранулометричним складом ґрунту та погодними умовами [40].

Рівень забезпеченості рослин калієм зазвичай характеризують вмістом його рухомих сполук у ґрунті. Визначення показника вмісту рухомого калію в ґрунті під посівами сочевиці показало, що найменшим він був у варіантах без внесення калійних добрив – контроль та $P_{30} + N_{60}$ незалежно від досліджуваного шару ґрунту (табл. 3.5).

Упродовж вегетації рослини сочевиці активно використовували калій для формування врожаю, тому відмічена тенденція його зменшення від фази гілкування до фази повної стиглості. Найбільш чітко ці зміни простежувалися в шарі ґрунту 0–20 см. Так, показник вмісту рухомих сполук калію зменшувався від фази гілкування до фази повної стиглості в межах 22–35 мг/кг ґрунту в шарі 0–20 см та в межах 21–29 мг/кг ґрунту в шарі 20–40 см.

Істотної різниці вмісту калію в ґрунті між контрольним варіантом без внесення калійних добрив і варіантами з їх внесенням у кінці вегетації сочевиці не встановлено.

Отже, отримані дані показують, що внесення калійних добрив в дозі 40 кг/га д. р. сприяє підвищенню вмісту рухомих сполук калію в шарі ґрунту 0–20 см на початку вегетації сочевиці. В динаміці спостерігається зменшення його вмісту в однаковій мірі, як на удобрених ділянках, так і на ділянках без внесення добрив.

**Динаміка вмісту рухомих сполук калію (K₂O) в ґрунті під посівами
сочевиці залежно від удобрення (2018–2021 рр.), мг/кг**

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин							
	Гілкування		Цвітіння		Утворення бобів		Повна стиглість	
	Шар ґрунту, см							
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Без добрив (контроль)	110	97	97	84	94	80	88	69
P ₃₀ K ₄₀ – фон	122	101	115	88	103	83	94	78
K ₄₀ + N ₆₀	120	103	115	87	102	82	96	77
P ₃₀ + N ₆₀	109	98	97	82	91	81	86	69
Фон + N ₃₀	120	102	115	86	100	81	92	78
Фон + N ₃₀ S ₃₄	124	102	116	87	102	82	91	79
Фон + N ₆₀	122	100	114	87	101	81	90	79
Фон + N ₃₀ + Mo	126	101	115	86	100	80	91	78
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	122	102	114	88	101	81	92	78
Фон + N ₆₀ + Mo	123	102	115	88	101	80	90	79
<i>HIP₀₅</i>	8	6	7	5	6	5	5	4

3.4 Вміст у ґрунті рухомих сполук сірки і мікроелементів

Поряд з основними елементами живлення, у живленні зернобобових культур важливе значення має сірка й мікроелементи [88]. Так само, як і азот, сірка є складовою частиною білка. Потреба в ній майже така сама, як і в фосфорі. Різні культури різняться за вмістом сірки, відповідно мають різну потребу в даному елементі, що обумовлено фазою росту, їх біологічними особливостями і вмістом сірки в атмосфері та ґрунті [25]. За зниження вмісту

рухомої сульфатної сірки до 10 мг/кг в орному шарі ґрунту виникає необхідність застосування сірчаних добрив [35, 184].

Дослідженнями встановлено, що внесення в ґрунт сірки із сульфатом амонію позитивно позначалося на її вмісті в шарі ґрунту 0–20 см на початку вегетації сочевиці, що забезпечило підвищення на 0,8– 1,3 мг/кг відносно абсолютного контролю, та 0,7–1,2 мг/кг відносно варіанту фон + N₃₀ (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Вміст рухомих сполук сірки (S–SO₄) у ґрунті під посівами сочевиці залежно від удобрення (2018–2021 рр.), мг/кг

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин					
	Сходи			Повна стиглість		
	Шар ґрунту, см					
	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60
Без добрив (контроль)	9,2	8,4	7,3	6,1	5,3	4,3
Фон + N ₃₀	9,3	8,6	7,2	6,4	5,5	4,3
Фон + N ₃₀ S ₃₄	10,0	8,9	7,6	6,3	5,3	4,0
Фон + N ₃₀ + Мо	9,3	8,7	7,3	6,5	5,7	4,5
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	10,5	9,4	7,5	6,0	5,9	4,2
<i>НІР₀₅</i>	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,3

У фазу повної стиглості сочевиці значення вмісту рухомих сполук сірки у ґрунті істотно не різнилися, що можна пояснити активним її використанням рослинами упродовж вегетації. При цьому слід зазначити, що в період вегетації рослин сочевиці зменшення її відбувається в більшій мірі на удобрених ділянках, ніж у варіантах без внесення добрив.

Отже, навіть при внесенні 34 кг/га сірки з добривами не забезпечує її оптимальний вміст – більш як 10 мг/кг ґрунту, що вказує на доцільність збільшення дози її внесення з добривами.

Багато вчених відзначали позитивний вплив мікроелементів у першу чергу, молибдену і бору на ріст і розвиток бульбочкових бактерій, процеси нодуляції і функціонування леггемоглобіну і нітрогенази [33, 169, 173].

Відмічено різний вплив мікроелементів на рослини. Так, бор сприяє формуванню генеративних органів, кобальт – активує ріст рослин завдяки кращому засвоєнню азоту, манган – визначає рівень врожаю культури. Також вони знижують негативну дію несприятливих зовнішніх умов, що поліпшує ріст і розвиток рослин. Особливе значення з фізіологічного погляду при цьому відводять бору та кобальту [25].

Дані табл. 3.7 показують, що на початку вегетації, а саме у фазу гілкування не всі мікроелементи у ґрунті знаходилися в оптимальних кількостях. Так, вміст мангану і бору був майже в половину нижчий від оптимального значення. А от вміст міді був навпаки, в два рази вищий.

Таблиця 3.7

Вміст рухомих сполук мікроелементів у шарі ґрунту 0–20 см під посівами сочевиці у фазу гілкування на ділянках без добрив, 2020–2021 рр.

Мікроелемент	Середній вміст, мг/кг		Рівень вмісту мікроелементів у ґрунті
	фактичний	оптимальний	
Mn	31,0	5,0–55,0	середній
Cu	0,14	0,04–6,70	середній
Zn	0,49	0,04–2,00	середній
B	1,50	0,50–1,50	середній
Mo	0,15	0,20–0,50	низький
Co	0,31	0,04–0,60	середній

Специфіка внесення мікродобрив не однакова залежно від елемента. Так, наприклад, внесення мангану безпосередньо в ґрунт є малоефективним, краще робити листкове підживлення, так само бор і залізо добре себе проявляють за позакореневого підживлення [25].

Отже, визначення вмісту рухомих сполук мікроелементів у ґрунті показує, що цей показник може мати важливе значення для розроблення системи удобрення сочевиці в певних умовах.

За результатами одержаних даних з використанням методу кореляційно-регресійного аналізу встановлено кореляційні зв'язки між вмістом у ґрунті поживних речовин і врожайністю сочевиці (рис. 3.1).

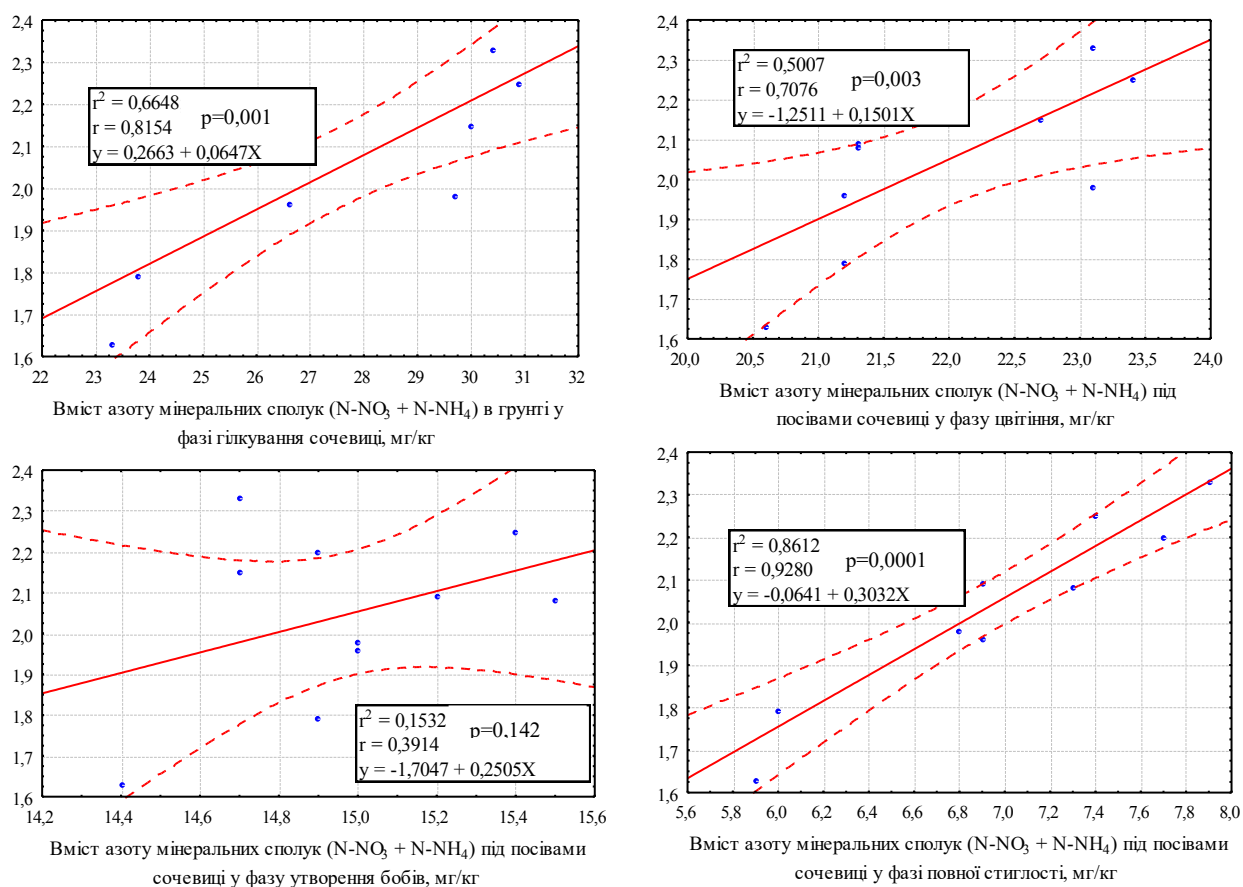


Рис. 3.1 Кореляційно-регресійні зв'язки та рівняння регресії між вмістом азоту мінеральних сполук у ґрунті та врожайністю сочевиці (т/га), 2018–2021 рр.

Характерною їх особливістю є те, що найбільший вплив на врожайність сочевиці створює азот мінеральних сполук. Залежно від стадії розвитку рослин сочевиці коефіцієнт кореляції становить 0,3914–0,9280. Найнижчим він був у фазі формування бобів (0,3914), а найвищим у фазі гілкування та повної стиглості – відповідно 0,8154 та 0,9280. Причиною цього ймовірно є

те, що сочевиця бобова культура і для неї притаманний процес симбіотичної азотфіксації, максимум якого припадає, як свідчать літературні джерела [33, 99, 129] на період цвітіння. Відповідно у фазу формування бобів рослини сочевиці використовують максимально симбіотичний азот. На початку і в кінці вегетації азотфіксація сповільнена або зовсім не проходить, тому в цей період рослини сочевиці використовують мінеральний азот з ґрунту і цим пояснюється тісна кореляційна залежність між вмістом азоту мінеральних сполук у ґрунті та врожайністю культури.

Дещо по іншому була залежність урожайності сочевиці від вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунті (рис. 3.2).

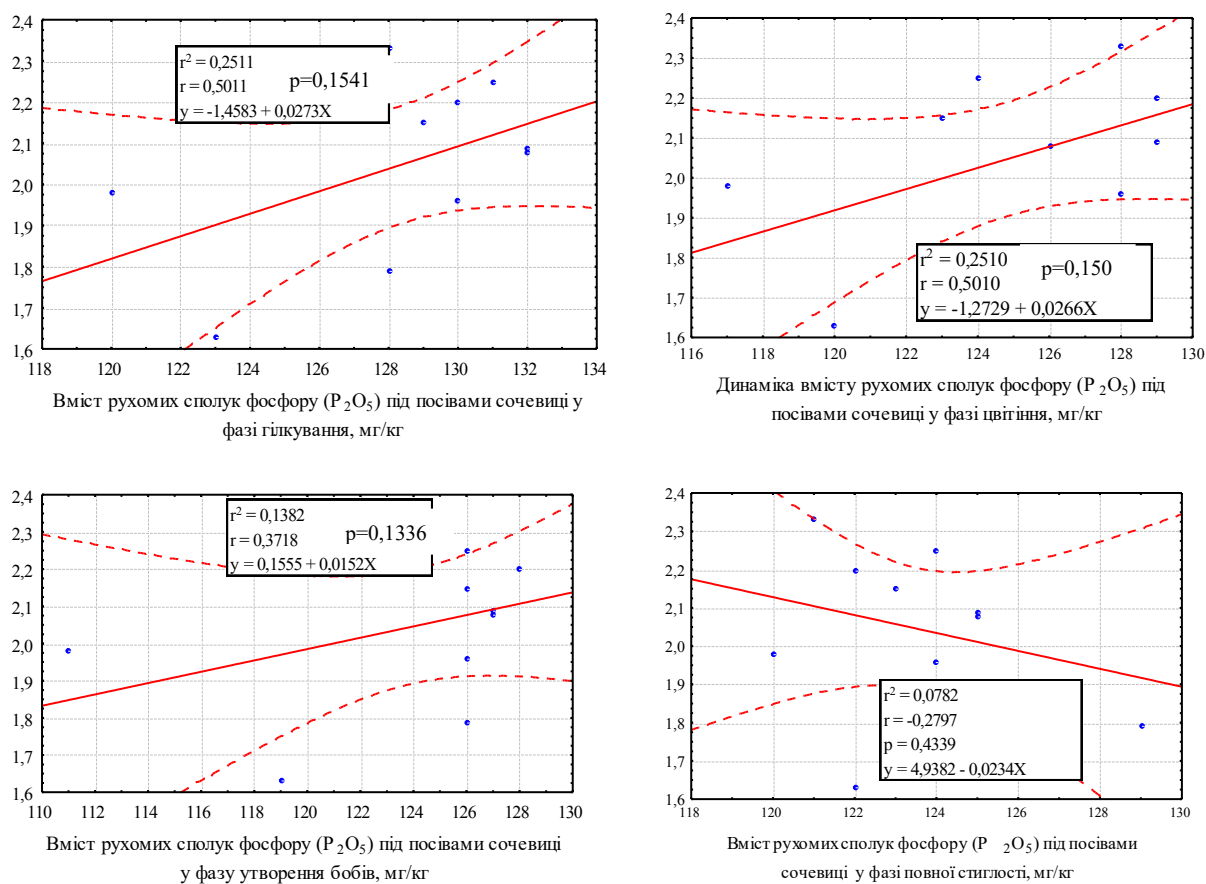


Рис. 3.2 Кореляційно-регресійні зв'язки і рівняння регресії між вмістом рухомих сполук фосфору в ґрунті та врожайністю сочевиці (т/га), 2018–2021 рр.

По всіх досліджуваних фазах вегетації сочевиці відмічено слабкий та середній кореляційний зв'язок між вмістом рухомих фосфатів у ґрунті та

врожайністю сочевиці. Проведеними дослідженнями підтверджено дані про підвищені вимоги сільськогосподарських культур до фосфорного живлення на початкових етапах вегетації [117]. Так, у фазах гілкування та цвітіння сочевиці коефіцієнт кореляції становив 0,5010–0,5011, що свідчить про середню кореляційну залежність між зазначеними величинами. У більш пізніші фази вегетації сільськогосподарських культур, у тому числі і сочевиці, вимоги до фосфорного живлення значно менші в зв'язку зі значною реутилізацією фосфору. Цим і пояснюється слабка кореляційна залежність між вмістом рухомих фосфатів у ґрунті в кінці вегетації та врожайністю сочевиці. Необхідно зазначити, що ґрунт дослідного поля відзначається підвищеною здатністю забезпечувати рослини фосфором. Як наслідок, рослини сочевиці достатньо забезпечені зазначеним макроелементом і тому не спостерігається сильного кореляційного зв'язку між вмістом його в ґрунті та врожайністю сочевиці.

Щодо залежності урожайності сочевиці від вмісту рухомих сполук калію в ґрунті, то простежується слабка та середня кореляційна залежності (рис. 3.3).

Як видно з рис. 3.3, спостерігається тенденція щодо зниження кореляційних зв'язків між зазначеними величинами у міру старіння рослин сочевиці. Причиною відсутності значного впливу вмісту калію в ґрунті на врожайність сочевиці ймовірно також є достатня забезпеченість ґрунту дослідних ділянок зазначеним елементом живлення і, як наслідок, рослини не відчують його дефіциту.

На основі одержаних експериментальних даних розроблено рівняння регресії, які описують залежність урожайності сочевиці від вмісту азоту, фосфору і калію в ґрунті за різними фазами вегетації сочевиці (3.1–3.4):

$$\text{гілкування } Y = -2,9757 + 0,0613X_1 + 0,0202X_2 + 0,006X_3; \quad (3.1)$$

$$\text{бутонізація } Y = -6,3694 + 0,1813X_1 + 0,037X_2 - 0,002X_3 \quad (3.2)$$

$$\text{формування бобів } Y = -2,3351 + 0,1884X_1 + 0,012X_2 + 0,0012X_3 \quad (3.3)$$

$$\text{повна стиглість } Y = -0,4444 + 0,3171X_1 + 0,009X_2 - 0,0101X_3 \quad (3.4),$$

де Y – урожайність сочевиці, т/га, X_1 – вміст азоту мінеральних сполук у шарі ґрунту 20 см, мг/кг, X_2 – вміст рухомих сполук фосфору у шарі ґрунту 20 см, мг/кг, X_3 – вміст рухомих сполук калію у шарі ґрунту 20 см, мг/кг.

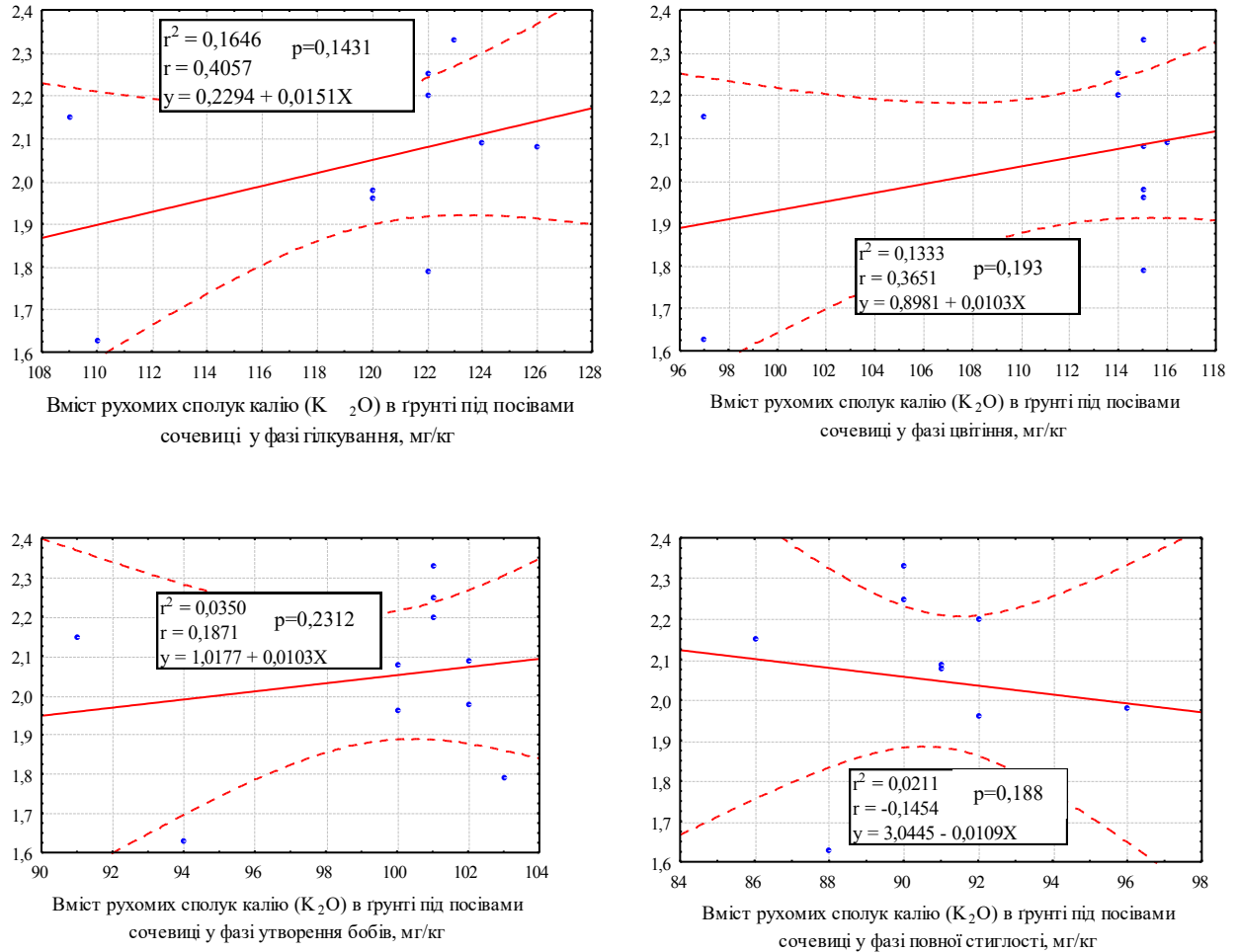


Рис. 3.3 Кореляційно-регресійні зв'язки і рівняння регресії між вмістом рухомих сполук калію в ґрунті та врожайністю сочевиці (т/га), 2018–2022 рр.)

Висновки до розділу:

1. Незалежно від варіанту дослідження впродовж вегетації спостерігається значне зниження вмісту мінерального азоту ґрунту в результаті його використання рослинами сочевиці на формування одиниці врожаю та інших природних чинників.

2. Зміни фосфатного режиму ґрунту не були сильно виражені. Спостерігалось незначне зниження його вмісту в ґрунті у фази цвітіння та утворення бобів, проте у фазу повної стиглості спостерігалось його відновлення завдяки реакціям, що спричинили вивільнення важкодоступних фосфатів ґрунту і внесених добрив.
3. Використання калію рослинами сочевиці було активне впродовж вегетації. Внесення калійних добрив в дозі 40 кг/га д. р. підвищує вміст рухомих сполук калію в шарі ґрунту 0–20 см на початку вегетації сочевиці, однак в динаміці впродовж вегетації спостерігається його зменшення в однаковій мірі незалежно від варіанту досліджу.
4. Встановлено значну потребу рослин сочевиці в сірці впродовж вегетації, при чому потреба в ній збільшується із підвищенням доз добрив, що є наслідком більш активного росту і розвитку рослин.
5. Поряд із макроелементами не менш важлива роль у формуванні врожаю і його якості належить мікроелементам. Найбільш важливими для сочевиці, як і для зернобобових, є молібден, кобальт і бор.

Публікація авторки, яка відображає основні положення цього розділу [29].

РОЗДІЛ 4

ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ТА ЯКОСТІ НАСІННЯ СОЧЕВИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ

4.1 Ріст і розвиток сочевиці

Динаміка накопичення сухої речовини є одним з найважливіших чинників у формуванні рівня продуктивності посівів, який в значній мірі відображає всі біохімічні та фізіологічні процеси, що відбувалися в рослинах упродовж вегетації.

Утворення та накопичення сухої речовини у рослинах відбувається внаслідок фотосинтезу. В процесі фотосинтезу з вуглекислого газу і води, під впливом сонячного світла, утворюються органічні сполуки, на які припадає 90–95 % сухої маси врожаю. Енергія отримана в результаті фотосинтезу лімітує засвоєння елементів мінерального живлення, які складають близько 5 % сухої речовини [8, 111, 159].

Найбільший вплив на накопичення органічних сполук має фотосинтез, що проходить у листках, тому показником, що узагальнює ефективність роботи фотосинтетичного апарату рослин є рівень накопичення сухої речовини. У підсумку це визначає рівень врожаю сільськогосподарської культури [10, 138].

На оптимальний ріст листкового апарату та накопичення сухої речовини рослинами значний вплив мають агротехнологічні складові технології вирощування, здатні забезпечити тривалішу роботу листкового апарату рослин, максимальне використання сонячної радіації на фотосинтез і формування високих урожаїв. Також до чинників, які визначають темп росту бобових рослин, відносять сортові особливості, забезпеченість ґрунту елементами живлення та інокуляцію насіння [120, 159].

З метою об'єктивного оцінювання потенціалу продуктивності посівів дослідного сорту сочевиці Антоніна було вивчено вплив удобрення та інокуляції на динаміку накопичення сухої речовини у рослинах (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Накопичення сухої речовини посівами сочевиці залежно від удобрення та інокуляції (2018–2021 рр.), т/га

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин			
	Гілкування	Цвітіння	Утворення бобів	Повна стиглість
Без добрив (контроль)	1,15/1,32	2,33/2,58	2,58/2,78	3,00/3,25
P ₃₀ K ₄₀ – фон	1,30/1,49	2,51/2,75	2,80/2,96	3,26/3,54
K ₄₀ + N ₆₀	1,98/2,18	2,83/3,02	3,08/3,29	3,55/3,90
P ₃₀ + N ₆₀	2,23/2,55	3,15/3,57	3,44/3,85	3,92/4,16
Фон + N ₃₀	2,15/2,51	3,12/3,49	3,33/3,81	3,81/4,20
Фон + N ₃₀ S ₃₄	2,41/2,74	3,40/3,75	3,70/3,98	4,11/4,43
Фон + N ₆₀	2,45/2,78	3,48/3,81	3,71/4,05	4,10/4,50
Фон + N ₃₀ + Mo	2,27/2,65	3,28/3,62	3,55/3,90	3,96/4,29
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	2,44/2,81	3,46/3,79	3,66/4,01	4,04/4,52
Фон + N ₆₀ + Mo	2,49/2,96	3,51/3,94	3,89/4,22	4,30/4,71
<i>НІР₀₅</i>	<i>0,09/0,11</i>	<i>0,14/0,18</i>	<i>0,17/0,18</i>	<i>0,19/0,22</i>

Примітка. До риски – без інокуляції, після риски – з інокуляцією

Дослідження показали значний вплив удобрення та інокуляції на накопичення сухої речовини у рослинах сочевиці.

Найменше сухої речовини було сформовано посівами сочевиці у фазі гілкування – 1,15–2,49 т/га у абсолютному контролі та 1,32–2,96 т/га за проведення передпосівної інокуляції насіння азотфіксуючими мікроорганізмами. Порівняльне оцінювання технологічних заходів вирощування сочевиці засвідчило доцільність застосування мінеральних добрив і бактеріальних препаратів. Так, у варіанті досліджу з внесенням P₃₀K₄₀ посівами сочевиці було сформовано 1,30 т/га сухої речовини без інокуляції та

1,49 т/га за передпосівної обробки насіння азотфіксувальними мікроорганізмами, що на 13 % більше в обох випадках порівняно з контрольними ділянками.

Внесення азотних добрив позитивно позначилося на накопиченні сухої речовини посівами сочевиці. Так, у варіанті досліду з внесенням $K_{40} + N_{60}$ маса сухої речовини становила 1,98 т/га без інокуляції та 2,18 т/га з інокуляцією. У варіанті досліду з внесенням $P_{30} + N_{60}$ накопичення сухої речовини було на рівні відповідно 2,23 та 2,55 т/га.

Внесення азотних добрив у дозі 30 та 60 кг/га д. р. на фосфорно-калійному тлі ($P_{30}K_{40}$) забезпечило накопичення сухої речовини на рівні відповідно 2,15 та 2,45 т/га без інокуляції та 2,51 і 2,78 т/га у варіанті досліду з інокуляцією.

Сочевиця, як і всі бобові культури, позитивно реагує на поліпшене живлення сіркою та молібденом. Так, за внесення $N_{30}P_{30}K_{40}S_{34}$ накопичилося 2,41 т/га сухої речовини без інокуляції та 2,74 т/га у варіанті із інокуляцією, а при застосуванні $N_{30}P_{30}K_{40}Mo$ – відповідно 2,27 та 2,65 т/га. Комплексне застосування зазначених елементів живлення (варіант фон + $N_{30}S_{34}+Mo$), завдяки синергізму збільшило кількість накопиченої сухої речовини до рівня відповідно 2,44 т/га та 2,81 т/га.

Найвищі показники накопичення сухої речовини відмічено у варіанті досліду з внесенням $N_{60}P_{30}K_{40}Mo$ – 2,49 т/га без інокуляції та 2,96 т/га з інокуляцією.

Різниця між контролем та варіантом із максимальним накопиченням вмісту сухої речовини сочевицею у фазі гілкування становила + 117 % без інокуляції та + 124 % з інокуляцією.

Проходження фенологічних фаз росту й розвитку сочевиці супроводжувалося накопиченням сухої речовини посівами. Слід зазначити, що загальні закономірності формування біомаси, які були відмічені у фазі гілкування збереглися і у пізніших фазах вегетації – цвітіння, утворення бобів і повної стиглості. Так, на контролі без добрив та інокуляції у фазі

цвітіння сочевиці накопичилося 2,33 т/га сухої речовини, у фазі утворення бобів – 2,58 і у фазі повної стиглості 3,00 т/га. У цьому ж варіанті досліду, але із проведенням інокуляції зазначені показники були більшими відповідно на 11; 8 і 8 %.

На фосфорно-калійному тлі посівами сочевиці на 1 га було сформовано, залежно від варіанту інокуляції 2,51–2,75 т сухої біомаси у фазі цвітіння, 2,80–2,96 т у фазі утворення бобів та 3,26–3,54 т у фазі повної стиглості.

Внесення N_{60} на тлі калійного удобрення (40 кг/га д. р.), забезпечило накопичення сухої речовини на рівні 2,83–3,02 т/га у фазі цвітіння, 3,08–3,29 т/га у фазі утворення бобів та 3,55–3,90 т/га у фазі повної стиглості залежно від передпосівної обробки насіння. У варіанті досліду з внесенням азотних (N_{60}) і фосфорних добрив (P_{30}) зазначені показники становили відповідно 3,15–3,57; 3,44–3,85 та 3,92–4,16 т/га.

Система удобрення, що передбачала застосування азоту, фосфору, калію, сірки і молібдену сприяла подальшому зростанню обсягів накопичення сухої біомаси посівами сочевиці. Найвищими ці показники виявилися у варіанті досліду з внесенням $N_{60}P_{30}K_{40}Mo$. Так, зокрема, у фазі цвітіння на 1 га накопичилося 3,51 т сухої біомаси за сівби неінокульованим насінням та 3,94 т – інокульованим. Під час формування бобів сочевицею зазначені показники становили відповідно 3,89 та 4,22 т, а у фазі повної стиглості – 4,30 та 4,71 т/га.

Отже, найсприятливіші умови для накопичення абсолютно-сухої біомаси посівами сочевиці в усі фази вегетації, складаються у варіанті досліду з внесенням $N_{60}P_{30}K_{40}Mo$ та проведенням передпосівної обробки насіння азотфіксувальними мікроорганізмами.

4.2 Фотосинтезувальна система сочевиці та її продуктивність

На реалізацію генетичного потенціалу значний вплив має оптимальна робота фотосинтетичного апарату, адже в процесі фотосинтезу утворюються

органічні речовини, які є основою формування їх продуктивності [75]. Сільськогосподарські культури, а також їх сорти чи гібриди, мають різну площу асиміляційної поверхні і цей показник варіює в широких межах. Так, наприклад для зернових культур оптимальна площа листкової поверхні змінюється в межах 40–60 тис. м²/га [71], а збільшення або зменшення показника зазвичай призводить до зменшення врожаю. За площі листків посівів сочевиці 30–40 тис. м²/га спостерігається підвищення частки поглинутої енергії; а за подальшого збільшення листкового індексу можливе погіршення освітленості середніх та особливо нижніх ярусів листків, що може знижувати чисту продуктивність фотосинтезу [110].

Площа листків і ефективність роботи асиміляційного апарату значно залежать від забезпеченості рослин вологою та мінеральними речовинами, дотримання оптимальних норм висіву, строків сівби та інших технологічних заходів [14, 159].

Сонячна радіація поглинається всіма органами рослини, але найбільше – листковими пластинками. У сочевиці листки утворюються з ростом стебла і поступово розвиваються, з низу до верху. Тому їх світловий режим змінюється в процесі вегетації. Зазвичай листки поглинають приблизно 80–90 % сонячної енергії, решта поглинається стеблами й іншими органами. У сочевиці, як і в деяких інших зернобобових культур, частиною листків є вусики, які також беруть участь у фотосинтезі, підтримують рослини у більш випрямленому положенні, що забезпечує інтенсивніше проникнення сонячних променів у глибину посіву [14, 71, 145].

Отримані дані вказують, що мінеральні добрива та інокуляція сприяли збільшенню площі листкового апарату в усі фази росту й розвитку рослин сочевиці (табл. 4.2).

Впродовж періоду вегетації рослини сочевиці нерівномірно формували площу листового апарату. Так, поступове збільшення спостерігалось до фази цвітіння, після чого показник поступово зменшувався, що можна пояснити відмиранням листочків у нижніх ярусах.

Найменші показники площі листової поверхні в усі досліджувані фази росту й розвитку відмічені у варіанті без внесення добрив, тис. м²/га: у фазі гілкування – 14,3, цвітіння – 30,3 та утворення бобів – 28,1. Поряд із цим необхідно зазначити позитивний вплив інокуляції на формування площі листового апарату, яка її збільшила на 13–32 % залежно від стадії розвитку рослин.

Таблиця 4.2

Вплив удобрення та інокуляції на динаміку площі листової поверхні сочевиці (2018–2021 рр.), тис. м²/га

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку		
	Гілкування	Цвітіння	Утворення бобів
Без добрив (контроль)	14,3/18,9*	30,3/34,1	28,1/32,8
P ₃₀ K ₄₀ – фон	15,7/20,2	31,1/34,4	28,9/33,5
K ₄₀ + N ₆₀	17,1/21,3	31,9/34,8	30,1/33,8
P ₃₀ + N ₆₀	17,6/22,0	32,0/35,0	30,8/34,0
Фон + N ₃₀	17,2/23,6	32,2/35,5	31,0/34,1
Фон + N ₃₀ S ₃₄	18,1/22,5	32,8/36,0	31,5/34,8
Фон + N ₆₀	19,4/24,1	34,1/38,2	32,0/35,1
Фон + N ₃₀ + Мо	18,8/23,0	33,0/36,9	31,1/34,7
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	19,0/23,5	33,5/37,4	31,7/35,0
Фон + N ₆₀ + Мо	20,9/24,8	35,8/39,9	32,8/35,9
<i>НІР₀₅</i>	<i>1,2/1,4</i>	<i>1,9/2,0</i>	<i>1,7/1,9</i>

**Примітка. До rischi – без інокуляції, після rischi – з інокуляцією.*

Внесення макро- та мікроелементів, а також передпосівна інокуляція насіння азотфіксувальними мікроорганізмами позитивно позначилося на темпах наростання листової поверхні. Так, залежно від варіанту удобрення відмічено зростання площі фотосинтетично-активної поверхні у фазі гілкування до рівня 15,7–20,9 тис. м²/га без бактеризації та 20,2–24,8 тис. м²/га з її проведенням. У фазі цвітіння зазначені показники

знаходилися на рівні відповідно 31,1–35,8 та 34,4–39,9 тис. м²/га, а у фазі утворення бобів – 28,9–32,8 та 33,5–35,9 тис. м²/га.

Серед досліджуваних варіантів удобрення найбільшу площу листового апарату відмічено за внесення N₆₀P₃₀K₄₀Mo – у фазі гілкування 20,9 тис. м²/га без інокуляції та 24,8 тис. м²/га з інокуляцією. Під час цвітіння зазначені показники становили 35,8 та 39,9, а у фазі утворення бобів – 32,8 та 35,9 тис. м²/га.

Отже, на основі отриманих результатів можна зробити висновок, що найбільший вплив на формування литкового апарату сочевиці має забезпечення рослин азотом мінеральних сполук і передпосівна інокуляція насіння азотфіксувальними мікроорганізмами.

Інтенсивність накопичення сухої біомаси врожаю впродовж доби у розрахунку на 1 м² листової поверхні рослин показує показник чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Чиста продуктивність фотосинтезу посіву сочевиці залежно від удобрення та інокуляції (2018–2021 рр.), г/м² за добу

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку			
	Сходи–гілкування		Гілкування–цвітіння	
	Без інокуляції	З інокуляцією	Без інокуляції	З інокуляцією
Без добрив (контроль)	1,14	1,00	0,87	0,81
P ₃₀ K ₄₀ – фон	1,18	1,05	0,89	0,84
K ₄₀ + N ₆₀	1,65	1,46	0,96	0,90
P ₃₀ + N ₆₀	1,81	1,66	1,06	1,04
Фон + N ₃₀	1,79	1,52	1,05	0,98
Фон + N ₃₀ S ₃₄	1,90	1,74	1,11	1,07
Фон + N ₆₀	1,80	1,65	1,08	1,02
Фон + N ₃₀ + Mo	1,72	1,65	1,06	1,01
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	1,80	1,71	1,10	1,04
Фон + N ₆₀ + Mo	1,70	1,71	1,03	1,01

Період сходи–гілкування сочевиці характеризувався активними ростовими процесами, пов'язаними у тому числі й з накопиченням сухої речовини у рослинах. У цілому по досліді утворювалось від 1,14 до 1,90 г/м² за добу сухої речовини без інокуляції та від 1,00 до 1,74 г/м² за добу з інокуляцією. Зниження ЧПФ у варіантах досліді з проведенням інокуляції, на нашу думку, спричинене формуванням більшої площі листкової поверхні на рослинах завдяки поліпшенню їх азотного живлення. Така ж тенденція спостерігалася і в інших дослідженнях: у міжфазний період стеблуння–бутонізація показник ЧПФ в контрольному варіанті без інокуляції становив – 1,86, а у такому ж варіанті з інокуляцією – 1,62 г/м² за добу [143].

Аналіз показників чистої продуктивності фотосинтезу за варіантами досліді свідчить про позитивний вплив удобрення на зростання зазначеного показника. Так, на контролі без добрив з інокуляцією та без її проведення в період сходи–гілкування чиста продуктивність фотосинтезу становила 1,00–1,14 г/м² за добу, а в період гілкування–цвітіння – 0,81–0,87 г/м² за добу. Внесення фосфорних і калійних добрив у дозі P₃₀K₄₀ сприяло зростанню показника ЧПФ на 4–5 % у період сходи–гілкування та 2–4 % у період гілкування–цвітіння. Найбільший вплив на чисту продуктивність фотосинтезу мало поліпшення азотного живлення рослин. За внесення K₄₀ + N₆₀ ЧПФ становила 1,46–1,65 г/м² за добу у фазі гілкування та 0,90–0,96 г/м² за добу у фазі цвітіння. Подібна тенденція спостерігалася і у варіанті досліді із внесенням P₃₀ + N₆₀, в якому чиста продуктивність фотосинтезу становила 1,66–1,81 та 1,04–1,06 г/м² за добу.

Внесення повного мінерального добрива в дозі N₃₀P₃₀K₄₀ забезпечувало зростання ЧПФ до рівня 1,52–1,79 г/м² за добу у фазі гілкування та 0,98–1,05 г/м² за добу у фазі цвітіння. У варіанті зі збільшенням дози азотних добрив (N₆₀P₃₀K₄₀) зазначені показники знаходилися відповідно на рівні 1,65–1,80 та 1,02–1,08 г/м² за добу.

Додаткове внесення сірчаних добрив на тлі $N_{30}P_{30}K_{40}$ дозволило досягнути показника чистої продуктивності фотосинтезу 1,74–1,90 та 1,07–1,11 г/м² за добу залежно від інокуляції й періоду розвитку рослин.

Додаткове застосування молібдену у вигляді молібдату амонію на тлі $N_{30}P_{30}K_{40}$ та $N_{60}P_{30}K_{40}$, як складової частини нітратредуктази і нітрогенази [71] зумовило синергетичний вплив елементів живлення на показник ЧПФ. У варіантах досліду з мінімальними дозами внесення азотних добрив (30 кг/га д. р.) чиста продуктивність фотосинтезу становила 1,65–1,72 г/м² за добу у період сходи–гілкування та 1,01–1,06 г/м² за добу у період гілкування–цвітіння. Зі збільшенням дози азотних добрив до 60 кг/га д. р. не спостерігалось зростання ЧПФ в усі періоди розвитку рослин сочевиці.

Найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу відмічено у варіанті досліду з внесенням $N_{30}P_{30}K_{40}S_{34}$ – 1,74–1,90 г/м² за добу у фазі гілкування та 1,07–1,11 г/м² за добу у фазі цвітіння залежно від передпосівного оброблення насіння препаратом азотфіксувальних бактерій.

Слід зазначити, що в усіх варіантах удобрення, передпосівне оброблення насіння азотфіксувальними мікроорганізмами поступалося за показниками ЧПФ необробленому насінню.

Значне збільшення площі листків на рослинах сочевиці до фази цвітіння спричинило затінення листкового апарату, як наслідок сформувало в ньому більшу кількість тіньових менш ефективних хлорофілів [145, 159], що в сумі з енергетично витратним процесом цвітіння, спричинило зниження чистої продуктивності фотосинтезу на 24–42 % залежно від удобрення та на 19–41 % залежно від удобрення та інокуляції.

Отже, регулюванням поживного режиму ґрунту та інокуляцією насіння можна регулювати формування площі листкового апарату сочевиці та її чисту продуктивність фотосинтезу.

4.3 Формування симбіотичного азотфіксувального апарату

Зернобобові культури мають конкурентну перевагу серед польових культур завдяки своїй азотфіксувальній здатності, через високу вартість на синтетичні мінеральні добрива та їх негативний вплив на довкілля. Завдяки цьому вирощування сочевиці забезпечує значну економію, а переважна частина фіксованого азоту, що зосереджується в кореневій системі та соломі, може бути доступна для наступних культур, що вирощуються в сівозміні [16].

На симбіотичну діяльність рослин значний вплив має, як інокуляція, так і застосування різних доз добрив [135, 141, 158]. При цьому, зазначається, що в першу чергу змінюються кількісні показники рівня симбіотичної діяльності, а саме кількість і маса бульбочок на рослині. Передпосівне оброблення насіння препаратом Ризоактив Бобові збільшило кількість бульбочок на 19 %, а їх масу на 27 % [42]. Також, проведені дослідження показують, що поєднання інокуляції і удобрення підвищувало врожайність посівів сочевиці на 54 %, удобрення в поєднанні з підживленням мікродобривами – на 47–53 %, а поєднання всіх трьох чинників на – 59–61 %. Виявлено вплив поєднання удобрення та інокуляції на збільшення кількості бобів і насіння в них, а також маси 1000 насінин, найістотніше проходили зміни за внесення $N_{15}P_{45}K_{45}$ та $N_{10}P_{40}K_{55}$ [21].

На симбіотичну активність впливає низка чинників: наявність сорто- та видоспецефічних бактерій, ґрунтові та погодні умови, а також стан рослини і фаза розвитку. Якщо перший чинник ще можна регулювати за допомогою інокуляції, то вплив інших регулюванню майже не підлягає. За сприятливих умов сочевиця здатна засвоїти до 80 кг/га азоту з повітря [178]. Однак фактично фіксує 20–60 кг/га азоту. Це відбувається через ослаблення активності симбіозу під впливом несприятливих умов вирощування [86].

Одним із чинників, що може обмежувати симбіотичну азотфіксацію і знижувати врожайність, є також нестача фосфорного живлення [177, 203].

Водночас застосування інокуляції насіння не є гарантією кращого засвоєння рослинами азоту, а забезпечує його доступність рослинам, що сприяє формуванню вищої врожайності без виснаження ґрунтових запасів азоту [143].

Дослідженнями встановлено, що кількість і маса бульбочок на рослинах сочевиці змінювалася, як від варіанту удобрення, так і від інокуляції насіння (рис. 4.1).

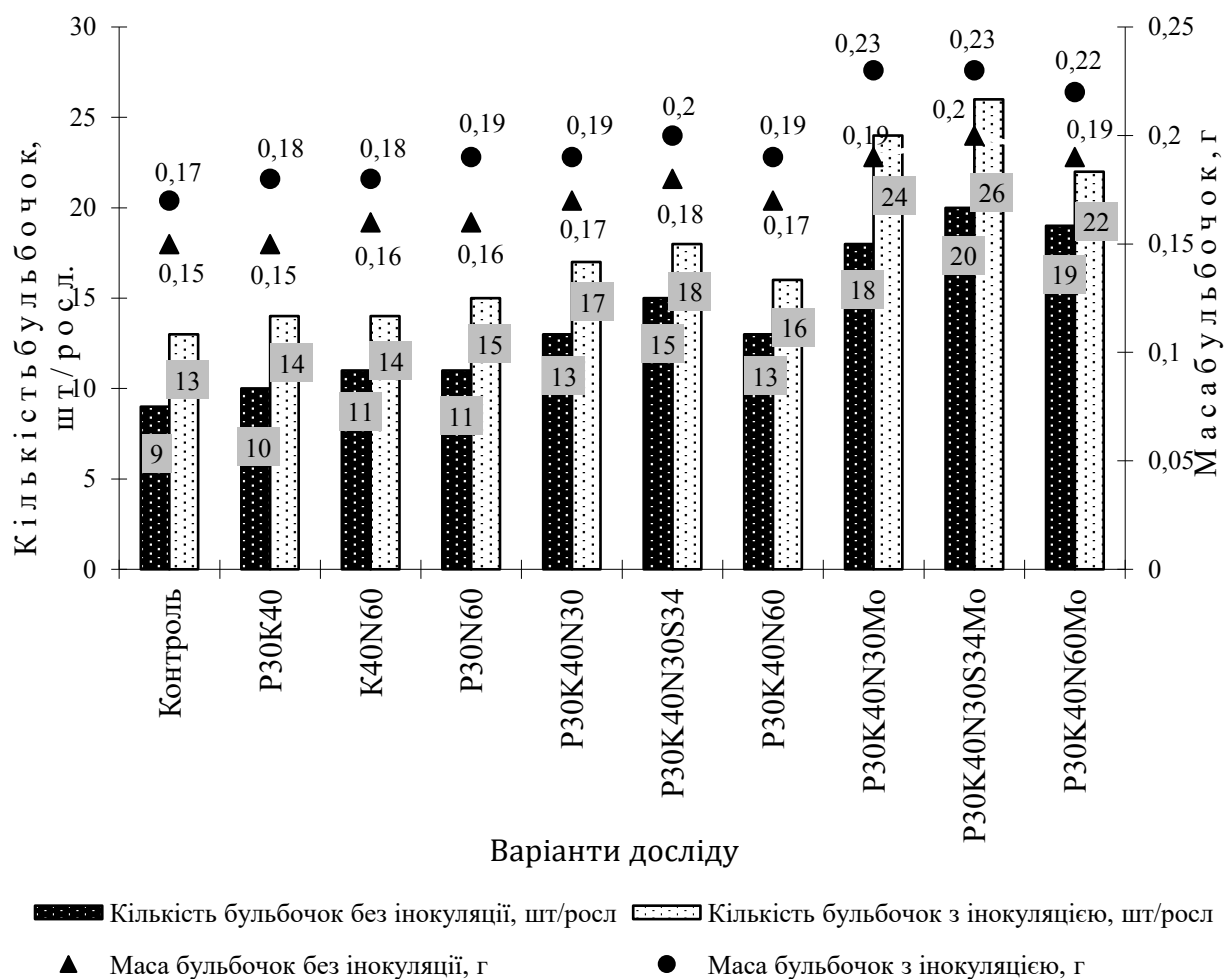


Рис. 4.1 Кількість (шт./рослині) та маса бульбочок (г) сочевиці залежно від удобрення та інокуляції, 2018–2021 рр.

Для оцінювання потенційної можливості симбіотичної фіксації азоту рослинами сочевиці визначали загальну кількість і масу бульбочок. Так, за

вирощування сочевиці без використання інокулянтів кількість бульбочок на рослині становила 9–20 шт., а при їх застосуванні – 13–26 шт.

У варіантах досліду з інокуляцією спостерігалось збільшення кількості та маси бульбочок на рослинах сочевиці. Залежно від удобрення кількість бульбочок на рослині збільшувалася від 1 до 11 шт. порівняно до контролю. Найбільша кількість бульбочок було зафіксовано у варіанті фон + $N_{30}S_{34}$ + Mo – 20 шт/рослину, що на 11 шт/рослину більше порівняно з абсолютним контролем.

Залежно від удобрення кількість бульбочок на рослинах сочевиці збільшувалася від 3 до 6 шт/рослину порівняно до контролю без інокуляції. Найбільша їх кількість зафіксована у варіанті фон + $N_{30}S_{34}$ + Mo – 26 шт/рослину, тоді як при такому ж удобренні, але без інокуляції було на 6 шт. менше. Порівняно із контрольним варіантом кількість бульбочок збільшилася на 7–13 шт/рослину залежно від передпосівного оброблення насіння бактеріальним препаратом.

Встановлено позитивний вплив застосування молібденового добрива на формування симбіотичного апарату рослинами сочевиці, що проявилось у збільшенні кількості бульбочок на 5–6 шт/рослину залежно від дози внесення азотних добрив.

Проведення інокуляції насіння азотфіксувальними мікроорганізмами збільшувало кількість бульбочок на рослині на 3–6 шт, порівняно з ділянками без інокуляції. Серед варіантів досліду найбільша кількість бульбочок відмічена на ділянках із внесенням $N_{30}S_{34}$ + Mo на фосфорно-калійному тлі – 22 шт/рослину, тобто приріст порівняно із абсолютним контролем становив 13 шт/рослину.

Залежно від варіанту досліду маса бульбочок на рослині становила 0,15–0,23 г. На ділянках без добрив та інокуляції насіння маса бульбочок становила 0,15 г, що було найнижчим показником у досліді. Складові удобрення в технології вирощування сочевиці позитивно впливали на масу бульбочок. У варіантах досліду із внесенням $N_{30}P_{30}K_{40}Mo$, $N_{30}P_{30}K_{40}S_{34}Mo$,

$N_{60}P_{30}K_{40}Mo$ у середньому за роки проведення досліджень було відмічено однакову масу бульбочок 0,23 г.

Проведеними дослідженнями підтверджена думка багатьох учених [33, 80] про велике значення молібдену для бобових культур, оскільки він суттєво впливає на зростання кількості і маси бульбочок.

Встановлена тісна пряма кореляційна залежність між кількістю бульбочок та їх масою (рис. 4.2).

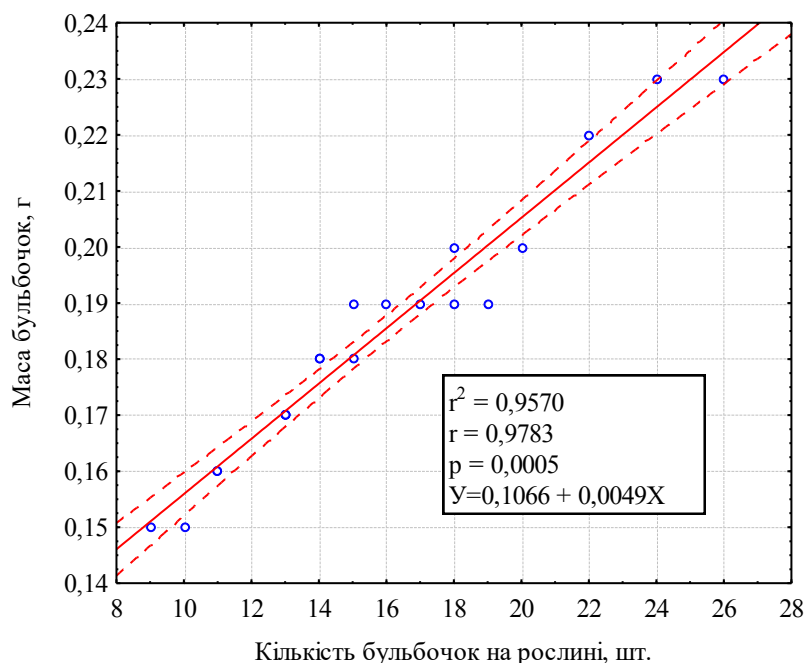


Рис. 4.2. Кореляційно-регресійні зв'язки між кількістю та масою бульбочок, 2018–2021 рр.

При цьому коефіцієнт кореляції становить 0,9783, що свідчить про високу залежність маси бульбочок від їх кількості, а залежність описується таким рівнянням регресії:

$$Y = 0,1066 + 0,0049X, \quad (4.1)$$

де Y – маса бульбочок на рослині, X – кількість бульбочок на рослині, шт., достовірно описує зазначену залежність, оскільки ймовірність нульової гіпотези менше 0,05.

4.4 Структура врожаю сочевиці

Формування структури врожаю – це складний продуційний процес, на який значно впливають генетичні особливості виду рослини й сорту і ґрунтово-кліматичні умови. Значний вплив на величину врожаю мають такі процеси, як фотосинтез, водний, повітряний і тепловий режими, мінеральне живлення, архітектоніка посіву тощо [138]. Показники структури врожаю дають можливість обґрунтувати вплив різних чинників на механізм формування продуктивності культури. Згідно чисельних досліджень між показниками структури урожаю існує тісний прямий зв'язок [163, 179, 180, 187]. Дози добрив та інокуляція суттєво впливають на складові структури врожаю культури.

Проведеними дослідженнями встановлено, що технологічні заходи, які вивчалися в досліді впливали на складові структури урожаю (табл. 4.4). Найменша кількість бобів на рослині була на ділянках без добрив та у варіанті досліді з внесенням 30 кг/га д. р. азотних добрив на тлі $P_{30}K_{40}$ і становили 13,5 шт. Поліпшення умов мінерального живлення сочевиці позитивно впливало на формування бобів на рослині. Найбільша їх кількість відмічена у варіанті досліді з внесенням N_{60} на фосфорно-калійному тлі та висіванні обробленого азотфіксувальними бактеріями насіння сочевиці – 16,5 шт., тобто зростання порівняно із контролем становило 3 шт/рослину або 22 %.

Кількість насінин у бобі, як важлива складова структури урожаю становила 1,16–1,38 шт. залежно від варіанту досліді. Поєднання передпосівної інокуляції насіння із внесенням $N_{60} + Mo$ та $N_{30} S_{34} + Mo$ на фосфорно-калійному тлі забезпечувало формування найбільшої кількості насінин у бобі – відповідно 1,38 та 1,37 шт. На контролі без добрив та інокуляції кількість насінин у бобі була найменшою і становила 1,16 шт, що на 18–19 % менше від кращих варіантів досліді.

Маса 1000 насінин сочевиці залежно від варіанту досліді становила 45,6–52,8 г.

Найдрібнішим насіння виявилось на контролі без добрив та без передпосівного оброблення насіння азотфіксувальними мікроорганізмами. Варіант досліду з внесенням N₆₀ на фосфорно-калійному тлі та проведенням інокуляції забезпечував найвищу масу 1000 насінин.

Таблиця 4.4

**Структура врожаю сочевиці залежно від умов мінерального живлення,
2018–2021 рр.**

Варіанти досліду	Кількість бобів на рослині, шт.		Кількість насінин у бобові, шт.		Маса 1000 насінин, г	
	Без інокуляції	З інокуляцією	Без інокуляції	З інокуляцією	Без інокуляції	З інокуляцією
Без добрив (контроль)	13,5	13,9	1,16	1,20	45,6	46,7
P ₃₀ K ₄₀ – фон	13,4	14,2	1,23	1,24	48,0	49,6
K ₄₀ + N ₆₀	14,0	14,4	1,22	1,25	51,4	52,8
P ₃₀ + N ₆₀	15,3	15,9	1,32	1,36	47,5	48,8
Фон + N ₃₀	13,5	14,5	1,24	1,26	51,6	53,0
Фон + N ₃₀ S ₃₄	14,8	16,1	1,22	1,24	51,1	52,0
Фон + N ₆₀	15,7	16,5	1,30	1,31	49,2	50,2
Фон + N ₃₀ + Мо	14,3	15,3	1,30	1,34	49,9	51,4
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	14,3	15,5	1,35	1,37	51,0	52,4
Фон + N ₆₀ + Мо	15,2	15,9	1,35	1,38	51,3	52,6
<i>HIP₀₅</i>	<i>0,07</i>	<i>0,07</i>	<i>0,06</i>	<i>0,06</i>	<i>2,5</i>	<i>2,6</i>

Методом кореляційно-регресійного аналізу результатів досліджень визначено взаємозалежності між складовими структури урожаю і на їх основі побудовано кореляційну плеяду (рис. 4.3).

Встановлено, що між кількістю бобів на рослині та кількістю насінин у бобі існує середній прямий кореляційний зв'язок (коефіцієнт кореляції 0,66), тоді як між кількістю бобів на рослині та масою 1000 насінин і між кількістю насінин у бобі та масою 1000 насінин – слабкий – коефіцієнти кореляції

відповідно 0,30 та 0,38. Це свідчить про те, що зі збільшенням кількості бобів на рослині за допомогою зміни умов мінерального живлення можна впливати на кількість насінин у бобі.

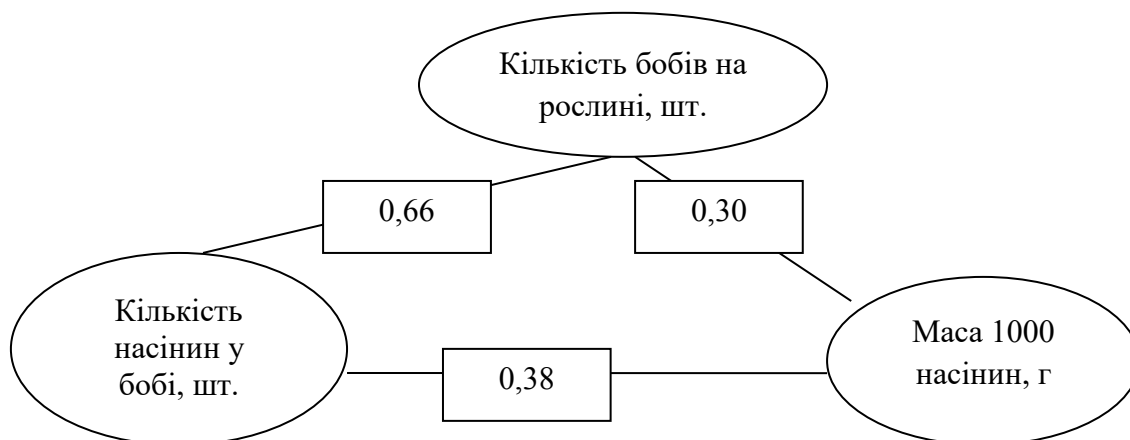


Рис. 4.3. Кореляційна плеяда взаємозалежності складових структури врожаю сочевиці, 2018–2021 рр.

4.5. Урожайність і якість насіння сочевиці

До важливих завдань сучасного рослинництва відносять розробку та впровадження екологічно адаптованих технологій вирощування сільськогосподарських культур. Головною їх особливістю постає максимальна адаптація рослин до умов довкілля для максимальної реалізації генетичних можливостей сучасних сортів [13, 144]. На урожайність сільськогосподарських культур впливає багато чинників, таких як: ґрунтово-кліматичні умови, родючість ґрунту, доступність елементів живлення, генетичний потенціал сорту чи гібриду, а для бобових культур ще й інокуляція насіння. (табл. 4.5).

Дослідженнями встановлено, що урожайність сочевиці залежала від технологічних заходів, які вивчалися в досліді. Залежно від досліджуваного варіанта, в середньому за 2018–2021 роки, зернова продуктивність посівів становила 1,63–2,53 т/га. Найменша урожайність сочевиці (1,63 т/га) зафіксована на абсолютному контролі. Проведення передпосівної обробки насіння бактеріальним препаратом Ризоактив Бобові сприяло зростанню урожайності насіння сочевиці на 0,13 т/га.

Таблиця 4.5

Урожайність сочевиці залежно від удобрення та інокуляції у 2018–2021 рр., т/га

Варіант досліджу	Рік дослідження			Середнє за 2018–2021 рр.	Коефіцієнт варіації, %	Рік дослідження			Середнє за 2018–2021 рр.	Коефіцієнт варіації, %		
	2018	2019	2020			2021	2018	2019			2020	2021
	3 інокуляцією											
	Без інокуляції						3 інокуляцією					
Без добрив (контроль)	1,64	1,93	1,17	1,76	1,63	20,1	1,77	2,07	1,25	1,93	1,76	20,4
P ₃₀ K ₄₀ – фон	1,76	2,17	1,33	1,91	1,79	19,6	1,94	2,33	1,49	2,10	1,97	18,1
K ₄₀ + N ₆₀	1,94	2,41	1,50	2,07	1,98	19,0	2,13	2,55	1,62	2,20	2,13	18,1
P ₃₀ + N ₆₀	2,09	2,49	1,64	2,37	2,15	17,6	2,32	2,66	1,79	2,53	2,33	16,5
Фон + N ₃₀	1,89	2,22	1,50	2,23	1,96	17,6	2,14	2,44	1,68	2,48	2,19	16,9
Фон + N ₃₀ S ₃₄	2,02	2,38	1,57	2,39	2,09	18,5	2,32	2,64	1,77	2,67	2,35	17,8
Фон + N ₆₀	2,16	2,68	1,70	2,45	2,25	18,8	2,38	2,84	1,85	2,60	2,42	17,5
Фон + N ₃₀ + Mo	2,01	2,38	1,58	2,34	2,08	17,9	2,31	2,62	1,77	2,62	2,33	17,2
Фон + N ₃₀ S ₃₄ +	2,13	2,51	1,68	2,46	2,20	17,4	2,49	2,80	1,91	2,75	2,49	16,4
Фон + N ₆₀ + Mo	2,25	2,74	1,79	2,52	2,33	17,6	2,52	2,91	1,97	2,71	2,53	16,0
НІР ₀₅	2018 р.: A – 0,09, B – 0,04, AB – 0,13; 2019 р.: A – 0,11, B – 0,05, AB – 0,16; 2020 р.: A – 0,08, B – 0,03, AB – 0,11; 2021 р.: A – 0,13, B – 0,06, AB – 0,18											

Примітка. A – удобрення, B – інокуляція.

Поєднання калійного удобрення сочевиці із азотним (варіант досліджу $K_{40} + N_{60}$) сприяло зростанню врожайності до 1,98 т/га без застосування азотфіксувальних бактерій та 2,13 т/га за використання інокулянту, а фосфорного із азотним (варіант досліджу $P_{30} + N_{60}$) – відповідно до 2,15 та 2,33 т/га (за врожайності на контролі відповідно 1,63 і 1,76 т/га).

Внесення фосфорних і калійних добрив у дозі $P_{30}K_{40}$ (фон) забезпечило урожайність сочевиці на рівні 1,79 т/га без інокуляції та 1,97 т/га з інокуляцією. Застосування азотних добрив у дозі 30 кг/га д. р. на тлі $P_{30}K_{40}$ підвищило насінневу продуктивність посівів сочевиці відповідно на 0,33 та 0,43 т/га залежно від передпосівної обробки насіння.

Збільшення кількості азоту до 60 кг/га д. р. на тлі $P_{30}K_{40}$ створило кращі передумови для формування продуктивності сочевиці, завдяки чому з 1 га отримано відповідно 2,25 та 2,42 т насіння. Порівняно із контрольним варіантом приріст урожаю становив 0,62 т/га без інокуляції та 0,66 т/га з інокуляцією.

Застосування лише фосфорних і калійних добрив стимулювало незначне підвищення урожайності на 0,16 т/га без інокуляції та на 0,21 т/га з інокуляцією.

Внесення азотних і фосфорних добрив мало кращий результат ніж азотних і калійних. Так, приріст від першої комбінації становив 0,52 т/га без інокуляції і 0,60 т/га з інокуляцією, а від застосування азотних і калійних добрив відповідно лише 0,35 і 0,37 т/га.

Поряд із азотним живленням, важливу роль для росту, розвитку і формування продуктивності всіх сільськогосподарських культур, у тому числі і сочевиці відіграє сірка [37]. Дослідженнями встановлено позитивний вплив сульфату амонію на формування врожаю сочевиці. Приріст урожайності насіння від заміни у системі удобрення аміачної селітри (фон + N_{30}) на сульфат амонію (фон + $N_{30}S_{34}$) становив 0,13 т/га у варіанті без інокуляції та 0,16 т/га за умови проведення передпосівної обробки насіння бактеріальним препаратом Ризоактив Бобові.

Для бобових культур, до яких належить сочевиця, важливим мікроелементом є молібден. Він бере участь у процесах симбіотичної фіксації атмосферного азоту, завдяки чому підвищується врожайність і якість вирощеної продукції. У всіх ґрунтах України вміст молібдену зано нижче оптимального рівня, тому важливо застосовувати цей елемент живлення під час вирощування бобових культур, зокрема сочевиці [25].

Проведені дослідження, вказують на позитивний вплив молібдену на формування врожайності сочевиці. Так, за внесення $N_{30} + Mo$ на тлі $P_{30}K_{40}$ приріст урожайності досліджуваної культури становив 0,12 т/га при висіванні насіння без обробки симбіотичними азотфіксувальними бактеріями та 0,14 т/га за умови висівання інокульованого насіння.

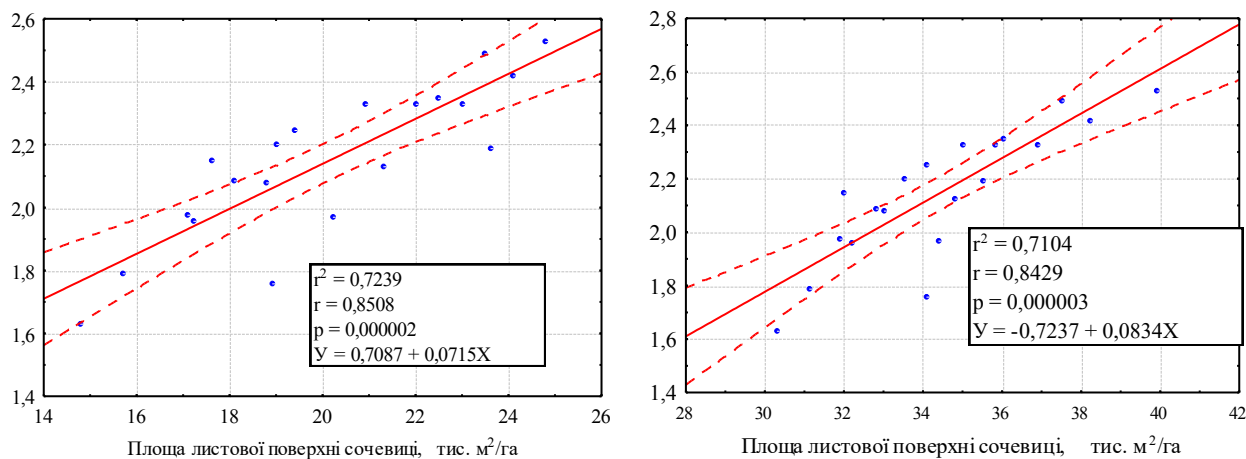
При застосуванні $N_{30}S_{34} + Mo$ на фосфорно-калійному тлі порівняно з варіантом фон + N_{30} урожайність сочевиці підвищувалася на 0,24 т/га, а за умови додаткового проведення інокуляції – на 0,55 т/га.

Найвищою зерною продуктивністю (2,53 т/га) відзначився варіант досліду, у якому висівалося інокульоване насіння сочевиці, а система удобрення складалася із внесення $N_{60}P_{30}K_{40}$ та молібденового добрива. На аналогічному варіанті, але без застосування бактеріального препарату урожайність становила 2,33 т/га, що на 8 % нижче.

Дослідженнями встановлено, що складові системи удобрення сочевиці впливали на варіацію врожайності сочевиці за роками досліджень. Так, у контрольному варіанті коефіцієнт варіації становив 20,1 % без інокуляції та 20,4 % з інокуляцією. У варіантах із внесенням добрив та проведенням інокуляції цей показник був у межах 16,0–19,6 %, що вказує на тенденцію до зростання вирівняності і стабільності врожайності, незважаючи на різні погодні умови у роки проведення досліджень.

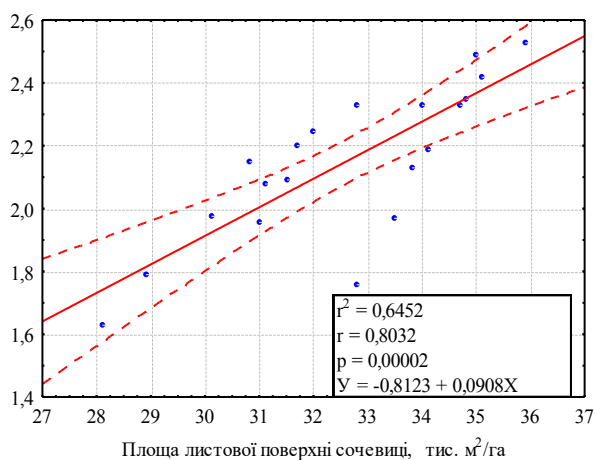
Використанням методу кореляційно-регресійного аналізу проведено розрахунки щодо впливу площі листової поверхні посівів сочевиці на її урожайність. Встановлено, що простежується тісна пряма кореляційна залежність між фотосинтетично-активною поверхнею і врожайністю насіння.

Так, коефіцієнт кореляції (r) між зазначеними величинами у фазі гілкування становить 0,8505, а залежність описується таким рівнянням регресії: $Y = 0,7087 + 0,0751X$, що є достовірним, оскільки ймовірність нульової гіпотези менше 0,05 (рис. 4.4).



фаза гілкування

фаза цвітіння



фаза утворення бобів

Рис. 4.4. Кореляційні зв'язки та рівняння регресії між площею листової поверхні посівів сочевиці у різні фази вегетації та врожайністю насіння (т/га), 2018–2021 рр.

Аналогічні результати отримано і у фазах цвітіння та утворення бобів, де коефіцієнти кореляції становлять відповідно 0,8429 та 0,8032, що вказує

на важливість збереження оптимальної площі фотосинтетично-активної поверхні упродовж більш тривалого періоду.

Кореляційно-регресійний аналіз між елементами структури урожаю та врожайністю сочевиці вказує на значний їх вплив на насінневу продуктивність посівів. Так, коефіцієнт кореляції між кількістю бобів на рослинах сочевиці та виходом насіння з одиниці площі становить 0,8780, що свідчить про сильний прямий кореляційний зв'язок. Рівняння $Y = -1,2372 + 0,2286X$ достовірно описує зазначену залежність (рис. 4.5).

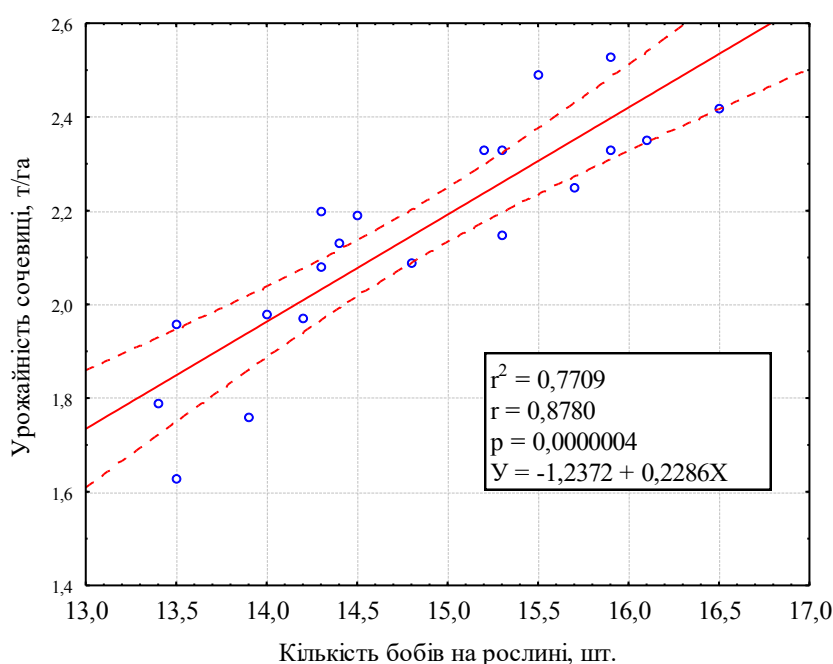


Рис. 4.5. Кореляційні зв'язки та рівняння регресії між кількістю бобів на рослині та врожайністю насіння сочевиці, 2018–2021 рр.

Аналогічні результати отримано і при визначенні залежності рівня врожайності сочевиці від кількості насінин у бобі (рис. 4.6). Коефіцієнт кореляції між зазначеними величинами становить 0,8412, що свідчить про сильний прямий кореляційний зв'язок. Рівняння $Y = -1,9869 + 3,2254286X$ достовірно описує зазначену залежність, оскільки ймовірність нульової гіпотези $p < 0,05$.

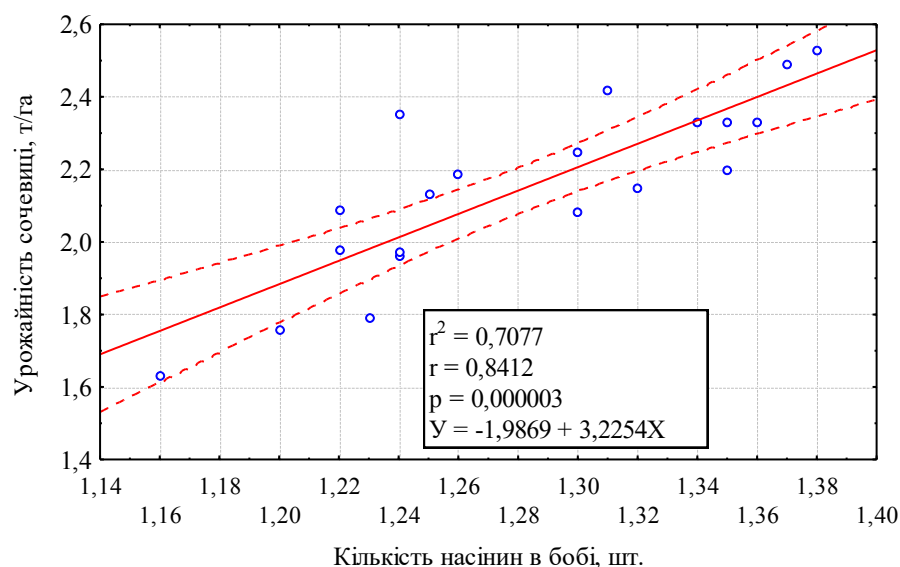


Рис. 4.6. Кореляційні зв'язки та рівняння регресії між кількістю насінин у бобі та врожайністю сочевиці, 2018–2021 рр.

Дещо іншою є залежність між масою 1000 насінин і врожайністю сочевиці (рис. 4.7).

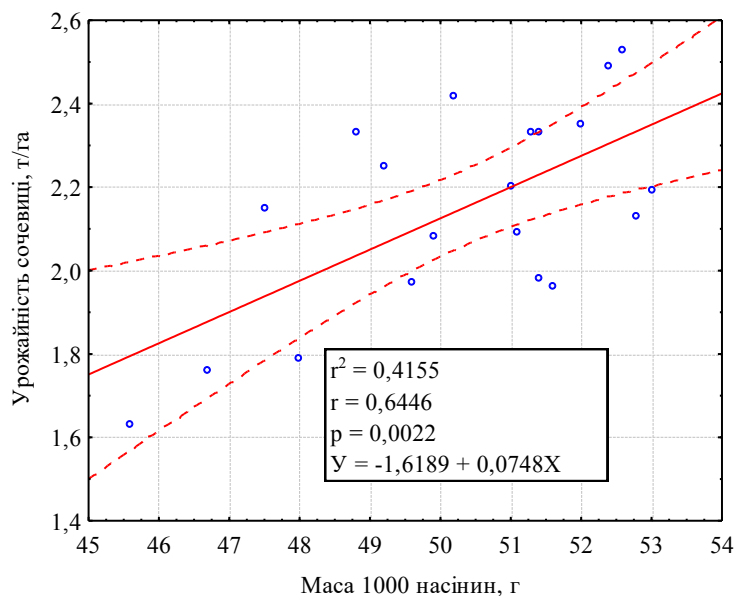


Рис. 4.7 Кореляційні зв'язки та рівняння регресії між масою 1000 насінин і врожайністю сочевиці, 2018–2021 рр.

Коефіцієнт кореляції між зазначеними величинами становить 0,6446, що свідчить про середній прямий кореляційний зв'язок. Рівняння

$Y = -1,6189 + 0,00748X$ достовірно описує зазначену залежність, оскільки ймовірність нульової гіпотези $p < 0,05$.

Зазвичай у насінні сочевиці є 23–36 % білка, вміст вуглеводів змінюється в межах 48–54 %, жиру 0,6–2,2 %, мінеральних речовин 2,2–4,2 %. Порівняно з іншими бобовими культурами сочевиця має низький вміст жирів у насінні, що сприяє активному використанню її для приготування страв дієтичного харчування [7].

Дослідженнями встановлено, що хімічний склад насіння сочевиці значно залежав від її удобрення (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Показники якості насіння сочевиці залежно від удобрення та інокуляції, 2018–2021 рр.

Варіант досліджу	Вміст, %			
	білка	жиру	крохмалю	клітковини
Без добрив (контроль)	24,0/24,3	0,78/0,81	53,6/54,5	3,34/3,37
P ₃₀ K ₄₀ – фон	23,9/24,0	0,88/0,95	53,8/54,7	3,41/3,45
K ₄₀ + N ₆₀	24,6/24,9	0,68/0,71	52,9/53,7	3,38/3,40
P ₃₀ + N ₆₀	24,8/25,1	0,68/0,72	52,8/53,6	3,37/3,40
Фон + N ₃₀	24,7/24,9	0,74/0,77	52,8/53,7	3,75/3,80
Фон + N ₃₀ S ₃₄	24,8/24,9	0,75/0,78	52,7/53,6	3,82/3,89
Фон + N ₆₀	24,9/25,1	0,69/0,71	52,6/53,4	3,99/4,05
Фон + N ₃₀ + Mo	24,8/24,9	0,76/0,78	52,8/53,7	3,93/3,97
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	24,9/25,1	0,75/0,77	52,6/53,8	3,96/4,01
Фон + N ₆₀ + Mo	25,1/25,3	0,70/0,72	52,4/53,2	4,08/4,15
<i>HIP₀₅</i>	<i>1,22/1,23</i>	<i>0,03/0,04</i>	<i>2,66/2,70</i>	<i>0,19/0,20</i>

Примітка. До rischi – без інокуляції, після rischi – з інокуляцією.

Залежно від варіанту досліджу в насінні сочевиці містилося 23,9–25,3 % протеїну, 0,68–0,95 жиру, 52,4–54,7 крохмалю, 3,34–4,15 % клітковини. Відповідно до Національного стандарту України ДСТУ 6020:2008 «Сочевиця. Технічні умови», у насінні сочевиці повинно міститися не менше

ніж 21 % сирого протеїну в перерахунку на суху речовину [61]. Порівняльне оцінювання результатів хімічного аналізу насіння сочевиці із показниками ДСТУ вказує на те, що в усіх варіантах досліду за вмістом білка, насіння відповідало вимогам стандарту.

У контрольному варіанті вміст білка, як одного із найбільш цінних складників насіння сочевиці становив 24,0 % без інокуляції та 24,3 % з інокуляцією. Застосування лише фосфорних і калійних добрив (фон) не сприяло зростанню білковості насіння сочевиці та інших показників якості.

Застосування азотних мінеральних добрив у поєднанні із фосфорними та калійними позитивно позначалося на накопиченні білка в насінні. Так, у варіанті із внесенням $K_{40} + N_{60}$ та $P_{30} + N_{60}$ його вміст становив відповідно 24,4 і 24,9 % та 24,8 і 25,1 % за передпосівної обробки насіння інокулянтном. У зазначених варіантах досліду в насінні сочевиці містилася майже однакова кількість жиру, крохмалю та клітковини.

Аналогічні результати отримано і у варіантах досліду із внесенням повного мінерального добрива $N_{30}P_{30}K_{40}$, $N_{60}P_{30}K_{40}$, $N_{30}P_{30}K_{40}+S_{34}$, $N_{30}P_{30}K_{40}+S_{34}+Mo$, $N_{30}P_{30}K_{40}+Mo$. Вміст білка становив 24,7–24,9 % без інокуляції та 24,9–25,1 % з інокуляцією. Щодо накопичення жиру в зерні сочевиці, то його містилося відповідно 0,69–0,75 і 0,71–0,78 %, крохмалю – 52,6–52,8 та 53,4–53,8 %, клітковини – 3,75–3,99 та 3,80–4,01 % залежно від передпосівної обробки насіння.

Найвищий вміст білка відмічено у варіанті із внесенням $N_{60}P_{30}K_{40}+Mo$ – 25,1 % без інокуляції та 25,3 % з інокуляцією. За такої системи удобрення сочевиці в насінні містилося 0,70–0,72 % жиру, 52,4–53,2 % крохмалю та 4,08–4,15 % клітковини.

Велика кількість варіантів у досліді і відповідно значна кількість отриманих показників, дає змогу виявити подібні варіанти у досліді за допомогою кластерного аналізу (рис. 4.8). Для цього використано дані про кількість бобів на рослині, кількість насінин у бобі, масу 1000 насінин, урожайність сочевиці та вміст білка в насінні.

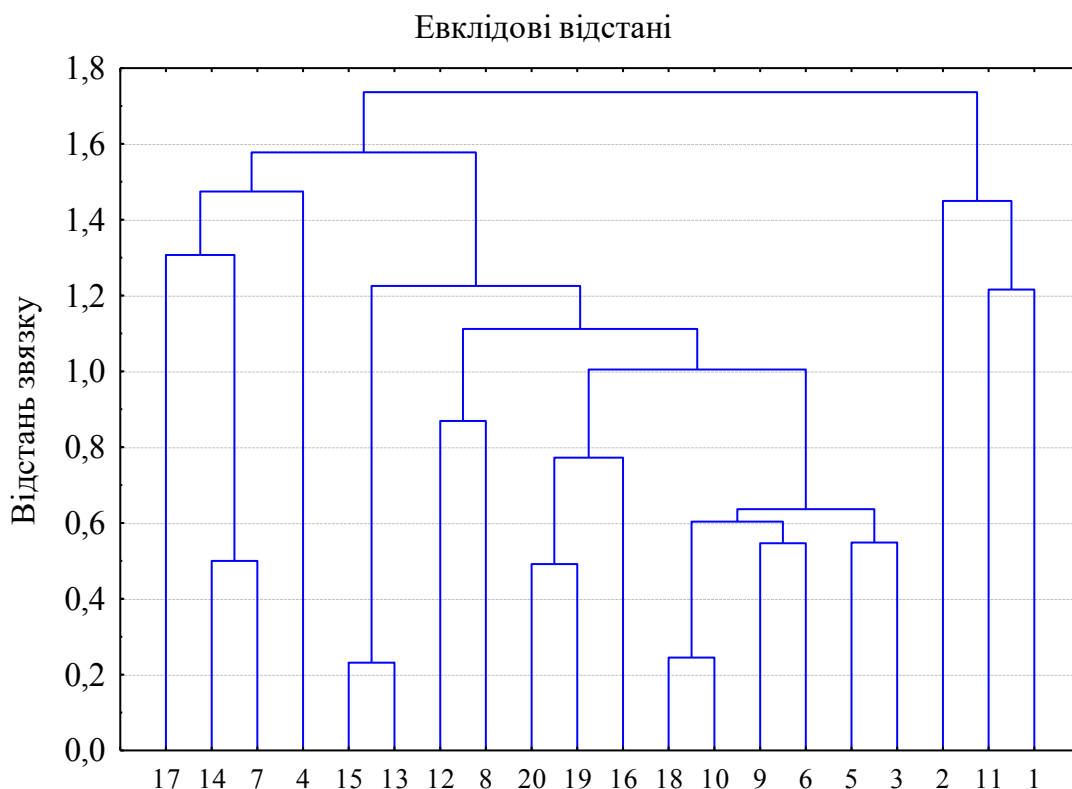


Рис. 4.8 Дендрограма кластерного аналізу досліджуваних технологічних заходів вирощування сочевиці (2018–2021 рр.) : 1–10 без інокуляції – 1. Без добрив (контроль); 2. P₃₀ K₄₀ – фон; 3. K₄₀ + N₆₀; 4. P₃₀ + N₆₀; 5. Фон + N₃₀; 6. Фон + N₃₀ S₃₄; 7. Фон + N₆₀; 8. Фон + N₃₀ + Mo; 9. Фон + N₃₀ S₃₄ + Mo; 10. Фон + N₆₀ + Mo; 11–20 – з інокуляцією – 11. Без добрив (контроль); 12. P₃₀ K₄₀ – фон; 13. K₄₀ + N₆₀; 14. P₃₀ + N₆₀; 15. Фон + N₃₀; 16. Фон + N₃₀ S₃₄; 17. Фон + N₆₀; 18. Фон + N₃₀ + Mo; 19. Фон + N₃₀ S₃₄ + Mo; 20. Фон + N₆₀ + Mo

Проведеними розрахунками встановлено, що за комплексним оцінюванням досліджуваних варіантів технологічних заходів вирощування сочевиці найбільш близькими за структурою були варіанти K₄₀ + N₆₀ та фон + N₃₀ при обробці насіння азотфіксувальними бактеріями, оскільки відстань зв'язку між ними була найменшою. Варіант дослідження фон + N₆₀ + Mo, на якому висівалося необроблене інокулянтном насінням сочевиці виявився наближеним за комплексом показників до варіанта фон + N₃₀ Mo із використанням передпосівної інокуляції насіння.

Висновки до розділу:

1. Порівняльне оцінювання застосування добрив і бактеріального препарату показало, що ці агрозаходи є доцільними і мають значний вплив на накопичення сухої речовини. Найбільш сприятливі умови для накопичення сухої речовини посівами сочевиці в усі фази росту й розвитку створюються у варіанті досліду з внесенням $N_{60}P_{30}K_{40}Mo$ у поєднанні з передпосівною інокуляцією насіння.
2. Згідно проведених досліджень, найбільший вплив на формування площі листової поверхні сочевиці мало забезпечення рослин азотом і застосування бактеріального препарату.
3. Значний вплив на формування симбіотичного апарату має проведення інокуляції та рівень азотного живлення рослин сочевиці. Сірчані та молібденові добрива також мають позитивний вплив на кількість і якість бульбочкових бактерій.
4. Застосування добрив та інокуляції забезпечує достовірний приріст урожайності і якості насіння сочевиці.

Публікації авторки, які відображають основні положення цього розділу [30–32, 100, 101, 137, 181].

РОЗДІЛ 5

ЗАСВОЄННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИНАМИ СОЧЕВИЦІ ТА БАЛАНС ЇХ У ҐРУНТІ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Відомо, що потреби сільськогосподарських культур в елементах живлення сильно варіюють упродовж періоду вегетації. Потреби однорічних сільськогосподарських культур в елементах живлення значно залежать від фази росту й розвитку рослин. Тому для складання оптимальної системи удобрення необхідно враховувати потреби рослин залежно від їх виду, фази росту та ґрунтово-кліматичних умов вирощування.

Нині все більше уваги аграрії приділяють балансу елементів живлення в ґрунті, адже він є науковою основою для складання раціональних систем удобрення сільськогосподарських культур і в сівоzmінах у цілому.

5.1 Динаміка вмісту елементів живлення в рослинах

Вміст елементів живлення у вегетативних органах сільськогосподарських культур змінюється впродовж періоду вегетації і залежить від умов вирощування та удобрення [37].

Відомо, що кожен елемент живлення виконує свою певну фізіологічну функцію в рослинному організмі й замінити його іншим елементом неможливо. Нестача чи надлишок будь-якого елемента живлення порушує життєдіяльність рослин, що знижує продуктивність посіву [21, 41, 142].

Встановлено [170], що для більшості рослин необхідні лише десять елементів живлення. Нині, в першу чергу звертається увага на вміст в органах рослин основних елементів живлення – азоту, фосфору, калію. Відомо, що кількість елементів живлення в різних органах є різною і змінюється за фазами росту й розвитку рослин. Так, наприклад за даними R. Rapendick [185] листки сої у фазу цвітіння містять 5,50 % азоту, повного наливу бобів – 2,07 %, у стеблах відповідно 2,59 і 0,93 % на суху речовину.

Кількість фосфору у фазу технічної стиглості в листках становить 0,28–0,37 %, а в стеблах – 0,18–0,22 % на суху речовину.

Для формування врожаю культура засвоює певну кількість елементів з ґрунту, а зернобобові, в тому числі і сочевиця, додатково – з повітря завдяки симбіотичній азотфіксації. Ця біологічна особливість культури дозволяє значно знизити потребу в азоті мінеральних сполук [95].

Значення оптимального засвоєння азоту для росту й розвитку досить значне. Він входить до складу білків і білкових сполук, бере участь у передачі спадкової інформації, також входить до складу ДНК і РНК, деяких вітамінів, хлорофілу, алкалоїдів та інших органічних речовин. Азот завдяки амфотерним властивостям білків, до складу яких він входить, істотно впливає на поглинальну діяльність коренів [14, 71].

Встановлено, що вміст елементів живлення в рослинах сочевиці залежав від фази росту й розвитку рослини. Найбільший їх вміст був на початку вегетації і зменшувався до її завершення. Це можна пояснити біологічним розбавленням під кінець вегетації, коли рослини уповільнюють або припиняють їх засвоєння, а ріст рослин продовжується.

Вміст азоту змінювався, як від фази росту й розвитку рослини, так і від особливостей удобрення (табл. 5.1). Так, у фазу гілкування вміст азоту в рослинах сочевиці знаходився на рівні від 4,75 до 4,94 % на суху речовину, з подальшим зменшенням його в наступних фазах до 3,29–3,82 у фазу цвітіння та 2,43–3,28 % у фазу утворення бобів.

Найменший вміст азоту в рослинах був у контрольному варіанті без внесення добрив – 4,78 % без інокуляції та 4,81 % з інокуляцією у фазу гілкування, 3,33 і 3,42 % у фазу цвітіння та 2,45 і 2,56 % у фазу утворення бобів. Внесення мінеральних добрив позитивно позначилося на вмісті азоту в рослинах.

Найвищий вміст азоту в рослинах сочевиці зафіксовано у варіанті досліду з внесенням повного мінерального добрива ($N_{60}P_{30}K_{40}$) та молібдену. В усі фази росту й розвитку рослин у цьому варіанті досліду відмічено

тенденцію до підвищення вмісту азоту. На аналогічному варіанті без внесення молібдену відмічено дещо нижчі показники вмісту азоту – 4,85 та 4,86 % у фазі гілкування, 3,58 та 3,62 % у фазі цвітіння та 2,88 і 2,94 % у фазі утворення бобів. Це вкотре підтверджує важливість цього мікроелемента для азотного живлення бобових культур, до яких належить сочевиця.

Таблиця 5.1

Динаміка вмісту азоту в рослинах сочевиці залежно від удобрення та інокуляції (2018–2021 рр.), % на суху речовину

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослини				
	Гілкування	Цвітіння	Утворення бобів	Повна стиглість	
				Насіння	Солома
Без добрив (контроль)	4,78	3,33	2,45	3,84	0,89
	4,81	3,42	2,56	3,88	0,87
P ₃₀ K ₄₀ – фон	4,75	3,29	2,43	3,82	0,90
	4,78	3,36	2,53	3,85	0,97
K ₄₀ + N ₆₀	4,80	3,40	2,52	3,94	1,14
	4,84	3,45	2,69	3,99	1,26
P ₃₀ + N ₆₀	4,83	3,51	2,70	3,96	1,12
	4,85	3,58	2,80	4,01	1,14
Фон + N ₃₀	4,82	3,44	2,68	3,95	1,17
	4,84	3,50	2,83	3,99	1,21
Фон + N ₃₀ S ₃₄	4,84	3,56	2,87	3,97	1,19
	4,88	3,62	2,91	3,99	1,23
Фон + N ₆₀	4,85	3,58	2,88	3,98	1,07
	4,86	3,62	2,94	4,02	1,11
Фон + N ₃₀ + Mo	4,84	3,50	2,71	3,96	1,07
	4,90	3,57	2,83	3,99	1,09
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	4,87	3,64	3,00	3,99	1,09
	4,89	3,70	3,15	4,02	1,12
Фон + N ₆₀ + Mo	4,90	3,77	3,08	4,01	1,09
	4,94	3,82	3,28	4,05	1,14
<i>НІР₀₅</i>	<i>0,23–0,28</i>	<i>0,17–0,22</i>	<i>0,13–0,17</i>	<i>0,17–0,21</i>	<i>0,05–0,09</i>

Примітка. Над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією.

В усіх інших варіантах досліджу в рослинах сочевиці вміст азоту в рослинах займав проміжне положення між зазначеними варіантами.

Необхідно зазначити, що на початкових етапах росту й розвитку сочевиці відсутня достовірна різниця між варіантами досліду за вмістом азоту в рослинах. Це ймовірно пов'язане із низькими темпами його засвоєння з мінеральних добрив, які в свою чергу залежали від швидкості перетворення у ґрунті та повільною азотфіксацією на початку вегетації, а також біологічними особливостями досліджуваної культури. На пізніших етапах онтогенезу внесений азот добрив переходив у доступну для рослин форму, симбіотична азотфіксація проходила інтенсивно, як і темпи поглинання азоту рослинами пришвидшувалися.

Поряд із вмістом азоту в рослинах не менш важливим показником є вміст його в насінні сочевиці. Дослідженнями встановлено, що вміст азоту в насінні сочевиці становив 3,82–4,05 % на суху речовину залежно від варіанту досліду. Системи удобрення сочевиці позитивно вплинули на накопичення азоту в її насінні. Так, на абсолютному контролі його вміст становив 3,84 %, а за внесення повного мінерального добрива ($N_{60}P_{30}K_{40}$) та молібдену за умови проведення передпосівної обробки насіння азотфіксувальними бактеріями – 4,05 % на суху речовину.

З використанням методу кореляційно-регресійного аналізу проведено дослідження із вивчення залежності вмісту азоту в зерні від його кількості в рослинах у різних фазах онтогенезу. Встановлено, що для формування зерна сочевиці із високим вмістом азоту, а отже і білка, рівень азотного забезпечення повинен бути високим упродовж всього вегетаційного періоду. Так, виявлено, що коефіцієнт кореляції між вмістом азоту в рослинах сочевиці у фазу гілкування та його кількістю у зерні становив 0,8940, що вказує на високу тісноту зв'язків між зазначеними величинами (рис. 5.1).

Рівняння регресії $Y = -2,0342 + 1,2377X$, де X – вміст азоту в рослинах сочевиці у фазу гілкування, % на суху речовину, Y – вміст азоту в зерні сочевиці, %, достовірно описує зазначені залежності, оскільки ймовірність нульової гіпотези ($p < 0,05$).

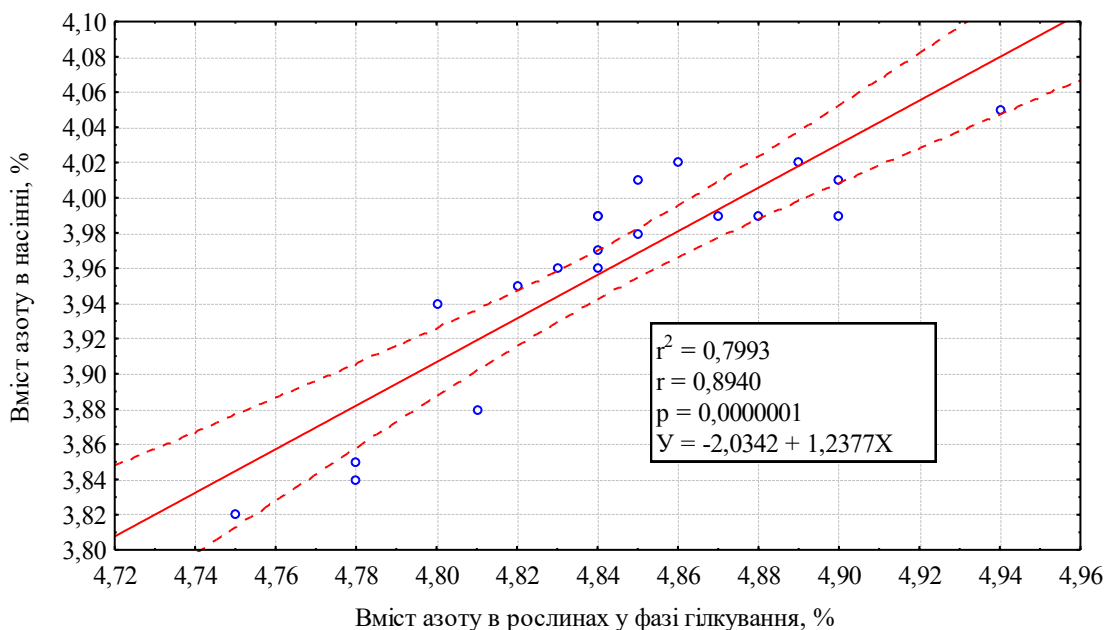


Рис. 5.1 Кореляційні зв'язки і рівняння регресії між вмістом азоту в рослинах сочевиці у фазу гілкування та його вмістом у насінні, 2018–2021 рр.

Аналогічні розрахунки було проведено і щодо визначення впливу забезпеченості посівів сочевиці азотом у фазу цвітіння рослин та його вмістом у насінні. Встановлено, що коефіцієнт кореляції між зазначеними величинами становив 0,8713, що також вказує на високу тісноту зв'язків між показниками (рис. 5.2).

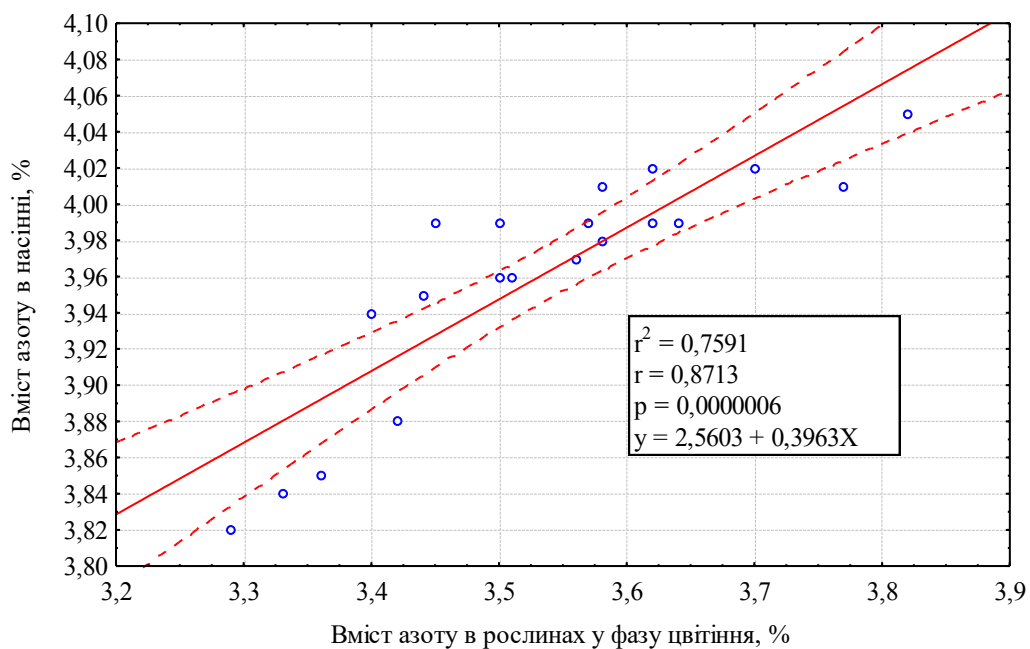


Рис. 5.2 Кореляційні зв'язки і рівняння регресії між вмістом азоту в рослинах сочевиці у фазу цвітіння та його вмістом у насінні, 2018–2021 рр.

Рівняння регресії $Y = 2,5603 + 0,3963X$, де X – вміст азоту в рослинах сочевиці у фазу цвітіння, % на суху речовину, Y – вміст азоту в зерні сочевиці, %, достовірно описує зазначені залежності, оскільки ймовірність нульової гіпотези ($p < 0,05$).

Вміст азоту в рослинах сочевиці у фазу утворення бобів також сильно впливав на його вміст у насінні. Встановлено, що коефіцієнт кореляції між зазначеними величинами становив 0,8682, що вказує на високу тісноту зв'язків між ними (рис. 5.3).

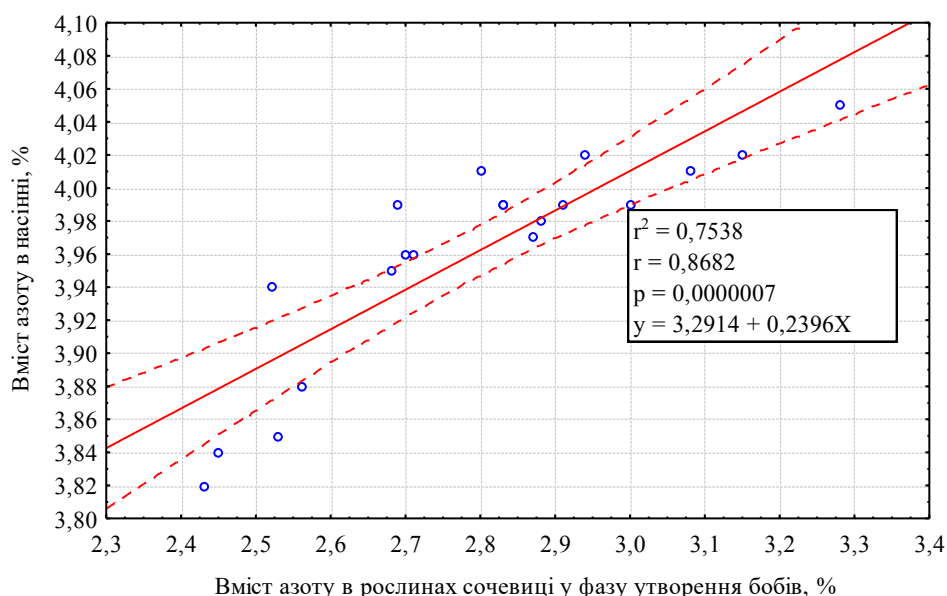


Рис. 5.3 Кореляційні зв'язки і рівняння регресії між вмістом азоту в рослинах сочевиці у фазу утворення бобів та його вмістом у насінні, 2018–2021 рр.

Рівняння регресії $Y = 3,2914 + 0,2396X$, де X – вміст азоту в рослинах сочевиці у фазу утворення бобів, % на суху речовину, Y – вміст азоту в насінні сочевиці, %, достовірно описує зазначені залежності, оскільки ймовірність нульової гіпотези ($p < 0,05$).

Отже, для рослин сочевиці важливим є забезпечення високого рівня азотного живлення впродовж усього вегетаційного періоду для отримання високобілкового продовольчого зерна.

Фосфор є одним з найважливіших і життєво необхідних елементів у живленні рослин. Рослини відчують гостру потребу у фосфорі у

початковий період росту й розвитку. Значний вплив на вміст фосфору в ґрунті мають температурний і водний режими. Різкі зміни вологості ґрунту в кореневмісному шарі часто призводять до перегрупування активних форм фосфору та зменшення вмісту легкокорозчинних сполук. Фосфор має велике значення в синтезі та діяльності нуклеопротейдів, у біосинтезі складних вуглеводів, таких як крохмаль, сахароза, дисахариди та полісахариди [117].

Дослідженнями встановлено, що в динаміці вмісту фосфору в рослинах сочевиці, спостерігається тенденція, аналогічна забезпеченості азотом – його вміст зменшувався зі старінням рослин. Так, під час гілкування в рослинах сочевиці містилося 0,41–0,59 % зазначеного елемента живлення, у фазу цвітіння – 0,32–0,49 %, а у фазу утворення бобів – 0,26–0,36 % на суху речовину залежно від удобрення та застосування бактеріального препарату (табл. 5.2).

Серед досліджуваних варіантів найменший вміст фосфору був на ділянках без внесення мінеральних добрив – 0,41–0,44 % на суху речовину у фазу гілкування сочевиці, 0,32 % у фазу цвітіння та 0,26–0,27 % у фазу утворення бобів. Значно більшим вміст фосфору був у варіантах досліду, де вносилися фосфорні і калійні добрива у дозі $P_{30}K_{40}$ (0,59 % у фазу гілкування) та $N_{30}P_{30}K_{40} + Mo$ (0,47–0,49 % та 0,35–0,36 % відповідно у фазах цвітіння та формування бобів) залежно від передпосівної обробки насіння.

Вміст фосфору в насінні сочевиці найбільшим був у варіанті досліду з внесенням $N_{60}P_{30}K_{40} + Mo$ та передпосівною інокуляцією насіння азотфіксувальними бактеріями. Слід відмітити, що в динаміці в період вегетації спостерігається тенденція зменшення вмісту фосфору в рослинах сочевиці у варіантах із використанням азотфіксувальних бактерій, тоді як в насінні його концентрація навпаки зростає. Статистична обробка результатів досліджень вказує, що не в усіх випадках зафіксована достовірна різниця між варіантами досліду за вмістом фосфору в рослинах за фазами росту й розвитку сочевиці.

**Динаміка вмісту фосфору (P₂O₅) у рослинах сочевиці залежно від
удобрення та інокуляції (2018–2021 рр.), % на суху речовину**

Варіант дослідження	Фаза росту й розвитку рослини				
	Гілкування	Цвітіння	Утворення бобів	Повна стиглість	
				Насіння	Солома
Без добрив (контроль)	<u>0,53</u>	<u>0,44</u>	<u>0,32</u>	<u>1,17</u>	<u>0,46</u>
	0,52	0,43	0,30	1,18	0,45
P ₃₀ K ₄₀ – фон	<u>0,54</u>	<u>0,44</u>	<u>0,33</u>	<u>1,20</u>	<u>0,51</u>
	0,52	0,41	0,32	1,21	0,50
K ₄₀ + N ₆₀	<u>0,44</u>	<u>0,32</u>	<u>0,27</u>	<u>1,24</u>	<u>0,37</u>
	0,41	0,32	0,26	1,26	0,35
P ₃₀ + N ₆₀	<u>0,57</u>	<u>0,45</u>	<u>0,32</u>	<u>1,20</u>	<u>0,50</u>
	0,56	0,44	0,31	1,22	0,48
Фон + N ₃₀	<u>0,55</u>	<u>0,44</u>	<u>0,30</u>	<u>1,21</u>	<u>0,49</u>
	0,53	0,43	0,30	1,23	0,47
Фон + N ₃₀ S ₃₄	<u>0,55</u>	<u>0,45</u>	<u>0,32</u>	<u>1,23</u>	<u>0,49</u>
	0,53	0,42	0,32	1,24	0,48
Фон + N ₆₀	<u>0,54</u>	<u>0,45</u>	<u>0,32</u>	<u>1,22</u>	<u>0,49</u>
	0,54	0,42	0,31	1,24	0,48
Фон + N ₃₀ + Мо	<u>0,56</u>	<u>0,46</u>	<u>0,35</u>	<u>1,22</u>	<u>0,50</u>
	0,55	0,44	0,32	1,24	0,47
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	<u>0,58</u>	<u>0,49</u>	<u>0,36</u>	<u>1,25</u>	<u>0,49</u>
	0,56	0,47	0,35	1,25	0,47
Фон + N ₆₀ + Мо	<u>0,59</u>	<u>0,48</u>	<u>0,35</u>	<u>1,24</u>	<u>0,48</u>
	0,59	0,47	0,34	1,26	0,47
<i>НІР₀₅</i>	<i>0,02–0,03</i>	<i>0,02</i>	<i>0,02</i>	<i>0,05–0,07</i>	<i>0,03</i>

Примітка. Над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією.

Вміст калію в рослинах сочевиці досить високий, значно перевершує за вмістом фосфор і трохи поступається азоту. Завдяки присутності калію в ґрунтовому розчині активізуються механізми синергізму в процесі поглинання деяких іонів, тому що цей елемент виступає антагоністом

окремих катіонів. Зміна концентрації калію в рослинах залежить від погодних умов, виду та віку рослин [40].

Дослідженнями встановлено, що на вміст калію в рослинах впливали системи застосування добрив і фенологічні фази росту й розвитку сочевиці. Як за вмістом азоту та фосфору, відмічається незначне зменшення вмісту калію в рослинах сочевиці зі старінням рослин (табл. 5.3). Так, на початкових етапах росту й розвитку рослин сочевиці концентрація зазначеного елемента живлення становить 2,24–3,11 %, у фазу цвітіння – 2,19–2,60 та у фазу утворення бобів – 1,75–1,94 % на суху речовину залежно від варіантів досліду.

Дослідженнями не встановлено чіткої закономірності щодо залежності вмісту калію в рослинах від особливостей удобрення. Так, у фазу гілкування найменша його концентрація була у контрольному варіанті без внесення добрив – 2,24 % на суху речовину без інокуляції та 2,28 % з інокуляцією. Найбільший вміст калію був у варіанті досліду з внесенням $N_{60}P_{30}K_{40} + Mo$ та передпосівною інокуляцією насіння азотфіксувальними бактеріями – 3,11 % на суху речовину.

У фазі цвітіння сочевиці вміст калію в рослинах був найменшим також на контролі – 2,20–2,24 % та у варіанті із внесенням $P_{30} + N_{60}$ – 2,21–2,24 % на суху речовину залежно від передпосівної обробки насіння.

У другій половині вегетації сочевиці – фаза формування бобів, неудобрені рослини мали найменший вміст калію – 1,75 % на суху речовину без інокуляції та 1,79 % з інокуляцією. Найбільший вміст калію був у варіанті досліду з внесенням $N_{60}P_{30}K_{40} + Mo$ – 1,92–1,94 % на суху речовину.

Характерною особливістю накопичення калію в рослинах є тенденція зростання його вмісту у варіантах досліду з використанням азотфіксувальних бактерій, порівняно із технологією, де інокуляція не проводилася.

Щодо вмісту калію в насінні й соломі, то варто зазначити, що його більший вміст у соломі, на відміну від азоту і фосфору, яких більше міститься в насінні сочевиці. Вміст калію в насінні був в межах 1,22–1,33, в

соломі – 1,36–1,51 % на суху речовину залежно від варіанту досліду з удобренням та інокуляцією.

Таблиця 5.3

Динаміка вмісту калію (K₂O) в рослинах сочевиці залежно від удобрення та інокуляції (2018–2021 рр), % на суху речовину

Варіант досліду	Фаза росту й розвитку рослини				
	Гілкування	Цвітіння	Утворення бобів	Повна стиглість	
				Насіння	Солома
Без добрив (контроль)	<u>2,24</u>	<u>2,20</u>	<u>1,75</u>	<u>1,22</u>	<u>1,40</u>
	2,28	2,24	1,79	1,24	1,45
P ₃₀ K ₄₀ – фон	<u>2,87</u>	<u>2,38</u>	<u>1,83</u>	<u>1,30</u>	<u>1,36</u>
	2,92	2,44	1,88	1,31	1,40
K ₄₀ + N ₆₀	<u>2,88</u>	<u>2,50</u>	<u>1,92</u>	<u>1,34</u>	<u>1,47</u>
	2,92	2,52	1,93	1,35	1,49
P ₃₀ + N ₆₀	<u>2,24</u>	<u>2,21</u>	<u>1,78</u>	<u>1,22</u>	<u>1,44</u>
	2,27	2,24	1,80	1,23	1,47
Фон + N ₃₀	<u>2,91</u>	<u>2,45</u>	<u>1,83</u>	<u>1,27</u>	<u>1,45</u>
	2,97	2,44	1,87	1,27	1,44
Фон + N ₃₀ S ₃₄	<u>2,93</u>	<u>2,47</u>	<u>1,86</u>	<u>1,31</u>	<u>1,46</u>
	2,99	2,48	1,89	1,30	1,48
Фон + N ₆₀	<u>3,00</u>	<u>2,57</u>	<u>1,91</u>	<u>1,28</u>	<u>1,49</u>
	3,08	2,59	1,94	1,29	1,51
Фон + N ₃₀ + Mo	<u>2,88</u>	<u>2,19</u>	<u>1,79</u>	<u>1,28</u>	<u>1,43</u>
	2,94	2,21	1,82	1,29	1,47
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	<u>2,92</u>	<u>2,44</u>	<u>1,85</u>	<u>1,33</u>	<u>1,45</u>
	2,97	2,45	1,88	1,31	1,49
Фон + N ₆₀ + Mo	<u>3,02</u>	<u>2,59</u>	<u>1,92</u>	<u>1,27</u>	<u>1,49</u>
	3,11	2,60	1,94	1,32	1,51
<i>НІР₀₅</i>	<i>0,17–0,13</i>	<i>0,11–0,14</i>	<i>0,08–0,11</i>	<i>0,06–0,08</i>	<i>0,07–0,10</i>

Примітка. Над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією.

Важливе місце в живленні рослин також займають такі макроелементи, як кальцій, магній і сірка. Позитивна дія кальцію полягає у підвищенні стійкості рослин до високих і низьких температур, низького рН; усуненні токсичності деяких елементів (заліза, міді, цинку); поліпшенні транспортування вуглеводів і білкових речовин, росту коренів, синтезу

хлорофілу та ін. Дефіцит кальцію гальмує ріст листків, їх жилки буріють, спочатку на них з'являються світло-жовті плями, згодом вони відмирають [25, 83].

Вміст магнію в рослинах змінюється в межах 0,01–3,0 % у перерахунку на суху речовину [25]. Магнієве голодування пригнічує утворення пластид, різко зменшується вміст хлорофілу, знижується вміст нуклеїнових кислот і білка, блокується перетворення вуглеводів, спостерігається уповільнення утворення клітковини [83].

Сірка, так само, як і азот є складовою частиною білка. Концентрація сірки у тканинах рослин знаходиться в межах 2–5 мг S/кг сухої речовини. За достатнього забезпечення сіркою, її вміст у рослині також збільшується, але збільшується лише вміст аніона SO_4^{2-} , вміст органічних сполук сірки залишається незмінним, тобто надлишок сірки у рослині зберігається у вигляді SO_4^{2-} . За недостатнього режиму живлення сіркою відбувається пригнічення багатьох метаболічних процесів, у першу чергу синтез сірковмісних амінокислот (метіоніну, цистеїну) та білків, порушується формування хлоропластів. Відбувається загальний хлороз, пригнічується ріст стебла, листки накопичують антоціани і відмирають [83].

Дослідженнями встановлено, що з поліпшенням живлення рослин відмічається більший вміст кальцію та магнію в соломі сочевиці, тоді як сірки у насінні (табл. 5.4).

Залежно від варіанту досліду в соломі сочевиці містилося 1,60–2,08 % CaO, 0,28–0,39 – MgO та 0,20–0,36 % SO_3 . В зерні сочевиці зазначені показники знаходилися на рівні відповідно 0,052–0,076 %, 0,17–0,25 та 0,45–0,70 %. Найвищий вміст кальцію і магнію, як у зерні, так і в соломі зафіксовано у варіанті досліду, де калійні добрива не вносилися – відповідно 0,074–0,076 % CaO та 0,23–0,25 % MgO і 2,05–2,08 % CaO та 0,42–0,44 % MgO. Це може бути зумовлено тим, що кальцій і магній є антагоністами калію і надлишок одного приводить до дефіциту іншого [83]. Відповідно у варіантах досліду, де вносили калійні добрива – кальцій і магній гірше

засвоювалися і відповідно їх вміст у рослинах був менший, а в зазначеному варіанті досліду було недостатнє живлення рослин калієм, відповідно і засвоєння кальцію і магнію було ліпшим.

Таблиця 5.4

Вміст кальцію, магнію й сірки у насінні та соломі сочевиці залежно від особливостей удобрення (2020–2021 рр.), % на суху речовину

Варіант досліду	Насіння			Солома		
	CaO	MgO	SO ₃	CaO	MgO	SO ₃
Без добрив (контроль)	<u>0,055</u> 0,054	<u>0,17</u> 0,18	<u>0,47</u> 0,46	<u>1,63</u> 1,65	<u>0,30</u> 0,32	<u>0,22</u> 0,20
P ₃₀ K ₄₀ – фон	<u>0,052</u> 0,055	<u>0,17</u> 0,18	<u>0,50</u> 0,51	<u>1,60</u> 1,62	<u>0,31</u> 0,32	<u>0,31</u> 0,30
K ₄₀ + N ₆₀	<u>0,069</u> 0,065	<u>0,17</u> 0,18	<u>0,51</u> 0,49	<u>1,65</u> 1,69	<u>0,28</u> 0,31	<u>0,27</u> 0,25
P ₃₀ + N ₆₀	<u>0,076</u> 0,074	<u>0,23</u> 0,25	<u>0,48</u> 0,45	<u>2,05</u> 2,08	<u>0,42</u> 0,44	<u>0,20</u> 0,22
Фон + N ₃₀	<u>0,067</u> 0,065	<u>0,19</u> 0,19	<u>0,53</u> 0,53	<u>1,98</u> 1,99	<u>0,34</u> 0,36	<u>0,29</u> 0,27
Фон + N ₃₀ S ₃₄	<u>0,068</u> 0,066	<u>0,19</u> 0,20	<u>0,68</u> 0,65	<u>1,99</u> 2,00	<u>0,34</u> 0,35	<u>0,36</u> 0,34
Фон + N ₆₀	<u>0,069</u> 0,067	<u>0,18</u> 0,20	<u>0,47</u> 0,46	<u>2,00</u> 2,03	<u>0,38</u> 0,39	<u>0,26</u> 0,25
Фон + N ₃₀ + Mo	<u>0,066</u> 0,064	<u>0,19</u> 0,20	<u>0,51</u> 0,50	<u>1,96</u> 1,98	<u>0,34</u> 0,35	<u>0,28</u> 0,26
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	<u>0,067</u> 0,065	<u>0,19</u> 0,21	<u>0,70</u> 0,67	<u>1,95</u> 1,99	<u>0,32</u> 0,34	<u>0,34</u> 0,33
Фон + N ₆₀ + Mo	<u>0,069</u> 0,068	<u>0,19</u> 0,21	<u>0,47</u> 0,45	<u>1,97</u> 2,01	<u>0,36</u> 0,38	<u>0,23</u> 0,25

Примітка. Над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією.

Відомо, що до складу рослин входить понад 60 мікроелементів, які так само, як і макроелементи мають вагомий вплив на формування продуктивності сільськогосподарських культур. Більшість їх потрібна для нормального росту й розвитку рослин, адже вони беруть участь у таких важливих процесах, як дихання (Fe, Mn, Cu, Co, Zn), фотосинтез (Fe, Mn, Cu),

білковий, жировий і вуглеводний обміни, зв'язування вільного азоту (В, Мп, Мо, Fe), утворенні органічних кислот і ферментів (V, Мп, Cu, Мо, Ni, Zn), перетворенні сполук азоту й фосфору (Zn, В, Cu, Мо, Mn), розвитку бульбочкових бактерій (Мо, Cu, В), каталізують різні реакції (Mn, Fe, Мо, Cu, Zn та ін.) [25, 83]. Також відомо, що мікроелементи виконують низку специфічних функцій у захисних механізмах посухостійких і морозостійких різновидів рослин [25]. Застосування мікроелементів повинно суворо контролюватися, оскільки потреба в них досить мала (менше, як 0,001 %), а більша їх кількість токсична [83].

Поряд із значним позитивним фізіологічним впливом мікроелементів на врожайність сільськогосподарських культур в тому числі і сочевиці, необхідно зазначити і те, що надмірна їх кількість може негативно позначитися на якості вирощеної продукції, оскільки деякі з них відносяться до категорії важких металів і можуть негативно вплинути на здоров'я людини. Згідно ДСТУ 6020:2008 «Сочевиця. Технічні умови» [61] вміст міді та цинку, як елементів живлення та одночасно важких металів, у насінні сочевиці повинен становити не більше, як відповідно 10 та 50 мг/кг. Концентрація всіх інших мікроелементів не регламентуються зазначеним стандартом.

Проведеними дослідженнями встановлено, що чіткої закономірності щодо вмісту мангану в зерні сочевиці не спостерігалось (табл. 5.5). Так, залежно від варіанту досліду концентрація зазначеного елемента живлення становила 11,3–13,1 мг/кг сухої речовини.

Щодо вмісту заліза в насінні сочевиці, то у контрольному варіанті без добрив його вміст становив 43,2–46,5 мг/кг, за внесення $P_{30}K_{40}$ 43,2–46,6 мг/кг сухої речовини. Тобто з поліпшенням азотного живлення рослин завдяки симбіотичній азотфіксації, вміст його достовірно знижувався. Застосування мінерального азоту зумовлювало також значне зниження вмісту заліза – до 40,7–45,8 мг/кг сухої речовини залежно від варіанту досліду.

Вміст мікроелементів у насінні сочевиці залежно від інокуляції та особливостей удобрення (2020–2021 рр.), мг/кг сухої речовини

Варіант досліджу	Мікроелемент						
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Co
Без добрив (контроль)	<u>46,5</u>	<u>11,9</u>	<u>42,8</u>	<u>10,31</u>	<u>5,11</u>	<u>0,15</u>	<u>0,004</u>
	43,2	11,3	40,1	9,53	4,80	0,14	0,003
P ₃₀ K ₄₀ – фон	<u>46,6</u>	<u>11,8</u>	<u>43,2</u>	<u>10,22</u>	<u>5,16</u>	<u>0,15</u>	<u>0,003</u>
	43,2	11,2	40,4	9,32	4,91	0,13	0,003
K ₄₀ + N ₆₀	<u>45,8</u>	<u>12,2</u>	<u>47,6</u>	<u>10,21</u>	<u>5,25</u>	<u>0,22</u>	HMB
	42,5	11,5	44,6	9,12	5,18	0,21	
P ₃₀ + N ₆₀	<u>42,4</u>	<u>13,1</u>	<u>46,0</u>	<u>9,68</u>	<u>5,39</u>	<u>0,30</u>	HMB
	39,6	12,5	42,3	9,05	5,12	0,28	
Фон + N ₃₀	<u>45,3</u>	<u>12,2</u>	<u>45,0</u>	<u>9,41</u>	<u>5,22</u>	<u>0,23</u>	HMB
	42,6	11,6	41,9	9,33	4,91	0,22	
Фон + N ₃₀ S ₃₄	<u>44,8</u>	<u>12,2</u>	<u>46,3</u>	<u>9,91</u>	<u>5,19</u>	<u>0,24</u>	<u>0,006</u>
	40,8	11,7	43,3	9,26	4,77	0,23	0,005
Фон + N ₆₀	<u>41,2</u>	<u>12,3</u>	<u>46,7</u>	<u>8,84</u>	<u>5,30</u>	<u>0,22</u>	<u>0,004</u>
	40,9	11,8	43,9	8,75	4,93	0,20	0,004
Фон + N ₃₀ + Mo	<u>44,1</u>	<u>12,2</u>	<u>43,8</u>	<u>9,91</u>	<u>5,26</u>	<u>4,19</u>	<u>0,018</u>
	43,3	11,3	41,1	9,62	5,00	3,94	0,017
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	<u>44,9</u>	<u>12,2</u>	<u>46,2</u>	<u>9,74</u>	<u>5,22</u>	<u>4,21</u>	<u>0,016</u>
	41,8	11,6	43,4	9,43	4,93	3,92	0,014
Фон + N ₆₀ + Mo	<u>41,5</u>	<u>12,2</u>	<u>47,0</u>	<u>9,86</u>	<u>5,28</u>	<u>4,26</u>	<u>0,018</u>
	40,7	11,6	44,2	9,61	4,91	4,00	0,017
НІР ₀₅	<u>1,9</u>	<u>0,5</u>	<u>2,0</u>	<u>0,4</u>	<u>0,2</u>	<u>0,06</u>	—
	2,1	0,7	2,2	0,6	0,3	0,09	

Примітка. 1) Над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією;
2) HMB – нижче межі визначення.

Проведення передпосівної обробки насіння азотфіксувальними мікроорганізмами також зумовило зменшення вмісту заліза в сочевиці. У варіантах досліджу без інокуляції концентрація заліза становила 41,2–46,6 мг/кг, а за її проведення – 39,6–43,3 мг/кг сухої речовини залежно від варіанту удобрення.

Вміст цинку в насінні сочевиці був протилежним до заліза – оскільки із внесенням мінеральних добрив концентрація зростала. Так, у контрольному

варіанті досліду вона знаходилася на рівні 40,1–42,8 мг/кг, а на інших варіантах, де вносилися мінеральні добрива – 40,4–47,6 мг/кг сухої речовини залежно від удобрення та інокуляції. Необхідно зазначити, що в досліді не зафіксовано перевищення максимально допустимого перевищення вмісту цинку в насінні сочевиці, який відповідно до ДСТУ 6020:2008 «Сочевиця. Технічні умови» становить 50 мг/кг.

Щодо вмісту міді в насінні сочевиці, то на трьох варіантах досліду спостерігалось незначне перевищення максимально допустимого її вмісту – 10 мг/кг. Це відмічено на контрольному варіанті без добрив (10,31 мг/кг), P₃₀K₄₀ (10,22 мг/кг) та K₄₀ + N₆₀ (10,21 мг/кг). Вирощена продукція в усіх інших варіантах досліду відповідає вимогам Стандарту. В цілому ж, за вмістом міді також не зафіксовано чіткої закономірності щодо її залежності від системи застосування добрив.

Дослідженнями встановлено, що складові системи удобрення, які вивчалися в досліді, суттєво не впливали на вміст бору в насінні сочевиці. Залежно від варіанту досліду його концентрація становила 5,11–5,39 мг/кг без інокуляції та 4,77–5,11 мг/кг сухої речовини з інокуляцією.

За внесення мінерального азоту було відмічено тенденцію до збільшення концентрації молібдену в насінні сочевиці. Так, на контролі без добрив вміст молібдену становив 0,14–0,15 мг/кг, за внесення P₃₀K₄₀ – 0,13–0,15, а у варіантах досліду де вносилися азотні добрива та проводилася інокуляція насіння концентрація молібдену в насінні становила 0,20–0,30 мг/кг сухої речовини.

На ділянках досліду з внесенням молібдену спостерігалось суттєве його збільшення у вирощеній продукції. Так, у зазначених варіантах досліду без інокуляції в насінні містилося 3,92–4,00 мг/кг молібдену та 4,19–4,26 мг/кг з інокуляцією.

Щодо вмісту кобальту в зерні, то він був навіть низьким і в деяких варіантах досліду його концентрація перебувала нижче межі визначення.

Винятком були варіанти із внесенням молібдену, де відмічено зростання вмісту кобальту до рівня 0,014–0,018 мг/кг сухої речовини.

Дещо по іншому відбувалося накопичення мікроелементів у соломі сочевиці. Так, вміст заліза знаходився на рівні 91,4–145,6 мг/кг, що значно перевищує його концентрацію в насінні (табл. 5.6). При цьому найменше заліза містилося у варіанті досліду з внесенням лише $P_{30}K_{40}$ – 91,4–92,2 мг/кг, а найбільше на контролі без добрив – 142,3–145,6 мг/кг залежно від передпосівної інокуляції.

Щодо вмісту мангану в соломі, то мінімальна його кількість була зафіксована у варіанті досліду з внесенням $K_{40} + N_{60}$ – 19,4–19,6 мг/кг, а максимальна – за внесення $P_{30} + N_{60}$ – 33,1–34,5 мг/кг. Вміст зазначеного елемента живлення в інших варіантах досліду був майже на однаковому рівні і змінювався в межах помилки досліду. Аналогічна ситуація відмічається також і з іншими мікроелементами – цинком, бором на вміст яких у соломі мало впливали системи застосування добрив. Так, вміст цинку в соломі був на рівні 20,2–24,1 мг/кг, бору – 14,2–19,6 мг/кг сухої речовини.

Накопичення міді в соломі сочевиці відбувалося дещо по іншому. Найвищий її вміст був на контролі без добрив – 18,6–19,1 мг/кг та на фосфорно-калійному тлі ($P_{30} K_{40}$) – 18,4–18,9 мг/кг сухої речовини.

Внесення азотних добрив, сірки та молібдену сповільнило накопичення міді в соломі. Так, залежно від удобрення концентрація міді становила 12,8–16,4 мг/кг, що є достовірним зниженням порівняно із контролем та фосфорно-калійним тлом.

Вміст молібдену в соломі у варіантах його застосування знаходився в межах 1,72–1,99 мг/кг сухої речовини. В усіх інших ділянках досліду – його концентрація знаходилася нижче межі визначення. Кобальту в соломі сочевиці містилося небагато – 0,011–0,057 мг/кг сухої речовини залежно від варіанту досліду. Найбільше його накопичувалось у соломі на контролі без добрив та інокуляції – 0,057 мг/кг, а найменша у варіанті з внесенням $N_{60} +$

Мо на фосфорно-калійному тлі (P₃₀K₄₀) та проведення передпосівної інокуляції насіння – 0,011 мг/кг сухої речовини.

Таблиця 5.6

Вміст мікроелементів у соломі сочевиці залежно від інокуляції та особливостей удобрення (2020–2021 рр.), мг/кг сухої речовини

Варіант досліджу	Мікроелемент						
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Co
Без добрив (контроль)	<u>145,6</u>	<u>30,2</u>	<u>23,5</u>	<u>19,1</u>	<u>17,2</u>	НМВ	<u>0,057</u>
	142,3	29,6	23,2	18,6	16,9		0,048
P ₃₀ K ₄₀ – фон	<u>92,2</u>	<u>28,6</u>	<u>20,7</u>	<u>18,9</u>	<u>17,0</u>	НМВ	<u>0,048</u>
	91,4	26,2	20,2	18,4	16,9		0,043
K ₄₀ + N ₆₀	<u>136,4</u>	<u>19,6</u>	<u>24,1</u>	<u>16,4</u>	<u>15,5</u>	НМВ	<u>0,037</u>
	136,2	19,4	23,6	16,2	15,4		0,032
P ₃₀ + N ₆₀	<u>111,1</u>	<u>34,5</u>	<u>23,2</u>	<u>14,1</u>	<u>14,4</u>	НМВ	<u>0,018</u>
	107,3	33,1	23,1	13,8	14,2		0,017
Фон + N ₃₀	<u>128,4</u>	<u>32,1</u>	<u>23,0</u>	<u>13,5</u>	<u>15,7</u>	НМВ	<u>0,036</u>
	127,3	31,7	22,7	13,3	15,5		0,030
Фон + N ₃₀ S ₃₄	<u>127,1</u>	<u>31,9</u>	<u>23,0</u>	<u>13,2</u>	<u>15,5</u>	НМВ	<u>0,033</u>
	126,0	31,5	22,6	13,0	15,4		0,029
Фон + N ₆₀	<u>122,3</u>	<u>31,9</u>	<u>23,2</u>	<u>13,3</u>	<u>19,9</u>	НМВ	<u>0,015</u>
	121,4	31,6	23,1	13,1	19,8		0,014
Фон + N ₃₀ + Мо	<u>126,1</u>	<u>32,0</u>	<u>22,8</u>	<u>13,4</u>	<u>17,3</u>	<u>1,99</u>	<u>0,033</u>
	125,2	31,9	22,7	13,2	17,2	1,93	0,028
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	<u>125,9</u>	<u>32,1</u>	<u>23,1</u>	<u>13,2</u>	<u>18,3</u>	<u>1,96</u>	<u>0,028</u>
	124,7	31,8	22,8	13,1	18,0	1,91	0,024
Фон + N ₆₀ + Мо	<u>119,5</u>	<u>32,2</u>	<u>23,6</u>	<u>13,1</u>	<u>19,5</u>	<u>1,85</u>	<u>0,012</u>
	117,4	31,6	23,3	12,8	19,6	1,72	0,011
НІР ₀₅	<u>6,2</u>	<u>1,5</u>	<u>1,2</u>	<u>0,7</u>	<u>0,8</u>	<u>0,018</u>	—
	7,1	1,9	1,5	1,0	0,9	0,024	

Примітка. 1) над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією;
2) НМВ – нижче межі визначення.

Отже, можна зробити висновок, що на вміст макро- та мікроелентів у рослинах сочевиці впливали складові системи застосування добрив, біологічні особливості досліджуваної культури і взаємодія самих елементів живлення в ґрунті та рослинах.

5.2 Винесення елементів живлення врожаєм і коефіцієнти їх використання з добрив

Всі сільськогосподарські культури упродовж вегетації поглинають елементи живлення для формування врожаю. Вважають, що цей показник досягає значної величини, особливо за формування високого врожаю. Спостерігається чітка залежність величини винесення від культури, що вирощується, рівня врожайності та застосування добрив [118].

Існує думка, що дані винесення елементів живлення можуть дати можливість оцінити ступінь їх доступності рослинам і сформуванню уявлення про рівень родючості ґрунту [118]. Показники винесення будуть неоднакові залежно від ґрунтово-кліматичної зони. Так, наприклад, горох на формування 1 т насіння та відповідної кількості соломи за вирощування в зоні Полісся витрачає: азоту – 16 кг, P_2O_5 – 23 кг, K_2O також 23 кг, а от в умовах Степу ці показники відповідно будуть: 14, 20 та 20 кг [85].

Дані винесення культурою елементів живлення необхідні для корегування доз добрив на запланований урожай [79].

Винесення та баланс елементів живлення є основою, за допомогою якої можна оцінити перспективність системи удобрення та спроможність забезпечувати сталість вирощування сільськогосподарських культур у тривалій перспективі [72]. Стабільною вважається система удобрення, яка забезпечує нульовий або додатний баланс елементів живлення у ґрунті. Нинішні технології вирощування сільськогосподарських культур нажалі призводять до від'ємного балансу елементів живлення в ґрунті.

Сучасні технології вирощування культур у сівозміні передбачають переважно залишення нетоварної продукції на полі з наступним зароблянням її в ґрунт. Такі заходи позитивно впливають на стан ґрунту і забезпечують збагачення його органічною речовиною та сприяють відновленню природної родючості.

Дослідженнями встановлено, що на винесення елементів живлення з урожаєм істотний вплив мало азотне живлення рослин сочевиці, причому більшим винесенням характеризувалося насіння сочевиці порівняно із соломою (табл. 5.7). Так, із насінням сочевиця виносить з ґрунту 54–75 кг/га азоту у варіантах без інокуляції та 59–86 кг/га з інокуляцією. По фосфору та калію зазначені показники знаходяться на рівні відповідно 16–25 і 18–27 кг/га. Якщо розглядати винесення поживних речовин із соломою, то азоту виноситься 14–28 кг/га у варіантах із інокуляцією та 15–32 кг/га без інокуляції, фосфору відповідно 7–12 та 9–13 і калію 23–38 та 26–43 кг/га.

Найменшим винесенням елементів живлення характеризується контрольний варіант без добрив – 54–59 кг/га азоту із зерном та 14–15 кг/га із соломою, 16–18 кг/га фосфору із насінням та 7–8 кг/га із соломою, калію відповідно 17–19 та 23–26 кг/га.

Варіант досліду, де висівалося насіння сочевиці оброблене азотфіксувальними бактеріями, вносилися $N_{60} + Mo$ на фосфорно-калійному тлі $P_{30}K_{40}$ відзначався найвищим винесенням поживних речовин – 80–88 кг/га азоту із насінням, 28–32 кг/га із соломою, 25–27 кг/га фосфору із насінням і 12–13 кг/га із соломою та 25–29 кг/га калію із насінням та 38–43 кг/га із соломою залежно від передпосівної інокуляції.

З використанням методу кореляційно-регресійного аналізу розроблено математичні та графічні моделі, які наочно демонструють і достовірно описують залежності винесення елементів живлення від урожайності та хімічного складу продукції. Так, найвище винесення азоту із насінням і соломою було у варіантах із найвищою врожайністю основної та нетоварної

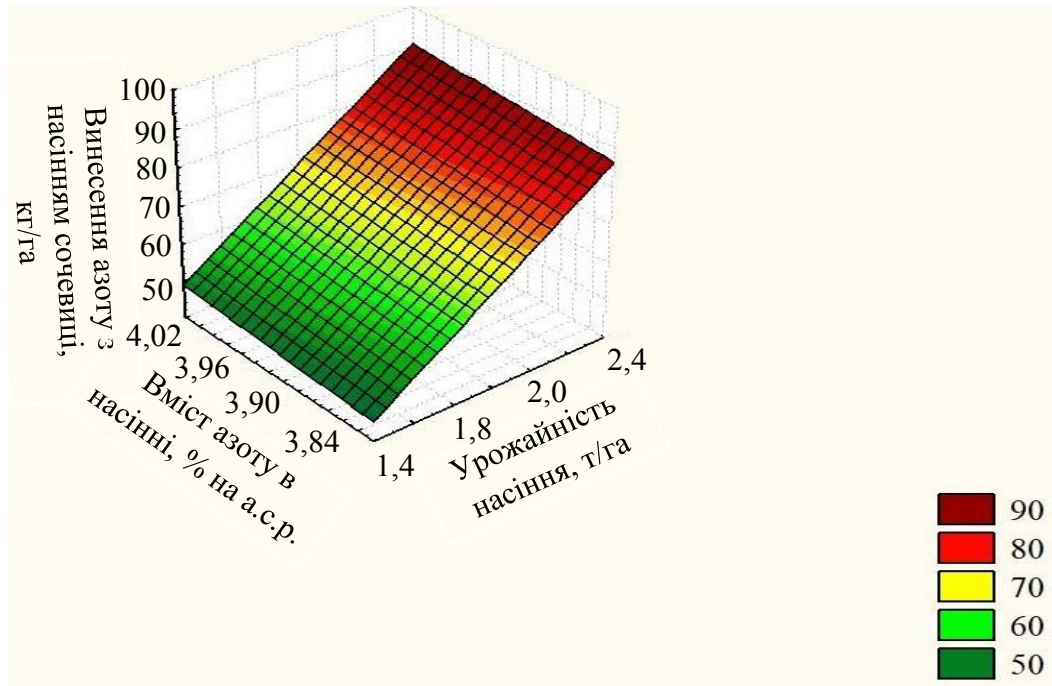
продукції і найвищим вмістом у них зазначеного елемента живлення (рис. 5.4).

Таблиця 5.7

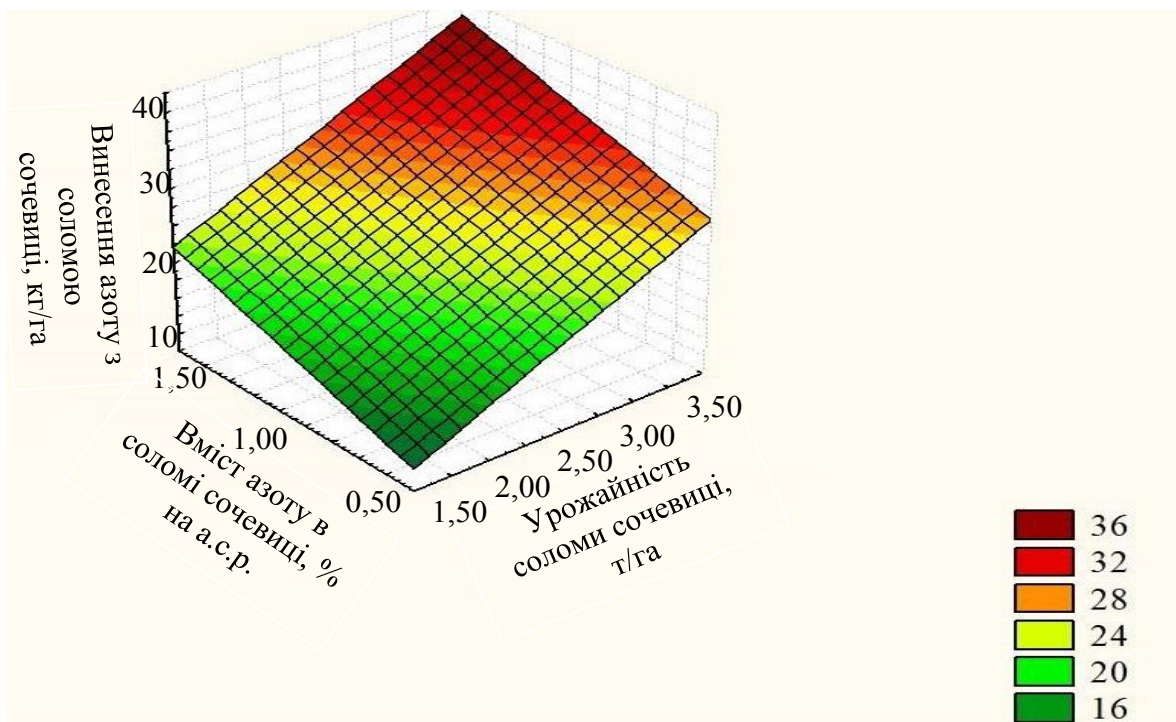
**Винесення елементів живлення з урожаєм сочевиці залежно від
удобрення та інокуляції (2018–2021 рр.), кг/га**

Варіант дослідження	Винесення із					
	насінням			СОЛОМОЮ		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	$\frac{54}{59}$	$\frac{16}{18}$	$\frac{17}{19}$	$\frac{14}{15}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{23}{26}$
P ₃₀ K ₄₀ – фон	$\frac{59}{65}$	$\frac{18}{20}$	$\frac{20}{22}$	$\frac{16}{18}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{24}{26}$
K ₄₀ + N ₆₀	$\frac{67}{73}$	$\frac{21}{23}$	$\frac{23}{25}$	$\frac{24}{30}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{31}{36}$
P ₃₀ + N ₆₀	$\frac{73}{80}$	$\frac{22}{24}$	$\frac{23}{25}$	$\frac{26}{29}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{33}{37}$
Фон + N ₃₀	$\frac{67}{75}$	$\frac{20}{23}$	$\frac{21}{24}$	$\frac{25}{29}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{32}{35}$
Фон + N ₃₀ S ₃₄	$\frac{71}{81}$	$\frac{22}{25}$	$\frac{24}{26}$	$\frac{28}{31}$	$\frac{11}{12}$	$\frac{34}{37}$
Фон + N ₆₀	$\frac{77}{84}$	$\frac{24}{26}$	$\frac{25}{27}$	$\frac{27}{30}$	$\frac{12}{13}$	$\frac{37}{41}$
Фон + N ₃₀ + Мо	$\frac{71}{80}$	$\frac{22}{25}$	$\frac{23}{26}$	$\frac{25}{27}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{33}{37}$
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	$\frac{75}{86}$	$\frac{24}{27}$	$\frac{25}{28}$	$\frac{26}{30}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{34}{40}$
Фон + N ₆₀ + Мо	$\frac{80}{88}$	$\frac{25}{27}$	$\frac{25}{29}$	$\frac{28}{32}$	$\frac{12}{13}$	$\frac{38}{43}$

Примітка. Над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією.



Залежність винесення азоту із насінням від його вмісту та його врожайності



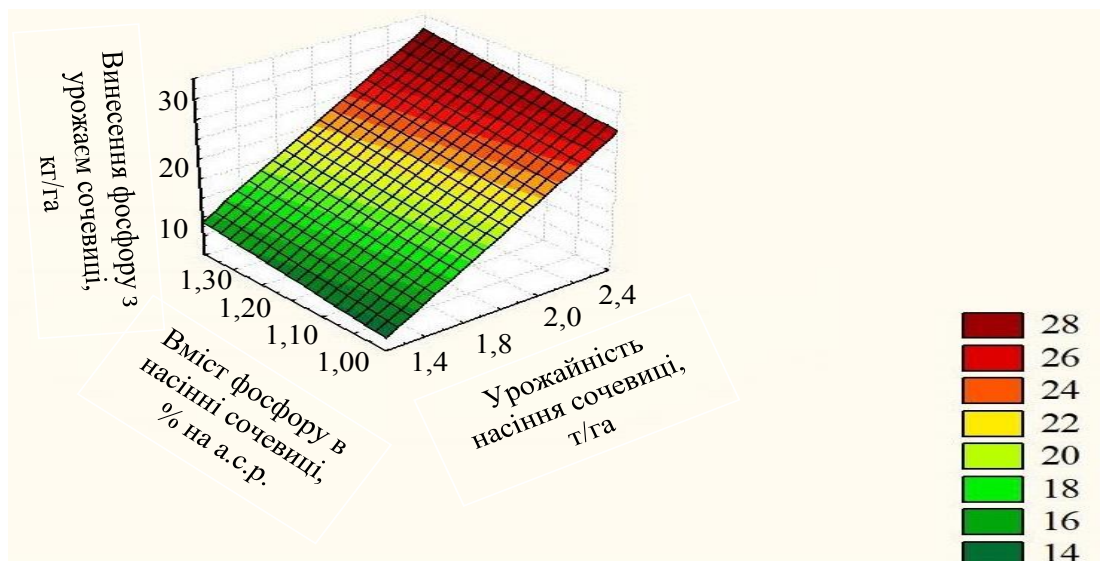
Залежність винесення азоту із соломною від його вмісту та її врожайності

Рис. 5.4 Графічні моделі залежності винесення азоту із насінням і соломною від їх урожайності та вмісту в продукції

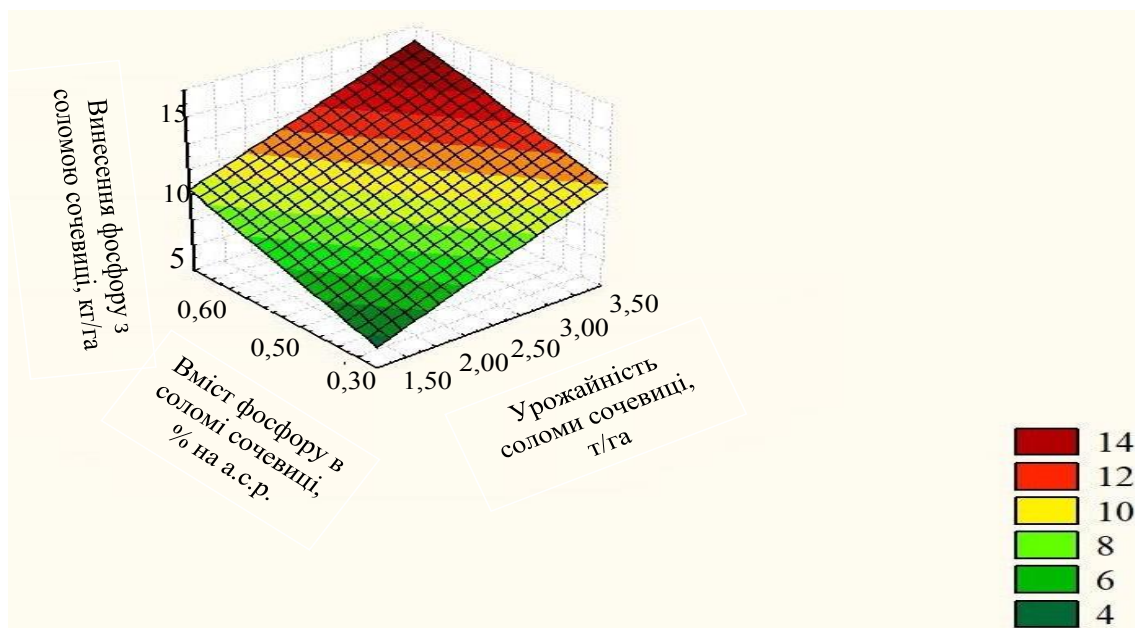
Винесення азоту із зерном сочевиці описується математичним рівнянням $Y = -601,06656 + 34,3033X_1 + 15,0570X_2$, а в соломі $Y = -21,6921 + 9,1208X_1 +$

$20,7531X_2$, де Y – відповідно вміст зазначеного елемента живлення у насінні та соломі, X_1 – відповідно врожайність основної та нетоварної продукції, а X_2 – вміст азоту в основній і нетоварній продукції. Ймовірність нульової гіпотези (p) менше 0,05, таким чином всі коефіцієнти достовірні на 5 %-му рівні значимості.

Подібні результати отримано і за винесення фосфорних добрив (рис. 5.5).



Залежність винесення фосфору із насінням від його вмісту та врожайності

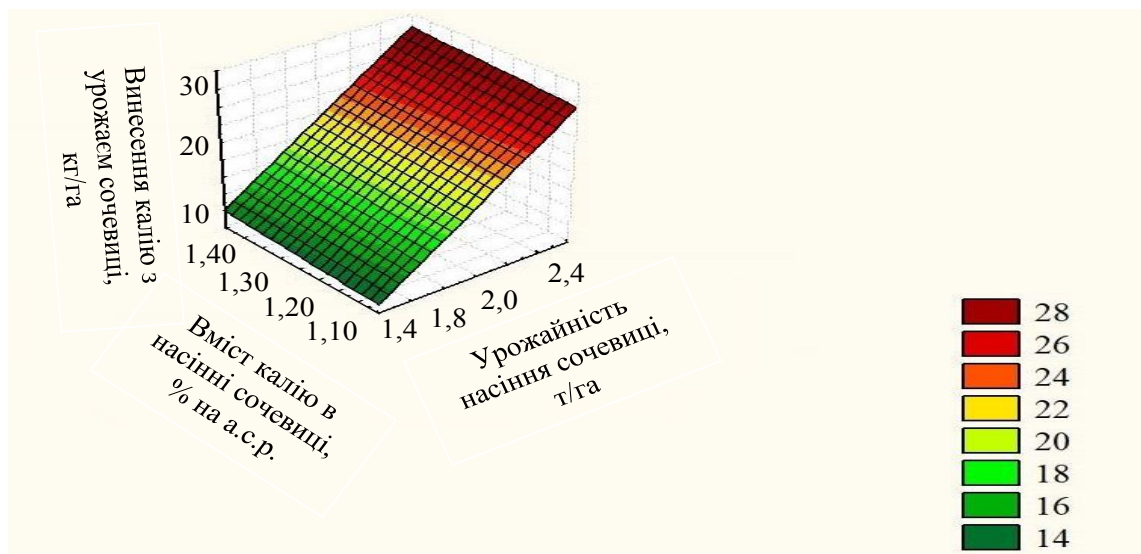


Залежність винесення фосфору із соломною від його вмісту та врожайності

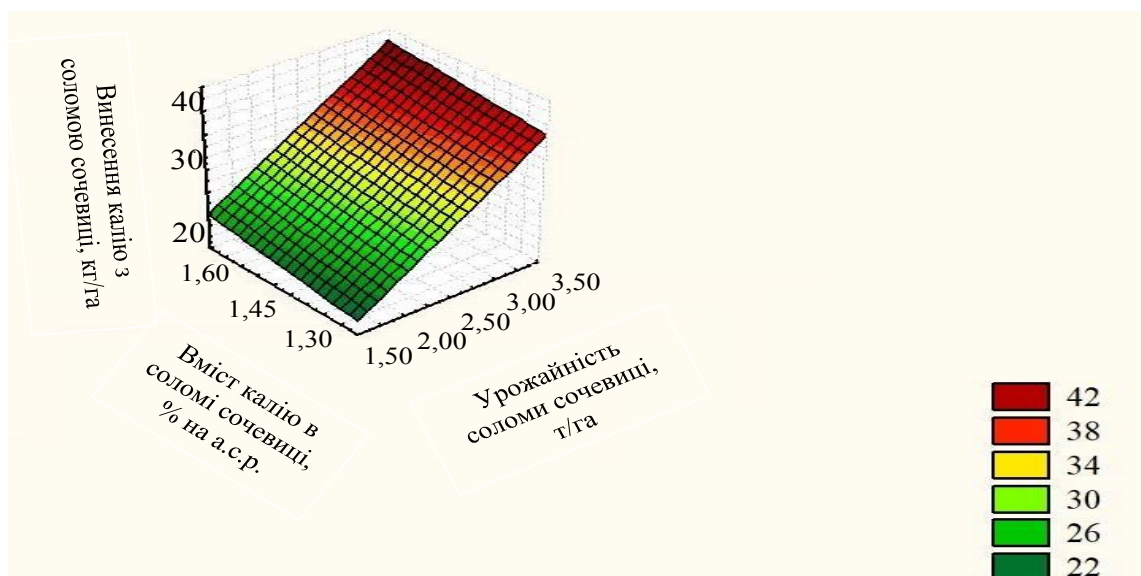
Рис. 5.5 Графічні моделі залежності винесення фосфору (P_2O_5) із насінням і соломною від їх врожайності та вмісту в продукції

Винесення фосфору із насінням сочевиці описується математичним рівнянням $Y = -23,7359 + 10,8216X_1 + 18,8422X_2$, а з соломною $Y = -11,3566 + 3,9796X_1 + 24,3989X_2$, де Y – відповідно вміст зазначеного елемента живлення у насінні та соломі, X_1 – відповідно врожайність основної та нетоварної продукції, а X_2 – вміст фосфору в основній та нетоварній продукції. Ймовірність нульової гіпотези (p) менше 0,05, таким чином всі коефіцієнти достовірні на 5%-му рівні значимості.

Подібні результати отримано і за винесення калійних добрив (рис. 5.6).



Залежність винесення калію із зерном від його вмісту та врожайності



Залежність винесення калію із соломною від його вмісту та врожайності

Рис. 5.6 Графічні моделі залежності винесення калію (K_2O) із насінням і соломною від їх врожайності та вмісту в продукції

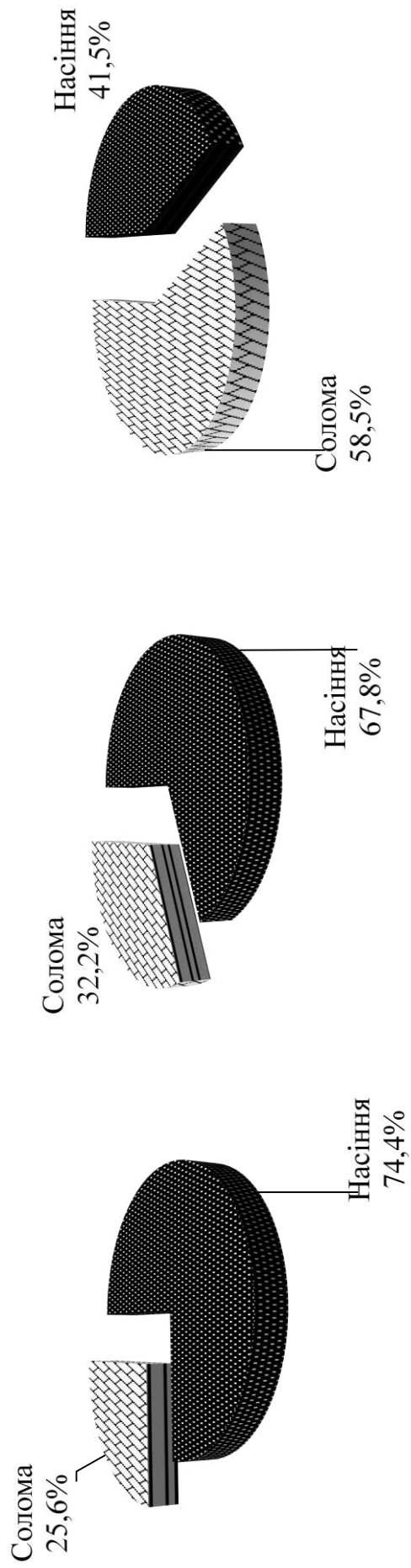
Винесення калію із насінням сочевиці описується математичним рівнянням $Y = -12,3996 + 12,0362X_1 + 7,1091X_2$, а з соломою $Y = -29,8406 + 12,3624X_1 + 20,9161X_2$, де Y – відповідно вміст зазначеного елемента живлення у насінні та соломі, X_1 – відповідно врожайність основної і нетоварної продукції, а X_2 – вміст калію в основній та нетоварній продукції. Ймовірність нульової гіпотези (p) менше 0,05, таким чином всі коефіцієнти достовірні на 5%-му рівні значимості.

Варто зазначити, що винесення азоту і фосфору проходить більше насінням сочевиці, а от калію навпаки – соломою, що потрібно враховувати при розробці системи удобрення сочевиці, тому що запаси калію можуть бути поповнені в більшій мірі, ніж азот і фосфор, (рис. 5.7). Так, за середніми даними з усіх варіантів досліду із зерном сочевиці виноситься 74,4 % усього азоту, а з соломою – 25,6 %, фосфору – відповідно 67,8 та 32,2 % і калію – 41,5 та 58,5 %.

Маса врожаю та показник вмісту основних елементів живлення в ньому, дозволяють розрахувати господарське їх вилучення з ґрунту. Також цей показник залежить від структури урожаю (відношення між основною і нетоварною продукцією). Зазвичай біологічна потреба рослин упродовж вегетації більше господарського винесення елементів живлення, не дивлячись на те, що зазвичай польові культури однорічні рослини.

Дослідженнями встановлено, що господарське винесення елементів живлення у варіантах досліду був різним і залежав від технологічних заходів, які на них вивчалися (табл. 5.8). Так, залежно від удобрення посіви сочевиці виносили з ґрунту 68–108 кг/га азоту у варіантах без інокуляції та 74–120 кг/га азоту у варіантах досліду із інокуляцією. По фосфору зазначені показники знаходилися на рівні відповідно 23–37 та 26–40 кг/га і по калію – 40–63 та 45–72 кг/га.

Порівняльне оцінювання варіантів досліду за винесенням елементів живлення свідчить, що найменшим він був у контрольному варіанті без внесення добрив і становив 68 кг/га азоту, 23 – фосфору та 40 кг/га калію.



Азот

Фосфор

Калій

Рис. 5.7 Частка винесення основних елементів живлення із насінням та соломою (середні дані за варіантами дослід), 2018–2021 рр.

**Господарське винесення елементів живлення рослинами сочевиці
залежно від удобрення та інокуляції (2018–2021 рр.), кг/га**

Варіант досліджу	Без інокуляції			З інокуляцією		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	68	23	40	74	26	45
P ₃₀ K ₄₀ – фон	75	27	44	83	29	48
K ₄₀ + N ₆₀	91	29	54	103	31	61
P ₃₀ + N ₆₀	99	34	56	109	36	62
Фон + N ₃₀	92	31	53	104	34	59
Фон + N ₃₀ S ₃₄	99	33	58	112	37	63
Фон + N ₆₀	104	36	62	114	39	68
Фон + N ₃₀ + Мо	96	34	56	107	37	63
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	101	36	59	116	39	68
Фон + N ₆₀ + Мо	108	37	63	120	40	72

Внесення макро- та мікроелементів у вигляді мінеральних добрив зумовило збільшення господарського винесення елементів живлення. Так, у варіанті досліджу з висіванням необробленого насіння сочевиці азотфіксувальними бактеріями, внесенні N₆₀ + Мо на фосфорно-калійному тлі (P₃₀ K₄₀) господарське винесення азоту становило 108 кг/га, фосфору – 37 і калію – 63 кг/га. Проведення передпосівної інокуляції насіння сочевиці зумовило зростання господарського винесення азоту з урожаєм до 120 кг/га.

Необхідно зазначити, що збільшення винесення азоту спричинило зростання й господарського винесення фосфору та калію. У цьому ж варіанті за проведеними розрахунками з урожаєм основної і нетоварної продукції було винесено рослинами 40 кг/га фосфору та 72 кг/га калію.

За результатами проведених досліджень розраховано основні показники ефективності інокуляції насіння сочевиці, які базуються на основі даних про господарське винесення азоту з урожаєм, його вмісту в ґрунті та кількості внесеного з мінеральними добривами (табл. 5.9).

Результатами агрохімічного обстеження ґрунту дослідної ділянки та відповідними розрахунками встановлено, що перед закладанням дослідів вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті становив 83,7 кг/га, а з урахуванням коефіцієнта використання азоту з ґрунту для рослин сочевиці доступно було тільки 32,6 кг/га.

З урахуванням кількості внесених азотних добрив і відповідного довідкового коефіцієнту його засвоєння рослини сочевиці, різниця між загальним господарським винесенням азоту та можливим його використанням з ґрунту й мінеральних добрив може вважатися розрахунковою кількістю симбіотично фіксованого атмосферного азоту. Залежно від варіанту дослідів зазначена величина змінювалася в межах 22,4–65,4 кг/га. Найменший показник (22,4 кг/га) відмічено у варіанті дослідів без проведення передпосівної інокуляції насіння азотфіксувальними мікроорганізмами і внесенням $K_{40} + N_{60}$, а найбільший (65,4 кг/га) на ділянках із використанням симбіотичних азотфіксувальних мікроорганізмів, внесенням азотних (N_{30}) та сірчаних (S_{34}) мінеральних добрив на фосфорно-калійному тлі ($P_{30}K_{40}$) та застосування молибдену. Це вказує на необхідність та важливість використання крім макроелементів, також і сірки та молибдену, які беруть безпосередню участь у процесах фіксації та перетворенню азоту в рослинах [25]. Приріст кількості фіксованого азоту завдяки інокуляції становив 6–12 кг/га. Станом на 01.12.2022 року ринкова ціна найбільш популярного азотного добрива – аміачної селітри становила 35000 грн/т, тому з урахуванням вмісту діючої речовини у добриві (34,4 %), вартість 1 кг азоту відповідно складає 102 грн.

Таблиця 5.9

Основні показники ефективності інокуляції насіння сочевиці, 2018–2021 рр.

Варіант дослідження	Без інокуляції								З інокуляцією							
	І оподарське вивчення азоту з урожаєм насіння й солом, кг/га	Вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті перед закладанням дослідження, кг/га	Розрахункове засвоєння азоту з ґрунту, кг/га	Внесення азотних добрив, кг/га д. р.	Коефіцієнт використання азоту з мінеральних добрив	Розрахункове засвоєння азоту з мінеральних добрив, кг/га	Засвоєння азоту посівами сочевиці завдяки симбіотичній азотфіксації, кг/га	І оподарське вивчення азоту з урожаєм насіння й солом, кг/га	Вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті перед закладанням дослідження, кг/га	Розрахункове засвоєння азоту з ґрунту, кг/га	Внесення азотних добрив, кг/га д. р.	Коефіцієнт використання азоту з мінеральних добрив	Розрахункове засвоєння азоту з мінеральних добрив, кг/га	Засвоєння азоту посівами сочевиці завдяки симбіотичній азотфіксації, кг/га	Збільшення фіксації атмосферного азоту завдяки інокуляції, кг/га	Промовий еквівалент економії мінерального азоту завдяки інокуляції, г/га
Без добрив	68	83,7	32,6	0	0,6	0	35,4	74	83,7	32,6	0	0,6	0	41,4	612	
Р ₃₀ К ₄₀ – фон	75	83,7	32,6	0	0,6	0	42,4	83	83,7	32,6	0	0,6	0	50,4	816	
К ₄₀ + N ₆₀	91	83,7	32,6	60	0,6	36	22,4	103	83,7	32,6	60	0,6	36	34,4	1224	
Р ₃₀ + N ₆₀	99	83,7	32,6	60	0,6	36	30,4	109	83,7	32,6	60	0,6	36	40,4	1020	
Фон + N ₃₀	92	83,7	32,6	30	0,6	18	41,4	104	83,7	32,6	30	0,6	18	53,4	1224	
Фон + N ₃₀ S ₃₄	99	83,7	32,6	30	0,6	18	48,4	112	83,7	32,6	30	0,6	18	61,4	1326	
Фон + N ₆₀	104	83,7	32,6	60	0,6	36	35,4	114	83,7	32,6	60	0,6	36	45,4	1020	
Фон + N ₃₀ + Mo	96	83,7	32,6	30	0,6	18	45,4	107	83,7	32,6	30	0,6	18	56,4	1122	
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Mo	101	83,7	32,6	30	0,6	18	50,4	116	83,7	32,6	30	0,6	18	65,4	1530	
Фон + N ₆₀ + Mo	108	83,7	32,6	60	0,6	36	39,4	120	83,7	32,6	60	0,6	36	51,4	1224	

Проведені розрахунки визначення грошової ефективності застосування азотфіксувальних мікроорганізмів, які проводилися на основі розрахованого показника приросту фіксованого азоту та вартості 1 кг мінерального азоту. Встановлено, що грошовий еквівалент зекономленого завдяки інокуляції азоту становить 612–1530 грн/га. Найменшим він виявився у контрольному варіанті без добрив – 612 грн/га, а найбільшим – 1530 грн/га за внесення азотних (N₃₀) та сірчаних (S₃₄) мінеральних добрив на фосфорно-калійному тлі (P₃₀K₄₀) та застосуванні молібдену.

Важливим агрохімічним показником для встановлення доз добрив і розрахунку балансу поживних речовин є їх показник винесення на 1 т продукції (табл. 5.10).

Залежно від варіанту дослідження винесення з 1 т насіння і відповідною кількістю соломи становило: азоту 41–47 кг, фосфору – 15–16 та калію 24–28 кг. Необхідно зазначити, що більший вплив на винесення елементів живлення створювали дози добрив, оскільки порівняно із контролем спостерігається зростання зазначеного показника на 2–5 кг по азоту та 1–4 кг по калію залежно від варіанту дослідження. В той же час, різниці між варіантами дослідження за показником відносного винесення фосфору не відмічалось. Аналогічна ситуація спостерігалася і щодо впливу інокуляції насіння сочевиці – не зафіксовано суттєвих відмінностей щодо винесення поживних речовин між зазначеними варіантами дослідження.

В умовах високої вартості мінеральних добрив важливим аспектом є не тільки їх раціональне використання, але й також і розробка заходів щодо максимального засвоєння поживних речовин із них – тобто підвищення коефіцієнта використання. Найбільш актуальною зазначена проблематика є для азоту, оскільки він є досить мобільним елементом живлення і в той же час створює значний вплив на формування врожаю всіх сільськогосподарських культур [33, 83], в тому числі й сочевиці.

Винесення елементів живлення 1 т продукції залежно від удобрення та інокуляції (2018–2021 рр.), кг

Варіант досліджу	Насіння			Солома			3 т насіння та відповідною кількістю соломи		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Без добрив (контроль)	33 34	10 10	10 11	7 7	4 4	12 13	41 42	15 15
P ₃₀ K ₄₀ – фон	33 33	10 10	11 11	8 8	5 4	12 12	43 43	16 15	25 25
K ₄₀ + N ₆₀	34 34	11 11	12 12	10 11	3 3	13 13	46 47	15 15	28 28
P ₃₀ + N ₆₀	34 34	10 10	11 11	10 10	4 4	12 13	46 46	15 15	25 27
Фон + N ₃₀	34 34	10 11	11 11	10 10	4 4	13 12	46 46	15 16	27 25
Фон + N ₃₀ S ₃₄	34 34	11 11	11 11	10 11	4 4	13 13	46 47	16 16	27 27
Фон + N ₆₀	34 35	11 11	11 11	9 9	4 4	13 13	45 46	16 16	27 27
Фон + N ₃₀ + M ₀	34 34	11 11	11 11	9 9	4 4	12 13	45 45	16 16	25 27
Фон + N ₃₀ S ₃₄ +M ₀	34 35	11 11	11 11	10 10	4 4	12 13	46 47	16 16	25 27
Фон + N ₆₀ + M ₀	34 35	10 11	11 11	9 10	4 4	13 13	45 47	15 16	27 27

Примітка: над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією.

За даними проведених досліджень розраховано коефіцієнти використання азоту з мінеральних добрив, які становили 30–87 % залежно від варіанту досліду (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

Коефіцієнт використання азоту сочевицею з добрив (2018–2021 рр.), %

Варіант досліду	Без інокуляції	З інокуляцією
Фон + N ₃₀	57	30
Фон + N ₃₀ S ₃₄	80	53
Фон + N ₆₀	48	35
Фон + N ₃₀ + Мо	70	43
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	87	60
Фон + N ₆₀ + Мо	55	42

Порівняльне оцінювання варіантів досліду з передпосівною обробкою насіння за коефіцієнтом використання азоту з мінеральних добрив вказує, що поєднання діяльності азотфіксувальних бактерій та мінерального азоту зменшує ефективність його використання. Так, у варіантах без обробки насіння зазначений показник становив 48–87 %, а на варіантах із обробкою – 30–60 %.

Серед варіантів досліду з удобренням найменший коефіцієнт використання азоту з мінеральних добрив був за внесення N₆₀ на фосфорно-калійному тлі (P₃₀K₄₀) – 48 %. Це підтверджує дослідження інших вчених про недоцільність використання високих доз внесення азотних добрив під бобові культури на чорноземі опідзоленому [104, 136]. Дослідженнями також підтверджено доцільність про підвищення ефективності використання азоту завдяки внесенню сірки та молібдену [136]. Так, у варіанті, де сочевиця удобрювалася сульфатом амонію (N₃₀S₃₄) та молібдатом амонію на фосфорно-калійному тлі (P₃₀K₄₀) коефіцієнт використання азоту становив 87 %, на аналогічному варіанті, але без молібдену – 80 %, а за внесення азотних добрив, але без сірки і молібдену – лише 57 %.

За підвищеної дози внесення азотних добрив (60 кг/га д. р.) коефіцієнт використання азоту сочевицею знижувався і був на рівні 48 %, а додаткове застосування молібдену зумовило його підвищення до рівня 55 %.

Поєднання живлення мінеральним і біологічним азотом (фіксованим бактеріями з атмосферного повітря) спричинило зменшення коефіцієнта його використання із мінеральних добрив. Так, у варіанті дослід з внесенням $N_{30}S_{34} + Mo$ на фосфорно-калійному тлі зазначений показник знаходився на рівні 60 %, на такій же ділянці, але без молібдену – він становив 53 %, а без молібдену та сірки – лише 30 %.

Коефіцієнт використання фосфору з добрив був невисоким, порівняно із азотом і знаходився на рівні 23–27 % без інокуляції та 33–37 % з інокуляцією (табл. 5.12).

Таблиця 5.12

**Коефіцієнт використання фосфору сочевицею з добрив
(2018–2021 рр.), %**

Варіант дослід	Без інокуляції	З інокуляцією
Фон + N_{60}	23	33
Фон + $N_{60} + Mo$	27	37

Необхідно зазначити, що на відміну від азоту, проведення передпосівної інокуляції і як наслідок поліпшення азотфіксації та відповідно азотного живлення, сприяло підвищенню коефіцієнта використання фосфору з добрив на 10 %.

Додаткове внесення молібдену підвищило коефіцієнт використання фосфору з добрив на 4 %.

Дослідженнями встановлено, що серед усіх макроелементів найнижчий коефіцієнт використання з добрив був у калію. Залежно від варіанту дослід він становив 15–18 % без інокуляції та 30–40 % з інокуляцією (табл. 5.13).

Необхідно зазначити, що застосування молібдену підвищувало коефіцієнт використання калію сочевицею з добрив на 3 % у варіантах без інокуляції та 10 % у варіантах із інокуляцією. Це ймовірно було зумовлене

Коефіцієнт використання калію сочевицею з добрив (2018–2021 рр.), %

Варіант досліджу	Без інокуляції	З інокуляцією
Фон + N ₆₀	15	30
Фон + N ₆₀ + Мо	18	40

ефективнішим використанням азоту, на що впливає молібден [149], а як відомо, посилене азотне живлення вимагає ліпшого забезпечення рослин іншими елементами живлення, зокрема і калієм.

5.3 Баланс елементів живлення в ґрунті

Розрахунок балансу елементів живлення є показником для оцінювання ефективності застосування добрив, а також відповідного екологічного навантаження на навколишнє природне середовище [38, 146].

На міжнародній конференції в Уганді затвердили, що до основних індикаторів деградації ґрунтів відносять також від'ємний баланс елементів живлення [164].

Баланс елементів живлення дає змогу відображати ступінь інтенсифікації сільського господарства [39, 94]. Важливим чинником є те, що він вказує на недоліки системи удобрення та вказує шляхи оптимізації доз і поєднань мінеральних добрив. Баланс поживних речовин також показує, збагачується чи збіднюється ґрунт окремими елементами [87].

Хоч і більшість технологій вирощування сільськогосподарських культур передбачає залишення післязбиральних решток на полі на добриво, все ж таки важливо розглянути і той варіант, що передбачає їх видалення з поля (табл. 5.14).

Встановлено, що на баланс елементів живлення в ґрунті значний вплив мали удобрення, інокуляція і залишення соломи на полі, тому складався

різним по кожному макроелементу. Так, у всіх варіантах досліді спостерігався від’ємний баланс азоту – від -1 кг до -59 кг/га. Найбільший дефіцит азоту було відмічено у варіанті досліді з внесенням лише фосфорних і калійних добрив ($P_{30}K_{40}$) – 59 кг/га. Це може бути зумовлено тим, що з поліпшенням забезпечення рослин фосфором і калієм зростає винесення азоту [40, 117] і як наслідок спостерігається більший дефіцит азоту, навіть порівняно із контролем.

Таблиця 5.14

Баланс елементів живлення в ґрунті за різних систем удобрення сочевиці (2018–2021 рр.), кг/га

Варіант досліді	Без залишення соломи на полі			Із залишенням соломи на полі		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	<u>-68</u> -62	<u>-23</u> -26	<u>-40</u> -45	<u>-54</u> -53	<u>-16</u> -18	<u>-17</u> -19
P ₃₀ K ₄₀ – фон	<u>-75</u> -67	<u>+3</u> +1	<u>-4</u> -8	<u>-59</u> -57	<u>+12</u> +10	<u>+20</u> +18
K ₄₀ + N ₆₀	<u>-31</u> -19	<u>-29</u> -31	<u>-14</u> -21	<u>-7</u> -1	<u>-21</u> -23	<u>+17</u> +15
P ₃₀ + N ₆₀	<u>-49</u> -39	<u>-4</u> -6	<u>-56</u> -62	<u>-13</u> -10	<u>+8</u> +6	<u>-23</u> -25
Фон + N ₃₀	<u>-62</u> -50	<u>-1</u> -4	<u>-13</u> -19	<u>-37</u> -33	<u>+10</u> +7	<u>+19</u> +16
Фон + N ₃₀ S ₃₄	<u>-69</u> -56	<u>-3</u> -7	<u>-18</u> -23	<u>-41</u> -38	<u>+8</u> +5	<u>+16</u> +14
Фон + N ₆₀	<u>-44</u> -34	<u>-6</u> -9	<u>-22</u> -28	<u>-17</u> -14	<u>+6</u> +4	<u>+15</u> +13
Фон + N ₃₀ + Мо	<u>-66</u> -55	<u>-4</u> -7	<u>-16</u> -23	<u>-41</u> -39	<u>+8</u> +5	<u>+17</u> +14
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	<u>-71</u> -56	<u>-6</u> -9	<u>-19</u> -28	<u>-45</u> -41	<u>+6</u> +3	<u>+15</u> +12
Фон + N ₆₀ + Мо	<u>-48</u> -36	<u>-7</u> -10	<u>-23</u> -32	<u>-20</u> -16	<u>+5</u> +3	<u>+15</u> +11

Примітка. Над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією.

Значний вплив на баланс усіх елементів живлення мало внесення азотних добрив під сочевицю. Так, зі збільшенням їх дози баланс азоту ставав менш від'ємним і становив від -1 кг/га до 45 кг/га, а от фосфору і калію навпаки. Це пов'язано з тим, що з поліпшенням азотного живлення, збільшувалася надземна маса рослин і врожайність насіння, що призводило до більших витрат фосфору і калію.

На відміну від азоту, дефіцит фосфору відмічався тільки на контролі без добрив ($-16\dots-18$ кг/га) та у варіанті досліду із внесенням лише азотних і калійних добрив – $K_{40} + N_{60}$ ($-21\dots-23$ кг/га). На всіх інших дослідних ділянках за вирощування сочевиці баланс фосфору був додатним, зокрема найбільшим він виявився на фосфорно-калійному тлі ($P_{30}K_{40}$) – 12 кг/га без інокуляції та 10 кг/га з інокуляцією. Подібна ситуація спостерігалася і щодо калію, оскільки від'ємний баланс відмічено на контролі ($-17\dots-19$ кг/га) та за удобрення сочевиці лише фосфорними і азотними добривами $P_{30} + N_{60}$ – ($-23\dots-25$ кг/га).

Передпосівна обробка насіння сочевиці азотфіксувальними бактеріями частково поліпшувала баланс азоту – з $7\dots-59$ кг/га без інокуляції та до $1-57$ кг/га з інокуляцією, що зумовлено накопиченням азоту завдяки біологічній його фіксації.

Поліпшення азотного живлення рослин сочевиці завдяки інокуляції зумовило інтенсивніше використання фосфору та калію з ґрунту, що в свою чергу спричинило зменшення накопичення зазначених елементів в ґрунті. Так, залежно від варіанту удобрення баланс фосфору знаходився в діапазоні від -21 кг/га до $+12$ кг/га без інокуляції та від -23 до $+10$ кг/га з інокуляцією. Аналогічні показники отримано і по калію, де його баланс знаходився в межах від -23 кг/га до $+20$ кг/га без інокуляції та від -25 кг/га до $+18$ кг/га з інокуляцією.

Висновки до розділу:

1. Для отримання високобілкового продовольчого зерна сочевиці важливим є забезпечення її азотного живлення на високому рівні.

2. Вміст фосфору в рослинах сочевиці збільшувався із застосуванням фосфорних добрив, упродовж вегетації інокуляція зменшувала його вміст у рослинах, проте збільшувала в насінні.
3. На вміст калію у рослинах істотного впливу удобрення не відзначено, однак за передпосівної інокуляції даний показник зростав. Відмічено більший вміст калію в соломі, ніж у насінні порівняно з азотом і фосфором.
4. Винесення елементів живлення насінням і соломою сочевиці мало різну тенденцію. Так, з насінням виносилося більше азоту і фосфору, з соломою – калію.
5. Відмічено значний вплив інокуляції на коефіцієнт використання елементів живлення з добрив. Збільшувався цей показник для фосфору і калію, а от коефіцієнт використання азоту з добрив навпаки – зменшувався.
6. Важливим є залишення післяжнивних решток сочевиці на полі для формування додатного балансу елементів живлення в ґрунті. Так, залишення соломи на полі забезпечувало перехід балансу елементів живлення з від'ємного значення в додатне майже в усіх варіантах дослідів по фосфору й калію, а по азоту зменшувалася його нестача.

Публікація авторки, яка відображає основні положення цього розділу [28].

РОЗДІЛ 6

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ І МІКРОБНОГО ПРЕПАРАТУ В ПОСІВАХ СОЧЕВИЦІ

Загальновідомим фактом є те, що добрива вважаються найсуттєвішим чинником підвищення врожаю сільськогосподарських культур. Зростання їх вартості та енергоресурсів для виробництва сільськогосподарської продукції зумовлює необхідність проведення економічного та енергетичного оцінювання технологій вирощування сільськогосподарських культур для виявлення найбільш оптимальних їх складових. При цьому, важливим є отримання не найвищого врожаю, а того, що який забезпечить найкращі економічні показники [126, 152, 153].

6.1 Агрохімічна ефективність

Реалії сьогодення потребують внесення мінеральних добрив у такій кількості, яка забезпечить найвищу їх окупність. У результаті дії погодних і агротехнологічних умов, родючості ґрунту та інших чинників окупність добрив значно змінюється [36].

Розрахунки показників економічної ефективності вирощування сочевиці проведено з урахуванням сучасних цін на виконані роботи і матеріальні ресурси станом на 01.12.2022 року. На основі розрахованих технологічних карт на проведення робіт з вирощування сочевиці, визначено витрати матеріальних, грошових та трудових ресурсів, що необхідні для застосування добрив і витрати, пов'язані з додатковим приростом урожаю сочевиці.

Необхідно при цьому зазначити, що серед вирощуваних в Україні зернобобових культур, цінова політика на сочевицю є однією із найбільш привабливих і становить 27000 грн/т.

Дослідженнями встановлено, що різні системи удобрення сочевиці забезпечили їх різну агрохімічну ефективність (табл. 6.1).

Агрохімічна ефективність різних систем застосування добрив під сочевицею, в середньому за 2018–2021 рр.

Варіант досліду	Приріст урожайності, т/га			Приріст урожаю, %			Окупність 1 кг д. р. добрив, кг насіння		Витрати добрив на формування врожаю, кг д. р/т насіння	
	у*	i	у+i	у	i	у+i	у	у+i	у	у+i
Без добрив	–	0,13	0,13	–	8	8	–	–	–	–
P ₃₀ K ₄₀ – фон	0,16	0,18	0,34	10	10	21	2,3	4,9	437	206
K ₄₀ + N ₆₀	0,35	0,15	0,50	21	8	31	3,5	5,0	286	200
P ₃₀ + N ₆₀	0,52	0,18	0,70	32	8	43	5,8	7,8	173	129
Фон + N ₃₀	0,33	0,23	0,56	20	12	34	3,3	5,6	303	179
Фон + N ₃₀ S ₃₄	0,46	0,26	0,72	28	12	44	4,6	7,2	217	139
Фон + N ₆₀	0,62	0,17	0,79	38	8	48	4,8	6,1	210	165
Фон + N ₃₀ + Мо	0,45	0,25	0,70	28	9	43	4,5	7,0	222	143
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + Мо	0,57	0,29	0,86	35	13	53	5,7	8,6	175	116
Фон + N ₆₀ + Мо	0,70	0,20	0,90	43	9	55	5,4	6,9	186	144

Примітки: у – удобрення; i – інокуляція; у+i – удобрення + інокуляція.

Залежно від варіанту досліду приріст урожайності порівняно із контролем без удобрення становив 0,16–0,70 т/га. Найменшим приростом (0,16 т/га) відзначився варіант досліду, де вносили лише фосфорні і калійні добрива (P₃₀K₄₀). За внесення 60 кг/га д. р. азотних добрив на фосфорно-калійному тлі та обробленні насіння молібдатом амонію відмічено найвищий приріст урожайності насіння сочевиці – 0,70 т/га. За інших варіантів удобрення приріст урожайності знаходився на рівні 0,33–0,62 т/га.

Зростання врожайності сочевиці від проведення передпосівної інокуляції насіння азотфіксувальними бактеріями залежало від удобрення і становило 0,13–0,29 т/га. У контрольному варіанті без добрив відмічено

найменше зростання урожайності – 0,13 т/га, тоді як за внесення $N_{30}S_{34} + Mo$ на фосфорно-калійному тлі ($P_{30}K_{40}$) підвищення зростало до 0,29 т/га.

Сумарний приріст урожайності сочевиці від добрив та інокуляції становив 0,34–0,90 т/га залежно від варіанту досліду. Комплексне застосування в технології вирощування сочевиці макроелементів і молібдену, а також проведення інокуляції забезпечило найбільше зростання врожайності досліджуваної культури – на 0,9 т/га, тоді як на фосфорно-калійному тлі воно становило лише 0,34 т/га.

Важливим критерієм оцінювання ефективності систем удобрення сільськогосподарських культур, в тому числі і сочевиці є такі показники як окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив насінням і витрати мінеральних добрив на формування врожаю, кг д. р./т насіння. Дослідженнями встановлено, що найвища окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив вирощеним урожаєм сочевиці становила 8,6 кг і була відмічена у варіанті досліду із внесенням $N_{30}S_{34} + Mo$ на фосфорно-калійному тлі ($P_{30}K_{40}$) та проведенням передпосівної інокуляції насіння азотфіксувальними бактеріями. У цьому ж варіанті досліду зафіксовано найменші витрати мінеральних добрив на формування 1 т урожаю – 116 кг д. р.

6.2 Економічна ефективність

За сучасних умов господарювання, для успішного розвитку сільського господарства України потрібне освоєння енерго- та ресурсоощадних технологій, що базуються на максимальній реалізації біологічного потенціалу вирощуваних сільськогосподарських культур за одночасного зменшення капіталовкладень. Тільки розрахунок економічної та енергетичної ефективності є підставою для впровадження технологій у виробництво [51]. Тому, поряд із оцінюванням агрохімічної ефективності застосування удобрювальних продуктів під сочевицю, важливим є економічне оцінювання, яке показує скільки грошей може отримати агровиробник від використання

Таблиця 6.2

Економічна ефективність системи застосування добрив під сочевицю, в середньому за 2018–2021 рр.

Варіант дослідження	Вартість приросту, грн			Витрати, пов'язані із застосуванням удобрювальних продуктів, грн/га						Прибуток від отриманого приросту врожаю, грн/га		Рівень рентабельності (збитковості), %			
	у*	і	у+і	Всього		у тому числі		у	у+і	у	у+і	у	у+і		
				у	у+і	у	у+і							у	у+і
Без добрив (контроль)	–	3510	–	240	–	–	40	–	–	–	–	–	–		
Р ₃₀ К ₄₀ – фон	4320	4860	9180	5745	800	835	835	800	-1190	3435	-22	60	60		
К ₄₀ + N ₆₀	9450	4050	13500	9711	1377	1411	1411	1377	-27	3789	-0,3	39	39		
Р ₃₀ + N ₆₀	14040	4860	18900	10518	1494	1528	1528	1494	3756	8382	37	80	80		
Фон + N ₃₀	8910	6210	15120	9466	1473	1511	1511	1473	-318	5654	-3	60	60		
Фон + N ₃₀ S ₃₄	12420	7020	19440	9391	1461	1499	1499	1461	3267	10049	36	107	107		
Фон + N ₆₀	16740	4590	21330	12852	2052	2090	2090	2052	3888	8240	30	63	63		
Фон + N ₃₀ + M ₀	12150	6750	18900	9666	1571	1611	1611	1571	2724	9234	29	96	96		
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + M ₀	15390	7830	23220	9350	1558	1598	1598	1558	6040	13630	65	142	142		
Фон + N ₆₀ + M ₀	18900	5400	24300	13080	2180	2220	2220	2180	5820	10980	44	82	82		

Примітка. у – удобрення; і – інкуляція; у+і – удобрення + інкуляція.

певного агротехнологічного заходу. Дослідженнями встановлено, що різні системи удобрення сочевиці значно впливають на їх економічну ефективність (табл. 6.1).

Серед досліджуваних систем удобрення сочевиці найвища сумарна вартість приросту врожаю від внесення мінеральних добрив та інокуляції була у варіанті досліду з внесенням 60 кг/га д. р. азотних добрив на фосфорно-калійному тлі та оброблення насіння молібденом – 24300 грн/га. У цьому ж варіанті досліду були й найвищі витрати, пов'язані із застосуванням удобрювальних продуктів – 13320 грн/га. Проте, основні показники, такі як прибуток від отриманого приросту врожаю та рівень рентабельності використання удобрювальних продуктів найвищими були за внесення $N_{30}S_{34} + Mo$ на фосфорно-калійному тлі ($P_{30}K_{40}$) та проведенням передпосівної інокуляції – відповідно 13630 грн/га та 142,0 %.

Слід зазначити, що всі варіанти досліду, на яких висівалося інокуюване насіння сочевиці виявилися прибутковими, тоді як відсутність цього агрозаходу спричинило збитковість декількох систем удобрення. Найбільш невиправданим (рівень збитковості – 22 %) виявився варіант досліду лише з внесенням під сочевицю фосфорних і калійних добрив ($P_{30}K_{40}$).

Отже, за показниками економічного оцінювання систем удобрення, найефективнішим виявилось висівання насіння сочевиці, яке було оброблене азотфіксувальними бактеріями і молібдатом амонію та внесення $N_{30}S_{34}$ на фосфорно-калійному тлі ($P_{30}K_{40}$).

6.3 Енергетична ефективність

Нині розроблено методики, які дають змогу визначати енергетичну та економічну ефективність виробництва продукції рослинництва та дозволяють рекомендувати технології з оптимальними значеннями цих показників [26].

Поряд із економічним оцінюванням, не менш важливим критерієм, що визначає ефективність технологічних заходів вирощування культури, у тому числі і сочевиці є енергетичне оцінювання. Енергетичний аналіз у аграрному виробництві – це оцінювання витрат непоновлюваної енергії на виробництво продукції та кількості отриманої енергії з урожаєм, вираженої в порівнюваних одиницях (зазвичай джоулях або калоріях).

Енергетична ефективність застосування удобрювальних продуктів під посіви сочевиці розраховували за загальноприйнятою методикою [25]. Первинні енергетичні еквіваленти одиниці мінеральних добрив і маси насіння сочевиці брали з літературних джерел, подальші розрахунки проводилися відповідно з отриманими експериментальними даними.

При цьому вважали, що на 1 кг д. р. мінеральних добрив припадає така кількість енергії, МДж: N – 86,8, P₂O₅ – 38, K₂O – 10, бактеріальні препарати – 15 [25].

Порівняльне оцінювання систем удобрення сочевиці за показниками енергетичної ефективності засвідчила значну їх відмінність (табл. 6.3).

Основним показником, який характеризує енергетичну ефективність технології є коефіцієнт енергетичної ефективності. Розрахунки показали, що найвищі показники енергетичної ефективності удобрення сочевиці зафіксовано у варіанті досліду із внесенням N₃₀S₃₄ + Мо на фосфорно-калійному тлі (P₃₀K₄₀) та висіванням насіння попередньо обробленого азотфіксувальними бактеріями – 2,55. На зазначеному варіанті досліду зафіксовано також найнижчий показник енергетичної собівартості – 5092 МДж/т насіння.

Отже, за показниками енергетичного оцінювання способів удобрення, найефективнішим виявилось висівання насіння сочевиці, яке було оброблене азотфіксуючими бактеріями, внесення N₃₀S₃₄ + Мо на фосфорно-калійному тлі (P₃₀ K₄₀).

Таблиця 6.3

Енергетична ефективність системи застосування добрив під сочевицю, в середньому за 2018–2021 рр.

Варіант досліджу	Вміст енергії у природі врожаю, МДж/га		Енерговитрати пов'язані із застосуванням удобрювальних продуктів, МДж/га		Чистий енергетичний прибуток, МДж/га		Коефіцієнт енергетичної ефективності		Енергетична собівартість, МДж/т насіння	
	y*	y + i	y	y + i	y	y + i	y	y + i	y	y + i
Без добрив (контроль)	–	2353	–	15	–	2338	–	155,87	–	115
P ₃₀ K ₄₀ – фон	2896	6154	1726	1741	1170	4413	0,68	2,53	10787	5120
K ₄₀ + N ₆₀	6335	9050	5787	5802	548	3248	0,09	0,56	16534	11604
P ₃₀ + N ₆₀	9412	12670	6546	6561	2866	6109	0,44	0,93	12588	9373
Фон + N ₃₀	5973	10136	4343	4358	1615	5778	0,37	1,33	13161	7782
Фон + N ₃₀ S ₃₄	8326	13032	4355	4370	3956	8662	0,91	1,98	9467	6069
Фон + N ₆₀	11222	14299	6960	6975	4247	7324	0,61	1,05	11226	8829
Фон + N ₃₀ + M ₀	8145	12670	4352	4367	3793	8303	0,87	1,90	9671	6239
Фон + N ₃₀ S ₃₄ + M ₀	10317	15566	4364	4379	5953	11187	1,36	2,55	7656	5092
Фон + N ₆₀ + M ₀	12670	16290	6969	6984	5686	9306	0,82	1,33	9956	7760

Примітка. y – удобрення; i – інокуляція; y + i – удобрення + інокуляція.

Висновки до розділу:

За результатами проведеного економічного та енергетичного оцінювання систем удобрення сочевиці встановлено, що для умов Правобережного Лісостепу України оптимальним варіантом внесення добрив під сочевицею є поєднання біологічного (симбіотично фіксованого) та мінерального азоту в невисоких дозах внесення (N_{30}) на фосфорно-калійному тлі $P_{30}K_{40}$, а також використання сірки у дозі S_{34} та мікроелементу Mo . Зазначена система удобрення забезпечує найвищі показники економічної та енергетичної ефективності вирощування сочевиці.

Публікація авторки, яка відображає основні положення цього розділу [28].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування і нове вирішення питання оптимізації системи удобрення сочевиці та доцільності передпосівної інокуляції бульбочковими бактеріями на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України для отримання високих і сталих врожаїв якісного насіння. За результатами досліджень можна зробити наступні висновки:

1. З огляду літератури встановлено, що ґрунтово-кліматичні умови Правобережного Лісостепу України є сприятливими для отримання високих і сталих урожаїв сочевиці, однак не достатньо розробленою для цього регіону є система її удобрення, яка б враховувала оптимальні дози і форми мінеральних добрив та їх поєднання з інокуляцією насіння бульбочковими бактеріями.

2. Встановлено вплив різного удобрення на динаміку вмісту азоту мінеральних сполук у ґрунті впродовж вегетації сочевиці. Так, у фазу гілкування і цвітіння у кореневмісному шарі ґрунту (0–20 см) цей показник у варіанті досліді $N_{60}P_{30}K_{60}$ становив відповідно 30,9 і 23,4 мг/кг, що відповідно на 7,6 і 2,8 мг/кг більше порівняно з контролем. У фазу утворення бобів у варіанті досліді фон + $N_{30}S_{34}$ + Мо вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті був на 7 % більшим, ніж у контролі. У фазу повної стиглості насіння переваги за цим показником зберігалися лише у варіанті з внесенням високої дози азотного добрива (фон + N_{60} + Мо), що на 25 % більше від контролю.

3. Показано, що внесення фосфорних і калійних добрив позитивно впливає на поживний режим ґрунту. Найбільше це проявляється на початку вегетації сочевиці. В кінці вегетації різниця між показниками вмісту рухомих сполук фосфору і калію незначна, що пояснюється низькими дозами внесення добрив.

4. Дослідженнями підтверджено інтенсивне використання рослинами сочевиці сірки. Так, упродовж вегетаційного періоду вміст її рухомих сполук

у ґрунті зменшувався і у фазу повної стиглості варіював від 6,0 до 4,0 мг/кг залежно від шару ґрунту, що на 2,8–4,5 мг/кг менше, ніж у фазу сходів.

5. Встановлено залежність зміни показників площі листової поверхні та чистої продуктивності фотосинтезу сочевиці залежно від доз азотних добрив та інокуляції. Так, з поліпшенням азотного живлення (варіант фон + N₆₀ + Мо) площа листової поверхні у фазу гілкування збільшувалася на 6,6 тис. м²/га (за показника на контролі 14,3 тис. м²/га), залежно від інокуляції – на 5,4, від удобрення з інокуляцією – на 10,5 тис. м²/га; у фазу цвітіння – відповідно на 5,5; 4,1 і 9,6; утворення бобів – на 4,7; 4,7 і 7,8 тис. м²/га.

6. Доведено, що за внесення S₃₄ у вигляді сульфату амонію сприяє поліпшенню сірчаного живлення рослин і у поєднанні з обробкою насіння молібдатом амонію сприяє формуванню максимального показника кількості бульбочок як у варіанті без інокуляції, так із її проведенням – відповідно 20 і 26 шт/рослину, що на 11 і 17 шт. більше порівняно з абсолютним контролем. Інокуляція сприяє збільшенню їх кількості на 3–6 шт/рослину залежно від варіанту удобрення. Маса бульбочок від інокуляції збільшилася на 21 %, а за її поєднання з удобренням на 53 %.

7. Сочевиця в умовах дослідів мала незначний рівень азотфіксації. Завдяки проведенню інокуляції бульбочковими бактеріями частка азоту в господарському винесенні його урожаєм збільшувалася на 9–15 % і найбільшою була у варіанті дослідів фон+N₃₀S₃₄+Мо. Відмічено зниження даного показника за підвищення дози азотних добрив до 60 кг/га азоту.

8. Виявлено позитивний вплив внесення мінеральних добрив у поєднанні з обробленням насіння препаратом Ризоактив Бобові на продуктивність сочевиці. Найбільша врожайність на ділянках без інокуляції забезпечував варіант дослідів Фон + N₆₀ + Мо – на рівні 2,33 т/га, а з інокуляцією – 2,53 т/га. Інокуляція сприяє збільшенню врожайності насіння на 8–14 % залежно від удобрення. Поліпшення умов мінерального живлення рослин завдяки удобренню та інокуляції сприяє підвищенню вмісту білка в насінні

на 6 %. При цьому істотної зміни інших якісних його показників (жир, крохмаль, клітковина) не спостерігається.

9. Виявлено, що динаміка вмісту основних елементів живлення в рослинах сочевиці залежно від фази росту й розвитку рослин і удобрення. У фазу повної стиглості відмічено більший вміст азоту, фосфору і сірки у насінні сочевиці, а калію, кальцію і магнію – у соломі. Вміст таких мікроелементів, як залізо, манган, мідь, бор і кобальт накопичується більше в соломі сочевиці, а цинку і молібдену – в насінні. На формування 1 т насіння рослини сочевиці використовують: N 33–35 кг/га, P₂O₅ – 10–11, K₂O – 10–12 кг/га, а з відповідною кількістю соломи – відповідно 41–47 кг/га, 15–16 і 24–28 кг/га залежно від удобрення.

10. Доведено, що інокуляція впливає на коефіцієнти використання елементів живлення з добрива. При цьому використання азоту з добрива зменшується на 13–27 %, що свідчить про симбіотичну азотфіксацію. Коефіцієнт використання фосфору і калію з добрив, навпаки, підвищується відповідно на 10 і 15–20 % залежно від варіанту удобрення.

11. Визначено, що за вирощування сочевиці з вилученням з поля соломи складається від'ємний баланс основних елементів живлення, окрім варіанту досліді P₃₀K₄₀, де баланс фосфору і калію додатний. Залишення на полі соломи і внесення P₃₀K₄₀ забезпечує додатний балансу фосфору і калію на рівні відповідно +3–10 кг/га P₂O₅ і 11–19 кг/га K₂O залежно від варіанту удобрення. Баланс азоту при цьому залишається від'ємним, з найменшим дефіцитом (–1...–16 кг/га) за внесення азотних добрив у дозі 60 кг/га д. р. і проведенні інокуляції насіння сочевиці.

12. За розрахованою агрохімічною, економічною і енергетичною ефективністю найкращим є варіант досліді фон + N₃₀S₃₄ + Mo (без та з інокуляцією насіння), який забезпечує окупність добрив відповідно на рівні 5,7 і 8,6 кг насіння/кг д. р. добрив, прибуток – 6040 і 13630 грн/га, рівень рентабельності – 65 і 142 %, чистий енергетичний прибуток – 5953 і 11187 МДж/га, коефіцієнт енергетичної ефективності – 1,36 і 2,55 та найнижчу енергетичну собівартість – 7656 і 5092 МДж/т насіння.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

З метою отримання високої врожайності і якості насіння сочевиці на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України за результатами агрохімічного, економічного і енергетичного оцінювання рекомендується:

- вносити під зяблевий обробіток ґрунту фосфорні і калійні добрива – $P_{30}K_{40}$;
- азотні добрива в дозі 30 кг/га д. р. у вигляді сульфату амонію вносити під передпосівну культивуацію, що поліпшить сірчане живлення рослин;
- насіння перед сівбою обробляти молібдатом амонію (300 г/т) і препаратом Ризоактив Бобові (3 л/т).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Агрокліматичний довідник по території України ; за ред.: А. І. Адаменко, М. І. Кульбіді, А. Л. Прокопенка. Камянець-Подільський : ПП «Галагодза Р. С.», 2011. 108 с.
2. Адаменко С. М., Костюшко І. П. «Чопін» – унікальне, спеціальне сірко-азотне добриво. URL : Nutritech.com.ua/custom/files.
3. Адамень Ф. Ф., Корчинський А. А. Основні напрямки науково-технічної політики у селекції сільськогосподарських культур. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 10. С. 5–7.
4. Адамень Ф. Ф., Щигорцова О. Л., Турин Є. М., Дідович С. В. Мікробіологічні препарати в агротехнологіях вирощування бобових культур. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2010. № 7. С. 148–155.
5. Алейнікова Л. М. Вплив інокуляції насіння та фонів мінерального живлення на формування симбіотичного апарату сочевиці. Матеріали науково-практичної конференції присвяченої пам'яті С. Ф. Третьякова (Полтава, 13–14 травня 2014 р.). Полтава, 2014. С. 4–5.
6. Бабич А. О. Вирощування зернобобових на корм. Київ : Урожай, 1975. 175 с.
7. Бабич А. О. Світове виробництво зернобобових культур для вирішення проблеми білка і біологічного азоту. *Оптимізація агроландшафтів: раціональне використання, рекультивація, охорона*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпропетровськ). Дніпропетровськ, 2003. С. 8–12.
8. Бабич А. О. Сучасне виробництво і використання сої. Київ : Урожай, 1993. 429 с.
9. Бабич А. О., Іванюк С. В., Темченко І. В., Барвіненко О. В. Адаптивна селекція зернобобових в умовах Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 10. С. 39–42.

10. Балаєв А. Д., Тонха О. Л. Актуальні питання збереження якості чорноземів. *Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск)*. Харків, 2010. Кн. 2. С. 170–172.
11. Булигін С. Ю., Величко В. А., Демиденко О. В. Агрогенез чорнозему. Київ : Аграрна наука, 2016. 356 с.
12. Бухориев Т. А., Касымов Д. К., Додихудоева Г. Р. Симбиотическая активность и продуктивность чечевицы в зависимости от уровня минерального питания. *Вестник Кишоварз*. Душанбе, 2001. №1. С. 15–18.
13. Василюк В. М. Фізіологічні особливості взаємодії сої і люпину з новими штамми повільнорослих бульбочкових бактерій (*Bradyrhizobium*), отриманими транспозоновим мутагенезом : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.12. Київ, 2008. 18 с.
14. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д. Фізіологія рослин. Біла Церква : Вид-во БДАУ, 1999. 304 с.
15. Волкогон В. В., Бердніков О. М., Лопушняк В. І. Екологічні аспекти системи удобрення сільськогосподарських культур; за ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграрна наука, 2019. 264 с.
16. Волкогон В. В., Заришняк А. С., Гриник І. В. Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Київ : Аграрна наука, 2011. 156 с.
17. Волкогон В. В. Мікробіологічна трансформація сполук азоту в ґрунтах агроценозів : монографія. Київ : Ніжин: ПП Лисенко М. М., Аграрна наука, 2017. 192 с.
18. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Ковалевська Т. М. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика : монографія. Київ : Аграрна наука, 2006. 321с.
19. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Токмакова Л. М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія : монографія; за ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграрна наук. 2010. С. 235–245.

20. Генгало О. М, Генгало Н. О., Білоцерківець Г. І. Агрохімічні аспекти застосування сірковмісних добрив на різних типах ґрунтів (аналітичний огляд). URL: www.Irbis-nbuiv.gov.ua/cgi-bit/.../cgiir_bis_64.exe
21. Гирка А. Д., Лень О. І., Алейнікова Л. М. Продуктивність сочевиці залежно від інокуляції насіння та системи мінерального живлення в умовах Лівобережного Лісостепу. *Бюл. Ін-ту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. № 6. С. 131–135.
22. Гладіх Є. Ю., Круподеря Ю. О., Панасенко Є. В. Роль окремих елементів живлення у підвищенні стресостійкості рослин за екстремальних погодних умов. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2016. № 1–2(25). С. 55–63.
23. Гнатенко О. Ф., Капшик М. В., Петренко Л. Р., Вітвицький С. В. Ґрунтознавство з основами геології. Київ : Оранта. 2005. 648 с.
24. Городній М. М., Лісовал А. П., Бикін А. В. та ін. Агрохімічний аналіз. Київ : Арістей, 2005. 468 с.
25. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 560 с.
26. Господаренко Г. М. Економічна ефективність мінеральної системи удобрення в польовій сівозміні. *Матеріали конф. молодих учених*. Редкол.: П. В. Костогриз (відп. ред.) та ін. Умань, 2004. С. 39–40.
27. Господаренко Г. М., Калієвська І. А. Забезпеченість сільськогосподарських культур основними елементами живлення за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2010. № 73. Ч. 1. С. 17–24.
28. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Винесення елементів живлення сочевицею залежно від удобрення в правобережному лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. № 101. Ч. 1. С. 122–128.
29. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Поживний режим ґрунту під сочевицею залежно від удобрення. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 30–33.

30. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Система удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому. *«Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва»* : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 26–27 листоп. 2020 р. Харків : ХНАУ, 2020. Ч. 1. С. 150–152.
31. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А., Столяр А. В. Ефективність азотфіксації сочевиці залежно від удобрення. *Біологічні процеси оптимізації продукційного процесу культурних рослин* : матеріали Всеукр. наук.-практ. онлайн-конф., присвяченої 60-річчю ІСМАВ НААН (м. Чернігів, 26–27 жовтня 2021 р.). Чернігів : видавець Брагинець О. В., 2021. С. 135–137.
32. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Урожайність сочевиці залежно від складових системи удобрення. *«Сучасні системи удобрення сільськогосподарських культур»* : зб. доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпро, 11 вересня 2020). Дніпро : Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, 2020. С. 90–93.
33. Господаренко Г. М., Невлад В. І., Прокопчук І. В., Прокопчук С. В. Симбіотична азотфіксація та врожай : монографія. Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2017. 324 с.
34. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2002. 344 с.
35. Господаренко Г. М. Особливості удобрення зернобобових. *The Ukrainian Farmer*. 2013. №2. С. 66–68.
36. Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 376 с.
37. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур. Київ : «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2016. 276 с.
38. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Баланс азоту в ґрунті польової сівозміни за 50-річного застосування добрив. *Землеробство*. 2016. Вип. 2 (91). С. 22–29.

39. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Баланс азоту, фосфору та калію у польовій сівозміні за 40-річного застосування добрив. *Вісник Уманського ДАУ*. 2005. №12. С. 13–21.
40. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію; за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.
41. Данильченко О. М., Бутенко А. О., Радченко М. В. Продуктивність сочевиці залежно від інокуляції насіння та мінерального живлення в умовах північно-східного Лісостепу України. *Вісник Уманського національного університету*. 2020. № 2. С. 19–22.
42. Данильченко О. М. Вплив інокуляції насіння та фонів мінерального живлення на формування симбіотичного апарату чини та сочевиці. *Вісн. Сумського нац. аграрн. ун-ту*. 2012. Вип. 9. С. 121–124.
43. Данильченко О. М. Вплив передпосівної інокуляції насіння та різних фонів мінерального живлення на фотосинтетичну продуктивність та врожайність сочевиці. *Вісн. Сумського нац. аграрн. ун-ту*. 2011. Вип. 4. С. 94–97.
44. Данильченко О. М., Жатова Г. О. Урожайність і якість насіння кормових бобів та сочевиці залежно від інокуляції бактеріальними препаратами і внесення мінеральних добрив. *Вісн. ЖНАЕУ*. 2016. № 1. Т. 1. С. 94–101.
45. Дегтярьов В. В. Гумус чорноземів Лівобережного Лісостепу і Степу України / за ред. Д. Г. Тихоненка. Харків : Майдан, 2011. 360 с.
46. Дерев'янський В. П. Продуктивність сої залежно від застосування мікробних препаратів та гербіцидів. *Карантин і захист рослин*. 2012. №4. С. 16–18.
47. Дідович С. В., Кулініч Р. О. Високопродуктивні рослинно-мікробні системи в агроценозах бобових культур. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 76. С. 184–187.

48. Дідович С. В. Формування та функціонування симбіозу *Mesorhizobium ciceri* – *Cicer arietinum* в агроценозах південного Степу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.07. Чернігів, 2006. 20 с.
49. Дідович С. В., Портянко С. І., Дідович О. М., Толкачов М. З. Вплив мінерального азоту на ефективність симбіозу нуту (*Cicer arietinum*) з *Mesorhizobium ciceri*. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2006. Вип. 3. С. 43–54.
50. Додихудоева Г. Р. Симбиотическая азотфиксация, урожайность и белковая продуктивность чечевицы в условиях Гиссарской долины. *Проблемы развития сельскохозяйственной науки в республике Таджикистан* : Тезисы научн. конф. Душанбе : ТАУ, 2001. С. 17.
51. Доценко О. В. Вплив тривалого застосування добрив на агрохімічні показники чорнозему типового та ефективність ресурсощадних систем удобрення : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04. Харків, 2013. 23 с.
52. ДСТУ 4115–2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. [Чинний від 2003–01–01]. Київ : Державний комітет України з питань технологічного регулювання та споживчої політики, 2002. 9 с. (Національні стандарти України).
53. ДСТУ 4117:2007. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. [Чинний від 2007–08–09]. Київ, 2007. 7 с. (Національний стандарт України).
54. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005–07–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 10 с. (Національний стандарт України).
55. ДСТУ 4289: 2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 2005–07–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 16 с. (Національний стандарт України).
56. ДСТУ 4729:2007. Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського. [Чинний від 2008–01–01]. Київ, 2006. 15 с. (Національний стандарт України).

57. ДСТУ 4770.1:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с. (Національний стандарт України).

58. ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ, 2009. 6 с. (Національний стандарт України).

59. ДСТУ 4770.5:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (зі скасуванням ОСТ 10149-88). [Чинний від 2009–01–01–]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

60. ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 6 с. (Національний стандарт України).

61. ДСТУ 6020:2008. Сочевиця. Технічні умови. [Чинний від 2010–07–01–]. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 13 с.

62. ДСТУ 7537:2014. Якість ґрунту. Визначення гідролітичної кислотності. [Чинний від 2015–04–01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 14 с. (Національний стандарт України).

63. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізованого азоту методом Корнфілда. [Чинний від 2016–07–01]. Київ, 2016. 9 с. (Національний стандарт України).

64. ДСТУ 8123:2015. Корми для тварин, сировина для виготовлення повнораціонних сумішей, виділення тварин. Визначання вмісту кальцію, магнію, заліза, марганцю, цинку, міді, кобальту методом атомно-абсорбційної спектрометрії. [Чинний від 2017–01–01]. Київ, 2017. 12 с. (Національний стандарт України).

65. ДСТУ 8347:2015. Якість ґрунту. Визначення рухомої сірки в модифікації ННЦ ПА імені О. Н. Соколовського. [Чинний від 2017–07–01]. Київ, 2017. 6 с. (Національний стандарт України).
66. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT). [Чинний від 2009–10–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 8 с. (Національний стандарт України).
67. ДСТУ ISO 520:2015. Зернові і бобові. Визначення маси 1000 зерен (ISO 520:2010, IDT). [Чинний від 2016–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 4 с. (Національний стандарт України).
68. ДСТУ ISO 712:2015 Зернові та продукти з них. Визначення вмісту вологи. Контрольний метод (ISO 712:2009, IDT). [Чинний від 2016–01–01]. Київ, 2015. 21 с. (Національний стандарт України).
69. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень; за ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
70. Зернові бобові культури / за ред. Д. Ф. Лихваря. Київ : Урожай, 1964. 316 с.
71. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин. Суми : ВТД «Університетська книга», 2004. 464 с.
72. Іваніна В. В., Пашинська К. Л. Вплив системи удобрення на формування балансу елементів живлення в посівах сорго зернового. *Вісник Сумського нац. аграр. університету*. Суми, 2022. Вип. 1(47), с. 65–70.
73. Інформаційно-довідкова система «сорт». URL: <http://sort.sops.gov.ua/cultivar/view/252>.
74. Камінський В. Ф. Вплив інокулювання насіння на продуктивність сої у Північному Лісостепу України. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2006. №4. С. 84–92.
75. Камінський В. Ф., Глієва О. В. Площа листкового апарату та фотосинтетична продуктивність посівів проса за різних рівнів мінерального

живлення. *Збірник наук. праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2014. Вип. 3. С. 79–84.

76. Камінський І. В. Ефективність використання зернобобових культур у сівозмінах як попередника. *Економіка АПК*. 2013. № 10. С. 24–28.

77. Касымов Д. К., Бухориев Т. А., Додихудоева Г. Р. Влияние удобрений на симбиотические параметры и урожайность чечевицы : Материалы Республ. конф. по зерновым и зернобобовым культурам. Душанбе, 2004. С. 52–53.

78. Комок М. С., Волкогон В. В., Косенко Л. В. Ефективність симбіозу бульбочкових бактерій з рослинами сої в залежності від виду біопрепарату. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2010. Вип. 11. С. 7–19.

79. Конащук І. О. Урожайність і якість зерна тритикале озимого та ярого залежно від фону мінерального живлення в умовах півдня України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06. 01. 09. Херсон, 2009. 18 с.

80. Коць С. Я., Моргун В. В., Патика В. П. та ін. Біологічна фіксація азоту : монографія : у 4-х т. Бобово-ризобіальний симбіоз. Київ : Логос, 2011. Т. 2. 523 с.

81. Коць С. Я. Сучасний стан досліджень біологічної фіксації азоту. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2011. Т. 43. №3. С. 212–225.

82. Коць С. Я., Патика В. П. Біологічна фіксація азоту та її значення в азотному живленні рослин. *Фізіологія рослин : проблеми та перспективи розвитку*. 2009. Т. 1. С. 344–386.

83. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин. Київ : Логос, 2005. 150 с.

84. Крамарьов С. М., Крамарьов О. С., Демиденко В. Г. та ін. Економічна ефективність використання карбамід-аміачних сумішей (КАС) в сучасних системах удобрення сільськогосподарських культур. Дніпро : Нова ідеологія, 2020. 195 с.

85. Криштаб С. Г. Довідник по удобренню сільськогосподарських культур. (Методика визначення економічної ефективності застосування добрив). Київ : Урожай, 1987. С. 189-201.
86. Кудзін Ю. К. Бактеріальні добрива. Київ : Держсільгоспвидав УРСР, 1962. 108 с.
87. Кутова А. М. Баланс макро- і мікроелементів у ґрунті за різних рівнів агрохімічного навантаження. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2011. №74. С. 109–112.
88. Лихочвор В. В. Моделі агротехнологій в Україні. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2008. №12. С 170–178.
89. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф., Іващук П. В. Зерновиробництво. Львів : Українські технології, 2008. 624 с.
90. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів : НВФ «Українські технології», 2006. 730 с.
91. Лісовий М. В. Підвищення ефективності мінеральних добрив. Київ : Урожай. 1991. 120 с.
92. Лопушняк В. Динаміка вмісту рухомих форм сірки у темно-сірому опідзоленому ґрунті під впливом різних систем удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2013. № 17(1). С. 154–157.
93. Лопушняк В. І. Баланс сірки за різних систем удобрення культур у зерно-просапній плодозмінній сівозміні західного Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. №2. С. 55–57.
94. Любич В. В. Баланс основних елементів живлення в ґрунті за різних доз і строків внесення добрив під тритикале яре. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2011. №74. С. 107–109.
95. Максимов М. В. Удосконалення технології вирощування сочевиці за різних умов зволоження : дис. ... канд. с.-г. наук : 06. 01. 02. Херсон, 2016. 206 с.

96. Масюченко О. М. Формування продуктивності окремих бобових культур залежно від елементів технології вирощування в умовах північно-східного Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Суми, 2013. 20 с.
97. Материнський П. В. Формування продуктивності кормових бобів залежно від впливу інокуляції, доз мінеральних добрив та позакореневих підживлень в умовах центрального Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Вінниця, 2004. 19 с.
98. МВВ 31–497058–019–2005 Рослини. Визначення загальних форм азоту, фосфору, калію в одній наважці рослинного матеріалу. Методики визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків : КП «Друкарня №13», 2005. С. 189–208.
99. Моргун В. В., Коць С. Я. Симбіотична азотфіксація та її значення в азотному живленні рослин: стан і перспективи досліджень. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2008. Т. 40. №3. С. 187–205.
100. Мусієнко Л. А. Вплив мінерального живлення на урожайність сочевиці. *«Наукові доповіді НУБіП України»*. №4 (98). 2022.
101. Мусієнко Л. А. Урожайність сочевиці на чорноземі опідзоленому залежно від умов мінерального живлення. *Науково-технологічне та методичне забезпечення виробництва екологічної, конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в сучасних умовах* : Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Умань, 15 червня 2022 року. Умань, 2022. С. 54–55.
102. Мусієнко Л. А. Шляхи оптимізації системи мінерального живлення сочевиці харчової у Правобережному Лісостепу. *Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві* : матеріали XIII наукової конференції молодих вчених, присвяченої 100-річчю з дня заснування Національної академії аграрних наук України (м. Чернігів, 24–25 жовтня 2018 р.). Чернігів: видавець Брагинець О. В., 2018. 92–94.

103. Нагорний В. І. Агротехнічне значення та роль сої в екологізації сільськогосподарського виробництва. *Вісник Сумського НАУ*. 2009. Вип. 11(18). С. 79–83.
104. Невлад В. И. Оптимизация азотного питания гороха на черноземе оподзоленном Лесостепной Правобережной провинции Украины : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04. Харьков, 1992. 26 с.
105. Недвига М. В. Морфологічні критерії та генезис сучасних ґрунтів України. Київ : Сільгоспосвіта, 1994. 344 с.
106. Новак В. Г., Новак А. В. Агрометеорологічні умови 2017–2018 сільськогосподарського року за даними метеостанції Умань. *Вісник Уманського НУС*. 2018. №2. С. 76–76.
107. Новак В. Г., Новак А. В. Агрометеорологічні умови 2018–2019 сільськогосподарського року за даними метеостанції Умань. *Вісник Уманського НУС №1*. 2020. С. 47–49.
108. Новак В. Г., Новак А. В. Агрометеорологічні умови 2019–2020 сільськогосподарського року за даними метеостанції Умань. *Вісник Уманського НУС*. №1, 2021. С. 27–29.
109. Новак В. Г., Новак А. В. Агрометеорологічні умови 2020–2021 сільськогосподарського року за даними метеостанції Умань. *Вісник Уманського НУС*. №1, 2022. С. 23–26.
110. Новікова Т. П. Обґрунтування симбіозу *Rhizobium leguminosarum biovar viceae* – *Lens culinaris* Medik. за дії біологічних препаратів : дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.07. Умань, 2020. 219 с.
111. Новохацький М. Л. Оптимізація умов фотосинтезу агроценозів сої та використання рослинами його продуктів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2017. Вип. 21. С. 258–267.
112. Носко Б. С. Азотний режим ґрунтів і його трансформація в агроєкосистемах. Харків : Міськдрук, 2013. 130 с.

113. Носко Б. С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків : Вид. «13 типографія». 2006. 239 с.
114. Носко Б. С., Медведєв В. В., Христенко А. О. та ін. Проблема оптимізації фосфорного живлення сільськогосподарських культур та шляхи їх вирішення. *Фосфор в землеробстві. Проблеми мікробіологічної мобілізації* : зб. Міжнар. наук. практ. конф. Чернігів, 2004. С 107–113.
115. Носко Б. С. Природа залишкових фосфатів та їх роль у підвищенні ефективної родючості ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*: міжвід. темат. наук. зб. Спец. вип. Ґрунти – основа добробуту держави, турбота кожного. Харків, 2002. Кн. 3. С 265–267.
116. Носко Б. С. Фосфатний режим ґрунту і ефективність добрив. Київ : Урожай, 1990. 224 с.
117. Носко Б. С. Фосфор у ґрунтах у землеробстві України. Харків : ФОП «Бровін О. В.», 2017. 476 с.
118. Носко Б. С., Христенко А. О. Діагностика мінерального живлення. Удобрення польових культур при інтенсивних технологіях вирощування. Київ : Урожай, 1990. С. 31–61.
119. Носко Б. С., Христенко А. О., Шаповалова В. С. Калійний рівень ґрунтів і біопродуктивність рослин. *«Фосфор і калій у землеробстві. Проблеми мікробіологічної мобілізації»* : матеріали міжнар. науково-практ. конф. Чернігів–Харків, 2004. С. 233–240.
120. Огурцов Є. М. Соя у Східному Лісостепу України. Харків : ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2008. 270 с.
121. Оптимізація складових технології вирощування пшениці ярої : моногр. / Г. М. Господаренко, В. С. Кравченко, С. В. Машинник, В. В. Любич, М. В. Калієвський; за заг. ред. Г. М. Господаренка. Умань : ВПЦ «Візаві», 2018. 248 с.
122. Осадець Я., Вівчарик В. Кормові боби – цінна кормова культура. *Пропозиція*. 2002. №11. С. 45–47.

123. Осипчук С. О. Природно-сільськогосподарське районування України. Київ: Урожай, 2008. 192 с.
124. Оцінювання мікроелементного складу ґрунтів України для ведення органічного землеробства / за ред. А. І. Фатєєва, Я. В. Бородіної. Харків : Бровін О. В., 2020. 144 с.
125. Панасюк Р. М. Продуктивність сортів сої залежно від удобрення, норм висіву насіння та способів сівби в умовах західного Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Київ, 2011. 21с.
126. Пархоменко М. М. Продуктивність короткоротаційних сівозмін за різних систем удобрення в умовах Полісся. *Агрохімія і ґрунтознавство* (спецвипуск). 2018. Кн. 2. С. 203–204.
127. Патица В. П., Коць С. Я., Волкогон В. В. та ін. Біологічний азот. За ред. В. П. Патики. Київ : Світ, 2003. 424 с.
128. Патица В. П., Макаренко Н. А., Моклячук Л. І. та ін. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів. Київ : Основа, 2005. 300 с.
129. Патица В. П., Петриченко В. Ф. Мікробна азотфіксація у сучасному кормовиробництві. *Корми і кормовиробництво*. 2004. Вип. 53. С. 3–11.
130. Патица В. П., Шерстобоев М. К., Татарин Л. М., Мельничук Т. М. Активізація продуктивної системи мікроорганізм–рослина в овочівництві. *Сільськогосподарська мікробіологія : здобутки і перспективи* : зб. наук. праць. Чернігів. 2011. С. 282–288.
131. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Довідкове видання. Київ : ТОВ «Юнівест медіа», 2022. 1008 с.
132. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. Київ : Аграрна наука, 2005. 300 с.
133. Полупан М. І., Соловей В. Б., Кисіль В. І., Величко В. А. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. Київ : Колообіг, 2005. 304 с.
134. Польовий А. М., Божко Л. Ю. Довгострокові агрометеорологічні прогнози. Одеса : Видавництво «ТЭС», 2013. С. 156–179.

135. Присяжнюк О. І., Топчій О. В., Слободянюк С. В., Карпук Л. М. та ін. Сочевиця. Біологія та вирощування : монографія. Вінниця, ТОВ «ТВОРИ», 2020. 180 с.
136. Прокопчук С. В. Оптимізація мінерального живлення нуту на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04. Харків, 2015. 20 с.
137. Рассадіна І. Ю., Недвига М. В., Нікітіна О. В., Мусієнко Л. А. Вплив мінерального удобрення та інокуляції на врожайність сочевиці. Збірник наукових праць Уманського НУС. 2020. Вип. 96(1). С. 160–169.
138. Розвадовський А. М., Бабич А. О., Петриченко В. Ф. та ін. Зернобобові культури в інтенсивному землеробстві. Київ : Урожай, 1990. 19 с.
139. Сауляк О. М. Процеси росту і розвитку сочевиці харчової залежно від норм висіву та удобрення в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. №3. С. 44–48.
140. Ситник О. І. Регіональні особливості температурного режиму перехідної смуги Правобережного лісостепу і степу України. *Наук. зап. Вінницького держ. пед. ун-ту*. Сер.: Географія. Вінниця, 2009. Вип. 19. С. 29–34.
141. Січкарь В. І., Хухлаєв І. І., Бушулян О. В. та ін. Інтенсифікація азотфіксувального потенціалу зернобобових культур шляхом комплементарного добору мікро- і макросимбіонтів. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту*. Сер. Біологія. 2014. № 3. С. 165–169.
142. Скида В. О., Стрельцова І. Б., Кісельова Н. В. Особливості виносу мінеральних речовин з ґрунту ярим ячменем на чорноземі типовому. *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвід. темат. наук. зб. Книга третя. Харків, 2006. С. 117–119.
143. Слободянюк С. В. Особливості формування продуктивності сочевиці залежно від інокуляції та позакореневого підживлення в умовах Лісостепу України : дис. ... канд. с.-г. наук : 201 «Агрономія». Київ, 2021. 195 с.

144. Соколов В. М. Стан науково дослідних робіт з селекції зернобобових культур в Україні. *Зб. наук. пр. СГП–НЦНС*. Одеса, 2010. Вип. 15 (55). С. 6–13.
145. Сухова Г. І. Фотосинтетична діяльність сортів сочевиці в умовах Східного Лісостепу України. *Вісник ХНАУ*. Серія : Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво. 2012. № 2. С. 150–155.
146. Тараріко Ю. О. Енергозберігаючі агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України (рекомендації на прикладі Степу і Лісостепу). Київ : Діа, 2011. 576 с.
147. Ткаченко М. А. Відтворення родючості сірих лісових ґрунтів за різних систем удобрення та хімічної меліорації у Правобережному Лісостепу : автореф. дис. ... докт. с.-г. наук : 06.01.03. Київ, 2015. 46 с.
148. Толкачов М. З. Оптимізація симбіозу рослин і бульбочкових бактерій в сучасному кормовиробництві. *Корми і кормовиробництво*. 2003. Вип. 51. С. 134–146.
149. Топчій О. В. Вплив мікродобрив та регуляторів росту на урожайність сочевиці. *Агробіологія*. 2017. Вип. 2. С. 86–91.
150. Трус О. М., Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Гумус чорнозему опідзоленого та його відтворення. Умань: Редак.-видав. відділ Уманського НУС, 2016. 228 с.
151. Управління живленням рослин в умовах погодно-кліматичних флуктуацій; за ред. М. М. Мірошніченка і Є. Ю. Гладкіх. Київ : Аграрна наука, 2022. 160 с.
152. Харченко О. В., Прасол В. І., Ільченко О. В. Агроєкономічне та екологічне обґрунтування рівня живлення сільськогосподарських культур. Суми : Університетська книга, 2009. 126 с.
153. Ходаківська О. В. Корчинська С. Г., Матвієнко А. П. Еколого-економічні аспекти відтворення родючості ґрунтів. *Землеробство*. 2017. №1. С. 16–22.

154. Центи́ло Л. В. Активність азотфіксації в агроценозах люцерни та продуктивність культури за дії добрив та мікробного препарату. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2017. Вип. 25. С. 43–49.
155. Центи́ло Л. В. Функціонування азотфіксувального симбіозу та продуктивність гороху за різних видів і рівнів удобрення. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2016. Вип. 24. С. 37–42.
156. Черенков А. В., Клиша А. І., Гирка А. Д. та ін. Сучасна технологія вирощування сочевиці. Дніпропетровськ : ТОВ «Роял принт», 2013. 48 с.
157. Черенков А. В., Клиша А. І., Кулініч О. О., Корж З. В. Біологічні особливості та перспективи вирощування сочевиці в Україні. *Посібник українського хлібороба*. 2013. Т. 2. С. 215–218.
158. Чинчик О. С., Мостов'як І. І., Кравченко В. С. та ін. Вирощування зернобобових культур. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 302 с.
159. Шадчина Т. М., Гуляєв Б. І., Кірізій Д. А. та ін. Регуляція фотосинтезу і продуктивність рослин: фізіологічні та екологічні аспекти. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 384 с.
160. Шихман Н. В. Продуктивність сочевиці залежно від елементів технології вирощування в Правобережному Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Київ, 2012. 20 с.
161. Badarneh D. M. D. Magnitude of nitrogen fixation by lentil at different rates of phosphorus using ^{15}N technique. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 1995. №175. P. 7–14.
162. Barczak B., Lopushniak V., Moskal M. Yield of spring barley in conditions of sulphur fertilization. *Journal of Central European Agriculture*. 2019. 20(2). P. 636–646.
163. Balyan H. S., Singh S. Character association in lentil. *Lens news left intern. center agr. res. in dry areas*. Aleppo, 1986. Vol. 13. № 1. P. 1–4.
164. Bekunda M., Manzi G. Use of the partial nutrient budget as an indicator of nutrient depletion in the highlands of southwestern Uganda. *Nutr Cycl. Agroecosys*. 2003. Vol. 67. P. 187–195.

165. Biederbeck V. O., Campbell C. A., Rasiah V. et al. Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure. *Soil biology and biochemistry*. Issues 8–9, August 1998. 1998. Vol. 30. P. 1177–1185.
166. Biederbeck V. O., Zentner R. P., Campbell C. A. Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate. *Soil biology and biochemistry*. Vol. 37. Issues 10, October 2005. P. 1775–1784.
167. Biswapati M., Pal S., Mandal L. N. Effect of molybdenum, phosphorus and lime application to acid soils on dry matter yield and molybdenum nutrition of lentil. *Journal of Plant Nutrition*. 1998. Vol. 21. P. 139–147.
168. Brennan R. F., Bolland. M. D. A. Application of fertilizer manganese doubled yields of lentil grown on alkaline soils. *Journal of Plant Nutrition*. 2003. Vol. 26. P. 1263–1276.
169. Dawood R. A., El-Far I. A. Response of agronomic and quality characteristics of lentil to foliar microelements. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*. 1994. Vol. 25. P. 143–154.
170. Derpsch R., Calegari A. Plantas para adubacao verbe de inverno. *IAPAR, Londrina, Circular*. 1992. №73. P. 75–80.
171. Garland J. L., Cook K. L., Adams J. L., Kerkhof L. Capturability as and indicator of succession in microbial communities. *Microbiol. Ecol.* 2001. Vol. 42. №2. P. 150–158.
172. Giezevel P., Bogoev V. Research of the dynamics of the biomass of the soil microbocenoses in deluvial-meadow soils under natural grassland ecosystem. Год. Софийск.ун-т. Биол. фак. 1997. Вып. 87. С. 65–71.
173. Graham P. H., Vance C. P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crops Research*. 2000. Vol. 65. P. 93–106.
174. Hansen A. P. Symbiotic N₂ fixation of crop legumes: achievements and perspectives Ed.: Center for Agricultural in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim. Managing ed.: Dietrich E. Leihner. Weikersheim: Margraf. 1994. 248 p.

175. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants: 4th ed. Boca Raton, London, New York : CRC Press, 2011. 505 p.
176. Khurana M. P. S., Bansal R. L., Nayyar V. K. (1998) Influence of zinc application on yield and micronutrient nutrition of lentil grown on Typic Ustochrepts. *LENS Newsletter* 25, P. 38-41.
177. Mamo T., Richter C. Chickpea and lentil varietal response to phosphorus supply. *Tropenlandwirt*. 1996. №97. P. 17–28.
178. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition. Edited by P. Marschner. Amsterdam, Netherlands : Elsevier/Academic Press, 2012. 684 p.
179. Mohamad A., Singh R. R., Gupta K. K. Correlation and path coefficients analysis in lentil. *Proc. nat. acad. sci. India*. 1987. Vol. 57. №4. P. 416–418.
180. Murari K., Pandey I. L., Kumar V. Simple correlation and multiple regression studies in lentil. *Legume res*. 1988. Vol. 11. №2. P. 101–102.
181. Musiienko L. A., Bekhta D. A., Blazhchuk Yu. O., Melnyk M. V. Innovative aspects of the elements of the lentil mineral nutrition system in the right bank forest steppe. Eurasian scientific discussions. Proceedings of the 13th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2023. P. 21–27.
182. Niane-Bidiane Aminata, Ganry Francis, Jacquin Fernand. Les variations au champ de la biomasse microbienne d'un sol culture: consequences sur la reserve organique mobilisade. *C.r.Acad.sci. Ser. 2. Facs. a*. 1999. Vol. 328. №1. P. 45–49.
183. Nyle C. B., Ray R. W. The nature and properties of soil. New Jersey: Upper Saddle River, 2002. 960 p.
184. Oke O. L. Sulphur nutrition of legumes. *Experimental Agriculture*, 1969. Vol. 5. P. 111–116.
185. Papendick R. «No-tillage impact on soil. Twenty years experience». Aapresid : IV Congreso Nacional de Siembra Directa. 1996. P. 59–85.
186. Peoples M. B., Bowman A. M., Gault R. R. et al. Factors regulating the contributions of fixed nitrogen by pasture and crop legumes to different farming systems of eastern Australia. *Plant and Soil*. 2001. Vol. 228. P. 29–41.

187. Rao S. K., Yadav S. P. Genetic analysis of biological yield, harvest index, and seed yield in lentil. *Lens news let.* 1988. Vol. 15. №1. P. 3–5.
188. Rennie R. J., Dubetz S. Nitrogen-15-determined nitrogen fixation in field-grown chickpea, lentil, fabacean, and field pea. *Agronomy Journal.* 1986. Vol. 78. P. 654–660.
189. Rosario de Filipe Anton Ma. Interacciones microorganismos suelo-planta en la preservación del Medio Ambiente y la Salud. *An. Real acad.nac.farm.* 2004. Vol. 70. №3. P. 743–776.
190. Shah M. S., Nawaz H., Idris M. Nitrogen fixation in farmers fields under rainfed dry conditions. *Proceedings of 17th WCSS*, 14–21 August 2002, Thailand. 2002. Poster 150. P. 1–5.
191. Shah N. H., Hafeez F. Y., Arshad M., Malik K. A. Response of lentil to *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* strains at different levels of nitrogen and phosphorus. *Australian Journal of Experimental Agriculture.* 2000. Vol. 40. P. 93–98.
192. Sharma A. K., Billore S. D., Singh R. P. Integrated nutrient management for lentil under rainfed conditions. *LENS Newsletter.* Vol. 20. P. 15–16.
193. Shivakumar B. G., Saraf C. S., Patil R. R. Effect of phosphorus and sulfur levels and limited irrigation on the performance of macrosperma lentil. *LENS Newsletter.* 1995. 22. P. 19–23.
194. Singh B. P., Sakal R., Singh A. P. Response of lentil varieties to iron application on highly calcareous soils of Bihar. *Indian Journal of Agricultural Sciences.* 1985. Vol. 55. P. 56–58.
195. Sinha B. K., Basu P. S. Indole-3-acetic acid and its metabolism in root nodule of *Pongamia pinnata* (L.) Pierre. *Biochem. Physiol. Pflanzen.* 1981. Bd. 176. №3. P. 218–227.
196. Srivastava S. P., Bhandari T. M. S., Yadav. C. R. et al. Boron deficiency in lentil: yield loss and geographic distribution in a germplasm collection. *Plant and Soil.* 2000. Vol. 219. P. 147–151.
197. Srivastava S. P., Joshi M., Johansen C., Rego, T. J. Boron deficiency of

lentil in Nepal. *LENS Newsletter*. 1999. №26. P. 22–24.

198. Stoytcheva M., Zlatev R. *Agricultural Chemistry*. Croatia, Rijeka : InTech, 2013. 224 p.

199. Tate, R. L. Soil microbial diversity research: whither to now? *Soil Sci.*, 1997. Vol. 162. №9. P. 605–606.

200. *The fertilizer encyclopedia* / Gowariker Vasant et al. New Jersey : John Wiley & Sons Inc., 2009. 861 p.

201. Torbert H. A., Watts D. B. Nitrogen mineralization in production agriculture. *International Journal of Agronomy*, 2012. doi:10.1155/2012/989365. <http://www.hindawi.com/journals/ija/2012/989365/>

202. Turay K. K., Andrews M., McKenzie B. A. Effects of starter nitrogen on early growth and nodulation of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Proceedings Annual Conference : Agronomy Society of New Zealand*. 1991. №21. P. 61–65.

203. Vance C. P. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology*. 2001. №127. P. 390–397.

204. Wen G., Chen C., Neill K. et al. Yield response of pea, lentil and chickpea to phosphorus addition in a clay loam soil of central Montana. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2008. Vol. 54(1). P. 69–82.

ДОДАТКИ

Погоджено
Ректор Уманського національного університету садівництва
Олена ПЕПОНАТЕНКО

« 01 » березня 2023 р.

Затверджую
Директор ПСП «ЕЛІТ»
Полованівського району,
Кіровоградської області
Юрій ПРИТУЛА

« 01 » березня 2023 р.

АКТ

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

1. Замовник – ПСП «ЕЛІТ» с. Нерубайка, Голованівського р-ну, Кіровоградської обл. в особі агронома Мартинюка О. О. Даним актом стверджується, що результати наукової роботи Мусієнко Л. А. за темою: «Оптимізація системи удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України», виконаної в Уманському національному університеті садівництва, запроваджено у ПСП «ЕЛІТ».

2. Вид впровадження – на основі проведених досліджень впроваджено у виробництво варіант досліду з внесенням під зяб $P_{30}K_{40}$, весною $N_{30}S_{34}$ (сульфат амонію) з обробленням насіння сочевиці молібдатом амонію та азотфіксувальними бактеріями.

3. Характеристика масштабів впровадження – у 2022 року на площі 50 га.

4. Новизна результатів науково-дослідної роботи – встановлено оптимальні дози добрив під сочевицю в поєднанні із мікробним препаратом.

5. Економічний ефект – 3056 грн з 1 га посівів за цінами 2022 року.

6. Соціальний і науково-технічний ефект – підвищення врожайності сочевиці, раціональні економічні витрати, охорона довкілля.

Даний акт участі у фінансових операціях не бере.

Від Уманського національного університету садівництва
відповідальна за впровадження
Ліна МУСІЄНКО
« 01 » березня 2023 р.

Від ПСП «ЕЛІТ»
агроном
« Е Л І Т »
Олександр МАРТИНЮК
« 01 » березня 2023 р.

Завідувач канцелярії Уманського НУС
«ЗГІДНО З ОРИГІНАЛОМ»
" 14 " 03 2023 р.





МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009; тел./факс +380 (352) 51-75-75;
www.wunu.edu.ua; rektor@wunu.edu.ua; ідентифікаційний код за ЄДРПОУ 33680120

АКТ

**впровадження результатів дисертаційної роботи
у навчальний процес**

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи Мусієнко Ліни Анатоліївни, представленої на здобуття наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 201 – Агронімія, впроваджені у навчальний процес студентам Навчально-наукового інституту інноватики, природокористування та інфраструктури Західноукраїнського національного університету.

Отримані результати досліджень стали складовою частиною лекційних курсів дисциплін «Рослинництво» та «Агрохімія і системи живлення рослин».

Перший проректор
Західноукраїнського
національного університету,
професор



Микола ШИНКАРИК

Антін Шавар(0680563773)

ЗУНУ
№ 126-34/2005 від 27.12.2022





Україна
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
„ЗАЛІЩИЦЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІМЕНІ Є. ХРАПЛИВОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ”

вул. С.Крушельницької,52, м. Заліщики, Тернопільська область, 48601
тел./факс (03554) 2-12-50, 2-32-50, e-mail: zaknubip@gmail.com, код ЄДРПОУ 34492264

№_480____
Від 29.12.2022р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи Мусієнко Ліни Анатоліївни, представлені на здобуття наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 201 – Агрономія, впроваджені у навчальний процес студентам ВСП Заліщицький фаховий коледж імені Є. Храпливого НУБіП України.

Отримані результати досліджень стали складовою частиною навчального курсу дисциплін «Рослинництво» та «Агрохімія».

Директор коледжу



Борис ПАВЛЮК

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ*Статті у фахових виданнях України:*

1. Рассадіна І. Ю., Недвига М. В., Нікітіна О. В., Мусієнко Л. А. Вплив мінерального удобрення та інокуляції на врожайність сочевиці. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2020. Вип. 96(1). С. 160–169.

2. Мусієнко Л. А. Вплив мінерального живлення на урожайність сочевиці. *«Наукові доповіді НУБіП України»*. №4(98). 2022.

3. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Поживний режим ґрунту під сочевицею залежно від удобрення. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 30–33.

4. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Винесення елементів живлення сочевицею залежно від удобрення в правобережному лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. № 101. Ч.1. С. 122–128.

Матеріали науково-практичних конференцій:

5. Мусієнко Л. А. Шляхи оптимізації системи мінерального живлення сочевиці харчової у Правобережному Лісостепу. *Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві* : матеріали XIII наукової конференції молодих вчених, присвяченої 100-річчю з дня заснування Національної академії аграрних наук України (м. Чернігів, 24–25 жовтня 2018 р.). Чернігів: видавець Брагінець О. В., 2018. С. 92–94.

6. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Урожайність сочевиці залежно від складових системи удобрення. *«Сучасні системи удобрення сільськогосподарських культур»* : збірник доповідей Міжнародної науково-практичної конференції (м. Дніпро, 11 вересня 2020). Дніпро : Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, 2020. С. 90–93.

7. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Система удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому. *«Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва»* : матеріали IV Міжнародної науково-

практичної конференції (м. Харків, 26–27 листопада 2020 р.). Харків : ХНАУ, 2020. Ч. 1. С. 150–152.

8. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А., Л. А. Столяр Л. А. Ефективність азотфіксації сочевиці залежно від удобрення. *Біологічні процеси оптимізації продукційного процесу культурних рослин* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції, присвяченої 60-річчю ІСМАВ НААН (м. Чернігів, 26–27 жовтня 2021 р.). Чернігів : видавець Брагинець О. В., 2021. С. 135–137.

9. Мусієнко Л. А. Урожайність сочевиці на чорноземі опідзоленому залежно від умов мінерального живлення. *Науково-технологічне та методичне забезпечення виробництва екологічної, конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в сучасних умовах* : Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Умань, 15 червня 2022 року). Умань: Ред.-вид. відділ УНУС, 2022. С. 54–55.

10. Musiienko L. A., Bekhta D. A., Blazhchuk Yu. O., Melnyk M. V. Innovative aspects of the elements of the lentil mineral nutrition system in the right bank forest steppe. *Eurasian scientific discussions*. Proceedings of the 13th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2023. P. 21–27.