

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЯРОВИЙ ЯРОСЛАВ ОЛЕГОВИЧ

УДК 631.559+664.64.016:633.34:631.526.3]:631.816


ДИСЕРТАЦІЯ

**ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ ЗА РІЗНОГО
УДОБРЕННЯ В ПОЛЬОВІЙ СІВОЗМІНІ НА ЧОРНОЗЕМІ
ОПІДЗОЛЕНОМУ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

201 – Агрономія

20 – Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

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

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

Умань – 2025

АНОТАЦІЯ

Яровий Я. О. Формування продуктивності сої за різного удобрення в польовій сівозміні 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, Умань, 2025.

Соя (*Glycine max* (L.) Merrill) вирощується в різноманітних ґрунтово-кліматичних умовах і є домінуючою олійною культурою в США. Україна є одним із основних виробників та експортерів насіння у світі. Нині найбільші площі займають пшениця озима, кукурудза, соняшник і соя. Найбільше сої зосереджена у Правобережному Лісостепу, агрокліматичні умови якого характеризується нестійким зволоженням та високим температурним режимом упродовж вегетації рослин. Це часто призводить до суттєвого зниження продуктивності сої. Серед чинників, які визначають її рівень важливе місце займає оптимальне забезпечення рослин елементами мінерального живлення. Це потребує вивчення їх сумісної дії і поєднання, а також впливу кожного елемента живлення окремо на формування врожаю та якості насіння з метою підвищення їх стабільної дії в конкретних умовах і відновленню родючості ґрунту.

Позитивний вплив удобрення без інокуляції на істотне збільшення формування кількості бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості отримано в усіх варіантах удобрення порівняно з контролем, крім варіанта з удобренням $P_{60}K_{60}$. Показники формування кількості бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості у варіанті $P_{60}K_{60}$ не достовірні порівняно з варіантом контроль у всі роки досліджень. Найвища кількість бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості отримана у

варіантах удобрення $N_{60}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{60}$ (41,4–41,5 шт/рослину). На тлі з інокуляцією формування кількості бульбочок на кореневій системі сої в фазу повної стиглості істотно більше за варіант на тлі без інокуляції, у варіанті контроль різниця 13,8 шт/рослину, а в варіантах з удобренням 18,1–18,5 шт/рослину.

Азотні, фосфорно-калійні та азотно-калійні системи удобрення, в середньому за три роки, збільшують масу бульбочок порівняно з контролем на 0,1–0,4 г/рослину. Повне мінеральне удобрення забезпечує найбільшу кількість бульбочок порівняно з іншими варіантами удобрення (1,1 г/рослину).

Застосування інокуляції достовірно збільшує формування маси бульбочок на кореневій системі сої в фазу повної стиглості порівняно без застосування інокуляції. У варіанті без добрив (контроль) в середньому за три роки різниця 0,3 г/рослину.

Застосування добрив достовірно збільшувало масу однієї рослини сої. Так, у середньому за три роки досліджень цей показник збільшується від 10,0 до 11,6–12,8 г або на 16–28 % за азотних систем удобрення. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ маса однієї рослини збільшується до 12,3 г і до 13,8 г або на 6–8 % порівняно з азотними системами, що свідчить про великий вплив азоту на формування індивідуальної продуктивності рослин сої.

Застосування азотно-калійної, азотно-фосфорної та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижують маси однієї рослини сої. Необхідно відзначити, що найменше на цей показник впливає застосування фосфорно-калійної системи удобрення. За такого сценарію удобрення маса однієї рослини збільшується лише до 10,6 г.

Маса однієї рослини сої значно змінюється залежно від погодних умов років досліджень. Так, у сприятливіших 2022–2023 рр. маса однієї рослини змінюється від 10,3 до 21,8 г залежно варіанту досліджу. У менш сприятливому 2024 р. цей показник у межах 4,7–5,9 г або менше в 2,2–

3,7 рази порівняно з сприятливішими роками.

Достовірно зростає маса насіння сої з однієї рослини. Так, у середньому за три роки досліджень цей показник збільшується від 3,1 до 3,7–3,9 г або на 19–26 % за азотних систем удобрення. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ маса насіння з однієї рослини збільшується до 3,9 г і до 4,2 г або на 6–8 % порівняно з азотними системами, що свідчить про великий вплив азоту на формування індивідуальної продуктивності рослин сої.

Застосування азотно-калійної, азотно-фосфорної та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижують маси насіння з однієї рослини сої. Необхідно відзначити, що найменше на цей показник впливає застосування фосфорно-калійної системи удобрення. За такого сценарію удобрення маса насіння з однієї рослини збільшується лише до 3,4 г або на 10 % порівняно з ділянками без добрив.

Застосування інокуляції також достовірно збільшує масу насіння з однієї рослини сої на 12–16 % порівняно з ділянками без проведення інокуляції насіння. При цьому застосування добрив має подібну тенденцію порівняно з ділянками без інокуляції. Так, цей показник збільшується від 3,6 г у варіанті без добрив до 4,2–4,3 г за азотних систем і до 4,5–4,7 г за внесення повного мінерального добрива.

Результати досліджень свідчать, що найбільше врожайність насіння сої змінюється від погодних умов та удобрення. Найменше від застосування інокуляції. У середньому за три роки досліджень врожайність збільшується від 2,50 до 3,03 т/га за внесення N_{30} і до 3,19 т/га за внесення N_{60} . Застосування повного мінерального добрив в дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$ збільшує цей показник до 3,20 т/га або на 6 %, а $N_{60}P_{60}K_{60}$ – до 3,40 т/га або на 7 % порівняно з азотними системами.

Застосування інокуляції сприяє збільшенню врожайності на 0,38–0,41 т/га залежно від варіанту досліджу. При цьому таку тенденцію встановлено впродовж усіх років дослідження.

Урожайність насіння сої значно змінюється залежно від погодних умов року дослідження про, що свідчить низький індекс стабільності – 0,36–0,40. Встановлено, що застосування N_{30} збільшує врожайність насіння сої до 3,92 т/га в 2023 р. Застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечує збільшення її до 4,32 т/га. За умови застосування подвійної дози азотних добрив врожайність становить 4,15–4,61 т/га. Проведення інокуляції насіння перед сівбою забезпечує отримання 0,54–0,60 т/га насіння порівняно з ділянками без добрив.

Найменше врожайність зростає від застосування фосфорних і калійних добрив. Варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижують урожайність насіння порівняно з повним мінеральним добривом.

Внесення азоту в дозі 30 кг/га дають незначне підвищення вмісту білка в порівнянні з контролем – 38,3 %. Це демонструє позитивний вплив азотних добрив, але без суттєвих змін порівняно з інтенсивними схемами удобрення. Внесення азоту в дозі 60 кг/га забезпечує значне підвищення вмісту білка – 39,0 %, що вказує про більший вплив азоту на синтез білка. Внесення фосфору та калію в дозі по 60 кг/га забезпечує результати схожі з контролем – 38,0 %, що свідчить про незначний вплив фосфорних і калійних добрив на вміст білка порівняно з азотом. Азот разом з калієм має більш позитивний вплив на синтез білка. Комбінація азоту і калію по 60 кг/га кожного зумовлює формування вмісту білка на рівні 39,1 %. Комбінація азоту і фосфору по 60 кг/га підвищує вміст білка до 39,1 %, що свідчить про позитивну взаємодію азоту і фосфору.

Застосування добрив значно впливало на господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої. У середньому за три роки господарське винесення азоту збільшувалось від 159,6 кг/га у варіанті без добрив до 193,5–210,0 кг/га за азотних систем і до 206,7–226,6 кг/га за внесення повного мінерального добрива. При цьому азотна складова повного мінерального

добрива найбільше впливала на цей показник.

Застосування парних комбінацій основних елементів живлення та варіантів досліду з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив або обох їх видів, забезпечувало незначне зменшення господарського винесення азоту порівняно з повним мінеральним добривом.

Найменше на господарське винесення впливало застосування фосфорно-калійної системи удобрення, оскільки він збільшувався лише на 8 % порівняно з ділянками без добрив.

Необхідно відзначити, що господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел також сильно змінювалось від погодних умов року дослідження. Так, у 2023 р. господарське винесення азоту змінювалось від 236,3 до 317,9 кг/га, у 2022 р. – від 153,0 до 253,2, а в 2024 р. – від 89,7 до 108,8 кг/га залежно від варіанту досліду. Очевидно, що різний рівень урожаю насіння та стебел зумовлює великий діапазон зміни господарського винесення.

Проведення інокуляції підвищувало господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел. Рівень господарського винесення був на 14–17 % вищим порівняно з ділянками без інокуляції. При цьому тенденція впливу систем удобрення як у середньому, так і за роки досліджень була подібною.

Господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої збільшується від 89,7–236,3 кг/га на ділянках без добрив до 108,8–317,9 кг/га за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ залежно від року дослідження. При цьому господарське винесення азоту з урожаєм насіння в 9–11 рази більше порівняно з урожаєм стебел. Баланс азоту може змінюватись від -89,7...-236,3 кг/га у варіанті без добрив до -48,8...-257,9 кг/га без проведення інокуляції. За умови проведення інокуляції баланс азоту має вищі значення. Залишення стебел на полі після збирання сої не забезпечує отримання додатного балансу азоту.

Показник відносного винесення фосфору залежно від варіанту досліду та погодних умов змінюється в межах 25,5–40,2 кг/т насіння та відповідну

кількість стебел. У середньому за три роки проведення досліджень цей діапазон змін значно менший 29,9–36,2 кг/т і показник винесення збільшувався з поліпшенням умов мінерального живлення рослин сої. Цю особливість необхідно враховувати під час розрахунку доз внесення фосфорних добрив під сою.

Інтенсивність балансу фосфору в ґрунті під посівами сої змінюється в широких межах – від 17,6 до 326,1 %. Цей показник значно залежить від погодних умов року проведення досліджень, системи застосування удобрювальних продуктів, доз внесення фосфорних добрив, а також способу використання врожаю стебел.

Внесення калійних добрив у дозі 60 кг/га д. р. у складі повного мінерального добрива та проведення інокуляції насіння сої забезпечує інтенсивність балансу калію 99,2–281,7 % залежно від погодних умов року проведення досліджень, тоді як за зменшення дози їх внесення до 30 кг/га д. р. знижує цей показник до 51,7–147,1 %.

Окупність 1 кг д. р. різних видів мінеральних добрив залежить як від доз їх внесення, так і від поєднання з іншими видами у системі удобрення. Так, окупність 1 кг азоту добрив становить у межах 11,5–17,7 кг насіння й була найвищою за внесення невисокої дози азотних добрив (N_{30}). Окупність фосфорних і калійних добрив становить відповідно 1,5–2,7 кг і 0,8–2,0 кг насіння і також була найвищою за низької дози їх внесення – 30 кг/га д. р.

Окупність 1 кг $N + P_2O + K_2O$ істотно змінюється (від 1,5 до 17,7 кг насіння) і була найвищою за внесення під сою лише азотних добрив. За внесення повного мінерального добрива у різних поєднаннях основних елементів живлення цей показник становить 4,5–7,0 кг насіння і був найбільшим за половинної дози добрив від виробничого контролю (варіант дослідів $N_{30}P_{30}K_{30}$).

Чистий енергетичний дохід у проведеному досліді у межах від 3,2 до 4,9 ГДж/га і, отже, не покривав енерговитрати на застосування добрив, про що свідчить показник коефіцієнта енергетичної ефективності.

З економічного погляду найбільш доцільним у середньому за роки проведення досліджень є внесення під сою N_{30-60} як з проведенням інокуляції насіння бульбочковими бактеріями, так і без неї – умовно чистий дохід відповідно становив 8,0–10,3 тис. грн/га.

Найвищим індекс комплексного оцінювання за внесення під сою лише азотних добрив у дозі 30 і 60 кг/га д. р. – відповідно 0,77 і 0,78. При цьому за проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями на тлі внесення 60 кг/га азоту він знижується з 0,78 до 0,74, тоді як на тлі 30 кг/га азоту – частково підвищується з 0,77 до 0,78.

В умовах Правобережного Лісостепу на чорноземі опідзоленому для отримання високого врожаю насіння сої з урахуванням економічної, агрохімічної, енергетичної ефективності та інтенсивності балансу основних елементів живлення в ґрунті застосовувати $N_{30}P_{30}K_{30}$ за умови вирощування після пшениці озимої в чотирипільній сівозміні.

Ключові слова: системи удобрення, дози мінеральних добрив, види добрив, соя, індивідуальна продуктивність рослин, урожайність, якість насіння, господарське винесення, відносне винесення, коефіцієнт використання елементів живлення, інтенсивність балансу.

ABSTRACT

Ya. O. Yarovy. Formation of soybean productivity under different fertilizers in field crop rotation on podzolized chernozem of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the degree of Philosophy Doctor in specialty 201 "Agronomy" (20 – Agricultural Sciences and Food). – Uman National University, Uman, 2025.

Soy (*Glycine max* (L.) Merrill) is grown in a variety of soil and climate conditions and is the dominant oilseed crop in the United States. Ukraine is one of the world's major producers and exporters of grain. Currently, the largest areas are occupied by winter wheat, corn, sunflower and soybean. Most soybean is concentrated in the Right-Bank Forest-Steppe, the agroclimatic conditions of which is characterized by unstable moisture and high temperature conditions during the growing season of plants. This often results in a significant decrease in soybean productivity. Among the factors that determine its level, an important place is the optimal supply of plants with elements of mineral nutrition. This requires the research of their combined action and combination, as well as the influence of each nutrient separately on the formation of the crop and seed quality in order to increase their stable action in specific conditions and restore soil fertility.

A positive effect of fertilization without inoculation on a significant increase in the formation of nodules on the soybean root system in the full ripeness stage was obtained in all fertilizer variants compared to the control, except for the $P_{60}K_{60}$ fertilizer variant. The indicators of nodule formation number on the soybean root system in the stage of full ripeness in the $P_{60}K_{60}$ variant are not reliable compared to the control in all years of research. The highest number of nodules on the soybean root system in the full ripeness stage was obtained in the fertilizer variants $N_{60}P_{30}K_{30}$ and $N_{60}P_{30}K_{60}$ (41.4–41.5 pcs/plant). On the background of inoculation,

the number of nodules formed on the soybean root system in the full ripeness stage is significantly greater than on the background without inoculation; in the control variant, the difference is 13.8 pcs/plant, and in the variants with fertilizer, 18.1–18.5 pcs/plant.

Nitrogen, phosphorus-potassium and nitrogen-potassium fertilizer systems, on average over three years, increase the mass of nodules compared to the control by 0.1–0.4 g/plant. Complete mineral fertilizer provides the highest number of nodules compared to other fertilizer variants (1.1 g/plant).

The application of inoculation significantly increases the formation of nodule masses on the root system of soybean in the full ripeness stage compared to the absence of inoculation. In the variant without fertilizers (control), the average difference over three years is 0.3 g/plant.

The application of fertilizers significantly increased the mass of one soybean plant. Thus, on average, over the three years of research, this indicator increases from 10.0 to 11.6–12.8 g or by 16–28 % under nitrogen fertilizer systems. With the application of $N_{30}P_{30}K_{30}$, the mass of one plant increases to 12.3 g and to 13.8 g, or by 6–8 % compared to nitrogen systems which indicates a large influence of nitrogen on the formation of individual productivity of soybean plants.

The use of nitrogen-potassium, nitrogen-phosphorus and variants with incomplete return of phosphorus and potassium fertilizers do not reliably reduce the mass of one soybean plant. It should be noted that the application of the phosphorus-potassium fertilizer system has the least effect on this indicator. Under such a fertilizer scenario, the mass of one plant increases only to 10.6 g.

The mass of one soybean plant varies significantly depending on the weather conditions of the research years. Thus, in the more favorable 2022–2023, the mass of one plant varies from 10.3 to 21.8 g depending on the experiment variant. In the less favorable 2024 this indicator is in the range of 4.7–5.9 g or 2.2–3.7 times less compared to more favorable years.

The mass of soybean seeds from one plant significantly increases. Thus, on

average, over the three years of research, this indicator increases from 3.1 to 3.7–3.9 g or by 19–26 % under nitrogen fertilizer systems. With the application of $N_{30}P_{30}K_{30}$, one plant seed mass increases to 3.9 g and up to 4.2 g or by 6–8 % compared to nitrogen systems which indicates a large influence of nitrogen on the formation of individual productivity of soybean plants.

The use of nitrogen-potassium, nitrogen-phosphorus and variants with incomplete return of phosphorus and potassium fertilizers do not significantly reduce the mass of seeds from one soybean plant. It should be noted that this indicator is least affected by the use of the phosphorus-potassium fertilizer system. Under such a fertilizer scenario, the seed mass per plant increases only to 3.4 g or 10 % compared to unfertilized areas.

The use of inoculation also significantly increases the mass of seeds from one soybean plant by 12–16 % compared to areas without seed inoculation. At the same time, the application of fertilizers has a similar trend compared to areas without inoculation. Thus, this indicator increases from 3.6 g in the variant without fertilizers to 4.2–4.3 g in nitrogen systems and to 4.5–4.7 g with the application of complete mineral fertilizer.

The research results show that the yield of soybean seeds varies most with weather conditions and fertilizer; the least from the use of inoculation. On average, over the three years of research, the yield increases from 2.50 to 3.03 t/ha when applying N_{30} and up to 3.19 t/ha when applying N_{60} . The use of complete mineral fertilizer at a dose of $N_{30}P_{30}K_{30}$ increases this indicator to 3.20 t/ha or by 6 %, and $N_{60}P_{60}K_{60}$ – to 3.40 t/ha or by 7 % compared to nitrogen systems.

The use of inoculation contributes to an increase in yield by 0.38–0.41 t/ha depending on the experimental variant. At the same time, such a trend was established throughout all research years.

Soybean seed yield varies significantly depending on the weather conditions of the research year, as evidenced by the low stability index – 0.36–0.40. It was established that the use of N_{30} increases the yield of soybean to 3.92 t/ha in 2023.

The use of $N_{30}P_{30}K_{30}$ provides an increase in it to 4.32 t/ha. Under the condition of applying a double dose of nitrogen fertilizers, the yield is 4.15–4.61 t/ha. Seed inoculation before sowing provides 0.54–0.60 t/ha of grain compared to areas without fertilizers.

The least yield increases from the use of phosphorus and potassium fertilizers. Variants with incomplete return of phosphorus and potassium fertilizers do not significantly reduce grain yield compared to complete mineral one.

Application of nitrogen at a dose of 30 kg/ha gives a slight increase in protein content compared to the control – 38.3 %. This shows a positive effect of nitrogen fertilizers, but without significant changes compared to intensive fertilizer schemes. Application of nitrogen at a dose of 60 kg/ha provides a significant increase in protein content – 39.0 % which indicates a greater influence of nitrogen on protein synthesis. Application of phosphorus and potassium at a dose of 60 kg/ha provides results similar to the control – 38.0 %, which indicates a minor effect of phosphorus and potassium fertilizers on protein content compared to nitrogen. Nitrogen, along with potassium, has a more positive effect on protein synthesis. The combination of nitrogen and potassium at 60 kg/ha each results in a protein content of 39.1 %. The combination of nitrogen and phosphorus at 60 kg/ha increases the protein content to 39.1 % which indicates a positive interaction between nitrogen and phosphorus.

Fertilizer application had a significant effect on the economic release of nitrogen with soybean seed and straw yields. On average, over three years, the economic removal of nitrogen increased from 159.6 kg/ha in the variant without fertilizers to 193.5–210.0 kg/ha in nitrogen systems and to 206.7–226.6 kg/ha with the application of complete mineral fertilizer. At the same time, the nitrogen component of the complete mineral fertilizer had the greatest effect on this indicator.

The use of paired combinations of the main nutrients and experiment variants with incomplete return of phosphorus and potassium fertilizers or both of their

types, provided a slight decrease in the economic removal of nitrogen compared to complete mineral fertilizer.

The application of the phosphorus-potassium fertilizer system had the least effect on economic removal, as it increased by only 8 % compared to areas without fertilizers.

It should be noted that the economic removal of nitrogen with the yield of seeds and straw also varied greatly depending on the weather conditions of the research year. Thus, in 2023 economic nitrogen removal varied from 236.3 to 317.9 kg/ha, in 2022 – from 153.0 to 253.2, and in 2024 – from 89.7 to 108.8 kg/ha depending on the experiment variant. It is obvious that different levels of seed and straw yields cause a large range of changes in economic yield.

Inoculation increased the economic removal of nitrogen with the yield of seeds and straw. The level of economic removal was 14–17 % higher compared to areas without inoculation. At the same time, the trend of the influence of fertilizer systems was similar both on average and over the research years.

Nitrogen economic removal with the yield of soybean seeds and straw increases from 89.7–236.3 kg/ha in areas without fertilizers to 108.8–317.9 kg/ha with the application of $N_{60}P_{60}K_{60}$ depending on the research year. At the same time, nitrogen economic removal with the seed yield is 9–11 times more compared to the straw yield. Nitrogen balance can vary from -89.7...-236.3 kg/ha in the variant without fertilizers to -48.8...-257.9 kg/ha without inoculation. Under the condition of inoculation, the nitrogen balance has higher values. Leaving straw on the field after harvesting soybean does not provide a positive nitrogen balance.

The relative phosphorus removal indicator varies within 25.5–40.2 kg/t of seeds and the corresponding amount of straw depending on the experiment variant and weather conditions. On average, over the three years of research, this range of changes is much smaller, 29.9–36.2 kg/t, and the removal rate increased with the improvement of the conditions of mineral nutrition of soybean plants. This feature should be taken into account when calculating the doses of phosphorus fertilizers

for soybean.

The intensity of phosphorus balance in the soil under soybean crops varies widely – from 17.6 to 326.1 %. This indicator significantly depends on the weather conditions of the research year, the system of fertilizer application, the doses of phosphorus fertilizers, as well as the method of using the straw yield.

Application of potassium fertilizers at a dose of 60 kg/ha of active ingredient in the composition of complete mineral fertilizer and inoculation of soybean seeds ensures the intensity of the potassium balance of 99.2–281.7 % depending on the weather conditions of the research year, while reducing the dose of their application to 30 kg/ha of active ingredient reduces this indicator to 51.7–147.1 %.

Profitability of 1 kg of active ingredient of different types of mineral fertilizers depends both on the doses of their application and on the combination with other types in the fertilizer system. Thus, the profitability of 1 kg of nitrogen fertilizers is in the range of 11.5–17.7 kg of seeds and was the highest when applying a low dose of nitrogen fertilizers (N_{30}). The profitability of phosphorus and potassium fertilizers is 1.5–2.7 kg and 0.8–2.0 kg of seeds, respectively, and was also the highest at a low dose of their application – 30 kg/ha of active ingredient.

The profitability of 1 kg of $N+P_2O+K_2O$ varies significantly (from 1.5 to 17.7 kg of seeds) and was the highest when applying only nitrogen fertilizers to soybean. With the application of complete mineral fertilizer in various combinations of the main nutrients, this indicator is 4.5–7.0 kg of seeds and was the highest for a half dose of fertilizers from the control ($N_{30}P_{30}K_{30}$ experiment variant).

The net energy income in the conducted experiment ranged from 3.2 to 4.9 GJ/ha and, therefore, did not cover the energy costs for the fertilizer application, as evidenced by the energy efficiency coefficient indicator.

From the economic point of view, the most appropriate, on average, over the years of research, is the application of N_{30-60} under soybean, both with and without

seed inoculation with nodule bacteria – conditional net income was, respectively, 8.0–10.3 thousand UAH/ha.

The highest comprehensive evaluation index for the introduction of only nitrogen fertilizers at a dose of 30 and 60 kg/ha of active ingredient – 0.77 and 0.78, respectively. At the same time, during seed inoculation with nodule bacteria against the background of applying 60 kg/ha of nitrogen, it decreases from 0.78 to 0.74, while against the background of 30 kg/ha of nitrogen, it partially increases from 0.77 to 0.78.

In the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe on podzolized black soil to obtain a high yield of soybean seeds, taking into account economic, agrochemical, energy efficiency and balance intensity of the main nutrients in the soil, apply $N_{30}P_{30}K_{30}$ under the condition of cultivation after winter wheat in a four-field crop rotation.

Key words: fertilizer systems, mineral fertilizer doses, types of fertilizers, soybean, individual plant productivity, yield, seed quality, economic yield, relative yield, nutrient utilization ratio, balance intensity.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України

1. Яровий Я. О. Продуктивність сої залежно від удобрення та інокуляції. *Збірник Уманського НУС*. 2024. Вип. 105. С. 268–278.
2. Яровий Я. О. Господарське винесення азоту та його баланс у ґрунті за вирощування сої залежно від інокуляції та удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 140. С. 363–373.
3. Яровий Я. О. Формування показників росту рослин сої залежно від інокуляції та удобрення. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 128–134.

Матеріали науково-практичних конференцій

4. Господаренко Г. М., Любич В. В., Яровий Я. О. Продуктивність сої залежно від удобрення на чорноземі опідзоленому. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: VI Міжнародна науково-практична конференція присвячена – ювілейним річницям професорів О. М. Можейка, В. В. Милого, Ю. В. Будьонного, І. І. Назаренка (м. Харків, 29–30 листопада 2022 р.). Харків : ДБУ, 2022. С. 83–85.
5. Любич В. В., Яровий Я. О. Вміст протеїну в насіння сої залежно від удобрення та інокуляції. VII Міжнародна науково-практична конференція «World educational trends: lifelong learning in the information society», 15–18 жовтня 2024 р., Афіни, Греція. С. 22–25.
6. Любич В. В., Яровий Я. О. Формування якості насіння сої залежно від удобрення. Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 19 квітня 2024 р.). С. 106–107.
7. Любич В. В., Яровий Я. О. Вплив інокуляції на врожайність насіння

сої. Збірник матеріалів Міжнародної науково–практичної конференції молодих вчених «Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері України». Одеса, 2024. С. 158–159.

8. Любич В. В., Яровий Я. О. Урожайність сої залежно від удобрення. Сучасні технологічні аспекти виробництва насіння та переробки сільськогосподарської продукції: матеріали Міжнародної наукової конференції з нагоди 100-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Григорія Родіоновича Пікуша (20–21 березня 2024 р., м. Дніпро). Дніпро: ДУ ІЗК НААН, 2024. С. 121–122.

9. Любич В. В., Яровий Я. О. Формування якості насіння сої залежно від удобрення. Тези доповідей Міжнародної наукової інтернет-конференції «Інноваційні зернопродукти і технології», 20 лютого 2024 р. Умань, 2024. С. 90–92.

10. Господаренко Г. М., Яровий Я. О. Урожайність сої за різного удобрення на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: V Міжнародна науково-практична конференція (м. Харків, 25–26 листопада 2021 р.). Харків: ДБУ, 2021. С. 62–64.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	20
СУЧАСНИЙ СТАН І НАПРЯМКИ	
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕНЬ З ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ	25
УДОБРЕННЯ СОЇ (огляд літератури)	
1.1 Агробіологічна характеристика сої	26
1.2 Особливості мінерального живлення сої	31
1.3 Ріст і розвиток рослин сої залежно від удобрення та інокуляції	35
1.4 Формування врожайності та якості насіння сої	37
РОЗДІЛ 2 УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ	46
ДОСЛІДЖЕНЬ	
2.1 Ґрунтово-кліматичні та погодні умови	46
2.2 Методика проведення досліджень	50
РОЗДІЛ 3 РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД	54
УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ	
3.1 Висота рослин	54
3.2 Нодуляційний апарат	58
3.3 Формування елементів структури урожаю	61
РОЗДІЛ 4 ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ТА ЯКОСТІ	
НАСІННЯ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ ТА	73
ІНОКУЛЯЦІЇ	
4.1 Урожайність насіння та стебел	73
4.2 Формування якості насіння	82
РОЗДІЛ 5 ЗАСВОЄННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ	
РОСЛИНАМИ СОЇ І БАЛАНС ЇХ У ҐРУНТІ ЗА	92
РІЗНОГО УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ	
5.1 Параметри азотної складової	92

5.2	Параметри фосфорної складової	113
5.3	Параметри калійної складової	130
	АГРОХІМІЧНЕ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ ТА	
РОЗДІЛ 6	ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ	151
	ЕФЕКТИВНОСТІ УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ	
	ВИСНОВКИ	162
	РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	167
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	168
	ДОДАТКИ	191

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Соя (*Glycine max* (L.) Merrill) вирощується в різноманітних ґрунтово-кліматичних умовах і є домінуючою олійною культурою в США. Україна є одним із основних виробників та експортерів насіння у світі. Нині найбільші площі займають пшениця озима, кукурудза, соняшник і соя. Найбільше сої зосереджена у Правобережному Лісостепу, агрокліматичні умови якого характеризується нестійким зволоженням та високим температурним режимом упродовж вегетації рослин. Це часто призводить до суттєвого зниження продуктивності сої. Серед чинників, які визначають її рівень важливе місце займає оптимальне забезпечення рослин елементами мінерального живлення. Це потребує вивчення їх сумісної дії і поєднання, а також впливу кожного елементу живлення окремо на формування врожаю та якості насіння з метою підвищення їх стабільної дії в конкретних умовах і відновленню родючості ґрунту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основу дисертації становлять матеріали науково-дослідної роботи, які входили до програми наукових досліджень Уманського національного університету «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», а також у ПНД НААН 1 «Ґрунтові ресурси України: інформаційне забезпечення, раціональне використання, менеджмент, технології» 01.03.02.01. Ф. «Удосконалити теоретичне підґрунтя інформаційно-методичного забезпечення сталого управлінням азотним, фосфорним і калійним живленням сільськогосподарських культур» за темою «Розробити систему удобрення сої

на чорноземі опідзоленому».

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень – вивчення впливу різних видів і доз мінеральних добрив на формування продуктивності сої для встановлення ефективної системи удобрення для Правобережного Лісостепу.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

- оцінити вплив удобрення на показники росту та розвитку рослин сої;
- встановити вплив удобрення на формування індивідуальної продуктивності сої;
- з’ясувати вплив тривалого застосування мінеральних добрив на формування врожайності та якості насіння сої;
- розрахувати винесення основних елементів живлення соєю залежно від системи удобрення;
- провести агрохімічне, енергетичне та економічне оцінювання ефективності застосування добрив у чотирипільній сівоzmіні за вирощування сої.

Об’єкт досліджень – взаємозв’язок між продуктивністю рослин та системами удобрення в польовій сівоzmіні.

Предмет дослідження – оптимізація мінерального живлення сої.

Методи досліджень. Для реалізації визначених завдань дослідження використано комплекс загальноприйнятих і спеціальних методів, спрямованих на отримання об’єктивних і вірогідних результатів: польові (визначення параметрів показників росту рослин і врожайності), лабораторні (визначення технологічних властивостей насіння), аналітичні, інформаційні (огляд досліджуваних заходів у науковій літературі, оброблення і поширення наукової інформації), статистичні (дисперсійний аналіз для визначення достовірності отриманих результатів досліджень, кореляційний і регресійний аналіз), а також економічний. Хімічні та фізико-хімічні аналізи проводили стандартизованими і загальноприйнятими методами з використанням сертифікованих приладів та обладнання в атестованій лабораторії масових

аналізів УНУС (№ РЯ0078/21 від 02.11.2021 р.).

Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні загальних закономірностей формування продуктивності сої за різних систем удобрення залежно від інокуляції та погодних умов.

Уперше

визначено параметри індивідуальної продуктивності рослин сої, врожайність та якість насіння, показники винесення основних елементів живлення з ґрунту за різного удобрення та інокуляції.

Встановлено, що продуктивність сої значно залежить від застосування азотних добрив, ефективність яких змінюється від особливостей погодних умов упродовж вегетаційного періоду. В системі удобрення ефективним є застосування 30 кг/га д. р. азотних добрив. Так, у сприятливішому 2023 р. врожайність насіння становить 3,92 т/га, а в менш сприятливішому 2024 р. – 1,55 т/га. Проведення інокуляції при цьому забезпечує 0,04–0,63 т/га приросту врожаю насіння залежно від погодних умов. Вміст білка зростає від 36,1–39,2 % у варіанті без добрив до 36,2–39,8 % за внесення N_{30} . Застосування інокуляції забезпечує підвищення вмісту білка до 37,5–39,8 %.

Удосконалено агротехнологічні параметри вирощування сої в Правобережному Лісостепу з урахуванням ефективності застосування добрив, інокуляції за різних погодних умов.

Дістало подальшого розвитку розроблення ефективних систем удобрення з урахуванням високої економічної ефективності та збереження родючості ґрунту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в уточненні показників відносного винесення основних елементів живлення соєю та коефіцієнтів їх використання з добрив. Визначено інтенсивність балансу різних систем удобрення в польовій сівозміні та параметри окупності 1 кг мінеральних добрив насінням з урахуванням погодних умов. Встановлено, що для отримання високого врожаю насіння сої з урахуванням економічної,

агрохімічної, енергетичної ефективності та інтенсивності балансу основних елементів живлення в ґрунті застосовувати $N_{30}P_{30}K_{30}$ за умови вирощування після пшениці озимої в чотирипільній сівозміні.

Основні результати дослідження впроваджено в ТОВ «Агро-Центр «Велес» с. Торговиця Новоархангельського району Кіровоградської області на площі 75 га (акт від 13.03.2025 р.), в ТОВ «Лендпоінт» с. Терлиця Монастирищанського району Черкаської обл. на площі 95 га (акт від 18.03.2025 р.).

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, що виносяться на захист кандидатської дисертації, отримано в процесі науково-дослідної роботи здобувача. Особистий внесок полягає у формуванні мети і завдань досліджень, узагальненні відомостей з наукової літератури, виконанні лабораторних досліджень, аналізі та статистичній обробці отриманих результатів, розрахунках економічної ефективності, підготуванні матеріалів під час написання наукових праць, а також у формуванні висновків і пропозицій виробництву та їх практичному випробуванні. Публікації за темою дисертації підготовлено одноосібно та в співавторстві, де здобувачу належить фактичний матеріал і основний творчий доробок. Внесок здобувача в публікаціях складає 90–100 %.

Апробація результатів дисертації. Основні результати виконаних досліджень доповідались і обговорювались на Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва» (Харків, 2021, 2022), VII Міжнародній науково-практичній конференції «World educational trends: lifelong learning in the information society» (Афіни, 2024), Міжнародній науково-практичній конференції «Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур» (Центральне, 2024), Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері

України» (Одеса, 2024), Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні зернопродукти і технології» (Умань, 2024), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технологічні аспекти виробництва насіння та переробки сільськогосподарської продукції» (Дніпро, 2024).

Публікації. Результати досліджень дисертаційної роботи опубліковано в 10 наукових працях, з яких 3 – статті в фахових виданнях України і 6 – праці в матеріалах науково-практичних конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційну роботу викладено на 195 сторінках комп'ютерного набору, в тому числі 150 – основного тексту, що включає вступ, шість розділів, висновки, рекомендації виробництву. Містить анотацію, 37 таблиць, 7 рисунків і додатки (акти впровадження, відомості про апробацію результатів дисертації). Список використаних джерел включає 207 найменувань, з яких 44 – латиницею.

РОЗДІЛ 1

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

Україна є одним із основних виробників та експортерів сої в світі. Поширення культури сої обумовлене її різнобічною цінністю, високою продуктивністю, невибагливістю до умов вирощування та високою чутливістю до складових агротехнології [86]. Значна частина посівів сої зосереджена у Правобережному Лісостепу, який характеризується нестійким зволоженням та високим температурним режимом упродовж вегетації рослин, що часто призводить до суттєвого зниження врожаю насіння та його якості [120].

Валовий збір сої в 2023 р. становить, склавши близько 5,2 млн тонн. Це на 21 % перевищує показник 2022 р., що вказує про важливість культури для виробництва [12]. Також важливим інструментом ефективного управління продуктивністю високоврожайних сортів сої є удобрення [15]. У зв'язку з погіршенням погодних умов, актуальним є дослідження різних видів і доз добрив. Завдяки таким дослідженням можливе коригування системи удобрення та підвищення продуктивності культури [21].

Сучасні дослідження привели до надзвичайної різноманітності використання сої. Її олію можна переробляти на маргарин, шортенінг, вегетаріанські та веганські сири. Соевий шрот служить заміном м'яса з високим вмістом білка в багатьох продуктах харчування, включаючи дитяче харчування та вегетаріанську їжу, і йому можна надати м'ясної текстури для збільшення виходу фаршу [110]. У промисловості масло використовується як інгредієнт для фарб, клеїв, добрив, проклейки для тканини, підкладки для лінолеуму та вогнегасних рідин [115].

Реалізувати потенційну продуктивність сої необхідно не за допомогою високих доз добрив, а оптимізацією всіх властивостей і життєвих процесів у

грунті відповідно до біологічних вимог рослин [172]. Дози мінеральних добрив повинні відповідати збалансованому живленню рослин усіма біогенними елементами з урахуванням екологічних наслідків їх застосування та не знижувати симбіотичної фіксації азоту атмосфери [173].

Важливість посівів сої в економічному та соціальному плані добре відома в усьому світі, оскільки вона забезпечує близько 64 % світової олії (основне джерело олії) і близько 28 % загального виробництва [167]. У деяких частинах Азії від 30 % до 60 % середнього грошового доходу отримують від продажу врожаю сої, який використовується для закупівлі матеріальних ресурсів [114].

Нині виробництву сої перешкоджають декілька абіотичних і біотичних стресових факторів. Ці стресові фактори спричиняють збитки через зниження середньої врожайності сої [117]. Вироблення стресостійких генотипів сої не обходиться без труднощів, а багаторазове застосування хімікатів і добрив негативно впливає на екологію ґрунту [119].

Отже, кращим підходом до посилення росту та виробництва цієї важливої культури є використання біологічних методів, включаючи ризобактерії, що стимулюють ріст рослин.

1.1 Агробіологічна характеристика сої

Соя – універсальна культура. Вирощується близько на 50 мільйонах гектарів, воно забезпечує 35 % рослинної олії в світі та є основним джерелом білка для понад мільярда азіатів [28]. У всьому світі наголошується на генетичному вдосконаленні культури через її важливість. У Північній Америці селекція триває понад 60 років, що призвело до появи великої кількості літератури про генетику сої [29]. Соя – однорічна самозапильна диплоїдна бобова культура. Була введена в культуру від її дикого родича *Glycine soja* Sieb & Zucc. у східному Китаї понад 3000 років. Найпомітніша

особливість культури – зовнішній вигляд насіння, який є найбільш генетично різноманітною ознакою сої через її роль у генетичному пристосуванні для різноманітного харчового використання в Азії [30].

Насіння сої складається з білка (в середньому 38 %), вуглеводів (30 %), олії (18 %), а волога та мінеральні речовини становлять решту насіння. Білок сої зосереджений у білкових тільцях насіння [121]. Соевий білок в основному складається з глобулінів (гліцинін і бета-конгліцинін) і альбумінів (водорозчинних білків). Основними продуктами, отриманими з сої, є білок і олія [168].

Крім білка насіння сої містить ліпіди, вітаміни, мінерали, вільний цукор, а також ізофлавіони, флаваноїди, сапоніни та пептиди, які мають терапевтичне значення [122]. Сою споживають у двох формах: неферментовану (жарене та смажене насіння, соєвий порошок, соєве масло, соєва олія тощо) та ферментовану (соєвий соус, сир тощо) [123].

Соевий білок збирають із подрібненого насіння після екстракції олії розчинниками. Сухе подрібнене знежирене соєве борошно, отримане в результаті цього процесу, має світло-кремовий колір. Він містить близько 55 % білка, 18 % вуглеводів і є основою, з якої виготовляються інші концентрати та ізоляти білкових фракцій [124].

Соевий концентрат отримують шляхом видалення розчинних вуглеводів, таких як стахіоза та рафіноза, із соєвого борошна [170]. Видалення цих олігосахаридів є корисним, оскільки вони викликають газоутворення (метеоризм), коли ферментуються в кишківнику тварин. Соевий концентрат містить близько 70 % білків і 25 % вуглеводів, більшість у вигляді нерозчинної клітковини [126].

Соеві ізоляти отримують екстракцією соєвого борошна водним розчином з високим рН (9–10). Лужний рН руйнує білкові тіла насіння і вивільняє його амінокислоти. Сполуки, які не розчинилися, видаляють і відкидають шляхом центрифугування [169]. Білки у розчинній фракції

осаджують шляхом зниження рН до 4,5 кислотою. Друге центрифугування відокремлює та збирає осад білка, який згодом змішують з невеликою кількістю води і нейтралізують гідроксидом натрію [174]. Кінцевий ізолят соєвого білка містить 90 % білка і є формою соєвого білка, який найчастіше використовується як харчовий інгредієнт [175].

Інтерес до ефективного виробництва сої, як однієї з найперспективніших сільськогосподарських культур, значно зростає у всьому світі та в Україні [199, 76].

Соя є однією з важливих продовольчих культур, яка багата білком і рослинною олією [31]. Соя є єдиною бобовою культурою з достатньою кількістю незамінних омега-3 жирних кислот і альфа-ліноленової кислоти [32]. Крім цього, біотин, який визнано важливим поживним фактором, міститься у вищій концентрації в сої порівняно з овочами, фруктами і більшістю м'ясних продуктів [35]. Такі фітохімічні речовини як ізофлавіони і фенольні сполуки у сої, корисні для здоров'я людини. Інформація вказує на поживні елементи і фармакологічні цінності сої та підкреслює важливість сої в забезпеченні щоденного споживання та потенційні переваги для зміцнення здоров'я [39].

Соя є субтропічною культурою, проте її також можна вирощувати у регіонах з тропічним кліматом з температурою до 50°C. Для дозрівання рослини потрібно приблизно 2 місяці. Однак час дозрівання залежить від варіанту самої сої. Рослина сої може вирости до 20–180 см [186].

Важливою агробіологічною ознакою сої є симбіотична азотфіксація. Симбіоз сої, один із найважливіших біологічних процесів, що впливає на врожайність та вміст білка. Подібно до багатьох видів сільськогосподарських культур, соя може встановлювати симбіотичні асоціації з ґрунтовими бактеріями часто застосовуються як біодобрива [108]. Передові країни світу інтенсивно вивчають новітні штами в інокуляції та їх вплив на сою та її живлення [159]. Біологічна фіксація забезпечує певну частину потреб

рослини в азоті. Азот є основним поживним елементом для неї. Однак, навіть інокуляція не завжди достатня, якщо ґрунти мають низьку родючість. Використання бактеріальних препаратів не відкидає можливості внесення помірних доз азотних добрив. Для отримання насіння з високою поживною цінністю завжди потрібен комплексний підхід [202].

Соя відноситься до родини Бобових, які мають змогу створювати бульбочкові бактерії, інша їхня назва азотфіксуючі бактерії [41]. Азот є основним компонентом амінокислот, та входить до складу протеїнів з яких складаються білки [45]. В ґрунті він сприяє виробництву цих білків у зерні сої, покращуючи його якість і харчову цінність. Також азот забезпечує ріст, розвиток листя та стебел, що призводить до кращого формування стручків і, відповідно, до збільшення кількості та розміру зерен у бобі [46].

Інокуляція насіння є найкориснішою практикою для підвищення врожайності насіння сої, особливо в регіонах, де ця рослина не вирощується широко, а ґрунти бідні штамми симбіотичних бактерій, як це відбувається в більшості європейських країн [180]. Бактерії *Rhizobium* позитивно впливають на ріст і розвиток культур, а також на поглинання макро- і мікроелементів, збільшуючи вироблення рослинними гормонів, які сприяють росту культур. *Rhizobium* є перспективним заміником азотних добрив. *Rhizobium* формує симбіотичні відносини з бобовими, доставляючи таким чином значну кількість азоту рослинам, тому безперервна інокуляція забезпечує довгострокову доступність азоту в ґрунті [181].

За формування кореневої системи, яка є важливою уже на початку розвитку кожної рослини відповідає фосфор. Здорова коренева система дає змогу рослині вбирати в себе максимальну кількість поживних елементів [48]. Фосфор відіграє ключову роль не тільки при формуванні міцної кореневої системи, а також квіток і насіння. Також він дає змогу рослині краще адаптуватись до стресових умов, сприяє накопичення білків та інших поживних речовин у зерні сої [49].

Біологічна азотфіксація бобовими рослинами входить до кола досить актуальних питань у сучасних умовах господарювання. Соя поєднує два важливі процеси – фотосинтезу та біологічної фіксації азоту [36]. Її біологічна особливість полягає в здатності рослин до симбіотичного типу живлення. Бульбочкові бактерії виду *Bradyrhizobium Japonicum* забезпечують рослини фіксованим атмосферним азотом у формі органічних сполук [177]. Але потребуються ефективні заходи, які б сприяли підвищенню інтенсивності цих процесів.

Утворення бульбочкових бактерій та їх здатність фіксувати азот у ґрунті дуже важливий показник. Після формування бульбочок на коренях рослин, вони можуть забирати азот з атмосфери і ґрунту [50]. Рослини забезпечують бактеріям продуктивний обмін речовин для їхнього росту та розвитку [51]. Зазвичай для сої використовують таку шкалу заселеності кореневої системи азотфіксувальними бактеріями за кількістю бульбочок: дуже слабе – 0–4 шт/рослину, слабе – 5–10, добре – 11–15, дуже добре – понад 15 шт/рослину [52].

Щоб підвищити якість роботи бульбочкових бактерій використовують різноманітні інокулянти. Обробка насіння інокулянтами може підвищити урожайність сої на 10–20 % і збільшити вміст білка на 6 % [53].

Отже, в системі удобрення сої застосування добрив є важливою складовою. При цьому потрібно враховувати особливості сорту та родючість ґрунту.

Застосування мікробіологічних препаратів забезпечує процеси: формування бульбочкових бактерій, формування більшої площі листків, висоти рослин, кількості гілок, вузлів, бобів, насіння, росту урожайності та його якості [54]. Особливого значення набувають біопрепарати на основі мікроорганізмів, які здатні трансформувати важкорозчинні органічні та мінеральні фосфати в легкорозчинні для рослин форми. За низького вмісту фосфору у бульбочкових бактерій відсутня вірулентність [57]. Фіксація азоту

повітря відбувається з участю АТФ, головною складовою частиною якого є фосфор. Одним із шляхів оптимізації умов функціонування симбіозу є поєднане застосування при інокуляції насіння одночасно із ризобіями інших штамів мікроорганізмів, які володіють фосфатмобілізацією та здатністю пригнічувати розвиток фітопатогенних грибів [165].

Передпосівна обробка насіння азотфіксувальними бактеріями у композиції із фосформобілізуєчими забезпечили збільшення урожайності насіння сої на 7,9–19,2 % та вмісту в ньому сирого протеїну на 0,04–1,52 % [56]. Рідка форма інокулянту, як правило, має два компоненти: власне, штам бульбочкових бактерій у рідкому живильному середовищі та суміш фізіологічно-активних речовин із мікро- та макроелементами для забезпечення виживання бактерій на обробленому насінні [59]. Препаративні форми азотфіксуючих біопрепаратів повинні підтримувати високі титри активних бактеріальних клітин досить тривалий час. Титр кращих сучасних американських препаратів сої становить 2–4 млрд клітин/г (мл) субстрату до 2 років, що дозволяє використовувати залишки препарату в наступному сезоні. Препарати, що виготовляються в Україні, містять також 2–3 млрд клітин/г субстрату [176].

1.2 Особливості мінерального живлення сої

Один з найважливіших чинників, який впливає на якість насіння сої є удобрення [60]. Питання ефективного поєднання в живленні сої біологічного і технічного азоту досить багатогранне [61]. Складність оптимізації азотного живлення сої полягає в необхідності створення оптимальних умов для проходження процесів засвоєння азоту мінеральних сполук, біологічної фіксації атмосферного азоту, які б не пригнічували один одного [62]. Так, і понині не існує єдиного погляду про здатність процесу азотфіксації забезпечити максимальну продуктивність рослин, а звідси, відповідно і

доцільність застосування мінеральних азотних добрив під сою [63].

На основі проведених досліджень вітчизняними та іноземними вченими висунуто основну концепцію азотного живлення бобових, що ґрунтується на чотирьох підходах [67]. Основою першої концепції є необхідність внесення під сою невеликих (стартових) доз азоту (N_{30-60}), а також доцільне їх застосування за низького ступеня забезпеченості ґрунту фосфором і калієм – $P_{60}K_{60}$ та K_{45-60} у поєднанні з азотфіксувальною дією бульбочкових бактерій [68].

Соя відрізняється високою потребою в азоті, яка в значній кількості забезпечується симбіотичною фіксацією його з повітря [66]. У результаті симбіозу зі специфічною расою бульбочкових бактерій *Rizobium* рослини сої здатні задовольняти свою потребу в азоті [69]. Соя у середньому на 1 га залишає близько 60–150 кг/га біологічно фіксованого азоту (використовується наступними культурами на 90–100 %, тоді як мінеральний азот – на 50–60 %), 20–25 кг/га P_2O_5 та 30–40 кг/га K_2O [74].

Від сходів до початку цвітіння рослини засвоюють лише 18 % азоту, 15 % фосфору і 25 % калію [70]. Основна частина макроелементів надходить у рослину в період цвітіння – формування бобів і наливу насіння – 80 % азоту, 80 % фосфору, 50 % калію [27].

У сучасних технологіях вирощування сої система удобрення передбачає внесення не лише азоту, фосфору, калію, а також усіх необхідних для рослини мікроелементів [71]. На формування 1 т насіння та відповідної кількості стебел соя використовує 70–100 кг азоту, 20–40 кг P_2O_5 , 20–40 кг K_2O залежно від сорту та врожайності, тому вона добре реагує на швидко доступні форми добрив, як мінеральні, так і органічні [73].

Соя виносить із ґрунту значну кількість поживних речовин, тому під час вирощування її інтенсивних сортів необхідним є створення в кореневмісному шарі ґрунту високих концентрацій легкодоступних елементів живлення [81]. При цьому на утворення 1 т насіння і відповідної маси стебел з ґрунту

виноситься до 70–75 кг азоту, 18–20 кг фосфору, 20–25 кг калію [172]. Отже, показники відносного винесення основних елементів живлення соєю змінюється в широкому діапазоні, що потребує проведення додаткових досліджень.

Недостатня концентрація елементів живлення, особливо на початкових етапах росту рослини, часто є причиною низької інтенсивності [173]. Стартова доза азоту сприяє швидкому росту сходів і розвитку кореневої системи до встановлення ефективної симбіотичної фіксації [82]. Фосфор у свою чергу дає можливість підвищити стресостійкість і прискорює формування азотфіксувальних бульбочок. Накопичення білка та олії в насінні сої, що покращує харчову цінність і підвищує посухостійкість – це задача калію, яким не варто нехтувати [87].

Калій найбільше рослина потребує цього елементу з періоду формування насіння і за 2–3 тижні до фази його досягання [90]. Важливу роль відіграє також при азотному обміні і перерозподілі вуглеводів, регулює водний баланс і синтез білку, підвищує стійкість до захворювань і вилягання рослин сої [94]. Калійні добрива самі по собі не мають вирішального значення, але при поєднанні їх з азотними і фосфорними спостерігається інтенсивний ріст і розвиток рослин, формується високий рівень урожайності [95].

Соя – вимоглива культура до поживного режиму ґрунту та добре реагує на збалансоване мінеральне живлення [98]. Тому в технології вирощування сої вагоме значення має забезпечення її всіма елементами [72]. Щоб сформувати якісні показники насіння потрібно працювати комплексно. Дефіцит кожного з елементів може призвести до погіршення якісних показників насіння [64].

Враховуючи потреби сої в елементах живлення, щоб отримати урожай насіння сої 3,0–3,5 т/га необхідно вносити під зяблеву оранку по 60 кг/га д. р. фосфорних і калійних добрив і 30–45 кг/га д. р. азотних добрив [118].

Урожайність і якість сої залежить від ґрунтово-погодних та агротехнологічних умов, у тому числі мінеральних добрив та інокуляції насіння [182]. Внесення азотних добрив та інокуляція насіння є основними факторами, що впливають на врожайність та хімічний склад насіння сої [128]. Як бобова культура соя здатна фіксувати вільний атмосферний азот завдяки симбіозу з бактеріями *Bradyrhizobium japonicum*. Завдяки цьому явищу соя здатна забезпечувати ґрунт до 100 кг/га азоту, що сприяє зниженню внесення азотних добрив [129].

Соя характеризується високою потребою в азоті, тому їй потрібно споживати 80 кг азоту на 1 т насіння [130]. У середньому від 50–60 % до 90 % азоту надходить шляхом біологічної азотфіксації симбіотичними ґрунтовими бактеріями [131]. Атмосферний азот перетворюється на доступну для рослин форму амонію, що впливає на ріст, розвиток і врожайність сої [132]. Щоб отримати високу врожайність насіння сої та забезпечити потреби цієї культури в азоті, біологічну фіксацію азоту необхідно проводити з максимальною ефективністю [133]. Однак *B. japonicum* не зустрічається в ґрунтах Центральної Європи, тому насіння сої інокулюють цими бактеріями перед посівом [134]. Інокуляція сої є звичайною та широко поширеною практикою в Європі, Австралії та Америці, де повідомлялося про багато успіхів і дозволяє покращити продуктивність сої [136].

У Бразилії та Аргентині щорічно інокулюють близько 80 % соєвих полів, тоді як у США лише 15 % [138]. Інокуляція насіння є рентабельною практикою з економічною вигодою. Успіх інокуляції *Rhizobium* залежить насамперед від типу ризобій, умов навколишнього середовища та вирощування культури [135]. Тому прийнято обробляти насіння відповідними бактеріями, тим самим зменшуючи використання мінеральних азотних добрив [137]. Симбіоз здатний задовольнити потреби сої в азоті в діапазоні від 30 % до 60 % [145]. Взаємозв'язок між інокуляцією насіння, метаболізмом азоту, врожайністю та складом насіння є складною проблемою

при вирощуванні сої.

Ефективні також мікродобрива. Обробка насіння мікроелементами дає змогу покращити схожість насіння та енергію проростання, зменшує ураження хворобами і збільшує стресостійкість у подальшому [193]. Внесення рідких комплексних добрив дає можливість рослині швидко розпочати засвоєння всіх елементи в доступній формі для неї, дати змогу швидко стартувати і закласти кращий потенціал майбутнього врожаю [196]. Також важливу роль зіграє листове живлення, яке сприяє збільшенню вмісту білка в насінні сої, покращенню його смакових якостей та збільшенню маси 1000 насінин [194].

1.3 Ріст і розвиток рослин сої залежно від удобрення та інокуляції

Відомо, що показник реалізації генетичного потенціалу сортів сої в Україні становить лише 35 %, тоді як у Канаді та США – 70–73 % [112, 198]. Формування врожаю – це складний процес, який визначається генетичною програмою рослини і зовнішніми умовами [155]. Від забезпеченості рослини залежить індивідуальна продуктивність, що в кінцевому підсумку проявляється зміною основних складових структури урожаю [153]. Кількість бобів на рослині, кількість насіння в кожному бобі, кількість насіння на кожній рослині та маса 1000 насінин формується завдяки системі удобрення [166].

Застосування добрив змінює формування індивідуальної продуктивності рослин сої. Так, у дослідженні [188] внесення $N_{30}P_{60}K_{60}$ сприяло збільшенню кількості насіння від 26,4 у варіанті без добрив до 36,9 шт, маси насіння з рослини – від 3,53 до 4,83 г, а маси 1000 насінин – від 133 до 138 г. При цьому проведення інокуляції сприяло підвищенню елементів структури урожаю. Кількість насінин зростала від 28,9 до 45,5 шт, маси насіння з рослини – від 4,04 до 6,55 г, маса 1000 насінини – від 140 до 144 г.

В інших дослідженнях [92] елементи структури урожаю сої також збільшувались від застосування азотних добрив. Маса насінини з однієї рослини зростала від 4,73 у варіанті $P_{60}K_{60}$ до 7,22 г за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Кількість насіння зростала відповідно від 33,9 до 42,3 г, а маса 1000 насінин – від 147 до 171 г. При цьому за внесення $N_{80}P_{60}K_{60}$ елементи структури урожаю знижувались порівняно з варіантом $N_{60}P_{60}K_{60}$.

У роботі [187] застосування поліпшення умов росту рослин сої зростала кількість насінин з однієї рослини від 23,4 шт у варіанті без обробок до 63,8 шт за обробки препаратами Хі Стік + Хай Кот Супер + Хай Кот Супер Extender + Вуксал Борон + Басфоліар. При цьому маса насінин з рослин збільшувалась від 4,5 до 12,1 г, а маса 1000 насінин – від 159 до 176 г. При цьому зростала висота прикріплення першого бобу на стеблі – від 15,2 до 16,7 см відповідно.

Застосування добрив впливає на висоту рослин сої. Так, встановлено [77], що застосування добрив достовірно підвищує висоту рослин з фази формування бобів. У цей період висота рослин зростала від 57,3 у варіанті $P_{60}K_{60}$ до 65,9 см за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Внесення $N_{80}P_{60}K_{60}$ знижувало її до 59,9 см. У фазу технічної стиглості висота рослин зростала відповідно від 62,4 до 72,0 см. При цьому найбільша доза добрив знижувала висоту рослин до 69,9 см. Необхідно відзначити, що в період формування трійчастого листка та цвітіння внесення добрив достовірно не впливало на висоту рослин.

Проте в дослідженні [184] висота рослин сої реагувала на внесення мікродобрив з фази ВВСН 13 – 14,0–21,2 см залежно від варіанту дослідів. У фазу ВВСН 70 висота рослин сягала 111 см у варіанті без добрив і 127 см за внесення комплексу мікродобрив (Хі Стік + Хай Кот Супер + Хай Кот Супер Extender + Вуксал Борон + Басфоліар).

Важливою складовою агрофітоценозу сої є формування нодуляційного апарату рослин. Встановлено [200], що максимальну кількість бульбочок рослини сої формували у період цвітіння. При цьому їх кількість значно

змінювалась залежно від сорту – 37,3–70,4 шт У період наливу насіння сої цей показник зменшувався до 20,9–30,4 шт Маса бульбочок мала подібну тенденцію.

Проведені дослідження [16] свідчать, що внесення добрив достовірно підвищує кількість бульбочок на кореневій системі сої. Так, у варіанті без добрив їх кількість становила 18,2 шт, а за внесення $N_{45}P_{60}K_{60}$ зростала до 24,5 шт у період наливу насіння. При цьому внесення $N_{30}P_{60}K_{60} + N_{15}$ було ефективнішим, оскільки кількість бульбочок була на рівні 34,5 шт За умови проведення інокуляції кількість бульбочок зростала відповідно від 39,8 шт до 45,3 з одноразовим застосування азотних добрив і до 51,3 шт з роздільним. Необхідно відзначити, що в період фізіологічної стиглості кількість бульбочок була значно меншою порівняно з періодом наливу насіння.

Застосування добрив достовірно підвищувало масу бульбочок сої. Так, цей показник у варіанті без добрив становив 0,61 г, який зростав до 0,92 г за внесення $N_{45}P_{60}K_{60}$ і до 0,97 г у варіанті $N_{30}P_{60}K_{60} + N_{15}$. Проведення інокуляції перед сівбою сприяло збільшенню маси бульбочок удвічі як на ділянках без добрив, так і за внесення добрив [190].

У дослідженні [185] кількість бульбочок максимальною була в період цвітіння рослин сої, які зростали від 12,6 шт у варіанті без обробок до 41,3 шт за обробки посівів препаратами Хі Стік + Хай Кот Супер + Хай Кот Супер Extender + Вуксал Борон + Басфоліар. У період формування бобів їх кількість була вдвічі меншою порівняно з цвітінням.

1.4 Формування врожайності та якості насіння сої

Важливе наукове та стратегічне значення має оптимізація ефективності сортових технологічних прийомів вирощування зернобобових культур, у тому числі сої, та їх впливу на родючість ґрунту, його фізико-хімічний склад

та отримання високих урожаїв із застосуванням мікробіологічних добрив і регуляторів росту, дозволених до використання в безпечних органічних технологіях вирощування [44].

Серед зернобобових культур виняткове місце посідає соя (*Glycine max* (L.) Merr.), що насамперед пояснюється особливістю біохімічного складу її насіння, яке містить 30–45 % білка та 24 % олії [47]. Основним завданням селекції сої на сучасному етапі є створення високоадаптивних сортів, здатних максимізувати потенціал культури в поєднанні з високоякісним насінням і продукцією [55].

Посіви сої здатні накопичувати значну кількість сухої маси. При цьому застосування добрив, особливо, азотних найбільше впливає на проходження цього процесу. Встановлено [91], що величина сухої маси збільшувалась від 7,02 т/га за внесення $P_{60}K_{60}$ до 9,44 т/га за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$. При цьому збільшення дози азотних добрив до 80 кг/га д. р. знижувало цей показник до 9,15 т/га.

У дослідженні [65] роздрібне внесення азотних добрив за рівнем накопичення сухої маси було ефективнішим порівняно з одноразовим. Так, у фазу технічної стиглості насіння посіви сої накопичували 4,97 т/га сухої маси за внесення $N_{45}P_{60}K_{60}$. У варіанті застосування $N_{30}P_{60}K_{60} + N_{15}$ цей показник збільшувався до 5,51 т/га проти 3,81 т/га у варіанті без добрив. При цьому за проведення інокуляції величина накопичення сухої маси становила відповідно 5,71 і 6,51 т/га проти 4,93 т/га на ділянках без добрив.

Отже, соя найкраще реагує на внесення азотних добрив у дозі 30–50 кг/га д. р.

У дослідженні [83] врожайність сої значно змінювалась залежно від сорту. Так, цей показник змінювався від 1,37 до 2,64 т/га. Очевидно, що й реакція сої на удобрення буде залежати від особливостей сорту. Також рівень урожайності в сої змінюється залежно від інокуляції. Так, за проведення інокуляції без застосування мінеральних добрив урожайність збільшувалась

лише на 0,19–0,22 т/га залежно від сорту сої [78]. Отже, застосування інокуляції забезпечує незначне збільшення врожайності, при цьому сортові особливості майже не впливають на реакцію від цього заходу.

Ефективність інокуляції може змінюватись від умов мінерального живлення. Так, встановлено [188], що без застосування добрив приріст урожаю насіння від інокуляції сої становив 0,27 т/га. Внесення $N_{30}P_{60}K_{60}$ сприяло збільшенню врожаю насіння на 0,44 т/га, а за проведення інокуляції – до 0,81 т/га. При цьому збільшення дози азотних добрив до 45 кг/га д. р. забезпечило отримання приросту врожаю лише 0,84 т/га. Необхідно відзначити, що застосування $P_{60}K_{60}$ сприяло отримання лише 0,16 т/га урожаю насіння, а за умови інокуляції – 0,51 т/га.

У дослідженні [75] від застосування $N_{60}P_{60}K_{60}$ урожайність збільшувалась до 4,30 т/га проти 2,81 т/га у варіанті $P_{60}K_{60}$. При цьому цей показник мало змінювався від погодних умов років проведення досліджень. Проте за внесення $N_{40}P_{60}K_{60}$ отримано 4,24 т/га насіння сої. Очевидно, що ефективною дозою азотних добрив є N_{30-40} . Збільшення дози добрив до $N_{80}P_{60}K_{60}$ навпаки знижувало врожайність насіння – 3,92 т/га. Проте недоліком досліджень є відсутність абсолютного контролю, оскільки не можливо встановити реакцію рослин сої на внесення фосфорних і калійних добрив.

Урожайність насіння сої значно змінювалась залежно від агротехнологічних заходів [58]. Так, за вирощування сорту Кордоба врожайність у варіанті без оброблення препаратами становила 2,32 т/га з мінливістю 1,35 т/га залежно від погодних умов року проведення досліджень. За використання препаратів Хі Стік + Хай Кот Супер + Хай Кот Супер Extender + Вуксал Борон + Басфоліар цей показник збільшувався до 3,33 т/га з коливанням за роками 1,35 т/га, що свідчить про те, що агротехнологічні заходи не впливали на стабільність врожайності. За вирощування сорту Саска врожайність збільшувалась від 2,02 т/га зі змінами у межах 1,02 т/га до

2,73 т/га з коливанням 1,12 т/га залежно від погодних умов. Отже, поліпшення умов росту рослин сої не завжди підвищують стабільність формування продуктивності посівів.

Результати [40] показують, що синергетичний ефект внесення азотних добрив у дозі 30 кг/га з інокуляцією насіння інокулянтном, що містить *V. jarrowii*, мав найсильніший вплив на врожайність насіння та його компонентів серед перевірених комбінацій удобрення та інокуляції. Застосування більшої дози мінеральних добрив економічно не виправдано.

Необхідно відзначити, що ефективність інокуляції та застосування добрив також значно змінюється залежно від погодних умов. Так, у сприятливіших умовах приріст урожаю насіння від проведення інокуляції може сягати 0,46 т/га, а в менш сприятливіших – лише 0,26 т/га [126]. У дослідженнях [84] встановлено, що різниця в ефективності інокуляції може становити 0,13–0,54 т/га залежно від погодних умов вегетаційного періоду сої. При цьому застосування добрив дещо знижує негативний вплив погодних умов.

В умовах сучасного землеробства, де на перший план виходить питання підвищення якості продукції та ефективного використання ресурсів, соя (*Glycine max* L.) є бажаним об'єктом дослідження [176]. Проблема підвищення якості врожаю сої, особливо вмісту олії, є ключовою для сучасного сільського господарства. Соя – це високобілкова та високоолійна культура, що має попит у харчовій промисловості, тваринництві та промислових галузях [88].

Вміст олії в насінні сої є важливим показником якості, який визначає її конкурентоспроможність і рентабельність [144]. Агровиробники зацікавлені в розробці ефективних технологій, які дозволять досягти високого рівня олійності без значного збільшення витрат на виробництво [99]. Зміни клімату в вигляді коливань температур, тривалих посушливих періодів та інших факторів можуть знижувати ефективність традиційних агротехнологій [178].

Це вимагає адаптації технологічних прийомів до нових умов для збереження якісних показників насіння, зокрема олійності [143].

Застосування добрив, особливо, з азотною складовою достовірно збільшує вміст білка та жиру в насінні сої. Так, вміст білка в насінні зростав від 35,9 % у варіанті $P_{60}K_{60}$ до 38,5 % за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Необхідно відзначити, що збільшення дози добрив до $N_{80}P_{60}K_{60}$ не впливало на формування цього показника в насінні сої. За внесення $N_{40}P_{60}K_{60}$ вміст білка становив 37,6 %. При цьому вміст жиру зростав від 21,5 до 22,0 %. Проте за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ знижувався до 21,2 % [191].

Дослідження [65] свідчать про вищу ефективність роздрібного застосування азотних добрив порівняно з одноразовим. Цей показник у варіанті без добрив зростав від 38,5 % до 40,0 % за внесення $N_{45}P_{60}K_{60}$. Сценарій $N_{30}P_{60}K_{60} + N_{15}$ забезпечував отримання насіння з вмістом білка на рівні 40,5 %. При цьому за збором білка ці варіанти були майже на однаковому рівні ефективності – 0,99 і 1,03 т/га. Вміст жиру при цьому знижувався від 21,0 до 19,9 % за внесення добрив. Варіанти мало відрізнялись за виходом жиру з урожаю насіння. Очевидно, що це зумовлено нижчою реакцією сої на внесення добрив.

У дослідженні [183] сортові особливості майже не впливали на формування вмісту білка та жиру в насінні сої. За умови вирощування сорту Кордоба вміст білка на ділянках без обробок був у межах 37,8–38,8 % залежно від року дослідження. За умови застосування препаратів Хі Стік + Хай Кот Супер + Хай Кот Супер Extender + Вуксал Борон + Басфоліар вміст білка зростав до 39,4–39,8 % залежно від погодних умов року проведення досліджень. За вирощування сорту сої Саска вміст білка у варіанті без обробок цей показник змінювався від 37,3 до 38,3 % залежно від року дослідження. Проведення обробки препаратами Хі Стік + Хай Кот Супер + Хай Кот Супер Extender + Вуксал Борон + Басфоліар вміст білка був у межах 39,4–39,9 %. При цьому формування вмісту білка в насіння сої було

стабільним за роки проведення досліджень.

Збір білка змінювався в дуже великому діапазоні залежно від року дослідження. Так, за умови відсутності обробок інокулянтами і мікродобривами він був у межах 0,503–1,455 т/га. Застосування препаратів Хі Стік + Хай Кот Супер + Хай Кот Супер Extender + Вуксал Борон + Басфоліар збільшувало збір білка, який становив 0,762–1,780 т/га залежно від погодних умов року дослідження [185]. Очевидно такі зміни зумовлено різною врожайністю насіння сої, на яку впливали різні погодні умови.

Необхідно відзначити, що в дослідженнях [184] поряд зі збільшенням вмісту білка зростав вміст жиру в насінні сої. Так, за умови вирощування сорту Кордоба вміст жиру у варіанті без обробок змінювався від 18,3 до 18,7 % залежно від року проведення досліджень. Застосування препаратів Хі Стік + Хай Кот Супер + Хай Кот Супер Extender + Вуксал Борон + Басфоліар сприяло зростанню цього показника до 19,8–20,0 % залежно від року дослідження. За вирощування сорту Саска вміст жиру зростав відповідно від 21,9–22,2 % до 23,6–23,8 % залежно від року проведення досліджень.

Збір жиру змінювався в широкому діапазоні – від 0,175–0,765 т/га у контрольному варіанті до 0,408–0,897 т/га за обробки посівів сої препаратами Хі Стік + Хай Кот Супер + Хай Кот Супер Extender + Вуксал Борон + Басфоліар у сорту Кордоба. За вирощування сорту Саска цей показник збільшувався відповідно від 0,184–0,718 до 0,276–0,883 т/га залежно від погодних умов року проведення досліджень [58].

Необхідно відзначити на селекційно-генетичних особливостях формування продуктивності сої. Доведено, що ця культура має складний геном, оскільки численні неополіплоїдні видоутворення накладаються на палеополіплоїдний геном. Враховуючи важливість сої, її геном секвенували за допомогою підходу до цілого генома та зібрали фізичні та високощільні генетичні карти. Було продемонстровано, що більша частина послідовності генома була зібрана в 20 хромосом і було визначено 46 430 генів, що кодують

білок [42].

Протеоміка була продемонстрована як ефективний підхід до вивчення механізмів, пов'язаних із ростом рослин і реакцією на стрес бобових. Протеоміка була проведена, щоб з'ясувати механізми реакції на абіотичний стрес у сої. З удосконаленням протеомних методів були розроблені посттрансляційні модифікації, такі як фосфорилування, глікозилування та убіквітування [19]. Ці висновки демонструють важливість протеоміки та значні досягнення у сфері росту сої та реакції на стрес. Це доводить різну реакцію рослин на ґрунтово-кліматичні умови, а також харчову цінність сої.

Технологічний прогрес у поєднанні з більшими інвестиціями в управління посівами сої призвели до значного підвищення продуктивності сільськогосподарських культур за останні десятиліття [186]. Однак це збільшення врожайності насіння сої (понад 3,0 т/га) не призвело до підвищення вмісту білка [189]. Вміст білка в насінні сої може змінюватися залежно від ґрунтово-кліматичних умов, генетичних характеристик сорту та виникнення стресу від посухи [192]. Доведено, що внесення азотних добрив під сою сприяє зростанню білка в насінні. Це пояснюється тим, що азот відповідає за кілька метаболічних процесів і реакцій в рослинах, а також є структурним компонентом молекул хлорофілу, ферментів і білків [195].

Повідомляється, що застосування азотних добрив не має позитивного впливу на формування врожайності насіння сої [197]. В інших дослідженнях доведено, що азотні добрива є важливою складовою агротехнології сої [201]. Ці суперечливі результати реакції сої на внесення азотних добрив зазвичай пояснюються ефективністю симбіотичного процесу, різними сортами, строком сівби і кліматичними факторами [204]. У Бразилії за останні роки зросла кількість ранніх сортів сої з високим потенціалом урожайності насіння та невизначеним ростом. Використання цих ранніх сортів дозволяє фермерам вирощувати два врожаї за сільськогосподарський рік (тобто сою/кукурудзу або сою/бавовну). Проте ці ранні високоврожайні сорти

мають вищу потребу в азоті. Тому особливу увагу необхідно приділяти правильному управлінню живленням рослин азотом [179].

Результати проведеного огляду літератури свідчить про недостатній рівень дослідження ефективності застосування добрив із інокулянтами у сучасних погодних умовах. Крім цього, проведенню інокуляції відводиться перебільшено велике значення, оскільки величина приросту врожаю насіння набагато нижча порівняно з внесенням добрив.

Рекомендації щодо застосування інокуляції повинні бути пов'язані з регіональними ґрунтовими умовами. Результати проведеного огляду літератури свідчить, що необхідно внести певну кількість стартового азотного добрива в поєднанні з інокуляцією насіння, щоб задовольнити вимоги рослин для правильного розвитку та отримання врожаю. При внесенні азотних добрив дози слід вибирати екологічно та економічно вигідно.

У цілому нині на ринку України представлено широкий спектр інокулянтів, особливо для сої як вітчизняного, так й іноземного виробництва. Вони випускаються у твердій та рідкій формах. Інокуляція насіння сої, навіть, при регулярному чергуванні культур та застосуванні мінеральних добрив дає прибавку урожаю до 10 %. Це дає можливість формувати стабільний та екологічно безпечний врожай.

У поширених нині короткоротаційних польових сівозмінах зі значним насиченням зерновими культурами вплив систем удобрення з різними дозами і поєднаннями елементів живлення на врожай та якість насіння сої вивчений недостатньо. Серед чинників, які визначають рівень продуктивності сої важливе місце займає оптимальне забезпечення рослин елементами мінерального живлення. Це потребує вивчення їх сумісної дії, а також впливу кожного елемента окремо на врожайність і якість насіння та підвищення їх стабільності в умовах Правобережного Лісостепу. Всі ці питання вимагають подальшого розширення та поглиблення комплексних досліджень, особливо

в стаціонарних агрохімічних дослідках.

Отже, одним з ефективних заходів підвищення врожайності сої є використання активних штамів бульбочкових бактерій. За вдалого підбору, у відповідності до раси бульбочкових бактерій, можна досягти максимальної фіксації атмосферного азоту. Поєднання активності штамів бульбочкових бактерій і генотипу сорту зі сприятливими умовами їх життєдіяльності досягається високий рівень інтенсивності біологічної фіксації азоту повітря та продуктивності фотосинтезу рослин. Тому важливого значення набуває, з одного боку, селекція рослин на симбіотичну активність, з іншого – створення активних рас (штамів) бульбочкових бактерій для певних сортів.

Результати, подані в розділі, опубліковано в праці [97, 148].

РОЗДІЛ 2

УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Ґрунтово-кліматичні та погодні умови

Експериментальну частину досліджень проведено в умовах Правобережного Лісостепу України у стаціонарному польовому досліді з географічними координатами за Гринвічем $48^{\circ} 46'$ північної широти і $30^{\circ} 14'$ східної довготи, закладеному у 2010 році на дослідному полі Уманського національного університету садівництва.

За даними метеостанції Умань середньорічна кількість опадів становить 586 мм, але в окремі роки бувають значні відхилення від цієї величини. Клімат регіон характеризується недостатнім зволоженням. Під час вегетації спостерігаються бездощові періоди. Інколи 2–3, а в окремі періоди 3–5 років у десятиліття посушливі. Розподіл опадів за періодами вегетації та інтенсивністю також нерівномірний.

За тепловим режимом клімат регіону помірно-середньо-континентальний, гідротермічний коефіцієнт – 1,1–1,2, сума активних температур становить 2400°C на півночі та 3200°C на півдні провінції. Період з середньодобовою температурою вище $(+10)^{\circ}\text{C}$ триває 140–160 діб, понад $(+5)^{\circ}\text{C}$ – до 230 діб.

Всі пори року у Правобережному Лісостепу виражені чітко. Літо настає за переходу середньодобової температури повітря через $(+15)^{\circ}\text{C}$ і характеризується високими й стійкими температурами, триває до середини вересня. Середня температура літнього періоду $(+19)^{\circ}\text{C}$, з можливими відхиленнями в окремі роки – до $(+17)$ та $(+22)^{\circ}\text{C}$. Тепла та порівняно волога погода влітку позитивно впливає на проходження вегетації культур помірного поясу. Проте в окремі роки може спостерігатися літня посуха, яку спричиняє тривала нестача в надходженні вологи з опадами та висока температура повітря, що призводить до значних втрат ґрунтових запасів

вологи. Ці явища сприяють посиленню природного процесу ущільнення, а тому досить часто, починаючи з середини вегетаційного періоду, ґрунт набуває високої злитості, масивної бриластої структури, характеризується високою щільністю та твердістю верхніх його шарів. У літній період можуть також спостерігатися часті та інтенсивні зливові дощі.

В зоні Лісостепу стійкий перехід середньодобової температури нижче $(+5)^\circ\text{C}$ і припинення біологічної вегетації настає 6 листопада, на весні відновлення вегетації та стійкий перехід середньодобової температури через $(+5)^\circ\text{C}$ настає 29 березня [171].

Настання осіннього періоду характеризується пониженням температури повітря, але осінь зазвичай тепла, сонячна. Іноді вона може бути тривалою. Перехід температури повітря нижче $(+10)^\circ\text{C}$ зазвичай настає з середини жовтня. У кінці жовтня встановлюється похмура та дощова погода. Пізня осінь характеризується мінливою температурою з періодичним випаданням дощу та снігу, які сприяють накопиченню вологи у ґрунті.

Зима зазвичай починається в другій половині листопада (дата стійкого переходу середньодобової температури повітря через $(0)^\circ\text{C}$), а закінчується в першій половині березня. Характеризується переважно теплою і хмарною погодою з частими відлигами. Зимовий період середньому триває 104–117 діб. В окремі роки тривалість його змінюється від 62–80 до 118–147 діб. У найхолодніший її період середня температура повітря може знижуватися до рівня $(-5)\dots(-7)^\circ\text{C}$. Зима нестійка, з частими відлигами, під час яких нерідко розтає сніг, а потім за від'ємних температур повітря утворюється льодова кірка. Під час відлиги температура може підніматися до позначки $(+10) - (12)^\circ\text{C}$, що зумовлює розмерзання ґрунту та поглинання ним частини талої води. За зимовий період випадає 110–140 мм опадів, що становить 15–25 % від їх річної кількості. Стійкий сніговий покрив зазвичай утворюється в другій декаді грудня. Сама рання поява снігового покриву відмічається у третій декаді вересня, а найбільш пізня – у третій декаді грудня. Середня його висота – 15–25 см, але з року в рік змінюється. В окремі роки вона може

сягати 30–40 см, в інші – ледве прикриває землю – до 5 см. Середня глибина промерзання ґрунту на полях 58 см, та в окремі роки сягає 100 см.

Весна починається з переходом середньої добової температури повітря через 0 °С в бік підвищення, що відбувається в другій декаді березня. Сама рання дата такого переходу 28 лютого, а сама пізня – перша декада квітня. Закінчується весняний період зазвичай на початку третьої декади травня. Тривалість весняного періоду становить 55–65 діб з середньою температурою повітря 9–10 °С і кількістю опадів 80–95 мм або 20–25 %-річної величини [164].

Погодні умови були різними за роки проведення досліджень. Так, сприятливішим для росту та розвитку рослин сої був 2023 р., менш сприятливішим був 2022 р., а 2024 р. був не сприятливим (табл. 2.1). Так, у 2022 р. за травень – липень випало 87 мм, у 2024 – 116, а в 2023 р. – 151 мм опадів. При цьому за осінньо-зимовий період випало відповідно 222 мм, 341 і 300 мм опадів. Крім цього, в 2022 і 2024 рр. негативно впливала підвищена температура повітря в період формування і наливу насіння сої, що впливало на отримання різної врожайності насіння.

Таблиця 2.1

Погодні умови у роки проведення досліджень (за даними метеостанції Умань)

Рік	Всього за рік/ середн є за рік	Місяць											
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сума опадів, мм													
Середньобагаторічна	586	43	43	40	38	34	36	41	52	81	68	49	61
2021/2022	452	7,0	21,2	91,2	23,9	7,2	13,4	57,7	22,4	36,3	28,1	44,4	99,2
2022/2023	470	31,2	41,0	44,6	6,0	20,5	27,2	129,6	42,4	15,8	92,5	12,4	7,2
2023/2024	505	33,5	62,3	55,0	29,8	14,9	89,5	56,2	41,8	56,5	17,9	17,7	12,1
Середня температура повітря, °С													
Середньобагаторічна	8,8	8,3	2,8	-1,8	-3,4	-2,3	2,5	9,7	15,4	19,0	20,9	20,1	14,5
2021/2022	10,5	19,8	4,7	-1,0	-1,3	1,8	2,0	8,6	14,5	20,5	21,0	21,8	13,1
2022/2023	11,3	9,3	8,2	3,1	0,2	-0,2	5,1	8,8	15,4	19,6	21,3	22,9	21,4
2023/2024	10,8	11,7	4,6	-1,8	-1,6	4,2	4,5	13,0	15,3	21,2	24,3	23,1	19,7
Відносна вологість повітря, %													
Середньобагаторічна	78	81	87	88	85	84	81	70	67	72	73	73	75
2021/2022	73	70	85	88	80	76	67	68	59	64	63	71	79
2022/2023	73	75	77	86	89	81	72	80	56	64	68	65	62
2023/2024	73	73	82	86	84	80	76	67	57	69	60	56	56

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі, що сформувався на лесі (за класифікацією FAO/WRB, 2022 – Phaeosems). За своїми генетичними властивостями він займає проміжне місце між чорноземом типовим і темно-сірим опідзоленим ґрунтом. Тому, одержані в польових дослідках на чорноземі опідзоленому дані можуть бути поширені й на ці підтипи чорноземних ґрунтів.

Вміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см перед закладанням стаціонарного дослідку в 2010 році був підвищений (3,8 %), реакція ґрунтового розчину – дуже слабкокисло ($\text{pH}_{\text{ксі}}$ 5,8), гідролітична кислотність 2,8 смоль/кг, сума ввібраних основ 24,8 смоль/кг, ємність катіонного обміну 27,6 смоль/кг, ступінь насиченості основами 89,9 %, вміст азоту легкогідролізованих сполук – низький (105 мг/кг), рухомих сполук фосфору і калію – підвищений (відповідно 106 і 132 мг/кг). Ґрунт характеризується середнім вмістом кальцію, магнію, низьким вмістом рухомих сполук мангану, цинку та міді, середнім вмістом кобальту

Отже, чорнозем опідзолений дослідку має сприятливі агрохімічні та фізико-хімічні властивості і є придатним для вирощування зернових культур за умови достатнього вологозабезпечення, мінерального живлення рослин, температурного режиму та інших чинників. За належної агротехнології він здатний забезпечити отримання високих і сталих урожаїв сільськогосподарських культур.

2.2 Методика проведення досліджень

Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя). Повторення дослідку триразове. Площа облікової ділянки 25 м².

У варіанті дослідів виробничого контролю ($N_{150}P_{60}K_{80}$) доза добрив розрахована за господарським винесенням основних елементів живлення культурами сівозміни. Схему дослідів складено так, щоб за результатами проведених досліджень можна було визначити можливість зниження доз окремих видів мінеральних добрив і визначити оптимальне їх поєднання як у сівозміні, так і під окремі культури.

Схема застосування добрив у польовій сівозміні включала такі варіанти (насиченість добривами 1 га площі сівозміни): без добрив (контроль), N_{75} , N_{150} , $P_{60}K_{80}$, $N_{150}K_{80}$, $N_{150}P_{60}$, $N_{75}P_{30}K_{40}$, $N_{150}P_{60}K_{80}$, $N_{150}P_{30}K_{40}$, $N_{150}P_{60}K_{40}$, $N_{150}P_{30}K_{80}$. Відповідно до схеми дослідів фосфорні та калійні добрива вносяться під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивування та в підживлення. Нетоварна частина врожаю культур сівозміни (солома, стебелиння) залишається на полі на добриво. Вирощували сою сорту Асука. Для інокуляції використовували ризоактив.

Опис сорту Асука. Середньоранній сорт. Період вегетації 110–115 діб. Стійкість до вилягання – висока. Стійкість до розстріскування бобів – висока. Стабільність/пластичність – висока. Сила стартового росту – висока. Вміст білка – високий. Рекомендована зона для вирощування: Лісостеп, Полісся. Напрямок використання: зерновий. Якість: середньоолійний. Оригігатор – Семенсес Прогрейн ІНК.

Опис препаратів ризоактив. Містить бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum* еко/001, *Bradyrhizobium japonicum* еко/002, *Bradyrhizobium japonicum* еко/003 кількістю $1 \cdot 10^{10}$ КУО/мл. Підвищує продуктивність завдяки покращенню азотного живлення рослин сої шляхом ефективного здійснення процесу біологічної фіксації азоту. Норми витрат на 1 т насіння: 2 л. Дозволяється обробляти насіння за 30 діб до сівби. Характеризується підвищеним хемотаксисом до корневих ексудатів широкого спектру сучасних сортів сої, що важливо на початку симбіозу, синтезом екзополісахаридів для надійної взаємодії з коренями рослин,

конкурентоздатністю та вірулентністю, високою нітрогеназною активністю, синергічними ефектами один з одним, гарантуючи стабільну та ефективну дію препарату.

Показники росту, індивідуальну продуктивність рослин і нодуляційний апарат сої визначали відповідно до методики [116].

Урожайність насіння визначали методом прямого комбайнування з кожної ділянки окремо. Показники якості насіння визначали методом інфрачервоної спектроскопії за ДСТУ 4117:2007.

У рослинних зразках визначали:

- вміст сухої речовини – гравіметричним методом;
- вмісту загальних форм азоту, фосфору, калію методом мокрого озолення за МВВ 31-497058-019-2005.

Господарське винесення розраховували за показниками урожайності та вмісту елементів живлення в продукції. Для спрощення розрахунків балансу елементів живлення скоротили кількість статей як у частині надходження, так і їх вилучення. Так, кількість азоту, яка надходить у ґрунт з атмосфери опадами, насінням і фіксується вільноіснуючими мікроорганізмами прирівнювали до його сумарних витрат від вимивання, ерозії і звітрювання. Сумарну кількість фосфору й калію, що надходять з атмосфери та з насінням прирівняли до втрат від ерозії і вимивання. Тому, в кінцевому результаті, до прибуткової частини балансу увійшло лише внесення елементів живлення з мінеральними добривами [80].

Коефіцієнти використання основних елементів живлення з мінеральних добрив розраховували різницеvim методом [80].

Економічну та енергетичну ефективність застосування добрив розраховували за загальноприйнятими методиками, з урахуванням витрат за технологічними картами та реалізаційних цін IV кварталу 2024 р.

Математичну обробку даних здійснювали методом дисперсійного аналізу двофакторного польового досліду, використовуючи пакет

стандартних програм Microsoft Excel 2022.

Для якісного оцінювання тісноти зв'язку між досліджуваними чинниками використовували коефіцієнт кореляції за шкалою R. E. Chaddock: 0,1–0,3 – незначний; 0,3–0,5 – помірний; 0,5–0,7 – істотний; 0,7–0,9 – високий; 0,9–0,99 – дуже високий; 1 – функціональний.

РОЗДІЛ 3

РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ

3.1 Висота рослин

Соя є важливою зернобобовою культурою через широкий спектр застосування в різних галузях народного господарства [1]. Завдяки біохімічному складу насіння воно має особливе значення в харчовій промисловості та є передумовою для вирішення проблеми дефіциту білка та жирів, що є актуальним у зв'язку із зростанням населення світу. Тому найважливішою метою вирощування сої, як і інших культур, є отримання високих урожаїв високоякісного насіння [24].

Важливою передумовою реалізації генетичного потенціалу сої є забезпечення її поживними речовинами, оскільки соя досить вибаглива до поживних речовин. Тому для регулювання живлення сої широко застосовуються мінеральні добрива та препарати для позакореневого підживлення, які завдяки ефективності та простоті використання останніми роками набули популярності на ринку [93, 7].

На основі проведених досліджень [11] в умовах Лівобережного Лісостепу України встановлено, що внесення мінеральних добрив у поєднанні з позакореневим підживленням сої в період вегетації позитивно впливає на індивідуальну продуктивність і врожайність насіння. Зокрема, приріст кількості насіння на рослині сої залежно від норм мінеральних добрив був у середньому порівняно з контролем у сорту Кіото на 28,9–31,7 %, Лісабон – 29,7–31,4 %, Діадема Поділля – 29,7–33,4 %. Маса насіння з рослини сої збільшилася порівняно з контролем за нормами добрив у сорту Лісабон на 30,1–32,3 %, Кіото – 32,1–33,7 %, Діадема Поділля – 30,8–34,7 %. При цьому внесення мінеральних добрив забезпечувало прибавку врожаю на

0,9–1,0 т/га або 29,7–31,2 %. Так, серед досліджуваних варіантів найбільшу кількість насіння сформовано при вирощуванні сорту Кіото на фоні мінеральних добрив $N_{30}P_{60}K_{90}$. Найбільшу масу насіння з рослини (8,10 г) та врожайність (3,45 т/га) мав сорт Лісабон на фоні мінеральних добрив $N_{30}P_{60}K_{90}$. Отже, індивідуальна продуктивність не завжди співпадає з високою врожайністю насіння сої. Подібні результати отримано в дослідженнях [96].

За результатами досліджень [17] встановлено, що найсприятливіші умови для формування оптимальних параметрів індивідуальної продуктивності рослин ранньостиглого сорту сої Вільшанка та середньостиглого Сузір'я створено за рахунок інокуляції насіння фосфонітрагіном і мінерального підживлення в дозі $N_{30}P_{60}K_{60} + N_{15}$ у фазу бутонізації, що позитивно вплинуло на рівень урожайності в цілому. При цьому модель технології інтенсивного вирощування сої сортів Вільшанка та Сузір'я, яка передбачала використання інокуляції насіння бактеріальним препаратом на основі штамів бульбочкових бактерій (*Bradyrhizobium japonicum* Kirchner & Jordan) та фосфатмобілізуєчих мікроорганізмів (*Bradyrhizobium mucilaginosis*) з внесенням $N_{30}P_{60}K_{60}$ в основне живлення й додаткове підживлення N_{15} забезпечили найвищі показники індивідуальної продуктивності. Кількість бобів становила в сорту Вільшанка 24,7 шт/рослину та 28,8 шт/рослину в сорту Сузір'я. Кількість насінин становила відповідно 51,0 і 56,1 шт/рослину, маса 1000 насінин – 147,2 і 144,6 г, урожайність – 2,91 і 3,17 т/га. Удосконалення технології вирощування сортів сої Вільшанка та Сузір'я на основі бактеріального й мінерального живлення призвело до найвищого рівня рентабельності відповідно 124 і 160 %, а коефіцієнтів енергетичної ефективності – 2,20 і 2,40. Про високу ефективність застосування невисоких доз азотних добрив свідчать дослідження інших вчених [20, 33].

Мінливість погодних умов і висока вартість мінеральних добрив зумовлюють пошук альтернативних підходів до оптимізації існуючих та

розроблення нових технологічних прийомів вирощування сільськогосподарських культур [139]. На основі проведених спостережень і обліків [111] встановлено, що в умовах Правобережного Лісостепу на сірих лісових ґрунтах препарати біологічного походження безпосередньо впливали як на динаміку висоти рослин, так і на середньодобову динаміку росту рослин. Максимальна висота рослин у досліді $78,3 \pm 7,4$ см була в фазу фізіологічної стиглості за передпосівної обробки насіння препаратом Біокомплекс БТУ, що на 13,3 см або на 20,4 % більше порівняно з контролем. Іншим важливим показником, що характеризує особливості та темпи росту і розвитку рослин сої протягом вегетації, є середньодобові лінійні прирости стебла. Найвищий середньодобовий лінійний приріст рослин сої – 0,65 – 0,66 см/добу, зафіксовано на варіантах досліді, де насіння сої інокулювали біоінокулянтом БТУ та Андеріз у поєднанні з позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом Хелпрост соя. Після проведення кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що між показниками висоти рослин і кількістю опадів за вегетаційний період рослин сої існує сильний прямий зв'язок, при цьому $r = 0,805$. Значний вплив інокуляції на формування індивідуальної продуктивності встановлено в працях [37, 142]. Проте в дослідженнях зовсім не вивчено питання впливу різного повернення фосфорних і калійних добрив, а також їх поєднання.

Висоти рослин сої змінювалась залежно від інокуляції та удобрення і року дослідження (табл. 3.1). Достовірно вищі показники висоти рослин сої у різні фази росту рослин отримали в 2022 та 2023 рр. порівняно з 2024 р. Висота рослин сої в 2022 році була істотно вищою за інші роки досліджень.

Варіанти з удобренням у 2022 році були достовірно вищі порівняно з варіантом контроль, де висота рослин сої у фазу росту рослин ВВСН 61 вища на 20 %, ВВСН 71 – на 10 %, ВВСН 90 на 16 %, у фазу росту ВВСН 11 показники рослин були майже однакові в усіх варіантах досліді.

Таблиця 3.1

Динаміка висоти рослин сої залежно від інокуляції та удобрення, см

Варіант досліджу	Фаза росту рослин			
	ВВСН 11	ВВСН 61	ВВСН 71	ВВСН 90
2022 р.				
Без добрив (контроль)	12	29	78	81
N ₃₀	12	32	84	91
N ₆₀	12	35	85	93
P ₆₀ K ₆₀	11	30	80	82
N ₆₀ K ₆₀	12	35	86	94
N ₆₀ P ₆₀	11	36	85	94
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	12	33	87	92
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12	37	88	94
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	11	36	88	93
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	11	35	87	94
HIP ₀₅	1	2	4	5
2023 р.				
Без добрив (контроль)	13	24	67	76
N ₃₀	13	25	70	80
N ₆₀	14	25	71	83
P ₆₀ K ₆₀	13	24	69	77
N ₆₀ K ₆₀	14	25	69	83
N ₆₀ P ₆₀	14	25	70	84
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13	25	71	81
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14	25	71	84
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	14	26	71	84
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	13	25	72	83
HIP ₀₅	1	2	3	4
2024 р.				
Без добрив (контроль)	11	24	53	63
N ₃₀	11	27	54	66
N ₆₀	12	29	55	66
P ₆₀ K ₆₀	11	24	53	64
N ₆₀ K ₆₀	12	30	55	66
N ₆₀ P ₆₀	12	30	55	66
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	12	30	55	66
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	11	31	56	67
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	12	30	55	66
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	11	30	56	67
HIP ₀₅	1	2	3	3

Тенденція 2022 року збереглась щодо збільшення висоти рослин у варіантах з удобренням порівняно з варіантом контроль у 2023 і 2024 рр.

У 2022 році азотне удобрення N_{30} і N_{60} істотно вплинуло на висоту рослин сої у фазу BBCH 61, BBCH 71 та BBCH 90 крім фази BBCH 11.

Істотної різниці не відмічено при застосуванні добрив фосфорно-калійних $P_{60}K_{60}$.

Варіанти з внесенням азотно-калійних добрив і варіантами з повним мінеральним удобренням найкраще вплинули на збільшення висоти рослин сої у всі роки досліджень.

3.2 Нодуляційний апарат

Позитивний вплив удобрення без інокуляції на істотне збільшення формування кількості бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості отримали у всіх варіантах удобрення порівняно з контролем, крім варіанта з удобренням $P_{60}K_{60}$ (табл. 3.2). Найвища кількість бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості була отримана у варіантах удобрення $N_{60}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{60}$ (41,4–41,5 шт/рослину). Показники формування кількості бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості у варіанті $P_{60}K_{60}$ були не достовірні порівняно з варіантом контроль у всі роки досліджень.

На тлі з інокуляцією формування кількості бульбочок на кореневій системі сої в фазу повної стиглості було істотно більшим за варіант на тлі без інокуляції, у варіанті контроль різниця 13,8 шт/рослину, а в варіантах з удобренням 18,1–18,5 шт/рослину.

На тлі з інокуляцією удобрення достовірно впливало на збільшення кількості бульбочок порівняно з контролем у всі роки досліджень.

Аналогічно дослідженням на тлі без інокуляції формування кількості бульбочок у варіанті $P_{60}K_{60}$ були не достовірні порівняно з варіантом контроль у всі роки досліджень.

Отже, найбільшу кількість бульбочок отримали на тлі з інокуляцією у

варіанті удобрення $N_{60}P_{30}K_{30}$ відповідно 60,0 шт/рослину, що достовірно більше за всі варіанти досліджень.

Таблиця 3.2

Формування кількості бульбочок на кореневій системі сої залежно від інокуляції та удобрення в фазу повної стиглості, шт/рослину

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник А)					
Без добрив (контроль)		28,7	27,1	22,3	26,0
N ₃₀		36,4	35,7	31,4	34,5
N ₆₀		41,6	40,6	36,8	39,7
P ₆₀ K ₆₀		29,4	27,9	23,0	26,8
N ₆₀ K ₆₀		42,1	41,1	38,2	40,5
N ₆₀ P ₆₀		42,0	41,2	38,0	40,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		38,7	37,9	33,4	36,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		43,4	42,1	38,5	41,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		43,5	41,8	39,1	41,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		43,3	41,7	38,7	41,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		43,6	41,9	38,6	41,4
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		44,3	39,7	35,4	39,8
N ₃₀		56,2	51,2	42,3	49,9
N ₆₀		63,1	61,4	51,7	58,7
P ₆₀ K ₆₀		45,2	40,2	36,1	40,5
N ₆₀ K ₆₀		63,5	61,8	52,1	59,1
N ₆₀ P ₆₀		63,2	62,1	52,0	59,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		58,6	52,3	44,1	51,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		63,8	62,3	53,4	59,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		64,0	62,1	53,8	60,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		63,7	62,0	53,1	59,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		63,5	61,9	53,0	59,5
HIP ₀₅	A	1,3	1,1	1,1	—
	B	1,4	1,2	1,3	—

У фазу повної стиглості (табл. 3.3) отримано достовірний вплив удобрення на збільшення формування маси бульбочок на кореневій системі сої на тлі без інокуляції у всі роки досліджень. Найвищі показники маси бульбочок отримали у 2022 р. порівняно з 2023 і 2024 р.

Таблиця 3.3

Формування маси бульбочок на кореневій системі сої залежно від інокуляції та удобрення в фазу повної стиглості, г/рослину

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник А)					
Без добрив (контроль)		0,7	0,6	0,5	0,6
N ₃₀		0,9	0,7	0,6	0,7
N ₆₀		1,2	1,0	0,8	1,0
P ₆₀ K ₆₀		0,7	1,0	0,5	0,7
N ₆₀ K ₆₀		1,2	1,0	0,8	1,0
N ₆₀ P ₆₀		1,2	0,6	0,8	0,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		0,9	0,8	0,7	0,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,3	1,1	0,9	1,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,3	1,1	0,9	1,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,3	1,1	0,9	1,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,3	1,1	0,9	1,1
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		1,0	0,9	0,8	0,9
N ₃₀		1,3	1,2	1,1	1,2
N ₆₀		1,5	1,3	1,2	1,3
P ₆₀ K ₆₀		1,0	0,9	0,9	0,9
N ₆₀ K ₆₀		1,5	1,2	1,2	1,3
N ₆₀ P ₆₀		1,6	1,3	1,2	1,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		1,4	1,4	1,2	1,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,6	1,4	1,3	1,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,6	1,4	1,3	1,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,6	1,4	1,3	1,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,6	1,4	1,3	1,4
HIP ₀₅	A	0,1	0,1	0,1	—
	B	0,1	0,1	0,1	—

Азотні, фосфорно-калійні та азотно-калійні системи удобрення, в

середньому за три роки, збільшували масу бульбочок порівняно з контролем на 0,1–0,4 г/рослину. Повне мінеральне удобрення забезпечено найбільшу кількість бульбочок порівняно з іншими варіантами удобрення (1,1 г/рослину).

Застосування інокуляції достовірно збільшило формування маси бульбочок на кореневій системі сої в фазу повної стиглості порівняно без застосування інокуляції. У варіанті без добрив (контроль) в середньому за три роки різниця 0,3 г/рослину.

На тлі інокуляції застосування удобрення збільшувало масу бульбочок на кореневій системі сої в середньому за три роки на 0,3–0,5 г/рослину порівняно з контролем. У варіанті з застосуванням фосфорно-калійного добрива істотної різниці з контролем не було (0,9 г/рослину). Найвищу масу бульбочок на кореневій системі сої одержали при застосуванні азотно-фосфорного добрива $N_{60}P_{60}$ і повного мінерального удобрення (1,4 г/рослину), що було достовірно вищим за інші варіанти досліджень.

3.3 Формування елементів структури урожаю

Застосування добрив достовірно збільшувало масу однієї рослини сої (табл. 3.4). Так, у середньому за три роки досліджень цей показник збільшувався від 10,0 до 11,6–12,8 г або на 16–28 % за азотних систем удобрення. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ маса однієї рослини збільшувалась до 12,3 г і до 13,8 г або на 6–8 % порівняно з азотними системами, що свідчить про великий вплив азоту на формування індивідуальної продуктивності рослин сої.

Застосування азотно-калійної, азотно-фосфорної та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижували маси однієї рослини сої. Необхідно відзначити, що найменше на цей показник впливало застосування фосфорно-калійної системи удобрення. За такого сценарію удобрення маса однієї рослини збільшувалась лише до 10,6 г.

Маса однієї рослини сої значно змінювалась залежно від погодних умов років досліджень. Так, у сприятливіших 2022–2023 рр. маса однієї рослини змінювалась від 10,3 до 21,8 г залежно варіанту досліджу. У менш сприятливому 2024 р. цей показник був у межах 4,7–5,9 г або менше в 2,2–3,7 рази порівняно з сприятливішими роками.

Таблиця 3.4

**Формування маси однієї рослини сої залежно від інокуляції та
удобрення в фазу повної стиглості, г**

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник А)					
Без добрив (контроль)		10,3	14,8	4,7	10,0
N ₃₀		14,6	15,2	4,9	11,6
N ₆₀		15,6	17,4	5,5	12,8
P ₆₀ K ₆₀		11,9	15,5	4,5	10,6
N ₆₀ K ₆₀		16,0	17,7	5,5	13,1
N ₆₀ P ₆₀		15,9	18,4	5,6	13,3
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		14,9	17,0	5,1	12,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		16,5	19,5	5,5	13,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		16,2	19,3	5,6	13,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		16,4	19,2	5,6	13,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		16,4	19,4	5,6	13,8
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		12,4	16,4	4,9	11,2
N ₃₀		16,5	17,8	5,2	13,2
N ₆₀		17,6	19,2	5,8	14,2
P ₆₀ K ₆₀		13,9	18,3	4,6	12,3
N ₆₀ K ₆₀		18,1	19,7	5,8	14,5
N ₆₀ P ₆₀		17,9	20,5	5,9	14,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		16,9	19,6	5,7	14,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		18,6	21,8	5,8	15,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		18,3	21,4	5,9	15,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		18,5	21,6	5,9	15,3
HIP ₀₅	A	0,6	0,7	0,2	—
	B	0,2	0,3	0,1	—

Застосування інокуляції також достовірно збільшувало масу однієї рослини сої на 12 % порівняно з ділянками без проведення інокуляції насіння. При цьому застосування добрив мало подібну тенденцію порівняно з ділянками без інокуляції. Так, цей показник збільшувався від 11,2 г у варіанті без добрив до 13,2–14,2 г за азотних систем і до 14,1–15,4 г за внесення повного мінерального добрива.

Описані тенденції щодо формування маси одного стебла в фазу повної стиглості рослин сої були подібними до формування абсолютно сухої маси одного стебла (табл. 3.5). Найбільшу масу однієї рослини отримано за систем удобрення, що містили азотну складову на тлі проведення інокуляції. Впродовж років досліджень цей показник також змінювався подібно до маси одного стебла фактичної вологості.

Достовірно зростала маса насіння сої з однієї рослини (табл. 3.6). Так, у середньому за три роки досліджень цей показник збільшувався від 3,1 до 3,7–3,9 г або на 19–26 % за азотних систем удобрення. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ маса насіння з однієї рослини збільшувалась до 3,9 г і до 4,2 г або на 6–8 % порівняно з азотними системами, що свідчить про великий вплив азоту на формування індивідуальної продуктивності рослин сої.

Застосування азотно-калійної, азотно-фосфорної та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижували маси насіння з однієї рослини сої. Необхідно відзначити, що найменше на цей показник впливало застосування фосфорно-калійної системи удобрення. За такого сценарію удобрення маса насіння з однієї рослини збільшувалась лише до 3,4 г або на 10 % порівняно з ділянками без добрив.

Таблиця 3.5

Формування абсолютно сухої маси однієї рослини сої залежно від інокуляції та удобрення в фазу повної стиглості, г

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник А)					
Без добрив (контроль)		8,1	11,9	3,3	7,7
N ₃₀		11,4	12,2	3,3	9,0
N ₆₀		12,2	13,9	3,5	9,9
P ₆₀ K ₆₀		9,3	12,4	3,1	8,3
N ₆₀ K ₆₀		12,6	14,2	3,5	10,1
N ₆₀ P ₆₀		12,4	14,7	3,5	10,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		11,7	13,6	3,3	9,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		12,9	15,6	3,5	10,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		12,7	15,5	3,5	10,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		12,9	15,3	3,5	10,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		12,8	15,5	3,5	10,6
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		9,7	13,2	3,4	8,7
N ₃₀		12,9	14,3	3,4	10,2
N ₆₀		13,8	15,4	3,6	10,9
P ₆₀ K ₆₀		10,9	14,7	3,1	9,6
N ₆₀ K ₆₀		14,2	15,8	3,6	11,2
N ₆₀ P ₆₀		14,0	16,4	3,7	11,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		13,3	15,8	3,5	10,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		14,6	17,4	3,6	11,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		14,3	17,1	3,7	11,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		14,5	17,3	3,7	11,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		14,4	17,4	3,7	11,8
HIP ₀₅	A	0,5	0,6	0,1	—
	B	0,2	0,3	0,1	—

Маса насіння з однієї рослини сої значно змінювалась залежно від погодних умов років досліджень. Так, у сприятливіших 2022–2023 рр. маса насіння з однієї рослини змінювалась від 3,0 до 6,4 г залежно варіанту досліджу. У менш сприятливому 2024 р. цей показник був у межах 1,8–2,2 г

або менше в 1,7–2,9 рази порівняно з сприятливішими роками.

Таблиця 3.6

**Формування маси насіння з однієї рослини сої залежно від
інокуляції та удобрення в фазу повної стиглості, г**

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник А)					
Без добрив (контроль)		3,0	4,5	1,8	3,1
N ₃₀		4,3	4,9	2,0	3,7
N ₆₀		4,5	5,1	2,1	3,9
P ₆₀ K ₆₀		3,4	4,8	1,9	3,4
N ₆₀ K ₆₀		4,6	5,2	2,1	4,0
N ₆₀ P ₆₀		4,6	5,4	2,1	4,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		4,4	5,3	2,0	3,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		4,7	5,7	2,1	4,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		4,6	5,6	2,2	4,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		4,7	5,6	2,1	4,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		4,7	5,6	2,1	4,1
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		3,7	5,1	1,9	3,6
N ₃₀		5,0	5,6	2,1	4,2
N ₆₀		5,2	5,7	2,1	4,3
P ₆₀ K ₆₀		4,0	5,6	1,9	3,8
N ₆₀ K ₆₀		5,3	5,8	2,2	4,4
N ₆₀ P ₆₀		5,2	6,0	2,2	4,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		5,1	6,2	2,2	4,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		5,4	6,4	2,2	4,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		5,3	6,3	2,2	4,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		5,4	6,3	2,2	4,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		5,3	6,3	2,2	4,6
HIP ₀₅	A	0,2	0,2	0,1	—
	B	0,1	0,1	0,1	—

Застосування інокуляції також достовірно збільшувало масу насіння з однієї рослини сої на 12–16 % порівняно з ділянками без проведення інокуляції насіння. При цьому застосування добрив мало подібну тенденцію

порівняно з ділянками без інокуляції. Так, цей показник збільшувався від 3,6 г у варіанті без добрив до 4,2–4,3 г за азотних систем і до 4,5–4,7 г за внесення повного мінерального добрива.

По різному змінювалась частка насіння в фітомасі рослин сої залежно від досліджених чинників (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

**Формування частки насіння в фітомасі рослин сої залежно від
інокуляції та удобрення в фазу повної стиглості, %**

Варіант досліджу (чинник А)	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник А)				
Без добрив (контроль)	27,6	28,3	34,2	30,0
N ₃₀	28,4	30,0	36,6	31,7
N ₆₀	27,7	27,7	35,0	30,1
P ₆₀ K ₆₀	26,7	29,2	37,1	31,0
N ₆₀ K ₆₀	27,4	27,6	34,8	29,9
N ₆₀ P ₆₀	27,4	27,5	34,7	29,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	28,2	29,6	36,3	31,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	27,2	27,6	35,2	30,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	27,4	27,5	34,9	29,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	27,3	27,6	34,7	29,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	27,3	27,6	34,6	29,8
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	28,3	29,3	33,9	30,5
N ₃₀	29,2	29,8	35,6	31,5
N ₆₀	28,5	27,9	33,5	30,0
P ₆₀ K ₆₀	27,6	28,8	37,2	31,2
N ₆₀ K ₆₀	28,1	27,9	33,5	29,8
N ₆₀ P ₆₀	28,0	27,9	33,5	29,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	28,9	30,2	35,2	31,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	27,9	27,8	33,7	29,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	28,0	28,0	33,3	29,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	28,0	27,9	33,5	29,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	27,9	27,9	33,7	29,8

Так, у середньому за три роки досліджень цей показник у варіанті без

добрив становив 30,0 %, який збільшувався до 31,7 % за внесення N_{30} або на 6 %, а за фосфорно-калійної системи удобрення – до 31,0 %, або на 3 %. Усі системи удобрення, в яких складова азоту була збільшена до 60 кг/га д. р. знижувала частку насіння в фітомасі. За такого сценарію удобрення частка гасіння становила 29,9–30,0 % залежно від варіанту досліду.

Описана тенденція зберігалась упродовж років досліджень і за умови проведення інокуляції. При цьому частка насіння була найвищою в 2024 р. – 34,2–36,6 % без інокуляції та 33,3–37,2 % з інокуляцією. У 2022–2023 рр. частка насіння в фітомасі рослин сої була нижчою.

Частка насіння в абсолютно сухій фітомасі була вищою порівняно з цим показником, розрахованим за фактичною вологістю, проте застосування добрив підвищувало її (табл. 3.8). Так, у середньому за три роки досліджень цей показник у варіанті без добрив становив 35,1 %, який збільшувався до 37,8 % за внесення N_{30} або на 8 %, за внесення подвійної дози азотних добрив – до 36,5 %, або на 4 %, а за фосфорно-калійної системи удобрення – до 36,3 %, або на 3 %. Усі системи удобрення, в яких складова азоту була збільшена до 60 кг/га д. р. забезпечували формування 36,3–36,6 % насіння від фітомаси.

Описана тенденція зберігалась упродовж років досліджень і за умови проведення інокуляції. При цьому частка насіння була найвищою в 2024 р. – 43,3–48,7 % без інокуляції та 43,6–49,5 % з інокуляцією. У 2022–2023 рр. частка насіння в фітомасі рослин сої була нижчою.

Таблиця 3.8

**Формування частки насіння в абсолютно сухій фітомасі рослин сої
залежно від інокуляції та удобрення в фазу повної стиглості, %**

Варіант досліджу (чинник А)	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник А)				
Без добрив (контроль)	31,0	31,1	43,3	35,1
N ₃₀	31,9	33,0	48,6	37,8
N ₆₀	31,2	30,5	48,0	36,5
P ₆₀ K ₆₀	30,1	32,0	46,8	36,3
N ₆₀ K ₆₀	30,8	30,4	48,0	36,4
N ₆₀ P ₆₀	30,8	30,3	48,2	36,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	31,7	32,5	48,8	37,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30,7	30,3	48,7	36,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	30,8	30,2	48,7	36,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	30,7	30,4	48,0	36,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	30,7	30,3	48,2	36,4
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	31,7	32,2	43,6	35,8
N ₃₀	32,7	32,6	48,1	37,8
N ₆₀	32,0	30,7	46,6	36,4
P ₆₀ K ₆₀	31,0	31,7	47,6	36,8
N ₆₀ K ₆₀	31,5	30,6	47,1	36,4
N ₆₀ P ₆₀	31,5	30,7	47,3	36,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	32,4	33,1	49,5	38,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	31,3	30,5	47,4	36,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	31,5	30,8	47,2	36,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	31,5	30,7	47,6	36,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	31,4	30,7	47,8	36,6

Встановлено, що застосування добрив під сою сприяє збільшенню маси однієї рослини і маси насіння. При цьому частка насіння в фітомасі знижується за фактичної вологості вегетативної маси, проте в розрахунку на абсолютно суху масу значно перевищує показник у варіанті без добрив. Застосування азотно-калійної, азотно-фосфорної та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижували показників

індивідуальної продуктивності рослин сої. Необхідно відзначити, що найменше на цей показник впливало застосування фосфорно-калійної системи удобрення. Застосування інокуляції достовірно підвищували показники росту рослин сої порівняно з ділянками без його проведення.

Маса 1000 насінин сої залежно від інокуляції та удобрення змінювалась залежно від років досліджень (табл. 3.9). Порівнюючи масу 1000 насінин по роках, найнижчу масу отримали в 2024 р., а найбільшу в 2023 р.

Таблиця 3.9

Маса 1000 насінин сої залежно від інокуляції та удобрення, г

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник А)					
Без добрив (контроль)		142	153	130	142
N ₃₀		125	142	124	130
N ₆₀		124	137	120	127
P ₆₀ K ₆₀		148	160	133	147
N ₆₀ K ₆₀		126	138	121	128
N ₆₀ P ₆₀		125	139	122	129
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		126	144	125	132
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		125	139	123	129
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		127	138	122	129
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		125	140	124	130
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		126	138	123	129
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		141	154	128	141
N ₃₀		126	141	123	130
N ₆₀		123	138	121	127
P ₆₀ K ₆₀		147	159	134	147
N ₆₀ K ₆₀		127	139	120	129
N ₆₀ P ₆₀		126	137	121	128
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		125	145	126	132
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		126	140	124	130
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		124	137	123	128
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		127	141	123	130
HIP ₀₅	A	4	5	3	—
	B	2	3	2	—

Лише один варіант з удобренням фосфорно-калійним добривом істотно вплинув на збільшення маси насінин. Так, найбільші показники маси 1000 насінин сої отримали в 2023 році у варіанті з фосфорно-калійним удобренням $P_{60}K_{60}$ на тлі без інокуляції і на тлі з застосуванням інокуляції відповідно 160 г та 159 г, що було достовірно більшим за інші варіанти удобрення.

У середньому за три роки варіант з фосфорно-калійним удобренням $P_{60}K_{60}$ дав істотно найвищий показник маси 1000 насінин сої. Достовірної різниці збільшення маси 1000 насінин з іншими варіантами не встановлено.

Висновки до розділу

Позитивний вплив удобрення без інокуляції на істотне збільшення формування кількості бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості отримано в усіх варіантах удобрення порівняно з контролем, крім варіанта з удобренням $P_{60}K_{60}$. Показники формування кількості бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості у варіанті $P_{60}K_{60}$ не достовірні порівняно з варіантом контроль у всі роки досліджень. Найвища кількість бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості отримана у варіантах удобрення $N_{60}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{60}$ (41,4–41,5 шт/рослину). На тлі з інокуляцією формування кількості бульбочок на кореневій системі сої в фазу повної стиглості істотно більше за варіант на тлі без інокуляції, у варіанті контроль різниця 13,8 шт/рослину, а в варіантах з удобренням 18,1–18,5 шт/рослину.

Азотні, фосфорно-калійні та азотно-калійні системи удобрення, в середньому за три роки, збільшують масу бульбочок порівняно з контролем на 0,1–0,4 г/рослину. Повне мінеральне удобрення забезпечує найбільшу кількість бульбочок порівняно з іншими варіантами удобрення (1,1 г/рослину).

Застосування інокуляції достовірно збільшує формування маси

бульбочок на кореневій системі сої в фазу повної стиглості порівняно без застосування інокуляції. У варіанті без добрив (контроль) в середньому за три роки різниця 0,3 г/рослину.

Застосування добрив достовірно збільшувало масу однієї рослини сої. Так, у середньому за три роки досліджень цей показник збільшується від 10,0 до 11,6–12,8 г або на 16–28 % за азотних систем удобрення. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ маса однієї рослини збільшується до 12,3 г і до 13,8 г або на 6–8 % порівняно з азотними системами, що свідчить про великий вплив азоту на формування індивідуальної продуктивності рослин сої.

Застосування азотно-калійної, азотно-фосфорної та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижують маси однієї рослини сої. Необхідно відзначити, що найменше на цей показник впливає застосування фосфорно-калійної системи удобрення. За такого сценарію удобрення маса однієї рослини збільшується лише до 10,6 г.

Маса однієї рослини сої значно змінюється залежно від погодних умов років досліджень. Так, у сприятливіших 2022–2023 рр. маса однієї рослини змінюється від 10,3 до 21,8 г залежно варіанту досліджу. У менш сприятливому 2024 р. цей показник у межах 4,7–5,9 г або менше в 2,2–3,7 рази порівняно з сприятливішими роками.

Достовірно зростає маса насіння сої з однієї рослини. Так, у середньому за три роки досліджень цей показник збільшується від 3,1 до 3,7–3,9 г або на 19–26 % за азотних систем удобрення. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ маса насіння з однієї рослини збільшується до 3,9 г і до 4,2 г або на 6–8 % порівняно з азотними системами, що свідчить про великий вплив азоту на формування індивідуальної продуктивності рослин сої.

Застосування азотно-калійної, азотно-фосфорної та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижують маси насіння з однієї рослини сої. Необхідно відзначити, що найменше на цей показник впливає застосування фосфорно-калійної системи удобрення. За

такого сценарію удобрення маса насіння з однієї рослини збільшується лише до 3,4 г або на 10 % порівняно з ділянками без добрив.

Застосування інокуляції також достовірно збільшує масу насіння з однієї рослини сої на 12–16 % порівняно з ділянками без проведення інокуляції насіння. При цьому застосування добрив має подібну тенденцію порівняно з ділянками без інокуляції. Так, цей показник збільшується від 3,6 г у варіанті без добрив до 4,2–4,3 г за азотних систем і до 4,5–4,7 г за внесення повного мінерального добрива.

Результати розділу 3 висвітлено в працях [207, 150].

РОЗДІЛ 4

ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ТА ЯКОСТІ НАСІННЯ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ

4.1 Урожайність насіння та стебел

Збільшення виробництва рослинного білка є найважливішим завданням сучасного сільськогосподарського виробництва. Серед зернобобових у вирішенні цієї проблеми особливе місце посідає соя як цінна продовольча, кормова та технічна культура [152].

У світі посіви сої займають близько 100 млн. га, що пояснюється її високою продовольчою, агрономічною та екологічною користю. Соя є найпоширенішою високобілковою олійною культурою у світі, широко використовується в технічних, кормових і харчових цілях. Особливо широко її культивують у США, Бразилії, Аргентині, Канаді, Китаї, Індії та Італії, на ці країни в даний час припадає до 90 % світового виробництва соєвого насіння. У США лише для тваринництва щорічно використовується 18 млн т сої, а загальний валовий збір за останні роки досяг 80 млн т [109].

Соя – цінна культура, якій немає рівних за вмістом білка та якістю. Насіння містить 28–52 % повноцінного збалансованого за вмістом амінокислот білка та 16–27 % жиру. Соя широко використовується для виготовлення багатьох високопоживних продуктів і різних видів кормів [140].

Біологічна азотфіксація бобовими рослинами входить до кола досить актуальних питань у сучасних умовах господарювання. Соя поєднує два важливі процеси – фотосинтезу та біологічної фіксації азоту. Її біологічна особливість полягає в здатності рослин до симбіотичного типу живлення. Бульбочкові бактерії виду *Bradyrhizobium Japonicum* забезпечують рослини фіксованим атмосферним азотом у формі органічних сполук. Але потребуються ефективні заходи, які б сприяли підвищенню інтенсивності

цих процесів [160].

Застосування мікробіологічних препаратів забезпечує процеси: формування бульбочкових бактерій, формування більшої площі листків, висоти рослин, кількості гілок, вузлів, бобів, насіння, росту врожайності та поліпшення його якості [14]. Особливого значення набувають біопрепарати на основі мікроорганізмів, які здатні трансформувати важкорозчинні органічні та мінеральні фосфати у легкорозчинні для рослин форми. За низького вмісту фосфору у бульбочкових бактерій відсутня вірулентність. Фіксація азоту повітря відбувається з участю АТФ, головною складовою частиною якого є фосфор. Одним із шляхів оптимізації умов функціонування симбіозу є поєднане застосування при інокуляції насіння одночасно із ризобіями інших штамів мікроорганізмів, які володіють фосфатмобілізацією та здатністю пригнічувати розвиток фітопатогенних грибів [203].

Передпосівна обробка насіння азотфіксувальними бактеріями у композиції із фосформобілізуючими забезпечили збільшення урожайності насіння сої на 7,9–19,2 % і вмісту в ньому протеїну на 0,04–1,52 % [9]. Рідка форма інокулянту зазвичай має два компоненти: власне, штам бульбочкових бактерій у рідкому живильному середовищі та суміш фізіологічно-активних речовин із мікро- та макроелементами для забезпечення виживання бактерій на обробленому насінні. Препаративні форми азотфіксувальних біопрепаратів повинні підтримувати високі титри активних бактеріальних клітин досить тривалий час. Титр кращих сучасних американських препаратів сої становить 2–4 млрд. клітин/г (мл) субстрату до 2 років, що дозволяє використовувати залишки препарату в наступному сезоні. Препарати, що виготовляються в Україні, містять також 2–3 млрд клітин/г субстрату [34, 125].

У цілому нині на ринку України представлено широкий спектр інокулянтів, особливо для сої як вітчизняного, так й іноземного виробництва. Вони випускаються у твердій та рідкій формах. Інокуляція насіння сої, навіть,

при регулярному чергуванні культур та застосуванні мінеральних добрив дає прибавку урожаю до 10 % [6]. Це дає можливість формувати стабільний та екологічно безпечний врожай. Тому проведення досліджень щодо ефективності біопрепаратів за різних систем удобрення сої є актуальним.

Результати досліджень свідчать, що найбільше врожайність насіння сої змінювалось від погодних умов та удобрення (табл. 4.1). Найменше від застосування інокуляції. У середньому за три роки досліджень урожайність збільшувалась від 2,50 до 3,03 т/га за внесення N_{30} і до 3,19 т/га за внесення N_{60} . Застосування повного мінерального добрив у дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$ збільшувало цей показник до 3,20 т/га або на 6 %, а $N_{60}P_{60}K_{60}$ – до 3,40 т/га або на 7 % порівняно з азотними системами.

Застосування інокуляції сприяло збільшенню врожайності на 0,38–0,41 т/га залежно від варіанту досліджу. При цьому таку тенденцію встановлено впродовж усіх років дослідження.

Урожайність насіння сої значно змінювалась залежно від погодних умов року дослідження про що свідчить низький індекс стабільності – 0,36–0,40. Встановлено, що застосування N_{30} збільшувало врожайність насіння сої до 3,92 т/га в 2023 р. Застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечувало збільшення її до 4,32 т/га. За умови застосування подвійної дози азотних добрив урожайність становила 4,15–4,61 т/га. Проведення інокуляції насіння перед сівбою забезпечувало отримання 0,54–0,60 т/га насіння порівняно з ділянками без добрив.

У 2024 р. врожайність сої була низькою завдяки несприятливим погодним умовам у період цвітіння та наливу насіння. Так, за цей період випало лише 35,6 мм опадів проти 117 мм порівняно з середнім багаторічним показником. Крім цього, температура повітря була вище оптимальної для росту та розвитку рослин сої. Встановлено, що застосування N_{30} збільшувало врожайність насіння сої до 1,55 т/га. Застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечувало збільшення її до 1,58 т/га. За умови застосування подвійної дози азотних

добрив врожайність становила 1,65–1,67 т/га. Проведення інокуляції насіння перед сівбою забезпечувало отримання 0,03 т/га насіння порівняно з ділянками без передпосівної обробки.

Таблиця 4.1

Урожайність насіння сої залежно від удобрення та інокуляції

Варіант досліджу (фактор А)		Урожайність, т/га				Індекс стабільності
		2022 р.	2023 р.	2024 р.	середня за три роки	
Без інокуляції (фактор В)						
Без добрив (контроль)		2,50	3,60	1,39	2,50	0,39
N ₃₀		3,63	3,92	1,55	3,03	0,40
N ₆₀		3,79	4,15	1,63	3,19	0,39
P ₆₀ K ₆₀		2,78	3,88	1,42	2,69	0,37
N ₆₀ K ₆₀		3,86	4,21	1,64	3,24	0,39
N ₆₀ P ₆₀		3,82	4,35	1,66	3,28	0,38
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		3,70	4,32	1,58	3,20	0,37
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		3,95	4,61	1,65	3,40	0,36
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		3,90	4,57	1,67	3,38	0,37
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		3,94	4,55	1,65	3,38	0,36
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		3,93	4,59	1,66	3,39	0,36
З інокуляцією						
Без добрив (контроль)		3,08	4,14	1,42	2,88	0,34
N ₃₀		4,22	4,55	1,59	3,45	0,35
N ₆₀		4,39	4,61	1,65	3,55	0,36
P ₆₀ K ₆₀		3,38	4,54	1,46	3,13	0,32
N ₆₀ K ₆₀		4,46	4,72	1,67	3,62	0,35
N ₆₀ P ₆₀		4,41	4,92	1,69	3,67	0,34
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		4,29	5,10	1,71	3,70	0,34
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		4,55	5,21	1,68	3,81	0,32
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		4,50	5,16	1,69	3,78	0,33
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		4,54	5,19	1,70	3,81	0,33
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		4,52	5,20	1,71	3,81	0,33
HIP ₀₅	A	0,11	0,13	0,04	—	—
	B	0,08	0,09	0,03	—	—

Найменше врожайність зростала від застосування фосфорних і калійних

добрив. Варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижували урожайність насіння порівняно з повним мінеральним добривом.

За фактичної вологості врожайність стебел сої істотно змінювалась по рокам досліджень (табл. 4.2). Найнижчі показники урожайності стебел сої отримали у 2024 р., найвищі в 2023 р.

Таблиця 4.2

Урожайність стебел сої залежно від удобрення та інокуляції за фактичної вологості, т/га

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (фактор В)					
Без добрив		6,55	9,14	2,67	6,12
N ₃₀		9,15	9,13	2,68	6,99
N ₆₀		9,89	10,83	3,03	7,92
P ₆₀ K ₆₀		7,65	9,43	2,41	6,50
N ₆₀ K ₆₀		10,23	11,03	3,07	8,11
N ₆₀ P ₆₀		10,12	11,44	3,12	8,23
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		9,40	10,28	2,77	7,48
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		10,55	12,12	3,04	8,57
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		10,34	12,06	3,11	8,50
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		10,48	11,92	3,10	8,50
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		10,45	12,07	3,14	8,55
З інокуляцією					
Без добрив		7,82	9,98	2,77	6,86
N ₃₀		10,25	10,74	2,88	7,96
N ₆₀		11,02	11,89	3,28	8,73
P ₆₀ K ₆₀		8,86	11,21	2,47	7,51
N ₆₀ K ₆₀		11,42	12,22	3,31	8,98
N ₆₀ P ₆₀		11,33	12,69	3,36	9,13
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		10,55	11,78	3,15	8,49
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		11,78	13,55	3,31	9,55
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		11,57	13,26	3,38	9,40
HIP ₀₅	A	0,31	0,35	0,10	—
	B	0,19	0,21	0,05	—

У середньому за три роки досліджень урожайність стебел сої за

фактичної вологості істотно була вища на тлі проведення інокуляції порівняно без проведення інокуляції.

Достовірний вплив удобрення на урожайність стебел сої за фактичної вологості відмічено у всіх варіантах досліджень. А саме варіанти з повним мінеральним удобренням збільшили урожайність стебел сої порівняно з іншими варіантами удобрення з на тлі з проведенням інокуляції та без проведення інокуляції. На тлі без проведення інокуляції найвища урожайність була у варіанті з повним мінеральним удобренням $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 8,57 т/га, аналогічно на тлі з проведенням інокуляції також найвища урожайність була у варіанті з повним мінеральним удобренням $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 9,55 т/га.

З результатів досліджень встановлено, що найвищу урожайність стебел сої залежно від удобрення та інокуляції за фактичної вологості 9,55 т/га отримали при застосуванні повного мінерального удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$ на тлі з проведенням інокуляції.

У перерахунку на абсолютно суху масу урожайність стебел сої залежно від удобрення та інокуляції достовірно змінювалась відповідно по роках досліджень (табл. 4.3).

Проведення інокуляції істотно збільшило показники урожайності стебел сої в перерахунку на абсолютно суху масу порівняно з варіантами без проведення інокуляції відповідно.

Погодні умови в 2024 році були несприятливі для урожайності стебел сої в перерахунку на абсолютно суху масу.

Відмічено достовірний вплив удобрення на врожайності стебел сої в перерахунку на абсолютно суху масу. А саме найбільшу урожайність отримали при застосуванні повного мінерального удобрення.

Так істотно вищу врожайність стебел сої в перерахунку на абсолютно суху масу отримали на тлі інокуляції у варіанті удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 6,95 т/га.

Таблиця 4.3

**Урожайність стебел сої залежно від удобрення та інокуляції в
перерахунку на абсолютно суху масу, т/га**

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (фактор В)					
Без добрив (контроль)		4,89	7,03	1,60	4,51
N ₃₀		6,82	7,02	1,44	5,10
N ₆₀		7,38	8,33	1,55	5,75
P ₆₀ K ₆₀		5,70	7,25	1,42	4,79
N ₆₀ K ₆₀		7,63	8,48	1,56	5,89
N ₆₀ P ₆₀		7,55	8,80	1,57	5,97
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		7,01	7,91	1,46	5,46
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		7,87	9,32	1,53	6,24
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		7,71	9,28	1,55	6,18
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		7,82	9,17	1,57	6,18
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		7,80	9,28	1,57	6,22
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		5,84	7,67	1,62	5,04
N ₃₀		7,65	8,26	1,51	5,81
N ₆₀		8,22	9,15	1,66	6,34
P ₆₀ K ₆₀		6,61	8,62	1,41	5,55
N ₆₀ K ₆₀		8,52	9,40	1,65	6,52
N ₆₀ P ₆₀		8,45	9,76	1,66	6,62
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		7,87	9,06	1,53	6,16
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		8,79	10,42	1,64	6,95
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		8,63	10,20	1,67	6,83
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		8,70	10,30	1,65	6,88
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		8,70	10,36	1,64	6,90
HIP ₀₅	A	0,24	0,30	0,09	—
	B	0,13	0,17	0,03	—

Примітка. Вологість стебел у 2022 р. – 25,4 %, у 2023 р. – 23,1 %, у 2024 р. – 16,7 %.

Відмічено достовірну залежність впливу погодних умов на відношення врожаю стебел до насіння за фактичної вологості (табл. 4.4).

Так, в 2024 році показники відношення врожаю стебел до насіння за фактичної вологості були низькими відповідно вологість стебел у 2024 р. – 16,7 %, у 2022 р. – 25,4 %, у 2023 р. – 23,1 %.

Таблиця 4.4

Відношення врожаю стебел до насіння за фактичної вологості

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (фактор В)					
Без добрив (контроль)		2,62	2,54	1,92	2,36
N ₃₀		2,52	2,33	1,73	2,19
N ₆₀		2,61	2,61	1,86	2,36
P ₆₀ K ₆₀		2,75	2,43	1,70	2,29
N ₆₀ K ₆₀		2,65	2,62	1,87	2,38
N ₆₀ P ₆₀		2,65	2,63	1,88	2,39
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		2,54	2,38	1,75	2,22
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		2,67	2,63	1,84	2,38
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		2,65	2,64	1,86	2,38
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		2,66	2,62	1,88	2,39
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		2,66	2,63	1,89	2,39
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		2,54	2,41	1,95	2,30
N ₃₀		2,43	2,36	1,81	2,20
N ₆₀		2,51	2,58	1,99	2,36
P ₆₀ K ₆₀		2,62	2,47	1,69	2,26
N ₆₀ K ₆₀		2,56	2,59	1,98	2,38
N ₆₀ P ₆₀		2,57	2,58	1,99	2,38
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		2,46	2,31	1,84	2,20
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		2,59	2,60	1,97	2,39
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		2,57	2,57	2,00	2,38
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		2,57	2,58	1,98	2,38
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		2,58	2,59	1,97	2,38
HIP ₀₅	A	0,07	0,08	0,04	—
	B	0,04	0,05	0,01	—

При застосування удобрення N₃₀, P₆₀K₆₀, N₃₀P₃₀K₃₀, істотного впливу на відношення врожаю стебел до насіння за фактичної вологості не отримали на

тлі з проведенням інокуляції та без проведення інокуляції.

Результати відношення врожаю стебел до насіння в перерахунку на абсолютно суху масу показали, що на тлі без проведення інокуляції показники були вищі порівняно з проведенням інокуляції (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Відношення врожаю стебел до насіння в перерахунку на абсолютно суху масу

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (фактор В)					
Без добрив (контроль)		2,22	2,22	1,31	1,92
N ₃₀		2,14	2,04	1,06	1,74
N ₆₀		2,21	2,28	1,08	1,86
P ₆₀ K ₆₀		2,33	2,12	1,13	1,86
N ₆₀ K ₆₀		2,25	2,29	1,08	1,87
N ₆₀ P ₆₀		2,25	2,30	1,07	1,87
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		2,15	2,08	1,05	1,76
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		2,26	2,30	1,06	1,87
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		2,25	2,31	1,05	1,87
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		2,25	2,29	1,08	1,87
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		2,15	2,11	1,30	1,85
N ₃₀		2,06	2,06	1,08	1,73
N ₆₀		2,13	2,25	1,14	1,84
P ₆₀ K ₆₀		2,22	2,16	1,10	1,83
N ₆₀ K ₆₀		2,17	2,26	1,12	1,85
N ₆₀ P ₆₀		2,18	2,25	1,11	1,85
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		2,09	2,02	1,02	1,71
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		2,20	2,27	1,11	1,86
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		2,18	2,25	1,12	1,85
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		2,18	2,25	1,10	1,85
HIP ₀₅	A	0,06	0,07	0,03	—
	B	0,03	0,03	0,01	—

У 2022 та 2023 роках відношення врожаю стебел до насіння в перерахунку на абсолютно суху масу було достовірно більшим за 2024 рік по

всіх варіантах досліджень. Причина таких показників несприятливі погодні умови, при цьому вологість стебел становила у 2024 р. – 16,7 %.

У середньому за три роки застосування удобрення різними формами добрив не дало достовірного збільшення показників відношення врожаю стебел до насіння в перерахунку на абсолютно суху масу на тлі без проведення інокуляції та з проведенням інокуляції в порівнянні з контролем.

Відношення врожаю стебел до насіння за фактичної вологості на тлі з проведенням інокуляції та без проведення інокуляції з варіантами удобрення N_{60} , $N_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{60}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{60}$ було в межах 2,36–2,39.

4.2 Формування якості насіння

Контрольний варіант (без добрив) не включав жодних додаткових добрив, використовується як базовий показник для порівняння з іншими варіантами. Білка в середньому було 38,0 % без інокуляції, що є найнижчим серед варіантів (табл. 4.6). Внесення азоту в дозі 30 кг/га дав незначне підвищення вмісту білка в порівнянні з контролем – 38,3 %. Це демонструє позитивний вплив азотних добрив, але без суттєвих змін порівняно з інтенсивними схемами удобрення. Внесення азоту в дозі 60 кг/га забезпечує значне підвищення вмісту білка – 39,0 %, що вказує про більший вплив азоту на синтез білка. Внесення фосфору та калію в дозі по 60 кг/га забезпечило результати схожі з контролем – 38,0 %, що свідчить про незначний вплив фосфорних і калійних добрив на вміст білка порівняно з азотом. Азот разом з калієм має більш позитивний вплив на синтез білка. Комбінація азоту і калію по 60 кг/га кожного зумовила формування вмісту білка на рівні 39,1 %. Комбінація азоту і фосфору по 60 кг/га підвищила вміст білка до 39,1 %, що свідчить про позитивну взаємодію азоту і фосфору.

Таблиця 4.6

Вміст білка в насіння сої залежно від удобрення та інокуляції, %

Варіант досліджу (фактор А)		Урожайність, т/га				Індекс стабільності
		2022 р.	2023 р.	2024 р.	середня за три роки	
Без інокуляції (фактор В)						
Без добрив (контроль)		36,1	38,8	39,2	38,0	0,92
N ₃₀		36,2	39,0	39,8	38,3	0,91
N ₆₀		36,8	40,1	40,1	39,0	0,92
P ₆₀ K ₆₀		36,1	38,9	39,0	38,0	0,93
N ₆₀ K ₆₀		37,0	40,2	40,1	39,1	0,92
N ₆₀ P ₆₀		37,1	40,2	40,0	39,1	0,92
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		36,7	39,2	39,7	38,5	0,92
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		37,2	40,2	40,2	39,2	0,93
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		37,1	40,3	40,1	39,2	0,92
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		37,2	40,2	40,2	39,2	0,93
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		37,2	40,3	40,1	39,2	0,92
З інокуляцією						
Без добрив (контроль)		37,1	39,4	39,3	38,6	0,94
N ₃₀		37,5	39,8	39,7	39,0	0,94
N ₆₀		38,1	40,2	40,0	39,4	0,95
P ₆₀ K ₆₀		37,2	39,4	39,1	38,6	0,94
N ₆₀ K ₆₀		38,2	40,2	40,0	39,5	0,95
N ₆₀ P ₆₀		38,3	40,3	40,2	39,6	0,95
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		37,9	39,9	39,9	39,2	0,95
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		38,5	40,4	40,1	39,7	0,95
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		38,2	40,2	40,2	39,5	0,95
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		38,4	40,3	40,1	39,6	0,95
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		38,5	40,3	40,0	39,6	0,96
HIP ₀₅	A	1,0	1,1	1,0	—	—
	B	0,8	0,9	0,7	—	—

Комбінація всіх трьох макроелементів у дозі по 30 кг/га, де середній вміст білка становив 38,5 %, був вищим за варіанти без фосфору та калію. Повна комбінація всіх трьох макроелементів по 60 кг/га, це один із найефективніших варіантів, де вміст білка досягав 39,2 %. Інтенсивна

система удобрення показує добрий результат для підвищення якості врожаю.

Внесення азоту та фосфору в дозі 60 кг/га та зменшення дози калію до 30 кг/га дав рівень білка 39,2 %, що вказує на оптимальну взаємодію цих елементів. Комбінація азоту і калію в дозі 60 кг/га та зменшення дози фосфору 30 кг/га, де вміст білка становить 39,2 %, є одним із найвищих показників серед усіх варіантів без інокуляції.

Також розглянемо показники вмісту білка в насінні на тлі інокуляції. Контроль без добрив, де інтенсивність азотфіксації під впливом інокуляції підвищує рівень білка до 38,6 %, що більше, ніж у варіанті без інокуляції на 2 %. Внесення азоту в дозі 30 кг/га разом з інокуляцією збільшує рівень білка до 39,0 %, що свідчить про позитивну взаємодію азотних добрив та інокуляції. Внесення азоту в дозі 60 кг/га з інокуляцією значно підвищує рівень білка до 39,4 %, що є одним із найкращих результатів. Фосфор і калій по 60 кг/га в поєднанні з інокуляцією забезпечують рівень білка на рівні 38,6 %. Він схожий до варіанту без інокуляції, але з трохи вищими показниками завдяки азотфіксації. Комбінація азоту і калію по 60 кг/га та інокуляції забезпечує рівень білка на рівні 39,5 %, що свідчить про значний вплив азотфіксуючих бактерій та макроелементів. Поєднання азоту та фосфору по 60 кг/га з інокуляцією підвищує вміст білка до 39,6 %, що є одним із найкращих результатів дослідження. Комбінація всіх трьох елементів у дозі 30 кг/га кожного разом з інокуляцією підвищує рівень білка до 39,2 %. Найінтенсивніший варіант з інокуляцією 60 кг/га кожного елементу показує найвищий рівень білка – 39,7 %. Це демонструє максимальну ефективність інтенсивних добрив у поєднанні з інокуляцією.

Внесення азоту в дозі 60 кг/га та зменшених доз фосфору і калію разом з інокуляцією забезпечують вміст білка на рівні 39,6 %, що підтверджує ефективність цього варіанту. Поєднання азоту та фосфору 60 кг/га з меншою кількістю калію 30 кг/га і інокуляцією підвищує рівень білка до 39,5 %. Внесення азоту і калію в повній дозі та зменшеної кількості фосфору в поєднанні з інокуляцією показує високий рівень білка 39,6 % підтверджуючи

ефективність збалансованої системи удобрення з інокуляцією.

Подібно до врожайності насіння сої змінювався збір білка залежно від досліджених чинників (табл. 4.7). При цьому необхідно відзначити, що перевагу мало застосування систем, які включали внесення 30 кг/га д. р. азотних добрив.

Таблиця 4.7

**Збір білка з урожаю насіння сої залежно від удобрення та інокуляції,
кг/га**

Варіант досліджу (фактор А)	Урожайність, т/га				Індекс стабільності
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	середня за три роки	
Без інокуляції (фактор В)					
Без добрив (контроль)	805	1397	545	916	0,39
N ₃₀	1173	1529	617	1106	0,40
N ₆₀	1244	1664	654	1187	0,39
P ₆₀ K ₆₀	895	1509	554	986	0,37
N ₆₀ K ₆₀	1273	1692	658	1208	0,39
N ₆₀ P ₆₀	1265	1749	664	1226	0,38
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1211	1693	627	1177	0,37
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1313	1853	663	1276	0,36
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	1295	1842	670	1269	0,36
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	1309	1829	663	1267	0,36
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)	1020	1631	558	1070	0,34
N ₃₀	1414	1811	631	1285	0,35
N ₆₀	1494	1853	660	1336	0,36
P ₆₀ K ₆₀	1123	1789	571	1161	0,32
N ₆₀ K ₆₀	1520	1897	668	1362	0,35
N ₆₀ P ₆₀	1509	1983	679	1390	0,34
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1452	2035	682	1390	0,34
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1567	2105	674	1449	0,32
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	1536	2074	679	1430	0,33
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1555	2096	684	1445	0,33

За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ збір білка становив 1177 кг/га, а на тлі проведення інокуляції – 1390 кг/га. Застосування подвійної дози мінеральних добрив істотно не збільшувало цей показник.

Основні мінеральні добрива, такі як азот, фосфор, калій мають значний вплив на вміст білка в насінні сої. Зокрема, використання азоту, особливо у високих дозах, таких як N_{60} , суттєво підвищує вміст білка у порівнянні з контрольними варіантами без добрив. Це свідчить про важливість азотного живлення для активізації азотного метаболізму у сої, що сприяє синтезу білків у рослині. Проте найбільший ефект спостерігається при використанні збалансованих систем удобрення, які включають всі три елементи живлення (азот, фосфор і калій), що забезпечують рослинам оптимальні умови для розвитку.

Також слід зазначити роль інокуляції в дослідях. Результати досліджень показують, що комбінація інокуляції з мінеральними добривами дає суттєво вищі показники вмісту білка в порівнянні з варіантами, де інокуляція не проводилася. Наприклад, інокуляція у поєднанні з інтенсивними схемами удобрення (як у варіантах $N_{60}P_{60}K_{60}$) забезпечує найвищий вміст білка у насінні. Таким чином, інокуляція є критичним елементом для підвищення якості врожаю сої.

Продуктивність сої значно залежить від застосування азотних добрив, ефективність яких змінюється від особливостей погодних умов упродовж вегетаційного періоду. В системі удобрення ефективним є застосування 30 кг/га д. р. азотних добрив. Так, у сприятливішому 2023 р. врожайність насіння становить 3,92 т/га, а в менш сприятливішому 2024 р. – 1,55 т/га. Проведення інокуляції при цьому забезпечує 0,04–0,63 т/га приросту врожаю насіння залежно від погодних умов. Вміст білка зростає від 36,1–39,2 % у варіанті без добрив до 36,2–39,8 % за внесення N_{30} . Застосування інокуляції забезпечує підвищення вмісту білка до 37,5–39,8 %.

Встановлено, що вміст олії в насінні сої при застосуванні удобрення

зменшувався, окрім варіанта з удобренням фосфорно-калійним добривом $P_{60}K_{60}$ (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Вміст олії в насінні сої залежно від удобрення та інокуляції, %

Варіант досліджу (фактор А)		Вміст олії, %			Індекс стабільності
		2022 р.	2023 р.	середній за три роки	
Без інокуляції (фактор В)					
Без добрив		22,9	24,7	23,8	0,93
N ₃₀		22,7	24,4	23,6	0,93
N ₆₀		22,5	24,3	23,4	0,93
P ₆₀ K ₆₀		22,9	24,8	23,9	0,92
N ₆₀ K ₆₀		22,2	24,3	23,3	0,91
N ₆₀ P ₆₀		22,1	24,2	23,2	0,91
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		22,4	24,4	23,4	0,92
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		22,0	24,2	23,1	0,91
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		22,0	24,2	23,1	0,91
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		22,1	24,3	23,2	0,91
З інокуляцією					
Без добрив		22,5	24,6	23,6	0,91
N ₃₀		22,0	24,5	23,3	0,90
N ₆₀		21,9	24,3	23,1	0,90
P ₆₀ K ₆₀		22,4	24,7	23,6	0,91
N ₆₀ K ₆₀		21,8	24,3	23,1	0,90
N ₆₀ P ₆₀		21,8	24,2	23,0	0,90
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		22,0	24,4	23,2	0,90
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		21,7	24,3	23,0	0,89
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		21,9	24,2	23,1	0,90
HIP ₀₅	A	0,8	0,9	—	—
	B	0,4	0,5	—	—

У 2023 році вміст олії в насінні сої був більший порівняно з 2022 роком на 1,8 % на тлі без проведення інокуляції та на 1,1 % на тлі з проведенням інокуляції.

Індекс стабільності вмісту олії в насінні сої залежно від удобрення був більшим на тлі без інокуляції порівняно з інокуляцією. Індекс стабільності

вмісту олії в насінні сої був у межах 0,89–0,93. У варіанті із застосуванням подвійної дози мінеральних добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$ за інокуляції – 0,89, при застосуванні азотного добрива в дозах 30 кг/га та 60 кг/га – 0,93.

Вплив добрив суттєво збільшив збір олії з урожаю насіння сої в середньому за три роки (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Збір олії з урожаю насіння сої залежно від удобрення та інокуляції, кг/га

Варіант досліджу (фактор А)	Збір олії, кг/га			Індекс стабільності
	2022 р.	2023 р.	середній за три роки	
Без інокуляції (фактор В)				
Без добрив (контроль)	511	889	700	0,57
N ₃₀	735	956	846	0,77
N ₆₀	761	1008	885	0,75
P ₆₀ K ₆₀	568	962	765	0,59
N ₆₀ K ₆₀	764	1023	894	0,75
N ₆₀ P ₆₀	754	1053	904	0,72
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	739	1054	897	0,70
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	777	1116	947	0,70
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	768	1106	937	0,69
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	778	1106	942	0,70
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	772	1106	939	0,70
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	619	1018	819	0,61
N ₃₀	829	1115	972	0,74
N ₆₀	858	1120	989	0,77
P ₆₀ K ₆₀	676	1121	899	0,60
N ₆₀ K ₆₀	868	1147	1008	0,76
N ₆₀ P ₆₀	859	1191	1025	0,72
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	843	1244	1044	0,68
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	883	1266	1075	0,70
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	880	1249	1065	0,70
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	885	1256	1071	0,70
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	877	1253	1065	0,70

Застосування інокуляції дає суттєво вищі показники збору олії з урожаю

насіння сої в порівнянні з варіантами, де інокуляція не проводилася. Результати досліджень показують, у 2023 році зібрали більше олії з урожаю насіння сої порівняно з 2022 роком.

У варіантах з удобренням трьома макроелементами $N_{60}P_{60}K_{60}$ та $N_{60}P_{60}K_{30}$ збір олії з урожаю насіння сої був найвищий 942 і 947 кг/га на тлі без інокуляції та 1071 і 1075 кг/га з інокуляцією.

Високий індекс стабільності 0,77 отримали при несенні азоту в дозі 30 кг/га разом на тлі без інокуляцією та з інокуляцією.

Соя, будучи однією з найважливіших білкових культур, формує продуктивність від багатьох факторів, зокрема від системи живлення, яка безпосередньо впливає на якість врожаю, зокрема на вміст білка [85]. Проведене дослідження щодо впливу різних систем удобрення та інокуляції на вміст білка в насінні сої дає важливі висновки, які можуть бути використані для оптимізації технологій вирощування цієї культури.

Висновки до розділу

Результати досліджень свідчать, що найбільше врожайність насіння сої змінюється від погодних умов та удобрення. Найменше від застосування інокуляції. У середньому за три роки досліджень врожайність збільшується від 2,50 до 3,03 т/га за внесення N_{30} і до 3,19 т/га за внесення N_{60} . Застосування повного мінерального добрив в дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$ збільшує цей показник до 3,20 т/га або на 6 %, а $N_{60}P_{60}K_{60}$ – до 3,40 т/га або на 7 % порівняно з азотними системами.

Застосування інокуляції сприяє збільшенню врожайності на 0,38–0,41 т/га залежно від варіанту досліджу. При цьому таку тенденцію встановлено впродовж усіх років дослідження.

Урожайність насіння сої значно змінюється залежно від погодних умов року дослідження, про що свідчить низький індекс стабільності – 0,36–0,40. Встановлено, що застосування N_{30} збільшує врожайність насіння сої до

3,92 т/га в 2023 р. Застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечує збільшення її до 4,32 т/га. За умови застосування подвійної дози азотних добрив врожайність становить 4,15–4,61 т/га. Проведення інокуляції насіння перед сівбою забезпечує отримання 0,54–0,60 т/га насіння порівняно з ділянками без добрив.

Найменше врожайність зростає від застосування фосфорних і калійних добрив. Варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижують урожайність насіння порівняно з повним мінеральним добривом.

Внесення азоту в дозі 30 кг/га дають незначне підвищення вмісту білка в порівнянні з контролем – 38,3 %. Це демонструє позитивний вплив азотних добрив, але без суттєвих змін порівняно з інтенсивними схемами удобрення. Внесення азоту в дозі 60 кг/га забезпечує значне підвищення вмісту білка – 39,0 %, що вказує про більший вплив азоту на синтез білка. Внесення фосфору та калію в дозі по 60 кг/га забезпечує результати схожі з контролем – 38,0 %, що свідчить про незначний вплив фосфорних і калійних добрив на вміст білка порівняно з азотом. Азот разом з калієм має більш позитивний вплив на синтез білка. Комбінація азоту і калію по 60 кг/га кожного зумовлює формування вмісту білка на рівні 39,1 %. Комбінація азоту і фосфору по 60 кг/га підвищує вміст білка до 39,1 %, що свідчить про позитивну взаємодію азоту і фосфору.

Внесення азоту в дозі 30 кг/га разом з інокуляцією збільшує рівень білка до 39,0 %, що свідчить про позитивну взаємодію азотних добрив та інокуляції. Внесення азоту в дозі 60 кг/га з інокуляцією значно підвищує рівень білка до 39,4 %, що є одним із найкращих результатів. Фосфор і калій по 60 кг/га в поєднанні з інокуляцією забезпечують рівень білка на рівні 38,6 %. Він схожий до варіанту без інокуляції, але з трохи вищими показниками завдяки азотфіксації. Комбінація азоту і калію по 60 кг/га та інокуляції забезпечує рівень білка на рівні 39,5 %, що свідчить про значний вплив азотфіксуючих бактерій та

макроелементів. Поєднання азоту та фосфору по 60 кг/га з інокуляцією підвищує вміст білка до 39,6 %, що є одним із найкращих результатів дослідження. Комбінація всіх трьох елементів у дозі 30 кг/га кожного разом з інокуляцією підвищує рівень білка до 39,2 %. Найінтенсивніший варіант з інокуляцією 60 кг/га кожного елемента показує найвищий рівень білка – 39,7 %. Це демонструє максимальну ефективність інтенсивних добрив у поєднанні з інокуляцією.

Результати розділу опубліковано в працях [206, 149, 151].

РОЗДІЛ 5

ЗАСВОЄННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИНАМИ СОЇ І БАЛАНС ЇХ У ҐРУНТІ ЗА РІЗНОГО УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ

5.1 Параметри азотної складової

Унікальні симбіотичні відносини між рослинами сої і бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* забезпечують більшу частину необхідного азоту [38]. Біологічна азотфіксація є одним із найважливіших екологічних та економічних процесів, що впливає на виробництво сої та її урожайність зростала впродовж останніх десятиліть [141]. Проте існує сумнів, чи зможе сама біологічна азотфіксація забезпечити достатню кількість азоту та підтримувати якість насіння за вищих рівнів продуктивності [146]. Симбіотичний азотфіксувальний апарат сої зазвичай починає утворюватися невдовзі після появи сходів, але активна фіксація азоту почнеться лише на стадіях росту від V_2 до V_3 [13]. Максимальна фіксація N_2 через біологічну азотфіксацію відбувається між стадіями росту R_3 і R_5 , а зменшення спостерігається між R_5 і R_7 [43], що потенційно обмежує доступність азоту під час досягання насіння. Вважається, що біологічна фіксація азоту забезпечує близько 60 % необхідного азоту для рослин сої, решта кількості надходить із ґрунту та з внесених добрив [38]. Використання ризобактерій, що стимулюють ріст рослин, може бути альтернативою для усунення можливого дефіциту азоту для сої і в той же час зменшувати вплив на довкілля.

Azospirillum brasilense, азотфіксувальний діазотроф [8], який у симбіотичних зв'язках може стимулювати формування корневих волосків і ріст коренів завдяки виробництву фітогормону індол-3-оцтової кислоти. Це збільшує поглинання рослинами води і поживних речовин [4]. Рослини сої, інокульовані штамами *Bradyrhizobium japonicum* і *Azospirillum brasilense*, що

також називають ко-інокуляцією, може сприяти збільшенню росту рослин і біологічної азотфіксації порівняно з інокуляцією лише *Bradyrhizobium japonicum* [18]. Спільна інокуляція цими двома бактеріями може призвести до збільшення фіксації N_2 [22]. Дослідження, проведені в Бразилії, показали подібні тенденції [25]. Проведення ко-інокуляції з *Bradyrhizobium* spp. і *Azospirillum brasilense* в Бразилії показали значне збільшення маси коренів, кількості бульбочок і їх маси, вмісту азоту у вегетаційній масі та врожайності насіння в системах no-till на ґрунтах легкого гранулометричного складу за врожайності менш як 3,50 т/га [3]. В іншому експерименті порівнювали ко-інокуляцію (*Bradyrhizobium japonicum* і *Azospirillum brasilense*) з одноразовою інокуляцією *Bradyrhizobium japonicum*, а також без інокуляції за внесення 200 кг/га д. р. азотних добрив. Спільна обробка забезпечила значно більший врожай, ніж лише *Bradyrhizobium japonicum*, за різних умов середовища і не відрізнялася від застосування азотних добрив [26].

У США проведений упродовж 25 років дослід показав позитивний вплив спільної інокуляції на врожайність лише на трьох ділянках [10]. Якщо доступного азоту в ґрунті недостатньо для задоволення потреб рослин на початку росту, коли біологічна азотфіксація ще не відбувається, мала доза азотних добрив може бути корисною для стимулювання росту рослин [23], однак удобрення азотом на початку вегетації може зменшити біологічну азотфіксацію. Додаткове внесення азотних добрив сприяє досягненню максимальної врожайності, коли потреба в азоті не задовольняється надходженням азоту з ґрунту та біологічною азотфіксацією [38]. Активність біологічної азотфіксації може бути обмежена низкою умов навколишнього середовища, такими як вологість і ущільнення ґрунту, рН ґрунтового розчину, температура, шкідники і хвороби. Застосування азотних добрив у кінці вегетації може збільшити вміст білка в насінні сої [5].

Взаємозв'язок сої з бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* сприяє забезпеченню рослин азотом приблизно 60 % від загальної потреби, а решта

його надходить із ґрунту або добрив. Коли азотні добрива вносили у дозі 112 кг/га д. р., утворення бульбочок значно пригнічувалося. Ко-інокуляція збільшувала кількість великих бульбочок і їх об'єм, проте врожайність не відрізнялася від інокуляції *Bradyrhizobium japonicum*. Застосування азотних добрив у дозі 112 і 336 кг/га д. р. підвищувало врожайність насіння, його масу та вихід протеїну. Виходячи з поліноміального співвідношення, найвища врожайність (3,71 т/га) була досягнута за внесення 273 кг/га азоту, але за низького економічного ефекту [2].

Отже, з урахуванням значних відмінностей щодо ефективності удобрення та проведення інокуляції необхідно проводити додаткові дослідження ефективності формування продуктивності сої за різного сценарію вирощування.

Проведеними дослідженнями встановлено, що вміст азоту в насінні сої під час збирання врожаю залежав від різних чинників (табл. 5.1). Як видно з даних табл. 5.1, вміст азоту в насінні був досить високим і змінювався від 6,33 до 7,09 % на суху масу залежно від удобрення, інокуляції та погодних умов вегетаційного періоду. Найнижчий вміст азоту в насінні формували рослини сої на ділянках без добрив і на фосфорно-калійному тлі (варіант $P_{60}K_{60}$). Внесення невисокої дози азотних добрив (варіант N_{30}) також не сприяло достовірному підвищенню вмісту азоту в насінні. При цьому в середньому за три роки проведення досліджень відмічена лише тенденція його підвищення – на 1 %. Проте вже за збільшення дози азотних добрив удвічі (варіант N_{60}) вміст азоту в насінні сої збільшувався з 6,67 до 6,84 % на суху масу або на 3 %.

Таблиця 5.1

**Вміст азоту в насінні сої залежно від удобрення та інокуляції,
% на суху масу**

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник В)					
Без добрив (контроль)		6,33	6,81	6,88	6,67
N ₃₀		6,35	6,84	6,98	6,73
N ₆₀		6,46	7,04	7,04	6,84
P ₆₀ K ₆₀		6,33	6,82	6,84	6,67
N ₆₀ K ₆₀		6,49	7,05	7,04	6,86
N ₆₀ P ₆₀		6,51	7,05	7,02	6,86
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		6,44	6,88	6,96	6,76
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		6,53	7,05	7,05	6,88
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		6,51	7,07	7,04	6,87
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		6,53	7,05	7,05	6,88
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		6,53	7,07	7,04	6,88
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		6,51	6,91	6,89	6,77
N ₃₀		6,58	6,98	6,96	6,84
N ₆₀		6,68	7,05	7,02	6,92
P ₆₀ K ₆₀		6,53	6,91	6,86	6,77
N ₆₀ K ₆₀		6,70	7,05	7,02	6,92
N ₆₀ P ₆₀		6,72	7,07	7,05	6,95
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		6,65	7,00	7,00	6,88
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		6,75	7,09	7,04	6,96
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		6,70	7,05	7,05	6,94
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		6,74	7,07	7,04	6,95
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		6,75	7,07	7,02	6,95
HIP ₀₅	A	0,17	0,18	0,17	—
	B	0,15	0,15	0,13	—

На три парних комбінацій основних елементів живлення в середньому за три роки проведення досліджень найбільший вміст азоту в насінні накопичувався на азотно-калійному та азотно-фосфорному тлі – 6,86 % на суху масу. Зміна дози повного мінерального добрива, поєднання в ньому основних елементів живлення достовірно не впливало на цей показник і він був у межах 6,87–6,88 % на суху масу. Зі зменшенням дози внесення

мінеральних добрив удвічі (варіант $N_{30}P_{30}K_{30}$) спостерігалась тенденція зниження вмісту азоту в насінні сої з 6,88 до 6,67 % на суху масу.

За проведення інокуляції насіння сої азотфіксуючими бактеріями на тлі різних систем застосування добрив не спостерігалось суттєвих змін вмісту азоту в насінні сої. Це можна пояснити як посушливими погодними умовами у роки проведення досліджень, так і кислотністю ґрунтового розчину.

Як видно з даних таблиці 5.1, в умовах 2022 року проведення інокуляції сприяло достовірному підвищенню вмісту азоту в насінні в усіх варіантах досліду, незалежно, чи вносили лише азотні добрива (варіант N_{60}), чи повне мінеральне добриво (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$). В умовах 2023 і 2024 років інокуляція достовірно не впливала на накопичення азоту в насінні сої. Навіть на тлі удобрення за цих погодних умов вегетаційного періоду майже не впливало на цей показник.

У середньому за три роки проведення досліджень найвищий вміст азоту формувався в насінні сої на ділянках досліду з внесенням азотних добрив у дозі 60 кг/га д. р. і проведення інокуляції. Так, порівняно з контролем без внесення добрив на тлі повного мінерального добрива (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) і проведення інокуляції насіння азотфіксуючими бактеріями вміст азоту в насінні підвищувався з 6,67 % до 6,96 % на суху масу. Незначне підвищення можна пояснити посушливими умовами вегетаційного періоду, кислотністю ґрунтового розчину та відносно невисокою дозою внесення азотних добрив на тлі заробляння в ґрунт нетоварного врожаю культур польової сівозміни. Соя висівається в сівозміні після кукурудзи, яка залишає після себе в ґрунті велику масу післязбиральних і корневих решток. Крім того, низьку ефективність інокуляції також можна пояснити тривалим вирощуванням сої у короткоротаційній сівозміні, де вона повертається на поле через три роки. При цьому в ґрунті за таких умов накопичується значна кількість аборигенних бульбочкових бактерій, які конкурують з культурними їх

штамами.

Порівняно з іншими сільськогосподарськими культурами, в стеблах сої міститься мало азоту. Як видно з даних табл. 5.2, залежно від системи застосування добрив, інокуляції насіння азотфіксувальними бактеріями, погодних умов. вміст азоту в насінні сої змінювався від 0,28 % до 0,45 % на суху масу або змінювався на 61 %.

Таблиця 5.2

**Вміст азоту в стеблах сої залежно від удобрення та інокуляції,
% на суху масу**

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник В)					
Без добрив (контроль)		0,28	0,29	0,36	0,31
N ₃₀		0,30	0,30	0,39	0,33
N ₆₀		0,32	0,32	0,41	0,35
P ₆₀ K ₆₀		0,28	0,29	0,35	0,31
N ₆₀ K ₆₀		0,32	0,33	0,42	0,36
N ₆₀ P ₆₀		0,32	0,33	0,42	0,36
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		0,31	0,31	0,41	0,34
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		0,33	0,34	0,43	0,37
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		0,33	0,35	0,43	0,37
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		0,32	0,34	0,42	0,36
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		0,33	0,34	0,43	0,37
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		0,29	0,32	0,37	0,33
N ₃₀		0,31	0,35	0,40	0,35
N ₆₀		0,33	0,36	0,41	0,37
P ₆₀ K ₆₀		0,29	0,33	0,37	0,33
N ₆₀ K ₆₀		0,33	0,37	0,43	0,38
N ₆₀ P ₆₀		0,34	0,37	0,44	0,38
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		0,32	0,35	0,42	0,36
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		0,35	0,38	0,45	0,39
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		0,34	0,37	0,44	0,38
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		0,34	0,37	0,44	0,38
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		0,35	0,38	0,45	0,39
HIP ₀₅	A	0,01	0,01	0,01	—
	B	0,01	0,01	0,01	—

У середньому за три роки проведення досліджень на ділянках досліду де висівалося неінокульоване насіння, вміст азоту в стеблах сої був у межах 0,31–0,37 % або змінювався на 19 %. Як і в насінні сої, так і в стеблах найбільший вплив на цей показник мало внесення азотних добрив. Внесення лише фосфорних і калійних добрив не впливало на вміст азоту в стеблах сої. Зменшення дози повного мінерального добрива вдвічі – до $N_{30}P_{30}K_{30}$ вміст азоту в стеблах був 0,34 % на суху масу, що на 8 % менше, ніж у виробничому контролі (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$).

Рівень показника вмісту азоту в стеблах сої залежав від погодних умов року проведення досліджень і змінювався в широких межах – від 0,28 % до 0,36 % на суху масу на ділянках досліду без добрив або на 29 %, а на ділянках виробничого контролю (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) – від 0,33 до 0,43 % на суху масу, або на 30 %.

На відміну від насіння, інокуляція бульбочковими бактеріями за всіх систем застосування добрив і погодних умов сприяла підвищенню вмісту азоту в стеблах сої на 0,1–0,4 % на суху масу. В середньому за три роки проведення досліджень інокуляція насіння сої сприяла підвищенню вмісту азоту в стеблах на ділянках без добрив з 0,31 до 0,33 %, а у варіанті виробничого контролю – з 0,37 до 0,39 % на суху масу.

Отже, вміст азоту в стеблах сої залежить як від застосування удобрювальних продуктів, так і від погодних умов вегетаційного періоду.

Встановлено, що застосування добрив значно впливало на господарське винесення азоту з урожаєм насіння сої (табл. 5.3). У середньому за три роки проведення досліджень господарське винесення азоту збільшувалось від 146,4 кг/га у варіанті без добрив до 177,8–191,1 кг/га за азотних систем і до 189,4–205,2 кг/га за внесення повного мінерального добрива. При цьому азотна складова повного мінерального добрива найбільше впливала на цей показник.

Таблиця 5.3

**Господарське винесення азоту з урожаєм насіння посівами сої
залежно від інокуляції та удобрення, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	139,3	215,9	83,9	146,4
N ₃₀	202,6	236,0	94,9	177,8
N ₆₀	215,8	257,0	100,7	191,1
P ₆₀ K ₆₀	155,1	232,6	85,5	157,7
N ₆₀ K ₆₀	220,7	260,9	101,4	194,3
N ₆₀ P ₆₀	218,7	270,0	102,5	197,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	209,9	261,4	96,7	189,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	227,2	286,2	102,2	205,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	223,3	284,2	103,5	203,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	226,6	282,0	102,2	203,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	225,9	285,6	102,8	204,8
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	176,4	251,5	86,1	171,4
N ₃₀	244,1	279,2	97,4	206,9
N ₆₀	257,8	286,2	101,8	215,3
P ₆₀ K ₆₀	193,9	276,4	87,8	186,0
N ₆₀ K ₆₀	262,6	292,6	103,2	219,5
N ₆₀ P ₆₀	260,7	306,1	105,0	224,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	251,4	314,3	105,0	223,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	270,0	324,7	104,2	233,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	265,3	320,1	105,0	230,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	269,6	323,1	105,6	232,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	268,7	323,8	105,3	232,6

У варіантах досліджу застосування парних комбінацій основних елементів живлення та варіанті досліджу з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив простежувалось незначне зменшення господарського винесення азоту порівняно з повним мінеральним добривом (варіант N₆₀P₆₀K₆₀).

Найменше на господарське винесення азоту соєю впливало застосування лише фосфорних і калійних добрив, оскільки воно збільшувалося лише на 8 % порівняно з ділянками без добрив.

Необхідно відзначити, що господарське винесення азоту також сильно

змінювалось від погодних умов року дослідження. Так, у 2023 р. господарське винесення азоту змінювалось від 215,9 до 284,2 кг/га, у 2022 р. – від 139,3 до 227,2, а в 2024 р. – від 83,9 до 103,5 кг/га залежно від варіанту досліду. перш за все різний рівень врожаю насіння зумовлює величину господарського винесення азоту.

Проведення інокуляції значно підвищувало господарське винесення азоту з урожаєм насіння. Рівень господарського винесення був на 14–17 % вищим порівняно з ділянками досліду без інокуляції. При цьому тенденція впливу систем удобрення як у середньому, так і за роки досліджень була подібною.

Встановлено, що застосування добрив значно менше впливало на господарське винесення азоту з урожаєм стебел сої порівняно з насінням (табл. 5.4). При цьому рівень цього показника був у 9–11 рази нижчим порівняно з господарським винесенням азоту з насінням. У середньому за три роки господарське винесення азоту збільшувалось від 13,3 кг/га у варіанті без добрив до 15,7–18,9 кг/га за азотних систем удобрення та до 17,4–21,4 кг/га за внесення різних доз повного мінерального добрива. При цьому азотна складова повного мінерального добрива також найбільше впливала на цей показник.

У варіантах досліду із застосування парних комбінацій та варіанти із неповним поверненням фосфору й калію з добрив простежувалося незначне зменшення господарського винесення азоту порівняно з повним мінеральним добривом (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$).

Найменше на господарське винесення азоту соломою впливало застосування лише фосфорних і калійних добрив, оскільки він збільшувався лише на 5 % порівняно з ділянками без добрив.

Таблиця 5.4

**Господарське винесення азоту з урожаєм стебел посівами сої
залежно від інокуляції та удобрення, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	13,7	20,4	5,8	13,3
N ₃₀	20,5	21,1	5,6	15,7
N ₆₀	23,6	26,7	6,4	18,9
P ₆₀ K ₆₀	16,0	21,0	5,0	14,0
N ₆₀ K ₆₀	24,4	28,0	6,6	19,7
N ₆₀ P ₆₀	24,2	29,0	6,6	19,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	21,7	24,5	6,0	17,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	26,0	31,7	6,6	21,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	25,4	32,5	6,7	21,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	25,0	31,2	6,6	20,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	25,7	31,6	6,8	21,3
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	16,9	24,5	6,0	15,8
N ₃₀	23,7	28,9	6,0	19,6
N ₆₀	27,1	32,9	6,8	22,3
P ₆₀ K ₆₀	19,2	28,4	5,2	17,6
N ₆₀ K ₆₀	28,1	34,8	7,1	23,3
N ₆₀ P ₆₀	28,7	36,1	7,3	24,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	25,2	31,7	6,4	21,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30,8	39,6	7,4	25,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	29,3	37,7	7,3	24,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	29,6	38,1	7,3	25,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	30,5	39,4	7,4	25,7

Необхідно відзначити, що господарське винесення азоту з соломкою також сильно змінювалось від погодних умов року дослідження. Так, у 2023 р. воно змінювалось від 13,7 до 26,0 кг/га, у 2022 р. – від 20,4 до 31,7, а в 2024 р. – від 5,8 до 6,6 кг/га залежно від варіанту досліджу.

Проведення інокуляції значно підвищувало господарське винесення азоту з урожаєм стебел сої. Рівень господарського винесення був на 19–21 % вищим порівняно з ділянками без інокуляції. При цьому тенденція впливу систем удобрення як у середньому, так і за роки досліджень була подібною.

Встановлено, що застосування добрив значно впливало на господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої (табл. 5.5). У середньому за три роки проведення досліджень господарське винесення азоту збільшувалось від 159,6 кг/га у варіанті досліду без добрив до 193,5–210,0 кг/га за азотних систем удобрення та до 206,7–226,6 кг/га за внесення повного мінерального добрива. При цьому азотна складова повного мінерального добрива найбільше впливала на цей показник.

Таблиця 5.5

Господарське винесення азоту з урожаєм насіння й стебел посівами сої залежно від інокуляції та удобрення, кг/га

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	153,0	236,3	89,7	159,6
N ₃₀	223,1	257,1	100,5	193,5
N ₆₀	239,4	283,7	107,1	210,0
P ₆₀ K ₆₀	171,1	253,6	90,5	171,7
N ₆₀ K ₆₀	245,1	288,9	108,0	214,0
N ₆₀ P ₆₀	242,9	299,0	109,1	217,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	231,6	285,9	102,7	206,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	253,2	317,9	108,8	226,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	248,7	316,7	110,2	225,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	251,6	313,2	108,8	224,5
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	251,6	317,2	109,6	226,1
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	193,3	276,0	92,1	187,2
N ₃₀	267,8	308,1	103,4	226,5
N ₆₀	284,9	319,1	108,6	237,6
P ₆₀ K ₆₀	213,1	304,8	93,0	203,6
N ₆₀ K ₆₀	290,7	327,4	110,3	242,8
N ₆₀ P ₆₀	289,4	342,2	112,3	248,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	276,6	346,0	111,4	244,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	300,8	364,3	111,6	258,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	294,6	357,8	112,3	254,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	299,2	361,2	112,9	257,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	299,2	363,2	112,7	258,3

Застосування парних комбінацій основних елементів живлення та

варіанти дослідів із неповним поверненням фосфорних і калійних добрив забезпечували незначне зменшення господарського винесення азоту порівняно з повним мінеральним добривом (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$).

Найменше на господарське винесення азоту впливало застосування фосфорно-калійної системи удобрення, оскільки воно збільшувалося лише на 8 % порівняно з ділянками без добрив.

Необхідно відзначити, що господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої також сильно змінювалось від погодних умов року проведення дослідження. Так, у 2023 р. господарське винесення азоту змінювалось від 236,3 до 317,9 кг/га, у 2022 р. – від 153,0 до 253,2, а в 2024 р. – від 89,7 до 108,8 кг/га залежно від варіанту дослідів. Очевидно, що різний рівень урожаю насіння та стебел зумовлює великий діапазон зміни господарського винесення.

Проведення інокуляції насіння сої значно підвищувало господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел. Рівень господарського винесення був на 14–17 % вищим порівняно з ділянками без інокуляції. При цьому тенденція впливу систем удобрення як у середньому, так і за роки досліджень була подібною.

Важливим показником у розрахунку балансу елементів живлення в ґрунті, доз внесення добрив і для розроблення системи удобрення є частка участі певного елементу живлення у формуванні господарського винесення основних елементів живлення. Як показали проведені розрахунки, частка азоту в цьому показнику залежала в більшій мірі від погодних умов, ніж від систем застосування добрив і змінювалася в межах 47,0–57,5 % (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Частка азоту в господарському винесенні сою основних елементів живлення ($N + P_2O_5 + K_2O$) залежно від удобрення та інокуляції, %

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	48,6	50,4	57,3	52,1
N ₃₀	49,5	51,8	57,8	53,0
N ₆₀	49,6	50,9	58,0	52,8
P ₆₀ K ₆₀	46,8	49,4	55,4	50,5
N ₆₀ K ₆₀	48,4	49,9	57,1	51,8
N ₆₀ P ₆₀	47,7	48,9	56,3	51,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	48,8	50,2	57,2	52,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	47,0	47,9	55,6	50,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	48,1	48,9	57,0	51,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	47,7	48,5	55,9	50,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	48,0	49,1	56,7	51,2
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	50,0	51,9	57,3	53,1
N ₃₀	51,0	52,4	57,5	53,6
N ₆₀	51,0	51,4	57,2	53,2
P ₆₀ K ₆₀	48,3	49,6	55,7	51,2
N ₆₀ K ₆₀	49,5	50,2	56,6	52,1
N ₆₀ P ₆₀	48,9	49,4	56,0	51,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	50,0	51,3	57,5	52,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	48,0	48,3	54,8	50,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	49,2	49,4	56,2	51,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	48,9	48,9	55,7	51,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	49,4	49,6	56,4	51,8

У середньому за три роки проведення досліджень на ділянках досліджу без проведення інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями частка азоту в господарському винесенні $N + P_2O_5 + K_2O$ становила 50,2–53,0 % залежно від доз і поєднань видів мінеральних добрив і була найменшою у виробничому контролі (варіант N₆₀P₆₀K₆₀). Проведення інокуляції сої бульбочковими бактеріями сприяло збільшенню цього показника відповідно до 50,4–53,6 %. Аналогічні закономірності простежувалися в усі роки проведення досліджень. при цьому найбільша частка азоту в господарському

винесенні основних елементів живлення була в умовах 2024 року, коли був сформований найнижчий рівень продуктивності сої. В умовах 2022 року цей показник на ділянках виробничого контролю становив лише 47,0 % і 48,0 % відповідно за проведення інокуляції насіння.

Для розрахунку балансу азоту в ґрунті, за умови залишення стебел сої на полі на добриво, важливим показником є винесення азоту з 1 т насіння. Як показали проведені розрахунки, цей показник залежно від погодних умов вегетаційного періоду, систем застосування удобрювальних продуктів змінювався від 63,3 до 70,5 кг/т насіння або на 11 % (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Винесення азоту з урожаєм насіння сої залежно від удобрення та інокуляції, кг/т

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	63,3	68,1	68,8	66,7
N ₃₀	63,5	68,4	69,8	67,2
N ₆₀	64,6	70,4	70,4	68,5
P ₆₀ K ₆₀	63,3	68,2	68,4	66,6
N ₆₀ K ₆₀	64,9	70,5	70,4	68,6
N ₆₀ P ₆₀	65,1	70,5	70,2	68,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	64,4	68,8	69,6	67,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	65,3	70,5	70,5	68,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	65,1	70,7	70,4	68,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	65,3	70,5	70,5	68,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	65,3	70,7	70,4	68,8
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	65,1	69,1	68,9	67,7
N ₃₀	65,8	69,8	69,6	68,4
N ₆₀	66,8	70,5	70,2	69,2
P ₆₀ K ₆₀	65,3	69,1	68,6	67,7
N ₆₀ K ₆₀	67,0	70,5	70,2	69,2
N ₆₀ P ₆₀	67,2	70,7	70,5	69,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	66,5	70,0	70,0	68,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	67,5	70,9	70,4	69,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	67,0	70,5	70,5	69,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	67,4	70,7	70,4	69,5
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	67,5	70,7	70,2	69,5

Як видно з даних табл. 5.7, у середньому за три роки проведення досліджень на ділянках досліду з внесенням лише мінеральних добрив з 1 т сої виноситься з ґрунту 66,7–68,8 кг азоту, тоді як проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями підвищувало цей показник до 67,7–69,6 % залежно від варіанту досліду. Найбільший вплив на винесення азоту насінням мало поліпшення азотного живлення рослин, тоді як поліпшення фосфорного й калійного живлення на тлі азотного було незначним.

Погодні умови вегетаційного періоду більше, ніж системи удобрення впливали на винесення азоту з 1 т насіння сої. Так, на контрольних ділянках воно змінювалося від 63,3 до 68,8 кг/т або на 9 %, а у виробничому контролі з проведенням інокуляції відповідно з 67,5 до 70,9 кг/т або на 5 %. Ці дані свідчать, що поліпшення мінерального живлення рослин сої згладжує негативний вплив погодних умов вегетаційного періоду на накопичення азоту в урожаї насіння.

Як видно з даних табл. 5.8, соя порівняно з іншими польовими культурами накопичує в одиниці нетоварного врожаю значно менше азоту. Залежно від умов вегетаційного періоду та систем застосування удобрювальних продуктів в 1 т стебел сої містилося 2,8–4,5 кг азоту, тобто зміни становили 61 %. Як і в насінні, так і в стеблах найбільший вплив на цей показник мали погодні умови, а також умови азотного живлення рослин. Вплив фосфорних і калійних добрив, як на тлі інокуляції насіння бульбочковими бактеріями, так і без неї, був незначним. Інокуляція сприяла збільшенню накопиченню азоту в стеблах з ділянок досліду без добрив – з 3,1 до 3,3 кг/т або на 6 %, а на виробничому контролі (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) – з 3,7 до 3,9 кг/т або на 5 %.

Таблиця 5.8

Винесення азоту з урожаєм стебел сої залежно від удобрення та інокуляції, кг/т

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	2,8	2,9	3,6	3,1
N ₃₀	3,0	3,0	3,9	3,3
N ₆₀	3,2	3,2	4,1	3,5
P ₆₀ K ₆₀	2,8	2,9	3,5	3,1
N ₆₀ K ₆₀	3,2	3,3	4,2	3,6
N ₆₀ P ₆₀	3,2	3,3	4,2	3,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,1	3,1	4,1	3,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,3	3,4	4,3	3,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	3,3	3,5	4,3	3,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	3,2	3,4	4,2	3,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,3	3,4	4,3	3,7
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	2,9	3,2	3,7	3,3
N ₃₀	3,1	3,5	4,0	3,5
N ₆₀	3,3	3,6	4,1	3,7
P ₆₀ K ₆₀	2,9	3,3	3,7	3,3
N ₆₀ K ₆₀	3,3	3,7	4,3	3,8
N ₆₀ P ₆₀	3,4	3,7	4,4	3,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,2	3,5	4,2	3,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,5	3,8	4,5	3,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	3,4	3,7	4,4	3,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	3,4	3,7	4,4	3,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,5	3,8	4,5	3,9

Не дивлячись на те, що господарське винесення азоту врожаєм сої у роки проведення досліджень змінювалося в широких межах, відносно його винесення на одиницю основної продукції і відповідну кількість нетоварної було досить стабільним (табл. 5.9).

Таблиця 5.9

**Відносне винесення азоту соєю залежно від удобрення та інокуляції,
кг/т насіння та відповідної кількості стебел**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	69,5	74,5	73,5	72,5
N ₃₀	69,9	74,5	73,9	72,8
N ₆₀	71,7	77,7	74,8	74,7
P ₆₀ K ₆₀	69,8	74,3	72,4	72,2
N ₆₀ K ₆₀	72,1	78,1	74,9	75,0
N ₆₀ P ₆₀	72,3	78,1	74,7	75,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	71,1	75,2	73,9	73,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	72,8	78,3	75,1	75,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	72,5	78,8	74,9	75,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	72,5	78,3	75,0	75,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	72,7	78,5	75,0	75,4
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	71,3	75,9	73,7	73,6
N ₃₀	72,2	77,0	73,9	74,4
N ₆₀	73,8	78,6	74,9	75,8
P ₆₀ K ₆₀	71,7	76,2	72,7	73,5
N ₆₀ K ₆₀	74,2	78,9	75,0	76,0
N ₆₀ P ₆₀	74,6	79,0	75,4	76,3
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	73,2	77,1	74,3	74,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	75,2	79,5	75,4	76,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	74,4	78,8	75,4	76,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	74,8	79,0	75,2	76,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	75,2	79,3	75,1	76,5

Як видно з даних табл. 5.9, цей показник змінювався від 69,5 до 79,5 кг/т або на 14 %. Різниця у відносному винесенні азоту була ще меншою в середньому за три роки проведення досліджень за різних систем застосування добрив – від 72,5 до 75,4 кг/т або зміни були у межах 4 %. При цьому найбільше на цей показник впливали добрива умови азотного живлення рослин сої, тоді як вплив поліпшення фосфорного та калійного живлення був незначним. Зменшення в складі повного мінерального добрива дози фосфору і калію не впливало на цей показник.

Оброблення насіння сої препаратами бульбочкових бактерій сприяло підвищенню показника відносного винесення азоту. Так, у варіанті досліду абсолютного контролю цей показник у середньому за три роки проведення досліджень збільшувався з 72,5 кг/т до 73,6 кг/т або лише на 2 %. У варіанті досліду виробничого контролю ($N_{60}P_{60}K_{60}$) та проведення інокуляції насіння показник відносного винесення азоту зростав до 76,7 кг/т або на 6 %.

Отже, за результатами проведених досліджень і зроблених розрахунків, можна зробити висновок, що показник відносного винесення азоту 1 т насіння сої і відповідною кількістю стебел є досить стабільним.

Соя, як зернобобова культура, містить в основній і нетоварній частині врожаю високий вміст азоту. При видаленні врожаю з поля проходить значне збіднення ним ґрунту (табл. 5.10). Як видно з даних табл. 5.10, залежно від урожайності насіння та стебел сої, рівня застосування добрив, особливо азотних, а також проведення передпосівної інокуляції насіння бульбочковими бактеріями баланс азоту в ґрунті складався різко дефіцитним. За умови видалення поряд з урожаєм насіння і стебел з поля баланс азоту був у межах -47,0...-304,8 кг/га залежно від погодних умов року та систем застосування удобрювальних продуктів. Порівняно з системою удобрення, погодні умови в більшій мірі впливали на цей показник. Так, у варіанті досліду абсолютного контролю залежно від умов року баланс азоту був -89,7...-236,3 кг/га та погіршувався за проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями до -92,1...-276,0 кг/га або на 3–17 %.

Таблиця 5.10

**Баланс азоту в ґрунті під посівами сої залежно від інокуляції та
удобрення, кг/га**

Варіант досліду	Рік проведення дослідження					
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
	За умови видалення стебел з поля			За умови залишення стебел на полі		
Без інокуляції						
Без добрив (контроль)	-153,0	-236,3	-89,7	-139,3	-215,9	-83,9
N ₃₀	-193,1	-227,1	-70,5	-172,6	-206,0	-64,9
N ₆₀	-179,4	-223,7	-47,1	-155,8	-197,0	-40,7
P ₆₀ K ₆₀	-171,1	-253,6	-90,5	-155,1	-232,6	-85,5
N ₆₀ K ₆₀	-185,1	-228,9	-48,0	-160,7	-200,9	-41,4
N ₆₀ P ₆₀	-182,9	-239,0	-49,1	-158,7	-210,0	-42,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-201,6	-255,9	-72,7	-179,9	-231,4	-66,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-193,2	-257,9	-48,8	-167,2	-226,2	-42,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	-188,7	-256,7	-50,2	-163,3	-224,2	-43,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	-191,6	-253,2	-48,8	-166,6	-222,0	-42,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	-191,6	-257,2	-49,6	-165,9	-225,6	-42,8
З інокуляцією						
Без добрив (контроль)	-193,3	-276,0	-92,1	-176,4	-251,5	-86,1
N ₃₀	-237,8	-278,1	-73,4	-214,1	-249,2	-67,4
N ₆₀	-224,9	-259,1	-48,6	-197,8	-226,2	-41,8
P ₆₀ K ₆₀	-213,1	-304,8	-93,0	-193,9	-276,4	-87,8
N ₆₀ K ₆₀	-230,7	-267,4	-50,3	-202,6	-232,6	-43,2
N ₆₀ P ₆₀	-229,4	-282,2	-52,3	-200,7	-246,1	-45,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-246,6	-316,0	-81,4	-221,4	-284,3	-75,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-240,8	-304,3	-51,6	-210,0	-264,7	-44,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	-234,6	-297,8	-52,3	-205,3	-260,1	-45,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	-239,2	-301,2	-52,9	-209,6	-263,1	-45,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	-239,2	-303,2	-52,7	-208,7	-263,8	-45,3

Внесення азотних добрив під сою, порівняно з фосфорними і калійними добривами, за виключенням 2024 року, погіршувало баланс азоту. В умовах 2024 року застосування під сою N₆₀P₆₀K₆₀ і проведення інокуляції насіння сприяло поліпшенню показника балансу азоту з -92,1 кг/га до -51,6 кг/га або на 44 %. З цього погляду ефективними були й інші варіанти дослідку з

внесенням азотних добрив у дозі 60 кг/га д. р.

В умовах 2023 року була сформована найвища продуктивність сої за роки проведення досліджень, тому і баланс азоту був найбільш різко дефіцитним і в низці варіантів досліду, як видно з даних табл. 5.10, перевищував -300 кг/га.

За умови залишення стебел на полі на добриво під час збирання врожаю баланс азоту дещо поліпшувався, але залишався в усіх варіантах досліду і в усі роки проведення досліджень різко дефіцитним. Так, на ділянках абсолютного контролю в умовах 2022 року він змінився з -153,0 кг/га до -139,3 кг/га або поліпшився на 9 %. У варіанті досліду виробничого контролю та інокуляції насіння бульбочковими бактеріями у цьому ж році показники балансу азоту змінювалися відповідно з -240,8 до -210,0 кг/га або поліпшувалися на 13 %. Це свідчить, що в ґрунті залишається більше азоту.

Розрахована інтенсивність балансу азоту свідчить про недостатнє його повернення в ґрунт (табл. 5.11). При цьому величина цього показника також значно змінюється залежно від року проведення дослідження. На тлі залишення стебел сої на полі інтенсивність балансу була дещо вищою, проте залишалася дефіцитною. Показник дефіцитності балансу на тлі проведення інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями змінювався подібно до ділянок без її проведення.

Таблиця 5.11

**Інтенсивність балансу азоту в ґрунті під посівами сої залежно від
інокуляції та удобрення, %**

Варіант дослідів	Рік проведення дослідження					
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
	За умови видалення стебел з поля			За умови залишення стебел на полі		
Без інокуляції						
N ₃₀	13,4	11,7	29,9	14,8	12,7	31,6
N ₆₀	25,1	21,1	56,0	27,8	23,3	59,6
N ₆₀ K ₆₀	24,5	20,8	55,6	27,2	23,0	59,2
N ₆₀ P ₆₀	24,7	20,1	55,0	27,4	22,2	58,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13,0	10,5	29,2	14,3	11,5	31,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	23,7	18,9	55,1	26,4	21,0	58,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	24,1	18,9	54,4	26,9	21,1	58,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	23,8	19,2	55,1	26,5	21,3	58,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	23,8	18,9	54,7	26,6	21,0	58,4
З інокуляцією						
N ₃₀	11,2	9,7	29,0	12,3	10,7	30,8
N ₆₀	21,1	18,8	55,2	23,3	21,0	58,9
N ₆₀ K ₆₀	20,6	18,3	54,4	22,8	20,5	58,1
N ₆₀ P ₆₀	20,7	17,5	53,4	23,0	19,6	57,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	10,8	8,7	26,9	11,9	9,5	28,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19,9	16,5	53,8	22,2	18,5	57,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	20,4	16,8	53,4	22,6	18,7	57,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	20,1	16,6	53,1	22,3	18,6	56,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	20,1	16,5	53,2	22,3	18,5	57,0

Отже, господарське винесення азоту соєю з урожаєм значно залежить

від удобрення рівень якого визначається погодними умовами. При цьому застосування 30–60 кг/га д. р. азотних добрив у Правобережному Лісостепу повністю безпечно, оскільки навіть за умови залишення врожаю стебел на полі баланс азоту дефіцитний.

Господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої збільшується від 89,7–236,3 кг/га на ділянках без добрив до 108,8–317,9 кг/га за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ залежно від року дослідження. При цьому господарське винесення азоту з урожаєм насіння в 9–11 рази більше порівняно з урожаєм стебел. Баланс азоту може змінюватись від -89,7...-236,3 кг/га у варіанті без добрив до -48,8...-257,9 кг/га без проведення інокуляції. За умови проведення інокуляції баланс азоту частково поліпшувався. Залишення стебел на полі після збирання сої не забезпечує формування додатного балансу азоту.

5.2 Параметри фосфорної складової

Фосфор має важливе значення в живленні рослин сої. Як видно з даних табл. 5.12, його вміст у насінні сої більш стабільний, ніж вміст азоту. Вміст фосфору в насінні сої змінювався в межах 1,03–1,60 % на суху масу. В середньому за три роки проведення досліджень різні види мінеральних добрив на тлі їх парних комбінацій по різному впливали на цей показник. Так, азотна, фосфорна та калійна складові повного мінерального добрива сприяли підвищенню вмісту фосфору в насінні сої відповідно на 10 %, 19 і 2 %. Зменшення дози внесення фосфорних добрив у їх складі вдвічі знижувало вміст фосфору в насінні на 11 %.

Таблиця 5.12

**Вміст фосфору (P_2O_5) у насінні сої залежно від удобрення та інокуляції,
% на суху масу**

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1,07	1,03	1,15	1,08
N ₃₀		1,07	1,03	1,36	1,15
N ₆₀		1,06	1,04	1,35	1,15
P ₆₀ K ₆₀		1,11	1,21	1,47	1,26
N ₆₀ K ₆₀		1,08	1,06	1,37	1,17
N ₆₀ P ₆₀		1,23	1,29	1,57	1,36
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		1,13	1,17	1,40	1,23
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,26	1,33	1,59	1,39
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,14	1,18	1,42	1,25
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,25	1,32	1,58	1,38
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,13	1,16	1,43	1,24
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		1,07	1,03	1,16	1,09
N ₃₀		1,07	1,03	1,36	1,15
N ₆₀		1,07	1,04	1,36	1,16
P ₆₀ K ₆₀		1,12	1,22	1,48	1,27
N ₆₀ K ₆₀		1,08	1,07	1,37	1,17
N ₆₀ P ₆₀		1,22	1,29	1,57	1,36
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		1,14	1,17	1,40	1,24
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,27	1,34	1,60	1,40
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,14	1,18	1,43	1,25
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,26	1,32	1,58	1,39
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,14	1,17	1,44	1,25
HIP ₀₅	A	0,02	0,02	0,03	—
	B	0,01	0,01	0,02	—

Погодні умови також впливали на вміст фосфору в насінні сої. Так, на ділянках без внесення добрив (абсолютний контроль) цей показник змінювався від 1,03 до 1,15 % на суху масу або на 12 %. За внесення повного мінерального добрива ці зміни були в межах 1,26–1,59 % на суху речовину або на 26 %. Тобто поліпшення мінерального живлення рослин на тлі різних погодних умов більше впливають на вміст фосфору в насінні сої.

Як видно з даних табл. 5.13, солома сої містила фосфору 1,00–1,30 % на суху масу, тобто зміни були меншими, ніж у насінні. не дивлячись на це, удобрення мало достовірний вплив на цей показник. Так, внесення під сою лише азотних добрив у дозі 30–60 кг/га д. р. сприяло підвищенню вмісту фосфору в стеблах з 1,04 до 1,07 % на суху масу або на 3 %.

Таблиця 5.13

**Вміст фосфору (P_2O_5) у стеблах сої залежно від удобрення та інокуляції,
% на суху масу**

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1,01	1,03	1,07	1,04
N ₃₀		1,01	1,03	1,17	1,07
N ₆₀		1,02	1,02	1,18	1,07
P ₆₀ K ₆₀		1,10	1,11	1,23	1,15
N ₆₀ K ₆₀		1,03	1,03	1,16	1,07
N ₆₀ P ₆₀		1,15	1,16	1,29	1,20
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		1,10	1,09	1,19	1,13
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,16	1,17	1,30	1,21
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,14	1,15	1,21	1,17
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,15	1,16	1,29	1,20
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,11	1,11	1,20	1,14
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		1,00	1,03	1,08	1,04
N ₃₀		1,01	1,03	1,18	1,07
N ₆₀		1,02	1,03	1,18	1,08
P ₆₀ K ₆₀		1,10	1,11	1,24	1,15
N ₆₀ K ₆₀		1,04	1,04	1,17	1,08
N ₆₀ P ₆₀		1,15	1,16	1,29	1,20
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		1,10	1,08	1,19	1,12
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,16	1,18	1,31	1,22
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,15	1,15	1,22	1,17
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,16	1,16	1,29	1,20
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,10	1,12	1,21	1,14
HIP ₀₅	A	0,02	0,02	0,02	—
	B	0,01	0,01	0,01	—

Фосфорні добрива в складі повного мінерального добрива сприяли

підвищенню вмісту фосфору в стеблах сої на 13 %. Вплив поліпшення калійного живлення рослин на цей показник був у межах помилки досліду. Зменшення дози внесення фосфорних добрив у складі повного мінерального добрива знижувало вміст фосфору в стеблах сої з 1,21 до 1,14 % на суху масу або на 6 %.

Застосування препарату азотфіксувальних бактерій на тлі різних систем застосування добрив суттєво не впливало на зміну вмісту фосфору в стеблах. Лише у деяких варіантах досліду в середньому за три роки проведення досліджень спостерігалась тенденція підвищення вмісту фосфору в стеблах.

На тлі застосування препарату бульбочкових бактерій в середньому за три роки проведення досліджень лише у деяких варіантах досліду простежувалась тенденція підвищення вмісту фосфору в насінні, що на нашу думку, пояснюється поліпшенням азотного живлення рослин, як було показано вище.

Погодні умови року проведення досліджень і врожайність сої значно впливали на господарське винесення фосфору насінням з одиниці площі посіву (табл. 5.14).

Як видно з даних табл. 5.14, показник господарського винесення фосфору з урожаєм насіння сої змінювався від 14,0 до 61,4 кг/га залежно від року проведення досліджень і варіанту досліду. У варіанті досліду виробничого контролю (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) порівняно з абсолютним контролем у середньому за три роки проведення досліджень господарське винесення фосфору підвищувалося з 23,4 до 40,3 кг/га або на 72 %. Зниження дози повного мінерального добрив удвічі (варіант $N_{30}P_{30}K_{30}$) сприяло зменшенню винесенню фосфору на 6,7 кг/га або на 17 %.

Таблиця 5.14

**Господарське винесення фосфору (P_2O_5) з урожаєм насіння посівами
сої залежно від інокуляції та удобрення, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	23,5	32,7	14,0	23,4
N ₃₀	34,1	35,5	18,5	29,4
N ₆₀	35,4	38,0	19,3	30,9
P ₆₀ K ₆₀	27,2	41,3	18,4	28,9
N ₆₀ K ₆₀	36,7	39,2	19,7	31,9
N ₆₀ P ₆₀	41,3	49,4	22,9	37,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	36,8	44,5	19,5	33,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	43,8	54,0	23,1	40,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	39,1	47,4	20,9	35,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	43,4	52,8	22,9	39,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	39,1	46,9	20,9	35,6
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	29,0	37,5	14,5	27,0
N ₃₀	39,7	41,2	19,0	33,3
N ₆₀	41,3	42,2	19,7	34,4
P ₆₀ K ₆₀	33,3	48,8	18,9	33,7
N ₆₀ K ₆₀	42,3	44,4	20,1	35,6
N ₆₀ P ₆₀	47,3	55,9	23,4	42,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	43,1	52,5	21,0	38,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	50,8	61,4	23,7	45,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	45,1	53,6	21,3	40,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	50,4	60,3	23,7	44,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	45,4	53,6	21,6	40,2

Проведення інокуляції сої активними штамами бульбочкових бактерій сприяло підвищенню господарського винесення фосфору з урожаєм насіння в усіх варіантах досліджу. Так, у середньому за три роки проведення досліджень на ділянках абсолютного контролю винесення фосфору підвищувалося на 3,6 кг/га, тоді як у варіантах досліджу виробничого контролю (варіант N₆₀P₆₀K₆₀) з додатковим проведенням інокуляції насіння – на 5,0 кг/га.

Як показують дані табл. 5.15, з урожаєм стебел соя виносить багато фосфору – 17,1–123,0 кг/га залежно від погодних умов року та варіанту

дослідю.

Таблиця 5.15

**Господарське винесення фосфору (P_2O_5) з урожаєм стебел посівами
сої залежно від інокуляції та удобрення, кг/га**

Варіант дослідю	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	49,4	72,4	17,1	46,3
N ₃₀	68,9	72,3	16,8	52,7
N ₆₀	75,3	85,0	18,3	59,5
P ₆₀ K ₆₀	62,7	80,5	17,5	53,5
N ₆₀ K ₆₀	78,6	87,3	18,1	61,3
N ₆₀ P ₆₀	86,8	102,1	20,3	69,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	77,1	86,2	17,4	60,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	91,3	109,0	19,9	73,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	87,9	106,7	18,8	71,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	89,9	106,4	20,3	72,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	86,6	103,0	18,8	69,5
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	58,4	79,0	17,5	51,6
N ₃₀	77,3	85,1	17,8	60,1
N ₆₀	83,8	94,2	19,6	65,9
P ₆₀ K ₆₀	72,7	95,7	17,5	62,0
N ₆₀ K ₆₀	88,6	97,8	19,3	68,6
N ₆₀ P ₆₀	97,2	113,2	21,4	77,3
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	86,6	97,8	18,2	67,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	102,0	123,0	21,5	82,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	99,2	117,3	20,4	79,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	100,9	119,5	21,3	80,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	95,7	116,0	19,8	77,2

Розмах цього показника досить суттєвий, що може впливати як на ефективність удобрення сої, так і наступних культур сівозміни, залежно від способу її використання, а також на баланс фосфору в ґрунті. При цьому необхідно відзначити, що господарське винесення фосфору більше залежало від погодних умов року проведення дослідження, ніж від варіантів удобрення. Так, у варіанті дослідю виробничого контролю (варіант N₆₀P₆₀K₆₀) з проведенням інокуляції насіння господарське винесення фосфору соломю

сої порівняно з абсолютним контролем зросло з 72,4 кг/га до 123,0 кг/га або на 70 %, тоді як у цьому ж варіанті досліді залежно від погодних умов року проведення досліджень господарське винесення фосфору соломою змінювалося від 21,5 кг/га в 2024 році до 123,0 кг/га в 2023 році або на 472 %.

Отже, спосіб використання стебел (залишення чи видалення з поля) та погодні умови можуть впливати на баланс та інтенсивність балансу фосфору в ґрунті.

Господарське винесення фосфору з урожаєм насіння й стебел сої у роки проведення досліджень змінювалося в межах 31,2–184,3 кг/га (табл. 5.16). При цьому цей показник у більшій мірі залежав від погодних умов, ніж від систем застосування добривальних продуктів. Це пояснюється значною зміною продуктивності сої – основної і нетоварної продукції. Так, наприклад, у 2024 році винесення фосфору насінням і соломою сої було в 3,6–4,1 рази меншим, ніж в умовах 2023 року. Тоді як господарське винесення фосфору у варіанті досліді з проведенням інокуляції насіння на тлі внесення повного мінерального добрива (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) порівняно з абсолютним контролем в середньому за три роки проведення досліджень зросло з 69,7 кг/га до 127,4 кг/га або на 83 %.

Таблиця 5.16

**Господарське винесення фосфору (P_2O_5) з урожаєм насіння і стебел
посівами сої залежно від інокуляції та удобрення, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	72,9	105,1	31,2	69,7
N ₃₀	103,0	107,8	35,3	82,1
N ₆₀	110,7	122,9	37,6	90,4
P ₆₀ K ₆₀	89,9	121,7	35,8	82,5
N ₆₀ K ₆₀	115,3	126,6	37,8	93,2
N ₆₀ P ₆₀	128,2	151,5	43,2	107,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	113,9	130,7	36,8	93,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	135,1	163,0	42,9	113,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	127,0	154,2	39,6	106,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	133,3	159,2	43,2	111,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	125,7	149,9	39,7	105,1
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	87,4	116,5	32,0	78,6
N ₃₀	117,0	126,3	36,9	93,4
N ₆₀	125,1	136,5	39,3	100,3
P ₆₀ K ₆₀	106,0	144,5	36,4	95,6
N ₆₀ K ₆₀	130,9	142,2	39,4	104,2
N ₆₀ P ₆₀	144,5	169,1	44,8	119,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	129,7	150,4	39,2	106,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	152,8	184,3	45,2	127,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	144,4	170,9	41,7	119,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	151,3	179,8	45,0	125,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	141,1	169,6	41,4	117,4

З даних табл. 5.17 видно, що частка фосфору в господарському винесенні основних елементів живлення була більш ніж у два рази меншою, ніж азоту. Залежно від системи застосування удобрювальних продуктів і погодних умов року проведення досліджень ця частка змінювалася від 19,9 до 25,2 %. Найефективніше на збільшення частки фосфору в господарському винесенні основних елементів живлення впливало внесення фосфорних добрив, тоді як азотні і калійні добрива не мали впливу на цей показник.

Таблиця 5.17

**Частка фосфору в господарському винесенні основних елементів
живлення ($N + P_2O_5 + K_2O$) соєю залежно від удобрення та інокуляції, %**

Варіант дослідю	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	23,2	22,4	19,9	21,9
N ₃₀	22,8	21,7	20,3	21,6
N ₆₀	22,9	22,1	20,3	21,8
P ₆₀ K ₆₀	24,6	23,7	21,9	23,4
N ₆₀ K ₆₀	22,8	21,9	20,0	21,5
N ₆₀ P ₆₀	25,2	24,8	22,3	24,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	24,0	23,0	20,5	22,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	25,1	24,6	21,9	23,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	24,6	23,8	20,5	23,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	25,3	24,7	22,2	24,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	24,0	23,2	20,5	22,6
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	22,6	21,9	19,9	21,5
N ₃₀	22,3	21,5	20,5	21,4
N ₆₀	22,4	22,0	20,7	21,7
P ₆₀ K ₆₀	24,0	23,5	21,8	23,1
N ₆₀ K ₆₀	22,3	21,8	20,2	21,4
N ₆₀ P ₆₀	24,4	24,4	22,3	23,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	23,5	22,3	20,2	22,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	24,4	24,4	22,2	23,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	24,1	23,6	20,9	22,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	24,7	24,4	22,2	23,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	23,3	23,2	20,7	22,4

За проведення інокуляції сої азотфіксувальними бульбочковими бактеріями спостерігалась тенденція зниження частки фосфору в господарському винесенні основних елементів живлення.

Порівняно з азотом, соя з урожаєм насіння виносить з ґрунту значно менше фосфору (табл. 5.18). Залежно від варіанту дослідю та року проведення дослідження ця величина знаходиться в межах 10,3–16,0 кг/га.

Таблиця 5.18

**Винесення фосфору (P_2O_5) з урожаєм насіння сої залежно від
удобрення та інокуляції, кг/т**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	10,7	10,3	11,5	10,8
N ₃₀	10,7	10,3	13,6	11,5
N ₆₀	10,6	10,4	13,5	11,5
P ₆₀ K ₆₀	11,1	12,1	14,7	12,6
N ₆₀ K ₆₀	10,8	10,6	13,7	11,7
N ₆₀ P ₆₀	12,3	12,9	15,7	13,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,3	11,7	14,0	12,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,6	13,3	15,9	13,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	11,4	11,8	14,2	12,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	12,5	13,2	15,8	13,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	11,3	11,6	14,3	12,4
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	10,7	10,3	11,6	10,9
N ₃₀	10,7	10,3	13,6	11,5
N ₆₀	10,7	10,4	13,6	11,6
P ₆₀ K ₆₀	11,2	12,2	14,8	12,7
N ₆₀ K ₆₀	10,8	10,7	13,7	11,7
N ₆₀ P ₆₀	12,2	12,9	15,7	13,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,4	11,7	14,0	12,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,7	13,4	16,0	14,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	11,4	11,8	14,3	12,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	12,6	13,2	15,8	13,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	11,4	11,7	14,4	12,5

У середньому за три роки проведення досліджень внесення повного мінерального добрива (варіант N₆₀P₆₀K₆₀) сприяло підвищенню винесення фосфору з урожаєм насіння сої на 3,1 кг/га або на 29 % порівняно з абсолютним контролем, а зниження дози фосфорних добриву його складі вдвічі (варіант N₆₀P₃₀K₆₀) зменшувало винесення фосфору з 13,9 кг/га до 12,4 кг/га або на 11 %.

Калійні добрива в складі повного мінерального добрива мали незначний вплив на винесення фосфору з урожаєм насіння сої – підвищення становило

лише 0,3 кг/га або на 2 %. Значний вплив на цей показник мало поліпшення азотного живлення рослин. Так, за внесення лише азотних добрив під сою винесення фосфору насінням порівняно з абсолютним контролем підвищувалося на 6 %, а в складі повного мінерального добрива (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) цей вплив зростав до 10 %.

Проведення інокуляції сої за всіх систем удобрення, що вивчалися в досліді, практично не впливало на винесення фосфору з урожаєм насіння. У деяких варіантах досліді в середньому за три роки проведення досліджень спостерігалась лише незначна тенденція змін за цим показником.

Різницю у винесенні фосфору з урожаєм насіння за роки проведення досліджень в першу чергу можна пояснити зміною погодних умов вегетаційного періоду, що впливало на формування врожаю та надходження фосфору в рослини з ґрунту.

У надземній вегетативній масі соя накопичує майже таку ж кількість фосфору як і в урожаї насіння (табл. 5.19). Ця величина залежно від системи застосування удобрювальних продуктів і погодних умов року проведення досліджень становила 10,0–13,1 кг/га та була найбільшою за внесення повного мінерального добрива (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) і проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями. Інші закономірності щодо впливу на цей показник варіантів досліді майже повторюють встановлені для винесення фосфору з урожаєм насіння сої, за виключенням незначних відхилень у розмірності.

Таблиця 5.19

**Винесення фосфору (P_2O_5) з урожаєм стебел сої залежно від
удобрення та інокуляції, кг/т**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	10,1	10,3	10,7	10,4
N ₃₀	10,1	10,3	11,7	10,7
N ₆₀	10,2	10,2	11,8	10,7
P ₆₀ K ₆₀	11,0	11,1	12,3	11,5
N ₆₀ K ₆₀	10,3	10,3	11,6	10,7
N ₆₀ P ₆₀	11,5	11,6	12,9	12,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,0	10,9	11,9	11,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	11,6	11,7	13,0	12,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	11,4	11,5	12,1	11,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	11,5	11,6	12,9	12,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	11,1	11,1	12,0	11,4
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	10,0	10,3	10,8	10,4
N ₃₀	10,1	10,3	11,8	10,7
N ₆₀	10,2	10,3	11,8	10,8
P ₆₀ K ₆₀	11,0	11,1	12,4	11,5
N ₆₀ K ₆₀	10,4	10,4	11,7	10,8
N ₆₀ P ₆₀	11,5	11,6	12,9	12,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,0	10,8	11,9	11,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	11,6	11,8	13,1	12,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	11,5	11,5	12,2	11,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	11,6	11,6	12,9	12,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	11,0	11,2	12,1	11,4

Отже, можна зробити висновок, що в стеблах сої накопичується значний резерв фосфору, який успішно може бути використаний для відновлення його запасів у ґрунті, а в подальшому використаний іншими культурами сівозміни для формування врожаю.

Порівняно з показником господарського винесення фосфору основною і нетоварною продукцією з одиниці площі посіву сої, відносно винесення фосфору на одиницю маси насіння та відповідну кількість стебел є відносно стабільним показником, що пояснюється генетичними законами природи

(табл. 5.20).

Таблиця 5.20

Відносне винесення фосфору (P_2O_5) соєю залежно від удобрення та інокуляції, кг/т насіння та відповідної кількості стебел

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	33,1	33,2	25,5	30,6
N ₃₀	32,3	31,3	26,0	29,9
N ₆₀	33,1	33,7	26,2	31,0
P ₆₀ K ₆₀	36,7	35,6	28,6	33,7
N ₆₀ K ₆₀	34,0	34,2	26,2	31,5
N ₆₀ P ₆₀	38,2	39,6	29,5	35,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	35,0	34,4	26,5	31,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	38,8	40,2	29,7	36,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	37,1	38,4	26,9	34,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	38,4	39,8	29,7	36,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	36,3	37,1	27,3	33,6
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	32,2	32,0	25,6	30,0
N ₃₀	31,5	31,5	26,3	29,8
N ₆₀	32,4	33,6	27,1	31,0
P ₆₀ K ₆₀	35,6	36,2	28,4	33,4
N ₆₀ K ₆₀	33,4	34,2	26,8	31,5
N ₆₀ P ₆₀	37,3	39,0	30,0	35,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	34,4	33,5	26,1	31,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	38,2	40,2	30,5	36,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	36,5	37,7	28,0	34,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	37,9	39,3	30,0	35,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	35,5	37,0	27,6	33,4

Як показали проведені розрахунки, показник відносного винесення фосфору залежно від варіанту досліджу та погодних умов змінювався в межах 25,5–40,2 кг/т насіння та відповідну кількість стебел. У середньому за три роки проведення досліджень цей діапазон змін був значно меншим -29,9–36,2 кг/т і показник винесення збільшувався з поліпшенням умов мінерального живлення рослин сої. Цю особливість необхідно враховувати під час розрахунку доз внесення фосфорних добрив під сою.

Проведення інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями істотно не впливало на відносне винесення фосфору соєю одиницею маси насіння та відповідною кількістю стебел.

З агрохімічного та екологічного поглядів важливим показником ефективності застосування фосфорних добрив є коефіцієнт використання з них фосфору. Як показали проведені розрахунки, цей показник у більшій мірі змінювався від погодних умов року проведення дослідження, ніж від доз внесення фосфорних добрив та їх поєднань з іншими видами мінеральних добрив (табл. 5.21).

Таблиця 5.21

**Коефіцієнт використання фосфору з добрив за вирощування сої
залежно від удобрення та інокуляції, %**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
P ₆₀ K ₆₀	28,3	27,7	7,7	21,2
N ₆₀ P ₆₀	21,5	41,5	9,0	24,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	36,3	76,3	5,0	39,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	40,7	66,8	8,8	38,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	54,3	87,0	6,7	49,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	37,7	60,5	9,3	35,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	50,0	90,0	7,0	49,0
З інокуляцією				
P ₆₀ K ₆₀	31,0	46,7	7,3	28,3
N ₆₀ P ₆₀	22,7	44,8	9,0	25,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	42,3	80,3	7,7	43,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	46,2	79,7	9,8	45,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	64,3	80,0	8,0	50,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	43,7	72,2	9,5	41,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	53,3	82,3	7,0	47,6

Як видно з даних табл. 5.21, найбільші коефіцієнти використання фосфору з добрив були в умовах 2023 року, а найменші – в 2024 році, що пояснюється посушливими умовами вегетаційного періоду та формуванням низького рівня продуктивності сої.

У середньому за три роки проведення досліджень залежно від системи застосування добрив коефіцієнт використання з них фосфору становив 21,2–49,3 %. Зменшення дози фосфорних добрив у складі повного мінерального добрива вдвічі (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) сприяло підвищенню коефіцієнта використання фосфору з 38,8 % до 49,0 %. Значний вплив на ефективне використання фосфору добрив мало поліпшення азотного живлення рослин сої. Так, на фосфорно-калійному тлі ($P_{60}K_{60}$) фосфорні добрива в дозі 60 кг/га д. р. підвищувало коефіцієнт використання фосфору на 17,6 %.

За проведення інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями коефіцієнт використання фосфору з добрив залежав від системи їх застосування. Так, на фосфорно-калійному тлі ($P_{60}K_{60}$) у середньому за три роки проведення досліджень він підвищувався з 21,2 до 28,3 %. Також поліпшення цього показника спостерігалось і у варіантах дослідів $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{30}$, тоді як у інших варіантах простежувалась тенденція до його зниження.

З основних елементів живлення, баланс фосфору в чорноземних ґрунтах має найбільше значення. Як видно з даних табл. 5.22, він змінювався в широких межах залежно від умов року проведення досліджень, системи застосування удобрювальних продуктів і способу використання нетоварної частини урожаю. Найбільш дефіцитним він формувався за внесення під посіви сої лише азотних і калійних добрив у поєднанні з видаленням стебел з поля – -37,8...-39,4 кг/га та збільшувався при цьому за проведення інокуляції насіння.

Таблиця 5.22

**Баланс фосфору (P_2O_5) у ґрунті під посівами сої залежно від
інокуляції та удобрення, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження					
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
	За умови видалення стебел з поля			За умови залишення стебел на полі		
Без інокуляції						
Без добрив (контроль)	-72,9	-105,1	-31,2	-23,5	-32,7	-14,0
N ₃₀	-103,0	-107,8	-35,3	-34,1	-35,5	-18,5
N ₆₀	-110,7	-122,9	-37,6	-35,4	-38,0	-19,3
P ₆₀ K ₆₀	-29,9	-61,7	24,2	32,8	18,7	41,6
N ₆₀ K ₆₀	-115,3	-126,6	-37,8	-36,7	-39,2	-19,7
N ₆₀ P ₆₀	-68,2	-91,5	16,8	18,7	10,6	37,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-83,9	-100,7	-6,8	-6,8	-14,5	10,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-75,1	-103,0	17,1	16,2	6,0	36,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	-97,0	-124,2	-9,6	-9,1	-17,4	9,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	-73,3	-99,2	16,8	16,6	7,2	37,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	-95,7	-119,9	-9,7	-9,1	-16,9	9,1
З інокуляцією						
Без добрив (контроль)	-87,4	-116,5	-32,0	-29,0	-37,5	-14,5
N ₃₀	-117,0	-126,3	-36,9	-39,7	-41,2	-19,0
N ₆₀	-125,1	-136,5	-39,3	-41,3	-42,2	-19,7
P ₆₀ K ₆₀	-46,0	-84,5	23,6	26,7	11,2	41,1
N ₆₀ K ₆₀	-130,9	-142,2	-39,4	-42,3	-44,4	-20,1
N ₆₀ P ₆₀	-84,5	-109,1	15,2	12,7	4,1	36,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-99,7	-120,4	-9,2	-13,1	-22,5	9,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-92,8	-124,3	14,8	9,2	-1,4	36,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	-114,4	-140,9	-11,7	-15,1	-23,6	8,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	-91,3	-119,8	15,0	9,6	-0,3	36,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	-111,1	-139,6	-11,4	-15,4	-23,6	8,4

За умови видалення стебел з поля додатний баланс фосфору був сформований лише у варіантах досліджу P₆₀K₆₀, N₆₀P₆₀ і N₆₀P₆₀K₆₀ за проведення інокуляції насіння та без неї у посушливих умовах 2024 року.

Як показують дані табл. 5.22, солома врожаю сої є важливим чинником формування балансу фосфору в ґрунті. Хоч у роки проведення досліджень

внесення фосфорних добрив не завжди дозволяло сформувати додатний його баланс, у середньому за три роки навіть доза добрив 30 кг/га д. р. забезпечувала баланс фосфору 8,4–10,5 кг/га залежно від поєднання з азотними і калійними добривами.

Таблиця 5.23

**Інтенсивність балансу фосфору (P_2O_5) в ґрунті під посівами сої
залежно від інокуляції та удобрення, %**

Варіант дослідку	Рік проведення дослідження					
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
	За умови видалення стебел з поля			За умови залишення стебел на полі		
Без інокуляції						
P ₆₀ K ₆₀	66,7	49,3	167,6	220,6	145,3	326,1
N ₆₀ P ₆₀	46,8	39,6	138,9	145,3	121,5	262,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	26,3	23,0	81,5	81,5	67,4	153,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	44,4	36,8	139,9	137,0	111,1	259,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	23,6	19,5	75,8	76,7	63,3	143,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	45,0	37,7	138,9	138,2	113,6	262,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	23,9	20,0	75,6	76,7	64,0	143,5
З інокуляцією						
P ₆₀ K ₆₀	56,6	41,5	164,8	180,2	123,0	317,5
N ₆₀ P ₆₀	41,5	35,5	133,9	126,8	107,3	256,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	23,1	19,9	76,5	69,6	57,1	142,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	39,3	32,6	132,7	118,1	97,7	253,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	20,8	17,6	71,9	66,5	56,0	140,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	39,7	33,4	133,3	119,0	99,5	253,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	21,3	17,7	72,5	66,1	56,0	138,9

Внесення фосфорних добрив під сою у дозі 60 кг/га д. р. у середньому за

три роки проведення досліджень за різних систем застосування удобрювальних продуктів забезпечувало баланс фосфору в ґрунті в межах 36,3–41,6 кг/га. Це сприятиме поліпшенню фосфатного режиму ґрунту під наступними культурами польової сівозміни.

Інтенсивність балансу фосфору в ґрунті під посівами сої змінювалась в широких межах – від 17,6 до 326,1 % (табл. 5.23). Цей показник значно залежав від погодних умов року проведення досліджень, системи застосування удобрювальних продуктів, доз внесення фосфорних добрив, а також способу використання врожаю стебел.

За умови видалення стебел з поля інтенсивність балансу фосфору в ґрунті значно погіршувалась. Так, у варіанті дослідів виробничого контролю ($N_{60}P_{60}K_{60}$) та з проведенням інокуляції насіння бульбочковими бактеріями вона зростала в 2022 році з 39,3 % до 118,1 %, а в 2023 році – відповідно з 32,6 % до 97,7 %. Аналогічні результати було отримано і в інших варіантах дослідів, що свідчить про велике значення стебел, як добрива, у формуванні балансу фосфору в ґрунті.

5.3 Параметри калійної складової

Відомо, що чорноземи мають високий уміст калію і здатні в достатній мірі забезпечувати ним сільськогосподарські культури, у тому числі і сою. Як видно з даних табл. 5.24, вміст калію в насінні сої в більшій мірі змінювався від удобрення, ніж від погодних умов вегетаційного періоду. Так, у варіанті дослідів без внесення добрив вміст калію в насінні сої залежно від погодних умов був 1,18–1,20 % на суху масу, а на ділянках виробничого контролю (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) – 1,26–1,42 %.

Таблиця 5.24

**Вміст калію (K_2O) в насінні сої залежно від удобрення та інокуляції,
% на суху масу**

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1,18	1,19	1,20	1,19
N ₃₀		1,18	1,20	1,30	1,23
N ₆₀		1,17	1,20	1,29	1,22
P ₆₀ K ₆₀		1,21	1,24	1,33	1,26
N ₆₀ K ₆₀		1,25	1,29	1,39	1,31
N ₆₀ P ₆₀		1,20	1,22	1,31	1,24
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		1,19	1,25	1,35	1,26
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,26	1,31	1,42	1,33
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,20	1,27	1,38	1,28
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,19	1,26	1,36	1,27
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,24	1,29	1,40	1,31
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		1,17	1,18	1,21	1,19
N ₃₀		1,17	1,20	1,30	1,22
N ₆₀		1,16	1,20	1,29	1,22
P ₆₀ K ₆₀		1,21	1,25	1,34	1,27
N ₆₀ K ₆₀		1,26	1,29	1,39	1,31
N ₆₀ P ₆₀		1,21	1,23	1,32	1,25
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		1,19	1,26	1,37	1,27
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,28	1,32	1,44	1,35
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,20	1,27	1,39	1,29
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,20	1,27	1,36	1,28
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,24	1,28	1,40	1,31
HIP ₀₅	A	0,02	0,02	0,02	—
	B	0,02	0,02	0,02	—

Внесення під сою азотних добрив у дозі 30–60 кг/га д. р. лише в умовах 2024 року сприяло достовірному підвищенню вмісту калію в насінні з 1,20 % до 1,29–1,30 % на суху масу. Найбільше на підвищення вмісту калію в насінні сої сприяло внесення калійних добрив. За внесення фосфорних добрив лише в 2023 і 2024 році було достовірне підвищення цього показника. В середньому за три роки проведення досліджень найвищий вміст калію в

насінні – 1,35 % на суху масу був у варіанті досліду виробничого контролю ($N_{60}P_{60}K_{60}$) з проведенням інокуляції насіння бульбочковими бактеріями, що на 13 % більше порівняно з абсолютним контролем.

Отже, проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що на чорноземі опідзоленому соя в достатній мірі була забезпечена калієм, тому додаткове ним живлення завдяки внесенню калійних добрив мало впливало на накопичення калію в насінні. Накопичення цього елемента в насінні мабуть також добре контролюється генетичним механізмом рослинного організму сої.

Порівняно з насінням, солома сої мала вищий вміст калію (табл. 5.25). залежно від системи застосування удобрювальних продуктів і погодних умов вегетаційного періоду вміст калію в стеблах змінювався в межах 1,27–1,55 % на суху масу або на 22 %. Тобто зміни були незначними, порівняно з вмістом азоту, як було показано вище.

Необхідно також зазначити, що вміст калію в стеблах неістотно змінювався залежно від погодних умов. інокуляція насіння бульбочковими бактеріями також не впливала на цей показник.

У середньому за три роки проведення досліджень амплітуда зміни вмісту калію у варіантах досліду була від 1,28 до 1,44 % на суху масу або зміна становила лише 13 %.

Таблиця 5.25

**Вміст калію (K₂O) в стеблах сої залежно від удобрення та інокуляції,
% на суху масу**

Варіант досліджу (чинник А)		Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
		2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1,28	1,27	1,31	1,29
N ₃₀		1,28	1,28	1,41	1,32
N ₆₀		1,27	1,28	1,40	1,32
P ₆₀ K ₆₀		1,31	1,32	1,44	1,36
N ₆₀ K ₆₀		1,35	1,37	1,50	1,41
N ₆₀ P ₆₀		1,30	1,30	1,42	1,34
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		1,29	1,33	1,46	1,36
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,36	1,39	1,53	1,43
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,30	1,35	1,49	1,38
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,29	1,34	1,47	1,37
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,34	1,37	1,51	1,41
З інокуляцією					
Без добрив (контроль)		1,27	1,26	1,32	1,28
N ₃₀		1,27	1,28	1,41	1,32
N ₆₀		1,26	1,28	1,40	1,31
P ₆₀ K ₆₀		1,31	1,33	1,45	1,36
N ₆₀ K ₆₀		1,36	1,37	1,50	1,41
N ₆₀ P ₆₀		1,31	1,31	1,43	1,35
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		1,29	1,34	1,48	1,37
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1,38	1,40	1,55	1,44
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		1,30	1,35	1,50	1,38
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀		1,30	1,35	1,47	1,37
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		1,34	1,36	1,51	1,40
HIP ₀₅	A	0,02	0,02	0,02	—
	B	0,02	0,02	0,02	—

Порівняно з азотом і фосфором, з урожаєм насіння соя виносить менше калію (табл. 5.26). Господарське винесення калію більше змінювалося від погодних умов вегетаційного періоду сої, ніж від удобрення. за роки проведення досліджень цей показник змінювався від 14,6 кг/га до 60,5 кг/га і був найбільшим за достатнього вологозабезпечення рослин у 2023 році у варіанті досліджу виробничого контролю (N₆₀P₆₀K₆₀) та проведення інокуляції

насіння.

Таблиця 5.26

**Господарське винесення калію (K_2O) з урожаєм насіння посівами сої
залежно від інокуляції та удобрення, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	26,0	37,7	14,6	26,1
N ₃₀	37,6	41,4	17,7	32,2
N ₆₀	39,1	43,8	18,4	33,8
P ₆₀ K ₆₀	29,6	42,3	16,6	29,5
N ₆₀ K ₆₀	42,5	47,7	20,0	36,7
N ₆₀ P ₆₀	40,3	46,7	19,1	35,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	38,8	47,5	18,8	35,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	43,8	53,2	20,6	39,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	41,2	51,1	20,3	37,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	41,3	50,4	19,7	37,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	42,9	52,1	20,4	38,5
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	31,7	43,0	15,1	29,9
N ₃₀	43,4	48,0	18,2	36,5
N ₆₀	44,8	48,7	18,7	37,4
P ₆₀ K ₆₀	35,9	50,0	17,2	34,4
N ₆₀ K ₆₀	49,4	53,5	20,4	41,1
N ₆₀ P ₆₀	46,9	53,3	19,7	40,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	45,0	56,6	20,6	40,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	51,2	60,5	21,3	44,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	47,5	57,7	20,7	42,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	48,0	58,0	20,4	42,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	49,4	58,6	21,0	43,0

У середньому за три роки проведення досліджень господарське винесення калію насінням залежно від систем удобрення становило 26,1–39,2 кг/га і збільшувалося до 29,9–44,3 кг/га за додаткового проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями, або відповідно на 15–13 % більше.

З урожаєм стебел сої виноситься значно більше калію, ніж із насінням (табл. 5.27). Величина цього показника більше залежала від погодних умов,

ніж від удобрення. залежно від цих чинників та інокуляції насіння бульбочковими бактеріями винесення соломою калію змінювалося в досить широких межах – від 20,3 до 145,9 кг/га.

Таблиця 5.27

**Господарське винесення калію (K₂O) з урожаєм стебел посівами сої
залежно від інокуляції та удобрення, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	62,6	89,3	21,0	57,6
N ₃₀	87,3	89,9	20,3	65,8
N ₆₀	93,7	106,6	21,7	74,0
P ₆₀ K ₆₀	74,7	95,7	20,4	63,6
N ₆₀ K ₆₀	103,0	116,2	23,4	80,9
N ₆₀ P ₆₀	98,2	114,4	22,3	78,3
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	90,4	105,2	21,3	72,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	107,0	129,5	23,4	86,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	100,2	125,3	23,1	82,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	100,9	122,9	23,1	82,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	104,5	127,1	23,7	85,1
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	74,2	96,6	21,4	64,1
N ₃₀	97,2	105,7	21,3	74,7
N ₆₀	103,6	117,1	23,2	81,3
P ₆₀ K ₆₀	86,6	114,6	20,4	73,9
N ₆₀ K ₆₀	115,9	128,8	24,8	89,8
N ₆₀ P ₆₀	110,7	127,9	23,7	87,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	101,5	121,4	22,6	81,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	121,3	145,9	25,4	97,5
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	112,2	137,7	25,1	91,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	113,1	139,1	24,3	92,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	116,6	140,9	24,8	94,1

У середньому за три роки проведення досліджень винесення калію з урожаєм стебел сої становило 57,6–86,7 кг/га і було найбільшим на ділянках дослідів виробничого контролю (варіант N₆₀P₆₀K₆₀).

Внесення калійних добрив у поєднанні з фосфорними підвищувало винесення калію соломою сої на 10 %, тоді як з азотними – на 40 %. На

азотно-фосфорному тлі (варіант дослідів $N_{60}P_{60}$) винесення калію порівняно з абсолютним контролем підвищувалося на 20,7 кг/га або на 36 %. За внесення половинної дози добрив від виробничого контролю (варіант дослідів $N_{30}P_{30}K_{30}$) винесення калію соломкою зменшувалося на 17 %. Зменшення в складі повного мінерального добрива ($N_{60}P_{60}K_{60}$) дози внесення фосфору чи калію, або обох з них зменшувало винесення калію з урожаєм стебел на 1,6–4,4 кг/га або лише на 2–5 %.

Проведення інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями, як зазначалось вище, поліпшувало азотне живлення рослин, що сприяло формуванню вищого врожаю стебел, а з нею і більшого винесення калію. так, на ділянках без добрив цей показник підвищувався на 11 %, а на тлі повного мінерального добрива (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) – на 12 %.

Господарське винесення калію з урожаєм насіння й стебел також більше залежало від погодних умов вегетаційного періоду, ніж від удобрення (табл. 5.28). Так, ці зміни від погодних умов і удобрення становили 170,7 кг/га або на 479 %, а від удобрення та інокуляції – 79,3 кг/га або на 62 %.

У середньому за три роки проведення досліджень винесення калію з урожаєм сої було 83,7–125,9 кг/га залежно від варіанту дослідів і збільшувалося відповідно до 94,0–141,9 кг/га за проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями.

Внесення калійних добрив на азотно-калійному тлі (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) та за проведення інокуляції насіння сприяло підвищенню господарського винесення калію соєю на 14,5 кг/га або на 11 %. За зменшення в складі повного мінерального добрива дози фосфорних чи калійних добрив або обох їх знижувало господарське винесення калію урожаєм неістотно – 4,8–8,3 кг/га або на 3–6 %.

Таблиця 5.28

**Господарське винесення калію (K_2O) з урожаєм насіння і стебел
посівами сої залежно від інокуляції та удобрення, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	88,6	127,0	35,6	83,7
N ₃₀	124,9	131,3	38,0	98,1
N ₆₀	132,8	150,4	40,1	107,8
P ₆₀ K ₆₀	104,3	138,0	37,1	93,1
N ₆₀ K ₆₀	145,5	163,9	43,4	117,6
N ₆₀ P ₆₀	138,5	161,1	41,4	113,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	129,2	152,7	40,1	107,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	150,9	182,7	44,0	125,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	141,4	176,3	43,4	120,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	142,2	173,3	42,8	119,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	147,4	179,3	44,1	123,6
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	105,9	139,6	36,5	94,0
N ₃₀	140,6	153,7	39,5	111,3
N ₆₀	148,3	165,8	41,9	118,7
P ₆₀ K ₆₀	122,5	164,6	37,6	108,3
N ₆₀ K ₆₀	165,3	182,3	45,2	130,9
N ₆₀ P ₆₀	157,6	181,1	43,4	127,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	146,5	178,0	43,2	122,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	172,5	206,3	46,7	141,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	159,7	195,4	45,8	133,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	161,1	197,1	44,7	134,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	165,9	199,5	45,8	137,1

У господарському винесенні основних елементів живлення соєю ($N + P_2O_5 + K_2O$) частка калію становила від 21,9 до 28,8 % залежно від системи застосування удобрювальних продуктів і погодних умов року проведення досліджень (табл. 5.29). При цьому необхідно зазначити, що за проведення інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями спостерігається тенденція зниження частки калію в загальному господарському винесенні основних елементів живлення. також необхідно зазначити, що поліпшення азотного

живлення рослин сприяє зниженню рівня цього показника. У середньому за три роки проведення досліджень за різних систем застосування удобрювальних продуктів частка калію в господарському винесенні основних елементів живлення становила 24,8–26,4 %, тобто змінювалась неістотно.

Таблиця 5.29

Частка калію (K_2O) в господарському винесенні основних елементів живлення ($N + P_2O_5 + K_2O$) соєю залежно від удобрення та інокуляції, %

Варіант досліду	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	28,2	27,1	22,7	26,0
N ₃₀	27,7	26,5	21,9	25,3
N ₆₀	27,5	27,0	21,7	25,4
P ₆₀ K ₆₀	28,6	26,9	22,7	26,0
N ₆₀ K ₆₀	28,8	28,3	22,9	26,7
N ₆₀ P ₆₀	27,2	26,3	21,4	25,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	27,2	26,8	22,3	25,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	28,0	27,5	22,5	26,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	27,3	27,2	22,5	25,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	27,0	26,8	22,0	25,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	28,1	27,7	22,8	26,2
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	27,4	26,2	22,7	25,5
N ₃₀	26,8	26,1	22,0	25,0
N ₆₀	26,6	26,7	22,1	25,1
P ₆₀ K ₆₀	27,7	26,8	22,5	25,7
N ₆₀ K ₆₀	28,2	28,0	23,2	26,4
N ₆₀ P ₆₀	26,6	26,2	21,6	24,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	26,5	26,4	22,3	25,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	27,6	27,3	22,9	25,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	26,7	27,0	22,9	25,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	26,3	26,7	22,1	25,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	27,4	27,2	22,9	25,8

За умови залишення на полі стебел сої на добриво, важливим показником для розрахунку доз внесення добрив і балансу калію в ґрунті є

винесення його з 1 т урожаю насіння. Як показали розрахунки, цей показник є відносно стабільним і навіть за різних систем застосування удобрювальних продуктів і погодних умов вегетаційного періоду він змінювався в межах 11,6–14,4 кг/т насіння (табл. 5.30). При цьому дози добрив порівняно з погодними умовами має більший вплив на винесення калію з одиницею врожаю насіння сої.

Таблиця 5.30

Винесення калію (K_2O) з урожаєм насіння сої залежно від удобрення та інокуляції, кг/т

Варіант дослідів	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	11,8	11,9	12,0	11,9
N ₃₀	11,8	12,0	13,0	12,3
N ₆₀	11,7	12,0	12,9	12,2
P ₆₀ K ₆₀	12,1	12,4	13,3	12,6
N ₆₀ K ₆₀	12,5	12,9	13,9	13,1
N ₆₀ P ₆₀	12,0	12,2	13,1	12,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,9	12,5	13,5	12,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,6	13,1	14,2	13,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	12,0	12,7	13,8	12,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	11,9	12,6	13,6	12,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	12,4	12,9	14,0	13,1
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	11,7	11,8	12,1	11,9
N ₃₀	11,7	12,0	13,0	12,2
N ₆₀	11,6	12,0	12,9	12,2
P ₆₀ K ₆₀	12,1	12,5	13,4	12,7
N ₆₀ K ₆₀	12,6	12,9	13,9	13,1
N ₆₀ P ₆₀	12,1	12,3	13,2	12,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,9	12,6	13,7	12,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,8	13,2	14,4	13,5
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	12,0	12,7	13,9	12,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	12,0	12,7	13,6	12,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	12,4	12,8	14,0	13,1

У середньому за три роки проведення досліджень у варіанті дослідів виробничого контролю ($N_{60}P_{60}K_{60}$) і проведення інокуляції порівняно з абсолютним контролем підвищувалася на 1,6 кг/т або на 13 %. Внесення половини дози цього добрива (варіант дослідів $N_{30}P_{30}K_{30}$) знижувало винесення калію з 1 т насіння з 13,5 до 12,7 кг або на 6 %. Вплив інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями на цей показник був нестабільним як за роки проведення досліджень. Так і за варіантами системи застосування удобрювальних продуктів.

Винесення калію з одиницею врожаю стебел сої повторює закономірності, встановлені для насіння (табл. 5.31). При цьому вплив погодних умов був незначним. Винесення калію з 1 т стебел на ділянках дослідів без добрив але з проведенням інокуляції насіння змінювався від 12,7 до 13,2 кг і було найбільшим за недостатнього забезпечення рослин сої вологою. За різних систем застосування удобрювальних продуктів ці зміни в середньому за три роки проведення досліджень були більшими – від 12,8 до 14,4 кг або за поліпшення мінерального живлення рослин підвищувалось на 13 %. При цьому зменшення дози внесення азотних чи фосфорних добрив або їх обох у складі повного мінерального добрива сприяло зниженню винесенню калію з соломкою на 3–5 %.

**Винесення калію (K_2O) з урожаєм стебел сої залежно від удобрення
та інокуляції, кг/т**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	12,8	12,7	13,1	12,9
N ₃₀	12,8	12,8	14,1	13,2
N ₆₀	12,7	12,8	14,0	13,2
P ₆₀ K ₆₀	13,1	13,2	14,4	13,6
N ₆₀ K ₆₀	13,5	13,7	15,0	14,1
N ₆₀ P ₆₀	13,0	13,0	14,2	13,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	12,9	13,3	14,6	13,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	13,6	13,9	15,3	14,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	13,0	13,5	14,9	13,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	12,9	13,4	14,7	13,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	13,4	13,7	15,1	14,1
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	12,7	12,6	13,2	12,8
N ₃₀	12,7	12,8	14,1	13,2
N ₆₀	12,6	12,8	14,0	13,1
P ₆₀ K ₆₀	13,1	13,3	14,5	13,6
N ₆₀ K ₆₀	13,6	13,7	15,0	14,1
N ₆₀ P ₆₀	13,1	13,1	14,3	13,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	12,9	13,4	14,8	13,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	13,8	14,0	15,5	14,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	13,0	13,5	15,0	13,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	13,0	13,5	14,7	13,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	13,4	13,6	15,1	14,0

Показник відносного винесення калію є важливим для розрахунку доз калійних добрив і балансу його в ґрунті. Проведеними розрахунками встановлено, що цей показник є стабільним щодо систем удобрення і змінювався в більшій мірі залежно від погодних умов вегетаційного періоду сої (табл. 5.32).

Таблиця 5.32

Відносне винесення калію (K₂O) соєю залежно від удобрення та інокуляції, кг/т насіння та відповідної кількості стебел

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
Без добрив (контроль)	40,2	40,1	29,2	36,5
N ₃₀	39,2	38,1	27,9	35,1
N ₆₀	39,8	41,2	28,0	36,3
P ₆₀ K ₆₀	42,6	40,4	29,6	37,5
N ₆₀ K ₆₀	42,9	44,3	30,1	39,1
N ₆₀ P ₆₀	41,3	42,1	28,3	37,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	39,6	40,2	28,8	36,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	43,3	45,1	30,4	39,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	41,3	43,9	29,4	38,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	40,9	43,3	29,5	37,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	42,6	44,4	30,3	39,1
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	39,0	38,4	29,3	35,6
N ₃₀	37,9	38,4	28,2	34,8
N ₆₀	38,4	40,8	28,9	36,0
P ₆₀ K ₆₀	41,2	41,2	29,4	37,3
N ₆₀ K ₆₀	42,1	43,9	30,7	38,9
N ₆₀ P ₆₀	40,7	41,8	29,1	37,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	38,9	39,7	28,8	35,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	43,2	45,0	31,6	39,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	40,3	43,1	30,7	38,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	40,3	43,1	29,8	37,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	41,7	43,5	30,5	38,6

Як видно з даних табл. 5.32, відносне винесення калію в досліді становило 27,9–45,0 кг/т насіння та відповідної кількості стебел сої або змінювалося на 61 %. Залежно від систем застосування добрив і бактеріального препарату цей показник у середньому за три роки проведення досліджень змінювався від 34,8 до 39,9 кг/т або на 15 %.

Дози мінеральних добрив, їх види та поєднання на тлі оброблення насіння сої препаратом бульбочкових бактерій мали незначний вплив на показник відносного винесення калію з урожаєм. З парних комбінацій видів мінеральних добрив на його підвищення найбільший вплив мало внесення

азотних і калійних добрив. де зростання становило 9 %.

За внесення половинної дози повного мінерального добрива (варіант дослідів $N_{30}P_{30}K_{30}$) показник відносного винесення калію врожаєм був майже на рівні абсолютного контролю (35,8 кг/га проти 35,6 кг/га).

Зниження дози внесення азотних чи калійних добрив або обох їх у складі повного мінерального добрива вдвічі на тлі проведення передпосівної інокуляції насіння бульбочковими бактеріями сприяло зниженню витрат калію на формування 1 т насіння та відповідної кількості стебел на 3–6 % і найбільше знижувався у варіанті дослідів $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Накопичення калію в зерні та стеблах сої впливало на коефіцієнт його використання з внесених калійних добрив (табл. 5.33).

Таблиця 5.33

**Коефіцієнт використання калію з добрив за вирощування сої
залежно від удобрення та інокуляції, %**

Варіант дослідів	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції				
P ₆₀ K ₆₀	26,2	18,3	2,5	15,7
N ₆₀ K ₆₀	11,7	4,7	3,3	6,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	14,3	71,3	7,0	30,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30,2	53,8	6,5	30,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	28,7	86,3	11,0	42,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	31,3	76,3	9,0	38,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	24,3	48,2	6,7	26,4
З інокуляцією				
P ₆₀ K ₆₀	27,7	41,7	1,8	23,7
N ₆₀ K ₆₀	12,8	2,0	3,0	5,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	19,7	81,0	12,3	37,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	40,3	67,5	8,0	38,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	38,0	88,7	13,0	46,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	42,7	81,3	9,3	44,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	29,3	56,2	6,5	30,7

Як видно з даних табл. 5.33, коефіцієнт використання калію в більшій мірі залежав від погодних умов, ніж від системи застосування

удобрювальних продуктів і змінювався в досить широких межах – від 1,8 до 88,7 %. У варіанті дослідів виробничого контролю у поєднанні з інокуляцією насіння бульбочкових бактерій коефіцієнт використання калію з калійних добрив змінювався від 8,0 до 67,5 % і був найнижчим за посушливих умов 2024 року. При цьому зниження дози внесення калійних добрив удвічі підвищувало ці показники відповідно до 9,3 до 88,7 %.

У середньому за три роки проведення досліджень проведення інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями сприяло підвищенню коефіцієнта використання калію з калійних добрив у всіх варіантах дослідів за виключенням варіанту $N_{60}K_{60}$, де він частково знижувався з 6,6 до 5,9 %.

Баланс калію в ґрунті під посівами сої в основному повторював залежності балансу азоту й фосфору, але й мав деякі особливості (табл. 5.34).

Як видно з даних табл. 5.34, баланс калію змінювався в досить широких межах – від 39,6 до -167,1 кг/га. це залежить як від рівня продуктивності сої у роки проведення досліджень, систем застосування удобрювальних продуктів, так і від способу використання нетоварної продукції – стебел сої. За умови видалення стебел з поля лише за посушливих умов у 2024 році у деяких варіантах дослідів складався додатковий баланс калію з показником 13,3–22,9 кг/га. при цьому необхідно зазначити, що додатний баланс калію забезпечують системи удобрення з внесенням повного мінерального добрива з дозою калійних добрив 60 кг/га д. р. – 15,9–16,0 кг/га, а також за проведення на їх тлі інокуляція насіння – 13,3–14,2 кг/га.

**Баланс калію (K₂O) в ґрунті під посівами сої залежно від інокуляції
та удобрення, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження					
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
	За умови видалення стебел з поля			За умови залишення стебел на полі		
Без інокуляції						
Без добрив (контроль)	-88,6	-127,0	-35,6	-26,0	-37,7	-14,6
N ₃₀	-124,9	-131,3	-38,0	-37,6	-41,4	-17,7
N ₆₀	-132,8	-150,4	-40,1	-39,1	-43,8	-18,4
P ₆₀ K ₆₀	-44,3	-78,0	22,9	30,4	17,7	43,4
N ₆₀ K ₆₀	-85,5	-103,9	16,6	17,5	12,3	40,0
N ₆₀ P ₆₀	-138,5	-161,1	-41,4	-40,3	-46,7	-19,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-99,2	-122,7	-10,1	-8,8	-17,5	11,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-90,9	-122,7	16,0	16,2	6,8	39,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	-111,4	-146,3	-13,4	-11,2	-21,1	9,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	-112,2	-143,3	-12,8	-11,3	-20,4	10,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	-87,4	-119,3	15,9	17,1	7,9	39,6
З інокуляцією						
Без добрив (контроль)	-105,9	-139,6	-36,5	-31,7	-43,0	-15,1
N ₃₀	-140,6	-153,7	-39,5	-43,4	-48,0	-18,2
N ₆₀	-148,3	-165,8	-41,9	-44,8	-48,7	-18,7
P ₆₀ K ₆₀	-62,5	-104,6	22,4	24,1	10,0	42,8
N ₆₀ K ₆₀	-105,3	-122,3	14,8	10,6	6,5	39,6
N ₆₀ P ₆₀	-157,6	-181,1	-43,4	-46,9	-53,3	-19,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-116,5	-148,0	-13,2	-15,0	-26,6	9,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-112,5	-146,3	13,3	8,8	-0,5	38,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	-129,7	-165,4	-15,8	-17,5	-27,7	9,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	-131,1	-167,1	-14,7	-18,0	-28,0	9,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	-105,9	-139,5	14,2	10,6	1,4	39,0

Залишення стебел сої на полі значно поліпшувало баланс калію в ґрунті. При цьому він складався додатним лише за внесення калійних добрив у дозі 60 кг/га д. р. Внесення 30 кг/га д. р. калійних добрив сприяло формуванню додатного балансу калію лише в посушливих умовах 2024 року.

Інтенсивність балансу калію більше залежала від погодних умов року проведення досліджень і умови використання стебел сої (табл. 5.35). Вплив

систем застосування добривальних продуктів був меншим. На тлі застосування препарату бульбочкових бактерій для інокуляції насіння сої інтенсивність балансу калію погіршувалась.

Таблиця 5.35

Інтенсивність балансу калію (K_2O) в ґрунті під посівами сої залежно від інокуляції та удобрення, кг/га

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження					
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
	За умови видалення стебел з поля			За умови залишення стебел на полі		
Без інокуляції						
P ₆₀ K ₆₀	57,5	43,5	161,7	202,7	141,8	361,4
N ₆₀ K ₆₀	41,2	36,6	138,2	141,2	125,8	300,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	23,2	19,6	74,8	77,3	63,2	159,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	39,8	32,8	136,4	137,0	112,8	291,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	21,2	17,0	69,1	72,8	58,7	147,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	21,1	17,3	70,1	72,6	59,5	152,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	40,7	33,5	136,1	139,9	115,2	294,1
З інокуляцією						
P ₆₀ K ₆₀	49,0	36,5	159,6	167,1	120,0	348,8
N ₆₀ K ₆₀	36,3	32,9	132,7	121,5	112,1	294,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	20,5	16,9	69,4	66,7	53,0	145,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	34,8	29,1	128,5	117,2	99,2	281,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	18,8	15,4	65,5	63,2	52,0	144,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	18,6	15,2	67,1	62,5	51,7	147,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	36,2	30,1	131,0	121,5	102,4	285,7

Внесення калійних добрив у дозі 60 кг/га д. р. у складі повного мінерального добрива та проведення інокуляції насіння сої забезпечує інтенсивність балансу калію 99,2–281,7 % залежно від погодних умов року проведення досліджень, тоді як за зменшення дози їх внесення до 30 кг/га д. р. знижувало цей показник до 51,7–147,1 %.

У результаті проведених досліджень встановлено, що:

Застосування добрив значно впливало на господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої. У середньому за три роки господарське

винесення азоту збільшувалось від 159,6 кг/га у варіанті без добрив до 193,5–210,0 кг/га за азотних систем і до 206,7–226,6 кг/га за внесення повного мінерального добрива. При цьому азотна складова повного мінерального добрива найбільше впливала на цей показник.

Застосування парних комбінацій основних елементів живлення та варіантів досліду з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив або обох їх видів, забезпечувало незначне зменшення господарського винесення азоту порівняно з повним мінеральним добривом.

Найменше на господарське винесення впливало застосування фосфорно-калійної системи удобрення, оскільки він збільшувався лише на 8 % порівняно з ділянками без добрив.

Необхідно відзначити, що господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел також сильно змінювалось від погодних умов року дослідження. Так, у 2023 р. господарське винесення азоту змінювалось від 236,3 до 317,9 кг/га, у 2022 р. – від 153,0 до 253,2, а в 2024 р. – від 89,7 до 108,8 кг/га залежно від варіанту досліду. Очевидно, що різний рівень урожаю насіння та стебел зумовлює великий діапазон зміни господарського винесення.

Проведення інокуляції підвищувало господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел. Рівень господарського винесення був на 14–17 % вищим порівняно з ділянками без інокуляції. При цьому тенденція впливу систем удобрення як у середньому, так і за роки досліджень була подібною.

Господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої збільшується від 89,7–236,3 кг/га на ділянках без добрив до 108,8–317,9 кг/га за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ залежно від року дослідження. При цьому господарське винесення азоту з урожаєм насіння в 9–11 рази більше порівняно з урожаєм стебел. Баланс азоту може змінюватись від -89,7...-236,3 кг/га у варіанті без добрив до -48,8...-257,9 кг/га без проведення інокуляції. За умови проведення інокуляції баланс азоту має вищі значення. Залишення стебел на полі після

збирання сої не забезпечує отримання додатного балансу азоту.

Господарське винесення фосфору з урожаєм насіння й стебел сої у роки проведення досліджень змінюється в межах 31,2–184,3 кг/га. При цьому цей показник у більшій мірі залежить від погодних умов, ніж від систем застосування удобрювальних продуктів. Це пояснюється значною зміною продуктивності сої – основної і нетоварної продукції. Так, наприклад, у 2024 році винесення фосфору насінням і соломою сої в 3,6–4,1 рази меншим, ніж в умовах 2023 року. Тоді як господарське винесення фосфору у варіанті досліді з проведенням інокуляції насіння на тлі внесення повного мінерального добрива (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) порівняно з абсолютним контролем в середньому за три роки проведення досліджень зростає з 69,7 кг/га до 127,4 кг/га або на 83 %.

Показник відносного винесення фосфору залежно від варіанту досліді та погодних умов змінюється в межах 25,5–40,2 кг/т насіння та відповідну кількість стебел. У середньому за три роки проведення досліджень цей діапазон змін значно менший 29,9–36,2 кг/т і показник винесення збільшувався з поліпшенням умов мінерального живлення рослин сої. Цю особливість необхідно враховувати під час розрахунку доз внесення фосфорних добрив під сою.

У середньому за три роки проведення досліджень залежно від системи застосування добрив коефіцієнт використання з них фосфору становить 21,2–49,3 %. Зменшення дози фосфорних добрив у складі повного мінерального добрива вдвічі (варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$) сприяє підвищенню коефіцієнта використання фосфору з 38,8 % до 49,0 %. Значний вплив на ефективне використання фосфору добрив має поліпшення азотного живлення рослин сої. Так, на фосфорно-калійному тлі ($P_{60}K_{60}$) фосфорні добрива в дозі 60 кг/га д. р. підвищує коефіцієнт використання фосфору на 17,6 %.

За проведення інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями коефіцієнт використання фосфору з добрив залежить від системи їх

застосування. Так, на фосфорно-калійному тлі ($P_{60}K_{60}$) у середньому за три роки проведення досліджень він підвищується з 21,2 до 28,3 %. Також поліпшення цього показника спостерігалось і у варіантах дослідів $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{30}$, тоді як у інших варіантах простежується тенденція до його зниження.

Інтенсивність балансу фосфору в ґрунті під посівами сої змінюється в широких межах – від 17,6 до 326,1 %. Цей показник значно залежить від погодних умов року проведення досліджень, системи застосування удобрювальних продуктів, доз внесення фосфорних добрив, а також способу використання врожаю стебел.

Господарське винесення калію з урожаєм насіння й стебел також більше залежить від погодних умов вегетаційного періоду, ніж від удобрення. Так, ці зміни від погодних умов і удобрення становить 170,7 кг/га або на 479 %, а від удобрення та інокуляції – 79,3 кг/га або на 62 %.

У середньому за три роки проведення досліджень винесення калію з урожаєм сої 83,7–125,9 кг/га залежно від варіанту дослідів і збільшується відповідно до 94,0–141,9 кг/га за проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями.

Відносне винесення калію в досліді становить 27,9–45,0 кг/т насіння та відповідної кількості стебел сої або змінюється на 61 %. Залежно від систем застосування добрив і бактеріального препарату цей показник у середньому за три роки проведення досліджень змінюється від 34,8 до 39,9 кг/т або на 15 %.

Коефіцієнт використання калію в більшій мірі залежить від погодних умов, ніж від системи застосування удобрювальних продуктів і змінюється в досить широких межах – від 1,8 до 88,7 %. У варіанті дослідів виробничого контролю у поєднанні з інокуляцією насіння бульбочкових бактерій коефіцієнт використання калію з калійних добрив змінюється від 8,0 до 67,5 % і був найнижчим за посушливих умов 2024 року. При цьому зниження

дози внесення калійних добрив удвічі підвищує ці показники відповідно до 9.3 до 88,7 %.

Внесення калійних добрив у дозі 60 кг/га д. р. у складі повного мінерального добрива та проведення інокуляції насіння сої забезпечує інтенсивність балансу калію 99,2–281,7 % залежно від погодних умов року проведення досліджень, тоді як за зменшення дози їх внесення до 30 кг/га д. р. знижує цей показник до 51,7–147,1 %.

Результати розділу оприлюднено в публікаціях [205, 147].

РОЗДІЛ 6

АГРОХІМІЧНЕ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ

У стабільному розвитку виробництва продукції рослинництва, соя, як олійна й зернова культура, має важливе значення. В останнє десятиріччя в Україні її площі посіву стабільно зростають, а валові збори збільшуються. Цьому сприяє удосконалення технології її вирощування в якій одне з чільних місць займає система застосування добрив. Це обумовлено як високою вимогливістю сої до умов мінерального живлення, так і високою вартістю мінеральних добрив. У зв'язку з цим розробка ресурсо- та енергоощадних систем оптимізації мінерального живлення сої має важливе значення.

Види добрив, дози внесення та поєднання в системі удобрення сої мають значний вплив на їх ефективність. За інтенсивних технологій її вирощування від правильного її вибору в певних природно-кліматичних умовах регіону залежить доступність рослинам елементів живлення, величина їх непродуктивних втрат, вплив на формування продуктивності культури і довкілля.

Основними показниками економічної ефективності застосування добрив є вартісні показники – собівартість, валовий дохід, прибуток, а критерієм – рівень доходів, який дозволяє розширювати виробництво. При розрахунку економічної ефективності необхідно враховувати й інші показники – як безпосередньо пов'язані з рівнем виробництва, так і ті, що опосередковано впливають на нього.

У сучасних умовах виробництва продукції рослинництва виникають складності оцінювання впливу окремих агрозаходів на кінцеву ефективність застосування добрив, тому економічна ефективність розраховується за сумарним економічним ефектом. Впровадження всього

комплексу заходів, який характерний для природно-економічних умов певного господарства, наявності матеріально-технічної бази та рівня організації виробничого процесу застосування удобрювальних продуктів залежить кінцевий результат.

Розрахунки виробничих витрат на застосування удобрювальних продуктів за різних систем удобрення сої проводили за нормативами згідно технологічних карт, де враховано проведення необхідних операцій. В основу розрахунку економічної ефективності було покладено ціни на придбання удобрювальних продуктів і паливно-мастильних матеріалів, а також на реалізацію насіння сої, що склалися на ринку послуг у четвертому кварталі 2024 року.

До витрат, що пов'язані із застосуванням удобрювальних продуктів, враховували такі показники: вартість удобрювальних продуктів; витрати на їх навантаження, перевезення та внесення; витрати, що пов'язані з одержаним, завдяки застосуванню удобрювальних продуктів, приростом врожайності насіння сої. Виходили з того, що вартість 1 т аміачної селітри була 29,0 тис. грн, 1 т суперфосфату гранульованого – 19,9, 1 т калію хлористого – 30,1 тис. грн. Ціна реалізації 1 т насіння сої становила 20,0 тис. грн, а витрати на інокуляцію насіннєвого матеріалу препаратом бульбочкових бактерій – 157,0 грн/га.

Розрахунки агрохімічної ефективності застосування різних систем удобрення сої і препарату бульбочкових бактерій показали значні відмінності між варіантами дослідів (табл. 6.1).

Як видно з даних табл. 6.1, витрати добрив на формування 1 т приросту врожаю насіння сої в середньому за три роки проведення досліджень становили 66–684 кг д. р. залежно від варіанту дослідів. при цьому найменшими вони були за внесення під сою лише азотних добрив у дозі 30 і 60 кг/га д. р. – відповідно 66 і 101 кг д. р./т, а найбільшими – на тлі внесення лише фосфорних і калійних добрив.

Таблиця 6.1

**Агрохімічна ефективність застосування добрив під сою залежно від
інокуляції (у середньому за 2022–2024 рр.)**

Варіант досліджу	Витрати добрив на формування 1 т приросту врожаю насіння, кг д. р.	Окупність 1 кг д. р. добрив, кг насіння			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N + P ₂ O + K ₂ O
Без інокуляції					
N ₃₀	66	17,7	—	—	17,7
N ₆₀	101	11,5	—	—	11,5
P ₆₀ K ₆₀	684	—	—	—	1,5
N ₆₀ K ₆₀	189	—	—	0,8	5,3
N ₆₀ P ₆₀	167	—	1,5	—	6,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	143	—	—	—	7,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	222	11,8	2,7	2,0	4,5
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	153	—	—	—	6,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	188	—	—	3,3	5,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	191	—	5,0	—	5,2
З інокуляцією					
N ₃₀	61	19,0	—	—	19,0
N ₆₀	104	11,2	—	—	11,2
P ₆₀ K ₆₀	520	—	—	—	1,9
N ₆₀ K ₆₀	189	—	—	1,2	5,3
N ₆₀ P ₆₀	165	—	2,0	—	6,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	122	—	—	—	8,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	215	11,3	3,2	2,3	4,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	150	—	—	—	6,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	177	—	—	4,7	5,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	183	—	6,3	—	5,5

З парних комбінацій основних елементів живлення найбільш ефективним за цим показником було внесення сумісно азотних і калійних

добрив. де показник витрат добрив на формування 1 т приросту врожаю насіння становив 167 кг д. р., або збільшувався на 65 % порівняно з варіантом досліду N_{60} . Зменшення дози внесення повного мінерального добрива вдвічі знижувало цей показник з 222 до 143 кг д. р/т або на 36 %.

За нинішніх економічних умов важливо знати доцільність зниження частки окремих елементів живлення в складі повного мінерального добрива. Як показали проведені розрахунки, зниження в складі повного мінерального добрива ($N_{60}P_{60}K_{60}$) частки фосфору, калію або обох їх удвічі зменшувало витрати добрив на формування одиниці приросту врожаю відповідно на 14, 15 і 31 %.

Проведення інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями у поєднанні з удобренням сприяло підвищенню ефективності мінеральних добрив, так, у варіанті досліду виробничого контролю ($N_{60}P_{60}K_{60}$) їх витрати на формування 1 т приросту врожаю насіння зменшувалися з 222 до 215 кг д. р., а в абсолютному контролі – з 66 до 61 кг д. р.

Окупність 1 кг д. р. різних видів мінеральних добрив залежала як від доз їх внесення, так і від поєднання з іншими видами у системі удобрення. Так, окупність 1 кг азоту добрив становила в межах 11,5–17,7 кг насіння й була найвищою за внесення невисокої дози азотних добрив (N_{30}). Окупність фосфорних і калійних добрив становила відповідно 1,5–2,7 кг і 0,8–2,0 кг насіння і також була найвищою за низької дози їх внесення – 30 кг/га д. р.

Окупність 1 кг $N + P_2O + K_2O$ істотно змінювалася (від 1,5 до 17,7 кг насіння) і була найвищою за внесення під сою лише азотних добрив. За внесення повного мінерального добрива у різних поєднаннях основних елементів живлення цей показник становив 4,5–7,0 кг насіння і був найбільшим за половинної дози добрив від виробничого контролю (варіант досліду $N_{30}P_{30}K_{30}$).

Проведення інокуляції сої препаратом бульбочкових бактерій сприяло поліпшенню показників окупності приростом урожаю насіння сої одиниці

діючої речовини мінеральних добрив. Так, на ділянках дослідів варіанту N₃₀ цей показник підвищувався з 17,7 до 19,0 кг насіння, або на 7 %, а у варіанті дослідів виробничого контролю – з 4,5 до 4,7 кг або на 4 %. Найбільша ефективність інокуляції за цим показником проявлялась за дози внесення мінеральних добрив N₃₀P₃₀K₃₀ – окупність 1 кг N + P₂O + K₂O зростала з 7,0 до 8,2 кг або на 17 %.

Таблиця 6.2

Енергетична ефективність застосування добрив під сою залежно від інокуляції (у середньому за 2022–2024 рр.)

Варіант дослідів	Енергоємність, ГДж/га		Чистий енергетичний дохід, ГДж/га	K _{се}	Енергетична собівартість 1 т приросту врожаю насіння, ГДж
	приросту врожаю насіння	застосування добрив			
Без інокуляції					
N ₃₀	8,7	4,9	3,9	0,79	9,2
N ₆₀	11,4	8,6	2,8	0,33	12,4
P ₆₀ K ₆₀	3,1	6,3	-3,2	-0,51	33,4
N ₆₀ K ₆₀	12,2	10,8	1,4	0,13	14,6
N ₆₀ P ₆₀	12,8	12,6	0,3	0,02	16,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,5	8,2	3,3	0,40	11,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14,8	14,8	0,0	0,00	16,5
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	14,5	12,0	2,5	0,21	13,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	14,5	13,8	0,7	0,05	15,7
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	14,6	13,0	1,6	0,13	14,6
З інокуляцією					
N ₃₀	9,4	5,0	4,4	0,89	8,7
N ₆₀	11,0	8,5	2,5	0,30	12,7
P ₆₀ K ₆₀	4,1	6,5	-2,4	-0,37	26,1
N ₆₀ K ₆₀	12,2	10,8	1,4	0,13	14,6
N ₆₀ P ₆₀	13,0	12,6	0,4	0,03	15,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13,5	8,6	4,9	0,57	10,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	15,3	14,9	0,4	0,03	16,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	14,8	12,1	2,7	0,23	13,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	15,3	13,9	1,3	0,10	15,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	15,3	13,1	2,2	0,17	14,1

У зв'язку зі значним диспаритетом і зміною цін на продукцію рослинництва, удобрювальні продукти і паливо-мастильні матеріали,

визначення енергетичної ефективності складових технології вирощування сої дозволяє повніше провести оцінювання заходів, що вивчалися в досліді.

Як видно з даних табл. 6.2, енергоємність приросту врожаю насіння сої в досліді в середньому за три роки проведення досліджень змінювалася від 8,7 до 15,3 ГДж/га і була найбільшою за внесення повного мінерального добрива ($N_{60}P_{60}K_{60}$) на тлі передпосівної інокуляції насіння. зменшення в складі повного мінерального добрива дози фосфорних і калійних добрив удвічі не знижувало цей показник.

Енерговитрати на застосування добрив, як показали розрахунки, залежать як від видів мінеральних добрив, їх доз та поєднань як між собою, так і з препаратом бульбочкових бактерій з змінювалися в межах 4,9–13,9 ГДж/га. Особливо їх збільшує застосування азотних добрив.

Чистий енергетичний дохід у проведеному досліді був у межах від -3,2 до 4,9 ГДж/га і, отже, не покривав енерговитрати на застосування добрив, про що свідчить показник коефіцієнта енергетичної ефективності.

Енергетична собівартість 1 т приросту врожаю насіння сої формувалась у межах 9,2–33,4 ГДж і була найменшою за внесення лише азотних добрив у невисокій дозі – 30 кг/га д. р., а найвищою – за внесення фосфорних і калійних добрив ($P_{60}K_{60}$).

Проведення інокуляції сої препаратом бульбочкових бактерій сприяло зниженню енергетичної собівартості одиниці приросту врожаю насіння. так, у варіанті досліді N_{30} , вона знижувалась на 5 %, а за внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ – на 11 %. За цим показником ефективним було внесення під сою $N_{60}P_{30}K_{30}$ і проведення інокуляції насіння, де енергетична собівартість 1 т насіння порівняно з виробничим контролем знижувалася з 16,5 до 13,4 ГДж або на 37 %.

Розрахунок економічної ефективності застосування удобрювальних продуктів під сою показав, що вона значно залежить від системи удобрення (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

**Економічна ефективність застосування добрив під сою залежно від
інокуляції (у середньому за 2022–2024 рр.)**

Варіант досліджу	Показник				
	Приріст урожаю, т/га	Вартість насіння, тис. грн/га	Витрати на удобрєння, тис. грн/га	Умовно чистий прибуток/збиток, тис. грн/га	Рівень рентабельності/зб итковості за умовно чистим прибутком, %
Без інокуляції					
N ₃₀	0,53	10,6	2,6	8,0	306,1
N ₆₀	0,69	13,8	3,5	10,3	296,6
P ₆₀ K ₆₀	0,19	3,8	13,3	-9,5	-71,5
N ₆₀ K ₆₀	0,74	14,8	10,8	4,0	36,6
N ₆₀ P ₆₀	0,78	15,6	9,5	6,2	65,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	0,70	14,0	9,3	4,7	51,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,90	18,0	16,8	1,2	7,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	0,88	17,6	10,1	7,5	73,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	0,88	17,6	13,1	4,5	34,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,89	17,8	13,8	4,0	28,8
З інокуляцією					
N ₃₀	0,57	11,4	2,8	8,6	312,0
N ₆₀	0,67	13,4	3,6	9,8	268,4
P ₆₀ K ₆₀	0,25	5,0	13,5	-8,5	-62,9
N ₆₀ K ₆₀	0,74	14,8	11,0	3,8	34,6
N ₆₀ P ₆₀	0,79	15,8	9,6	6,2	64,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	0,82	16,4	9,4	7,0	73,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,93	18,6	17,0	1,6	9,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	0,90	18,0	10,3	7,7	74,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	0,93	18,6	13,3	5,3	40,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,93	18,6	14,0	4,6	33,0

Як видно з даних табл. 6.3, вартість приросту врожайності насіння залежно від варіанту досліджу становила 3,8–18,6 тис. грн/га і була найбільшою за внесення повного мінерального добрива (варіанти N₆₀P₆₀K₆₀, N₆₀P₃₀K₃₀ і N₆₀P₃₀K₆₀) та проведення інокуляції насіння бульбочковими

бактеріями. Як на приріст урожайності сої, так і на його вартість найбільше впливало поліпшення азотного живлення рослин.

Витрати на удобрення становили від 2,6 до 17,0 тис. грн/га. з їх урахуванням умовно чистий прибуток/збиток становив від -9,5 до 7,7 тис. грн/га. у варіанті досліді $P_{60}K_{60}$ вартість приросту урожаю насіння не покривала вартість добрив і виробничих витрат на їх застосування.

З економічного погляду найбільш доцільним у середньому за роки проведення досліджень було внесення під сою N_{30-60} як з проведенням інокуляції насіння бульбочковими бактеріями, так і без неї – умовно чистий дохід відповідно становив 8,0–10,3 тис. грн/га.

Рівень рентабельності/збитковості застосування удобрювальних продуктів за умовно чистим прибутком був від -71,5 до 312,0 %. За цим показником також необхідно виділити варіанти досліді $N_{60}P_{30}K_{30}$ без проведення і з проведенням інокуляції насіння, які забезпечували рівень рентабельності відповідно 73,5 і 74,7 %.

Для обрахунку індексу комплексного оцінювання використовували окупність удобрювальних продуктів, енергетичний та економічний прибуток, а також показники інтенсивності балансу азоту, фосфору й калію в ґрунті (рис. 6.1).

Як видно з рис 6.1, найвищим цей показник був за внесення під сою лише азотних добрив у дозі 30 і 60 кг/га д. р. – відповідно 0,77 і 0,78. При цьому за проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями на тлі внесення 60 кг/га азоту він знижувався з 0,78 до 0,74, тоді як на тлі 30 кг/га азоту – частково підвищувався з 0,77 до 0,78.

Високий показник індексу комплексного оцінювання (0,60–0,68) забезпечували варіанти досліді з внесенням $N_{30}P_{30}K_{30}$ і $N_{60}P_{30}K_{30}$ з проведенням і без проведення інокуляції насіння. Особливо було ефективним за цим показником проведення інокуляції на тлі $N_{30}P_{30}K_{30}$, що сприяло підвищенню індексу комплексного оцінювання з 0,60 до 0,68.

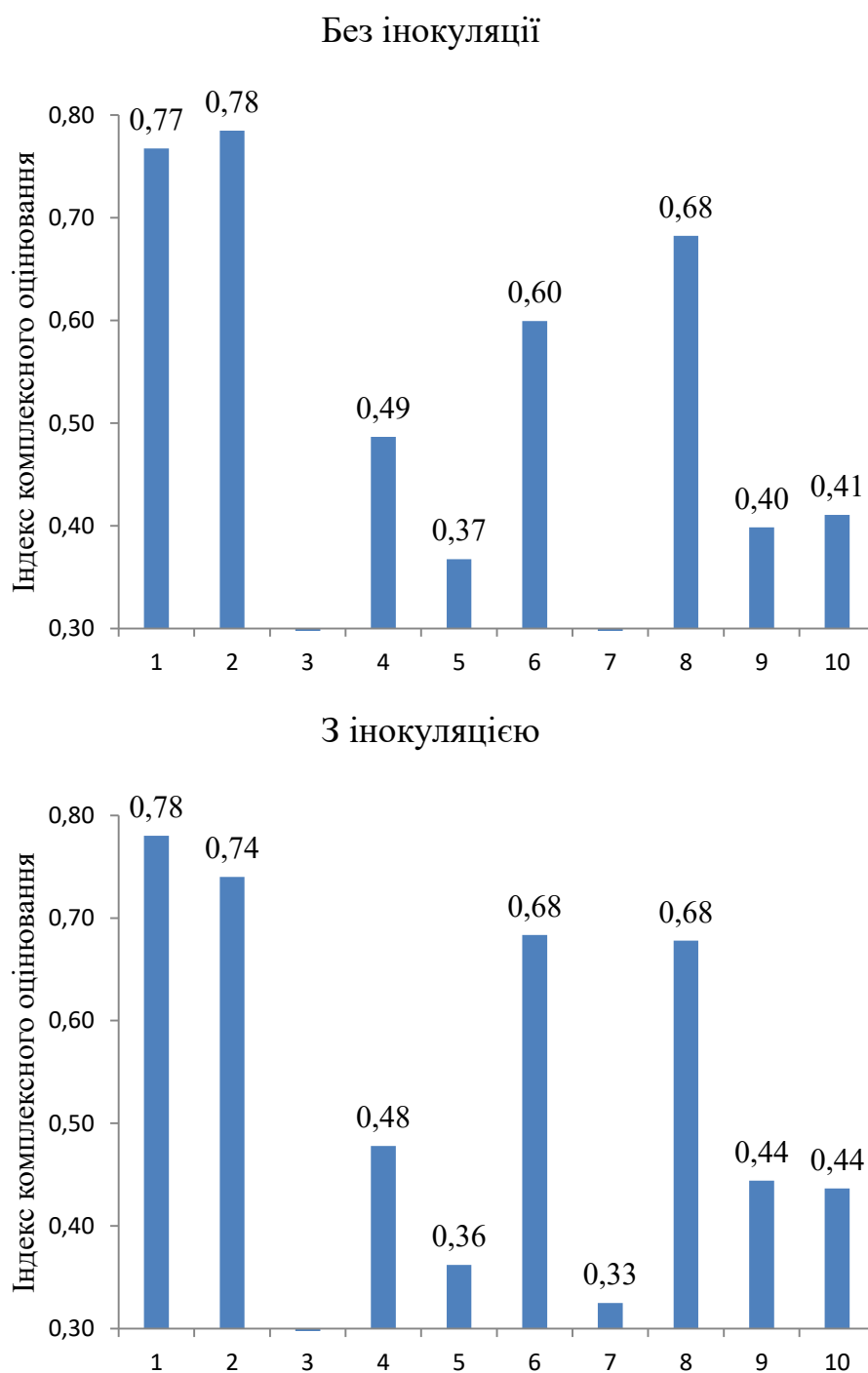


Рис. 6.1 Індекс комплексного оцінювання систем удобрення сої, 2022–2024 рр.: 1) N_{30} ; 2) N_{60} ; 3) $P_{60}K_{60}$; 4) $N_{60}K_{60}$; 5) $N_{60}P_{60}$; 6) $N_{30}P_{30}K_{30}$; 7) $N_{60}P_{60}K_{60}$; 8) $N_{60}P_{30}K_{30}$; 9) $N_{60}P_{60}K_{30}$; 10) $N_{60}P_{30}K_{60}$

Висновки до розділу

Витрати добрив на формування 1 т приросту врожаю насіння сої в середньому за три роки проведення досліджень становлять 66–684 кг д. р. залежно від варіанту досліду. При цьому найменшими вони є за внесення під сою лише азотних добрив у дозі 30 і 60 кг/га д. р. – відповідно 66 і 101 кг д. р./т, а найбільшими – на тлі внесення лише фосфорних і калійних добрив.

Окупність 1 кг д. р. різних видів мінеральних добрив залежить як від доз їх внесення, так і від поєднання з іншими видами у системі удобрення. Так, окупність 1 кг азоту добрив становить у межах 11,5–17,7 кг насіння й була найвищою за внесення невисокої дози азотних добрив (N_{30}). Окупність фосфорних і калійних добрив становить відповідно 1,5–2,7 кг і 0,8–2,0 кг насіння і також була найвищою за низької дози їх внесення – 30 кг/га д. р.

Окупність 1 кг $N + P_2O + K_2O$ істотно змінюється (від 1,5 до 17,7 кг насіння) і була найвищою за внесення під сою лише азотних добрив. За внесення повного мінерального добрива у різних поєднаннях основних елементів живлення цей показник становить 4,5–7,0 кг насіння і був найбільшим за половинної дози добрив від виробничого контролю (варіант досліду $N_{30}P_{30}K_{30}$).

Проведення інокуляції сої препаратом бульбочкових бактерій сприяє поліпшенню показників окупності приростом урожаю насіння сої одиниці діючої речовини мінеральних добрив. Так, на ділянках досліду варіанту N_{30} цей показник підвищується з 17,7 до 19,0 кг насіння, або на 7 %, а в варіанті досліду виробничого контролю – з 4,5 до 4,7 кг або на 4 %. Найбільша ефективність інокуляції за цим показником проявлялась за дози внесення мінеральних добрив $N_{30}P_{30}K_{30}$ – окупність 1 кг $N + P_2O + K_2O$ зростала з 7,0 до 8,2 кг або на 17 %.

Чистий енергетичний дохід у проведеному досліді у межах від -3,2 до 4,9 ГДж/га і, отже, не покривав енерговитрати на застосування добрив, про що свідчить показник коефіцієнта енергетичної ефективності.

Енергетична собівартість 1 т приросту врожаю насіння сої формується в межах 9,2–33,4 ГДж і найменша за внесення лише азотних добрив у невисокій дозі – 30 кг/га д. р., а найвища – за внесення фосфорних і калійних добрив ($P_{60}K_{60}$).

З економічного погляду найбільш доцільним у середньому за роки проведення досліджень є внесення під сою N_{30-60} як з проведенням інокуляції насіння бульбочковими бактеріями, так і без неї – умовно чистий дохід відповідно становив 8,0–10,3 тис. грн/га.

Найвищим індекс комплексного оцінювання за внесення під сою лише азотних добрив у дозі 30 і 60 кг/га д. р. – відповідно 0,77 і 0,78. При цьому за проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями на тлі внесення 60 кг/га азоту він знижується з 0,78 до 0,74, тоді як на тлі 30 кг/га азоту – частково підвищується з 0,77 до 0,78.

Результати розділу висвітлено в публікації [89].

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено загальні закономірності формування продуктивності сої за різних систем удобрення залежно від інокуляції та погодних умов, що виявляється в наступному:

1. Удобрення без інокуляції істотно збільшує формування кількості бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості в усіх варіантах удобрення порівняно з контролем, крім $P_{60}K_{60}$. Показники формування кількості бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості у варіанті $P_{60}K_{60}$ не достовірні порівняно з варіантом контроль у всі роки досліджень. Найвища кількість бульбочок на кореневій системі сої у фазу повної стиглості отримана у варіантах удобрення $N_{60}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{60}$ (41,4–41,5 шт/рослину). На тлі з інокуляцією формування кількості бульбочок на кореневій системі сої в фазу повної стиглості істотно більше за варіант на тлі без інокуляції, у варіанті контроль різниця 13,8 шт/рослину, а в варіантах з удобренням 18,1–18,5 шт/рослину.

2. Застосування добрив достовірно збільшує масу однієї рослини сої. Так, у середньому за три роки досліджень цей показник збільшується від 10,0 до 11,6–12,8 г або на 16–28 % за азотних систем удобрення. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ маса однієї рослини збільшується до 12,3 г і до 13,8 г або на 6–8 % порівняно з азотними системами, що свідчить про великий вплив азоту на формування індивідуальної продуктивності рослин сої.

Достовірно зростає маса насіння сої з однієї рослини. Так, у середньому за три роки досліджень цей показник збільшується від 3,1 до 3,7–3,9 г або на 19–26 % за азотних систем удобрення. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ маса насіння з однієї рослини збільшується до 3,9 г і до 4,2 г або на 6–8 % порівняно з азотними системами, що свідчить про великий вплив азоту на формування індивідуальної продуктивності рослин сої.

Застосування азотно-калійної, азотно-фосфорної та варіанти з неповним

поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижують маси насіння з однієї рослини сої. Необхідно відзначити, що найменше на цей показник впливає застосування фосфорно-калійної системи удобрення. За такого сценарію удобрення маса насіння з однієї рослини збільшується лише до 3,4 г або на 10 % порівняно з ділянками без добрив.

Застосування інокуляції також достовірно збільшує масу насіння з однієї рослини сої на 12–16 % порівняно з ділянками без проведення інокуляції насіння. При цьому застосування добрив має подібну тенденцію порівняно з ділянками без інокуляції. Так, цей показник збільшується від 3,6 г у варіанті без добрив до 4,2–4,3 г за азотних систем і до 4,5–4,7 г за внесення повного мінерального добрива.

3. Результати досліджень свідчать, що найбільше врожайність насіння сої змінюється від погодних умов та удобрення. Найменше від застосування інокуляції. У середньому за три роки досліджень врожайність збільшується від 2,50 до 3,03 т/га за внесення N_{30} і до 3,19 т/га за внесення N_{60} . Застосування повного мінерального добрив в дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$ збільшує цей показник до 3,20 т/га або на 6 %, а $N_{60}P_{60}K_{60}$ – до 3,40 т/га або на 7 % порівняно з азотними системами. Застосування інокуляції сприяє збільшенню врожайності на 0,38–0,41 т/га залежно від варіанту дослідів. При цьому таку тенденцію встановлено впродовж усіх років дослідження.

Урожайність насіння сої значно змінюється залежно від погодних умов року дослідження про, що свідчить низький індекс стабільності – 0,36–0,40. Встановлено, що застосування N_{30} збільшує врожайність насіння сої до 3,92 т/га в 2023 р. Застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечує збільшення її до 4,32 т/га. За умови застосування подвійної дози азотних добрив врожайність становить 4,15–4,61 т/га. Проведення інокуляції насіння перед сівбою забезпечує отримання 0,54–0,60 т/га насіння порівняно з ділянками без добрив.

Найменше врожайність зростає від застосування фосфорних і калійних

добрив. Варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив достовірно не знижують урожайність насіння порівняно з повним мінеральним добривом.

4. Внесення азоту в дозі 30 кг/га дають незначне підвищення вмісту білка в порівнянні з контролем – 38,3 %. Це демонструє позитивний вплив азотних добрив, але без суттєвих змін порівняно з інтенсивними схемами удобрення. Внесення азоту в дозі 60 кг/га забезпечує значне підвищення вмісту білка – 39,0 %, що вказує про більший вплив азоту на синтез білка. Внесення фосфору та калію в дозі по 60 кг/га забезпечує результати схожі з контролем – 38,0 %, що свідчить про незначний вплив фосфорних і калійних добрив на вміст білка порівняно з азотом. Азот разом з калієм має більш позитивний вплив на синтез білка. Комбінація азоту і калію по 60 кг/га кожного зумовлює формування вмісту білка на рівні 39,1 %. Комбінація азоту і фосфору по 60 кг/га підвищує вміст білка до 39,1 %, що свідчить про позитивну взаємодію азоту і фосфору.

5. Застосування добрив значно впливало на господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої. У середньому за три роки господарське винесення азоту збільшувалось від 159,6 кг/га у варіанті без добрив до 193,5–210,0 кг/га за азотних систем і до 206,7–226,6 кг/га за внесення повного мінерального добрива. При цьому азотна складова повного мінерального добрива найбільше впливала на цей показник.

Господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої збільшується від 89,7–236,3 кг/га на ділянках без добрив до 108,8–317,9 кг/га за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ залежно від року дослідження. При цьому господарське винесення азоту з урожаєм насіння в 9–11 рази більше порівняно з урожаєм стебел. Баланс азоту може змінюватись від -89,7...-236,3 кг/га у варіанті без добрив до -48,8...-257,9 кг/га без проведення інокуляції. За умови проведення інокуляції баланс азоту має вищі значення. Залишення стебел на полі після збирання сої не забезпечує отримання додатного балансу азоту.

Показник відносного винесення фосфору залежно від варіанту досліджу та погодних умов змінюється в межах 25,5–40,2 кг/т насіння та відповідну кількість стебел. У середньому за три роки проведення досліджень цей діапазон змін значно менший 29,9–36,2 кг/т і показник винесення збільшувався з поліпшенням умов мінерального живлення рослин сої. Цю особливість необхідно враховувати під час розрахунку доз внесення фосфорних добрив під сою.

Інтенсивність балансу фосфору в ґрунті під посівами сої змінюється в широких межах – від 17,6 до 326,1 %. Цей показник значно залежить від погодних умов року проведення досліджень, системи застосування удобрювальних продуктів, доз внесення фосфорних добрив, а також способу використання врожаю стебел.

Внесення калійних добрив у дозі 60 кг/га д. р. у складі повного мінерального добрива та проведення інокуляції насіння сої забезпечує інтенсивність балансу калію 99,2–281,7 % залежно від погодних умов року проведення досліджень, тоді як за зменшення дози їх внесення до 30 кг/га д. р. знижує цей показник до 51,7–147,1 %.

6. Окупність 1 кг д. р. різних видів мінеральних добрив залежить як від доз їх внесення, так і від поєднання з іншими видами у системі удобрення. Так, окупність 1 кг азоту добрив становить у межах 11,5–17,7 кг насіння й була найвищою за внесення невисокої дози азотних добрив (N_{30}). Окупність фосфорних і калійних добрив становить відповідно 1,5–2,7 кг і 0,8–2,0 кг насіння і також була найвищою за низької дози їх внесення – 30 кг/га д. р.

Окупність 1 кг $N + P_2O + K_2O$ істотно змінюється (від 1,5 до 17,7 кг насіння) і була найвищою за внесення під сою лише азотних добрив. За внесення повного мінерального добрива у різних поєднаннях основних елементів живлення цей показник становить 4,5–7,0 кг насіння і був найбільшим за половинної дози добрив від виробничого контролю (варіант досліджу $N_{30}P_{30}K_{30}$).

Чистий енергетичний дохід у проведеному досліді у межах від 3,2 до 4,9 ГДж/га і, отже, не покривав енерговитрати на застосування добрив, про що свідчить показник коефіцієнта енергетичної ефективності.

7. З економічного погляду найбільш доцільним у середньому за роки проведення досліджень є внесення під сою N_{30-60} як з проведенням інокуляції насіння бульбочковими бактеріями, так і без неї – умовно чистий дохід відповідно становив 8,0–10,3 тис. грн/га.

Найвищим індекс комплексного оцінювання за внесення під сою лише азотних добрив у дозі 30 і 60 кг/га д. р. – відповідно 0,77 і 0,78. При цьому за проведення інокуляції насіння бульбочковими бактеріями на тлі внесення 60 кг/га азоту він знижується з 0,78 до 0,74, тоді як на тлі 30 кг/га азоту – частково підвищується з 0,77 до 0,78.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

В умовах Правобережного Лісостепу на чорноземі опідзоленому для отримання високого врожаю сої після ячменю ярого в чотирипільній сівозміні з урахуванням економічної, агрохімічної, енергетичної ефективності та інтенсивності балансу основних елементів живлення в ґрунті застосовувати $N_{30}P_{30}K_{30}$ і проводити інокуляцію насіння бульбочковими бактеріями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Accoroni C., Godoy E., Reinheimer M. A. Performance evaluation of protein recovery from argentinian soybean extruded-expelled meals under different operating conditions. *Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 274. 109849.
2. Bais J., Kandel H., DeSutter T., Deckard E., Keene C. Soybean Response to N Fertilization Compared with Co-Inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*. *Agronomy*. 2023. Vol. 13(8). 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082022>.
3. Barbosa J. Z., Hungria M., da Silva Sena J. V., Poggere G., dos Reis A. R., Correa R. S. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. *Appl. Soil Ecol.* 2021. Vol. 163. 103913.
4. Bashan Y., Levanony H. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Can. J. Microbiol.* 1990. Vol. 36. P. 591–608.
5. Buttery B. R., Park S. J., Hume D. J. Potential for increasing nitrogen fixation in grain legumes. *Can. J. Plant Sci.* 1992. Vol. 72. P. 323–349.
6. Campo R. J., Araujo R. S., Hungria M. Nitrogen fixation with the soybean crop in Brazil: Compatibility between seed treatment with fungicides and bradyrhizobial inoculants. *Symbiosis*. 2009. Vol. 48. P. 154–163.
7. Cheng M. H., Rosentrater K. A. Profitability analysis of soybean oil processes. *Bioengineering*. 2017. Vol. 4(4). 83. doi: 10.3390/bioengineering4040083
8. Chibeba A. M., Guimarães M. F., Brito O. R., Nogueira M. A., Araujo R. S., Hungria M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. *Am. J. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. P. 1641–164.

9. Ciampitti I. A., Salvagiotti F. New insights into soybean biological nitrogen fixation. *Agron. J.* 2018. Vol. 110. P. 1185–1196.
10. De Borja Reis A. F., Moro Rosso L. H., Adey E., Davidson D., Kovács P., Purcell L. C., Below F. E., Casteel S. N., Knott C., Kandel H., et al. Seed inoculation with *Azospirillum brasilense* in the U. S. soybean systems. *Field Crops Res.* 2022. Vol. 283. 108537.
11. Dudka A. A., Melnyk A. V. Varietal features of the formation of soybean performance according to the norms of fertilizers and foliar fertilization under the conditions of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University.* 2023. Vol. 52(2). P. 28–37.
12. Eckhardt U., Grimm B., Hörtensteiner S. Recent advances in chlorophyll biosynthesis and breakdown in higher plants. *Plant Mol. Biol.* 2004. P. 1 – 14.
13. Fehr, W. R., Caviness C. E., Burmood D. T., Pennington J. S. Stage of development descriptions for soybeans, glycine max (L.) merrill. *Crop Sci.* 1971. Vol. 11. P. 929–931.
14. Fogelberg F. Soybean (*Glycine max*) cropping in Sweden—influence of row distance, seeding date and suitable cultivars. *Acta Agric. Scand. Sect. B-Soil Plant Sci.* 2021. Vol. 71(5). P. 311–317.
15. Franche C., Linolstrom K., Elmerich C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and nonleguminous plants. Springer Science Business. Media B. 2008. V. 321. P. 35–59.
16. Furman O. V. Formation of soybean leaf surface area under the influence of inoculation and level of fertilizing. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН».* Київ, 2019. Вип. 1–2. С. 71–80.
17. Furman O. Influence of mineral fertilizers and inoculation on the formation of individual and seed productivity of soybean in conditions of the Right-Bank Forest-Step. *Feeds and Feed Production.* 2021. Vol. (91). P. 82–92.
18. Galal Y. Dual inoculation with strains of *Bradyrhizobium japonicum* and

- Azospirillum brasilense* to improve growth and biological Nitrogen fixation of soybean (*Glycine max* L.). *Biol. Fertil. Soils*. 1997. Vol. 24. P. 317–322.
19. Ghazala M., Katsumi S., Setsuko K. Proteomic analysis of flooded soybean root exposed to aluminum oxide nanoparticles. *Journal of Proteomics*. 2015. Vol. 128. P. 280–297.
 20. Gonzalez D., Novillo J., Rico M. I., Alvarez J. M. Leaching and efficiency of six organic zinc fertilizers applied to navy bean crop grown in a weakly acidic soil of Spain. *J. Agric. Food Chem*. 2008. Vol. 56(9). P. 3214–3221.
 21. Gordon A. J., Skøt L., James C. L., Minchin F. R. Short-term metabolic response of soybean root nodules to nitrate. *J. Exp. Bot*. 2002. Vol. 53. P. 423–428. doi: 10.1093/jexbot/53.368.423.
 22. Groppa M. D., Zawoznik M. S., Tomaro M. L. Effect of co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* on soybean plants. *Eur. J. Soil Biol*. 1998. Vol. 34. P. 75–80.
 23. Hardarson G., Zapata F., Danso K. S. A. Effect of plant genotype and nitrogen fertilizer on symbiotic fixation by soybean cultivars. *Plant Soil*. 1984. Vol. 82. P. 397–405.
 24. Hospodarenko H., Liubych V., Oliinyk O., Polianetska I., Silifonov T. Influence of fertilization on the crop rotation productivity and the balance of essential nutrients in the soil. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*. 2022. Vol. 75(2). P. 9919–9928.
 25. Hungria M., Nogueira M. A., Araujo R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: Strategies to improve sustainability. *Biol. Fertil. Soils*. 2013. Vol. 49. P. 791–801.
 26. Hungria M., Nogueira M. A., Araujo R. S. Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: A new biotechnological tool to improve yield and sustainability. *Am. J. Plant Sci*. 2015. Vol. 6. P. 811–817.
 27. Kaschuk, G., Nogueira, M. A., de Luca, M. J. & Hungria, M. Response of

- determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. *F. Crop.* 2016. Res. 195. P. 21–27.
28. Mebelo M., Sichilima I. Phenotypic plasticity in soybean (*Glycine max* (Merrill)) genotypes with contrasting growth characteristics subjected to planting density stress at different developmental stages. *African J. of Agricultural Research.* 2019. Vol. 14. P. 643 – 651.
 29. Meshram, N. A., Ismail, S., Shirale, S. T., & Patil, V. D. (2016). Impact of long-term fertilizer application on soil fertility, nutrient uptake, growth and productivity of soybean under soybean-safflower cropping sequence in Vertisol. *Legume Research-An International Journal.* Vol. 42(2). P. 182–189.
 30. Ohyama T., Tewari K., Ishikawa Sh., Tanaka K., Kamiyama S. et al. Role of Nitrogen on Growth and Seed Yield of Soybean and a New Fertilization Technique to Promote Nitrogen Fixation and Seed Yield. From the edited volume *Soybean*. Edited by Minobu Kasai. OPEN ACCESS PEER-REVIEWED CHAPTER. Published: 03 May 2017. DOI: 10.5772/66743.
 31. Oliver O., Hillary M., Otieno E., Gidraf O. Production systems and contributions of grain legumes to soil health and sustainable agriculture: A review. *Archives of Agriculture and Environmental Science.* 2023. Vol. 8(2). P. 259–267.
 32. Palmero F., Javier A., Fernando O., Garcia C, A quantitative review into the contributions of biological nitrogen fixation to agricultural systems by grain legumes. *European Journal of Agronomy.* 2022. Vol. 136. P. 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126514>
 33. Pan Z., Zhang R., Zicari S. Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products. Academic Press. 2019. P. 73–104.
 34. Panasiewicz K., Faligowska A., Szymańska G., Ratajczak K., Sulewska H. Optimizing the amount of nitrogen and seed inoculation to improve the

- quality and yield of soybean grown in the southeastern baltic region. *Agriculture*. 2023. Vol. 13. 798.
35. Pooja T., Chae-In N., Yoonha, K. . Effect of silicon fertilizer treatment on nodule formation and yield in soybean. *European Journal of Agronomy*. 2021. Is. 122. doi: 10.1016/j. eja.2020.126172
 36. Puyu V., Bakhmat M., Pantsyreva H., Khmelianchyshyn Y., Stepanchenko V., Bakhmat O. Social-and-Ecological Aspects of Forage Production Reform in Ukraine in the Early 21st Century. *European Journal of Sustainable Development*. 2021. Vol. 10 (1). P. 221–228.
 37. Rizzo G., Baroni L. Soy, soy foods and their role in vegetarian diets. *Nutrients*. 2018. Vol. 10 (1). 43 doi: 10.3390/nu10010043.
 38. Salvagiotti F., Cassman K. G., Specht J. E., Walters D. T., Weiss A., Doberman A. Nitrogen uptake, fixation, and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Res*. 2008. Vol. 108. P. 1–13.
 39. Salvagiotti F., Cassman K. G., Sprecht J. E., Walters D. T., Weiss A., Dobermann A. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crop Res*. Vol. 108. P. 1–13.
 40. Serafin-Andrzejewska M., Jama-Rodzeńska A., Helios W. et al. Influence of nitrogen fertilization, seed inoculation and the synergistic effect of these treatments on soybean yields under conditions in south-western Poland. *Sci Rep*. 2024. Vol. 14. 6672.
 41. Shevnikov, M., Milenko, O., Lotysh, I., Shevnikov, D., & Shovkova, O. (2022). The effect of cultivation conditions on the nitrogen fixation and seed yield of three Ukrainian varieties of soybean. *Scientific Horizons*. Vol. 25(8). P. 17–27. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(8\).2022.17-27](https://doi.org/10.48077/scihor.25(8).2022.17-27)
 42. Wang X., Komatsu S. Chapter Four – Improvement of Soybean Products Through the Response Mechanism Analysis Using Proteomic Technique. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2017. Vol. 82. P. 117–148.
 43. Zapata F., Danso S. K. A., Hardarson G., Fried M. Time course of nitrogen

- fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agron. J.* 1987. Vol. 79. P. 172–176.
44. Абаєв А. А. Використання цеолітів для підвищення продуктивності сої. *Агрохімія*. 2008. № 2. С. 26–32.
 45. Авраменко С., Манько К., Шелякін В., Бобров О. Удобрення сої: нові підходи. *Пропозиція*. 2016. № 4. С. 66–68.
 46. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ: ТОВ «PIA» БЛПЦ. 2014. 16 с. URL: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/idmp-cee/idmp-agroclimatic.pdf
 47. Адамець Ф. Ф. Агробіологічні особливості вирощування сої в Україні. Київ: Аграрна наука, 2006. 456 с.
 48. Адаптація агротехнологій до зміни клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти / за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, Б. С. Носка. Харків: Стильна типографія, 2018. 364 с.
 49. Алексєєв О. О. Вплив факторів зовнішнього середовища на розвиток і продуктивність бобових ризобіальних симбіозів. *Сільське та лісове господарство*. 2016. № 4. С. 187–196.
 50. Бабич А. О., Бабич-Побережна А. А. Соєвий пояс і розміщення виробництва сої в Україні. *Пропозиція*. 2019. № 4. С. 52–56.
 51. Бабич А. О., Колісник С. І., Кобак С. Я. та ін. Теоретичне обґрунтування та шляхи оптимізації сортової технології вирощування сої в умовах Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2011. Вип. 69. С. 113–121.
 52. Бабич А. О., Петриченко В. Ф., Адамець Ф. Ф. Проблеми фотосинтезу і біологічної фіксації азоту бобовими культурами. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 2. С. 34–39.
 53. Байда М. П. Ефективність фотосинтезу сої залежно від впливу елементів технології вирощування. *Наукові праці Інституту*

- біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2021. № 29. С.129–138.
54. Бараболя О. В., Найдіон М. Ю., Кононенко С. М., Коровніченко С. Г. Вплив мінерального живлення на продуктивність сої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 4. С. 35–44. DOI: doi. org/10.31210/visnyk2020.04.04.
 55. Барсуков С. С. Урожайність сої в залежності від доз органічних і мінеральних добрив. *Кормовиробництво*. 2002. Вип. № 10. С. 26–27.
 56. Бахмат О. М. Соя – культура майбутнього, особливості формування високого врожаю : монографія. Кам'янець-Подільський : ПП Мошак М. І., 2009. 208 с.
 57. Бахмат О. М. Моделювання адаптивної технології вирощування сої : монографія. Кам'янець-Подільський : Видавець Зволейко Д. Г., 2012. 435 с.
 58. Бахмат О. М., Федорук І. В. Формування урожайності насіння сої залежно від заходів адаптивної технології в умовах Лісостепу західного. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. Вип. 26, ч. І. С. 9–16.
 59. Бахмат О. М., Федорук І. В. Формування урожайності насіння сої залежно від заходів адаптивної технології в умовах Лісостепу Західного. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. Вип. 26. С. 9–16.
 60. Бикін А. В., Генгало Н. О. Ефективність застосування добрив і гумату калію за вирощування сої на чорноземі типовому малогумусному. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. Вип. 162. Ч. 2. С. 137–144.
 61. Бойко В. П. Ефективність доз і співвідношень мінеральних добрив у польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2020. 22 с.

62. Булигін С. Ю., Величко В. А., Демиденко О. В. Агрогенез чорнозему. Київ : Аграрна наука, 2016. 356 с.
63. Василенко М., Душко П. Поживний режим сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення сої. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 97 (4). С. 11–15.
64. Величко Л. Н. Залежність початкових процесів росту сої від регуляторів росту рослин. *Вісник Уманського державного аграрного університету*. 2006. Вип. № 12. С. 38–40.
65. Вишнівський П. С., Фурман О. В. Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах правобережного Лісостепу України. *Plant and soil science*. Київ, 2020. Vol. 11. № 1. С. 13–22.
66. Волкогон В. В. Мікробіологічна трансформація сполук азоту в ґрунтах агроценозів: Монографія. К. ; Ніжин: ПП Лисенко М. М., Аграрна наука, 2017. 192 с.
67. 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.
68. Волкогон В. В., Димова С. Б., Волкогон К. І., Сидоренко К. Л. Ефективність мікробіологічних препаратів за різних систем удобрення с.-г. культур. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 6. С. 5–14.
69. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив. Київ : Нічлава, 2002. 344 с.
70. Гадзовський Г. Л., Новицька Н. В., Мартинов О. М. Фотосинтетична діяльність посівів сої на дерново-підзолистих ґрунтах Західного Полісся. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Т. 11. № 1. С. 5–12. doi: 10.31548/agr2020.01.005
71. Гоменюк В. О., Венедиктов О. М. Сучасні погляди на живлення рослин. Вінниця : ТОВ «Віндрук», 2020. 104 с.

72. Господаренко Г. Удобрення сої. *Пропозиція*. 2019. № 12. С. 68–71.
73. Господаренко Г. М. Агрохімія мікроелементів. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2023. 416 с.
74. Господаренко Г. М. Агрохімія : підручник. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. 572 с.
75. Господаренко Г. М. Живлення та удобрення зернобобових культур за сучасних технологій вирощування. Симбіотична азотфіксація та врожай : за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. С. 353–383.
76. Господаренко Г. М. Історія розвитку вчення про симбіотичну фіксацію азоту атмосфери. Симбіотична азотфіксація та врожай : за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. С. 13–40.
77. Господаренко Г. М. Оптимальні умови середовища та інокулянти для ефективного бобово-ризобіального симбіозу. Симбіотична азотфіксація та врожай : за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. С. 41–61.
78. Господаренко Г. М. Особливості удобрення сої. *Farmer*. 2012. № 4. С. 16–18.
79. Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 148 с.
80. Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 148 с.
81. Господаренко Г. М. Система застосування добрив: підручник. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 376 с.
82. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур. Київ : «СІК ГРУП Україна», 2016. 276 с.
83. Господаренко Г. М., Бахмат О. М., Прокопчук І. В., Вишневська Л. В., Кравченко В. С. Складові технології вирощування сої. За заг. ред. Г. М. Господаренка. Умань: Видавець «Сочінський М. М.», 2019. 208 с.

84. Господаренко Г. М., Єщенко Н. Б. Окупність мінеральних добрив урожаєм сої на чорноземі опідзоленому правобережного Лісостепу. *Зб. наук. праць УНУС*. 2012. Вип. 81. Ч. 1. Агрономія. С. 8–14.
85. Господаренко Г. М., Любич В. В. Алелопатія рослинних решток на посівні властивості насіння пшениці м'якої озимої. *Збірник Уманського НУС*. 2021. Вип. 97. С. 246–254.
86. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бомко С. М. Формування врожаю сої залежно від складових агротехнології. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 184 с.
87. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бомко С. М. Формування врожаю сої залежно від складових агротехнології. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 184 с.
88. Господаренко Г. М., Любич В. В., Стоцький В. В. Вплив фосфорних добрив на продуктивність зернової сівоzmіни. *Вісник Сумського НАУ*. 2022. Вип. 2 (48), 2022. С. 46–50.
89. Господаренко Г. М., Любич В. В., Яровий Я. О. Продуктивність сої залежно від удобрення на чорноземі опідзоленому. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: VI Міжнародна науково-практична конференція присвячена – ювілейним річницям професорів О. М. Можейка, В. В. Милого, Ю. В. Будьонного, І. І. Назаренка (м. Харків, 29–30 листопада 2022 р.). Харків : ДБУ, 2022. С. 83–85.
90. Господаренко Г. М., Мартинюк А. Т., Бойко В. П. Продуктивність польової сівоzmіни у разі калійдефіцитної системи удобрення. *Вісник Полтавської ДАА*. 2021. № 1. С. 28–37.
91. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Бойко В. П. Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. № 89. С. 63–70.
92. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Леонова К. П., Бойко В. П.

- Урожайність і якість насіння сої за різного удобрення на чорноземі опідзоленому. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2020. Вип. 97. Ч. 1. С. 137–144.
93. Господаренко Г. М., Рябовол Я. С., Черно О. Д., Любич В. В., Крижанівський В. Г. Ріст і розвиток пшениці озимої у весняно-літній період вегетації залежно від умов мінерального живлення в Правобережному Лісостепу України. *Вісник Уманського НУС*. 2020. № 2. С. 3–8.
 94. Господаренко Г. М., Стасіневич О. Ю., Бойко В. П. Вплив різних комбінацій NPK в 4-пільній сівоzmіні на поживний режим ґрунту та врожайність сої. Матеріали Всеукр. наук. конф. «Інноваційні технології виробництва рослинницької продукції». Уманський НУС. 2016. С. 30–31.
 95. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Кравець І. С. Азотний статус ґрунту за тривалого застосування добрив у польовій сівоzmіні. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2024. Вип. 104. Ч. 1. С. 149–160. DOI: [10.32782/2415-8240-2024-104-1-149-160](https://doi.org/10.32782/2415-8240-2024-104-1-149-160).
 96. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Любич В. В., Бойко В. П. Засвоєння основних елементів живлення з ґрунту й мінеральних добрив пшеницею озимою на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. Вип. 3 (107). С. 35–44.
 97. Господаренко Г. М., Яровий Я. О. Урожайність сої за різного удобрення на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: V Міжнародна науково-практична конференція (м. Харків, 25–26 листопада 2021 р.). Харків: ДБУ, 2021. С. 62–64.
 98. Господаренко Г. М., Яровий Я. С. Урожайність сої за різного удобрення на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу.

Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 25–26 листопада 2021 р.). Харків: ДБТУ, 2021. С. 62–63.

99. Григоренко С. В. Біометричні показники сортів сої залежно від застосування добрива, регуляторів росту та вологоутримувача. *Plant varieties studying and protection*. 2019. № 2. С. 143–154.
100. Ґрунтові ресурси України: збалансоване використання, прогноз та управління / за ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошніченка, Р. С. Трускавецького. Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. 452 с.
101. Дегодюк Е. Г., Проненко М. М., Ігнатенко Ю. О., Пипчук Н. М., Мулярчук А. О. Сучасні системи удобрення в землеробстві України: науково-методичні та науково-практичні рекомендації. За редакцією доктора с.-г. наук С. Е. Дегодюка. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 84 с.
102. Дегтярьов В. В. Гумус чорноземів Лісостепу і Степу України: монографія /За ред. Д. Г. Тихоненка. Харків: Майдан, 2011. 360 с.
103. Демиденко О. В. Відтворення чорнозему в агроценозі. Чорнобай : Чорнобаївське КПП, 2020. 108 с.
104. Демиденко О. В. Трансформація органічного вуглецю в агроценозах Лісостепу. Чорнобай : Чорнобаївське КПП, 2022. 388 с.
105. Денисик Г. І., Ситник О. І. Міжзональний геоекотон «лісостеп-степ» Правобережної України. Вінниця : «ПП «Едельвейс і К», 2012. 217 с.
106. Державний реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні. Київ, 2024. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>.
107. Діагностика збалансованості мінерального живлення польових культур: наук.-метод. рекомендації: за наук. ред. М. М. Мірошніченка, Є. Ю. Гладкіх. Харків, 2022. 47 с.
108. Дідович С. В., Туріна О. Л. Вплив поліфункціональних мікробних препаратів на структурно-динамічні особливості мікробіоценозу і

- продуктивність бобових культур. *Агробіологія*. 2015. № 1. С. 52–55.
109. Дідович С. В., Туріна О. Л. Вплив поліфункціональних мікробних препаратів на структурно-динамічні особливості мікробіоценозу і продуктивність бобових культур. *Агробіологія*. 2015. № 1. С. 52–55.
 110. Дідур І. М. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневих підживлень на динаміку формування площі листкової поверхні рослин сої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 27. С. 5–14. doi: 10.37128/2707-5826-2022-4-1
 111. Дідур І. М. Динаміка Формування висоти рослин сої залежно від передпосівної обробки насіння та позакореневих підживлень. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. Вип. 28(1). С. 17–24.
 112. Дідур І. М., Мордванюк М. О. Вплив інокуляції насіння та позакореневих підживлень на індивідуальну продуктивність рослин нуту в умовах Лісостепу правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 11. С. 26–35.
 113. Дмитренко В. П. Погода, клімат і урожай польових культур. Київ : Ніка-Центр, 2010. 620 с.
 114. Добрива та їх використання / І. У. Марчук, В. М. Макаренко, В. Є. Розстальний та ін. Київ : Арістей, 2013. 258 с.
 115. Душко П. М. Оцінювання удобрень сої в технології її вирощування за адаптивним потенціалом. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 205–210.
 116. 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.
 117. Забарна Т. А., Пелех Л. В. Продуктивність сортів сої залежно від впливу ґрунтово-кліматичних умов Правобережного Лісостепу України. *Slovak international scientific journal*. 2020. № 39. Р. 6–11.
 118. Заболотний Г. М. Вплив мінеральних добрив та мікродобрив на

- формування індивідуальної продуктивності рослин сої в умовах Лісостепу правобережного. *Агробіологія*. 2015. Вип. 2 (121). С. 130–133.
119. Заришняк А. С., Цвей Я. П., Іваніна В. В. Оптимізація удобрення та родючості ґрунту в сівозмiнах. Київ : Аграрна наука, 2015. 207 с.
 120. Заришняк А. С., Цвей Я. П., Іваніна В. В. Оптимізація удобрення та родючості ґрунту у сівозмiнах. за ред. А. С. Заришняка. Київ : Аграрна наука, 2015. 208 с.
 121. Зубець М. В., Ситник В. П., Третяк А. М. та ін. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України. Київ: Логос, 2004. 776 с.
 122. Іваніна В. В. Біологізація удобрення сільськогосподарських культур у сівозмiнах. Київ : ЦП «Компринт», 2016. 400 с.
 123. Камінський В. Ф. Комплексний вплив факторів інтенсифікації на формування урожаю сої у Північному Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 9. С. 36–42.
 124. Кавецький С. В. Особливості живлення та удобрення сої. Посібник українського хлібороба. 2013. Т. 2. С. 92–94.
 125. Калантир В. В., Господаренко Г. М., Любич В. В., Желєзна В. В. Формування індивідуальної продуктивності пшениці твердої озимої за її структурними складовими залежно від системи удобрення. *Агробіологія*. 2021. № 2. С. 65–74.
 126. Каленська С. М., Єрмакова Л. М., Паламарчук В. Д. та ін. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві. Вінниця: Рогальська І. О., 2015. 448 с.
 127. Калініченко О. В. Методичні засади оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва. *Облік і фінанси*. 2016. № 2(72). С. 150–155.
 128. Калінчик М. В., Ільчук М. М., Калінчик М. Б. Економічне

обґрунтування норм внесення мінеральних добрив залежно від ціни на ресурси та продукцію. Київ : Нічлава, 2006. 43 с.

129. Камінський В. Ф., Мосіондз Н. П. Формування продуктивності сої залежно від агротехнічних заходів в умовах Північного Лісостепу України. *Корми та кормовиробництво*. 2010. № 67. С. 45–50.
130. Кахраман А. Зміни мінерального складу сої (*Glycine max* L.) залежно від факторів вирощування. *Ж. Елем.* 2022. № 27 (3). Р. 727–738. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.4.2196.
131. Колісник С. І., Венедіктов О. М., Кобак С. Я. Шляхи оптимізації системи удобрення сої в умовах правобережного Лісостепу. *Корми і кормовиробництво*. 2012. Вип. 74. С. 100–106.
132. Концепція інноваційного розвитку агрохімічного забезпечення землеробства України на період до 2030 року. За ред. А. С. Заришняка, С. А. Балюка., М. М. Мірошніченка. Харків, 2022. 64 с.
133. Коробко А. А. Динаміка виробництва сої в Україні та світі. *Збалансоване природокористування*. 2021. № 4. С. 125–134. doi: 10.33730/2310-4678.4.2021.253098
134. Коць С. Я., Моргун В. В., Пати́ка В. Ф. [та ін.]. Біологічна фіксація азоту: моногр.: у 4-х т. Т. 2: Бобово-ризобіальний симбіоз. Київ: Логос. 2011. 523 с.
135. Кравець І. С. Зміна в азотному фонді та баланс азоту чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу України за тривалого застосування добрив у польовій сівоzmіні: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2001. 20 с.
136. Лихочвор В. В., Петренко В. Ф., Іващук П. В. Зерновиробництво. Львів: НВФ «Українські технології», 2008. 624 с.
137. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Фізіологічна роль елементів живлення та системи удобрення польових культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2021. 284 с. URL: <https://doi.org/10.31073/978->

966-345-251-7

138. Лопушняк В. І. Агрохімічні та агроекологічні аспекти систем удобрення в Західному Лісостепу України. Львів : Ліга-прес, 2015. 217 с.
139. Любич В. В. Вплив абіотичних та біотичних чинників на продуктивність сортів і ліній пшениці спельти. *Вісник Полтавської ДАА*. 2017. № 3. С. 18–24.
140. Любич В. В. Круп'яні властивості насіння пшениці спельти залежно від сорту. *Збірник Уманського НУС*. 2021. Вип. 99. С. 146–161.
141. Любич В. В. Технологічні властивості та врожайність різних сортів пшениці м'якої озимої залежно від попередників. *Збірник Уманського НУС*. 2024. Вип. 105. С. 218–230.
142. Любич В. В. Формування продуктивності різних гібридів кукурудзи. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2020. Вип. 97. С. 32–44.
143. Любич В. В., Войтовська В. І. Жирнокислотний склад насіння різних сортів арахісу та його харчова цінність. *Збірник Уманського НУС*. 2022. Вип. 100. С. 34–40.
144. Любич В. В., Войтовська В. І., Третьякова С. О., Климович Н. М. Технологічне оцінювання якості насіння сої залежно від сорту. *Вісник Уманського НУС*. 2020. № 2. С. 32–37.
145. Любич В. В., Господаренко Г. М., Яровий Я. О. Продуктивність сої залежно від удобрення на чорноземі опідзоленому. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: VI Міжнародна науково-практична конференція присвячена – ювілейним річницям професорів О. М. Можейка, В. В. Милого, Ю. В. Будьонного, І. І. Назаренка (м. Харків, 29–30 листопада 2022 р.). Харків : ДБУ, 2022. С. 83–85.
146. Любич В. В., Красноштан В. І., Войтовська В. І., Климович Н. В. Формування якості насіння різних сортів нуту. *Зб. наук. пр.*

Уманського НУС. 2023. Вип. 102. С. 109–115.

147. Любич В. В., Яровий Я. О. Вміст протеїну в насіння сої залежно від удобрення та інокуляції. VII Міжнародна науково-практична конференція «World educational trends: lifelong learning in the information society», 15–18 жовтня 2024 р., Афіни, Греція. С. 22–25.
148. Любич В. В., Яровий Я. О. Вплив інокуляції на врожайність насіння сої. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері України». Одеса, 2024. С. 158–159.
149. Любич В. В., Яровий Я. О. Урожайність сої залежно від удобрення. Сучасні технологічні аспекти виробництва насіння та переробки сільськогосподарської продукції: матеріали Міжнародної наукової конференції з нагоди 100-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Григорія Родіоновича Пікуша (20–21 березня 2024 р., м. Дніпро). Дніпро: ДУ ІЗК НААН, 2024. С. 121–122.
150. Любич В. В., Яровий Я. О. Формування якості насіння сої залежно від удобрення. Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 19 квітня 2024 р.). С. 106–107.
151. Любич В. В., Яровий Я. О. Формування якості насіння сої залежно від удобрення. Тези доповідей Міжнародної наукової інтернет-конференції «Інноваційні зернопродукти і технології», 20 лютого 2024 р. Умань, 2024. С. 90–92.
152. Любич В. В., Новіков В. В., Лещенко І. А. Технологічні властивості насіння різних видів пшениці залежно від генотипу. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 114. С. 63–69.

153. Мазур В. А., Дідур І. М., Панцирева Г. В. Обґрунтування адаптивної сортової технології вирощування зернобобових культур в правобережному Лісостепу України. *Сільське господарство та лісництво*. 2020. Вип. № 18. С. 5–17.
154. Мазур В. А., Ткачук О. П., Дідур І. М., Панцирева Г. В. Особливості технології вирощування малопоширених зернобобових культур: монографія. Вінниця : ТВОРИ, 2021. 172 с.
155. Мазур О. В. Оцінка сортозразків сої за комплексом цінних господарських ознак. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 12. С. 98–115.
156. Марчук І. У., Бикіна Н. М., Бордюжа Н. П. Діагностика живлення рослин. Київ : ЦП «Компринт», 2015. 242 с.
157. Мельник А. В., Романько Ю. О., Романько А. Ю., Дудка А. А. Адаптивний потенціал та стресостійкість сучасних сортів сої. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 113 (4). С. 85–91. doi: 10.32851/2226–0099.2020.113.12 12.
158. Молдован В. Г., Молдован Ж. А., Собчук С. І. Вплив способів мінерального живлення на формування продуктивності сої в умовах Лісостепу Західного. *Наукові горизонти «Scientific Horizons»*. 2018. № 1. С. 56–63.
159. Молдован В. Г., Молдован Ж. А., Собчук С. І. Формування врожаю сої залежно від технологічних елементів вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Вісник ЖНАЕУ*. 2015. № 2(50). Т.1. С. 279–285.
160. Молдован В. Г., Молдован Ж. А., Собчук С. І. Формування врожаю сої залежно від технологічних елементів вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Вісник ЖНАЕУ*. 2015. № 2(50). Т.1. С. 279–285.
161. Молдован В. Х., Молдован Ж. А., Собчук С. І., Галиш О. І. Формування

- елементів структури врожаю сої залежно від способів основного обробітку ґрунту, удобрення та передпосівної обробки насіння. *Корми та кормовиробництво*. 2017. № 84. С. 114–119.
162. Нагорний В. І. Урожайність сортів сої різних груп стиглості залежно від доз азотних добрив в умовах північно-східного Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія «Агрономія і біологія». 2010. Вип. 4(19). С. 115–120.
 163. Огурцов Є. М., Міхєєв В. Х., Белінський Ю. В., Клименко І. В. Адаптивна технологія вирощування сої в умовах Східного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва*. Серія: Рослинництво, селекція та насінництво, плодовоовочівництво. 2018. № 1. С. 173–189.
 164. Осипчук С. О. Природно-сільськогосподарське районування України. Київ: Урожай, 2008.
 165. Особливості вирощування сої в сучасних кліматичних реаліях / Федорук І. В. та ін. Збірник тез III Міжнар. наук.-практ. конф. «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти». Київ, 2020. С. 83–86.
 166. Панцирева Г. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на зернову продуктивність зернобобових культур в умовах правобережного Лісостепу України. *Наукові доповіді НУБІП*. 2020. Вип. № 5 (87). С. 1–9.
 167. Петриченко В. Ф., Камінський В. Ф., Патика В. П. Бобові культури і сталий розвиток агроєкосистем. *Корми і кормовиробництво*. 2003. Вип. 51. С. 3–6.
 168. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. В. та ін. Соя. За ре. В. Ф. Петриченка, С. В. Іванюка. Вінниця : Віндрук, 2016. 400 с.
 169. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. В. та ін. Соя: монографія. Вінниця: Діло, 2016. 400 с.

170. *Петриченко В., Лихочвор В., Воронецька І., Федоришина Л.* Ринок високобілкових кормів. Сучасні тенденції розвитку і перспективи для України. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2021. V.1(36). P. 359–368. <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v1i36.227998>
171. Польовий А. М., Божко Л. Ю. Довгострокові агрометеорологічні прогнози. Одеса : Видавництво «ТЕС», 2013.
172. Симбіотична азотфіксація та врожай / Г. М. Господаренко та ін. Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2017. 324 с.
173. Симбіотична продуктивність сої залежно від рівня удобрення в Правобережному Лісостепу / Г. М. Заболотний та ін. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2015. Вип. 4. С. 66–71.
174. Соя – стратегічна культура світового землеробства; за ред. Л. Г. Білявської. Полтава: ПДАА, 2017. 100 с.
175. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) : монографія / В. В. Кириченко, С. С. Рябуха, Л. Н. Кобизєва, О. О. Посилаєва, П. В. Чернищенко ; НААН, Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. Х., 2016. 400 с.
176. Соя : монографія / Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. В. та ін. Вінниця : Діло, 2016. 392 с.
177. Темрієнко О. О. Симбіотична продуктивність та урожайність насіння сої залежно від інокуляції та позакоренових підживлень в умовах Лісостепу Правобережного. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету: сільське господарство та лісівництво*. 2018. Вип. 9. С. 187–199.
178. Темрієнко О. О. Симбіотична продуктивність та урожайність насіння сої залежно від інокуляції та позакоренових підживлень в умовах Лісостепу Правобережного. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2018. Вип. 9. С. 187–199.
179. Темрієнко О. О. Симбіотична продуктивність та урожайність насіння сої залежно від інокуляції та позакоренових підживлень в умовах

- Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 2(9). С. 68–80. doi: 10.37128/2707-5826-2018
180. Ткачук О. П., Овчарук В. В. Екологічний потенціал зернобобових культур у сучасній інтенсивній сівоzmіні. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 18. С. 161–171.
 181. Третяк М. Н., Шкурпела І. А. Сучасні технології вирощування зернових культур. Вінниця: Поділля, 2018. 160 с.
 182. Управління живленням рослин в умовах погодно-кліматичних флуктуацій; за ред. М. М. Мірошниченка і Є. Ю. Гладкіх. Київ : Аграрна наука, 2022. 160 с.
 183. Федорук І. В. Вплив інокуляції насіння на врожай сої. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 110–116.
 184. Федорук І. В. Вплив мікроелементів та інокуляції посівного матеріалу в технології вирощування сої. *Агробіологія*. 2020. № 2 (161). С. 178–184.
 185. Федорук І. В., Бахмат О. М. Продуктивність сортів сої в умовах Поділля. *Plant and Soil Science*. 2021. Том 12, № . 1. С. 7–17.
 186. Федорук І. В., Колодій В. А., Хмелянчишин Ю. В. Вплив елементів живлення на продуктивність сої. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 128. С. 221 – 228. doi: 10.32851/2226–0099.2022.128.30
 187. Федорук І. В., Хмелянчишин Ю. В., Городиська О. П. Особливості росту і розвитку рослин сої залежно від сорту та елементів технології вирощування. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2020. Вип. 33. С. 54–61.
 188. Фурман О. В. Вплив мінеральних добрив та інокуляції на формування індивідуальної та насінневої продуктивності сої в умовах Лісостепу Правобережного. *Корми і кормовиробництво*. 2021. Вип. 91. С. 82–92.
 189. Фурман О. В. Динаміка формування площі листової поверхні сої під впливом технологічних факторів вирощування. *Корми і кормовиробництво*. 2018. № 86. С. 101–106.

190. Фурман О. В. Тривалість вегетаційного періоду та фаз росту і розвитку рослин сої залежно від технологічних заходів вирощування. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2019. № 109. Ч. 1. С. 148–154.
191. Харченко О. В., Петренко Ю. М. Ресурсні рівні врожайності сільськогосподарських культур та їх екологічне оцінювання; за ред. О. В. Харченка. Суми : ВВП «Мрія», 2017. 56 с.
192. Христенко А. О. Теоретичні проблеми методології балансової оцінки кругообігу макроелементів живлення в системі «добрива–грунт–рослина». *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 90. С. 47–56. <https://doi.org/10.31073/acss90-05>
193. Циганська О. І. Вплив системи удобрення на проходження фаз росту і розвитку сортів сої та на коефіцієнт збереження рослин. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. Вип. 13. С. 119–133.
194. Циганська О. І. Вплив мінеральних добрив та позакореневого підживлення мікроелементами на якісні показники насіння сортів сої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. Вип. 8. С. 78–86.
195. Циганська О. І. Вплив мінеральних добрив, передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення мікроелементами на якісні показники насіння сортів сої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 1(8). С. 82–89.
196. Циганська О. І. Вплив фону мінерального живлення та способів обробки мікродобривам на формування плодоеlementів сортів сої в умовах Лісостепу правобережного. *Корми і кормовиробництво*. 2015. Вип. 81. С. 82–88.
197. Циганський В. І. Оптимізація системи удобрення сої на основі використання препаратів біологічного походження в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 21. Випуск № 2. С. 69–81.
198. Чехова І. В. Світовий ринок олійних культур і місце України в ньому.

Вісник аграрної науки. 2017. № 9. С. 71–77.

199. Чинчик О. С. Ефективність симбіотичної азотфіксації в агроценозах сортів сої при різних рівнях мінерального живлення. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. Вип. 26. С. 202–209.
200. Чинчик О. С. Ефективність симбіотичної азотфіксації в агроценозах сортів сої при різних рівнях мінерального живлення. *Подільський вісник*. 2017. Вип. 26. С. 202–209.
201. 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.
202. Шевніков М. Я., Міленко О. Г. Якісні показники насіння сої залежно від впливу мінеральних і бактеріальних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 4. С. 25–29.
203. Шевніков М. Я., Міленко О. Г. Якісні показники насіння сої залежно від впливу мінеральних і бактеріальних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 4. С. 25–29.
204. Шестак В. Г., Гнатів П. С., Іванюк В. Я. Азотне удобрення і стабілізація нітрифікації; за ред. П. С. Гнатіва. Львів : Вид. Марченко Т. В., 2023. 168 с.
205. Яровий Я. О. Господарське винесення азоту та його баланс у ґрунті за вирощування сої залежно від інокуляції та удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 140. С. 363–373.
206. Яровий Я. О. Продуктивність сої залежно від удобрення та інокуляції. *Збірник Уманського НУС*. 2024. Вип. 105. С. 268–278.
207. Яровий Я. О. Формування показників росту рослин сої залежно від інокуляції та удобрення. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 128–134.

ДОДАТКИ

Додаток А
Акти впровадження

 <p style="text-align: center;">«Погоджено» Ректор Уманського національного університету садівництва Олена НЕПОЧАТЕНКО « 13 » 03 2025</p>	 <p style="text-align: center;">«Затверджую» Директор ТОВ «Агро-Центр «ВЕЛЕС» Андрій ЗАРУБА « 13 » 03 2025</p>
---	---

**АКТ
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ**

Цим актом стверджується, що результати наукової роботи за темою «Формування продуктивності сої за різних систем удобрення на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України», виконаної в Уманському національному університеті садівництва, впроваджено в технологічному процесі підприємства.

- Вид запровадження** – застосування удосконаленої системи удобрення сої.
- Характеристика масштабів впровадження** – розроблену систему удобрення сої впроваджено на площі 75 га.
- Новизна результатів науково-дослідної роботи** – впроваджено науково-обґрунтовану систему удобрення, яка включає внесення азотних добрив у дозі N₃₀.
- Економічна ефективність** – 13,7 тис. грн/га у цінах 2024 р.
- Соціальний і науково-технічний ефект** – запропонована система удобрення забезпечила стабільніший приріст урожаю насіння та ефективне використанню елементів живлення з добрив.

Від Уманського національного університету садівництва	Від ТОВ «Агро-Центр «ВЕЛЕС»
відповідальний за впровадження	
аспірант кафедри агрохімії і грунтознавства	директор
 Ярослав ЯРОВИЙ	 Андрій ЗАРУБА
« 13 » 03 2025	« 13 » 03 2025

 «Погоджено»	«Затверджую»
Ректор Уманського національного університету садівництва	Директор ТОВ «Лендпоінт»
Олена НЕПОЧАТЕНКО	Борис Сухецький
« 18 » 03 2025	« 18 » 03 2025

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Цим актом стверджується, що результати наукової роботи за темою «Формування продуктивності сої за різних систем удобрення на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України», виконаної в Уманському національному університеті садівництва, впроваджено в технологічному процесі підприємства.

1. **Вид запровадження** – застосування удосконаленої системи удобрення сої.
2. **Характеристика масштабів впровадження** – розроблену систему удобрення сої впроваджено на площі 95 га.
3. **Новизна результатів науково-дослідної роботи** – впроваджено науково-обґрунтовану систему удобрення, яка включає внесення азотних добрив у дозі N₃₀ на тлі проведення інокуляції насіння.
4. **Економічна ефективність** – 11,6 тис. грн/га у цінах 2024 р.
5. **Соціальний і науково-технічний ефект** – запропонована система удобрення забезпечила стабільніший приріст урожаю насіння та ефективне використання елементів живлення з добрив.

Від Уманського національного університету садівництва	Від ТОВ «Лендпоінт»
відповідальний за впровадження	
аспірант кафедри агрохімії і ґрунтознавства	директор
 Ярослав ЯРОВИЙ	  Борис Сухецький
« 18 » 03 2025	« 18 » 03 2025

Додаток Б

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Ярового Ярослава Олеговича

Статті у фахових виданнях України

1. Яровий Я. О. Продуктивність сої залежно від удобрення та інокуляції. *Збірник Уманського НУС*. 2024. Вип. 105. С. 268–278.
2. Яровий Я. О. Господарське винесення азоту та його баланс у ґрунті за вирощування сої залежно від інокуляції та удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 140. С. 363–373.
3. Яровий Я. О. Формування показників росту рослин сої залежно від інокуляції та удобрення. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 128–134.

Матеріали науково-практичних конференцій

4. Господаренко Г. М., Любич В. В., Яровий Я. О. Продуктивність сої залежно від удобрення на чорноземі опідзоленому. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: VI Міжнародна науково-практична конференція присвячена – ювілейним річницям професорів О. М. Можейка, В. В. Милого, Ю. В. Будьонного, І. І. Назаренка (м. Харків, 29–30 листопада 2022 р.). Харків : ДБУ, 2022. С. 83–85.
5. Любич В. В., Яровий Я. О. Вміст протеїну в насіння сої залежно від удобрення та інокуляції. VII Міжнародна науково-практична конференція «World educational trends: lifelong learning in the information society», 15–18 жовтня 2024 р., Афіни, Греція. С. 22–25.
6. Любич В. В., Яровий Я. О. Формування якості насіння сої залежно від удобрення. Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 19

квітня 2024 р.). С. 106–107.

7. Любич В. В., Яровий Я. О. Вплив інокуляції на врожайність насіння сої. Збірник матеріалів Міжнародної науково–практичної конференції молодих вчених «Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері України». Одеса, 2024. С. 158–159.

8. Любич В. В., Яровий Я. О. Урожайність сої залежно від удобрення. Сучасні технологічні аспекти виробництва насіння та переробки сільськогосподарської продукції: матеріали Міжнародної наукової конференції з нагоди 100-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Григорія Родіоновича Пікуша (20–21 березня 2024 р., м. Дніпро). Дніпро: ДУ ІЗК НААН, 2024. С. 121–122.

9. Любич В. В., Яровий Я. О. Формування якості насіння сої залежно від удобрення. Тези доповідей Міжнародної наукової інтернет-конференції «Інноваційні зернопродукти і технології», 20 лютого 2024 р. Умань, 2024. С. 90–92.

10. Господаренко Г. М., Яровий Я. О. Урожайність сої за різного удобрення на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: V Міжнародна науково-практична конференція (м. Харків, 25–26 листопада 2021 р.). Харків: ДБУ, 2021. С. 62–64.