

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ»**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ГРИЦЮК ЯРОСЛАВ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 635.655:631.8:631.559

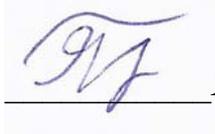
**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ
В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ**

201 – Агрономія

20 Аграрні науки і продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, наукових результатів і цитат супроводжується належними посиланнями на їх авторів та джерела опублікування.



Я.В. Грицюк

Науковий керівник – Голодна Антоніна Василівна,
доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

АНОТАЦІЯ

Грицюк Я.В. Оптимізація процесів формування продуктивності сої у технології вирощування в Правобережному Лісостепу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 – Агрономія. - Національний науковий центр «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України», Чабани, 2024.

Дисертаційна робота присвячена оптимізації технології вирощування сої сорту Муза у Правобережному Лісостепу України шляхом поліпшення живлення рослин та активізації процесів росту та розвитку за поєднання таких технологічних прийомів як внесення мінеральних добрив і підживлення рослин у критичні періоди росту з передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим біопрепаратом і протруювачем, що є важливим у підвищенні стійкості рослин до стресових чинників навколишнього середовища, максимальної реалізації генетичного потенціалу та отримання якісної продукції.

На основі фенологічних спостережень встановлено, що гідротермічні умови мали значний вплив на проходження міжфазних періодів і тривалість вегетації сої. Сприятливий температурний режим та достатнє зволоження (2023 р.) зумовило подовження періоду вегетації до 113 діб, тоді як за дефіциту опадів та нестачі тепла (2022 р.) період вегетації був на 6 діб коротшим і становив 107 діб.

Визначено, що в умовах змін клімату, оптимальною вважається технологія вирощування сої, яка передбачає внесення мінеральних добрив, сівбу насінням, обробленим мікоризоутворюючим біопрепаратом (Мікофренд) у поєднанні з протруйником (Вайбранс), а також позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним мікродобривом (Хелпрост Соя) у критичні періоди її росту та розвитку, що стимулює ріст рослин, наростання надземної маси та накопичення сухої маси рослинами.

Вирощування сої на фоні внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$, з обробленим насінням мікоризоутворюючим біопрепаратом (Мікофренд) у поєднанні з протруйником (Вайбранс) і позакореневим підживленням рослин органомінеральним добривом (у фазі бутонізації або цвітіння) забезпечує у фазі ВВСН 89 збільшення висоти рослин до 108,1–112,3 см, формування надземної маси на рівні 116,4–118,0 г/росл. та накопичення сухої маси 26,8–29,2 г/росл. За перенесення частини азотних добрив у підживлення ($N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$) відмічали збільшення висоти рослин до 104,6–111,9 см, формування надземної маси на рівні 113,4–115,0 г/росл. та накопичення сухої маси до 25,9–27,4 г/росл.

Встановлено позитивний вплив систем удобрення, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом як окремо, так і в поєднанні з протруйником, та підживлення рослин у критичні фази розвитку мікродобривом на наростання площі листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал посіву та показники чистої продуктивності фотосинтезу посіву сої упродовж періоду вегетації. Найкращі умови для наростання площі листкової поверхні рослин сої сорту Муза, яка у фазі наливу бобів досягала максимального значення 1707,5 $cm^2/rosl.$, формувалися з передпосівною обробкою насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруйником та підживленням рослин у фазі цвітіння за внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$, що перевищувало абсолютний контроль на 16%.

Встановлено, що найвищі значення показника індексу листкової поверхні сої у фазі наливу бобів 9,76–10,02 m^2/m^2 були у варіантах, які передбачали внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ (у фазі бутонізації), передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем та протруйником, позакореневе підживлення рослин. При цьому найвищий рівень врожайності сої був у варіантах з індексом листкової поверхні 9,81 і 9,76 m^2/m^2 і площею листкової поверхні 1662,7 і 1682,8 $cm^2/rosl.$ відповідно за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, оброблення насіння мікоризоутворювачем та протруйником та

позакореневого підживлення рослин у фазі гілкування та бутонізації. За проведеним регресійним аналізом розраховано рівняння залежності врожайності насіння сої від показника індексу листкової поверхні у фазі наливу бобів.

Передпосівна обробка насіння мікоризоутворювачем і протруйником та позакореневе підживлення органо-мінеральним добривом рослин сої у критичні періоди на фоні внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$ забезпечило найвищий фотосинтетичний потенціал посівів у міжфазний період «1-ий трійчастий листок – бутонізація» і «бутонізація – цвітіння» з перевищенням абсолютного контролю в 1,7 і 2,0 рази, у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ – в 1,7 раза.

Найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу посіву у досліді у міжфазні періоди «1-ий трійчастий листок – бутонізація» та «бутонізація – цвітіння» формувалися за внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 4,52–6,21 г/м²×добу і 8,52–11,28 г/м²×добу. У варіантах, які передбачали перенесення частини норми азотних добрив у підживлення ($N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$), найвищими показники були у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» – 5,60–6,43 г/м²×добу, що свідчить про подовження періоду функціонування листкового апарату рослин.

Встановлено, що процес бульбочкоутворення на корінні сої тривав до фази ВВСН 89, досягаючи максимуму 37,4–49,1 шт./росл. залежно від застосованих агрозаходів.

Частка активних бульбочок на одній рослині сої у загальній їх кількості становила у фазі 1-го трійчастого листка – 3,6–8,1 шт./росл., бутонізації – 7,0–15,6, цвітіння – 10,9–20,6, наливу бобів – 37,1–48,4 шт./росл. залежно від застосованих агрозаходів.

Найбільш сприятливі умови для формування симбіотичного апарату сої впродовж вегетації були за передпосівного оброблення насіння у поєднанні з позакореневим підживленням рослин добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$, що забезпечило у фазі ВВСН 89

утворення на корінні бульбочок у кількості 48,6 шт./росл. масою 23,10 г/10 росл., серед яких кількість активних бульбочок становила 47,9 шт./росл. із масою 22,96 г/10 росл. Маса бульбочок у перерахунку на 1 га посівів сої була в 3,2 раза більшою, ніж в абсолютному контролі і становила 1339,8 і 1331,7 кг відповідно.

Найвищі показники загального (13592,7 кг × діб/га) та активного (13430,8 кг × діб/га) симбіотичного потенціалу сої у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» були на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та застосування позакореневого підживлення рослин добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації із перевагою над абсолютним контролем відповідно на 9062,1 і 8956,0 кг × діб/га, або в 3 рази. Це забезпечило фіксацію біологічного азоту на рівні 81,16 кг/га, що було на 52,13 кг/га або в 2,8 раза більше, ніж в абсолютному контролі.

Встановлено, що досліджувані агрозаходи мали істотний вплив на врожайність сої, показники її структури та якості насіння. Висота прикріплення нижніх бобів за внесення мінеральних добрив, передпосівного оброблення насіння і позакореневого підживлення рослин підвищувалася до 12,6–14,2 см, кількість бобів на рослині – до 36,5–44,0 шт., кількість насінин у бобі – до 2,2 шт., кількість насінин з однієї рослини – до 76,0–98,4 шт., маса насіння з однієї рослини – до 14,5–20,3 г, маса 1000 насінин – 192,4 г.

Вирощування сої із передпосівним обробленням насіння та позакореневим підживленням рослин добривом Хелпрост Соя зумовило достовірне збільшення кількості бобів на рослині на 3,7–10,8 шт. (на 11,1–32,5%), кількості насінин на рослині на 7,2–25,2 шт. (на 9,8–34,4%) та їх маси на 1,3–6,0 г/росл. (на 9,1–42,0%) залежно від внесених мінеральних добрив.

Встановлено, що найбільшу кількість бобів 44,0 шт./росл., кількість насінин на рослині 98,4 шт. та їх масу 20,3 г, було сформовано на рослинах сої, вирощених із внесенням $N_{45}P_{45}K_{60}$ з обробленням насіння (Мікофренд+Вайбранс) із позакореневим підживленням добривом Хелпрост Соя у фазі цвітіння, що було більше за абсолютний контроль на 32,5%, 34,4%

та 42,0% відповідно. При цьому маса 1000 насінин зростала до 207,7 г і була найвищою у досліді (в абсолютному контролі 198,2 г).

Внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ збільшувало кількість бобів на рослині на 11–12% та кількість насінин у бобі до 2,3–2,4 шт. та зменшувало відсоток пустих бобів (4,7–5,1%), що дало змогу підвищити врожайність сої до 3,22–3,24 т/га (на 8,1–8,7%) та отримати приріст врожаю насіння 0,24 т/га за внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$, 0,26 т/га – за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$.

Поєднання передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом та протруйником із позакореневим підживленням рослин добривом Хелпрост Соя позитивно вплинуло на збільшення висоти прикріплення нижніх бобів на 0,6–1,8 см, яка досягала у цих варіантах досліді 13,0–14,2 см (в абсолютному контролі 12,4 см). Максимальний (1,7 см і 1,8 см) приріст показника, порівняно з абсолютним контролем, відмічали за проведення позакореневого підживлення рослин органомінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$.

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом як окремо, так і в поєднанні з протруювачем підвищувало врожайність сої до 3,06–3,11 т/га (на 2,7–4,4%) на фоні без добрив і до 3,26–3,47 т/га (на 9,4–16,4%) за внесення мінеральних добрив. Найвищий приріст урожаю насіння сої від передпосівного оброблення насіння отримано на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, що становило за оброблення насіння біопрепаратом Мікофренд 0,4 т/га (або 13,4% до абсолютного контролю), за поєднання біопрепарату Мікофренд і протруювача Вайбранс – 0,49 т/га (або 16,4%).

Підживлення рослин сої органомінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ підвищувало врожайність до 3,67 і 3,74 т/га (на 23,2% і 25,5% відповідно), а приріст врожаю до абсолютного контролю становив 0,69 т/га і 0,76 т/га. Підживлення у фазі цвітіння забезпечило врожайність насіння сої на рівні 3,62 т/га з приростом врожаю 0,64 т/га.

Встановлено залежність урожайності насіння сої від елементів погоди: із середньомісячною температурою повітря тісним кореляційним зв'язком вирізняється липень ($r = -0,931$), за кількістю опадів за місяць – травень ($r = -0,875$), червень ($r = 0,720$) і серпень ($r = -0,950$). Найбільший сумісний вплив середньодобової температури повітря та кількості опадів виявлено протягом третьої декади червня ($r = -0,938$ та $0,996$) і серпня ($r = 0,976$ та $-0,999$). За встановленими тісними кореляційними зв'язками побудовано криволінійні моделі врожайності насіння сої відносно параметрів агрометеорологічних умов у періоди III декади червня та серпня, які дають змогу здійснити точний прогноз урожайності сої в умовах Правобережного Лісостепу України.

У середньому за 2021–2023 рр. найвищі показники збору сирого протеїну 1,34 і 1,35 т/га та інтенсивності накопичення сирого протеїну в насінні сої 12,18 і 12,27 кг/га за добу отримано за вирощування сої з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$. Найвищі показники збору олії 0,81 і 0,82 т/га та інтенсивності накопичення олії в насінні сої 7,37 і 7,45 кг/га за добу в середньому за роки досліджень було отримано за вирощування сої на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації.

За сумарним показником інтенсивності накопичення протеїну і олії в насінні найвищі значення отримано за вирощування сої на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації. Позакореневе підживлення у фазі гілкування за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ підвищує інтенсивність сумарного накопичення протеїну і олії в насінні на 22,0%, у фазі бутонізації – на 23,6%, що збільшує

відповідно показник до рівня 19,37 і 19,63 кг/га за добу за його значення в абсолютному контролі 15,88 кг/га за добу.

Результати розрахунків економічної і біоенергетичної ефективності досліджуваних агрозаходів показали, що вирощування сої сорту Муза на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд у поєднанні з протруйником Вайбранс та позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації є економічно вигідним та енергоефективним агрозаходом, що забезпечує зростання рентабельності виробництва на 13,3%, прибутку на 19,4%, вартості вирощеного врожаю на 15,4% та зниження собівартості 1 т насіння на 8,8%, підвищення накопичення енергії в урожаї на 13,4–15,4% та К_е 3,93.

Ключові слова: соя, технологія вирощування, удобрення, передпосівне оброблення насіння, позакореневе підживлення, мікоризоутворювач, протруйник, симбіотична діяльність, фотосинтетична діяльність, площа листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал посіву, чиста продуктивність фотосинтезу, урожайність (продуктивність), якість насіння, погодні умови.

ANNOTATION

Hrytsiuk Y.V. Optimization of soybean yield formation processes in cultivation technology in the Right-Bank Forest-Steppe. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. Specialization: 201 – Agronomy. National Scientific Center “Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine”, Chabany, 2024.

The dissertation is devoted to optimizing the cultivation technology of the soybean variety Muza in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of

Ukraine by improving plant nutrition and enhancing growth and development processes. This is achieved through a combination of technological practices such as the application of mineral fertilizers and foliar feeding during critical growth periods, along with pre-sowing seed treatment using a mycorrhiza-forming biological preparation and a seed dressing agent. These practices are essential for increasing plant resistance to environmental stress factors, maximizing the realization of genetic potential, and obtaining high-quality products.

Phenological observations of plant growth and development revealed that hydrothermal conditions significantly influenced the duration of interphase periods and the overall vegetation period of soybeans. The favorable temperature regime and adequate moisture in 2023 extended the soybean vegetation period to 113 days, whereas the vegetation period in 2022 was six days shorter, at 107 days, due to a lack of precipitation and insufficient warmth.

It was determined that, in the context of ongoing climate changes, the optimal soybean cultivation technology involves the application of mineral fertilizers, sowing seeds treated with a mycorrhiza-forming biological preparation (Mycofriend) in combination with a seed dressing agent (Vibrance), as well as foliar feeding with an organo-mineral micronutrient fertilizer (Helprost Soya) during critical growth and development periods. This approach stimulates plant growth, increases above-ground biomass accumulation, and enhances dry matter accumulation in plants.

Cultivation of soybeans with the application of $N_{45}P_{45}K_{60}$, sowing seeds treated with a mycorrhiza-forming biological preparation (Mycofriend) in combination with a seed dressing agent (Vibrance), and foliar feeding with organo-mineral fertilizer during the budding or flowering phase ensures an increase in plant height to 108.1–112.3 cm, the formation of above-ground biomass at the level of 116.4–118.0 g/plant, and the accumulation of dry matter to 26.8–29.2 g/plant by the pod filling phase (BBCH 89).

When part of the nitrogen fertilizers was shifted to top-dressing ($N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$), plant height increased to 104.6–111.9 cm, above-ground biomass

formation reached 113.4–115.0 g/plant, and dry matter accumulation reached 25.9–27.4 g/plant.

A positive impact was observed from fertilization systems, pre-sowing seed treatment with the mycorrhiza-forming preparation both alone and in combination with the seed dressing agent, and foliar feeding during critical growth phases with micronutrient fertilizers on the increase in leaf area, photosynthetic potential of the crop, and net photosynthetic productivity of the soybean crop during the vegetation period. The best conditions for the growth of leaf area in the Muza soybean variety, reaching a maximum of 1707.5 cm²/plant during the pod filling phase, were achieved with pre-sowing seed treatment with the mycorrhiza-forming preparation and seed dressing agent, combined with foliar feeding during the flowering phase on a background of N₄₅P₄₅K₆₀ application, exceeding the absolute control by 16%.

The highest leaf area index values of 9.76–10.02 m²/m² during the pod filling phase were recorded in variants that included N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀ application (during the budding phase), pre-sowing seed treatment with the mycorrhiza-forming agent and seed dressing agent, as well as foliar feeding. The highest soybean seed yield was observed in variants with a leaf area index of 9.81 and 9.76 m²/m² and a leaf area of 1662.7 and 1682.8 cm²/plant, respectively, with the application of N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀, pre-sowing seed treatment with the mycorrhiza-forming agent and seed dressing agent, and foliar feeding during the branching and budding phases. A regression analysis was conducted, and the equation for the dependence of soybean seed yield on the leaf area index during the pod filling phase was calculated.

Pre-sowing seed treatment with a mycorrhiza-forming agent and a seed dressing agent, along with foliar feeding of soybean plants with organo-mineral fertilizer during critical growth periods on the background of N₄₅P₄₅K₆₀ application, resulted in the highest photosynthetic potential of the crops during the interphase periods "first trifoliolate leaf – budding" and "budding – flowering," exceeding the absolute control by 1.7 times and 2.0 times, respectively. During the

interphase period "flowering – pod filling" on the background of $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ application, it exceeded the control by 1.7 times.

The highest net photosynthetic productivity of the crop during the interphase periods "first trifoliolate leaf – budding" and "budding – flowering" was achieved with the $N_{45}P_{45}K_{60}$ application, reaching 4.52–6.21 g/m²×day and 8.52–11.28 g/m²×day. In variants where part of the nitrogen fertilizer dose was shifted to top-dressing ($N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$), the highest productivity was observed during the "flowering – pod filling" period, at 5.60–6.43 g/m²×day, indicating an extended functional period of the plant's leaf apparatus.

It was established that the process of nodule formation on soybean roots continued until the pod filling phase (BBCH 89), reaching a maximum of 37.4–49.1 nodules per plant, depending on the agronomic practices applied.

The proportion of active nodules on a single soybean plant out of the total number of nodules was 3.6–8.1 nodules per plant during the first trifoliolate leaf phase, 7.0–15.6 nodules per plant during the budding phase, 10.9–20.6 nodules per plant during flowering, and 37.1–48.4 nodules per plant during pod filling, depending on the agronomic practices applied.

The most favorable conditions for the formation of the symbiotic apparatus of the Muza soybean variety throughout the growing season were observed with pre-sowing seed treatment combined with foliar feeding of plants with the organo-mineral fertilizer Helprost Soya during the budding phase, on the background of mineral fertilizer application at $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$. This ensured the formation of 48.6 nodules per plant with a mass of 23.10 g per 10 plants in the pod filling phase (BBCH 89), of which 47.9 nodules were active, with a mass of 22.96 g per 10 plants. The mass of nodules per hectare of soybean crops was 3.2 times higher than in the absolute control, amounting to 1339.8 kg and 1331.7 kg, respectively.

The highest indicators of total (13,592.7 kg × days/ha) and active (13,430.8 kg × days/ha) symbiotic potential of soybeans during the interphase period "flowering – pod filling" were achieved with $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ fertilization and the application of foliar feeding with the fertilizer Helprost Soya during the

budding phase. These values exceeded the absolute control by 9,062.1 and 8,956.0 kg × days/ha, respectively, or by 3 times. This facilitated the fixation of biological nitrogen at a level of 81.16 kg/ha, which was 52.13 kg/ha, or 2.8 times, higher than in the absolute control.

It was established that the studied agronomic practices had a significant impact on soybean yield, as well as on the structure and quality of the seeds. The height of the attachment of the lowest pods increased to 12.6–14.2 cm with the application of mineral fertilizers, pre-sowing seed treatment, and foliar feeding. The number of pods per plant increased to 36.5–44.0, the number of seeds per pod to 2.2, the number of seeds per plant to 76.0–98.4, seed weight per plant to 14.5–20.3 g, and the 1000-seed weight to 192.4 g.

Cultivating soybeans with pre-sowing seed treatment and foliar feeding with the organo-mineral fertilizer Helprost Soya resulted in a significant increase in the number of pods per plant by 3.7–10.8 (an increase of 11.1–32.5%), the number of seeds per plant by 7.2–25.2 (an increase of 9.8–34.4%), and their weight by 1.3–6.0 g/plant (an increase of 9.1–42.0%) depending on the applied mineral fertilizers.

The highest number of pods, 44.0 per plant, the highest number of seeds per plant, 98.4, and their weight, 20.3 g, were recorded in soybeans grown with the application of $N_{45}P_{45}K_{60}$, seed treatment with Mycofriend + Vibrance, and foliar feeding with the fertilizer Helprost Soya during the flowering phase. These values exceeded the absolute control by 32.5%, 34.4%, and 42.0%, respectively. The 1000-seed weight also increased to 207.7 g, the highest in the study (compared to 198.2 g in the absolute control).

The application of $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ and $N_{45}P_{45}K_{60}$ increased the number of pods per plant by 11–12% and the number of seeds per pod to 2.3–2.4 seeds, while reducing the percentage of empty pods to 4.7–5.1%. This allowed soybean yield to increase to 3.22–3.24 t/ha (an increase of 8.1–8.7%), with a seed yield increase of 0.24 t/ha with the application of $N_{45}P_{45}K_{60}$ and 0.26 t/ha with $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$.

The combination of pre-sowing seed treatment with a mycorrhiza-forming preparation and a seed dressing agent, along with foliar feeding of plants with the

organo-mineral fertilizer Helprost Soya, positively influenced the increase in the height of the attachment of the lowest pods by 0.6–1.8 cm, reaching 13.0–14.2 cm in these experimental variants (compared to 12.4 cm in the absolute control). The maximum increase of 1.7 cm and 1.8 cm, compared to the absolute control, was observed with foliar feeding with Helprost Soya during the budding phase on the background of $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ and $N_{45}P_{45}K_{60}$ fertilization.

Pre-sowing seed treatment with the mycorrhiza-forming preparation Mycofriend, both alone and in combination with the seed dressing agent Vibrance, increased soybean yield to 3.06–3.11 t/ha (by 2.7–4.4%) without fertilization, and to 3.26–3.47 t/ha (by 9.4–16.4%) with the application of mineral fertilizers. The highest increase in soybean seed yield from pre-sowing seed treatment was observed with the $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ fertilization background, amounting to 0.4 t/ha (or 13.4% compared to the absolute control) with Mycofriend, and 0.49 t/ha (or 16.4%) with the combination of Mycofriend and Vibrance.

Foliar feeding of soybean plants with Helprost Soya during the branching and budding phases on the background of $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ fertilization increased yield to 3.67 and 3.74 t/ha (by 23.2% and 25.5%, respectively), with a yield increase of 0.69 t/ha and 0.76 t/ha compared to the absolute control. Foliar feeding during the flowering phase resulted in a seed yield of 3.62 t/ha with a yield increase of 0.64 t/ha.

The dependence of soybean seed yield on weather elements was established, showing a strong correlation with average monthly air temperature in July ($r = -0.931$) and with monthly precipitation in May ($r = -0.875$), June ($r = 0.720$), and August ($r = -0.950$). The most significant combined impact of average daily air temperature and precipitation was observed during the third decade of June ($r = -0.938$ and 0.996) and August ($r = 0.976$ and -0.999). Based on these strong correlations, curvilinear models of soybean seed yield were constructed in relation to agro-meteorological conditions during the third decades of June and August, allowing for accurate yield forecasting in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

On average, over 2021–2023, the highest crude protein yield per unit area (1.34 and 1.35 t/ha) and the highest intensity of crude protein accumulation in soybean seeds (12.18 and 12.27 kg/ha per day) were obtained when soybeans were grown with seed treatment using a mycorrhiza-forming agent and a seed dressing agent, combined with foliar feeding of plants with the organo-mineral fertilizer Helprost Soya during the budding phase, on the background of $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ and $N_{45}P_{45}K_{60}$ fertilization. The highest oil yield per unit area (0.81 and 0.82 t/ha) and the highest oil accumulation intensity in soybean seeds (7.37 and 7.45 kg/ha per day) were observed, on average, during the years of research when soybeans were grown with $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ fertilization, seed treatment with a mycorrhiza-forming agent and seed dressing agent, and foliar feeding with Helprost Soya during the branching and budding phases.

The highest values for the combined intensity of protein and oil accumulation in soybean seeds were achieved with $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ fertilization, seed treatment with a mycorrhiza-forming agent and seed dressing agent, and foliar feeding with Helprost Soya during the branching and budding phases. Foliar feeding during the branching phase on the $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ fertilization background increased the total protein and oil accumulation intensity in seeds by 22.0%, and during the budding phase by 23.6%, raising the value to 19.37 and 19.63 kg/ha per day, compared to 15.88 kg/ha per day in the absolute control.

The calculations of the economic and bioenergetic efficiency of the studied agronomic practices showed that growing the Muza soybean variety with $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ fertilization, pre-sowing seed treatment with the mycorrhiza-forming preparation Mycofriend in combination with the seed dressing agent Vibrance, and foliar feeding with Helprost Soya during the budding phase is an economically viable and energy-efficient agronomic practice. It increases production profitability by 13.3%, profit by 19.4%, crop value by 15.4%, and reduces the cost per ton of seeds by 8.8%, while also increasing energy accumulation in the harvest by 13.4–15.4% with an energy efficiency coefficient (Kee) of 3.93.

Keywords: *soybean, cultivation technology, fertilization, pre-sowing seed treatment, foliar feeding, mycorrhiza-forming agent, seed dressing agent, symbiotic activity, photosynthetic activity, leaf area, crop photosynthetic potential, net photosynthetic productivity, yield (productivity), seed quality, weather conditions.*

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Буслаєва Н.Г., Голодна А.В., Грицюк Я.В. Прогнозування рівня рентабельності за різних варіантів технології вирощування сої (*Glycine max* L.). *Агроекологічний журнал*. 2024. № 3. С. 164–172. Doi: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311192> (здобувачем проведено розрахунки економічної ефективності вирощування сої, підготовлено статтю до друку).

2. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Фотосинтетична продуктивність посіву сої за різних варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 2. С. 133–142. Doi: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305672> (здобувачем проведено польові дослідження, отримано експериментальні дані, підготовлено статтю до друку).

3. Голодна А.В., Грицюк Я.В., Буслаєва Н.Г., Столяр О.О. Вплив удобрення, оброблення насіння та метеорологічних умов на урожайність сої в Правобережному Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 2 (12). С. 58–66. Doi: 10.54651/agri.2024.02.07 (здобувачем проведено польові дослідження, отримано експериментальні дані, підготовлено статтю до друку).

4. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Культура соя та її значення у сучасному світовому і вітчизняному агровиробництві. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 2. С. 101–110. Doi: 10.33730/2310-

4678.2.2024.309929 (здобувачем проаналізовано статистичні дані виробництва сої в світі та Україні, зроблено огляд сучасних міжнародних джерел, підготовлено статтю до друку).

5. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Фотосинтетична діяльність посіву сої за різних моделей технології вирощування. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 1 (11). С. 57–65. Doi: 10.54651/agri.2024.01.06 (здобувачем проведено польові дослідження, отримано експериментальні дані, підготовлено статтю до друку).

6. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Висота прикріплення нижніх бобів у рослин сої за різного удобрення й оброблення насіння. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. Вип. 4(10). С. 51–57. Doi: 10.54651/agri.2023.04.06 (здобувачем проведено польові дослідження, отримано експериментальні дані, підготовлено статтю до друку).

Тези доповідей і матеріали конференцій

1. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Загальний та активний симбіотичний потенціал рослин сої за різних технологій вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 4–5 липня 2024 р.). Київ, 2024. Ч.1. С. 56–58.

2. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Вміст олії в насінні сої та її збір залежно від удобрення та оброблення насіння. *Олійні культури: сьогодення та перспективи: Матеріали Міжнародної наукової Інтернет-конференції* (Запоріжжя, 27 березня 2024 р.). Запоріжжя: ІОК НААН, 2024. С. 86–87.

3. Голодна А., **Грицюк Я.** Накопичення сухої речовини рослинами сої залежно від варіанту технології вирощування. *Сучасні кормові ресурси: селекція, технологія виробництва, заготівля та безпека кормів: Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених* (Вінниця, 14 вересня 2023 р.). Вінниця, 2023. С. 32–34.

4. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Формування продуктивності рослинами сої за різних технологій вирощування. *Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції* (Іллінці, 23 червня 2022 р.). Іллінці, 2022. С. 109–112.

5. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Показники структури врожаю сої залежно від варіанту технології вирощування. *Корми і кормовий білок: Матеріали XIV Міжнародної наукової конференції* (Вінниця, 12 жовтня 2022 р.). Вінниця, 2022. С. 74–76.

6. Любчич О.Г., Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Вирощування зернобобових культур в умовах змін клімату. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 21 квітня 2021 р.). Київ, 2021. С. 102–105.

7. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Ріст і розвиток рослин сої за різних варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Наукові читання до 85-річчя від Дня народження В.Г. Михайлова – видатного вченого у галузі селекції та насінництва с.-г. культур: Матеріали наукової Інтернет-конференції* (Чабани, 5 жовтня 2021 р.). Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2021. С. 64–68.

8. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Фотосинтетична діяльність рослин сої за різних варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Тенденція та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика: Матеріали III Міжнародної наукової Інтернет-конференції* (Київ, 20–22 жовтня 2021 р.). Київ: НУБІП, 2021 С. 78–80.

9. **Грицюк Я.В.** Урожайність сої залежно від варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Новітні системи землеробства та технології вирощування сільськогосподарських культур: вклад молодих вчених: Матеріали Науково-практичної Інтернет-конференції молодих вчених і спеціалістів* (Чабани, 18 листопада 2021 р.). Вінниця, ТОВ «ТВОРИ», 2021. С. 16–18.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. ЗНАЧЕННЯ КУЛЬТУРИ СОЇ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ЇЇ ВИРОЩУВАННЯ.....	28
1.1. Культура соя та її значення у сучасному вітчизняному агровиробництві.....	28
1.2. Вплив агрозаходів на продуктивність сої.....	38
1.3. Ефективність застосування біологічних препаратів у технології вирощування сої.....	48
Висновки до Розділу 1.....	56
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	58
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови.....	58
2.2. Погодні умови в роки проведення досліджень.....	60
2.3. Програма і методи проведення досліджень.....	67
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ РОСЛИН СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВИРОЩУВАННЯ.....	74
3.1. Тривалість міжфазних періодів та вегетації сої в роки досліджень.....	74
3.2. Висота рослин сої.....	80
3.3. Динаміка наростання надземної маси рослин сої та маси коренів.	85
3.4. Динаміка накопичення сухої речовини.....	98
Висновки до Розділу 3.....	104
РОЗДІЛ 4. ФОТОСИНТЕТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ ПОСІВІВ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ ТА ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НАСІННЯ.....	106
4.1. Особливості формування площі листкової поверхні сої в динаміці.....	107

4.2. Динаміка формування фотосинтетичного потенціалу посівами сої.....	121
4.3. Динаміка формування чистої продуктивності посівів сої	124
Висновки до Розділу 4.....	128
РОЗДІЛ 5. СИМБІОТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ РОСЛИН І ПОСІВІВ СОЇ ЗА РІЗНИХ ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ.....	130
5.1. Динаміка утворення бульбочок та їх маси на корінні сої.....	131
5.2. Загальний та активний симбіотичний потенціал рослин сої.....	145
Висновки до Розділу 5.....	153
РОЗДІЛ 6. УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ НАСІННЯ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ.....	154
6.1. Показники структури елементів продуктивності сої залежно від застосованих агрозаходів.....	154
6.2. Урожайність насіння сої залежно від досліджуваних агрозаходів та гідротермічних чинників.....	164
6.3. Якість насіння сої залежно від досліджуваних агрозаходів	171
Висновки до Розділу 6.....	177
РОЗДІЛ 7. ЕКОНОМІЧНА ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ ЗА РІЗНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ.....	180
7.1. Економічна оцінка вирощування сої за різних технологій вирощування та прогнозування рівня рентабельності.....	181
7.2. Біоенергетична оцінка вирощування сої за різних технологій вирощування.....	191
Висновки до Розділу 7.....	196
ВИСНОВКИ.....	198
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	203
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	204
ДОДАТКИ.....	240

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСП – активний симбіотичний потенціал

ВВСН – міжнародна шкала фаз росту і розвитку рослин (фенологічних фаз)

ГТК – гідротермічний коефіцієнт

ДСТУ – Державний стандарт України

ЗЗР – засоби захисту рослин

ЗСП – загальний симбіотичний потенціал

ІУБ – інтенсивність утворення білка

К_{еє} – коефіцієнт біоенергетичної ефективності

НААН – Національна академія аграрних наук України

НІР₀₅ – найменша істотна різниця за 5% рівня значимості

ННЦ ІЗ – Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»

СБР – середньобагаторічний рівень

ЧПФП – чиста продуктивність фотосинтезу посіву

ФПП – фотосинтетичний потенціал посіву

S – стандартне відхилення

V – коефіцієнт варіації

\bar{X} – середнє значення

ВСТУП

Актуальність теми. Соя – цінна зернобобова культура, завдяки якій можливе вирішення на глобальному рівні питання нестачі рослинного білка за одночасного збереження родючості ґрунтів та поліпшення його екологічного стану. Соеві боби містять 20% олії і 35–40% білка, що забезпечує повний набір незамінних амінокислот для людини (Lee et al., 2019; Song & Taylor, 2023; Xu et al., 2020). Унікальні властивості соєвих бобів та збалансованість за макро- і мікроелементами, багатовекторність застосування у різних галузях визначають постійне зростання попиту та виробництво сої в усьому світі (Петриченко та ін., 2017; Бербенець, 2019; Islam et al., 2022).

Для вітчизняного агробізнесу соя є економічно вигідною культурою та достойною альтернативою іншим олійним і технічним культурам. За даними ФАО у 2023 р. Україна, незважаючи на складнощі, пов'язані з військовою агресією РФ, продовжувала нарощувати обсяги виробництва й експорту сої і в світовому рейтингу займала дев'яту позицію з часткою 1% (5,2 млн т насіння) у загальному виробництві сої.

Значний вклад у створення сортів сої, розроблення наукових основ технології її вирощування та окремих елементів внесли вітчизняні вчені В.Г. Михайлов, А.О. Бабич, В.Ф. Петриченко, В.Ф. Камінський, М.І. Бахмат, В.А. Мазур, С.Я. Кобак та ін. Ними розроблено ефективні технології вирощування культури, що базуються на максимальній реалізації генетичного потенціалу культури та використанні агрокліматичного потенціалу зони вирощування, які забезпечують формування високої врожайності та окупність матеріально-технічних ресурсів.

Однак, за існуючих змін клімату, постійно оновлювального сортового ресурсу сої, розширенням ринку хімічних і біологічних препаратів для сільського господарства, необхідним є розроблення нових та удосконалення існуючих елементів технології вирощування культури. Зокрема, важливого аспекту набуває питання підвищення симбіотичного потенціалу сої шляхом

застосування біологічних препаратів, у т.ч. мікоризоутворюючих, а також забезпечення рослин сої макро- і мікроелементами у критичні періоди росту шляхом позакореневого підживлення.

Проведення досліджень у цьому напрямі сприяють поглибленню наукових основ формування продуктивності сої, мають теоретичне значення для аграрної науки та практичне значення для агровиробництва. Практичне цінність дисертації – розроблені нові та удосконалені існуючі елементи технології вирощування сої забезпечують підвищення врожайності та валові збори насіння в сучасних кліматичних умовах Правобережного Лісостепу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження за темою дисертаційної роботи проводили впродовж 2021–2023 рр. згідно з тематичними планами науково-дослідних робіт ННЦ «Інститут землеробства НААН» у межах програми наукових досліджень 25 «Кормовиробництво» за завданням 25.02.01.10Ф «Наукове обґрунтування закономірностей формування продуктивності агроценозів зернобобових культур (соя, люпин кормовий) в умовах змін клімату» (№ державної реєстрації 0121U109061).

Мета і завдання дослідження. *Мета* – встановити особливості формування продуктивності сої залежно від удобрення, оброблення насіння та посівів препаратами рістстимулювальної дії удосконалити технологію вирощування культури в умовах Правобережного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні *завдання*:

- встановити особливості росту й розвитку рослин сої, тривалість міжфазних періодів залежно від погодних умов, мінерального удобрення, передпосівного оброблення насіння та позакореневого підживлення рослин у критичні періоди;
- встановити особливості формування фотосинтетичної діяльності посівів сої в динаміці залежно від досліджуваних агрозаходів за показниками індексу листової поверхні і чистої продуктивності посівів;

- проаналізувати вплив удобрення, передпосівного оброблення насіння та позакореневого підживлення рослин сої на динаміку утворення бульбочок та їх масу на корінні, загальний та активний симбіотичний потенціал рослин;
- визначити вплив гідротермічних показників у роки досліджень та елементів технології вирощування на врожайність та якість насіння сої;
- визначити економічну та біоенергетичну ефективність застосування досліджуваних агрозаходів у технології вирощування сої;
- розробити удосконалену технологію вирощування сої в умовах Правобережного Лісостепу.

Об'єкт дослідження – процеси росту, розвитку та формування врожайності сої і якості насіння залежно від досліджуваних елементів технології вирощування.

Предмет дослідження – сорт сої Муза, мінеральне удобрення, передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруйником, позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом у критичні фази росту й розвитку рослин.

Методи дослідження. Теоретичною і методологічною основою досліджень є спеціальні та загальноприйняті методи й методики в агрономії. Польовий – для проведення фенологічних спостережень за фазами росту та розвитку рослин; вимірювально-ваговий – для визначення біометричних показників рослин, маси бульбочок, показників елементів структури та врожаю насіння культури; розрахунковий – для підрахунку показників фотосинтетичної та симбіотичної діяльності культури а також коефіцієнтів суттєвості відхилень гідротермічних показників від багаторічних значень; дисперсійний, статистично-математичний – для проведення статистичної обробки даних і дисперсійного аналізу; розрахунково-порівняльний – для визначення економічної та біоенергетичної ефективності досліджуваних елементів технології вирощування.

Наукова новизна одержаних результатів. Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому, ґрунтуючись на комплексних

дослідженнях, аналізі та узагальненні отриманих результатів, оцінено вплив мінерального удобрення, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруювачем та підживлення рослин органо-мінеральним добривом у критичні періоди розвитку сої на морфометричні показники, фотосинтетичний і симбіотичний потенціал та продуктивність в умовах Правобережного Лісостепу.

Вперше:

- визначено залежність тривалості періоду вегетації та міжфазних періодів рослин сої від погодних умов та гідротермічних чинників в умовах Правобережного Лісостепу;

- визначено вплив погодних умов і досліджуваних агрозаходів у технології вирощування сої на особливості функціонування асиміляційного апарату, накопичення вегетативної маси та сухої речовини у критичні періоди для формування продуктивності;

- з'ясовано особливості формування морфометричних показників рослин сої, фотосинтетичного і симбіотичного потенціалу посівів за поєднання в технології вирощування мінерального удобрення, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруювачем та підживлення рослин органо-мінеральним добривом у критичні періоди розвитку рослин;

- встановлено залежність рівня врожайності та якості насіння сої від рівня мінерального удобрення, передпосівного оброблення насіння та позакореневого підживлення і погодних умов в роки досліджень;

- визначено найефективніші елементи технології вирощування сої за показниками економічної та біоенергетичної оцінки.

Удосконалено:

- наукові положення щодо біологічних особливостей рослин сої залежно від передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом як окремо, так і в поєднанні з протруювачем та фоні внесення

мінеральних добрив та позакореневого підживлення рослин у критичні періоди розвитку рослин.

Одержало подальший розвиток:

- технологію вирощування сої в умовах Правобережного Лісостепу України із застосуванням передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд у поєднанні з протруювачем Вайбранс та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації, що забезпечує високу економічну та енергетичну ефективність.

Практичне значення одержаних результатів. На основі встановлених закономірностей формування врожайності та якості насіння, удосконалено технологію вирощування сої сорту Муза в умовах Правобережного Лісостепу, яка передбачає внесення мінеральних добрив $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд у поєднанні з протруйником Вайбранс, а також проведення позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації, що забезпечує підвищення врожайності культури до 3,65 т/га з умістом у насінні сирого протеїну на рівні 35,8% та олії 21,9%.

Розроблена технологія вирощування сої впроваджена в 2022 р., 2023 р. в ТОВ «Агромілк» (Рокитнянський р-н, Київська обл.) на площі 50 га. За рекомендованої технології вирощування сої отримано фактичний економічний ефект у 2022 р. 4650 грн/га, у 2023 р. – 4200 грн/га. Також розроблена технологія вирощування сої впроваджена у фермерському господарстві «Зернівка» (Бориспільський р-н, Київська обл.) у 2023 р. на площі 50 га, у 2024 р. на площі 100 га. За рекомендованої технології вирощування сої отримано фактичний економічний ефект у 2023 р. 4400 грн/га, у 2024 р. – 3150 грн/га.

Основні положення дисертації впроваджено в освітній процес при підготовці магістрів спеціальності «агрономія» Агробіологічного факультету

Національного університету біоресурсів і природокористування України. Теоретичні положення дисертаційної роботи увійшли до навчальних дисциплін «Адаптивні технології в рослинництві», «Наукові основи екологічних систем землеробства», які викладалися на кафедрах рослинництва, землеробства та гербології впродовж 2023–2024 рр.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є самостійною завершеною науковою працею. Основні ідеї, постановка проблеми, теоретичні і практичні положення розроблено автором самостійно, а також здійснено аналіз та узагальнення результатів досліджень, сформульовано висновки. Друковані праці за темою дисертації підготовлено самостійно та у співавторстві. У працях, опублікованих у співавторстві, частка авторства полягає в плануванні та виконанні експериментальних досліджень, узагальненні та опрацюванні результатів та підготовці рукописів до друку. У спільних публікаціях права співавторів не порушено.

Апробація результатів дисертації. Основні результати та положення дисертації було представлено на 9 міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях: «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві» (м. Київ, 4–5 липня 2024 р.), «Олійні культури: сьогодення та перспективи» (м. Запоріжжя, 27 березня 2024 р.), «Сучасні кормові ресурси: селекція, технологія виробництва, заготівля та безпека кормів» (м. Вінниця, 14 вересня 2023 р.), «Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції» (м. Іллінці, 23 червня 2022 р.), «Корми і кормовий білок» (м. Вінниця, 12 жовтня 2022 р.), «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти» (м. Київ, 21 квітня 2021 р.), «Наукові читання до 85-річчя від Дня народження В.Г. Михайлова – видатного вченого у галузі селекції та насінництва с.-г. культур» (сmt Чабани, 5 жовтня 2021 р.), «Тенденція та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика» (м. Київ, 20–22 жовтня 2021 р.), «Новітні системи землеробства та технології

вирощування сільськогосподарських культур: вклад молодих вчених» (сmt Чабани, 18 листопада 2021 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 15 наукових праць, із яких 6 – статті у наукових фахових виданнях України, 9 – матеріали наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить анотації, вступ, сім розділів, висновки, рекомендації виробництву, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації викладено на 264 сторінках друкованого тексту, у т.ч. основний зміст – на 167 сторінках. Робота містить 45 рисунки, 28 таблиць. Загальний список використаної літератури містить 307 джерел, у т.ч. 151 латиницею.

РОЗДІЛ 1.

ЗНАЧЕННЯ КУЛЬТУРИ СОЇ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ЇЇ ВИРОЩУВАННЯ

Серед низки глобальних питань виживання людства на нашій планеті проблема забезпечення продовольчої безпеки стоїть на першому місці, що пов'язано зі збільшенням населення до 9,7 млрд людей до 2050 р. [192, 291]. Водночас міжнародні експерти зазначають про втрату природних ресурсів, зміни клімату та зниження продуктивності сільського господарства, що свідчить про неможливість задовольнити поточні та майбутні потреби в продуктах харчування, а відтак існує необхідність перегляду існуючих систем виробництва продуктів харчування [166].

В цьому аспекті набуває актуальності питання підвищення продуктивності основних стратегічних сільськогосподарських культур, серед яких чільне місце займає соя, зокрема, шляхом поліпшення їх генетичного потенціалу, розроблення сортів/гібридів стійких до кліматичних змін, комплексу шкідливих організмів та інших чинників, удосконалення існуючих та розроблення нових інноваційних агротехнологій вирощування без шкоди навколишньому природному середовищу [63, 75, 125].

1.1. Культура соя та її значення у сучасному світовому і вітчизняному агровиробництві

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – одна з найбільш економічно важливих олійних і білкових культур у світі. Вона є найбільш поширеною культивованою культурою у глобальному масштабі після пшениці, кукурудзи та рису [164]. Також цю культуру визначають ключовим компонентом глобальної продовольчої безпеки, що забезпечує понад чверть світового білка для харчування людей і тварин, а також є джерелом олії та біопалива [62, 63, 76, 213, 248]. Її називають «золотою рослиною» людства,

«чудо-рослиною» або «рослиною майбутнього» [282]. Соеві боби за вмістом і якістю білка переважають інші бобові культури і дають найвищий врожай протеїну з 1 га [217], крім того доведено, що вирощування сої є енергоефективним і стійким способом виробництва білка [208].

Сою вирощували в Азії з давніх часів [169]. Це стародавня поліплоїдна (палеополіплоїдна) рослина з дуже дубльованим геномом. Майже 75% генів присутні в кількох копіях, що представляє потрійну надлишковість через їх довгу еволюційну історію [274]. Вважають, що культивована соя була одомашнена від її дикого предка понад 5000 років тому в Китаї, після чого вона поширилася по всьому світу [218, 239]. До Кореї, Японії та Південної Азії соєві боби потрапили близько 2000 років тому, а до Європи та Північної Америки – у середині VIII ст., до Центральної та Південної Америки – в першій половині XX ст. [216, 297]. За іншими даними сучасна культивована соя була одомашнена з дикої сої (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) у Східній Азії 6000–9000 років тому [229].

Походження одомашнення сої тривалий час залишалось загадковим і до кінця не вивченим, частково через відсутність молекулярних досліджень й повної археологічної інформації. Проте прогрес у повногеномному секвенуванні культивованої та дикої сої, а також нові археологічні відкриття дали змогу розкрити історію цієї важливої для людства культури. Загальновизнана гіпотеза єдиного походження одомашненої сої має підтверджену генетичну, геномну та географічну основу, нові докази вказують на тривалий перехідний період низької інтенсивності культивування дикої сої в багатьох місцях до швидкого одомашнення [275].

Соеві боби містять 20% олії і 35–40% білка, що забезпечує повний набір незамінних амінокислот для людини [237, 284, 300]. Це також важливе джерело вуглеводів (35%), таких мінералів, як цинк, мідь, залізо, марганець, кальцій, магній і фосфор, а також вітамінів A1, B1, B2, B6, B12, E, K, PP та ін. Крім того, боби містять численні метаболіти, включаючи фітостероли, ізофлавоноїди, фосфоліпіди, феритини, олігосахариди, сапоніни, фітинові

кислоти та ферменти (уреазу, ліпазу, протеазу, каталазу, інвертазу, редуктазу, ліпазу, ліпоксидазу, катепсин та ін.) [173, 190].

Соеві боби багаті білками та фітохімічними речовинами, такими як ізофлавоноїди та фенольні сполуки. Це чудове джерело пептидів із численними біологічними функціями, включаючи протизапальну, протипухлинну та антидіабетичну дію. Різноманітні дослідження повідомляють про потенційну користь для здоров'я функціональних пептидів, отриманих із сої, що робить їх чудовою заміною багатьом хімічним функціональним елементам у продуктах харчування та фармацевтичних продуктах для здорового способу життя [307]. Маючи високу харчову та економічну цінність, соя є важливою продовольчою культурою на міжнародному ринку харчових продуктів [222].

Сьогодні близько 76% виробленої сої використовується як недорогий якісний білок для корму тварин для виробництва м'яса та молока, лише 7% використовують безпосередньо для виробництва продуктів харчування для людини (тофу, соєве молоко та ін.), решта – для промислових цілей, переважно для виготовлення біодизеля [264]. На частку соєвої олії припадає понад 25% світового виробництва рослинної олії (поступається лише пальмовій олії) [199, 200, 269].

Цілі соєві боби подрібнюють для відділення олії (близько 20% за масою) і макухи (близько 80% за масою). Багата на білок макуха є важливим інгредієнтом корму для тварин й цінним інгредієнтом завдяки збалансованому вмісту амінокислот та низькому вмісту антипоживних сполук після термічної обробки [298].

Соя є гарним попередником для зернових та інших культур, яку також використовують як сидерат для поліпшення азотного режиму та екологічного стану ґрунту [123, 139, 194, 236, 271]. Будучи бобовою культурою, вона здатна фіксувати 50–70% молекулярного азоту з атмосфери через симбіотичні відносини кореневої системи з азотфіксуючими ґрунтовими бактеріями *Rhizobium* [118, 174]. Як і інші бобові рослини, завдяки здатності забезпечувати себе азотом, соя може рости на відносно бідних ґрунтах і

менше залежить від мінеральних добрив, тим самим підвищує рентабельність виробництва. Соя, за оптимальних умов протікання процесу азотфіксації, здатна фіксувати до 500 кг/га біологічного азоту, поліпшуючи азотний режим ґрунту і забезпечуючи азотом наступні культури сівозміни [168, 185, 236, 271].

Унікальні властивості соєвих бобів та збалансованість за макро- і мікроелементами, багатовекторність застосування цієї культури визначають постійне зростання попиту, а відтак і виробництво насіння сої в усьому світі. Також глобальний попит на сою зростає, головним чином завдяки інтересу споживачів до рослинних білків, що пов'язано з обізнаністю людей про їх користь для здоров'я, поширенням трендів здорового харчування і вегетаріанства, зростанням будівельної та автомобільної промисловості, урбанізації тощо [201, 294].

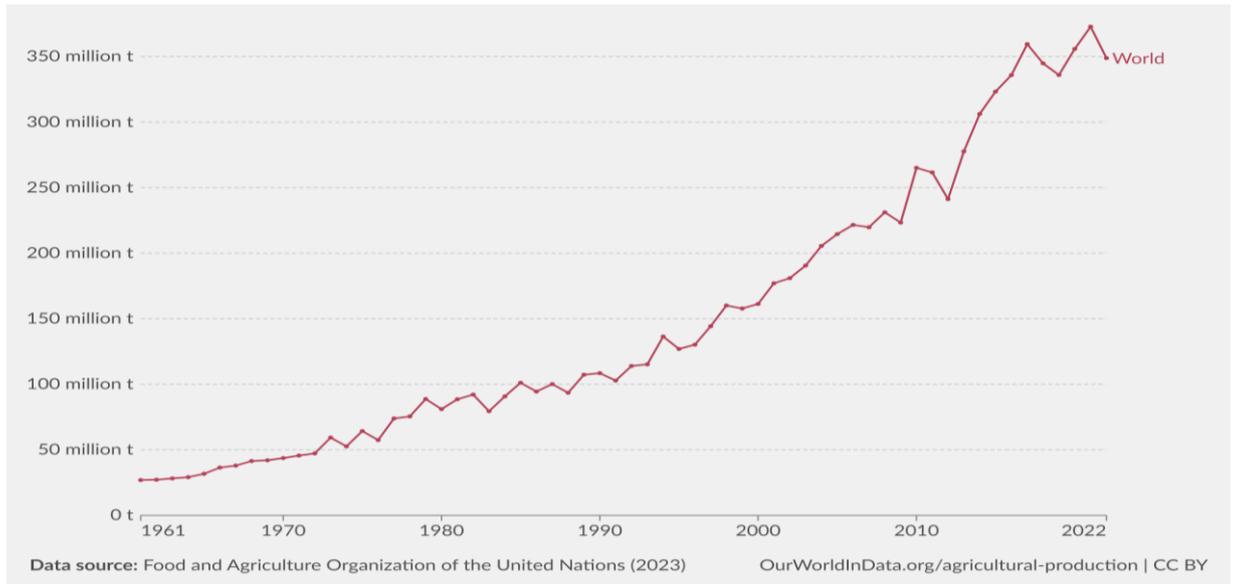
Нині сою вирощують близько на 6% орних земель світу. Лише за останні 70 років посівні площі під соєю у світі різко зросли – майже у вісім разів: із 16,5 млн га у 1950 р. до 127 млн га у 2020 р. [193]. Експерти відзначають, що починаючи з 1970-х років минулого століття посівні площі під соєю мали найбільше зростання у відсотках порівняно з будь-якою іншою культурою [213].

Світовий ринок виробництва сої у 2023 р. оцінювався у 157,6 млрд доларів США, і, за прогнозами, досягне 226,28 млрд доларів США у 2032 р., за середньорічного темпу зростання (CAGR) 4,1% [206]. Основними регіонами галузі є Північна Америка, Латинська Америка, Близький Схід і Африка, Європа та Азіатсько-Тихоокеанський регіон.

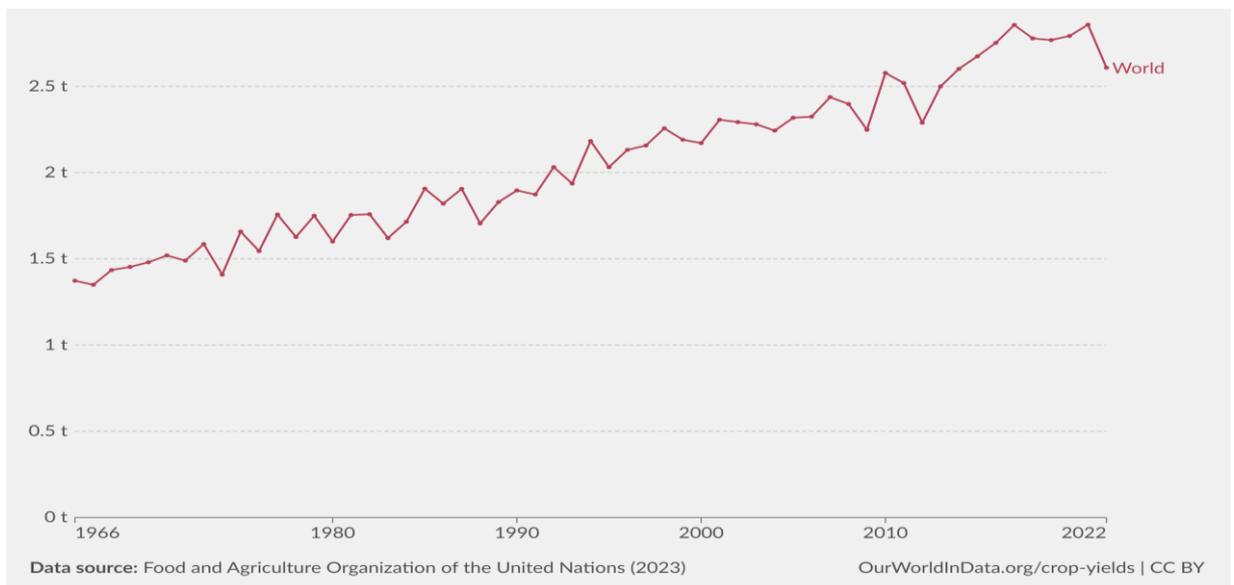
Світове виробництво сої сьогодні більш ніж у 13 разів перевищує показники початку 1960-х років (рис. 1.1). Як свідчать дані світової статистики, стрімкий ріст виробництва сої фіксували до 2010 р., яке досягло 265,09 млн т. Впродовж наступних двох років фіксували падіння виробництва сої до 241,34 млн т (на 9%), а потім впродовж 2012–2017 рр. світове виробництво сої зросло на 49%. Це був новий рекорд виробництва сої

у світі. Цьому також сприяло те, що Генеральна Асамблея ООН проголосила 2016 р. Міжнародним роком зернобобових, щоб привернути увагу населення планети до раціонального використання зернобобових культур та стимулювати зростання їх світового виробництва [220].

За даними Міністерства сільського господарства США (USDA) у 2023 р. світове виробництво сої досягло 396,725 млн тонн [292].



а – виробництво сої, млн тонн



б – урожайність сої, т/га

Рис. 1.1. Динаміка виробництва сої в світі (а) та врожайності (б), 1966–2022 рр.

Джерело: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023) [199].

Як видно з рис. 1.1а, наявні періоди спаду та нарощування виробництва сої, що пов'язано з кон'юктурою ринку, погодними умовами року, що впливає на врожайність культури та валові збори насіння. Однак варто зазначити загальну тенденцію підвищення врожайності сої, що пов'язано з розвитком наукового прогресу, зокрема розвитком біотехнології і генетики. Наприклад, середня врожайність сої в світі у 1966 р. становила 1,37 т/га, 1990 р. – 1,90 т/га, 2000 р. – 2,17 т/га, 2010 р. – 2,58 т/га, 2020 р. – 2,79 т/га та досягла максимуму у 2021 р. – 2,86 т/га (рис. 1.1б). Загалом за 1966–2022 рр. рівень урожайності сої в світі зріс у 2,1 раза.

Нині сою вирощують у 75 країнах світу. Однак майже майже 85% світового виробництва сої припадає на дві частини світу – Південну Америку (55%) та Північну Америку (30,3%).

До трійки світових лідерів виробництва сої в 2023 р. входили Бразилія, Сполучені Штати Америки і Аргентина (рис. 1.2), які сукупно виробляли 318,344 млн тонн, що становить 81% від загального виробництва в світі. Україна займала дев'яту позицію в світовому рейтингу з часткою 1% у загальному виробництві сої і виробляла 5,2 млн т насіння.

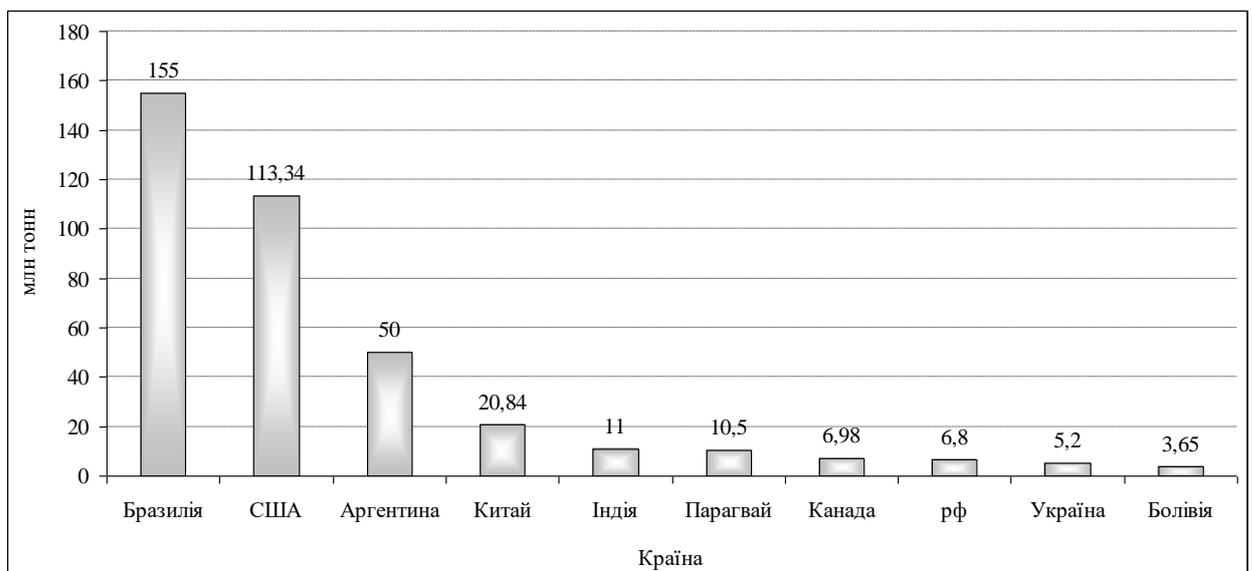


Рис. 1.2. Топ-10 країн лідерів із виробництва насіння сої у 2023 р., млн т

Джерело: побудовано автором за даними [292].

Вже впродовж багатьох років світовим лідером виробництва сої є Бразилія, яка впродовж останніх 20-ти років демонструє стрімкий ріст виробництва: з 32,82 млн тонн у 2000 р. до 372,85 млн тонн у 2021 р., тобто відбулось зростання в 11,4 раза [199]. Це пов'язано з глобальними змінами у сільськогосподарському виробництві, а також зміщенням виробництва сої з країн сходу (Китай, Індія) до країн Латинської Америки. Нині цей регіон є найбільшим світовим виробником і експортером сої [170]. Так за останні десятиліття частка Південної Америки у світовому виробництві надзвичайно зросла: у 2023 р. лише на Бразилію, Аргентину, Парагвай та Болівію припадало майже 55% світового обсягу виробництва сої, порівняно з менш ніж 3% у 1960-х роках. У той же час підвищений попит на продукти тваринного походження та дерегуляція імпорту сої в Китаї зробили колишню батьківщину сої найбільшим покупцем і споживачем у світі.

Варто зазначити про сприятливі ґрунтово-кліматичні умови Латинської Америки, а також удосконалення сортового ресурсу, у т.ч. застосування генетично модифікованої сої толерантної до гліфосату, новітніх технологій вирощування культури та значне розширення площ під соєю через вирубування лісів в Амазонці [161, 175, 195, 204, 272].

Соя, безумовно, є найпоширенішою культурою, вирощеною за використання досягнень генної інженерії: майже половина всіх ГМ-посівів у 2019 р. була під соєю [221].

Найбільшою рушійною силою зростання виробництва сої в Південній Америці є попит галузі тваринництва (свинарства, птахівництва) на соєвий шрот, а також додатковий поштовх надає одночасне збільшення попиту на сою олії харчовою промисловістю та виробництво біопалива [201]. Все це разом сприяло впроваджувати у виробництво сучасні технології і сорти та дало змогу досягти найвищої врожайності 3,45 т/га у 2021 р. (для порівняння: Україна – 2,64 т/га, середня в світі – 2,86 т/га, США – 3,48 т/га).

Для українського агробізнесу соя є високомаржинальною культурою та гарною альтернативою іншим олійним і технічним культурам. Тому ця

культура починаючи з 2000-х років поступово набирала популярності і вже доволі тривалий час зберігає лідерські позиції. Варто відмітити постійне зростання площ під соєю та збільшення її частки у структурі посівних площ: частка площ під посівами сої у 2000 р. становила 0,2%, 2021 р. – 3,5%, 2022 р. – 6,7%, 2023 р. – 8,0%. Наразі площі під посівами сої в Україні перевищують 1,8 млн га [51, 137] (рис. 1.3).

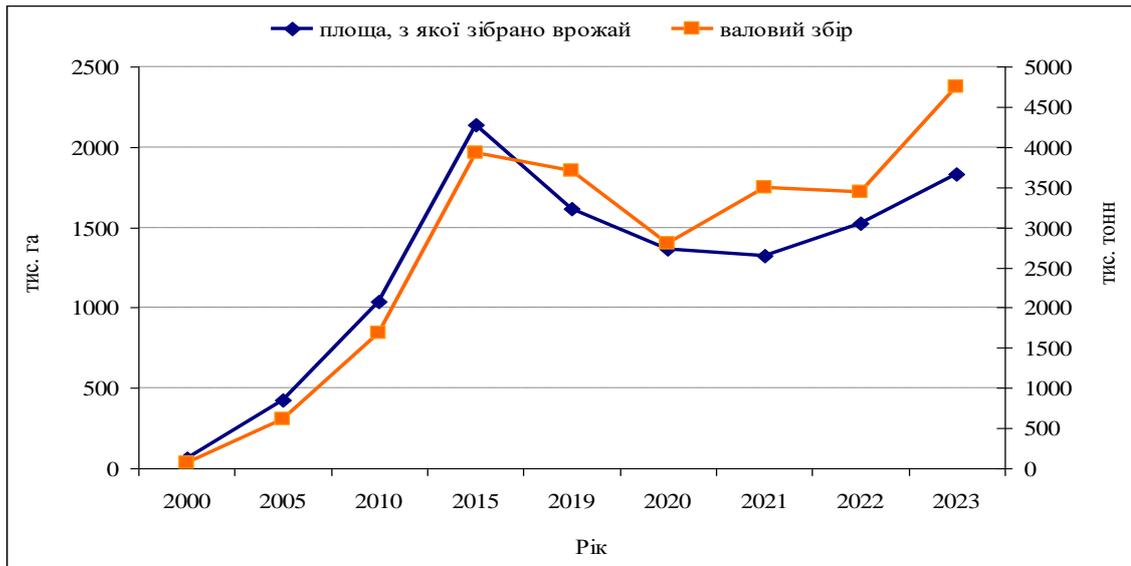


Рис. 1.3. Динаміка виробництва насіння сої (тис. тонн) та посівних площ (тис. га) в Україні за 1990–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за даними [51, 137].

Україна загалом має сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування сої, а економічні інтереси та експортна орієнтація сприяли впродовж 24 років збільшенню майже в 74 рази валових зборів насіння сої (з 64,4 тис. тонн у 2000 р. до 4742,6 тис. тонн у 2023 р.) та посівних площ у 30,3 раза (з 60,6 тис. га у 2000 р. до 1834,0 тис. га у 2023 р.) [51]. Стрімке збільшення площ під соєю відбувалось до 2015 р., коли було досягнуто рекордного показника 2 135,6 тис. га. Також відмічають зростання частки сої і серед олійних культур, із роками зростали площі під цією культурою та частка у структурі зернобобових культур [82, 120].

Різке скорочення площ під соєю та виробництва насіння цієї культури після 2015 р. пов'язують з різними причинами, зокрема і політико-

економічними та так званими «соєвими правками» до Закону України від 21 грудня 2017 року № 2245-VIII. Згідно з яких із 1 вересня 2018 р. до 31 грудня 2021 р. скасовується бюджетне відшкодування ПДВ при експорті соєвих бобів [131]. Після закінчення дії закону, починаючи з 2022 р. спостерігається зростання зацікавленості агровиробників у виробництві сої, що супроводжується розширенням посівних площ під культурою.

В Україні середня врожайність сої порівняно з 1990 р. також зросла в 2,4 раза і в 2023 р. становила 2,59 т/га та за оцінкою вітчизняних науковців має значний потенціал для підвищення (рис. 1.4). Це можливе за впровадження інноваційних розробок, зокрема сучасних високопродуктивних сортів/гібридів, засобів захисту рослин нового покоління, нанотехнологій тощо [6, 161, 187, 304, 305]. Рекордну врожайність 2,64 т/га було отримано у 2021 р.

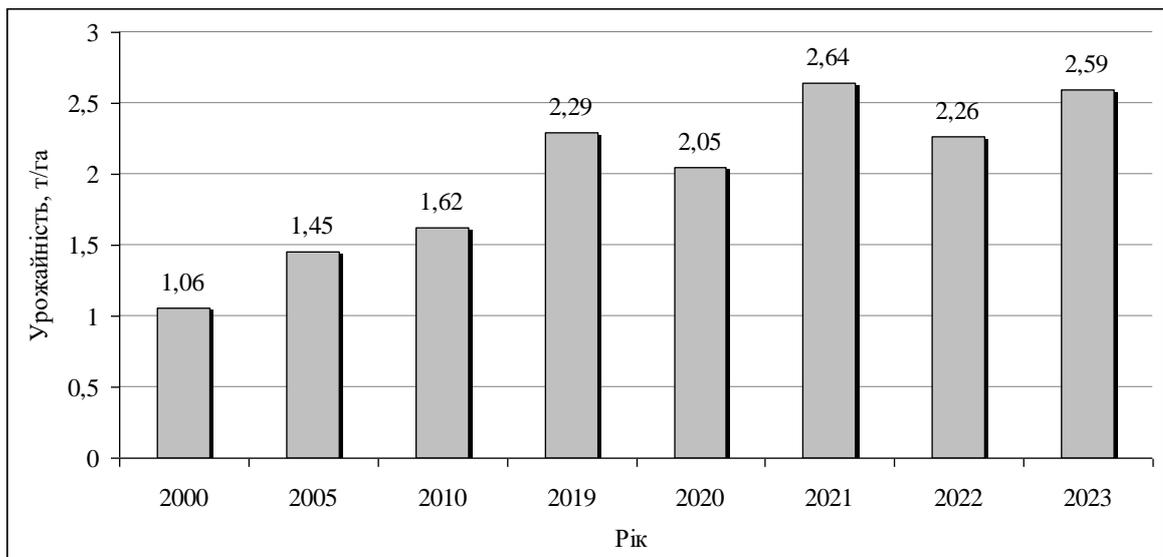


Рис. 1.4. Середня врожайність сої в Україні, 2000–2023 рр., т/га

Джерело: побудовано автором за даними [51, 137].

Незважаючи на складну ситуацію в Україні, пов'язану з широкомасштабним вторгненням РФ у лютому 2022 р. та окупацією південних та східних регіонів, вітчизняна аграрна галузь продовжує нарощувати обсяги виробництва, у т.ч. сої. Варто зазначити, що площі під соєю у 2022 р. зросли на 204,3 тис. га (або на 15,4%), у 2023 р. – на 511,1 тис.

га (або на 38,6%) порівняно з 2021 р. У складних умовах воєнного стану в 2023 р. валовий збір урожаю насіння сої зріс на 1249,4 тис. тонн (або на 35,89%) і становив 4742,6 тис. тонн, що визначалось як новий абсолютний рекорд.

Найбільші площі під соєю у 2021 р. були в Хмельницькій (139,1 тис. га), Полтавській (122,4 тис. га), Житомирській (116,2 тис. га), Київській (98,2 тис. га) і Львівській (88,2 тис. га) областях, що сукупно становило 42,6% площ посівів під цією культурою в Україні.

У 2022 р. ситуація змінилася і лідерами за площами посівів сої були Житомирська (184,1 тис. га), Хмельницька (177,4 тис. га), Полтавська (136,0 тис. га), Київська (109,6 тис. га) і Черкаська (104,9 тис. га) області. Частка цих п'яти областей сукупно становило 46,6% площ посівів під цією культурою в Україні. Навіть в умовах активних військових дій, невизначеності, зростання цін і порушення ланцюгів поставок, найбільше зростання площ під соєю було в Житомирській області (+67,9 тис. га), що перемістило її з третьої позиції на першу, а також у Хмельницькій області (+38,3 тис. га).

Певні зміни відбулись і в 2023 р. – беззаперечними лідерами за посівними площами під соєю були Полтавська (214,3 тис. га), Хмельницька (210,6 тис. га), Житомирська (147,4 тис. га), Вінницька (139,9 тис. га) і Київська (138,7 тис. га) області, що сукупно становило 46,4% площ посівів під цією культурою в Україні. Порівняно з попереднім роком збільшення площ було на рівні 19–58%.

Згідно з даними Держстат України у 2021–2022 рр. найбільше насіння сої було вироблено в Хмельницькій (427,7 тис. т; 444,6 тис. т), Житомирській (310,3 тис. т; 366,4 тис. т), Львівській (263,8 тис. т; 289,9 тис. т), Херсонській (2021 р. – 280,4 тис. т) областях, що сукупно становило 45,3% від загального виробництва України [51]. За підсумками 2023 р. найбільший обсяг виробництва насіння сої був у Полтавській (562,9 тис. т), Хмельницькій

(556,4 тис. т), Сумській (393,9 тис. т), Львівській (370,1 тис. т), Київській (341,7 тис. т) областях.

Аналіз середньої врожайності сої по регіонам за останні роки свідчить, що найвищий рівень характерний для західних областей. Зокрема у 2023 р. урожайність сої в Івано-Франківській області була на рівні 3,37 т/га, Львівській – 3,17, Тернопільській – 3,01, Закарпатській – 2,93 т/га. Для порівняння, у Черкаській – 2,38 т/га, Київській. – 2,47 т/га, Полтавській обл. – 2,63 т/га, а середня по Україні в 2023 р. становила 2,59 т/га.

1.2. Вплив агрозаходів на продуктивність сої

Глобальна зацікавленість у збільшенні виробництва сої визначає актуальність проведення поглиблених досліджень з метою удосконалення та оптимізації агротехнічних методів її вирощування для отримання високих і сталих урожаїв високоякісного насіння.

Варто зазначити і про глобальні зміни клімату, які матимуть істотний вплив на виробництво сої в майбутньому. Було визначено, що підвищення температури повітря негативно впливає на рослини сої та знижує врожайність насіння [162, 197, 252, 302]. Крім того, посилення посухи, внаслідок глобального потепління, негативно впливає на ріст і розвиток та продуктивність сої та багатьох інших видів сільськогосподарських культур [209, 226, 273, 306]. Недостатнє вологозабезпечення (на рівні 30% ПВ) пригнічує процеси формування та функціонування симбіотичної системи *Glycine max* (L.) Merr. – *V. japonicum* і залежить від тривалості посухи. Зокрема, відбувається пригнічення формування бульбочок, активності азотфіксації та наростання вегетативної маси рослин сої [20].

Для мінімізування ризиків, пов'язаних із змінами клімату і обмеженими природними ресурсами, вже зараз ведеться пошук потенційно можливих площ для посівів сої в майбутньому та розробляються сценарії для вирішення проблеми забезпечення харчовим білком зростаючого населення нашої планети [196].

Урожайність сої є результатом взаємодії факторів зовнішнього середовища та агротехніки, яка передбачає створення оптимальних умов для росту і розвитку рослин. Для інтенсифікації технологій вирощування сої застосовують різноманітні сучасні підходи у сільському господарстві. Серед яких важливе місце належить впровадженню нових сортів із високим потенціалом продуктивності та стійкості до впливу різних абіотичних і біотичних чинників, удосконаленню систем удобрення та підживлення, систем захисту рослин на основі нових інноваційних препаратів нового покоління, нанотехнологій тощо [16, 63, 93, 96].

Впродовж багатьох десятиліть зростання виробництва сої відбувалось лише екстенсивними методами, в основному за рахунок розширення площ посівів культури. Однак розвиток біотехнології і генної інженерії дали змогу створити ГМ-сорта та значно підвищити врожайність сої, і тим самим забезпечити прибутки фермерів на рівні 68% [230]. Спочатку створення ГМ-сортів сої було спрямовано на толерантність до гербіцидів і стійкість до шкідливих комах, а згодом на поліпшення якісних показників насіння, у т.ч. для терапевтичних цілей для худоби, підвищення стійкості до стресів та нарощування біомаси для виробництва біопалива [165, 215, 299].

В Україні існує заборона на вирощування генетично модифікованих культур, однак наша країна має найбільший в Європі сортовий потенціал сої, які створено класичними методами селекції та за рівнем урожайності (3,0–4,9 т/га) і вмістом білка (39–43%) не поступаються іноземним сортам й адаптовані до місцевих умов [16, 76, 95, 96].

За міжнародною класифікацією сорти сої поділяють на 13 груп стиглості залежно від тривалості вегетаційного періоду [290]. В Україні виділяють 9 груп стиглості сої: дуже ранній – менше 90 діб; від дуже раннього до раннього – від 91 до 100 діб; ранній – від 101 до 110 діб; від раннього до середнього – від 111 до 120 діб; середній – від 121 до 130 діб; від середнього до пізнього – від 131 до 140 діб; пізній – від 141 до 150 діб; від пізнього до дуже пізнього – від 151 до 160 діб; дуже пізній – більше 160 діб

[100]. Станом на 2022 р. у Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні, сорти сої представлені 279 позиціями, серед яких найбільшу частку становлять ранньостиглі (майже 32%) [133].

Існує розподіл груп стиглості сортів сої за географічним зонуванням території України і важливо дотримуватись цих рекомендацій. Також під час вибору сорту сої враховують те, що ранньостиглі сорти раціонально використовувати як попередники для озимих культур, середньостиглі – для збирання насіння з оптимальною вологістю без додаткового досушування; пізньостиглі – за неможливості у короткі строки її збору, що запобігає осипанню [96].

Рекомендовані для вирощування сорти сої мають високий потенціал продуктивності, що дає змогу отримати відповідну господарську врожайність і значний валовий збір насіння культури, проте у виробничих умовах його реалізація залишається низькою та нестабільною за роками [132, 133].

Тому для повної реалізації генетичного потенціалу сорту необхідно враховувати комплекс чинників, які визначають його продуктивність та проводити дослідження з екологічної оцінки сортів у нових технологіях та в умовах змін клімату [26, 67, 74, 94, 95, 96, 106, 143, 152, 183, 256].

Важливим елементом у технології вирощування сої є система удобрення, обґрунтування якої визначається низкою факторів, зокрема агрохімічними та фізичними властивостями ґрунту, сортовими особливостями культури, видом добрив та строками їх унесення, матеріально-технічними і фінансовими ресурсами господарств тощо. На сьогодні недостатньо досліджена реакція сучасних сортів сої на комплексне застосування різних видів добрив, у т.ч. мікробіологічних, у різних ґрунтово-кліматичних зонах України, особливо з урахуванням змін клімату.

Урожайність насіння сої тісно пов'язана з поглинанням азоту з ґрунту і процесом фіксації азоту з атмосфери [109, 184, 185]. В середньому внесок фіксації азоту в потребу рослин у азоті коливається від 40 до 70% залежно

від умов навколишнього середовища (для росту рослин) і симбіотичної системи з бактеріями [186, 268].

Доведено, що строки сівби та норми внесення азотних добрив є чинниками, які мають значний вплив на продуктивність сої [148, 153, 234]. Низкою досліджень підтверджено, що за більш пізніх строків посіву сої отримували нижчу врожайність насіння [171, 177, 225, 256, 277], що ймовірно було пов'язано з коротшим періодом вегетації та зменшенням кількості бобів на рослині та масою 1000 насінин [219, 224].

Натомість, експериментально доведено, що більш ранні строки посіву в поєднанні з підвищеними нормами внесення азоту є ефективним способом підвищення врожайності сої, особливо в посушливі роки. Важливим при цьому є вибір сорту, продукційний потенціал якого проявляється в критичних умовах посухи та дефіциту вологи. За більш пізніх строків посіву сої не рекомендується збільшення норм внесення азоту, оскільки знижується ефективність його засвоєння рослинами [234]. Тому при вирощуванні сої рекомендують вносити азотні добрива в нормі 60 кг N/га в два етапи. Перший – перед посівом, другий – у фазі наливу насіння [158]. Підвищення врожайності сої за обґрунтованого і вчасного внесення азоту є наслідком змін, що відбуваються в елементах структури врожаю, тобто кількості бобів на рослині та кількості насінин у бобі, масі 1000 насінин [191].

Встановлено, що в умовах Лісостепу Правобережного на сірих лісових ґрунтах найбільш сприятливі умови для росту і розвитку рослин сої та формування їх максимальної індивідуальної продуктивності були за мінерального удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$ у поєднанні з передпосівною культивацією ґрунтового біологічного добрива Groundfix (5 л/га) та передпосівної інокуляції насіння мікоризоутворюючим препаратом Mycofriend (1,5 л/т). При цьому встановлено, що маса 1000 насінин сої зменшувалася із зниженням норми мінерального удобрення [56].

Також встановлено, що вирощування сої на чорноземі опідзоленому в польовій сівозміні у Правобережному Лісостепу із унесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$

забезпечує отримання найвищих показників урожайності (3,02 т/га). Водночас за цієї системи удобрення в насінні сої зростає вміст протеїну, а жиру знижувався – між цими показниками встановлено обернену залежність ($r = -0,84$) [43].

Також встановлено, що стартове азотне добриво підвищує врожайність та якість насіння сої [176, 207, 241, 287]. Такий позитивний вплив на врожайність сої пояснюється активнішим розвитком кореневої системи, збільшенням індексу площі листка та активності фотосинтетичного апарату [203]. Крім того, внесення 60 кг азоту істотно підвищує вміст протеїну в насінні сої [207].

Однак під час розроблення системи удобрення сої необхідно враховувати фізіологічні особливості культури щодо поглинання та використання азоту [159, 282]. За низького вмісту азоту в ґрунті рослина переважно підтримує ріст бульбочок і активність фіксації азоту, а за високого забезпечення азоту в ґрунті – рослина стимулює ріст бічних коренів для більшого поглинання доступних нітратів [266]. Ґрунтовий азот необхідний рослинам сої на ранніх етапах онтогенезу (у перші 25–35 діб), поки не почне функціонувати симбіоз з азотфіксуючими бактеріями *Bradyrhizobium japonicum*. Фіксація азоту рослинами сої починається за сприятливих умов для утворення бульбочок через 15–20 діб після появи сходів. Максимальну активність процесу азотфіксації фіксують наприкінці цвітіння та початку утворення бобів, після чого вона починає знижуватися внаслідок конкуренції між бульбочками та насінинами за продукти фотосинтезу. Тому для формування високої продуктивності сої важливим є стартове забезпечення рослин азотом для утворення бульбочок, висока та подовжена в часі активність процесу азотфіксації, оскільки доступність азоту в ґрунті, як правило, недостатня для забезпечення росту рослин сої, а мінеральний азот втрачається протягом кількох тижнів після внесення. При цьому висока концентрація мінерального азоту в ґрунті пригнічує утворення бульбочок на корінні сої та і активність фіксації азоту [242, 288, 301].

Соє здатна фіксувати азоту майже стільки, скільки виносить його з урожаєм, але водночас залишає його значну кількість у ґрунті у вигляді корневих решток та бульбочок. Показано, що максимальна кількість азоту фіксувалася не лише за використання біопрепаратів, а й за внесення дози азоту N_{60} , а застосування інокуляції насіння та позакореневого підживлення на фоні $N_{60}P_{60}K_{60}$ також забезпечує збільшення маси бульбочок [53].

Доведено, що застосування обґрунтованих доз фосфорних добрив позитивно впливає на ріст й розвиток бульбочок сої, підвищує їх азотфіксуючу здатність і тим самим сприяє росту рослин та підвищує врожайність [238, 289]. Деякі дослідження показали, що низька концентрація фосфору знижує активність нітрогенази в бульбочках бобових культур через зменшення енергії АТФ у бульбочках, зниження вмісту легемоглобіну, зниження вмісту заліза та надмірної секреції органічні кислоти [238]. Також за низької концентрації фосфору у ґрунті відбувається пригнічення фіксації азоту бульбочками бобових і поглинання азоту рослинами, тоді як збільшення внесення фосфору призвело до збільшення на 60% кількості бульбочок, бобів і маси 1000 насінин сої [282].

У сучасній системі удобрення сільськогосподарських культур значне місце відводиться позакореневому підживленню, що є додатковим джерелом забезпечення рослин поживними речовинами через листок та є альтернативою традиційному способу внесення добрив [255]. Всебічні дослідження показали, що розпилення хелатних добрив на листя може зменшити загальну кількість внесених добрив і підвищити ефективність засвоєння добрив. Позакореневе підживлення є більш ефективним способом підвищення вмісту мікроелементів у рослинах та врожаї, що також опосередковано впливає на поліпшення стану ґрунту.

Потреба рослин сої у збалансованому ґрунтовому живленні зумовлює проведення позакорневих підживлень, які позитивно впливають на ріст і розвиток рослин із мінімальними витратами, підвищують стійкість рослин до різних чинників, знижують абортивність бобів, збільшують їхню озерненість

і масу 1000 насінин, подовжують період активного фотосинтезу та симбіотичної азотфіксації [25, 180, 188, 244, 251].

Існує багато доказів того, що позакореневе внесення добрив відіграє активну роль у метаболізмі культур, покращує якість насіння та підвищує врожайність. Так, наприклад, найвищу врожайність насіння сорту Сігалія (3,67 т/га) і Кордоба (3,68 т/га) в умовах Західного Полісся отримано за позакореневого підживлення мікродобривом Реаком-СР-Бобові (4 л/га) у фазі бутонізації [25]. Вирощування сої сорту Медісон на сірих лісових ґрунтах в умовах Правобережного Лісостепу із застосуванням позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост соя (2,5 л/га) на фоні передпосівної інокуляції насіння Біо-інокулянт БТУ (2,0 л/т) забезпечило формування максимальної площі листкової поверхні та врожайність насіння сої (3,31 т/га) [54]. Позакореневе підживлення сої препаратом Вуксал супер (5 л/га) зменшило негативний вплив дефіциту вологи в літній період і тим самим забезпечило отримання високих урожаїв насіння [244].

Використання мікроелементів у вигляді висококонцентрованих рідких добрив для позакореневого підживлення сої у фазах 4–5 листків і початку цвітіння позитивно впливає на формування площі листкової поверхні, показники фотосинтетичного та симбіотичного потенціалу, індивідуальної продуктивності та врожайності насіння. Загальний симбіотичний потенціал сої за період «4–5 листків – формування бобів» залежно від сорту зростав на 14,86–74,3% за застосування позакореневого підживлення мікродобривами. При чому найефективнішим було використання висококонцентрованого рідкого добрива Хімік Бор [108].

Також встановлено, що позакореневе підживлення рослин сої на фоні передпосівної інокуляції насіння біопрепаратами забезпечує підвищення виживаності рослин сої, збереження у посіві найбільшої кількості рослин на час повної стиглості, що визначає формування високих урожаїв насіння [150, 151]. Зокрема, найсприятливіші умови для росту, розвитку та збереження максимальної кількості рослин сої на рівні виживання 94,4–94,7% упродовж

періоду вегетації були за обробки насіння біопрепаратами на основі *Bradyrhizobium japonicum* і *Glomus intraradices* та двох позакоренових підживлень посівів препаратом Фульвогумін [151].

Наразі основна увага дослідників у світі спрямована на вивчення впливу різних мікроелементів за позакоренового внесення: кремнію [279, 281], нікелю [189], молібдену і заліза [254] та, навіть, рідкоземельних металів (лантан, церій) [265] на рослини сої. Однак відсутність знань про фізіологічні процеси, пов'язані з позакореновим поглинанням застосованих мікроелементів через вегетативні органи, перешкоджає зусиллям, спрямованим на підвищення ефективності застосованим агрозаходам і потребує поглиблених досліджень із визначення концентрацій, поєднання мікроелементів, уточнення фази розвитку рослини для внесення препарату, залежності від погодних умов тощо [198].

Серед заходів оптимізації формування продуктивності сої важливе місце займає розміщення в сівозміні та обробіток ґрунту [3, 127, 202, 263, 276, 283, 285, 303]. Доведено, що за правильного розміщення сої в сівозміні можна збільшити продуктивність посівів культур та поліпшити здоров'я ґрунту [160], а поєднання сівозміни та інокуляції насіння сої активними штатами *Bradyrhizobium* розглядають як найекономічніші стратегії підвищення врожайності культури та отримання вигоди [271]. І, навпаки, необґрунтоване збільшення частки сої в сівозміні може погіршити продуктивність посівів, агрохімічний і фітосанітарний стан ґрунту через накопичення та підвищення агресивності збудників хвороб та бур'янів, втрату органічної речовини ґрунту.

Соя вимоглива до попередників і сама є кращим попередником для інших культур. У сучасних короткоротаційних сівозмінах найкращими попередниками для сої є пшениця озима та кукурудза на зерно [63, 75, 93]. Тривалими дослідженнями доведено, що найбільший приріст урожаю насіння сої отримано за вирощування її після кукурудзи (37%) або соняшнику (45%) на другий та третій рік відповідно [285].

Встановлено, що у Правобережному Лісостепу України на чорноземах типових середньосуглинкових найвищу врожайність сої на рівні 3,50–3,70 т/га забезпечило розміщення її після зернових колосових культур за безполицевого обробітку ґрунту на 20–22 см (чизель). Найвищий вміст білка 39,9–40,1% і жиру 20,0–20,1% у насінні сої отримано за її розміщення після пшениці озимої і ячменю ярого. Залежно від обробітку ґрунту найвищий вміст білка і жиру отримано за застосування оранки і чизельного обробітку не залежно від попередника, а найменший – за прямої сівби культури [138].

В умовах степової зони найбільші прирости врожаю насіння сої отримано за вирощування сої після гречки за мінеральної системи удобрення (19,9%) та органо-мінеральної системи удобрення (24,9%). Повторні посіви сої не поступалися за продуктивністю тим, що вирощували після кукурудзи на зерно та гречки [245].

Показано, що за нульового обробітку ґрунту врожайність сої зростає, що безпосередньо пов'язано зі здатністю ґрунту до зберігання вологи і забезпечення нею рослин. Система нульового обробітку ґрунту показала не лише вищу об'ємну щільність і стійкість ґрунту до ущільнення на глибину до 20 см, але й кращий розвиток кореневої системи рослин. Такий прийом також не вплинув на процес інфільтрації води в ґрунті та забезпечив збільшення врожайності зерна сої на 6,5%. Отже, довготривале застосування нульового обробітку ґрунту (33 роки) забезпечує менший ризик водного стресу для рослин сої, що сприяє формуванню більшої врожайності насіння цієї культури [280].

Натомість, в умовах Лісостепу України не підтверджено ефективність застосування прямої сівби (технологія No-Till) при вирощуванні сої в органічній технології, яка поступалася за рівнем продуктивності на 22,7–30,4% порівняно із системою полицевого та безполицевого обробітку ґрунту. Водночас автори зазначають про необхідність додаткових досліджень із введенням у технології біологічних препаратів для удобрення і захисту рослин [156].

Вважають, що виправданим є застосування нульового обробітку при вирощуванні сої за умов дефіциту опадів у період вегетації. Тому в регіонах із низькою і нестабільною забезпеченістю вологою важливо використовувати методи, які забезпечуватимуть збереження максимально можливої кількості вологи у ґрунті. Таким чином, нульовий обробіток є ефективнішим у сухому кліматі або в кліматі з нерівномірним розподілом опадів, де врожайність сільськогосподарських культур часто дорівнює або вище, ніж за традиційних способів обробітку ґрунту [205, 261].

Важливим агрозаходом, який забезпечує збільшення виробництва сої і зменшення втрат урожаю, є впровадження ефективних та екологічно безпечних систем захисту рослин від шкідливих організмів [178, 179, 250]. Як зазначалось вище, останніми роками в Україні і світі відбувається динамічне збільшення посівних площ під соєю і частки цієї культури в сівозміні. Як наслідок, це спричиняє накопичення в ґрунті агроценозів насіння бур'янів, збудників хвороб та запасів шкідників, що негативно впливає на фітосанітарний стан посівів [5, 77].

Сучасний асортимент пестицидів за вчасного і правильного їх застосування дає змогу ефективного контролювати чисельність шкідливих організмів у агроценозах сої. Як профілактичні заходи, так і обробки рослин сої у період вегетації забезпечують високий захисний ефект та одержання високих врожаїв. Водночас, профілактичні заходи з використанням комплексної обробки насіння і внесенням гербіциду до сходів культури забезпечує вищий економічний і екологічний ефект, який полягає у зменшенні витрат на обприскування рослин у період вегетації, зниженні об'ємів використання пестицидів, зменшенні стресу у рослин [136].

Отже, вирощування сої в сучасних умовах потребує зваженого та наукового підходу щодо вибору сорту, агротехнологічних прийомів та їх поєднань у технології вирощування культури, які забезпечать максимальну реалізацію генетичного потенціалу, стійкість до стресових чинників та отримання максимального прибутку за збереження природних ресурсів.

1.3. Ефективність застосування біологічних препаратів у технологіях вирощування сої

Сучасне аграрне виробництво все більше набуває екологічних пріоритетів, що пов'язано із виснаженням і втратою природних ресурсів, змінами клімату, забрудненням навколишнього середовища тощо [2, 181]. Про це свідчить прийняття на міжнародному рівні низки екологічних конвенцій і стратегій. Зокрема, Європейським Зеленим Курсом визначено до 2030 р. зменшення застосування хімічних мінеральних добрив на 20% і пестицидів на 50% за рахунок впровадження альтернативних засобів удобрення й захисту сільськогосподарських культур. Своєю чергою зростання цін на азотні добрива та їх значний вплив на викиди парникових газів й забруднення навколишнього природного середовища спонукають приділяти все більше уваги біологічній фіксації азоту, що є екологічним і економічним заходом підвищення врожайності сільськогосподарських культур [118, 286].

Рослини сої мають високу потребу в азоті, оскільки необхідно поглинати 80 кг азоту для формування 1 мг насіння [267]. У середньому від 50–60% до 90% цього азоту забезпечується шляхом біологічної фіксації азоту симбіотичними ґрунтовими бактеріями, головним чином *Bradyrhizobium japonicum* [185, 246].

Важливим джерелом збільшення виробництва конкурентоспроможної продукції в системі сталого землеробства є застосування біологічних препаратів на основі активних штамів мікроорганізмів та продуктів їх метаболізму [46, 49, 67, 84, 103, 210, 211]. Серед сучасних біопрепаратів найбільш відомі і поширені є препарати на основі бульбочкових бактерій для бобових культур. Зазначають, що бактеризація насіння бобових культур, у тому числі й сої, мікробними препаратами на основі високоактивних штамів бульбочкових бактерій, за допомогою якої можна підвищити азотфіксувальний потенціал бобово-ризобіального симбіозу до 15–50%, має бути обов'язковим агрозаходом у технологіях їх вирощування [19]. Так,

фіксація атмосферного азоту соєво-ризобіальними симбіотичними системами сприяє інтенсифікації землеробства, зниженню енерговитрат, покращенню екологічного стану ґрунтів, а також забезпечує високий рівень продуктивності сої [83, 185, 223, 262].

Для прикладу, в Бразилії, яка є світовим лідером у виробництві сої, 78% цієї культури вирощено за використання інокулянтів. Передпосівна інокуляція насіння сої високоактивними штамми *Bradyrhizobium* spp. може повністю задовольнити потребу культури в азоті, що дозволить відмовитись від використання азотних добрив, що своєю чергою забезпечить річну економію на рівні майже 20 млрд доларів США [270].

Водночас варто зазначити, що не всі симбіотичні системи однаково ефективні у фіксації атмосферного азоту і розуміння цих відмінностей дасть змогу розробити стратегії збільшення внеску біологічної азотфіксації у сільське господарство [174].

Результатами багатьох досліджень доведено, що застосування біопрепаратів на сої є ефективним заходом підвищення врожайності та стійкості рослин до біотичних і абіотичних стресів [9, 10, 12, 146, 149, 231, 247].

Сучасні біопрепарати поєднують мікроорганізми декількох штамів або видів, які беруть участь у різних мікробних процесах, щоб сукупні переваги кожного з них призвели до вищих переваг і, зрештою, до отримання максимальної врожайності.

Використання якісних інокулянтів із високим вмістом азотфіксуючих бактерій для передпосівної обробки насіння сої та біопрепаратів для підживлення дає змогу реалізувати генетичний потенціал сучасних сортів, а отже, отримати найвищі врожаї, особливо в органічних технологіях [8–12, 211]. Також було показано позитивний вплив застосування біопрепаратів на основі ґрунтових бактерій (азотофіксуючих, фосфатомобілізуєчих, целюлозоруйнуючих) до складу яких входять природні вітаміни групи В, гормони та антипатогенні бактерії та ін., щодо регулювання

фітопатогенного фону на вегетативних органах сої та зниження біологічного забруднення агроценозів [259].

Сучасні біопрепарати поєднують мікроорганізми декількох штамів або видів, які беруть участь у різних мікробних процесах, щоб сукупні переваги кожного з них призвели до вищих переваг і, зрештою, до отримання максимальної врожайності.

Використання якісних інокулянтів із високим вмістом азотфіксуючих бактерій для обробки насіння сої та біопрепаратів для підживлення дає змогу реалізувати генетичний потенціал сучасних сортів, а отже, отримати найвищі врожаї, особливо в органічних технологіях. Також було показано позитивний вплив застосування біопрепаратів на основі ґрунтових бактерій (азотофіксуючих, фосфатомобілізуєчих, целюлозоруйнуючих) до складу яких входять природні вітаміни групи В, гормони та антипатогенні бактерії та ін., щодо регулювання фітопатогенного фону на вегетативних органах сої та зниження біологічного забруднення агроценозів [50].

Встановлено, що інокуляція насіння сої біопрепаратами Біоінокулянт БТУ, Різолاین, Андеріз мала прямий вплив на формування фотосинтетичного апарату рослин сої, підвищувала інтенсивність наростання листкової поверхні рослин та врожайність насіння [54].

Важливим є правильний підбір системи удобрення сої та передпосівної інокуляції насіння біопрепаратами з метою стимулювання/активізації процесу азотфіксації. У польових умовах було показано, що інокуляція насіння сої бактеріями *B. japonicum* у поєднанні з оптимальним рівнем удобрення (30 кг N/га) призводить до більш ефективної біологічної фіксації азоту порівняно з внесенням азотних добрив у дозі 60 кг/га [288]. Вплив азотних добрив на утворення бульбочок на корінні сої і фіксацію азоту залежить від норми добрив та часу їх внесення. Високі концентрації азоту можуть негативно впливати на формування бульбочок сої, тоді як низькі концентрації азоту, навпаки, сприяють утворенню бульбочок і активізують процес азотфіксації [242, 257].

За поєднання в технології вирощування сої внесення добрив $N_{20}P_{52}K_{52}$ + Гулівер Стимул та передпосівної обробки насіння інокулянтном Нітрофікс забезпечує позитивний вплив на показники фотосинтетичного потенціалу сої, накопичення сухої речовини та врожайність із приростом 0,83 т/га [24].

На процес азотфіксації впливає реакція ґрунтового середовища, а саме кислотність ґрунту є одним із обмежуючих чинників фіксації азоту симбіозом бобових рослин і ризобій [293]. Вирощування сої на кислих ґрунтах має негативний вплив на біологічну фіксацію азоту, ріст і розвиток рослин та збільшує залежність сої від ґрунтового азоту. Натомість вапнування підвищує врожайність насіння сої, ріст рослин, кількість фіксованого азоту та утворення бульбочок [163].

Дослідженнями з поєднанням біопрепарату і новітнього біостимулятора рослин із серії полікомпонентних препаратів за обробки насіння сої показано їх послаблювальний ефект щодо негативної післядії мінеральних добрив на рослини, що підтверджено показниками польової схожості та зростанням біометричних показників рослин сої. На думку авторів, встановлена особливість є наслідком активних фізіолого-біохімічних процесів, що відбуваються у насінні та проростках сої, внаслідок інокуляції насіння штамами бульбочкових бактерій та обробкою комплексом мікроелементів [149].

За результатами досліджень встановлено, що проведення передпосівної інокуляції насіння інокулянтами і мікродобрива (Вуксал КоМо 15) в умовах південно-західного Лісостепу позитивно впливає на отримання дружних сходів, зняття гербіцидного навантаження на рослини сої, активізацію процесу азотфіксації та врожайність сої [146].

Низкою польових дослідів показано, що передпосівна інокуляція насіння сої комплексом мікробіологічних препаратів підвищується не лише врожайність, а й поліпшує якісні показники насіння, зокрема збільшується вміст протеїну та жиру [28, 45, 46, 52, 56, 61, 68, 90, 155].

Сучасні біопрепарати комплексної дії також використовують для поліпшення посівних якостей насіння сої та отримання кондиційного насіння. Встановлено, що інокуляція насіння комплексами біопрепаратів з різноманітною дією азотфіксації, фосфатмобілізації, рістстимуляції та біозахисту від хвороб (Ризобофіт, Фосфоентерин, Біополіцид, Флавобактерин) позитивно впливала на насінневу продуктивність та такі показники якості насіння як польова схожість, енергія проростання та лабораторна схожість, сприяла підвищенню його кондиційності. Вирощування сої сортів Алмаз і Александрит у Правобережному Лісостепу із передпосівною обробкою насіння комплексом біопрепаратів (Ризобофіт + Фосфоентерин + Біополіцид) забезпечило отримання найбільшого виходу кондиційного насіння 1,53 і 1,73 т/га відповідно [11].

Останнім часом серед агровиробників все більшої зацікавленості викликає використання біологічних препаратів, розроблених на основі мікоризоутворюючих грибів, які забезпечують ефективніше використання рослинами мінеральних добрив, поліпшують фосфорне живлення та процес фіксації азоту, покращують якісні показники врожаю, підвищують стійкість рослин до несприятливих чинників навколишнього середовища та підвищують продуктивність агрокультур [296]. Використання біопрепаратів, які містять мікоризоутворюючі гриби, особливо актуально за нестабільних погодних умов, дефіциту вологи, тривалої посухи та підвищених температур повітря [172].

Так, дослідженнями в умовах Правобережного Лісостепу на сірих лісових ґрунтах було показано, що найбільш сприятливі умови для росту і розвитку сої та формування максимальної індивідуальної продуктивності склалися на фоні мінерального удобрення у нормі $N_{60}P_{60}K_{60}$, внесенні у передпосівну культивування ґрунтового біологічного добрива Groundfix (5 л/га) та передпосівної обробки насіння мікоризоформуєчим препаратом Mucosfriend (1,5 л/т). За такого поєднання отримано максимальну кількість бобів на рослині (27,2 шт.), кількість насіння з рослини (47,2 шт.), масу

насінин із рослини (7,6 г) та масу 1000 знасінин (160,9 г) [56]. Крім того, що така біологізована система вирощування сої є економічно вигідною з рівнем рентабельності 125% [55].

Аналогічно в умовах Лівобережного Лісостепу показано, що допосівна обробка насіння сої біопрепаратами на основі мікоризоутворюючих грибів *Glomus VS*, *Trichoderma harzianum*, *Tuber melanosporum* покращувала ріст і розвиток рослин. Мікоризація кореневої системи у симбіозі з бактеріями забезпечила істотне збільшення показників обводненості листків рослин, маси кореневої системи, площі листкової поверхні тощо, що позитивно вплинуло на продуктивність сої. Зокрема, за застосування біопрепаратів урожайність насіння сої зросла на 7,5–47,6%, а приріст урожаю склав 0,14–0,89 т/га [52].

При вирощуванні сої ефективним є застосування бінарних композицій ризобій з повільним та інтенсивним ростом, які підсилюють дію один одного і сприяють утворенню збалансованих симбіотичних систем. Багаторічними дослідженнями Д. Критила було доведено, що активізація симбіотичних систем сої за інокуляції штамми ризобій із різною швидкістю росту забезпечила збільшенню кількості бульбочок у 5,5–12,6 раза та їх маси, а також на 13,0–20,5% підвищенню врожайності сої порівняно з контролем [85].

Також в умовах польового дослідження доведено позитивний вплив комплексної інокуляції бульбочковими й ендоефітними бактеріями (Ризобін К + *Vacillus* sp. 4) насіння сої, що сприяло активному розвитку рослин зі збільшеною листковою поверхнею на 63,8–52,6% і підвищеною продуктивністю фотоасиміляції. Відбувалось стимулювання симбіотичної системи – кількість бульбочок зростала на 60–65% та їх маса на 12–51%. Цей агрозахід забезпечив отримання найбільшої врожайності насіння сої 2,66–2,90 т/га [68].

Поєднання в технології вирощування сої інокуляції насіння біопрепаратом (Оптімайз) та обприскування посівів ретандартом

(Хлормекватхлорид) у фазі бутонізації забезпечило отримання максимальної врожайності сої 2,13–2,39 т/га, що перевищувало контроль на 38–47%. Оскільки регуляція процесів росту і розвитку рослин за використання фізіологічно активних речовин дає змогу спрямовано впливати на окремі етапи онтогенезу для мобілізації генетичних можливостей рослинного організму та забезпечувати підвищення врожайності сільськогосподарських культур, зокрема сої [121].

Також важливе місце в технологіях вирощування сої займає поєднання передпосівної інокуляції насіння мікробними препаратами з фунгіцидами. Адже глобальні втрати врожаю сої від хвороб можуть сягати 27% [240]. Наприклад, у зоні Лісостепу найпоширенішими хворобами сої є альтернаріозна плямистість, пероноспороз, фузаріозне в'янення та коренева гниль, бура плямистість та бактеріальний опік, а щорічні дослідження посівного матеріалу сої підтверджують наявність комплексу збудників грибної і бактеріальної етіології, що вимагає застосування фунгіцидів, у т.ч. протруювання насіння [135]. Тому вивчення можливості поєднання обробки насіння фунгіцидами та інокуляції штатами мікроорганізмів є актуальним питанням щодо удосконалення технологій вирощування сої.

Багатьма дослідженнями доведено негативний вплив пестицидів на рослини сої та її азотфіксуючий потенціал [48, 110, 116, 167]. Застосування фунгіцидів суттєво знижує активність фотосинтетичного апарату сої за різних способів їх внесення (протруєння насіння, обприскування рослин під час вегетації) [260]. Також експериментальні дані підтвердили, що обробка насіння фунгіцидами мала істотний вплив на обидва визначальні компоненти формування продуктивності бобово-ризобіального симбіозу – симбіотичний і фотосинтетичний апарат рослини. Сила прояву та ознака цього впливу залежать від виду препарату та фази розвитку рослин. Встановлено тісні позитивні кореляції між азотфіксуючою активністю рослини та показниками ефективності її фотосинтетичного апарату, які можуть бути модифіковані речовинами з фунгіцидною дією [232].

У лабораторних умовах показано негативний вплив на виживання штамів *Bradyrhizobium* sp. на насінні внаслідок застосування фунгіцидів на основі діючих речовин беномілу, каптану, карбендазину, карбоксину, дифеноконазолу, тіабендазолу, тираму, толілфлуаніду: через 2 год. кількість життєздатних клітин ризобій зменшилась на 62%, через 24 год. – на 95%. Виявлено зменшення кількості бульбочок на коренях, зниження рівня азотфіксації та негативний вплив на показники врожайності у варіантах із протруєнням насіння фунгіцидами [182]. Обробка насіння фунгіцидом Вітавакс 200 ФФ знижувала у 3–5 разів азотфіксувальну активність промислових штамів ризобій у симбіозі з соєю. Натомість інокуляція насіння сої штамом *B. japonicum* УКМ В-6035 дещо нівелювала негативний вплив фунгіциду Максим Стар 025 FS на нітрогеназну активність симбіотичного апарату сої [19].

В умовах польових дослідів показано, що застосування фунгіцидів впливає на ріст і розвиток рослин, пригнічуючи основні фізіологічні процеси у рослинах. Зокрема, дослідженнями встановлено, що протруєння насіння фунгіцидами призводить до пригнічення функціонування симбіотичної системи сої на початкових фазах розвитку, нітрогеназна активність значно послаблюється, що в подальшому впливає на продуктивність рослин [110, 116, 232, 235].

Водночас передпосівна обробка насіння сої біопрепаратами може нівелювати негативний вплив пестицидів на рослини та активізувати нодуляційну здатність. Зокрема в польових умовах Східного Лісостепу показано, що комплексне застосування біологічних і хімічних препаратів у технологічному процесі обробки насіння та обприскування посівів є перспективним для стимуляції симбіотичної діяльності рослин, що виявляється у зростанні кількості та маси бульбочок на рослині, та підвищенні врожайності сої [48].

Сучасні дослідження спрямовані на підбір фунгіцидів та мікроорганізмів-азотфіксаторів для сумісного застосування з метою

забезпечення високого господарського та захисного ефектів при вирощуванні сої [87]. Результати багатьох досліджень свідчать, що вплив хімічних засобів захисту рослин на формування та функціонування бобово-ризобіального симбіозу у кожному окремому випадку залежить як від діючих речовин препаратів, так і штамів ризобій або комплексів мікроорганізмів, якими обробляли насіння. Тому важливо застосовувати фунгіциди спільно з біологічними препаратами, біоагенти яких проявляють резистентність до діючих речовин пестицидів.

Висновки до Розділу 1

1. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – одна з найбільш економічно важливих олійних і білкових культур у світі після пшениці, кукурудзи та рису. Вона є ключовим компонентом глобальної продовольчої безпеки, що забезпечує понад чверть світового білка для харчування людей і тварин. Її називають «золотою рослиною» людства, «чудо-рослиною» або «рослиною майбутнього».

2. Унікальні властивості соєвих бобів та збалансованість за макро- і мікроелементами, багатовекторність застосування визначають постійне зростання попиту, а відтак і виробництво насіння сої в усьому світі. Нині сою вирощують приблизно на 6% орних земель світу. Лише за останні 70 років посівні площі під соєю у світі зросли майже у вісім разів: з 16,5 млн га у 1950 р. до 127 млн га у 2020 р. Світовий ринок виробництва сої у 2023 р. оцінювався у 157,6 млрд доларів США, і, за прогнозами досягне 226,28 млрд доларів до 2032 р. за середньорічного темпу зростання 4,1%. Основними регіонами галузі є Північна Америка, Латинська Америка, Близький Схід і Африка, Європа та Азіатсько-Тихоокеанський регіон.

3. Україна має сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування сої, а економічні інтереси та експортна орієнтація сприяли впродовж 24 років збільшенню майже в 74 рази валових зборів насіння сої (з 64,4 тис. тонн у

2000 р. до 4742,6 тис. тонн у 2023 р.) та в 30 разів посівних площ (з 60,6 тис. га у 2000 р. до 1834,0 тис. га у 2023 р.).

4. Для українського агробізнесу соя є високомаржинальною культурою та гарною альтернативою іншим олійним і технічним культурам. Нині Україна у світовому рейтингу займає дев'яту позицію з часткою 1% (5,2 млн т насіння) загального виробництва сої.

5. Незважаючи на складну ситуацію в Україні, пов'язану з широкомасштабним вторгненням РФ у лютому 2022 р. та окупацією південних та східних регіонів, вітчизняна аграрна галузь продовжує нарощувати обсяги виробництва сої. Площі під соєю у 2022 р. зросли на 204,3 тис. га (або на 15,4%), у 2023 р. – на 511,1 тис. га (або на 38,6%) порівняно з 2021 р. У складних умовах воєнного стану в 2023 р. валовий збір урожаю насіння сої зріс на 1249,4 тис. тонн (або на 35,89%) і становив 4742,6 тис. тонн, що визначалось як новий абсолютний рекорд.

6. Глобальна зацікавленість у збільшенні виробництва сої визначає актуальність проведення поглиблених досліджень з метою удосконалення та оптимізації агротехнічних методів її вирощування для отримання високих й сталих урожаїв високоякісного насіння. Для інтенсифікації технологій вирощування сої застосовують різноманітні сучасні підходи у сільському господарстві. Серед яких важливе місце належить впровадженню нових сортів із високим потенціалом продуктивності та стійкості до впливу різних абіотичних і біотичних чинників, удосконаленню систем удобрення та підживлення, систем захисту рослин на основі нових екологічно безпечних біологічних препаратів нового покоління тощо.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [34, 92].

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови

Польові дослідження проведено впродовж 2021–2023 рр. у дослідному полі відділу технологій зернобобових, круп'яних і олійних культур Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН» (с/мт Чабани, Фастівський р-н Київська обл.) (рис. 2.1). Географічні координати дослідного поля: 50.345847, 30.416572,17.

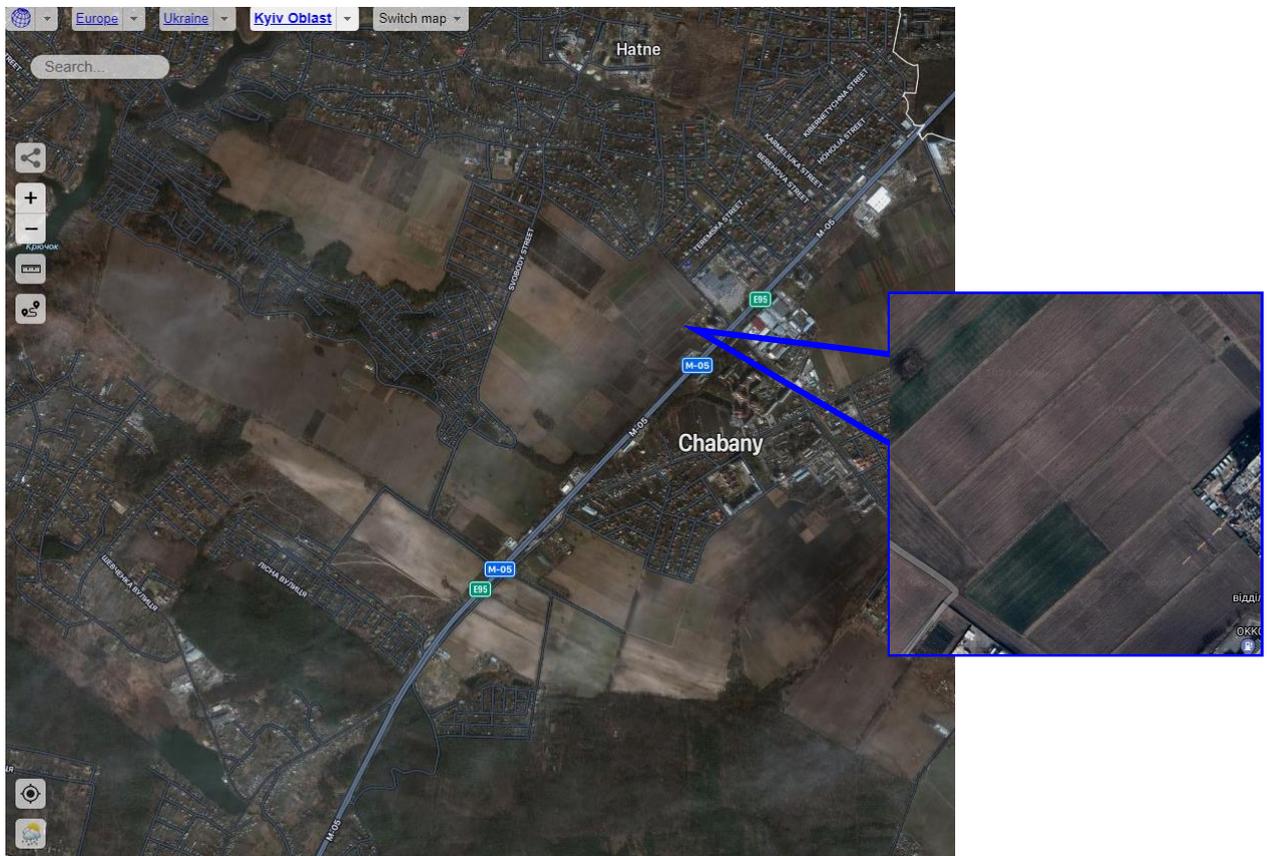


Рис. 2.1. Карта розташування дослідного поля відділу технологій зернобобових, круп'яних і олійних культур ННЦ «Інститут землеробства НААН» (https://satellites.pro/Ukraine_map#)

Територія, де проведено польові дослідження, відноситься до Київського агроґрунтового району центральної провінції Правобережного Лісостепу України та належить до району з помірно-континентальним

кліматом із достатньою кількістю опадів, а ґрунтово-кліматичні умови є сприятливими для ведення рослинництва. Водночас в окремі роки можливі посухи, рідше суховії. Сума активних температур за вегетаційний період коливається в межах від 2600°C до 2660°C, тривалість періоду з середньодобовою температурою повітря понад 10°C становить 160–165 діб.

Перехід до сталих середньодобових температур повітря понад 10°C, який пов'язується із початком інтенсивного росту переважної більшості сільськогосподарських культур, відбувається у квітні. У літній період спостерігається переважно тепла, а в липні–серпні – жарка погода. Середньодобова температура повітря у травні–червні досягає 18–21°C, у липні–серпні – 22–24°C. Перші заморозки відмічають у другій декаді жовтня, останні фіксують – у третій декаді квітня – на початку травня. Тривалість безморозного періоду становить 160–170 діб. Літо достатньо тепле із середньодобовою температурою повітря в липні 18–20°C.

Сума опадів за рік становить 600–650 мм, змінюючись у межах від 405 мм у найпосушливіші роки до 925 мм – у вологі за середньої кількості діб з опадами 130–180 мм. Основна кількість опадів (70%) припадає на теплий період року – квітень–жовтень, а максимум – на червень–липень.

Ґрунт дослідної ділянки – темно-сірий опідзолений крупнопилувато-легкосуглинковий (табл. 2.1), за агрохімічними показниками характеризується як слабо кислий з низьким умістом гумусу, дуже низьким умістом гідролізованого азоту і рухомих сполук калію та високим умістом рухомих сполук фосфору [58, 102].

Таблиця 2.1

Агрохімічні показники 0–20 см шару ґрунту дослідної ділянки

Гумус, % (за Тюрінім)	Азот легкогідролізних сполук, мг/кг (за Корнфілдом)	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH _{сол.}
		мг/кг ґрунту (за Кірсановим)		
1,49–1,71	68,6–78,4	140–160	55–70	5,2–5,7

2.2. Погодні умови в роки проведення досліджень

Аналіз погодних умов вегетаційного періоду сої (квітень – вересень) у роки досліджень проводили з використанням даних метеопункту ННЦ «ІЗ НААН». Для характеристики погодних умов використовували значення температур повітря й кількості опадів за декадами і помісячно порівняно з середньобогаторічним рівнем (СБР) та значеннями гідротермічного коефіцієнту Г. Селянинова (ГТК).

Гідротермічні умови, які склалися у період вегетації рослин сої, різнилися як порівняно з середньобогаторічними показниками, так і за роками досліджень. Як свідчать дані рис. 2.2 середньомісячна температура повітря у червні, липні, серпні у роки досліджень перевищувала СБР.

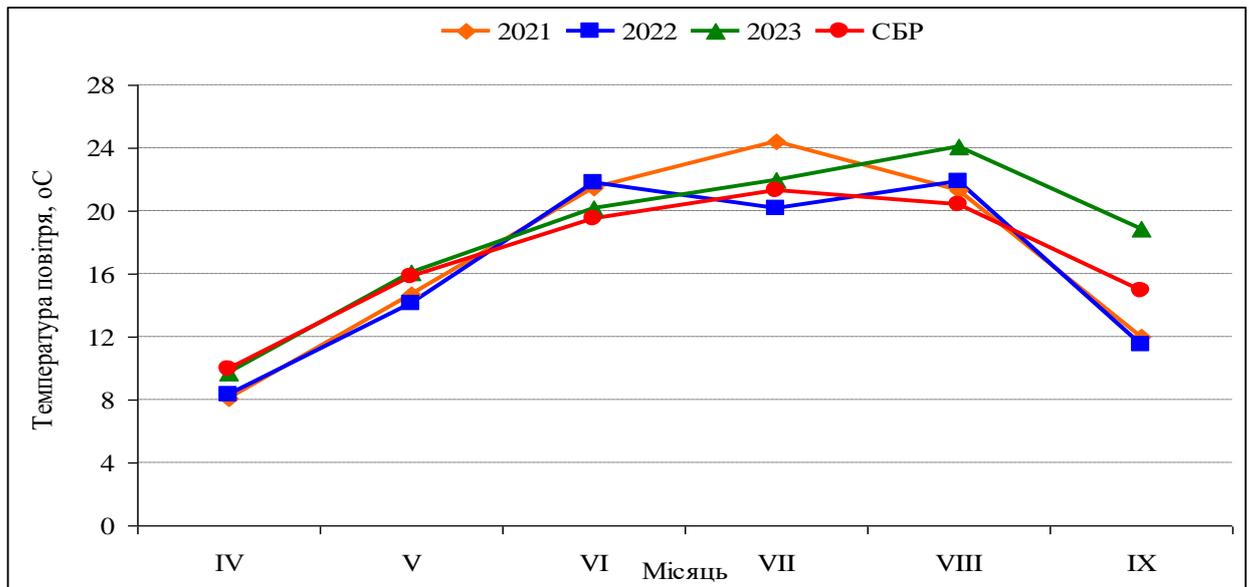


Рис. 2.2. Динаміка показників середньомісячної температури повітря за період вегетації сої, 2021–2023 рр., °С

Також фіксували жаркий червень 2021 р. (+2,0°C), червень 2022 р. (+2,3°C), липень 2021 р. (+3,1°C), серпень 2023 р. (+3,7°C) і вересень 2023 р. (+3,9°C).

Відмічали контрастність випадіння опадів впродовж вегетаційного періоду за роками досліджень. Дефіцит опадів фіксували у більшості місяців, крім квітня 2023 р., липня 2023 р., серпня 2021 р. і вересня 2022 р. (рис. 2.3).

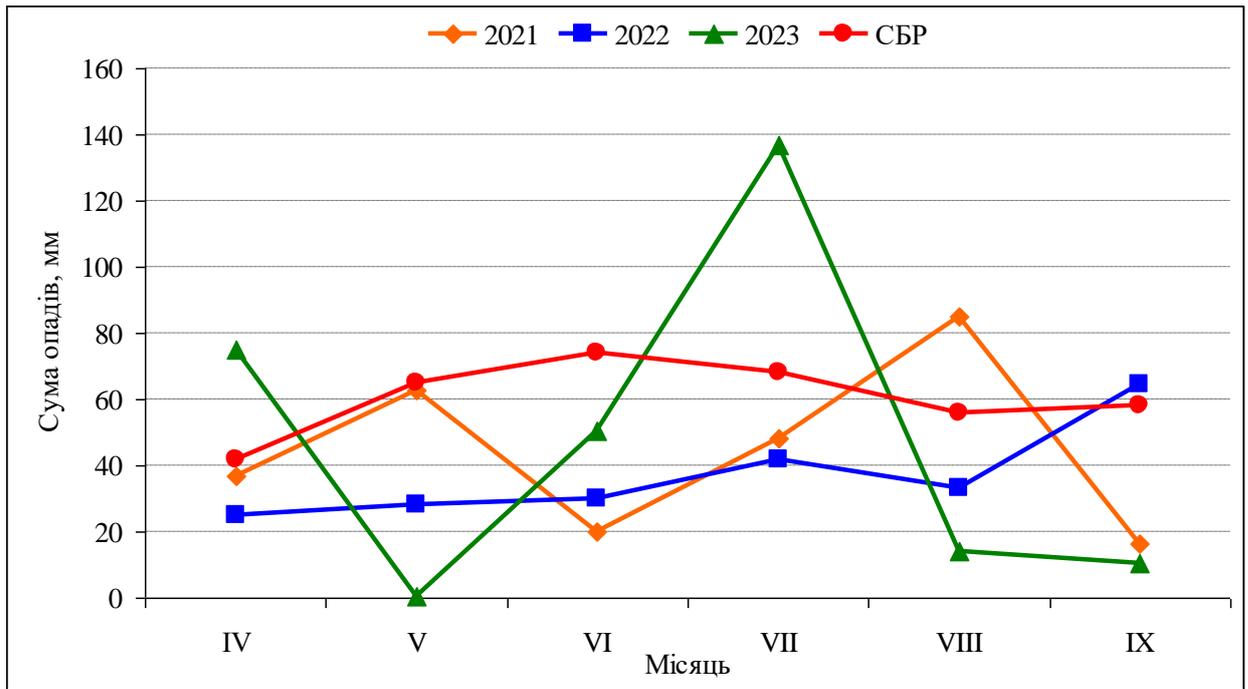


Рис. 2.3. Динаміка показників суми опадів за місяць упродовж періоду вегетації сої, 2021–2023 рр., мм

Аналізуючи значення ГТК за роки досліджень варто зазначити, що близьким до середньо багаторічних даних були лише погодні умови травня 2021 р. ГТК 1,38 (ГТК СБР 1,33) (рис. 2.4).

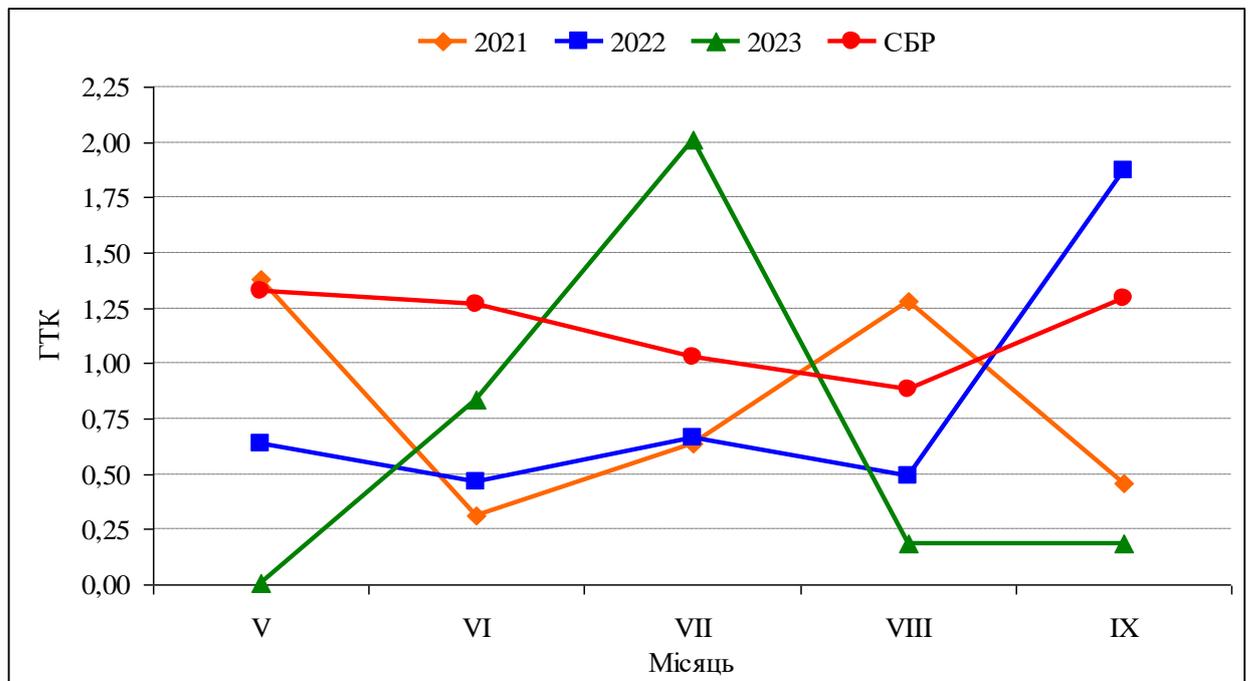


Рис. 2.4. Динаміка показників гідротермічного коефіцієнта (ГТК) у період вегетації сої, 2021–2023 рр.

Для решти місяців у роки досліджень характерно контрастний перепад значень ГТК, особливо для 2023 р.

У 2021 р. сівбу сої провели 12 травня. Після сівби культури кількість опадів у II декаді травня була у межах норми (13 мм), а середньодобова температура повітря – нижчою за норму (15,7°C) лише на 0,4°C (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Метеорологічні умови за періоди вегетації сої, 2021–2023 рр.

Місяць	Декада	Середньодобова температура повітря, °C				Опади, мм			
		середня			СБР	сума			СБР
		2021	2022	2023		2021	2022	2023	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Квітень	I	6,39	6,41	8,00	7,2	8,4	12,6	43,0	15,0
	II	9,24	6,87	9,69	8,2	22,2	4,0	29,6	19,0
	III	8,72	11,58	11,50	10,8	6,4	8,4	2,6	15,0
	середнє	8,12	8,29	9,73	10,0	37,0	25,0	75,2	42,0
Травень	I	12,43	13,62	12,14	14,2	11,8	0	0,4	15,9
	II	15,33	14,49	17,97	15,8	13,4	9,4	0	20,0
	III	16,33	14,27	19,12	17,2	37,6	18,6	0	29,1
	середнє	14,70	14,13	16,08	15,8	62,8	28,0	0,4	65,0
Червень	I	17,47	21,67	19,83	18,6	13,2	8,0	21,0	23,8
	II	22,04	21,68	20,10	19,9	3,2	3,6	10,2	25,1
	III	25,01	21,97	20,62	19,8	3,8	18,6	19,4	25,1
	середнє	21,51	21,78	20,18	19,5	20,2	30,2	50,6	74,0
Липень	I	24,23	22,55	22,62	20,6	22,4	17,6	31,8	23,0
	II	26,48	17,85	22,51	21,2	21,2	23,0	61,0	20,0
	III	24,23	23,00	21,67	22,0	4,4	1,0	44,0	25,0
	середнє	24,40	20,20	21,93	21,3	48,0	41,6	136,8	68,0

Продовження таблиці 2.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Серпень	I	22,48	21,49	22,79	21,8	22,0	17,4	12,8	21,0
	II	21,98	22,27	24,98	20,6	5,2	16,0	0,8	20,0
	III	19,67	23,64	24,51	19,0	57,6	0	0,4	15,0
	середнє	21,33	21,91	24,09	20,4	84,8	33,4	14,0	56,0
Вересень	I	14,5	13,73	18,45	16,7	1,8	16,8	0	20,0
	II	16,1	12,71	18,52	15,1	5,4	27,6	10,4	18,0
	III	9,8	11,58	19,70	12,9	9,2	20,3	0	20,0
	середнє	12,0	11,54	18,89	14,9	16,4	64,7	10,4	58,0

У III декаді місяця опадів випало 37,6 мм, що становило 163% до багаторічного показника (23 мм). Середньодобова температура повітря перевищувала норму (15,9°C) на 0,4°C. Сходи сої відмічали на 9–10 добу після сівби. Надмірна кількість опадів, їх тривалість не сприяли активізації ростових процесів у рослинах досліджуваної культури.

Червень та липень 2021 р. характеризувались недостатньою кількістю опадів, що становила 20,2 і 48 мм за багаторічних значень відповідно 73 і 88 мм. Середньодобова температура повітря перевищувала багаторічні показники (18,2 і 19,3°C) відповідно на 3,3 і 5,1°C. Такі умови спричиняли скорочення тривалості міжфазних періодів розвитку рослин культури, що відобразилось на рівні врожайності.

У серпні 2021 р. кількість опадів перевищувала норму (69 мм) на 15,8 мм, а середньодобова температура повітря – на 2,7°C (норма – 18,6°C), що сприяло формуванню виповненого насіння сої. Загалом 2021 р. був малосприятливим для росту, розвитку та формування врожаю рослинами сої.

У 2022 р. сівбу сої провели 4 травня. Після сівби сої у I декаді травня опади були відсутні, хоча їх норма становила 15,9 мм, у II і III декадах – була на 10,6 і 10,5 мм нижчою за норму (20 і 29,1 мм), а середньодобова температура повітря – також нижчою за норму (14,2, 15,8 і 17,2°C) на 0,6, 1,3

і 2,9°C відповідно. Сходи сої відмічали на 9–11 добу після сівби. Недостатня кількість опадів та понижена середньодобова температура повітря не сприяли активізації ростових процесів у рослинах сої. Червень та липень характеризувались недостатньою кількістю опадів, яка становила 30,2 і 41,6 мм за багаторічних значень відповідно 74 і 68 мм. Середньодобова температура повітря у червні перевищувала багаторічні показники (19,5°C) на 2,3°C, у липні – була нижчою за норму (21,3°C) 1,1°C. Такі умови спричиняли скорочення тривалості міжфазних періодів розвитку рослин досліджуваної культури, що також мало вплив на рівень урожайності.

У серпні 2022 р. кількість опадів була нижчою за норму (56 мм) на 22,6 мм, а середньодобова температура повітря перевищувала багаторічні значення (20,4 °C) на 1,5°C, що не сприяло формуванню виповненого насіння культури. Загалом 2022 р. був малосприятливим для росту, розвитку та формування врожаю рослинами сої.

У 2023 р. сівбу сої провели 15 травня. Після сівби впродовж II та III декад травня відмічали відсутність опадів та підвищення середньодобової температури повітря на 2,2 і 1,9°C відносно багаторічних значень (15,8 і 17,2°C). Сходи сої відмічали на 6–8 добу після сівби. Аналогічні закономірності відмічали також у червні. Упродовж місяця спостерігали недостатню кількість опадів (у I декаді – 21,0 мм за норми 23,8 мм, у II декаді – 10,2 мм за норми 25,1 мм у III декаді – 19,4 мм за норми 25,1 мм) та перевищення середньодобових температур повітря на 1,2, 0,2 та 0,8°C за норми 18,8, 19,9 і 19,8°C відповідно. Недостатня кількість опадів, підвищена середньодобова температура повітря не сприяли активізації ростових процесів у рослинах досліджуваної культури.

Липень 2023 р. характеризувався надмірною кількістю опадів, що становила 31,8 мм, 61,0 і 44,0 мм за багаторічних значень відповідно 23 мм, 20 і 25 мм. Середньодобова температура повітря упродовж I та II декади перевищувала норму (20,6 і 21,2°C) на 2,0 і 1,3°C. Умови III декади липня були у межах норми. Надмірна кількість опадів та підвищені, порівняно з

нормою, середньодобові температури повітря сприяли навіть подовженню міжфазних періодів розвитку рослин сої, що відобразилось на рівні врожайності.

У серпні 2023 р. кількість опадів у цілому була нижчою за норму (56 мм) на 42,0 мм, а середньодобова температура повітря перевищувала багаторічні значення (21,8, 20,6 і 19,0°C) на 1,0, 4,4 і 5,5°C, що спричиняло скорочення періоду наливу зерна та його дозрівання. Не дивлячись на окремі періоди, загалом 2023 р. був сприятливим для росту, розвитку та формування врожаю рослинами сої.

Отже, погодні умови 2021–2023 рр. істотно різнились між собою, а також від середніх багаторічних значень, що підтверджено коефіцієнтом суттєвості відхилень гідротермічних показників.

Аналіз середньодобових декадних температур повітря періодів вегетації сої упродовж 2021–2023 рр. свідчить про те, що значення коефіцієнтів суттєвості відхилень від багаторічних показників знаходились у діапазоні від -0,01 до 0,24, що згідно з градацією свідчить, що умови були близькими до звичайних (рис. 2.5).

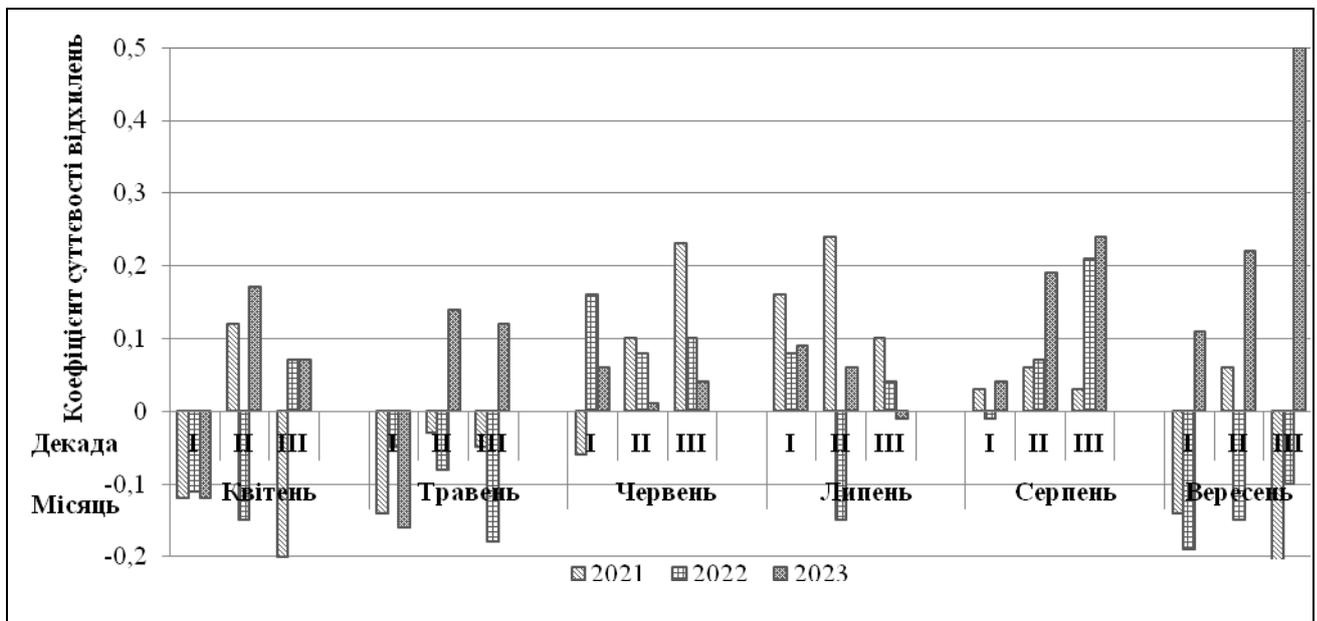


Рис. 2.5. Коефіцієнти суттєвості відхилень середньодобових декадних температур повітря від багаторічних значень показників протягом періоду вегетації сої у 2021–2023 рр.

Від’ємні значення коефіцієнтів, які свідчать про зниження температури повітря, порівняно з багаторічними показниками, відмічали у 21 показника із представлених 54 значень.

У 2021 р. із 18 декад коефіцієнти суттєвості відхилень були від’ємними у 8 випадках, у 2022 р. – у 10, і в 2023 р. – у 3. Решта значень знаходилась у межах норми, або перевищувала її, що свідчить про кліматичні зміни, а точніше потепління в зоні проведення досліджень.

Аналізуючи коефіцієнти суттєвості відхилень показників кількості опадів протягом періодів вегетації сої від багаторічних значень, відмічали іншу закономірність (рис. 2.6).

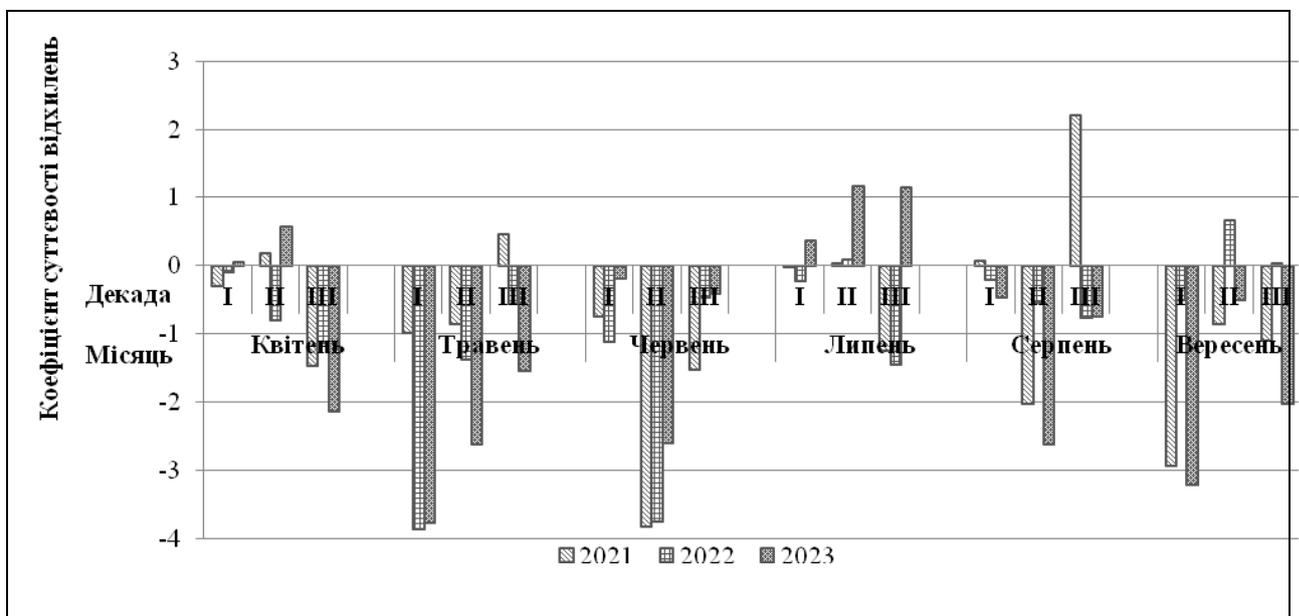


Рис. 2.6. Коефіцієнти суттєвості відхилень кількості опадів від багаторічних значень показників протягом періоду вегетації сої у 2021–2023 рр.

Коефіцієнти знаходились у діапазоні від $-3,88$ до $1,17$. Із 54 розрахованих коефіцієнтів 29 свідчать, що умови були близькі до звичайних, 12 – що умови суттєво відрізнялися від середніх багаторічних значень і 13 – що умови були наближені до рідких. У 2021 р. і 2023 р. із 18 розрахованих

коефіцієнтів від'ємні значення мали 13, у 2022 р. – 15, що свідчить про кількість опадів, нижчу за багаторічні показники.

2.3. Програма і методи проведення досліджень

Для виконання поставлених завдань використовували польовий дослід, який доповнювали лабораторними аналізами за загальноприйнятими методиками в землеробстві, рослинництві та агрохімії.

Для вивчення впливу різних варіантів удобрення, передпосівного оброблення насіння біологічним препаратом Мікофренд та фунгіцидом Вайбранс, а також підживлення рослин у критичні фази органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у технології вирощування сої було закладено польовий дослід із дотриманням відповідних рекомендацій [57, 60]. Розмір ділянки: ширина – 11,7 м, довжина – 6 м. Посівна площа ділянки 70 м², облікова площа – 50 м². Розміщення варіантів дослідів і повторень – систематичне, повторення чотириразове. Загальний вигляд дослідної ділянки посівів сої наведено на рис. 2.7.



Рис. 2.7. Загальний вигляд дослідної ділянки посівів сої, 2023 р.

Висівали середньоранній сорт сої Муза звичайним рядковим способом, ширина міжряддя – 15 см, норма висіву – 750 тис. шт./га. Попередник (в усі роки досліджень) – просо. Технологія вирощування сої – відповідно до зональних рекомендацій і загальноприйнятих методик.

Характеристика сорту сої Муза. Оригінатор – ННЦ «Інститут землеробства НААН». Сорт занесено до «Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні» у 2015 р. (Додаток А.1). Сорт Муза має кормовий, харчовий та промисловий напрями використання. Він є доволі стійким до найбільш поширених у регіоні вирощування хвороб, є стійким до вилягання (8,9 балів). Потенційна врожайність сорту становить 5 т/га, вміст олії – 21%, вміст білка – 41–42%. Період вегетації в умовах Київської області, де саме і проводили дослідження, триває 100–102 доби. Середня висота рослини 85–90 см, а заявлена висота прикріплення нижніх бобів – 12,5 см. Насіння має овальну форму, жовте з коричневим рубчиком. Маса 1000 насінин – 235–245 г. Сорт сої Муза рекомендований до вирощування в зоні Лісостепу та Поліссі, завдяки скоростиглості, може виступати попередником для озимих зернових культур.

У польових дослідах досліджували особливості росту і розвитку рослин сої та формування продуктивності залежно від удобрення, передпосівного оброблення насіння біопрепаратом і фунгіцидом та підживленням рослин органо-мінеральним добривом. Схему польового дослідження наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Схема польового дослідження

Удобрення	Оброблення насіння і посівів	
	Оброблення насіння	(Мікофренд® + Вайбранс RFC, ТН) + позакореневе підживлення добривом Хелпрост Соя (2 л/га) фазі:
- Без добрив (контроль); - P ₄₅ K ₆₀ ; - N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀ ; - N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	- оброблення водою (контроль);	-
	- Мікофренд® (1 л/т);	-
	- Мікофренд® (1 л/т) + Вайбранс RFC, ТН (1 л/т)	- гілкування (ВВСН 21–29); - бутонізація (ВВСН 51–59); - цвітіння (ВВСН 60–69).

Фосфорні та калійні мінеральні добрива, які передбачені схемою досліду, вносили восени під зяблеву оранку з дотриманням запланованих норм внесення, азотні – під передпосівну культивуацію.

Позакореневе підживлення рослин сої проводили органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя (2 л/га) у критичні для росту і розвитку культури фази гілкування (ВВСН 21–29), бутонізації (ВВСН 51–59) та цвітіння (ВВСН 60–69). Добриво розроблене для сої з урахуванням потреб культури, містить необхідні їй в процесі росту макроелементи (Р – 2,9%, К – 3,5%), мезоелементи (S – 1,2%, Mg – 0,8%) та мікроелементи (Fe – 0,12%, Co – 0,01%, Mn – 0,2%, Mo – 0,03%), а також біологічно активні речовини (вітаміни – 0,02%, амінокислоти – 1,0%, пептиди – 0,5%, полісахариди – 0,05%).

Передпосівне оброблення насіння препаратами Вайбранс RFC, ТН проводили заздалегідь за 10–15 діб, Мікофренд® – у день сівби згідно з рекомендаціями виробників до застосування препаратів. Мікоризоутворювач Мікофренд® використовували з розрахунку 1 л на тонну насіння.

Мікофренд – це мікоризоутворюючий біопрепарат, створений на основі мікоризоутворюючих грибів *Glomus VS* та *Trichoderma harzianum*. Для активного утворення мікоризи препарат містить мікроорганізми: *Streptomyces* sp., *Pseudomonas fluorescens* та фосфатмобілізуючі бактерії: *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus muciloginosus*, *Enterobacter* sp. Загальне число життєздатних клітин $(1,0–1,5) \times 10^8$ КУО/мл. Біопрепарат містить також біологічно активні речовини: фітогормони, вітаміни, фунгіцидні речовини та амінокислоти. Забезпечує заселення кореневої та прикореневої зони мікоризними грибами та сапрофітними ризосферними бактеріями. Симбіоз гриба і кореня розвиває та збільшує кореневу систему, дає можливість забезпечити рослину додатковою вологою та елементами живлення. Препарат забезпечує функцію вироблення природних антибіотиків заселеними грибами та бактеріями, та пригнічення розвитку збудників хвороб.

Протруйник Вайбранс RFC, ТН (д.р. Флудиоксоніл, 25 г/л + Металаксила-М, 37,5 г/л + Седаксан, 50 г/л) застосовували із розрахунку 1 л/т насіння. Його особливістю є можливість одночасного застосування з біологічними препаратами.

Для боротьби з бур'янами на посівах сої застосовували ґрунтовий гербіцид Харнес (2,0 л/га) та страховий Базагран (2,5 л/га).

У польових умовах проводили:

- фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин сої за Ф.М. Куперман [89];

- облік густоти рослин у фазі повних сходів (ВВСН 10–11) і повної стиглості (ВВСН 90–99) на закріплених ділянках площею 1 м² у несуміжних повтореннях згідно з методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур [101].

У лабораторних умовах визначали:

- наростання вегетативної маси рослин і накопичення сухої речовини – в динаміці за визначеними стадіями розвитку у двох пробах із несуміжних повторень [101];

- площу листової поверхні у динаміці за стадіями росту та розвитку – методом «висічок» за А.А. Ничипоровичем [112];

- фотосинтетичний потенціал посіву та чисту продуктивність фотосинтезу – за А.А. Ничипоровичем [113];

- кількість та масу сирих бульбочок, у т.ч. активних – за методикою Г.С. Посипанова [129, 130];

- аналіз структури врожаю – за методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур [101];

- масу 1000 насінин – відповідно до ДСТУ 4138-2002;

- показники якості зерна – методом інфрачервоної спектроскопії на інфрачервоному аналізаторі NIR 4250 System 4500 з комп'ютерним забезпеченням ADI DM 3114, відповідно до ДСТУ 4117:2007.

Інтенсивність накопичення протеїну, а також олії, суми протеїну та олії визначали за методикою, запропонованою Л.Н. Кобизевою, С.І. Святченком, О.В. Тертишним [79], та розраховували за формулою:

$$\text{ІУБ} = (Y \times B) / T, \quad (2.1)$$

де

ІУБ – інтенсивність накопичення протеїну за добу вегетації, кг/га за добу;

Y – врожайність сої, кг/га;

B – вміст протеїну в насінні сої, %;

T – тривалість періоду вегетації, діб.

Відбір снопового матеріалу із закріплених весною ділянок площею 1 м² проводили у несуміжних повтореннях за одну-дві доби до збирання врожаю згідно з методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур [101]. Облік урожаю проводили методом поділянкового обмолоту з наступною очисткою зерна і перерахунком на 100% чистоту та 14% вологість.

Загальний симбіотичний потенціал (ЗСП) розраховували за формулою:

$$\text{ЗСП} = (M1 + M2) \times T / 2 \quad (2.2)$$

де

ЗСП – загальний симбіотичний потенціал, тис. кг × діб/га,

M1, M2 – середня маса бульбочок за період часу, кг/га,

T – період між сусідніми строкам визначення, діб.

Активний симбіотичний потенціал (АСП) розраховували за формулою:

$$\text{АСП} = (M1 + M2) \times T / 2 \quad (2.3)$$

де

АСП – активний симбіотичний потенціал, тис. кг × діб/га,

M1, M2 – середня маса бульбочок із леггемоглобіном за період часу, кг/га,

T – період між сусідніми строками визначення, діб.

Кількість біологічно фіксованого азоту визначали як добуток активного симбіотичного потенціалу (АСП) та питомої активності симбіозу, яка для сої в зоні проведення досліджень становить 5,22 г азоту на 1 кг сирих бульбочок за добу [122].

Гідротермічний коефіцієнт Г. Селянинова розраховували за формулою:

$$ГТК = R \times 10 / \sum T_{>10}, \quad (2.4)$$

де R – сумарна кількість опадів за відповідний період, мм;

$\sum T_{>10}$ – сума температур повітря понад 10°C за той самий період, °C.

Науковці вважають, що ГТК < 0,5 характеризує різку нестачу опадів (сильна посуха); 0,6–0,7 – недостатнє зволоження (дуже посушливо); 0,8–0,9 – посушливо (посуха не інтенсивна); 1,0–1,2 – недостатня вологість; 1,3–1,6 – помірна вологість; > 1,7 – надмірна вологість; ГТК \geq 2,0 – надмірне зволоження [88].

Коефіцієнти суттєвості відхилень гідротермічних показників упродовж періоду вегетації сої від середніх багаторічних значень розраховували за формулою:

$$K_c = \frac{(X_i - \bar{X})}{\sigma} \quad (2.5)$$

де K_c – коефіцієнт суттєвості відхилень,

X_i – елемент погоди конкретного року, декади,

\bar{X} – показник середньої багаторічної величини,

σ – середнє квадратичне відхилення.

Вважають, що умови близькі до звичайних, якщо рівень коефіцієнтів суттєвості відхилень відповідає градації $K_c = 0 \div 1$, умови суттєво відрізняються від середніх багаторічних, якщо $K_c = 1 \div 2$, умови наближені до рідких, якщо $K_c > 2$ [29, 70, 91].

Статистичну обробку результатів досліджень проводили методом дисперсійного і кореляційно-регресійного аналізу [57] на персональному

комп'ютері з використанням пакетів прикладних програм типу Excel, Statistica, Sigma.

Використовували методи математичної статистики, зокрема кореляційного аналізу для встановлення тісноти зв'язку між показниками та регресійного аналізу для побудови економіко-математичних моделей прогнозування рівня рентабельності.

Для оцінки тісноти зв'язку в кореляційному аналізі використовували шкалу Чеддока: слабкий – від 0,1 до 0,3; помірний – від 0,3 до 0,5; помітний – від 0,5 до 0,7; високий – від 0,7 до 0,9; вельми високий (сильний) – від 0,9 до 0,99 [141].

Коефіцієнт еластичності [126] розраховували за формулою:

$$\epsilon_i = \alpha_i \frac{X_{i\text{сер}}}{Y_{\text{сер}}} \quad (2.6)$$

де ϵ_i – коефіцієнт еластичності,

α_i – коефіцієнт регресії при i -му факторі;

$X_{i\text{сер}}, Y_{\text{сер}}$ – середнє значення факторної та результативної ознаки.

Розрахунки економічної ефективності елементів технології вирощування сої за сукупними витратами енергії, енергетичною цінністю зерна, коефіцієнтом енергетичної ефективності за допомогою методик В.І. Мацибори і О.К. Медведовського та ін. [97, 98, 99].

РОЗДІЛ 3.

ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ РОСЛИН СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВИРОЩУВАННЯ

Ріст і розвиток рослин є динамічним процесом, що відображає стан рослинного організму за впливу нерегульованих (сонячна радіація, температура, опади тощо) та регульованих (сорт, обробіток ґрунту, система удобрення, ЗЗР, попередники та ін.) чинників. Найвищої продуктивності сільськогосподарських культур, що є основною метою агровиробництва, можна досягти за умов оптимізації їх росту і розвитку на основних етапах формування елементів врожайності [71].

В агрономічних дослідженнях процесам росту і розвитку рослин приділяють значної уваги, оскільки різними агротехнічними заходами можна впливати на перебіг основних фізіолого-біохімічних процесів у рослинах, змінювати їх фотосинтетичний і азотфіксуючий потенціал, що в кінцевому результаті визначає продуктивність та якість урожаю [6, 8, 9, 12, 13, 15, 16, 77, 110, 114, 127]. Тому постійно зберігають актуальність дослідження з вивчення впливу нових технологічних прийомів або різних їх поєднань на особливості росту й розвитку рослин в умовах змін клімату.

3.1. Тривалість міжфазних періодів та вегетації сої в роки досліджень

Результати фенологічних спостережень за ростом і розвитком сої сорту Муза впродовж 2021–2023 рр. показали вплив гідротермічних умов року на проходження фаз росту й розвитку рослин (табл. 3.1–3.3).

Досліджуючи особливості росту і розвитку рослин сої встановлено відмінності як у тривалості фенофаз, так і в цілому періоду вегетації, який у середньому в 2021–2023 рр. був у межах від 107 до 113 діб (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Тривалість міжфазних періодів росту та розвитку сої в роки досліджень,
діб, 2021–2023 рр.**

Рік	Тривалість періоду, діб						
	сівба – сходи	сходи – 1-й трійчастий листок	1-й трійчастий листок – бутонізація	бутонізація – цвітіння	цвітіння – налив бобів	налив бобів – повна стиглість	сходи – повна стиглість
2021	10	15	16	11	16	50	109
2022	11	21	13	13	11	49	107
2023	8	10	19	9	28	46	113
Середнє	9,7	15,3	16,0	11,0	18,3	48,3	109,7

Для отримання дружніх сходів рослини сої потребують відповідного температурного режиму та вологи у ґрунті. У роки досліджень тривалість періоду «сівба – сходи» становила від 8 до 11 діб.

За даними фенологічних спостережень встановлено, що найшвидші дружні сходи вже на 8 добу після посіву були в 2023 р., коли відмічено сприятливий тепловий режим повітря та запаси вологи у ґрунті, накопичені у попередній період (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

**Кількість опадів і температура повітря у міжфазні періоди росту
та розвитку сої**

Гідротермічні показники	Рік		
	2021	2022	2023
<i>l</i>	2	3	4
Сівба – сходи			
Середньодобова температура повітря, °С	16,9	15,8	21,4
Кількість опадів, мм	13,4	1,8	0
Сума середньодобових температур повітря, °С	169,4	173,8	170,9

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
Сходи – 1-й трійчастий листок			
Середньодобова температура повітря, °С	15,4	14,7	15,9
Кількість опадів, мм	40,6	36,7	9,6
Сума середньодобових температур повітря, °С	231,0	309,5	159,0
1-й трійчастий листок – бутонізація			
Середньодобова температура повітря, °С	21,6	21,9	20,1
Кількість опадів, мм	13,4	3,6	21,6
Сума середньодобових температур повітря, °С	345,7	284,3	381,5
Бутонізація – цвітіння			
Середньодобова температура повітря, °С	24,5	19,5	20,4
Кількість опадів, мм	6,6	18,6	19,4
Сума середньодобових температур повітря, °С	269,6	252,9	184,0
Цвітіння – налив бобів			
Середньодобова температура повітря, °С	25,8	21,3	20,5
Кількість опадів, мм	35,8	29,0	117,8
Сума середньодобових температур повітря, °С	412,9	234,1	573,4
Налив бобів – повна стиглість			
Середньодобова температура повітря, °С	19,9	21,4	21,5
Кількість опадів, мм	95,8	15,4	14,0
Сума середньодобових температур повітря, °С	995,0	1049,2	987,0
Сходи – повна стиглість			
Середньодобова температура повітря, °С	20,7	19,9	20,2
Кількість опадів, мм	192,2	104,2	182,4
Сума середньодобових температур повітря, °С	2254,2	2130,0	2284,9

Подовження процесу проростання насіння сої до 11 діб у 2022 р. можна пояснити недостатньою кількістю опадів (1,8 мм) та пониженою на 1,1–5,6°C порівняно з іншими роками середньодобовою температурою повітря (15,8°C).

Період «сходи – 1-ий трійчастий листок» у роки досліджень тривав від 10 до 21 доби залежно від гідротермічних умов цього періоду. Більш швидко появу 1-го трійчастого листка вже на 10-ту добу спостерігали також у 2023 р., що відповідно на 5 і 11 діб було раніше, ніж у 2021 р. і 2022 р. відповідно. Швидке проходження цієї фази у 2023 р. пояснюється низькою кількістю опадів в цей період (9,6 мм) та меншою сумою середньодобових температур повітря (159,0°C) порівняно з іншими роками.

На подальших етапах розвитку рослин сої виявляли зменшення різниці у тривалості міжфазних періодів розвитку. Так, у 2022 р. період «1-й трійчастий – бутонізація» був найкоротшим і становив 13 діб, а різниця з 2021 р. і 2023 р. становила 3 і 6 діб відповідно. У цей період 2022 р. рослини сої потерпали від нестачі вологи, оскільки випало лише 3,6 мм опадів, а сума середньодобових температур була на рівні 284,3°C, що на 61,4°C і 97,2°C менше, ніж у 2021 р. і 2023 р. відповідно. Натомість надмірна кількість опадів (21,6 мм) та теплові ресурси (381,5°C) у 2023 р. сприяли подовженню розвитку сої у період «1-й трійчастий – бутонізація», який становив 19 діб.

Найдовший період «бутонізація – цвітіння» тривав 13 діб у 2022 р., а найкоротший 9 діб – у 2023 р. Характерним для цього періоду 2022 р. і 2023 р. було надмірне випадіння опадів (18,6 мм і 19,4 мм відповідно) та високі середньодобові температури повітря (19,5°C і 20,4°C). Однак для 2023 р. було визначальним значно менша сума середньодобових температур повітря порівняно з 2021 р. і 2022 р. (на 85,6°C і 68,9°C відповідно).

Контрастні погодні умови періоду «цвітіння – наливу бобів» визначили значну розбіжність тривалості фази від 11 до 28 діб. В умовах 2023 р. за надмірного випадіння опадів (117,8 мм) та значних теплових ресурсів (573,4°C), які перевищували в середньому в 3,3–4,1 раза та 1,4–2,4 раза відповідно в інші роки, відбувалось подовження процесу цвітіння та наливу

бобів сої, яке тривало 28 діб. Тоді як у 2021 р. цей період тривав 16 діб, а в 2022 р. – лише 11 діб, що було спричинено недостатньою кількістю вологи та тепловими ресурсами цього періоду.

Наприкінці вегетації сої період «налив бобів – повна стиглість» тривав від 46 до 50 діб. Визначальним фактором подовження цього періоду до 50 діб у 2021 р. було надмірне випадіння опадів (95,8 мм) та середньодобова температура повітря на рівні 19,9°C, що на 0,5–0,6°C нижче, ніж у 2022 р. і 2023 р. Скорочення періоду «налив бобів – повна стиглість» до 49 і 46 діб було спричинено в першу чергу дефіцитом вологи, оскільки в цей період випало відповідно 15,4 мм і 14,0 мм опадів у 2022 р. і 2023 р.

Отже, результати досліджень показали, що тривалість періоду вегетації сої змінювалася за роками досліджень і становила 107–113 діб. Дефіцит опадів (104,2 мм) та нестача тепла (2130,0°C) у 2022 р. спричинили скорочення періоду вегетації сої на 6 діб, який був найкоротшим і становив 107 діб. Тоді як в умовах достатньої кількості опадів (182,4 мм) та теплових ресурсів (2284,9°C) у 2023 р. відбувалось подовження розвитку рослин і період вегетації сої становив 113 діб.

За використання кореляційного аналізу було визначено залежності між гідротермічними параметрами та тривалістю міжфазних періодів сої. Встановлено тісну обернену залежність тривалості міжфазних періодів рослин сої з середньодобовою температурою повітря, яка особливо сильний зв'язок мала на початку вегетації у періоди «сівба – сходи», «сходи – 1-й трійчастий листок», «1-й трійчастий листок – бутонізація» (r -0,989, -0,999, -0,933 відповідно), а також середню обернену залежність у період «налив бобів – повна стиглість» ($r = -0,732$). У періоди «бутонізація – цвітіння» і «цвітіння – налив бобів» середньодобова температура повітря не мала суттєвого впливу на тривалість міжфазних періодів, оскільки за значенням коефіцієнта кореляції (r -0,169, -0,365) зв'язок за силою впливу був слабкий та середній (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Коефіцієнти парного кореляційного зв'язку тривалості міжфазних періодів сої із гідротермічними чинниками

Міжфазний період	Середньодобова температура повітря, °С		Сума опадів, мм		Сума середньодобових температур повітря, °С	
	<i>r</i>	D, %	<i>r</i>	D, %	<i>r</i>	D, %
Сівба – сходи	-0,989	97,9	0,309	9,6	0,493	24,3
Сходи – 1-й трійчастий листок	-0,999	99,8	0,770	59,3	0,999	99,8
1-й трійчастий листок – бутонізація	-0,933	87,1	0,999	99,7	0,989	97,7
Бутонізація – цвітіння	-0,169	2,9	-0,056	0,3	0,759	57,6
Цвітіння – налив бобів	-0,365	13,3	0,976	95,2	0,965	93,2
Налив бобів – повна стиглість	-0,732	53,7	0,704	49,6	0,389	15,1

З показником суми середньодобових температур повітря, навпаки, виявлено тісну пряму залежність із тривалістю міжфазних періодів від сходів до наливу бобів і за силою впливу зв'язок був сильний, оскільки коефіцієнт кореляції наближався до 1 ($r = 0,759-0,999$). Лише на самому початку і кінці вегетації сила впливу фактора суми середньодобових температур повітря на тривалість міжфазних періодів «сівба – сходи» і «налив бобів – повна стиглість» мала середній зв'язок (r 0,493 і 0,389 відповідно).

Між сумою опадів і тривалістю міжфазних періодів встановлено тісну пряму залежність у періоди «1-й трійчастий листок – бутонізація» ($r = 0,999$) і «цвітіння – налив бобів» ($r = 0,976$), середній зв'язок у періоди «сходи – 1-й трійчастий листок» ($r = 0,770$) і «налив бобів – повна стиглість» ($r = 0,704$). В інші міжфазні періоди кореляційні зв'язки мали меншу силу зв'язку ($r < 0,33$) і були несуттєвими.

Аналіз сили досліджуваних факторів у досліді показав, що за фактором середньодобова температура повітря найбільший вплив (87–99%) був на тривалість міжфазних періодів – від сівби насіння і сходів до бутонізації

(див. табл. 3.3). Аналогічно фактор суми середньодобових температур повітря також мав найбільшу силу впливу на тривалість періодів від сходів до наливу бобів (58–99%). Натомість фактор суми опадів найбільший вплив (95–99%) виявляв на перебіг міжфазних періодів «1-й трійчастий листок – бутонізація» і «цвітіння – налив бобів».

3.2. Висота рослин сої

Під час оцінювання різних технологічних прийомів вирощування сільськогосподарських культур обов'язковим є аналіз процесів росту й розвитку рослин. Висота рослин – є важливим показником у формуванні вертикальної структури агроценозу сої, який визначає його повітряний та світловий режими. Своєю чергою, закладання генеративних органів і рівень продуктивності значною мірою залежить від висоти рослин сої [140]. За характером зміни цього показника впродовж періоду вегетації культури можливо визначити, наскільки сприятливими були умови навколишнього природного середовища для рослин та визначити реакцію рослин на агрозаходи, що застосовувались [59].

Як свідчить аналіз показників висоти рослин сої в динаміці, досліджувані агрозаходи мали істотний вплив на їх формування (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Висота рослин сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., см

Удобрєння	Фаза розвитку рослин	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:			V, %
		Оброблення водою (контроль)	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізації	цвітіння	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Без добрив (контроль)	трійчастий листок	17,7	19,5	19,5	19,9	19,3	20,4	4,7
	бутонізація	34,7	36,7	38,0	39,9	38,5	41,1	6,0
	цвітіння	66,4	70,5	72,4	74,0	73,3	80,4	6,3
	налив бобів	104,50	111,9	106,9	115,6	109,9	109,0	3,5

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
P ₄₅ K ₆₀	трійчастий листок	20,4	20,3	19,3	18,6	20,0	19,7	3,4
	бутонізація	38,2	37,4	35,0	38,0	39,3	38,1	3,8
	цвітіння	73,8	74,0	75,0	71,9	74,6	75,5	1,7
	налив бобів	110,9	113,1	104,0	111,1	105,8	111,2	3,3
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	трійчастий листок	20,8	19,9	20,4	20,6	20,3	20,3	1,5
	бутонізація	34,7	36,8	36,0	42,1	39,7	41,4	7,9
	цвітіння	70,0	72,0	70,1	70,8	76,8	74,9	3,9
	налив бобів	94,4	102,8	103,8	101,8	104,6	111,9	5,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	трійчастий листок	20,0	19,5	21,1	20,5	20,8	22,3	4,7
	бутонізація	39,8	39,7	36,5	39,4	38,5	38,6	3,2
	цвітіння	69,9	71,3	70,2	72,1	71,8	73,2	1,7
	налив бобів	105,2	98,9	106,4	101,4	108,1	112,3	4,5
V, %	трійчастий листок	7,0	1,9	4,2	4,6	3,1	5,4	-
	бутонізація	7,0	3,7	3,4	4,3	1,5	4,2	-
	цвітіння	4,3	2,1	3,2	1,8	2,9	4,1	-
	налив бобів	6,6	6,5	1,5	6,5	2,2	1,3	-

На початкових етапах росту і розвитку рослин, у фазі першого трійчастого листка (ВВСН 12), висота рослин сої сорту Муза знаходилась у межах від 17,7 см до 22,3 см (рис. 3.1).

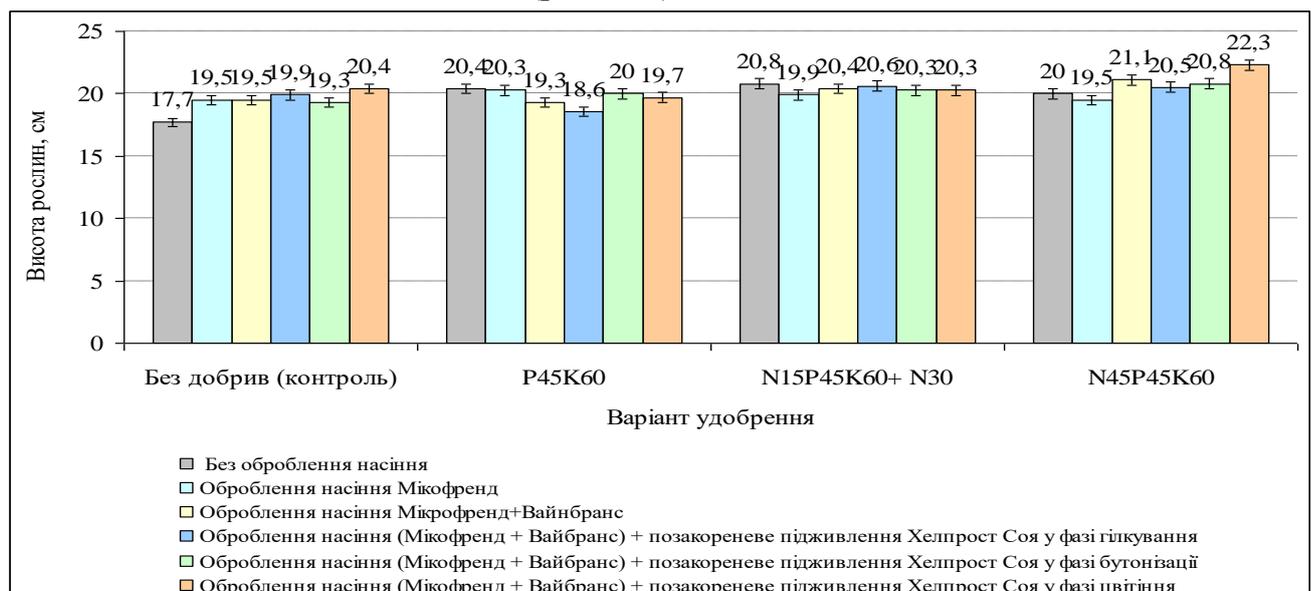


Рис. 3.1. Висота рослин сої у фазі першого трійчастого листка (ВВСН 12) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., см

Внесені мінеральні добрива сприяли зростанню показника на 0,3–1,3 см, або на 1,6–6,7% за його середнього значення у варіантах без добрив 19,4 см (17,7–20,4 см). Передпосівне оброблення насіння сприяло зростанню показника на 0,1–0,4 см, або 0,5–2,0%, а передпосівне оброблення з наступним проведенням позакореневого підживлення – на 0,2–1,0 см, або 1,0–6,7% за середнього показника у варіанті без оброблення 19,7 см.

Варто відмітити позитивний вплив передпосівного оброблення насіння біопрепаратом у варіанті без унесення добрив. Виявлено, що передпосівна обробка насіння сої мікоризоутворюючим препаратом як окремо, так і у поєднанні із протруювачем мала стимулювальний ефект і зумовила збільшення висоти рослин до 19,5 см, що перевищило абсолютний контроль на 1,8 см, або на 10,2%. Подібне позитивне явище передпосівної інокуляції насіння на рослини було показано в досліді В.Ф. Петриченка з колегами [121].

У фазі бутонізації (ВВСН 51–59) висота рослин у досліді зростала до 34,7–42,1 см (рис. 3.2).

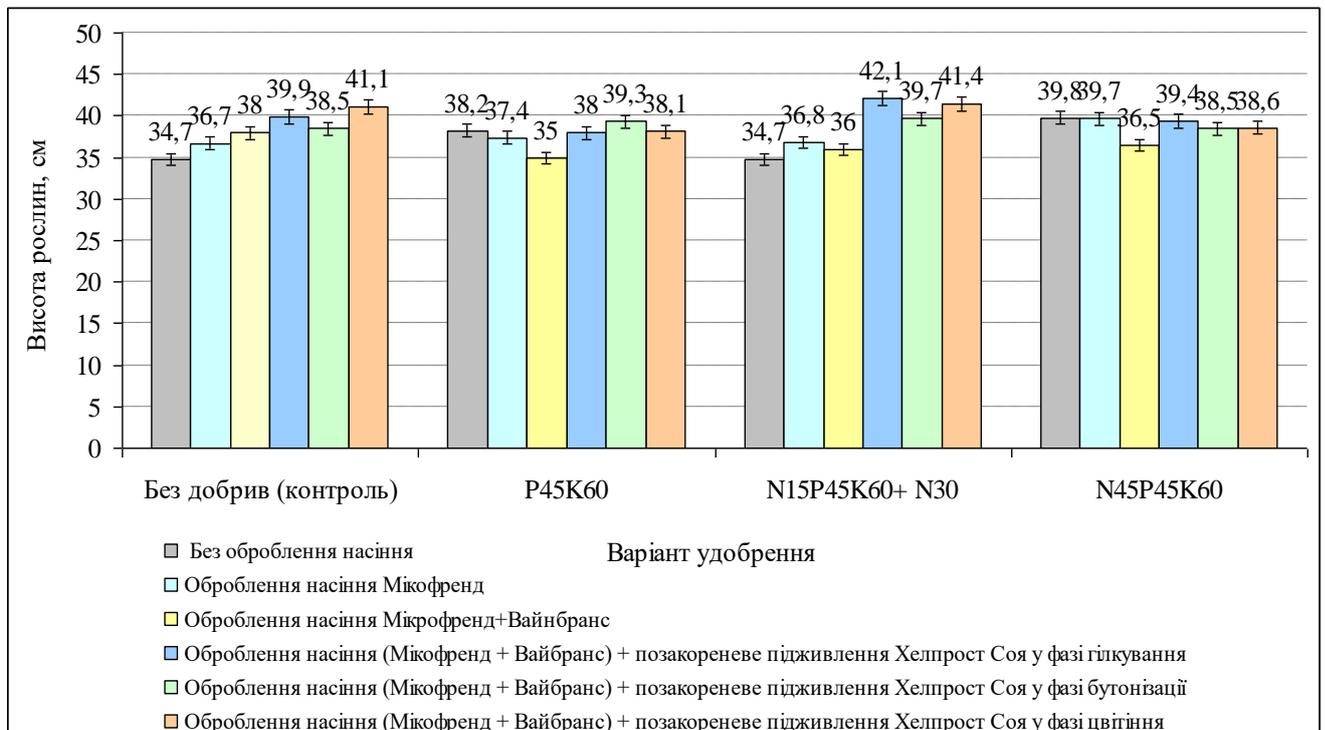


Рис. 3.2. Висота рослин сої у фазі бутонізації (ВВСН 51–59) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., см

Внесені мінеральні добрива сприяли зростанню рівня показника лише на 0,3–0,6 см, або 0,8–1,6% за рівня у варіантах без добрив 38,2 см.

У варіантах досліді із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом зростання висоти рослин становило 1,0 см, або 2,7% за середнього показника у контрольних варіантах 36,7 см.

Поєднання оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом із протруйником, а потім проведення позакореневого підживлення рослин сприяло збільшенню лінійних розмірів сої на 2,3–3,2 см, або на 6,3–8,7% порівняно з рівнем показника у контролі. За міжфазний період «перший трійчастий листок – бутонізація» висота рослин збільшилась у середньому у досліді на 18,2 см, або у 1,9 раза порівняно з показниками у фазі гілкування.

Найінтенсивніший ріст рослин відмічали у період від бутонізації до цвітіння. Висота рослин сої за цей період у середньому у досліді зростала в 3,6 раза, порівняно з фазою першого трійчастого листка, і знаходилась у межах від 66,4 до 80,4 см (рис. 3.3).

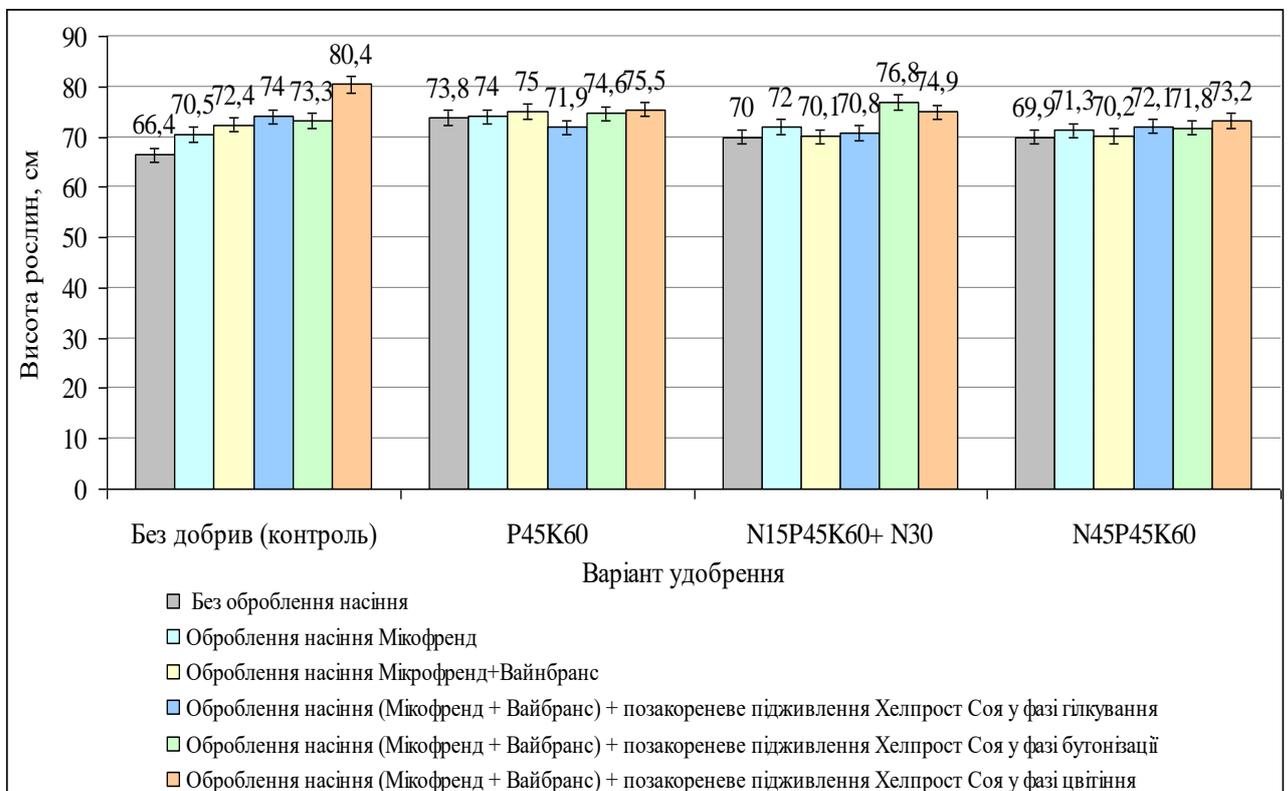


Рис. 3.3. Висота рослин сої у фазі цвітіння (BBCH 60–69) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., см

Застосування мінеральних добрив сприяло зростанню рівня показника на 0,7–1,3 см, або на 1,8% за середнього показника у варіантах без добрив 72,8 см.

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом, а також його поєднання з протруйником сприяли зростанню висоти рослин на 1,9–2,0 см, або на 2,7–2,9% за показника у варіантах без оброблення 70,0 см. У варіантах із передпосівним обробленням насіння препаратами Мікофренд + Вайбранс та проведенням позакореневого підживлення фіксували зростання рівня показника на 2,2–6,0 см, або 3,1–8,6%, порівняно з варіантом без оброблення.

У фазі наливу бобів (ВВСН 89) висота рослин сої зростала у 5,3 раза, порівняно з фазою першого трійчастого листка, і становила 94,4–115,6 см (рис. 3.4). Внесення мінеральних добрив не сприяло збільшенню висоти рослин у цей період росту та розвитку рослин сої. Це можливо пояснити інтенсивнішим генеративним розвитком рослин, порівняно з варіантом, що не передбачав застосування мінеральних добрив.

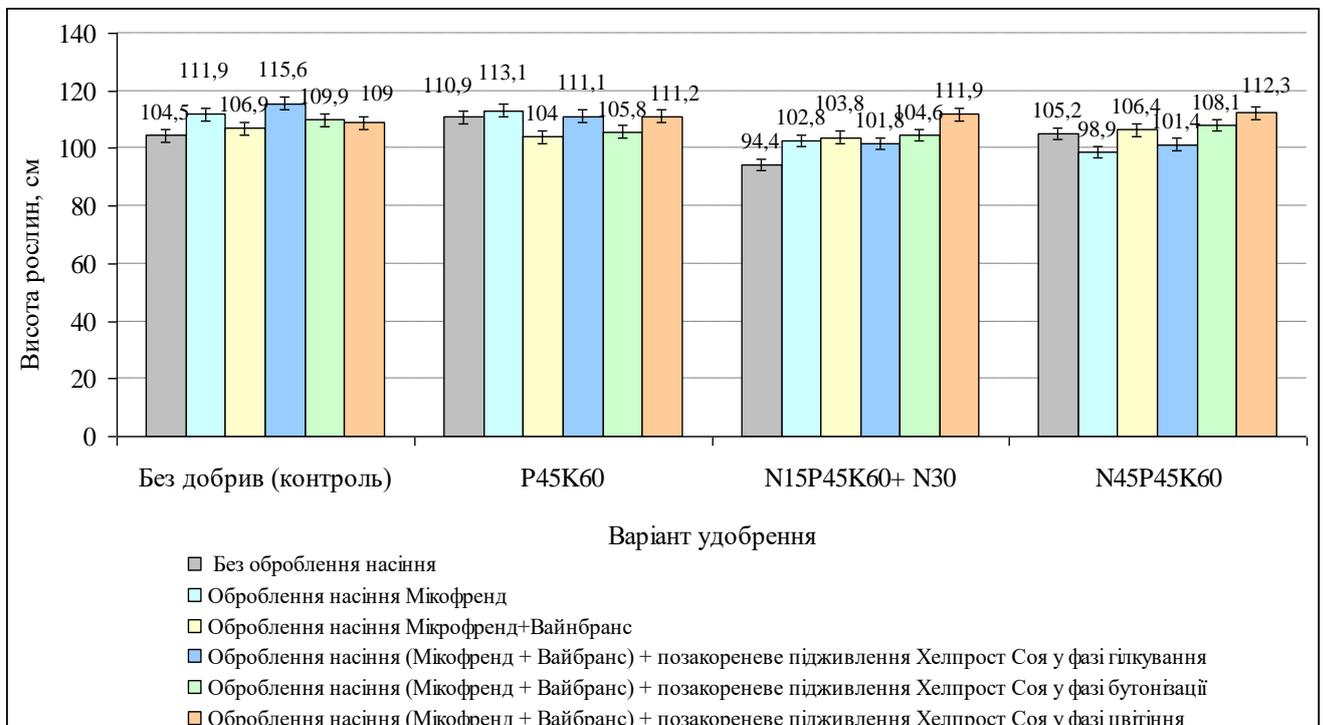


Рис. 3.4. Висота рослин сої у фазі наливу бобів (ВВСН 89) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., см

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом та протруювачем сприяли зростанню висоти рослин на 1,2 см, або на 1,1% за середнього показника у варіантах без оброблення насіння 105,2 см. Позакореневе підживлення рослин добривом Хелпрост Соя у варіантах, що передбачали сівбу насінням, обробленим мікоризоутворюючим препаратом і протруйником, до фази утворення бобів сприяло інтенсифікації ростових процесів, що відобразилось у зростанні висоти рослин на 3,7–7,3 см, або на 3,6–7,0% порівняно з контролем. У вказаний період максимальну висоту рослин 115,6 см (за показника на абсолютному контролі 104,5 см) відмічали у варіантах без застосування мінеральних добрив, але проведення позакореневого підживлення органо-мінеральним мікродобривом на початкових фазах росту і розвитку сої, що може свідчити про незбалансованість живлення рослин, переважання вегетативного розвитку над генеративним.

Як свідчать коефіцієнти варіації, вплив проведених агрозаходів на рівень показника висоти рослин сої був незначним, проте найвищі його значення ($V=3,5-6,3\%$ та $V=4,3-7,0\%$) відмічали у варіантах, де не вносили мінеральні добрива і не застосовували передпосівну обробку насіння біопрепаратами відповідно. У варіантах досліджу, що передбачали внесення мінеральних добрив, оброблення насіння та позакореневе підживлення рослин, складались сприятливішими умови для росту та розвитку рослин, зменшувався вплив біотичних й абіотичних чинників.

3.3. Динаміка наростання надземної маси рослин сої та маси коренів

Вегетативна маса рослин є основним компонентом агроценозів, від якої залежить фотосинтетичний потенціал посівів, поглинання та використання сонячної енергії, накопичення органічної речовини та продуктивність рослин. Дослідники зазначають, що показники надземної маси певною мірою характеризують вплив на рослини агротехнічних та екологічних чинників [1, 6, 29, 48, 56, 63]. Тому дослідження динаміки накопичення вегетативної маси

рослин сої дає змогу визначити вплив досліджуваних агрозаходів із метою підвищення її продуктивності.

Вивчення динаміки наростання надземної маси рослин сої показало, що її накопичення відбувалося поступово і досягало максимуму у фазі наливу бобів (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Надземна маса рослин сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

Удобрення	Фаза розвитку рослин	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:		
		оброблення водою (контроль)	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізація	цвітіння
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок	3,7	4,0	4,2	4,2	4,3	4,2
	бутонізація	11,2	12,0	14,6	15,1	15,4	15,3
	цвітіння	32,1	43,7	43,1	47,3	54,0	54,1
	налив бобів	94,3	101,9	102,3	104,1	103,2	105,2
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	4,1	4,2	4,4	4,3	4,5	4,6
	бутонізація	12,4	14,8	15,0	18,3	18,3	17,1
	цвітіння	42,8	43,3	45,4	49,4	55,0	54,0
	налив бобів	107,9	104,5	103,3	108,7	111,8	111,6
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок	4,7	4,8	4,9	5,0	4,9	5,3
	бутонізація	14,6	15,9	15,7	18,6	19,0	17,7
	цвітіння	45,7	44,3	50,0	57,7	62,7	60,7
	налив бобів	112,4	112,0	108,0	113,8	113,4	115,0
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	4,9	4,9	4,9	4,7	5,0	5,6
	бутонізація	16,1	16,8	16,4	18,4	19,0	19,1
	цвітіння	44,5	46,8	50,7	58,1	62,9	66,0
	налив бобів	112,0	112,5	111,2	114,3	116,4	118,0
V, %	1-й трійчастий листок	12,7	9,9	7,7	8,1	7,1	13,0
	бутонізація	16,2	14,0	5,1	9,5	9,6	9,1
	цвітіння	15,1	3,5	7,7	10,5	8,2	9,9
	налив бобів	8,0	5,0	3,9	4,4	5,1	4,9

У фазі повної стиглості її маса знижувалась, що пояснюється опаданням листя та витратами вуглеводів на дихання. На формування надземної маси рослин сої впливали всі досліджувані елементи технології: удобрення, обробка насіння біопрепаратами та позакореневе підживлення рослин, а також погодні умови року. Проте їх вплив на рослини був різним.

Встановлено, що у фазі першого трійчастого листка (ВВСН 12) мінеральне удобрення мало значний вплив на формування надземної маси рослин сої. Так, на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ надземна маса рослин сої зростає до 4,1 г, що було більше за абсолютний контроль на 0,4 г, або на 11%. У варіанті удобрення $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ фіксували зростання надземної маси рослин до 4,7 г (на 1,0 г, або на 27%), а за системи удобрення, яка передбачала внесення мінеральних добрив у дозі $N_{45}P_{45}K_{60}$ – маса рослин зростає до 4,9 г (на 1,2 г, або на 32%) (рис. 3.5).

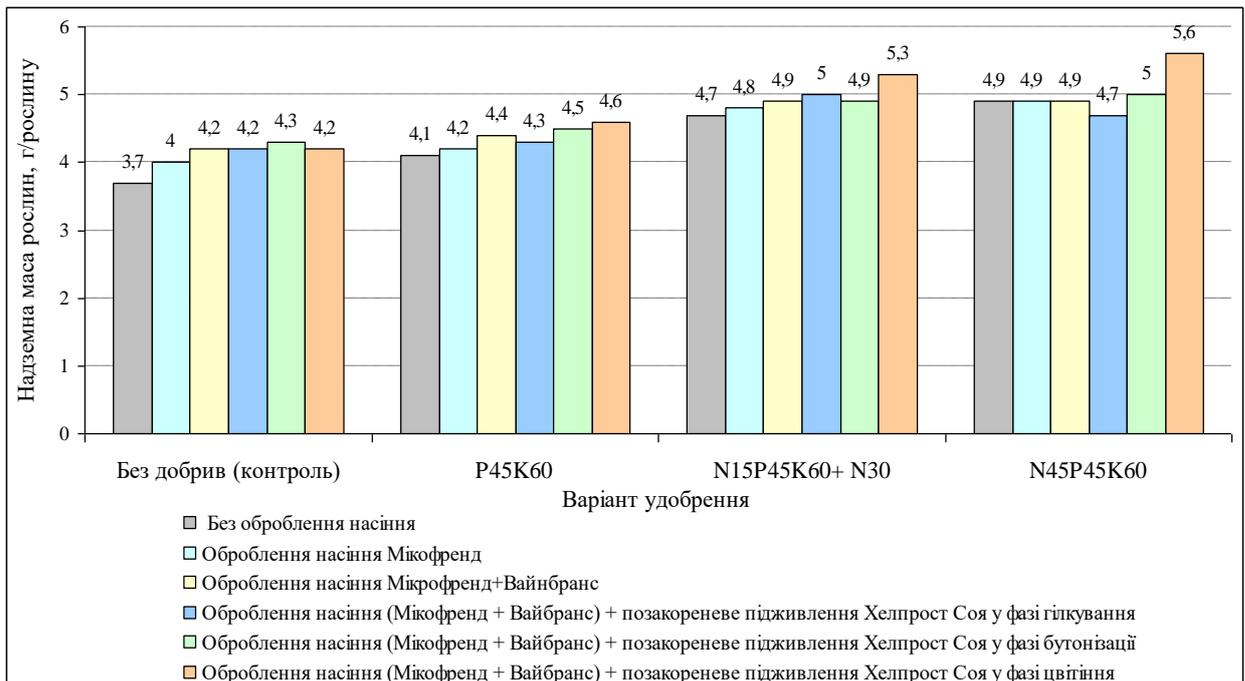


Рис. 3.5. Надземна маса рослин сої у фазі першого трійчастого листка (ВВСН 12) залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

У варіантах досліду з передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом та за поєднання з хімічним протруювачем найбільше наростання надземної маси рослин фіксували у контролі (без добрив) – на 0,3 г і 0,5 г, що становило 8,1% і 13,5% відповідно. Також позитивний вплив від цього агрозаходу спостерігали у варіантах із внесенням мінеральних добрив $P_{45}K_{60}$ і $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ – надземна маса рослин сої зросла на 0,1 г і 0,2–0,3 г відповідно. Натомість у варіанті досліду із внесенням $N_{45}P_{45}K_{60}$ надземна маса рослин сої у фазі першого трійчастого листка за застосування передпосівного оброблення насіння як окремо мікоризоутворюючим препаратом, так і за поєднання з протруювачем не змінювалась і становила 4,9 г.

Позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування у варіанті без добрив мало найбільший стимулюючий ефект на формування надземної маси рослин сої, що становило 0,5 г (або на 13,5%) порівняно з абсолютним контролем. У варіанті з внесенням $P_{45}K_{60}$ надземна маса рослин сої зросла на 0,2 г (або на 4,9%), із внесенням $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ – на 0,3 г (або на 6,4%).

У фазі бутонізації (ВВСН 51–59) позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя також показало високу ефективність у контролі (без удобрення) на формування надземної маси рослин сої у фазі першого трійчастого листка, яка становила 4,3 г і була вища за контроль на 0,6 г, або 16,2%. У варіантах досліду із мінеральним удобренням $P_{45}K_{60}$ позакореневе підживлення рослин у фазі бутонізації сприяло зростанню надземної маси рослин сої на 0,4 г, або на 9,8%, $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ – на 0,2 г, або на 4,2%, $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 0,1 г, або на 2,0% (рис. 3.6).

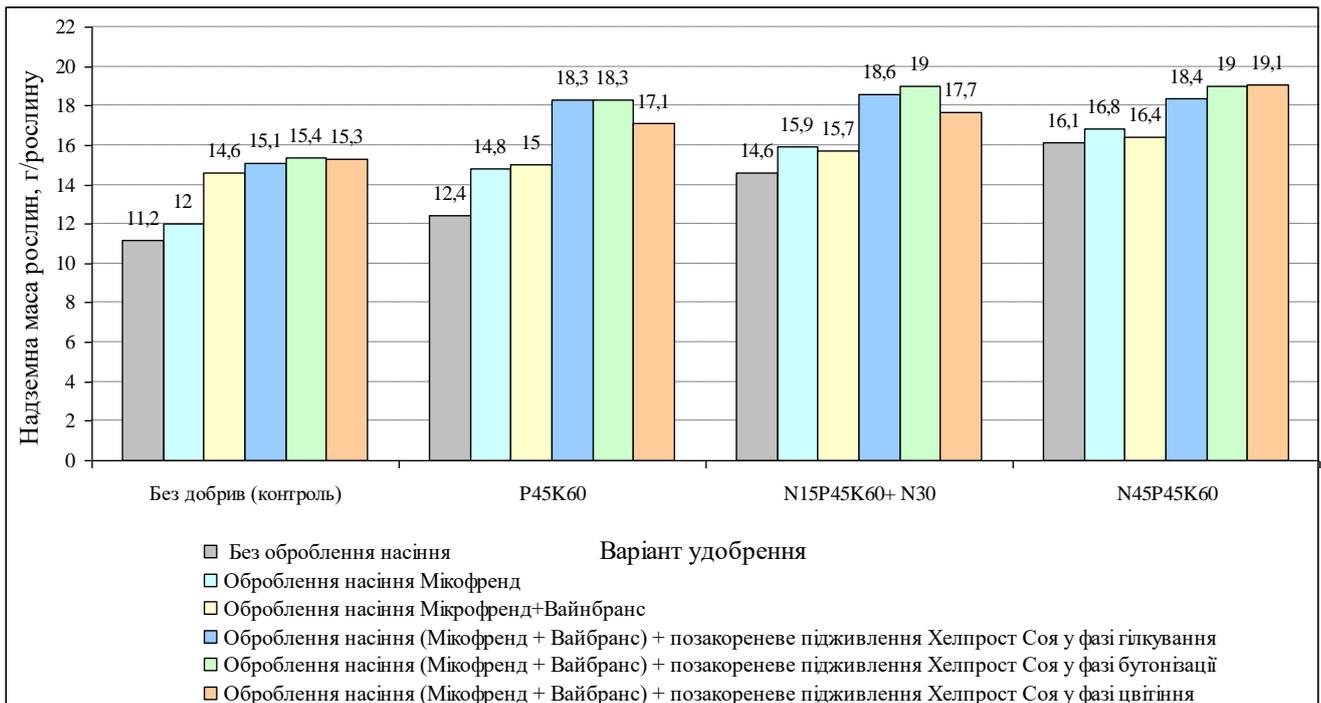


Рис. 3.6. Надземна маса рослин сої у фазі бутонізації (BBCH 51–59) залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

Найбільш ефективним позакореневе підживлення рослин органічно-мінеральним добривом Хелпрост Соя виявилось у фазі цвітіння, що сприяло зростанню надземної маси рослин сої у варіантах із мінеральною системою удобрення: $P_{45}K_{60}$ – на 0,5 г (або на 12,2%), $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – на 0,6 (або на 12,8%), $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 0,7 г (або на 14,3%).

Рослини сої на дослідних ділянках у фазі бутонізації формували надземну масу на рівні 11,2–19,1 г. За міжфазний період «перший трійчастий листок – бутонізація» надземна маса рослин у варіанті абсолютного контролю зростає в 3,0 рази, у варіанті із удобренням $N_{45}P_{45}K_{60}$ та передпосівного оброблення насіння мікоризоутворювачем у поєднанні з протруйником, а також позакореневим підживленням органічно-мінеральним добривом у фазу цвітіння – в 3,4 рази. На фоні мінерального удобрення найбільша надземна маса рослин 16,1 г формувалась у варіанті $N_{45}P_{45}K_{60}$, що було більше за абсолютний контроль на 43,8%. За системи удобрення

$N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ рослини сої у фазі бутонізації формували надземну масу на рівні 14,6 г, що було на 3,4 г (або на 30,4%) більше за контроль. За внесення $P_{45}K_{60}$ надземна маса рослин сої становила 12,4 г, що було на 1,2 г (або на 10,7%) більше за контроль.

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом забезпечило збільшення формування надземної маси сої у контролі (без добрив) на 7,1%, за внесення комплексу мінеральних добрив ($N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, $N_{45}P_{45}K_{60}$) – на 8,9% і 4,3% відповідно, фосфорно-калійних добрив ($P_{45}K_{60}$) – 19,4%. Аналогічно, передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем у поєднанні з протруйником було більш ефективним щодо впливу на формування надземної маси рослин сої у варіантах досліді без внесення азотних добрив. Так, у контролі (без удобрення) даний агрозахід забезпечив зростання надземної маси рослин сої у фазі бутонізації на 30,4%, у варіанті з внесенням фосфорно-калійних добрив ($P_{45}K_{60}$) – на 20,6%. Тоді як у варіантах із унесенням мінеральних добрив $N_{15}P_{45}K_{60}+ N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ зростання надземної маси рослин сої було на меншому рівні і становило 1,1 г (або 7,5%) і 0,3 г (або 1,9%) відповідно.

Позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя найбільший стимулюючий ефект на формування надземної маси рослин сої у фазі бутонізації мало у варіанті із внесенням фосфорно-калійних добрив ($P_{45}K_{60}$) та у контролі (без добрив). Встановлено, що у варіанті з удобренням $P_{45}K_{60}$ позакореневе підживлення рослин у фазі гілкування і бутонізації сприяло зростанню надземної маси рослин сої на 5,9 г (або на 47,6%), у фазі цвітіння – на 4,7 г (або на 37,9%). У варіанті без добрив позакореневе підживлення рослин у фазі гілкування сприяло зростанню надземної маси рослин сої на 3,9 г (або на 34,8%), підживлення у фазі бутонізації – на 4,2 г (або на 37,5%), підживлення у фазі цвітіння – на 4,1 г (або на 36,6%).

Позакореневе підживлення рослин добривом Хелпрост Соя на фоні внесення комплексного мінерального добрива $N_{45}P_{45}K_{60}$ було менш

ефективним, проте забезпечило зростання надземної маси рослин сої на 2,3 г (або на 14,3%) – за підживлення у фазі гілкування, на 2,9 г (або на 18,0%) – за підживлення у фазі бутонізації, на 3,0 г (або на 18,6%) – за підживлення у фазі цвітіння. Дещо вищі показники наростання надземної маси рослин сої у фазі бутонізації виявлено у варіанті із удобренням $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$: на 4,0 г (або на 27,4%) – за підживлення у фазі гілкування, на 4,4 г (або на 30,1%) – за підживлення у фазі бутонізації, на 3,1 г (або на 21,2%) – за підживлення у фазі цвітіння.

Рослини сої на дослідних ділянках у фазі цвітіння (ВВСН 60–69) формували надземну масу на рівні 32,1–66,0 г (рис. 3.7). Залежно від системи удобрення найбільше наростання надземної маси рослин сої фіксували за внесення $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$. У цьому варіанті досліді надземна маса рослин сої становила 44,3 г, що переважало абсолютний контроль на 13,6 г, або на 42,4%. У варіанті з удобренням $N_{45}P_{45}K_{60}$ надземна маса рослин у фазі цвітіння перевищувала контроль на 12,4 г, або на 38,6%, а з внесенням лише фосфорно-калійних добрив $P_{45}K_{60}$ – на 10,7 г, або на 33,3%.

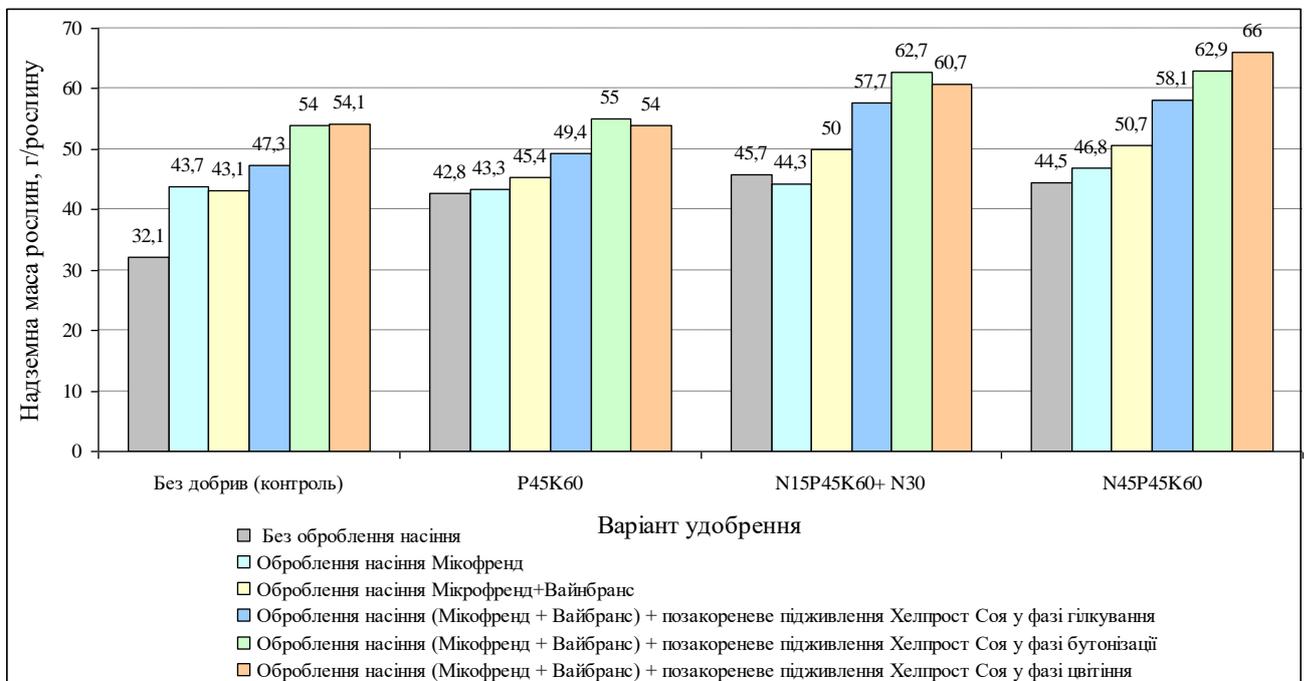


Рис. 3.7. Надземна маса рослин сої у фазі цвітіння (ВВСН 51–59) залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом як окремо, так і в поєднанні з протруювачем, забезпечило збільшення формування надземної маси сої у фазі цвітінні у контролі (без добрив) на 36,1% і 34,3% відповідно, що було значно вище порівняно з варіантами з внесенням лише мінеральних добрив. Для порівняння, зростання надземної маси рослин сої від передпосівного оброблення насіння у варіанті з внесенням фосфорно-калійних добрив ($P_{45}K_{60}$) становило 1,2% і 6,1%, $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 5,2% і 9,4%, $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – 9,4%. Натомість більш ефективним виявилось позакореневе підживлення рослин добривом Хелпрост Соя. Було встановлено, що у контролі (без добрив) позакореневе підживлення рослин стимулювало фізіологічні процеси в рослинах сої і збільшення надземної маси рослин порівняно з абсолютним контролем у фазі гілкування становило 15,2 г (або 47,4%), за підживлення у фазі бутонізації – 21,9 г (або 68,2%), за підживлення у фазі цвітіння – 22,0 г (або 68,5%).

У варіантах із мінеральним удобренням різниця з контролем була меншою. На фоні з внесенням фосфорно-калійних добрив ($P_{45}K_{60}$) збільшення надземної маси рослин сої за позакореневе підживлення рослин добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування становило 6,6 г (або 15,4%), за підживлення у фазі бутонізації – 12,2 г (або 28,52%), за підживлення у фазі цвітіння – 11,2 г (або 26,2%).

Дещо вищі показники отримано у варіантах із удобренням комплексним мінеральним добривом, що становило відповідно для варіанту з $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ збільшення надземної маси рослин на 12,0 г (або 26,3%), 17,0 г (37,2%), 15,0 г (32,8%) відповідно за різних термінів позакореневого підживлення. Аналогічно, для варіанту з удобренням сої $N_{45}P_{45}K_{60}$: збільшення надземної маси рослин становило 13,6 г (або 30,6%), 18,4 г (41,3%), 21,5 г (48,3%).

У фазі наливу бобів (ВВСН 89) за показником надземної маси рослин істотну різницю з контролем фіксували між варіантами удобрення та за позакореневого підживлення рослин добривом Хелпрост Соя (рис. 3.8).

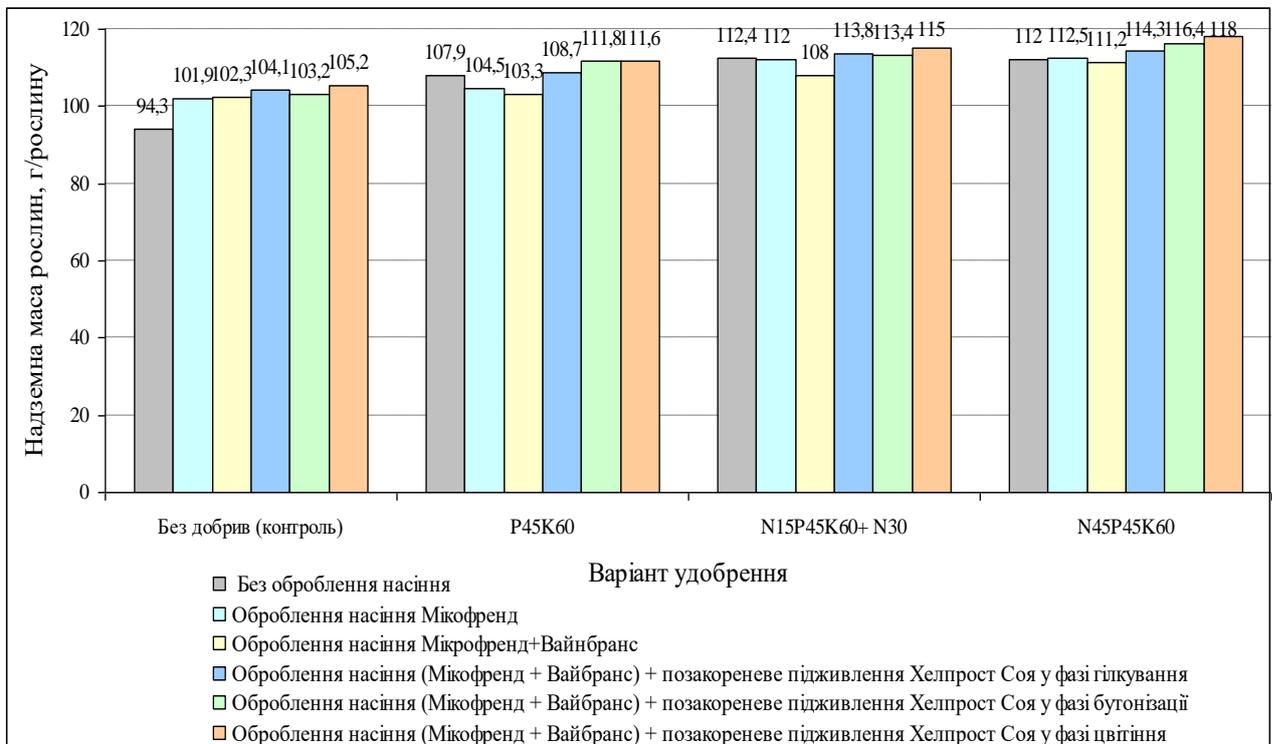


Рис. 3.8. Надземна маса рослин сої у фазі наливу бобів (ВВСН 89) залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

Встановлено, що у фазі наливу бобів рослини сої у варіанті з удобренням $P_{45}K_{60}$ формували надземну масу на рівні 107,9 г, що було на 13,6 г (або на 14,4%) більше за абсолютний контроль (94,3 г). За системи удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$ рослини сої формували надземну масу на рівні 112,0 г, що було на 17,7 г (або на 18,8%) більше за контроль, а за удобрення $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ – різниця з контролем становила 18,1 г (19,2%).

Варто відмітити, що у фазі наливу бобів зберігалась істотна різниця у надземній масі рослин сої за позакореневе підживлення рослин добривом Хелпрост Соя у контролі (без добрив). Так, фіксували збільшення надземної маси рослин за підживлення у фазі гілкування на 9,8 г (10,4%), у фазі бутонізації – на 8,9 г (9,4%), у фазі цвітіння – на 10,9 г (11,6%). Також на

фоні удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$ позакореневе підживлення рослин добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування сприяло збільшенню надземної маси рослин сої на 2,3 г (або на 2,1%), у фазі бутонізації – на 4,4 г (3,9%), у фазі цвітіння – на 6,0 г (5,4%). У варіанті з удобренням $P_{45}K_{60}$ достовірне збільшення надземної маси рослин сої від позакореневого підживлення фіксували лише за його проведення у фазі бутонізації і цвітіння, що становило 3,9 г (3,6%) і 3,7 г (3,4%) відповідно.

Надземна маса рослин сої у варіантах досліду із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом як окремо, так і в поєднанні з протруювачем, у фазі наливу бобів була на рівні з контролем або дещо нижчою (1–4%).

Також визначали вплив досліджуваних факторів на динаміку наростання маси коренів сої, яка наведена в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

**Маса коренів сої відібраних зразків, глибина 0–10 см,
середнє за 2021–2023 рр., г/рослину**

Удобрення	Фаза росту та розвитку	Оброблення насіння			Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + підживлення органо-мінеральним добривом у фазі:		
		оброблення водою (контроль)	мікоризоутворювач	мікоризоутворювач + протруйник	гілкування	бутонізації	цвітіння
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок	0,70	0,89	0,83	0,93	0,91	0,91
	бутонізація	2,06	2,28	2,26	2,46	2,62	2,42
	цвітіння	3,42	3,53	4,55	5,40	5,38	5,26
$P_{45}K_{60}$	1-й трійчастий листок	0,88	0,93	0,97	1,00	0,98	0,97
	бутонізація	2,25	2,35	2,36	2,58	2,57	2,49
	цвітіння	4,39	4,96	5,19	5,72	5,84	5,66

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок	0,89	0,92	0,99	1,05	1,02	1,00
	бутонізація	2,46	2,49	2,45	2,99	2,87	2,92
	цвітіння	5,22	5,32	5,41	5,57	5,62	5,86
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	0,98	0,96	0,96	0,99	0,99	0,99
	бутонізація	2,61	2,72	2,52	2,68	2,68	2,65
	цвітіння	5,51	5,57	5,52	5,60	5,61	5,64
V, %	1-й трійчастий листок	13,6	3,1	7,8	5,0	4,8	4,2
	бутонізація	10,3	7,9	4,7	8,5	4,9	8,5
	цвітіння	20,3	18,8	8,4	2,4	3,3	4,5

Встановлено, що у фазі першого трійчастого листка (ВВСН 12) на фоні внесення мінеральних добрив маса коренів сої зростала в 1,26–1,40 раза (на 0,18–0,28 г/рослину) порівняно з абсолютним контролем. Так, на фоні внесення P₄₅K₆₀ у середньому за роки досліджень маса коренів сої становила 0,88 г/рослину, що було більше за абсолютний контроль на 0,18 г, або на 26%. У варіанті удобрення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀ фіксували зростання маси коренів рослин до 0,89 г/рослину, що перебільшувало контроль на 0,19 г (або на 27%), а за системи удобрення, яка передбачала внесення мінеральних добрив у дозі N₄₅P₄₅K₆₀ – маса коренів становила 0,98 г/рослину і була більшою за абсолютний контроль на 0,28 г (або на 40%).

Передпосівне оброблення насіння як окремо мікоризоутворюючим препаратом, так і в поєднанні з хімічним протруювачем позитивно вплинуло на формування кореневої системи і маса коренів сої була більшою за абсолютний контроль на 1,27–0,29 г/рослину, або на 19–41% залежно від фону удобрення. Найбільшу масу коренів 0,99 г/рослину і 0,97 г/рослину формували рослини за поєднання мікоризоутворюючого препарату з хімічним протруювачем на фоні внесення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀ і P₄₅K₆₀ відповідно, що перевищувало абсолютний контроль на 41% і 39%.

Позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя сприяло формуванню більш потужної кореневої системи сої,

маса якої досягала на фоні без добрив 0,91–0,93 г/рослину, на фоні внесення фосфорних добрив – 0,97–1,00 г/рослину, $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – 1,00–1,05 г/рослину, $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 0,99 г/рослину. У цих варіантах дослідження перевищення абсолютного контролю було в 1,3–1,5 раза залежно від фази внесення добрива Хелпрост Соя та фону мінерального удобрення. Найбільші показники маси коренів рослин сої (1,05 і 1,02 г/рослину) у фазі ВВСН 12 фіксували у варіанті передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом у поєднанні з хімічним протруювачем та підживленням органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$.

У фазі бутонізації (ВВСН 51–59) маса коренів сої у варіантах дослідження зростала до 2,06–2,99 г/рослину. За міжфазний період «перший трійчастий листок – бутонізація» маса коренів рослин у варіанті абсолютного контролю зросла в 2,9 раза, у варіантах із внесенням лише мінеральних добрив – у 2,6–2,8 раза, за передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом – у 2,5–2,8 раза, за оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом сумісно з протруювачем – в 2,4–2,7 раза, за позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом – у 2,6–2,9 раза.

На фоні мінерального удобрення найбільша маса коренів (2,61 г/рослину) формувалась у варіанті внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$, що було більше за абсолютний контроль на 0,55 г (або на 26,7%). За системи удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ рослини сої у фазі бутонізації формували масу коренів на рівні 2,46 г/рослину, що було на 0,40 г (або на 19,4%) більше за абсолютний контроль. За внесення $P_{45}K_{60}$ маса коренів становила 2,25 г/рослину, що було на 0,19 г (або на 9,27%) більше за абсолютний контроль.

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом забезпечило збільшення маси коренів сої у контролі (без добрив) на 10,7% (на 0,22 г), за внесення комплексу мінеральних добрив $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 20,9% і 32,0% відповідно, фосфорно-калійних добрив ($P_{45}K_{60}$) – на 14,1%. Натомість, передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем

у поєднанні з протруйником у варіантах удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ мало меншу стимулюючу дію на формування кореневої системи сої порівняно з обробкою насіння лише мікоризоутворюючим препаратом, але різниця з абсолютним контролем була істотною і становила 0,39 г (18,9%) і 0,46 г (22,3%) відповідно.

Позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя найбільший стимулюючий ефект на формування маси коренів сої у фазі бутонізації (ВВСН 51–59) мало у варіанті із внесенням $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$: на 0,93 г (або на 45,1%) – за підживлення у фазі гілкування, на 0,81 г (або на 39,3%) – за підживлення у фазі бутонізації, на 0,86 г (або на 41,7%) – за підживлення у фазі цвітіння. Відповідно на фоні внесення фосфорно-калійних добрив ($P_{45}K_{60}$) різниця з абсолютним контролем за даним показником становила 20,9–25,2% (0,43–0,52 г), на фоні внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 28,6–30,1% (0,59–0,62 г) залежно від фази внесення добрива Хелпрост Соя.

Рослини сої на дослідних ділянках у фазі цвітіння (ВВСН 60–69) формували масу коренів на рівні 3,42–5,86 г/рослину. Залежно від системи удобрення найбільш потужну кореневу систему формували рослини сої за внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$. У цьому варіанті досліді маса коренів сої становила 5,51 г/рослину, що переважало абсолютний контроль на 2,09 г, або на 61,1%. У варіанті з удобренням $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ маса коренів у фазі цвітіння перевищувала контроль на 1,8 г, або на 52,6%, а з внесенням лише фосфорно-калійних добрив $P_{45}K_{60}$ – на 0,97 г, або на 28,4%.

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом як окремо, так і в поєднанні з протруйником, забезпечило збільшення формування маси коренів сої у фазі цвітіння у варіанті з внесенням фосфорно-калійних добрив ($P_{45}K_{60}$) на 45,0% і 51,8%, $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – на 55,6% і 58,2%, $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 62,9% і 61,4% відповідно.

Натомість більш ефективним виявилось позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя. Було встановлено, що у

контролі (без добрив) позакореневе підживлення рослин стимулювало фізіологічні процеси в рослинах сої і сприяло збільшенню маси коренів порівняно з абсолютним контролем у фазі гілкування на 1,98 г (або 57,9%), за підживлення у фазі бутонізації – на 1,96 г (або 57,3%), за підживлення у фазі цвітіння – на 1,84 г (або 53,8%).

За удобрення сої комплексними мінеральними добривами позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя сприяло зростанню маси коренів сої у середньому в 1,6–1,7 раза. Зокрема, вирощування сої на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування збільшувало масу коренів на 2,15 г (або 62,9%), за підживлення у фазі бутонізації – на 2,20 г (або 64,3%), за підживлення у фазі цвітіння – на 2,44 г (або 71,3%). Аналогічно, для варіанту з удобренням сої $N_{45}P_{45}K_{60}$ збільшення маси коренів порівняно з абсолютним контролем становило 2,18 г (або 63,76%), 2,19 г (64,0%), 2,22 г (64,9%) відповідно.

Дещо вищі показники отримано у варіантах із внесенням фосфорно-калійних добрив ($P_{45}K_{60}$): збільшення маси коренів за позакореневого підживлення рослин добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування становило 2,3 г (або 67,3%), за підживлення у фазі бутонізації – 2,42 г (або 70,8%), за підживлення у фазі цвітіння – 2,24 г (або 65,5%).

3.4. Динаміка накопичення сухої речовини

Накопичення органічної речовини є результатом складних процесів, що відбуваються у рослинах. Створення оптимальних умов для їх росту та розвитку сприяє формуванню більшої кількості органічної маси, її перерозподілу по органах рослини, та значно впливає на чисту продуктивність фотосинтезу посіву в цілому, що в результаті відображається на рівні продуктивності культури. Тому дослідження динаміки накопичення сухої речовини рослинами сої залежно від впливу технологічних прийомів, в тому числі інокуляції та внесення мікродобрив, має важливе наукове та практичне значення.

Як свідчить аналіз отриманих у 2021–2023 рр. результатів досліджень, взяті для вивчення агрозаходи мали вплив на процес накопичення рослинами сухої маси (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Накопичення сухої маси рослинами сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

Удобрення	Фаза розвитку рослин	Оброблення насіння			Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакоренеve підживлення у фазі:		
		оброблення водою (контроль)	мікоризоутворювач	мікоризоутворювач+ протруйник	гілкування	бутонізація	цвітіння
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок	0,7	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7
	бутонізація	2,4	2,5	2,8	3,0	3,3	3,0
	цвітіння	8,8	9,0	9,2	10,2	10,1	11,4
	налив бобів	20,8	22,0	22,3	23,1	23,0	23,4
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0
	бутонізація	2,6	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6
	цвітіння	9,5	10,0	10,2	10,9	10,2	11,6
	налив бобів	21,3	23,2	23,1	23,9	24,5	24,6
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8
	бутонізація	2,7	3,0	3,2	3,4	3,6	3,7
	цвітіння	9,9	10,0	10,7	10,4	11,0	11,2
	налив бобів	23,8	25,9	25,2	26,2	25,9	27,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0
	бутонізація	3,2	3,4	3,2	3,7	3,2	3,5
	цвітіння	12,0	12,1	12,3	12,2	12,6	12,5
	налив бобів	24,0	26,2	25,0	26,9	26,8	29,2
V, %	1-й трійчастий листок	10,2	6,8	10,2	5,7	6,1	17,1
	бутонізація	12,5	12,4	6,2	9,0	5,1	9,0
	цвітіння	13,7	12,7	12,2	8,2	10,5	4,9
	налив бобів	7,4	8,4	6,0	7,2	6,6	10,1

На початкових етапах розвитку, у фазі першого трійчастого листка (ВВСН 12), кількість накопиченої рослинами сухої маси була незначною – лише 0,7–1,0 г/рослину. Чіткої залежності впливу взятих для дослідження агрозаходів на рівень показника в цей період не виявлено (рис. 3.9).

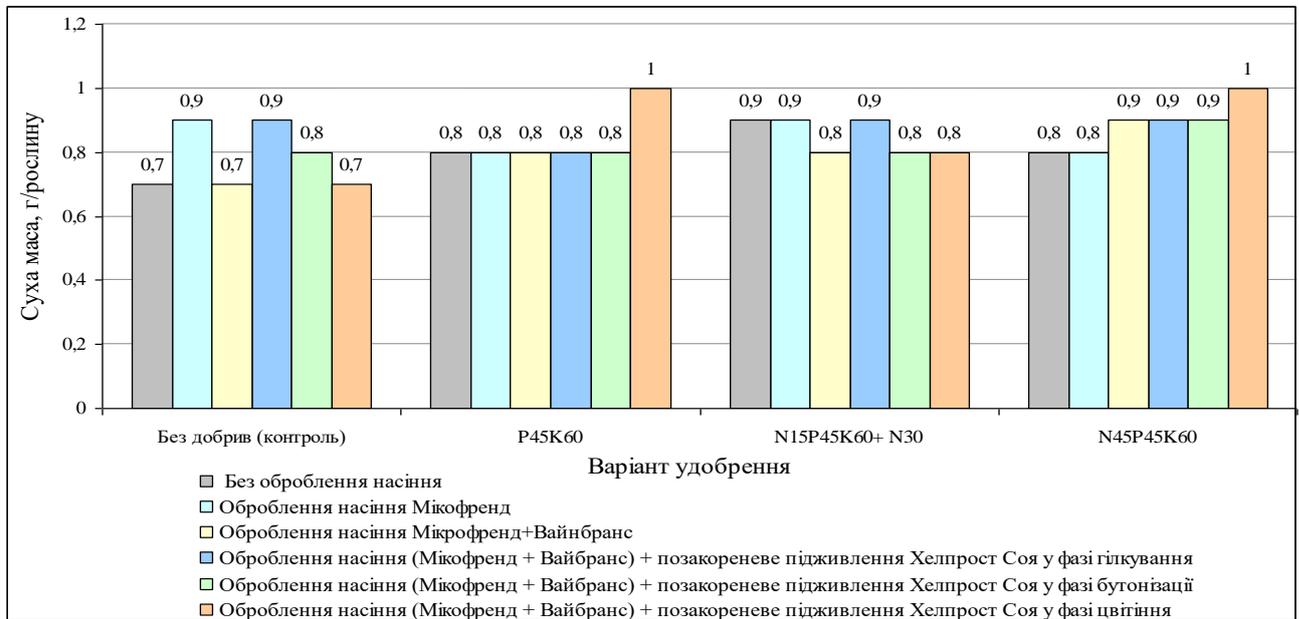


Рис. 3.9. Накопичення сухої маси рослинами сої у фазі 1-го трійчастого листка (ВВСН 12) залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

До фази бутонізації (ВВСН 51–59) суха маса рослин збільшувалась у 3,4–3,7 рази і становила від 2,4 до 3,7 г/рослину (рис. 3.10). У цей період вже виявляли залежність рівня показника від досліджуваних агрозаходів.

У варіантах із внесенням мінеральних добрив накопичення сухої маси було на 0,4–0,6 г/рослину, або на 14,3–21,4% більшим за рівня показника у контрольному варіанті, який не передбачав застосування мінеральних добрив – 2,8 г/рослину. Передпосівне оброблення насіння сприяло зростанню маси сухої речовини на 0,3–0,4 г/рослину, або 11,1–14,8%, за показника на контрольному варіанті без оброблення насіння 2,7 г/рослину. Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом та протруйником із позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом сприяло зростанню показника на 0,6–0,8 г/рослину, або 22,2–29,6%, порівняно з контрольним варіантом.

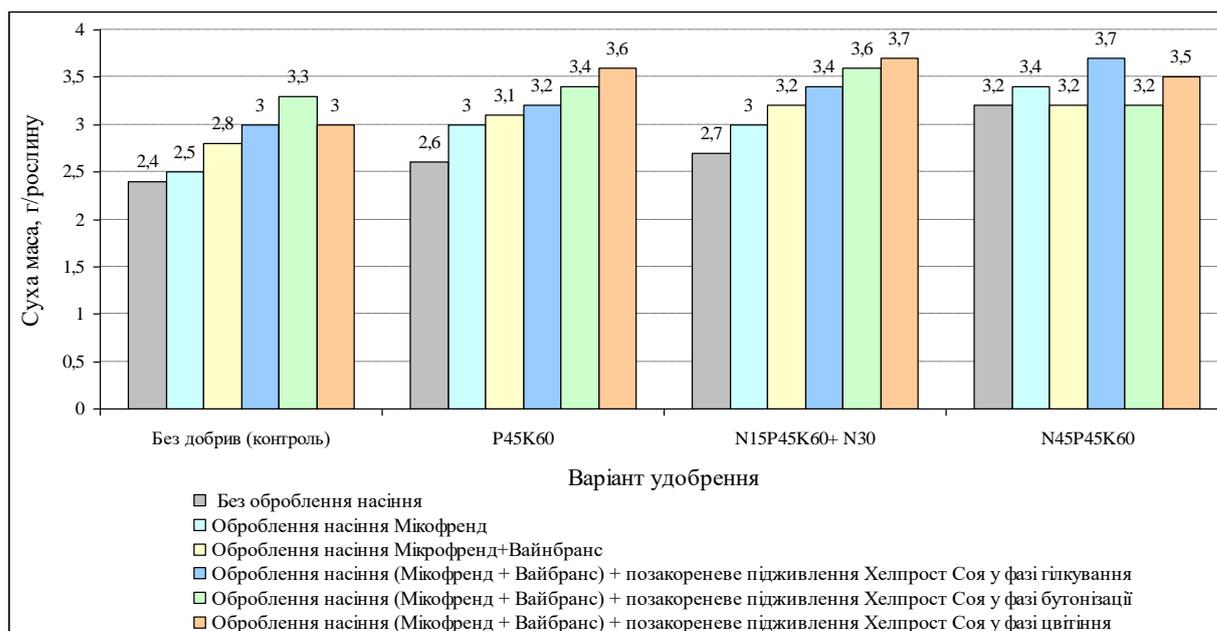


Рис. 3.10. Накопичення сухої маси рослинами сої у фазі бутонізації (BVSH 51–59) залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

До фази цвітіння (BVSH 60–69) накопичення сухої маси рослин збільшувалась у 9,7–12,6 раза, порівняно з фазою першого трійчастого листка і становила 8,8–12,6 г/рослину (рис. 3.11).

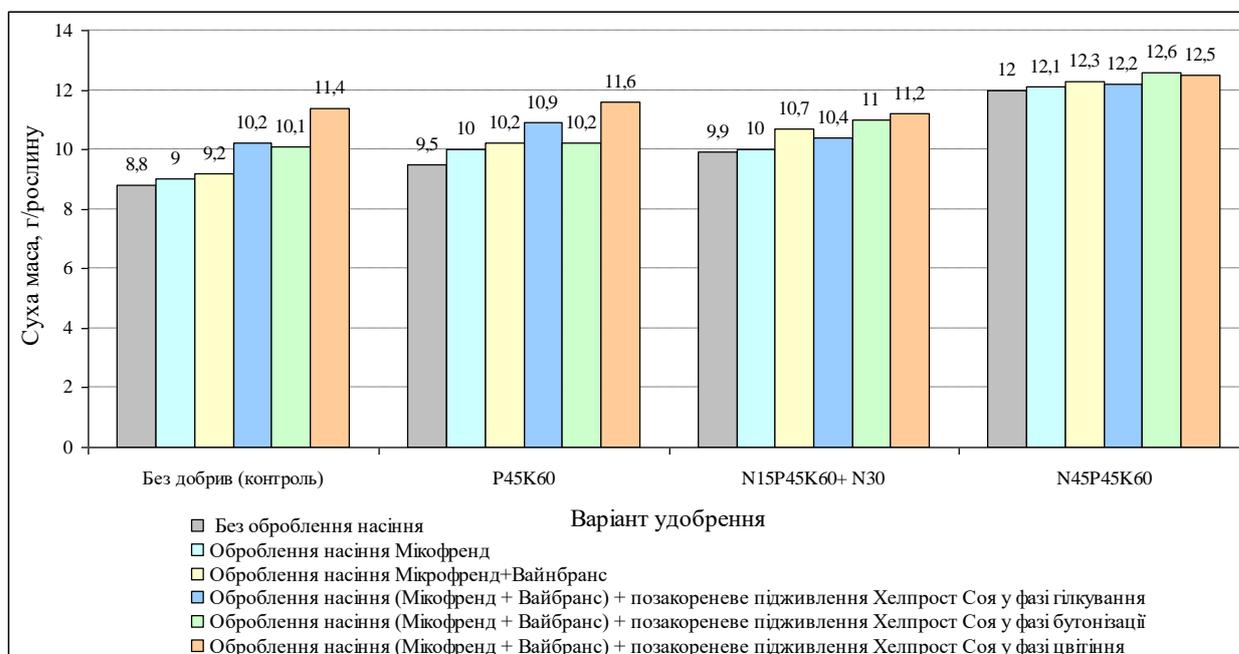


Рис. 3.11. Накопичення сухої маси рослинами сої у фазі цвітіння (BVSH 60–69) залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

Внесені мінеральні добрива сприяли накопиченню сухої речовини на 0,4–2,3 г/рослину, або 4,0–23,0% більше, порівняно з варіантами без їх застосування, де показник становив 10,0 г/рослину. За передпосівного обробленням насіння сої відмічали зростання показника на 0,7–1,0 г/рослину або 7,3–10,4%, порівняно з варіантами без проведення агрозаходу (9,6 г/рослину). За сівби насінням, обробленим мікоризоутворювачем і протруйником, та проведенням позакореневого підживлення органіно-мінеральним добривом суха маса рослин зростала на 1,3–2,1 г/рослину, або 13,5–21,9%, порівняно з контрольним варіантом.

У фазі наливу бобів (ВВСН 89) накопичена суха маса рослин сої перевищувала показники у фазі першого трійчастого листка у 29,2–29,7 рази і становила від 20,8 до 29,2 г/рослину (рис. 3.12).

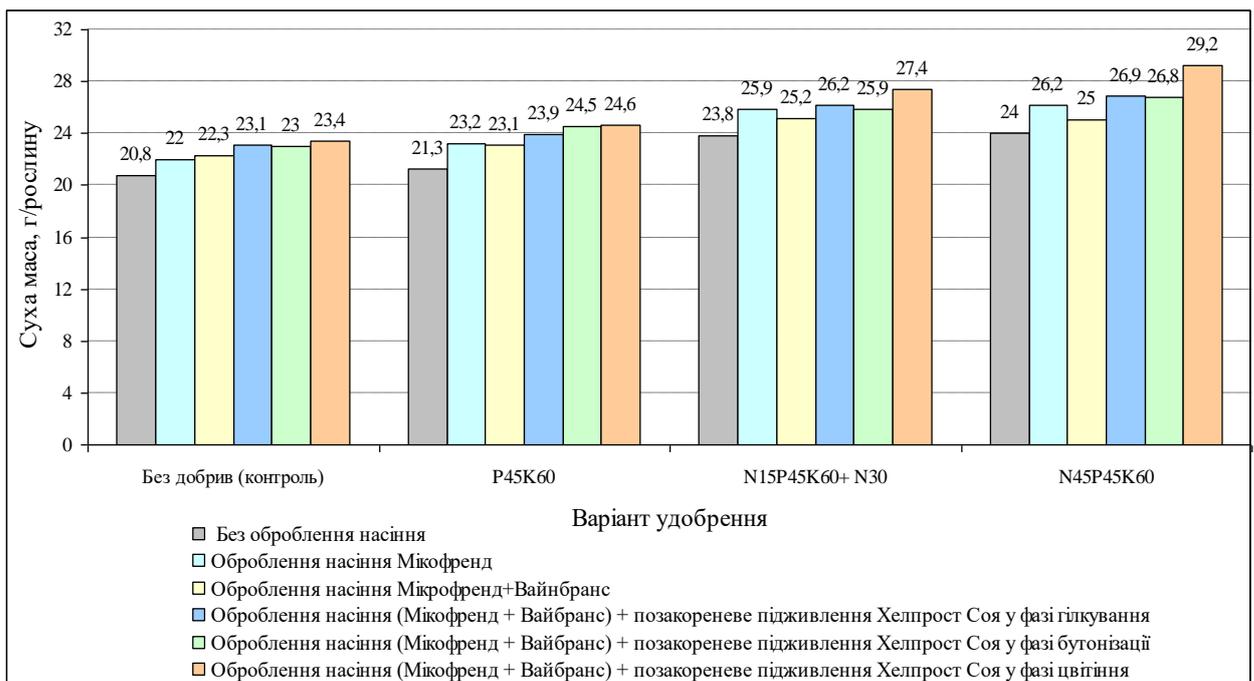


Рис. 3.12. Накопичення сухої маси рослинами сої у фазі наливу бобів (ВВСН 89) залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/рослину

У варіантах із внесенням мінеральних добрив відмічали збільшення накопичення сухої маси на 1,0–4,0 г/рослину, або на 4,5–17,9%, порівняно з

контрольним варіантом, який не передбачав їх застосування – 22,4 г/рослину. Оброблення насіння лише мікоризоутворювачем сприяло зростанню рівня показника на 1,8, мікоризоутворювачем із протруйником – на 1,4 г/рослину, або на 8,0 і 6,2%, порівняно з варіантом без проведення агрозаходів (22,5 г/рослину). У варіантах, які передбачали оброблення насіння мікоризоутворювачем із протруйником, а також позакореневе підживлення орґано-мінеральним добривом, рослини накопичували на 2,5–3,7 г/рослину, або 11,1–16,4% більше сухої речовини, порівняно з варіантами, які не передбачали проведення зазначених агрозаходів.

Максимальні показники сухої маси однієї рослини в досліді – 26,8–29,2 г/рослину, відмічали у варіантах із внесенням $N_{45}P_{45}K_{60}$, сівбою насінням, обробленим мікоризоутворюючим біопрепаратом і протруйником, та проведенням позакореневого підживлення орґано-мінеральним добривом у фазі наливу бобів. Деякі менші показники (25,2–27,4 г/рослину) формувалися у варіантах із внесенням мінеральних добрив у нормі $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$.

Проведений регресійний аналіз залежності врожайності від кількості накопиченої рослинами сухої маси за фазами росту та розвитку підтвердив максимальну залежність рівня врожаю від показників у фазі наливу бобів. Розраховане рівняння залежності врожайності насіння сої від показників сухої маси, накопиченої рослинами, яке має вигляд:

$$Y = -3,0729 + 0,4383X - 0,0071X^2, \quad (3.1)$$

де Y – урожайність насіння, т/га;

X – суха маса, г/рослину, m^2/m^2 .

Множинний коефіцієнт кореляції становив $R = 0,88$, коефіцієнт детермінації – $D = 77,44\%$. Рівняння достовірне за критерієм Фішера (F), оскільки $F_{\text{факт.}}$ (36,03) значно вище табличного його значення ($F_{\text{табл.}}=3,47$).

Тіснота зв'язку врожайності з чистою продуктивністю фотосинтезу посіву не дає можливості провести розрахунок рівняння регресії, оскільки

кореляційний зв'язок у міжфазні періоди варіював від слабкого до середнього (1-й трійчастий листок – бутонізація – $r = 0,534$, бутонізація – цвітіння – $r = 0,083$, цвітіння – налив бобів – $r = 0,367$).

Висновки до Розділу 3

1. На основі фенологічних спостережень за ростом й розвитком рослин сої встановлено, що гідротермічні умови мають значний вплив на проходження міжфазних періодів і тривалість вегетації. Сприятливий температурний режим та достатнє зволоження 2023 р. зумовило подовження періоду вегетації сої до 113 діб, а дефіцит опадів та нестача тепла у 2022 р. спричинили скорочення періоду вегетації сої на 6 діб, який був найкоротшим і становив 107 діб. За використання кореляційного аналізу визначено залежності між гідротермічними параметрами та тривалістю міжфазних періодів сої та встановлено силу впливу факторів погодних умов.

2. Встановлено, що система удобрення, передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим біопрепаратом як окремо, так і в поєднанні з хімічним протруювачем, та позакореневе підживлення рослин у критичні періоди має істотний вплив на процеси росту й розвитку сої сорту Муза в умовах Правобережного Лісостепу України.

3. В умовах змін клімату, які відбуваються, оптимальною вважається адаптивна технологія вирощування сої, яка передбачає внесення мінеральних добрив, сівбу насінням, обробленим мікоризоутворюючим біопрепаратом (Мікофренд) у поєднанні з протруйником (Вайбранс), а також позакореневі підживлення рослин органо-мінеральним добривом (Хелпрост Соя) у критичні періоди її росту та розвитку, що стимулює ріст рослин, наростання надземної маси та накопичення сухої маси рослинами.

4. Вирощування сої на фоні повного мінерального удобрення ($N_{45}P_{45}K_{60}$) із насінням обробленим мікоризоутворюючим біопрепаратом (Мікофренд) у поєднанні з протруйником (Вайбранс) та позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом (у фазі бутонізації або цвітіння)

забезпечує у фазі наливу бобів (ВВСН 89) збільшення висоти рослин до 108,1–112,3 см, формування надземної маси на рівні 116,4–118,0 г/рослину та накопичення сухої маси 26,8–29,2 г/рослину.

5. Вирощування сої за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим біопрепаратом (Мікофренд) у поєднанні з протруйником (Вайбранс) та позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом (у фазі бутонізації або цвітіння) забезпечує у фазі наливу бобів (ВВСН 89) збільшення висоти рослин до 104,6–111,9 см та збільшення в середньому в 1,2 раза проти абсолютного контролю формування надземної маси до рівні 113,4–115,0 г/рослину та накопичення сухої маси – до 25,9–27,4 г/рослину.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [30, 31, 36].

РОЗДІЛ 4.

ФОТОСИНТЕТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ ПОСІВІВ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ ТА ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НАСІННЯ

Фотосинтетична активність посівів будь-якої культури є основною складовою формування її продуктивності. Тому важливим завданням інноваційних технологій в рослинництві є створення оптимальних умов для росту і розвитку агрокультур, за яких посіви найбільш ефективно використовували б сонячну енергію для формування господарсько-цінного врожаю.

Як зазначав Х.Г. Тоомінг [144, 145], рослинні організми понад 90% врожаю формують за рахунок фотосинтетичної діяльності. Площа поверхні пластид, з яких складається загальна фотоактивна поверхня, перевищує площу листя в 10–40 разів [22, 155]. Таким чином, 1 м² поверхні ґрунту забезпечує до 300 м² поверхні, яка поглинає світло і бере участь у фотосинтезі. Але розвинена листкова поверхня має найвищу ефективність лише за оптимальних умов, яких можна досягнути за рахунок впровадження відповідних агротехнічних заходів. Це свідчить, що збільшення асиміляційної поверхні листя не завжди пропорційно підвищує врожайність. Зв'язок цих двох процесів має межу, за перевищення якої велика площа листкової поверхні, внаслідок взаємного затінення, знижує інтенсивність фотосинтезу, в результаті чого збільшується непродуктивна частина врожаю і зменшується продуктивна. Відповідно, для отримання високого врожаю потрібна не максимальна площа листя, а достатньо, щоб вона була оптимальною для певних умов.

4.1. Особливості формування площі листкової поверхні сої в динаміці

Фотосинтетична продуктивність рослин залежить від асиміляційної поверхні, інтенсивності фотосинтезу, добового приросту вегетативної маси, коефіцієнта використання сонячної енергії тощо.

Важливим чинником отримання високих урожаїв сої є оптимальна площа листкової поверхні та її продуктивний період, що забезпечує подовжений період перебування в активному стані для синтезу органічної речовини. Існує думка, що чим більша площа листкової поверхні, тим швидше накопичується органічна речовина рослинами, що забезпечує підвищення врожайності [68]. Рослини сої формують площу листкової поверхні у доволі широкому діапазоні – від 20 до 70 тис. м²/га залежно від умов вирощування. Більшість сортів формують розмір листкового апарату в межах 2500–3000 см²/рослину [4].

У формуванні площі листкової поверхні посівів культурних рослин, зокрема і сої, та ефективного їх використання важливе значення відіграють агротехнічні заходи (норма висіву, способи сівби, удобрення та підживлення, зрошення та ін.), сортові властивості рослин, гідротермічні чинники тощо [66, 67, 107, 108]. За правильно підібраних агрозаходів забезпечується більш рівномірний розподіл площі живлення рослин та оптимізуються параметри площі живлення кожної рослини, що дає змогу досягти максимальної ефективності її функціонування та засвоювати більшу частку фотосинтетичної активної радіації [115].

Враховуючи вищезазначене, постійно зберігають актуальність дослідження, спрямовані на визначення параметрів елементів нових технологій вирощування сої, що забезпечують формування максимальної площі листкової поверхні і ефективно її функціонування.

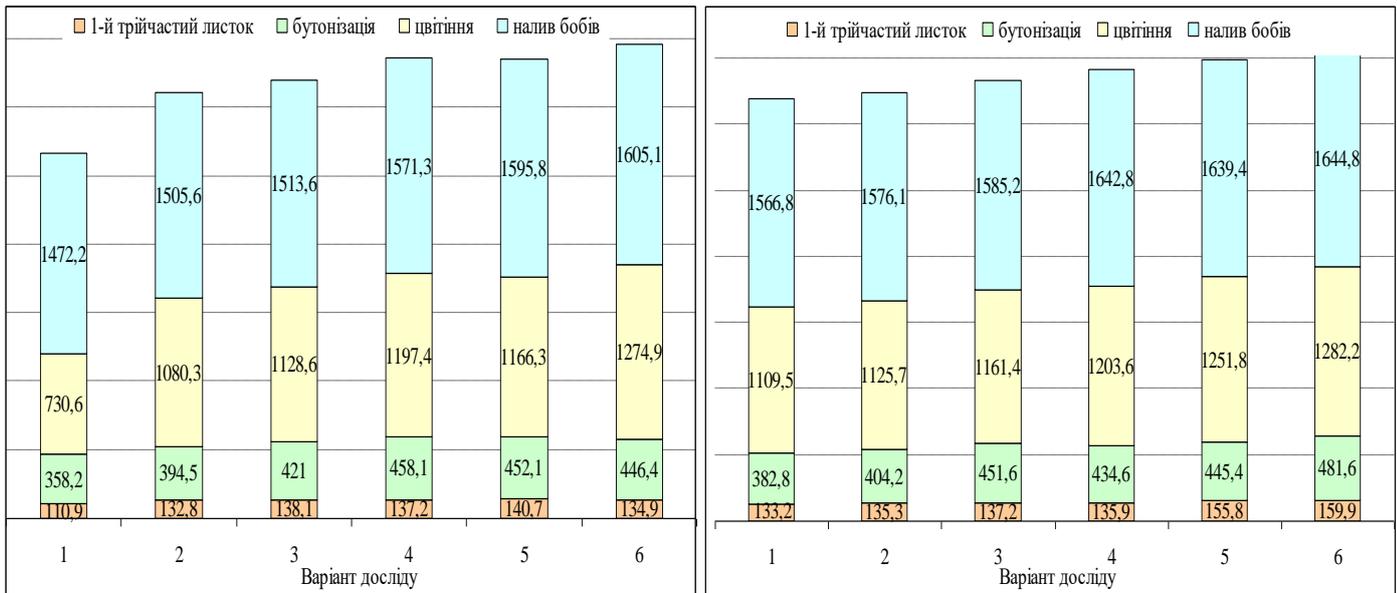
Наші дослідження показали, що застосовані агрозаходи мали достовірний позитивний вплив на формування площі листкової поверхні посівів сої (табл. 4.1, рис. 4.1).

Таблиця 4.1

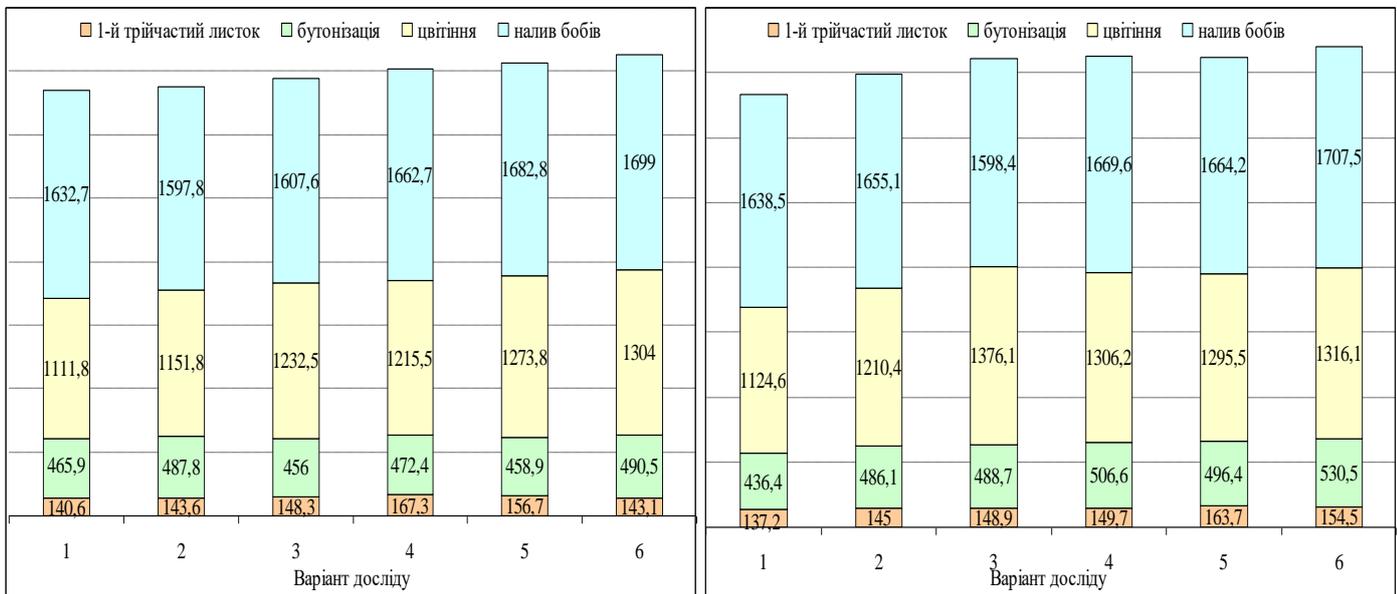
Площа листкової поверхні рослин сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., см²/росл.

Удобрєння	Фаза розвитку рослин	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:		
		оброблення водою (контроль)	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізації	цвітіння
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок	110,9	132,8	138,1	137,2	140,7	134,9
	бутонізація	358,2	394,5	421,0	458,1	452,1	446,4
	цвітіння	730,6	1080,3	1128,6	1197,4	1166,3	1274,9
	налив бобів	1472,2	1505,6	1513,6	1571,3	1595,8	1605,1
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	133,2	135,3	137,2	135,9	155,8	159,9
	бутонізація	382,8	404,2	451,6	434,6	445,4	481,6
	цвітіння	1109,5	1125,7	1161,4	1203,6	1251,8	1282,2
	налив бобів	1566,8	1576,1	1585,2	1642,8	1639,4	1644,8
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок	140,6	143,6	148,3	167,3	156,7	143,1
	бутонізація	465,9	487,8	456,0	472,4	458,9	490,5
	цвітіння	1111,8	1151,8	1232,5	1215,5	1273,8	1304,0
	налив бобів	1632,7	1597,8	1607,6	1662,7	1682,8	1699,0
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	137,2	145,0	148,9	149,7	163,7	154,5
	бутонізація	436,4	486,1	488,7	506,6	496,4	530,5
	цвітіння	1124,6	1210,4	1376,1	1306,2	1295,5	1316,1
	налив бобів	1638,5	1655,1	1598,4	1669,6	1664,2	1707,5
V, %	1-й трійчастий листок	10,3	4,3	4,4	9,9	6,3	7,6
	бутонізація	14,0	12,0	4,3	4,2	1,5	4,9
	цвітіння	22,3	3,2	4,5	0,8	4,6	1,2
	налив бобів	5,2	3,1	3,1	3,0	2,7	2,9

Впродовж вегетації площа листкової поверхні рослин сої наростала поступово і досягала максимуму у фазі наливу бобів (1605,1 см²/росл. – в абсолютному контролі і 1707,5 см²/росл. – у варіанті оброблення насіння мікоризоутворювачем і протруйником та з позакореневим підживленням Хелпрост Соя у фазі цвітіння на фоні удобрення N₄₅P₄₅K₆₀) (рис. 4.1).



а – без добрив (контроль)

б – P₄₅K₆₀в – N₁₅P₄₅K₆₀+ N₃₀г – N₄₅P₄₅K₆₀

Примітка: 1 – оброблення насіння водою (контроль), 2 – оброблення насіння Мікофренд, 3 – оброблення насіння Мікофренд + Вайбранс, 4 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі гілкування, 5 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі бутонізації, 6 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі цвітіння.

Рис. 4.1. Динаміка наростання площі листової поверхні рослин сої сорту Муза залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., см²/рослину

У міжфазний період від 1-го трійчастого листка до бутонізації відбувалось інтенсивне наростання площі листової поверхні рослин сої – в

середньому за варіантами дослідів в 3,2 раза (247,3–363,2 см²/росл.) порівняно з попереднім періодом, а рівень значень показника у фазі бутонізації становив 358,2–530,5 см²/рослину. Це період найбільш інтенсивного наростання площі листкової поверхні і формування фотосинтетичного апарату рослин сої. У міжфазний період від бутонізації до цвітіння рівень показника площі листкової поверхні рослин сої зростав у середньому в 2,0–2,6 раза, порівняно з попереднім періодом і становив 730,6–1376,1 см²/росл. У наступний період «цвітіння – налив бобів» інтенсивність наростання площі листкової поверхні знижувалась і становила 1,2–2,0 раза, а рівень значень показника – 1472,2–1707,5 см²/рослину, що пов'язано з фізіологічними процесами старіння рослинного організму.

У фазі 1-го трійчастого листка було виявлено різницю між показником площі листкової поверхні у варіантах дослідів – значення цього показника коливалося від 110,9 см²/рослину в абсолютному контролі до 132,8–167,3 см²/рослину за застосування агрозаходів (рис. 4.2).

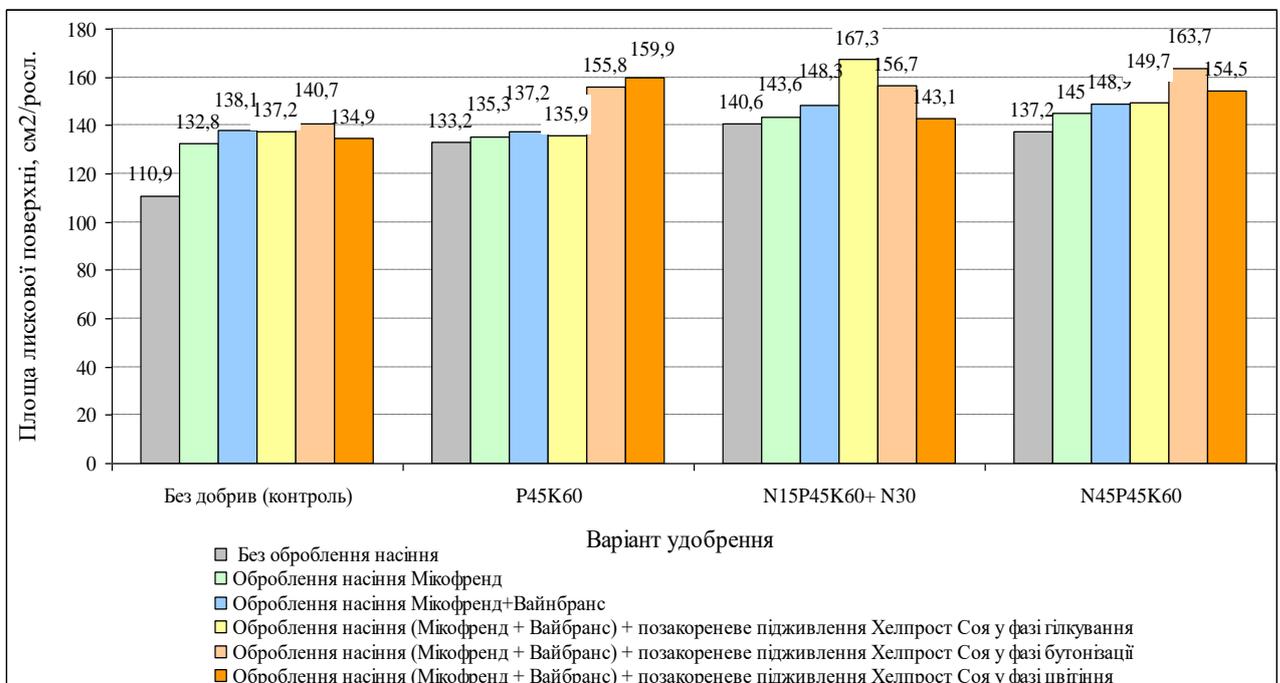


Рис. 4.2. Площа листкової поверхні рослин сої у фазі 1-го трійчастого листка (ВВСН 12) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., см²/росл.

За внесення мінеральних добрив площа листкової поверхні у фазі ВВСН 12 зростала на 22,3–29,7 см²/рослину, або на 20–24% порівняно з абсолютним контролем (110,9 см²/росл.).

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд сприяло зростанню показника на 21,9 см²/росл. або на 19,7% у контролі (без удобрення), на 2,1 см²/росл. і 3,0 см²/росл. або на 2% – у варіантах з удобренням P₄₅K₆₀ і N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀. На фоні внесення мінерального добрива в нормі N₄₅P₄₅K₆₀ площа листкової поверхні у фазі першого трійчастого листка зростала на 7,8 см²/росл. або на 6% порівняно з контролем.

Поєднання мікоризоутворюючого препарату Мікофренд і протруювача Вайбранс при передпосівній обробці насіння позитивно впливало на процес формування площі листка, про що свідчить зростання даного показника у контролі на 27,2 см²/росл., або на 25%. На фоні мінерального удобрення різниця була значно меншою і становила: 3% (або 4,0 см²/росл.) – з внесенням P₄₅K₆₀, 5% (або 7,7 см²/росл.) – з внесенням N₁₅P₄₅K₆₀+ N₃₀, 9% (або 11,7 см²/росл.) – з внесенням N₄₅P₄₅K₆₀.

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем і протруювачем із наступним проведенням позакореневого підживлення у фазі гілкування, бутонізації і цвітіння сприяло збільшенню площі листкової поверхні сої відповідно на 24%, 27% і 22% у контролі (без удобрення). У варіантах із внесенням мінеральних добрив різниця була значно меншою – на рівні 2–20% залежно від фази проведення позакореневого підживлення. Варто зазначити, що найбільша площа листкової поверхні рослин сої у фазі 1-го трійчастого листка (ВВСН 12) із перевищенням відповідного контролю на 19–20% була за проведення позакореневого підживлення у фазі гілкування на фоні N₁₅P₄₅K₆₀+ N₃₀ і становила 167,3 см²/росл., у фазі бутонізації на фоні N₄₅P₄₅K₆₀ – 163,7 см²/росл., у фазі цвітіння на фоні P₄₅K₆₀ – 159,9 см²/росл.

У фазі бутонізації (ВВСН 51–59) спостерігали зменшення інтенсивності наростання площі листкової поверхні у варіанті з унесенням

фосфорно-калійних добрив, різниця з контролем становила лише 7% (або 24,6 см²/росл.) (рис. 4.3). Тоді як у варіанті з внесенням мінерального добрива у дозі N₁₅P₄₅K₆₀+ N₃₀ фіксували збільшення площі листка на 30%, або на 107,7 см²/росл., на фоні внесення N₄₅P₄₅K₆₀ – площа листка збільшувалась на 22%, або на 78,2 см²/росл.

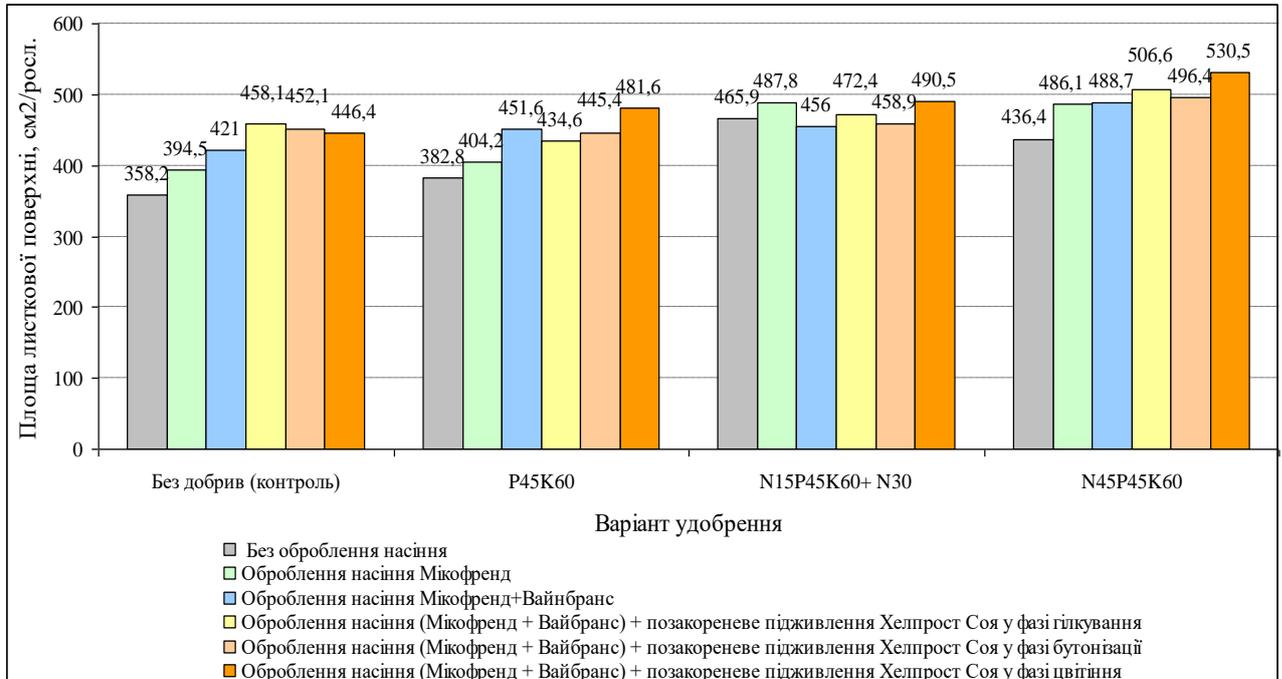


Рис. 4.3. Площа листкової поверхні рослин сої у фазі бутонізації (ВВСН 51–59) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., см²/росл.

Вплив передпосівної обробки насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд на наростання площі листкової поверхні у фазі бутонізації на фоні без добрив (контроль) і за удобрення N₄₅P₄₅K₆₀ був на майже однаковому рівні і становив 10% (або 36,6 см²/росл.) і 11% (або 49,7 см²/росл.) відповідно порівняно з варіантами без оброблення насіння. Аналогічно, на фоні внесення фосфорно-калійних добрив P₄₅K₆₀ і мінерального добрива у дозі N₁₅P₄₅K₆₀+ N₃₀ збільшення площі листкової поверхні у фазі бутонізації було на рівні 6% (або 21,4 см²/росл.) і 5% (або 21,9 см²/росл.) відповідно. За поєднання оброблення насіння біопрепаратом і

протруювачем сприяло більш активному наростанню площі листкової поверхні у варіанті без добрив (на 18%), із внесенням $P_{45}K_{60}$ (на 18%) і мінерального добрива у дозі $N_{45}P_{45}K_{60}$ (на 12%). Тоді як у варіанті з унесенням мінерального добрива у дозі $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$, навпаки, виявлено зменшення площі листка на 2% (або на 9,9 $cm^2/rocl.$) порівняно з варіантом без передпосівного оброблення насіння.

Поєднання передпосівного оброблення насіння мікоризоутворювачем і протруювачем із наступним проведенням позакореневого підживлення у фазі гілкування, бутонізації і цвітіння було найбільш ефективним щодо наростання площі листкової поверхні сої у варіанті без удобрення (контроль), де збільшення показника було на 28%, 26% і 25% відповідно. У варіантах із внесенням мінеральних добрив різниця з контролем була меншою і залежала від фази проведення позакореневого підживлення та удобрення. Найменш ефективним цей агрозахід був на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$, оскільки наростання площі листка була майже на рівні контролю. Тоді як у варіантах із внесенням $P_{45}K_{60}$ і мінерального добрива у дозі $N_{45}P_{45}K_{60}$ площа листкової поверхні рослин сої у фазі бутонізації зростала на 14–26% порівняно з контролем.

За внесення мінеральних добрив площа листкової поверхні у фазі цвітіння (ВВСН 60–69) зростала на 378,9–394,0 $cm^2/rocl.$, або на 52–54% порівняно з абсолютним контролем (730,6 $cm^2/rocl.$) (рис. 4.4).

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд як окремо, так і в поєднанні з протруювачем Вайбранс сприяло зростанню показника площі листкової поверхні у варіанті без удобрення відповідно на 48% і 54% порівняно з контролем, на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ – на 1% і 5%, на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ – на 4% і 11%, на фоні внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 8% і 22%.

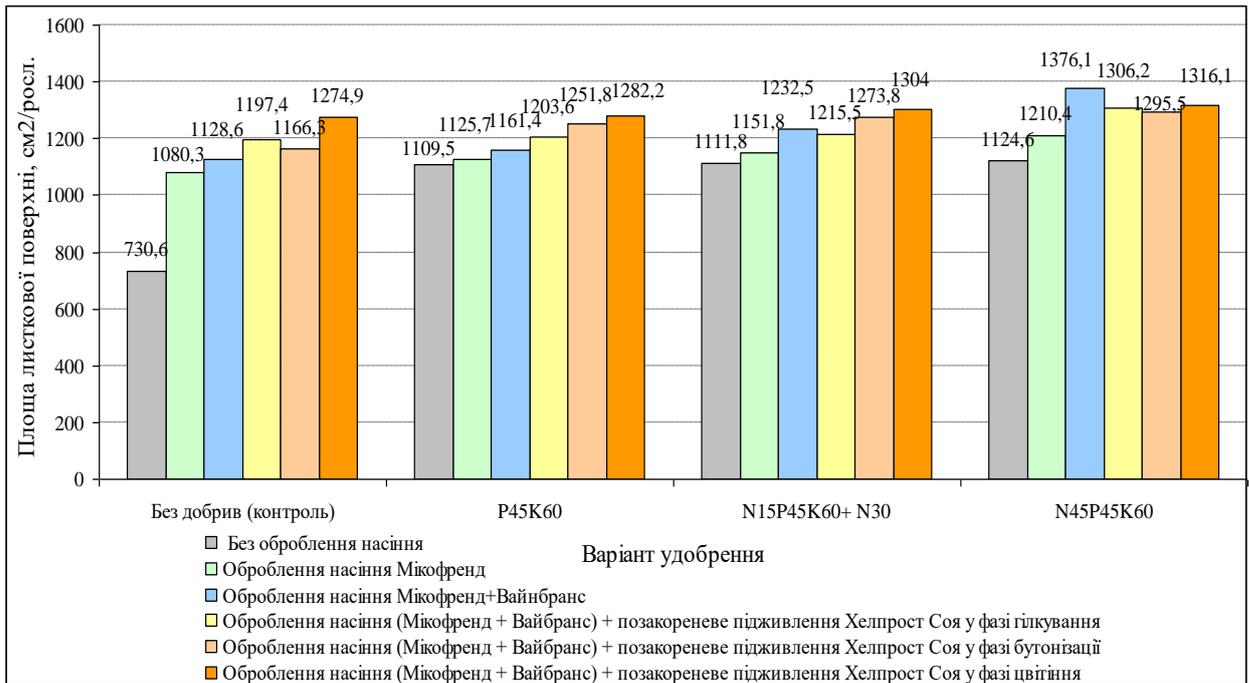


Рис. 4.4. Площа листкової поверхні рослин сої у фазі цвітіння (BBCH 60–69) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., см²/росл.

Поєднання мікоризоутворюючого препарату Мікофренд і протруювача Вайбранс за передпосівного оброблення насіння із наступним проведенням позакореневого підживлення позитивно впливало на процес формування площі листка, про що свідчить зростання показника у варіанті без удобрення в середньому на 66%, на фоні внесення P₄₅K₆₀ – на 12%, на фоні N₁₅P₄₅K₆₀+ N₃₀ – в середньому на 14%, на фоні N₄₅P₄₅K₆₀ – в середньому на 16%. Встановлено, що найбільший позитивний ефект від позакореневого підживлення на наростання площі листка є за внесення добрива Хелпрост Соя у фазі цвітіння. Подібні результати щодо позитивного ефекту позакореневого підживлення сої мікродобривами і мікроелементами у фазі 4–5 листків і початку цвітіння на формування площі листкової поверхні показано у різних експериментах [105, 108].

Як свідчать дані рис. 4.5, у фазі наливу бобів (ВВСН 89) на фоні внесення мінеральних добрив площа листової поверхні зростала до 1566,8–1638,5 см²/росл. (у абсолютному контролі – 1472,2 см²/росл.), тобто на 6–11%, що порівняно з попередніми міжфазними періодами вплив фактора удобрення була найменшою.

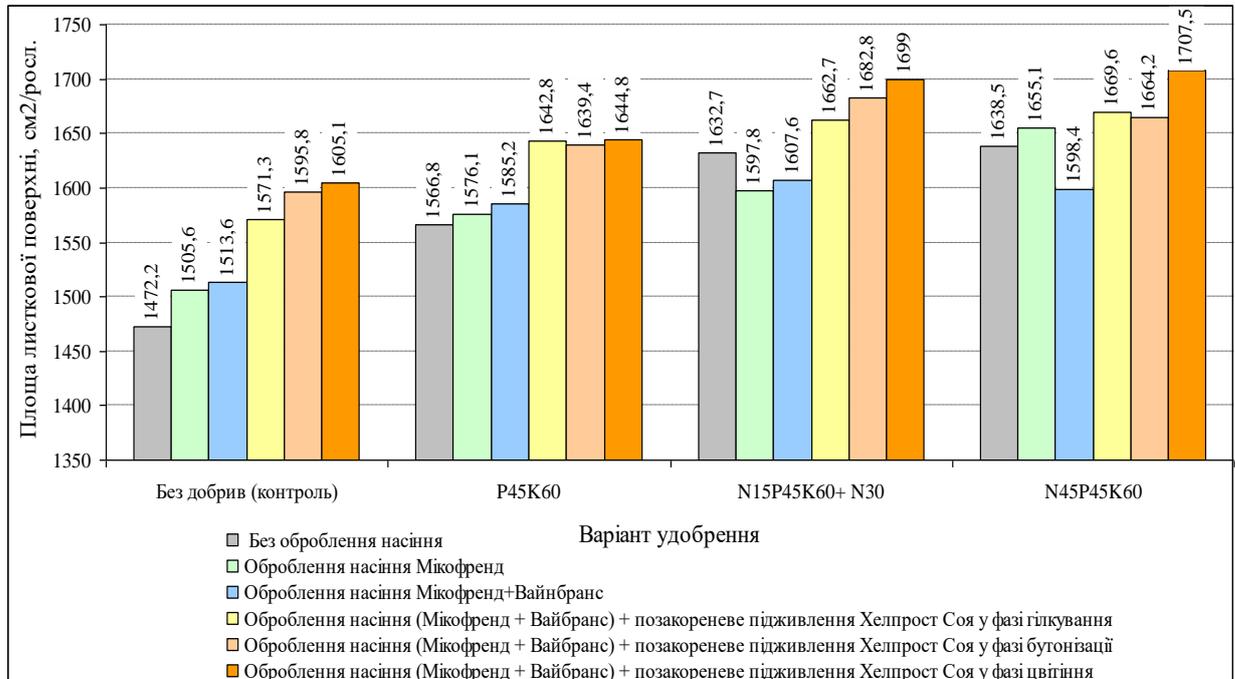


Рис. 4.5. Площа листової поверхні рослин сої у фазі наливу бобів (ВВСН 89) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., см²/росл.

Аналогічно, у фазі наливу бобів у варіантах досліді з вирощуванням сої з передпосівним оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд як окремо, так і в поєднанні з протруювачем Вайбранс, різниця показника площі листової поверхні порівняно з контролем була не істотною – на рівні 1–3% (9,3–41,4 см²/росл.), а за внесення N₁₅P₄₅K₆₀+ N₃₀ і N₄₅P₄₅K₆₀ – навіть нижче контролю (на 2%). У варіантах досліді із проведенням позакореневого підживлення добривом Хелпрост Соя різниця з контролем значень показника площі листової поверхні в середньому становила 8% – без внесення добрив, 5% – за внесення фосфорно-калійних добрив P₄₅K₆₀, 3% – за внесення N₁₅P₄₅K₆₀+ N₃₀ та N₄₅P₄₅K₆₀.

Аналіз розрахованих значень індексу листкової поверхні рослин сої в динаміці показав, що досліджувані агрозаходи мали значний вплив на цей показник (табл. 4.2) [38].

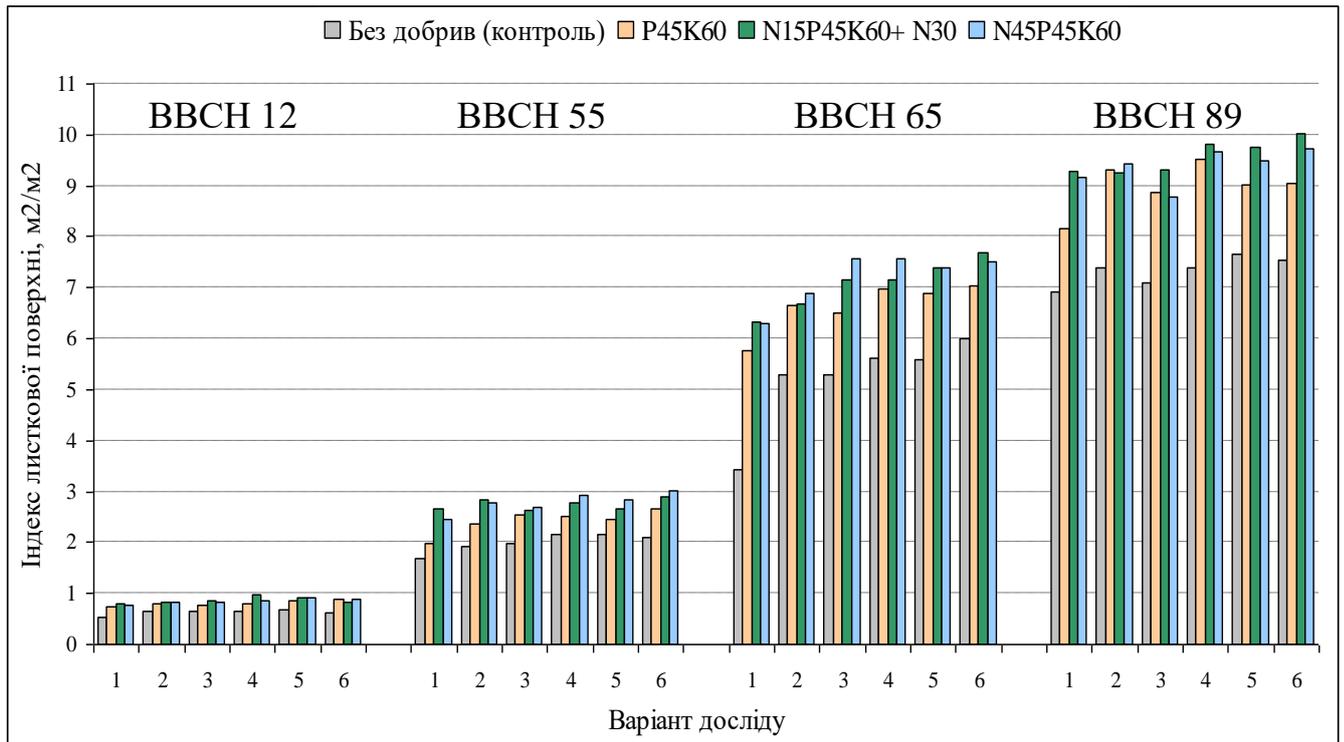
Таблиця 4.2

Індекс листкової поверхні сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., м²/м²

Удобрєння	Фаза розвитку рослин	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:		
		оброблення насіння водою (контроль)	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізація	цвітіння
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок	0,52	0,65	0,65	0,64	0,68	0,63
	бутонізація	1,68	1,93	1,98	2,15	2,17	2,10
	цвітіння	3,43	5,29	5,30	5,63	5,60	5,99
	налив бобів	6,92	7,38	7,11	7,39	7,66	7,54
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	0,73	0,80	0,77	0,79	0,86	0,88
	бутонізація	1,99	2,38	2,53	2,52	2,45	2,65
	цвітіння	5,77	6,64	6,50	6,98	6,88	7,05
	налив бобів	8,15	9,30	8,88	9,53	9,02	9,05
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок	0,80	0,83	0,86	0,99	0,91	0,84
	бутонізація	2,66	2,83	2,64	2,79	2,66	2,89
	цвітіння	6,34	6,68	7,15	7,17	7,39	7,69
	налив бобів	9,29	9,27	9,32	9,81	9,76	10,02
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	0,77	0,83	0,82	0,87	0,93	0,88
	бутонізація	2,44	2,77	2,69	2,94	2,83	3,02
	цвітіння	6,30	6,90	7,57	7,58	7,38	7,50
	налив бобів	9,18	9,43	8,79	9,68	9,49	9,73
V, %	1-й трійчастий листок	17,96	11,08	11,76	17,85	13,48	14,84
	бутонізація	20,11	16,79	13,29	13,33	11,26	15,26
	цвітіння	25,24	11,51	14,93	12,35	12,37	10,78
	налив бобів	13,16	11,07	11,39	12,61	10,39	12,19

Цей показник мав найбільші значення у фазі наливу бобів (6,92–10,02 м²/м²), а в подальшому внаслідок самозатінення рослин і

часткового пожовтіння нижніх листків значення індексу листкової поверхні знижувалося (рис. 4.6).



Примітка: 1 – оброблення насіння водою (контроль), 2 – оброблення насіння Мікофренд, 3 – оброблення насіння Мікофренд + Вайбранс, оброблення насіння Мікофренд + Вайбранс, 4 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі гілкування, 5 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі бутонізації, 6 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі цвітіння.

Рис. 4.6. Динаміка показника індексу листкової поверхні сої за фазами розвитку залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., м²/м²

На початкових етапах росту і розвитку рослин, у фазі першого трійчастого листка, листкова поверхня рослин сої була мінімальною і показник індексу листкової поверхні коливався у межах від 0,52 до 0,99 м²/м². Внесення мінеральних добрив сприяло збільшенню рівня показника на 0,18–0,24 м²/м², або 28,6–38,1% за середнього його значення у варіантах без добрив 0,63 м²/м². Передпосівне оброблення насіння сприяло зростанню показника на 0,03–0,14 м²/м², або 9,9–19,7%, за середнього показника у варіанті без оброблення 0,71 м²/м².

Від фази першого трійчастого листка до фази бутонізації індекс листової поверхні рослин сої у посіві зростав у 3,2 раза і знаходився у межах 1,68–3,02 м²/м².

За внесення Р₄₅К₆₀ індекс листової поверхні рослин сої у посіві зростав на 0,42 м²/м², або 21,0% порівняно з варіантами без добрив 2,00 м²/м². Застосування крім фосфорних і калійних ще й азотних добрив, сприяло зростанню індексу листової поверхні на 0,75–0,78 м²/м², або на 37,5–39,0%. Передпосівне оброблення насіння сприяло зростанню показника на 0,27–0,48 м²/м², або на 12,3–21,9 % за рівня у контролі 2,19 м²/м².

До фази цвітіння показник індексу листової поверхні рослин сої у досліді зростав у 8,3 раза, порівняно з фазою першого трійчастого листка, і становив 3,43–7,69 м²/м². У вказаний період його зростання від внесених мінеральних добрив становило 1,32–4,37 м²/м², або 25,3–38,4% за середнього показника у варіантах без добрив 5,21 м²/м². Передпосівне оброблення насіння сприяло збільшення індексу листової поверхні на 0,95–1,20 м²/м², або 17,5–22,1% за показника у контролі 5,43 м²/м². Передпосівне оброблення насіння та позакореневе підживлення рослин сприяло зростанню показника на 1,38–1,63 м²/м², або на 25,4–30,0%.

Зростання індексу листової поверхні у 10,7 раза, порівняно з фазою першого трійчастого листка, відмічали у фазі наливу бобів. У вказаний період показник у досліді знаходився у межах 6,92–10,02 м²/м². У варіантах із внесенням мінеральних добрив його рівень зростав на 1,16–2,25 м²/м², або 15,8–30,7 % за показника у контрольному варіанті 7,33 м²/м². У варіантах із передпосівним обробленням насіння показник зростав лише на 0,14–0,46 м²/м², або на 1,7–5,6%, у варіантах із передпосівним обробленням і позакореневим підживленням рослин – на 0,59–0,71 м²/м², або 7,0–8,5% за рівня показника у контролі 8,39 м²/м².

Для формування максимальної врожайності зерна індекс листової поверхні культур має становити 4–5 м²/м² [113]. Проте, на думку

А.С. Кононова [81], показник може варіювати залежно від культури від 2 до 7 м²/м². Наприклад, для пшениці характерним є індекс листкової поверхні 2,5–4,0 м²/м², для гороху – 8,2–11,0 м²/м².

Результати наших досліджень показали, що індекс листкової поверхні сої максимальним (10,02 м²/м²) був у фазі наливу бобів у варіанті з внесенням N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀ (у фазі бутонізації), передпосівним обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруйником та позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом у фазі цвітіння, що сприяло інтенсифікації, зокрема, вегетативного росту та розвитку рослин.

Однак, збільшення листкової поверхні не завжди свідчить про підвищення врожайності культури. Ці два процеси тісно взаємопов'язані, зростання відбувається до певної межі, за перевищення якої велика площа листкової поверхні, внаслідок взаємного затінення, знижує інтенсивність фотосинтезу, в результаті чого зростає непродуктивна частина врожаю і зменшується продуктивна.

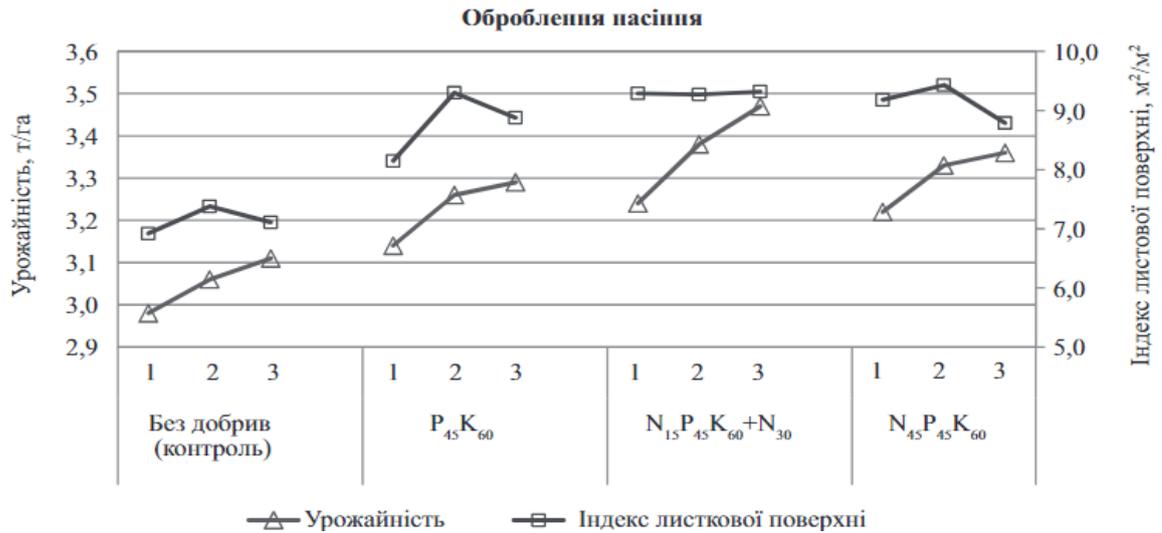
Найвищий рівень врожаю насіння сої відмічали у варіантах з індексом листкової поверхні на рівні 9,76–9,81 м²/м². У середньому за роки досліджень – це варіанти, які передбачали внесення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀ (у фазі бутонізації), передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем та протруйником, а також позакореневе підживлення рослин у фазі гілкування та бутонізації (рис. 4.7).

Проведений регресійний аналіз дає можливість розрахувати рівняння залежності врожайності насіння сої від показника індексу листкової поверхні у фазі наливу бобів, яке має вигляд:

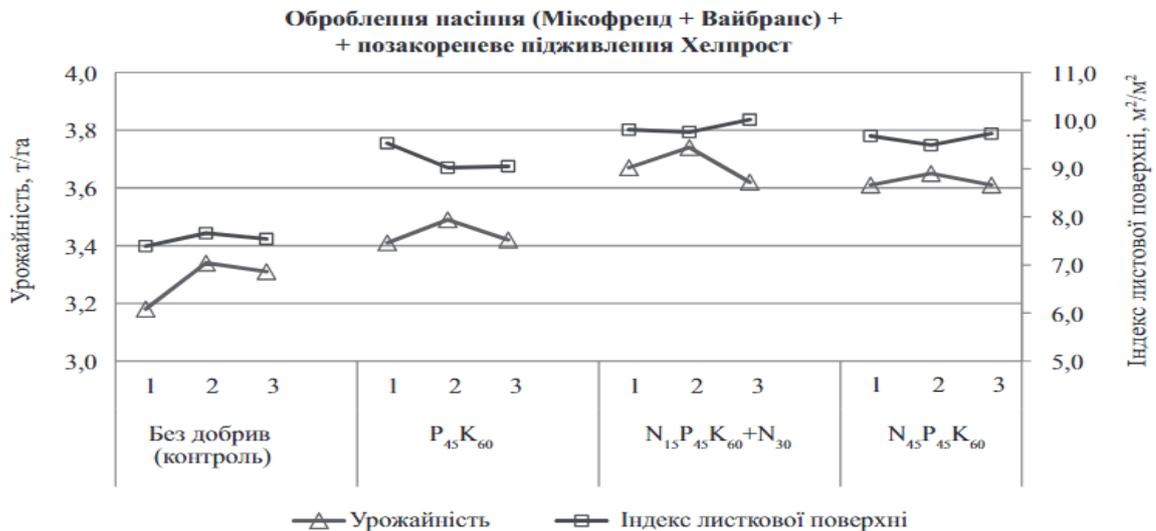
$$Y = 6,1456 - 0,8557X + 0,606X^2, \quad (4.1)$$

де Y – урожайність насіння, т/га;

X – індекс листкової поверхні рослин, м²/м².



Примітка: 1 – оброблення насіння водою (контроль); 2 – мікоризоутворювач; 3 – мікоризоутворювач + протруйник.



Примітка: Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі: 1 – гілкування, 2 – бутонізації, 3 – цвітіння.

Рис. 4.7. Індекс листкової поверхні рослин сої у фазі наливу бобів (м²/м²) і врожайність (т/га) залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр.

Крім рівняння, розраховано множинний коефіцієнт кореляції, який характеризує точність отриманих закономірностей ($R = 0,82$) та коефіцієнт детермінації, який є критерієм оцінки впливу фактору виражений у відсотках ($D = 67,24\%$). Доведена достовірність рівняння за критерієм Фішера (F), оскільки $F_{\text{факт.}}$ (21,60) значно вище табличного його значення ($F_{\text{табл.}} = 3,47$).

4.2. Динаміка формування фотосинтетичного потенціалу посівами сої

Фотосинтетичний потенціал посіву (ФПП) відображає час активної роботи листків на одиниці площі та характеризує потенційні фотосинтетичні можливості листкового апарату [6].

Як свідчить аналіз отриманих результатів досліджень, фотосинтетичний потенціал сої різнився упродовж періоду вегетації культури та значно залежав від досліджуваних агрозаходів (табл. 4.3) [38].

Таблиця 4.3

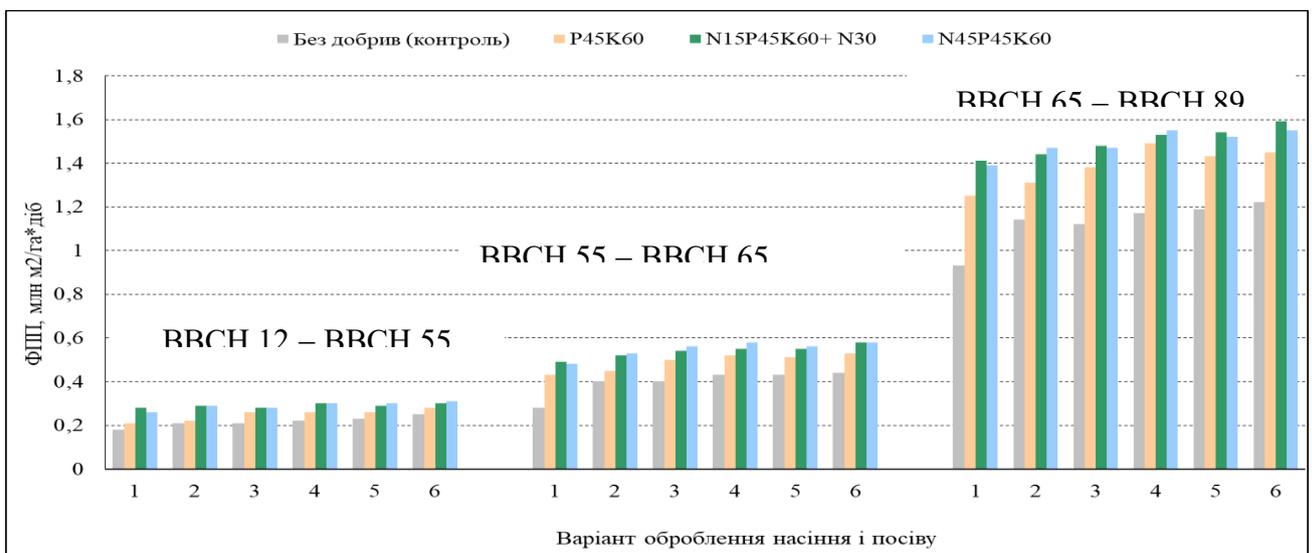
Фотосинтетичний потенціал посіву сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., млн м²/га×дів

Удобрєння	Міжфазний період	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:		
		оброблення водою (контроль)	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізація	цвітіння
1	2	3	4	5	6	7	8
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок – бутонізація	0,18	0,21	0,21	0,22	0,23	0,25
	бутонізація – цвітіння	0,28	0,40	0,40	0,43	0,43	0,44
	цвітіння – налив бобів	0,93	1,14	1,12	1,17	1,19	1,22
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок – бутонізація	0,21	0,22	0,26	0,26	0,26	0,28
	бутонізація – цвітіння	0,43	0,45	0,50	0,52	0,51	0,53
	цвітіння – налив бобів	1,25	1,31	1,38	1,49	1,43	1,45
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок – бутонізація	0,28	0,29	0,28	0,30	0,29	0,30
	бутонізація – цвітіння	0,49	0,52	0,54	0,55	0,55	0,58
	цвітіння – налив бобів	1,41	1,44	1,48	1,53	1,54	1,59

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок – бутонізація	0,26	0,29	0,28	0,30	0,30	0,31
	бутонізація – цвітіння	0,48	0,53	0,56	0,58	0,56	0,58
	цвітіння – налив бобів	1,39	1,47	1,47	1,55	1,52	1,55
V, %	1-й трійчастий листок – бутонізація	19,67	17,23	12,83	14,18	11,71	9,28
	бутонізація – цвітіння	23,08	12,92	14,24	12,46	11,53	12,40
	цвітіння – налив бобів	17,81	11,22	12,32	12,43	11,31	11,42

На початкових етапах росту та розвитку рослин сої – у міжфазний період від першого трійчастого листка до бутонізації, фотосинтетичний потенціал посіву був незначним і знаходився у межах від 0,18 до 0,31 млн м²/га×дів (рис. 4.8).



Примітка: 1 – оброблення насіння водою (контроль), 2 – оброблення насіння Мікофренд, 3 – оброблення насіння Мікофренд + Вайбранс, 4 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакоренеve підживлення Хелпрост Соя у фазі гілкування, 5 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакоренеve підживлення Хелпрост Соя у фазі бутонізації, 6 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакоренеve підживлення Хелпрост Соя у фазі цвітіння.

Рис. 4.8. Динаміка фотосинтетичного потенціалу посіву сої залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., млн м²/га×дів

Внесення мінеральних добрив сприяло зростанню показника на 0,03–0,06 млн м²/га×діб, або на 13,6–32,8% за його рівня на варіантах без добрив 0,22 млн м²/га×діб. Передпосівне оброблення насіння сприяло зростанню показника на 0,02–0,03 млн м²/га×діб, поєднання передпосівного оброблення насіння з позакореневим підживленням – на 0,04–0,06 млн м²/га×діб, або відповідно на 8,7–13,0 та 17,4–26,1% за показника у варіанті без оброблення та підживлення 0,23 млн м²/га×діб.

У міжфазний період від бутонізації до цвітіння рівень показника зростав у 1,8–2,5 рази, порівняно з попереднім періодом і становив 0,28–0,58 млн м²/га×діб. У цей період застосування мінеральних добрив сприяли зростанню фотосинтетичного потенціалу посіву на 0,09–0,15 млн м²/га×діб, або на 22,5–37,5% за рівня на варіантах без добрив 0,40 млн м²/га×діб. Передпосівне оброблення насіння сприяло зростанню показника на 0,06–0,08 млн м²/га×діб, передпосівне оброблення у поєднанні з позакореневим підживленням – на 0,09–0,11 млн м²/га×діб, або на 14,3–19,0% та 21,4–26,2% відповідно за показника у контрольному варіанті 0,42 млн м²/га×діб.

Максимальними показники фотосинтетичного потенціалу посіву сої відмічали у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» – від 0,93 до 1,59 млн м²/га×діб. У варіантах зі внесенням мінеральних добрив зростання показника становило 0,09–0,37 млн м²/га×діб, або 8,0–32,7% за рівня на варіанті без застосування мінеральних добрив у середньому 1,13 млн м²/га×діб. Передпосівне оброблення насіння сприяло зростанню показника на 0,09–0,11 млн м²/га×діб, поєднання передпосівного оброблення та позакореневого підживлення рослин – на 0,17–0,20 млн м²/га×діб, або відповідно на 7,2–8,8 та 13,6–16,0% за рівня у варіанті без оброблення насіння та обприскування рослин 1,25 млн м²/га×діб.

4.3. Динаміка формування чистої продуктивності посівів сої

Показник чистої продуктивності фотосинтезу посіву (ЧПФП) характеризує інтенсивність накопичення органічної речовини одиницею площі листкової поверхні за певний проміжок часу, та значною мірою визначає рівень сформованого врожаю. В агроценозі культури показник знаходиться в складній функціональній залежності від фази розвитку, асимілюючої поверхні та ступеня оптимізації умов вирощування.

Як свідчать отримані результати досліджень, показники чистої продуктивності фотосинтезу посіву істотно різнились залежно від досліджуваних агрозаходів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

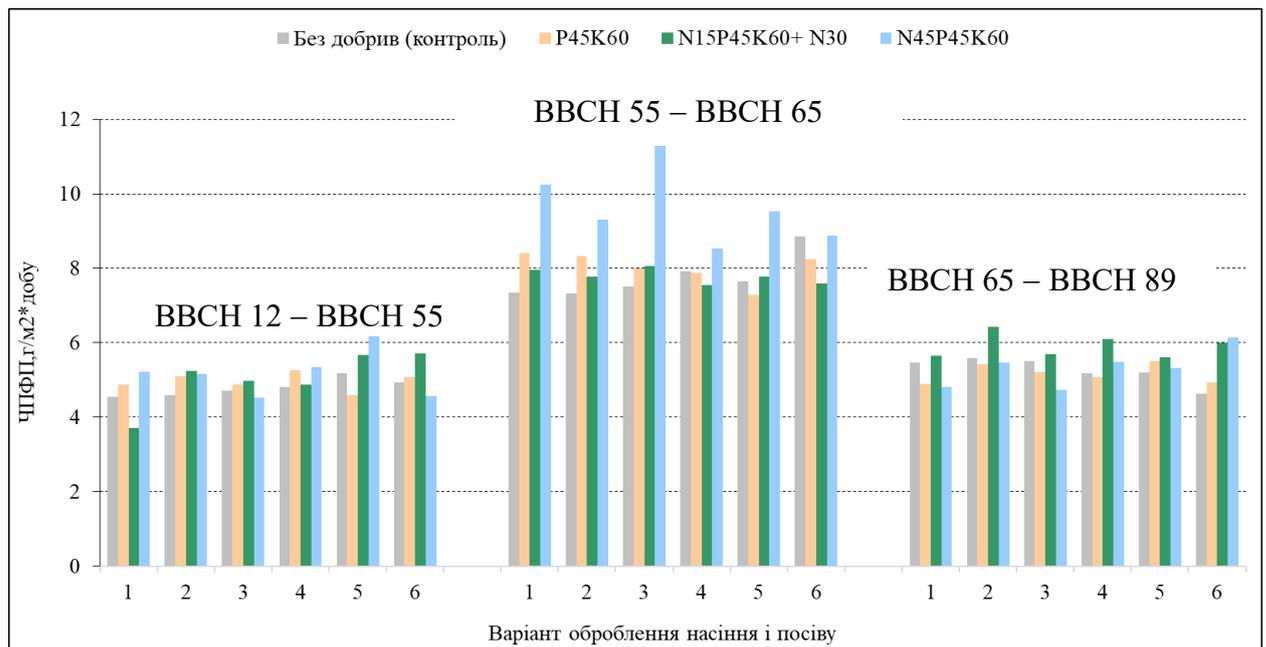
Чиста продуктивність фотосинтезу посіву сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/м²×добу

Удобрєння	Міжфазний період	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:		
		оброблення водою (контроль)	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізація	цвітіння
1	2	3	4	5	6	7	8
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок – бутонізація	4,54	4,58	4,71	4,82	5,17	4,93
	бутонізація – цвітіння	7,34	7,32	7,51	7,91	7,65	8,86
	цвітіння – налив бобів	5,46	5,58	5,51	5,17	5,19	4,63
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок-бутонізація	4,88	5,09	4,88	5,27	4,58	5,08
	бутонізація-цвітіння	8,41	8,32	8,00	7,88	7,28	8,25
	цвітіння-налив бобів	4,90	5,42	5,22	5,08	5,50	4,93

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок- бутонізація	3,71	5,25	4,97	4,88	5,67	5,72
	бутонізація-цвітіння	7,95	7,77	8,07	7,54	7,77	7,60
	цвітіння-налив бобів	5,64	6,43	5,68	6,10	5,60	5,99
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок- бутонізація	5,22	5,15	4,52	5,34	6,21	4,57
	бутонізація-цвітіння	10,25	9,31	11,29	8,52	9,53	8,87
	цвітіння-налив бобів	4,82	5,47	4,74	5,49	5,32	6,13
V, %	1-й трійчастий листок- бутонізація	14,1	6,0	4,2	5,2	12,9	9,5
	бутонізація-цвітіння	14,8	10,5	19,9	5,1	12,5	7,2
	цвітіння-налив бобів	9,2	8,3	7,8	8,5	3,4	13,9

У міжфазний період від першого трійчастого листка до бутонізації показник чистої продуктивності фотосинтезу знаходився у межах від 3,61 до 6,21 г/м²×добу (рис. 4.9).



Примітка: 1 – оброблення насіння водою (контроль), 2 – оброблення насіння Мікофренд, 3 – оброблення насіння Мікофренд + Вайбранс, 4 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі гілкування, 5 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі бутонізації, 6 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі цвітіння.

Рис. 4.9. Динаміка показника чистої продуктивності фотосинтезу сої залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., г/м²×добу

Внесення мінеральних добрив сприяло зростанню показника у середньому на 0,83–1,04 г/м²×добу за його рівня на варіантах без внесення добрив 4,13 г/м²×добу, або на 20,1–25,2%. Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем та мікоризоутворювачем із протруйником сприяло збільшенню показника на 1,43 і 1,18 г/м²×добу, або 39,8 і 32,9%, порівняно його рівнем на варіантах без оброблення насіння 3,59 г/м²×добу.

У міжфазний період від бутонізації до цвітіння відмічали зростання чистої продуктивності фотосинтезу в 1,6–1,8 раза, порівняно з попереднім періодом. Рівень показника був максимальним і знаходився у межах від 7,28 до 11,29 г/м²×добу. Інтенсивність накопичення органічної речовини у вказаний міжфазний період значно залежала від норми мінеральних добрив. На варіантах зі внесенням лише фосфорних і калійних добрив у нормі P₄₅K₆₀ відмічали зростання показника на 0,25 г/м²×добу, або на 3,2%, порівняно з варіантом без внесення добрив, де його рівень становив 7,77 г/м²×добу. За внесення мінеральних добрив N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀ показник чистої продуктивності фотосинтезу посіву формувалася у середньому на рівні варіанту без застосування добрив. Це можливо пояснити тим, що внесення азотних добрив у фазі бутонізації стимулювало інтенсифікацію процесів росту і розвитку рослин сої, а не накопичення органічної речовини. У варіантах зі внесенням N₄₅P₄₅K₆₀ відмічали зростання показника на 1,86 г/м²×добу, або на 23,9%, порівняно з варіантами без добрив. У вказаний період передпосівне оброблення насіння та проведення позакореневого підживлення рослин не сприяли інтенсифікації процесу накопичення органічної речовини, про що свідчать отримані результати досліджень. Виключенням був лише варіант із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворювачем у поєднанні з протруйником, де відмічали зростання показника на 0,23 г/м²×добу, або 2,7% за його рівня на варіанті без оброблення насіння 8,49 г/м²×добу.

У міжфазний період «цвітіння – налив бобів» рівень показника чистої продуктивності посіву знизився в 0,6–0,8 раза, порівняно з періодом

«бутонізація – цвітіння» і знаходився у межах від 4,63 до 6,13 г/м²×добу. Інтенсивність накопичення органічної речовини значно залежала від норми добрив, унесених під культуру. У варіантах досліду з внесенням P₄₅K₆₀ відмічали зниження рівня показника на 0,08 г/м²×добу, або на 1,5% за показника на варіанті без добрив 5,26 г/м²×добу, що можливо пояснити незбалансованістю живлення рослин. У варіантах із внесенням N₄₅P₄₅K₆₀ відмічали підвищення показника чистої продуктивності фотосинтезу посіву лише на 0,07 г/м²×добу, або 1,3%, а за внесення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀ – на 0,65 г/м²×добу, або на 12,4%, порівняно з варіантом без добрив. Передпосівне оброблення насіння у вказаний міжфазний період сприяло зростанню показника на 0,08–0,52 г/м²×добу, або на 1,5–10,0%, передпосівне оброблення з подальшим позакореневим підживленням – на 0,19–0,25 г/м²×добу, або 3,6–4,8%, порівняно з варіантом без оброблення насіння (5,21 г/м²×добу).

За А.С. Кононовим [81], значення показника чистої продуктивності фотосинтезу посіву 4–6 г/м²×добу вважається середнім, можливо отримати показник на рівні 15–20 г/м²×добу, а теоретично він може сягати навіть 35 г/м²×добу.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що у міжфазні періоди «перший трійчастий листок – бутонізація» та «цвітіння – налив бобів» показник чистої продуктивності фотосинтезу посівів сої у середньому за роки досліджень був на рівні середнього, у міжфазний період «бутонізація – цвітіння» – на рівні високого значення.

Максимальні показники чистої продуктивності у досліді у міжфазні періоди «перший трійчастий листок – бутонізація» та «бутонізація – цвітіння» відмічали за внесення мінеральних добрив у дозі N₄₅P₄₅K₆₀. У варіантах, які передбачали перенесення частини норми азотних добрив у підживлення (N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀), найвищими показники були у міжфазний

період «цвітіння – налив бобів», що пояснюється подовженням періоду функціонування листкового апарату рослин.

Висновки до Розділу 4

1. Встановлено позитивний вплив систем удобрення, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом як окремо, так і в поєднанні з протруювачем, та підживлення рослин у критичні фази розвитку мікродобривом на наростання площі листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал посіву та показники чистої продуктивності фотосинтезу посіву сої упродовж періоду вегетації.

2. Найкращі умови для наростання площі листкової поверхні рослин сої сорту Муза, яка у фазі наливу бобів досягала максимального значення 1707,5 см²/рослину, формувалися з передпосівною обробкою насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруювачем та підживленням рослин у період цвітіння на фоні внесення N₄₅P₄₅K₆₀, що перевищувало абсолютний контроль на 16%.

3. Встановлено, що найвищі значення показника індексу листкової поверхні сої у фазі наливу бобів 9,76–10,02 м²/м² були у варіантах, які передбачали внесення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀ (у фазі бутонізації), передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем та протруйником, а також позакореневе підживлення рослин. При цьому найвищий рівень врожайності насіння сої був у варіантах з індексом листкової поверхні на рівні 9,81 і 9,76 м²/м² і площею листкової поверхні 1662,7 і 1682,8 см²/рослину відповідно за внесення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворювачем та протруйником та позакореневого підживлення рослин у фазі гілкування та бутонізації.

4. Передпосівна обробка насіння мікоризоутворювачем і протруйником та позакореневого підживлення органічно-мінеральним добривом рослин сої у критичні періоди на фоні внесення N₄₅P₄₅K₆₀ забезпечило найвищий фотосинтетичний потенціал посівів у міжфазний період «1-ий трійчастий

листок – бутонізація» і «бутонізація – цвітіння» з перевищенням абсолютного контролю в 1,7 раза і 2,0 рази, у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ – в 1,7 раза.

5. Найвищі показники чистої продуктивності у досліді у міжфазні періоди «1-ий трійчастий листок – бутонізація» та «бутонізація – цвітіння» формувалися за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{45}P_{45}K_{60}$ 4,52–6,21 г/м²×добу і 8,52–11,28 г/м²×добу. У варіантах, які передбачали перенесення частини норми азотних добрив у підживлення ($N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$), найвищими показники були у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» – 5,60–6,43 г/м²×добу, що свідчить про подовження періоду функціонування листкового апарату рослин.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [38, 39, 40].

РОЗДІЛ 5.

СИМБІОТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ РОСЛИН І ПОСІВІВ СОЇ ЗА РІЗНИХ ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

Серед багатьох переваг рослин сої є здатність до симбіозу з бульбочковими бактеріями та фіксація азоту атмосфери. Загалом формування бульбочок на коренях бобових культур є результатом двох тісно скоординованих процесів: органогенного процесу, який формує та розвиває орган бульбочки, та інфекційного процесу, що опосередковує колонізацію бактерій [243].

Завдяки симбіотичній азотфіксації бобові культури відіграють важливу роль у підтриманні позитивного балансу азоту в землеробстві [118, 157, 236]. Цей симбіоз є найбільш ефективною системою біологічної азотфіксації на нашій планеті, яка має виключно важливе екологічне та практичне значення, та надає бобовим рослинам перевагу серед інших видів рослин у забезпеченні азотом та оцінюється у $8,0 \times 10^{10}$ кг шляхом фіксації в середньому 20–200 кг N/га/рік [214, 228, 278]. За оптимальних умов рослини сої можуть фіксувати 180 кг/га азоту та більше, залишаючи після себе 25–40 кг/га його для наступних культур у сівозміні [122].

Ефективність соєво-ризобіального симбіозу визначають за нодуляційною (кількістю утворених на коренях бульбочок та їхньою масою) та азотфіксувальною активністю, яка залежить від низки екологічних та агротехнологічних чинників [8, 83, 86, 117, 147, 253].

Наразі увага вчених зосереджена на підвищенні азотфіксувальної здатності сої за рахунок застосування нових видів біопрепаратів та мінімізації негативної дії екстремальних погодних умов, пестицидів та ін. чинників на симбіотичну діяльність сої. З цією метою ми досліджували ефективність функціонування симбіотичної системи рослин сої сорту Муза

за застосування різних агрозаходів за кількістю і масою сформованих бульбочок, у т.ч. активних, та загальним симбіотичним потенціалом посівів.

5.1. Динаміка утворення бульбочок та їх маси на корінні сої

Важливим показником, який характеризує інтенсивність засвоєння атмосферного азоту бобовими культурами, у т.ч. сої, є кількість та маса бульбочок на одній рослині. Підрахунок загальної кількості бульбочок, а серед них активних, дає змогу оцінити потенційні можливості симбіотичної фіксації азоту рослин залежно від впливу чинників навколишнього середовища та застосованих агрозаходів. Також під час аналізування симбіотичного апарату рослин визначають сиру масу активних бульбочок на коренях, оскільки саме активні бульбочки відповідають за фіксацію атмосферного азоту, в той час як загальна кількість бульбочок лише свідчить про потенційну здатність фіксувати азот атмосфери.

Результати наших досліджень показали збільшення загальної кількості бульбочок на рослинах сої за варіантами досліду в процесі вегетації. Так, у фазі 1-й трійчастий листок на одній рослині сої виявлено загальну кількість бульбочок 3,8–8,5 шт., бутонізації – 7,3–16,3 шт., цвітіння – 11,4–21,0 шт., наливу бобів – 37,4–49,1 шт. (Додаток Б.1). Варто зазначити, що бульбочки в основному розміщувалися на головному корені та бічних розгалуженнях першого порядку. За забарвленням бульбочки були темно-рожевого кольору, що свідчить про високу азотфіксувальну активність. Дрібніші за розміром бульбочки розташовувалися по всій кореневій системі та мали менш яскравий колір.

Більш важливим для оцінювання симбіотичного апарату рослин є встановлення закономірностей формування кількості активних бульбочок на коренях сої та їх сирої маси [258]. У наших варіантах досліду частка активних бульбочок на одній рослині сої у загальній їх кількості становила у фазі 1-го трійчастого листка – 91–98% (3,6–8,1 шт./роsl.), бутонізації – 93–

99% (7,0–15,6 шт./росл.), цвітіння – 96–99% (10,9–20,6 шт./росл.), наливу бобів – 98–99% (37,1–48,4 шт./росл.) (Додаток Б.1).

Загальна кількість бульбочок на початку вегетації сої у фазі 1-го трійчастого листка (ВВСН 12) була на доволі низькому рівні і в абсолютному контролі становила 3,8 шт./росл., а їх маса – 0,44 г/10 росл., а кількість активних бульбочок – 3,6 шт./росл. із масою – 0,42 г/10 росл. (рис. 5.1, Додаток Б.2).

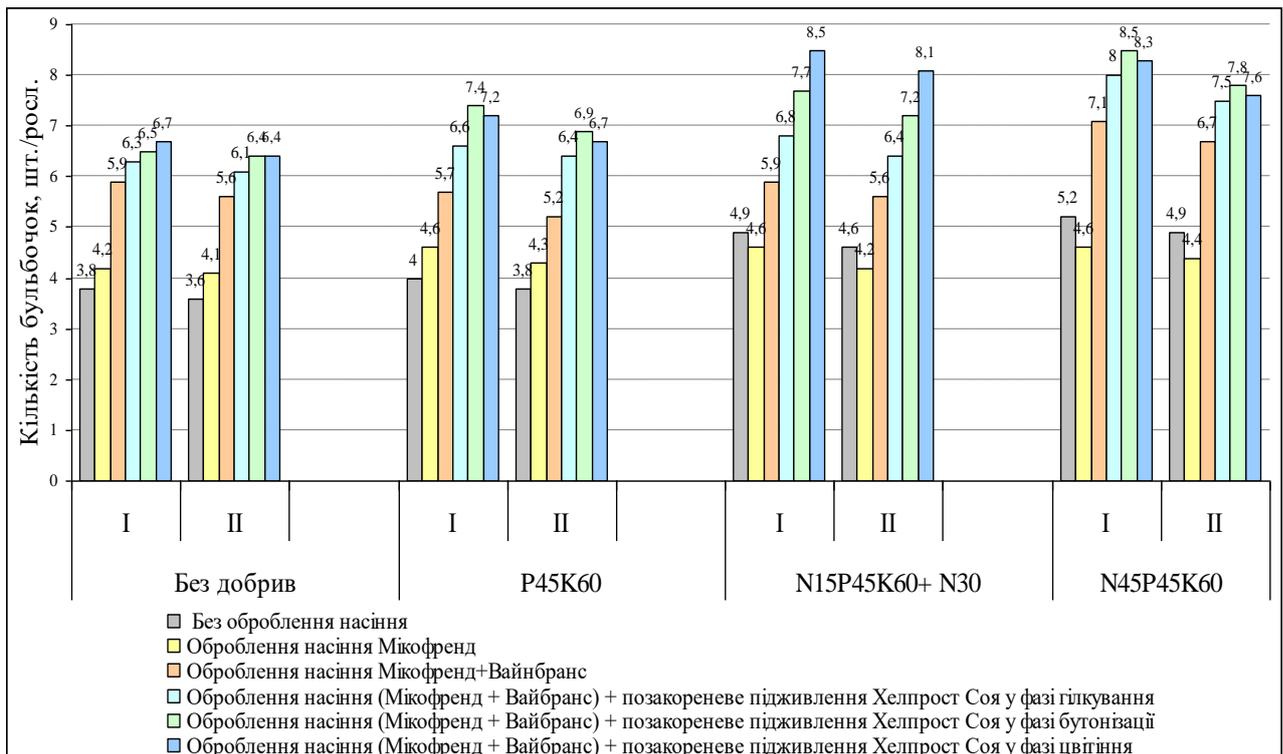


Рис. 5.1. Загальна кількість (I) та кількість активних (II) бульбочок рослин сої у фазі 1-го трійчастого листка (ВВСН 12) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., шт./росл.

Внесені мінеральні добрива не пригнічували процес формування бульбочок на рослинах сої на початку онтогенезу і в середньому за 2021–2023 рр. забезпечили зростання показника загальної кількості бульбочок на 0,2–1,4 шт./росл. (або на 5–37%), активних бульбочок – на 0,2–1,3 шт./росл. (або на 6–36%). Найбільшу їх загальну кількість 5,2 шт./росл., серед яких 4,9 шт./росл. – активні бульбочки, у середньому відмічали у варіанті з удобренням N₄₅P₄₅K₆₀.

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим біопрепаратом у варіанті без унесення добрив збільшило загальну кількість бульбочок до 4,2 шт./роsl., або на 10,5%, а в поєднанні з протруйником – до 5,9 шт./роsl., або на 55,3% порівняно з абсолютним контролем. На фоні внесення мінеральних добрив передпосівне оброблення насіння біопрепаратом зумовило підвищення даного показника на 10%, а в поєднанні з протруйником – було на рівні контролю (без добрив) або навіть нижче нього. Кількість активних бульбочок у варіанті з обробленням насіння біопрепаратом була на рівні 4,2–4,4 шт./роsl., а за поєднання з протруйником – збільшувалась до 5,2–6,7 шт./роsl. залежно від варіанту удобрення.

У варіантах досліді із передпосівним обробленням насіння з наступним проведенням позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування виявлено зростання загальної кількості бульбочок на рослині – на 0,3–1,7 шт./роsl., або 5–27% порівняно з варіантом без удобрення, у фазі бутонізації – на 0,9–2,0 шт./роsl., або на 14–31%, у фазі цвітіння – на 0,5–1,8 шт./роsl., або на 7–27%. У цих варіантах досліді фіксували найвищу кількість активних бульбочок на рослинах сої: 6,1–6,4 шт./роsl. – у варіанті без добрив, 6,4–6,9 шт./роsl. – за внесення $P_{45}K_{60}$, 6,4–8,1 шт./роsl. – за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, 7,5–7,8 шт./роsl. – за внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$.

Варто зазначити, що застосовані агрозаходи позитивно впливали на масу бульбочок на корінні сої, особливо за передпосівного оброблення насіння біопрепаратом, або за поєднання з протруювачем на фоні удобрення $P_{45}K_{60}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$. У цих варіантах досліді сира маса бульбочок зросла в 1,30–1,57 і 1,23–1,73 рази порівняно з абсолютним контролем і становила на фоні $P_{45}K_{60}$ 0,57 г/10 роsl. та 0,69 г/10 роsl., на фоні $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 0,56 г/10 роsl. та 0,76 г/10 роsl. відповідно (рис. 5.2). Маса активних бульбочок на фоні $P_{45}K_{60}$ від обробленого насіння зросла в 1,31–1,52 рази і становила 0,55 та 0,64 г/10 роsl., на фоні $N_{45}P_{45}K_{60}$ – зросла в 1,21–1,71 рази і становила 0,51 г/10 роsl. та 0,72 г/10 роsl. (в абсолютному контролі – 0,42 г/10 роsl.).

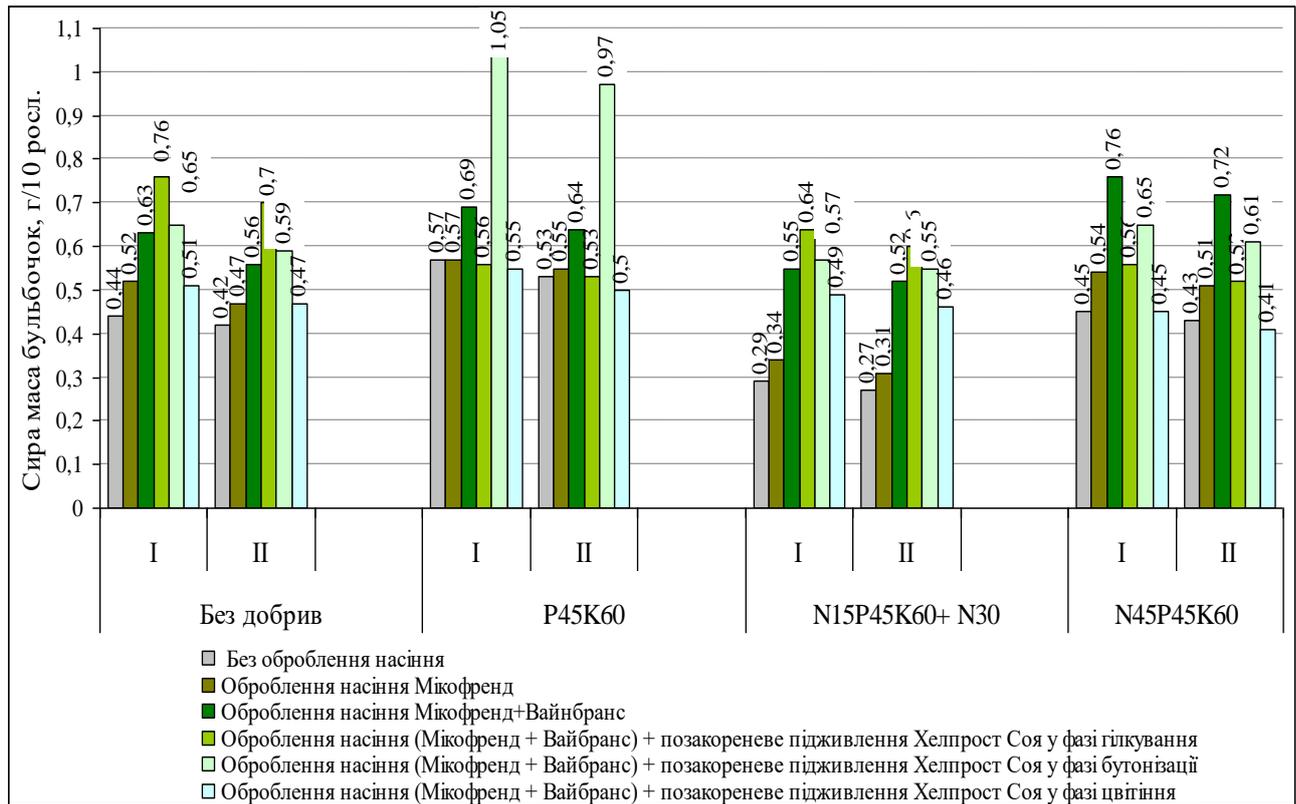


Рис. 5.2. Загальна маса (І) та маса активних (ІІ) бульбочок на рослині сої у фазі 1-го трійчастого листка (BBCH 12) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., г/10 росл.

Як свідчать дані рис. 5.2, найбільш сприятливі умови для формування загальної маси бульбочок (1,05 г/10 росл.) і маси активних бульбочок (0,97 г/10 росл.) були у варіанті з внесенням фосфорно-калійних добрив та за сумісної дії оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом із протруювачем та підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації, що перевищувало абсолютний контроль у 2,4 і 2,3 раза відповідно.

У фазі бутонізації (BBCH 51–59) загальна кількість бульбочок на рослинах сої у досліді зростала до 7,3–16,3 шт./росл., активних бульбочок – до 7,0–15,6 шт./росл., а їх маса – до 0,82–2,31 г/10 росл. і 0,75–2,25 г/10 росл. відповідно (рис. 5.3, Додаток Б.1, Б.2).

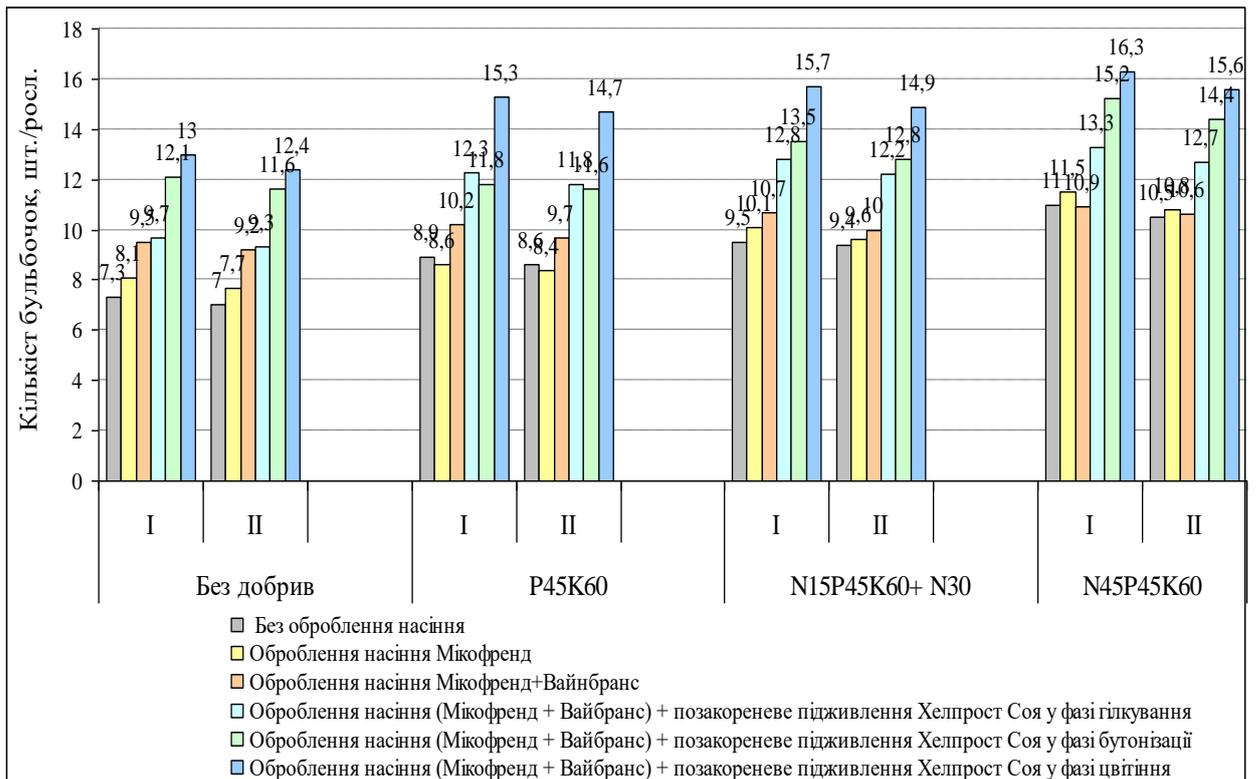


Рис. 5.3. Загальна кількість (I) та кількість активних (II) бульбочок рослин сої у фазі бутонізації (BBCH 51–59) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., шт./росл.

На цьому етапі онтогенезу рослин мінеральні добрива не знижували ефективності соєво-ризобіальних систем, а навпаки сприяли зростанню загальної кількості бульбочок на рослинах на 1,6–3,7 шт./росл., або на 22–51%. Утворення більшої кількості бульбочок у цих варіантах досліджу може бути пояснена кращою забезпеченістю рослин азотом та відповідно вищою концентрацією азоту в пагонах рослин, що також було виявлено в інших дослідженнях [212, 227, 233]. Так, у варіанті досліджу з удобренням $N_{45}P_{45}K_{60}$ загальна кількість бульбочок була максимальною і збільшувалась до 11,0 шт./росл. (проти 7,3 шт./росл. в абсолютному контролі), а активних бульбочок – до 10,5 шт./росл. Їх маса відповідно становила 1,01 і 0,97 г/10 росл., що було в 1,23 і 1,29 раза більше, ніж в абсолютному контролі (рис. 5.4).

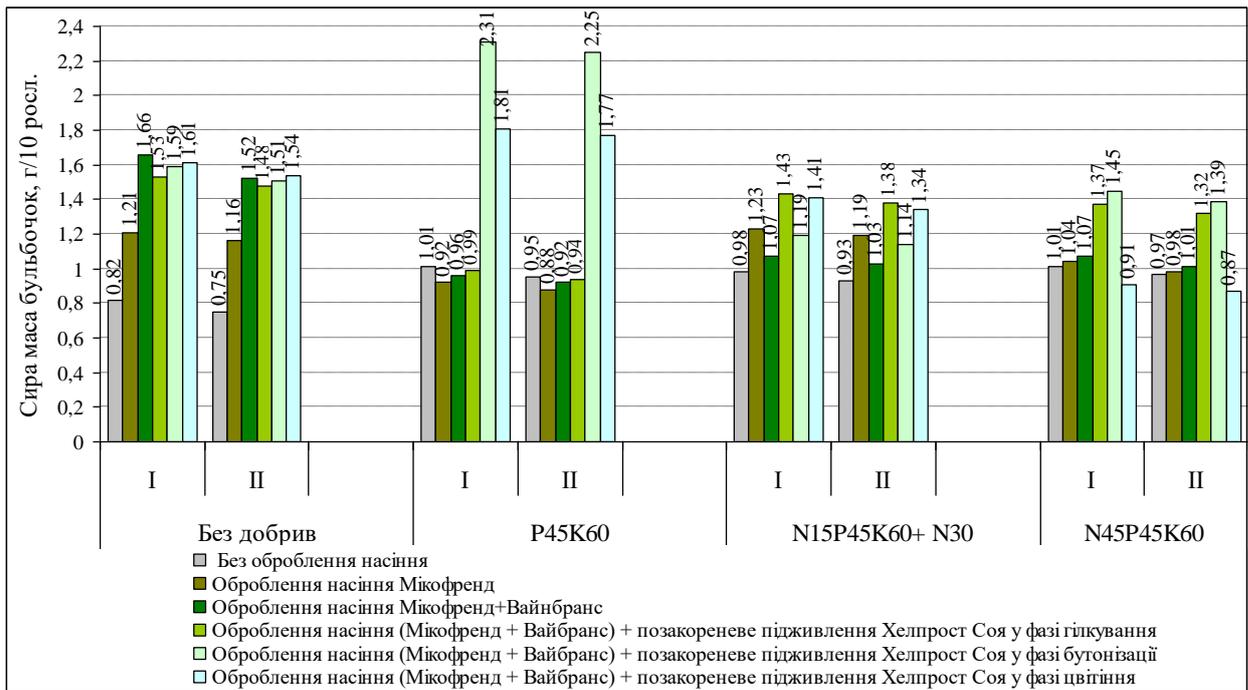


Рис. 5.4. Загальна маса (I) та маса активних (II) бульбочок на рослині сої у фазі бутонізації (ВВСН 51–59) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., г/10 росл.

У варіантах досліду із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом загальна кількість бульбочок на рослинах сої збільшувалась на 0,5–3,4 шт./росл, активних бульбочок – на 0,2–0,7 шт./росл., а за поєднання біопрепарату з протруйником – на 0,7–1,4 шт./росл. та 0,3–0,7 шт./росл. відповідно залежно від варіанту удобрення (рис. 5.3, Додаток Б.1). Варто відмітити, що у варіантах із внесенням $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ виявляли високу нодуляційну здатність (загальну кількість бульбочок і активних бульбочок, їх сиру масу), що перевищувало абсолютний контроль у середньому в 1,3–1,6 раза.

Найбільший позитивний ефект у фазі бутонізації на формування симбіотичних структур на рослинах сої виявлено за передпосівного оброблення насіння з поєднанням із позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$, що зумовило збільшення загальної кількості

бульбочок до 12,8–15,7 шт./росл. і 13,3–16,3 шт./росл., а їх маси – до 1,19–1,43 г/10 росл. і 0,91–1,45 г/10 росл. (в абсолютному контролі – 7,3 шт./росл. і 0,82 г/10 росл. відповідно).

Варто зазначити, що найбільшу кількість активних бульбочок на рослинах сої виявлено за вирощування сої із передпосівним обробленням насіння та з позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі цвітіння на фоні внесення мінеральних добрив 14,7–15,6 шт./росл., а найбільшу масу активних бульбочок виявлено у варіантах позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації – 2,25 г/10 росл. і 1,77 г/10 росл. відповідно (див. рис. 5.4, Додаток В.2).

У наступну фазу вегетації рослин (цвітіння ВВСН 60–69) загальна кількість бульбочок на корінні сої збільшувалась до 11,4–21,0 шт./росл., активних бульбочок – до 10,9–20,6 шт./росл. (рис. 5.5).

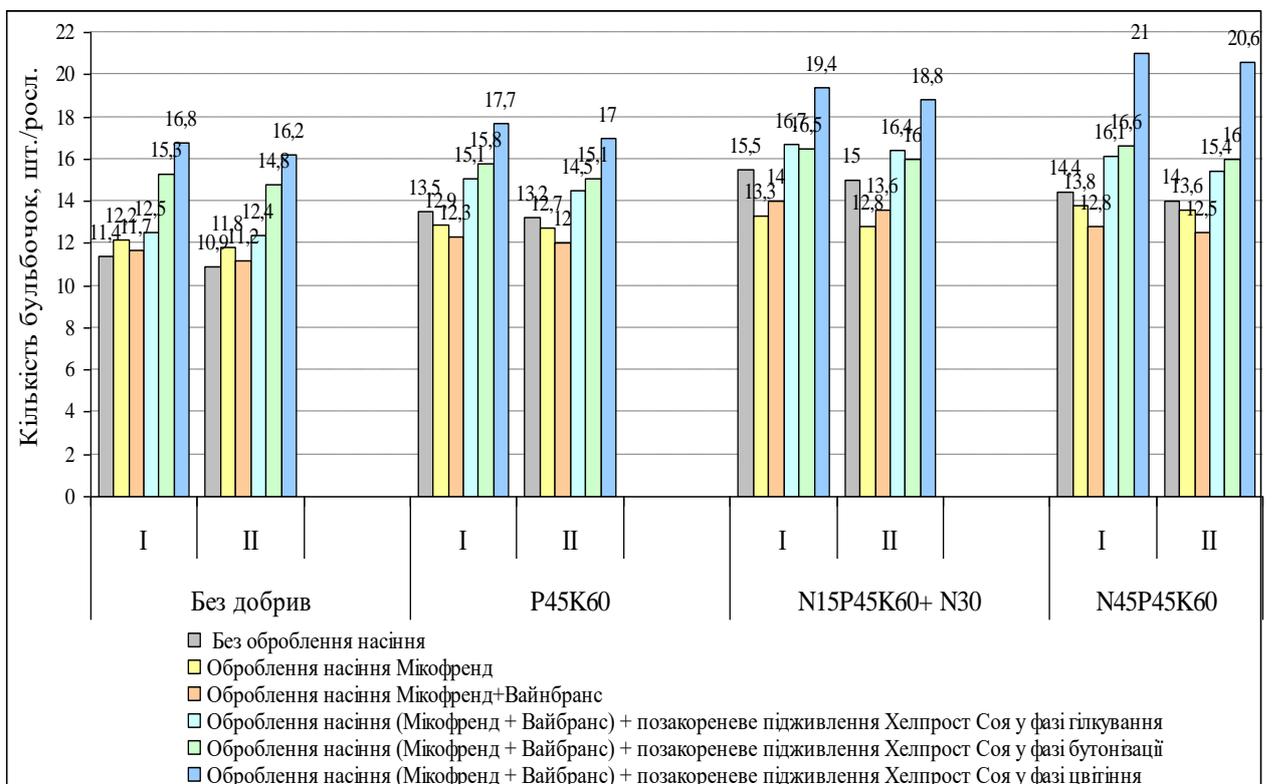


Рис. 5.5. Загальна кількість (I) та кількість активних (II) бульбочок рослин сої у фазі цвітіння (ВВСН 60–69) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., шт./росл.

Найбільшу їх кількість обліковували у варіантах з обробленням насіння та позакореневим підживленням рослин сої у фазі цвітіння (рис. 5.6), а перевищення абсолютного контролю становило на фоні без удобрення – в 1,5 раза, з удобренням $P_{45}K_{60}$ – в 1,6, $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – в 1,7, $N_{45}P_{45}K_{60}$ – в 1,8 раза.



а – контроль

б – оброблення насіння
(Мікофренд+Вайбранс) +
позакореневе підживлення у фазі цвітіння

Рис. 5.6. Зовнішній вигляд кореневої системи рослин сої з бульбочками

У цій фазі (ВВСН 60–69) виявлено пригнічувальний ефект протруйника на процеси формування і функціонування симбіотичної системи, про що свідчить зменшення загальної кількості бульбочок та кількості активних бульбочок на корінні сої у варіантах з поєднанням мікоризоутворюючого препарату і протруйника на фоні внесення мінеральних добрив. Так, у варіанті з удобренням $P_{45}K_{60}$ загальна кількість бульбочок і активних бульбочок за оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом сумісно з протруювачем становила відповідно 12,3 і 12,0 шт./росл., що було на 1,2 шт./росл. (або на 9%) менше, ніж у варіанті без оброблення насіння (13,5 і 13,2 шт./росл. відповідно). Аналогічно, у варіанті з удобренням $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ фіксували зменшення на корінні сої загальної кількості бульбочок до 14,0 шт./росл. і активних бульбочок до 13,6 шт./росл., тобто на 1,5 шт./росл. (на 10%) і 1,4 шт./росл. (на 9%) порівняно з варіантом

без оброблення насіння (15,5 і 15,0 шт./росл. відповідно). На фоні внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$ загальна кількість бульбочок зменшилась до 12,8 шт./росл., активних бульбочок – 12,5 шт./росл., тобто на 11% порівняно з варіантом без оброблення насіння (14,4 і 14,0 шт./росл. відповідно). Однак, не виявлено у цих варіантах досліду зменшення показника сирової маси бульбочок (загальної і активних) (рис. 5.7). Натомість на корінні сої, вирощеної з обробленого насіння біопрепаратом і протруйником на фоні без удобрення сира маса бульбочок збільшувалась на 10%, активних бульбочок – на 9% порівняно з абсолютним контролем і становила відповідно 1,96 г/10 росл. і 1,88 г/10 росл. У варіантах із внесенням мінеральних добрив маса бульбочок була значно більшою і зростала за внесення $P_{45}K_{60}$ до 3,25 г/10 росл., активних бульбочок – до 3,16 г/10 росл., тобто на 83% порівняно з абсолютним контролем, за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – до 3,00 і 2,90 г/10 росл. відповідно, або на 69%, за внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$ – до 1,91 і 1,86 г/10 росл. відповідно, або на 7–8%.

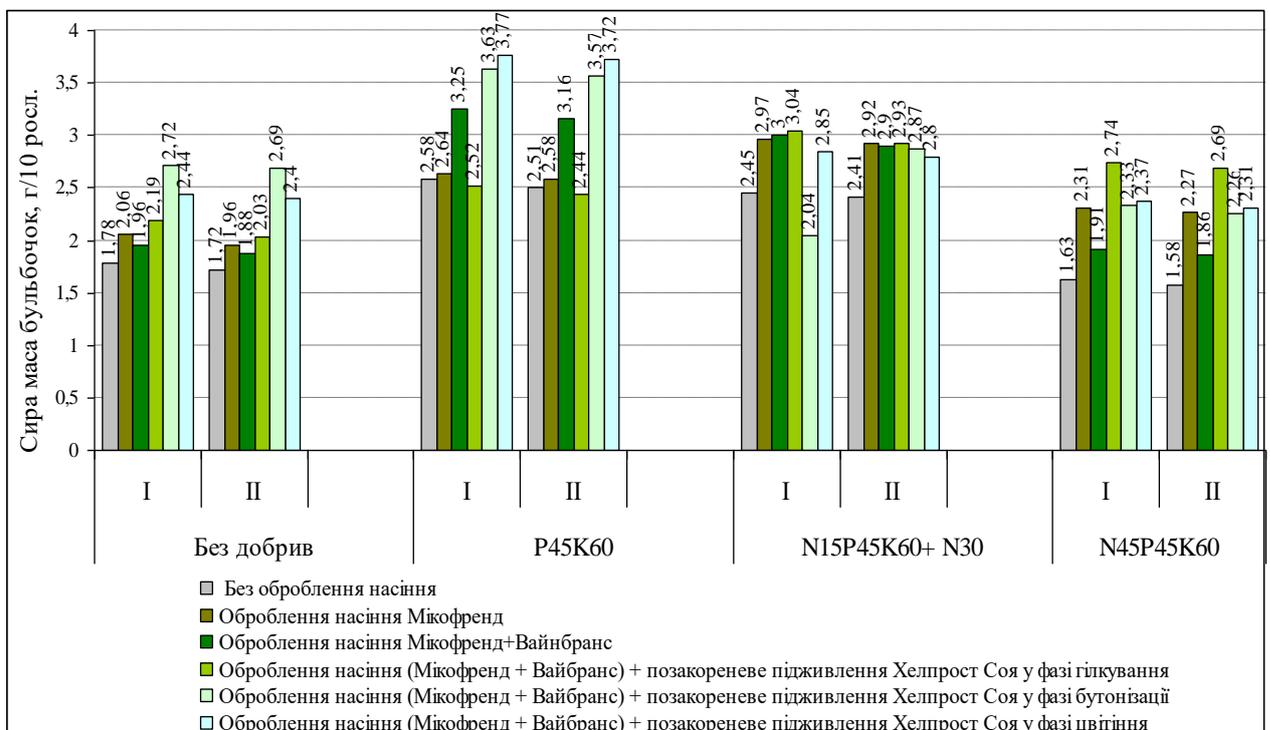


Рис. 5.7. Загальна маса (І) та маса активних (ІІ) бульбочок на рослині сої у фазі цвітіння (ВВСН 60–69) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., г/10 росл.

Маса бульбочок на корінні сої у фазі цвітіння (ВВСН 60–69) найбільше зростала у варіантах з обробленням насіння та позакореневим підживленням рослин сої органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя (див. рис. 5.7). За підживлення рослин у фазі гілкування органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя перевищення абсолютного контролю за показником загальної маси бульбочок у варіанті без удобрення було в 1,23 раза, а масою активних бульбочок – в 1,18 раза, з удобренням $P_{45}K_{60}$ – в 1,42 раза, $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – в 1,71 і 1,70 раза, $N_{45}P_{45}K_{60}$ – в 1,54 і 1,56 раза відповідно.

За підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації перевищення абсолютного контролю за показником маси бульбочок у варіанті без удобрення було в 1,53 раза, а масою активних бульбочок – в 1,56 раза, з удобренням $P_{45}K_{60}$ – в 2,04 і 2,08 раза, $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – в 1,15 і 1,67 раза, $N_{45}P_{45}K_{60}$ – в 1,31 раза відповідно.

За підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі цвітіння виявлено найвищі показники маси бульбочок на корінні сої у варіантах із внесенням мінеральних добрив. Так, у варіанті з удобренням $P_{45}K_{60}$ сира маса бульбочок була найвищою і сягала 3,77 г/10 росл., активних бульбочок – 3,72 г/10 росл., що в 2,12 і 2,16 раза відповідно перевищувало абсолютний контроль. У варіанті з удобренням $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ перевага над абсолютним контролем за показником сирої маси бульбочок була на рівні 60%, за показником маси активних бульбочок – 63%, у варіанті $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 33% і 34% відповідно.

Встановлено, що впродовж вегетації сої кількість бульбочок на корінні досягала максимуму у фазі наливу бобів (ВВСН 89) і становила 37,4–49,1 шт./росл., серед яких 37,1–48,4 шт./росл. – активні бульбочки (рис. 5.8).

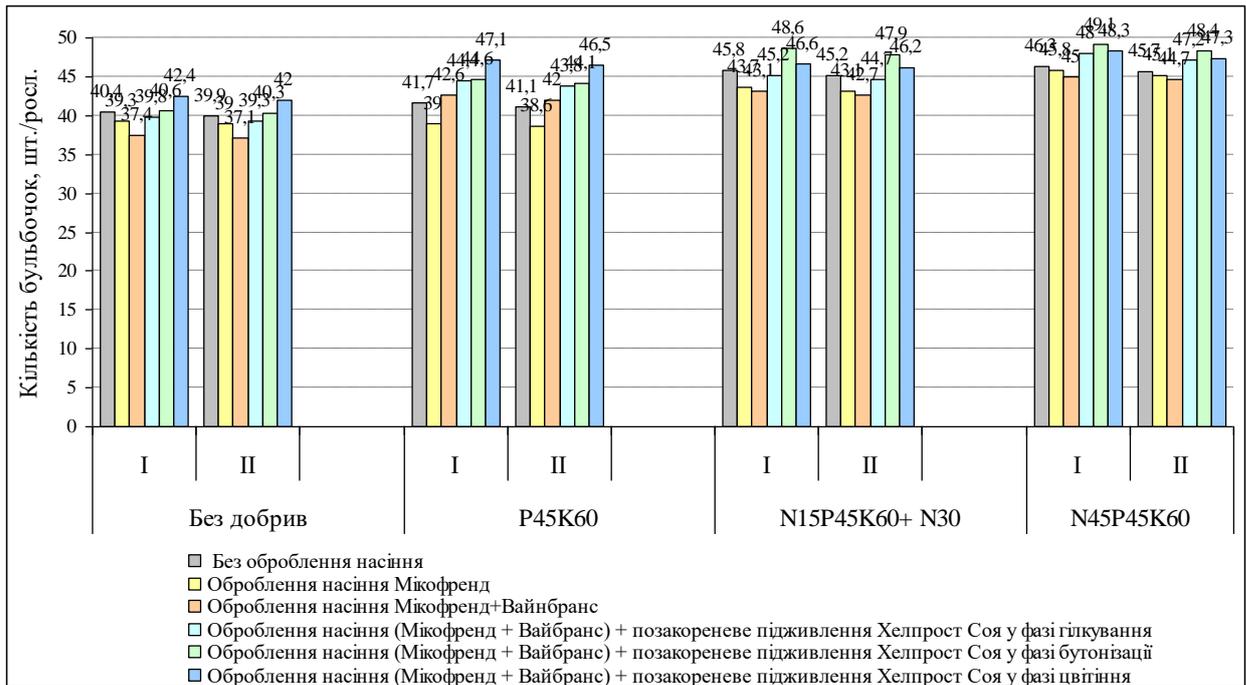


Рис. 5.8. Загальна кількість (I) та кількість активних (II) бульбочок рослин сої у фазі наливу бобів (VBSH 89) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., шт./роsl.

Необхідно відмітити, що найменшу кількість бульбочок (37,4 шт./роsl.), що було на 7% менше за абсолютний контроль, виявлено за поєднання біопрепарату і протруювача та вирощування сої на фоні без внесення добрив.

Встановлено, що найбільший позитивний ефект на бульбочкоутворення впродовж періоду вегетації на рослинах сої було за передпосівного оброблення насіння з поєднанням із позакореневим підживленням рослин мікродобривом у фазі бутонізації та цвітіння і залежало від удобрення. Так, підживлення рослин сої у фазі бутонізації на фоні удобрення $P_{45}K_{60}$ сприяло збільшенню на 4,2 шт./роsl. (або на 10%) загальної кількості бульбочок і активних бульбочок порівняно з абсолютним контролем, на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – на 8,2 і 8,0 шт./роsl. (або на 20%). Варто зазначити, що найбільшу загальну кількість (49,1 шт./роsl.) і кількість активних (48,4 шт./роsl.) бульбочок на рослинах сої виявлено за

вищування сої із передпосівним обробленням насіння та з позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$, що перевищувало абсолютний контроль на 8,7 і 8,5 шт./росл., або на 22%.

Підживлення рослин сої у фазі цвітіння на фоні удобрення $P_{45}K_{60}$ сприяло збільшенню загальної кількості бульбочок на 6,7 шт./росл. і активних бульбочок на 6,6 шт./росл., що на 17% більше, ніж в абсолютному контролі, на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – на 6,2 і 6,3 шт./росл. відповідно, або на 16% більше за абсолютний контроль, на фоні удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 7,9 і 7,4 шт./росл. відповідно, або на 20% більше за абсолютний контроль.

Упродовж трьох років досліджень встановлено, що найбільш інтенсивне наростання маси бульбочок на кореневій системі сої відбувалося в період наливу бобів (Додаток Б.2, рис. 5.9).

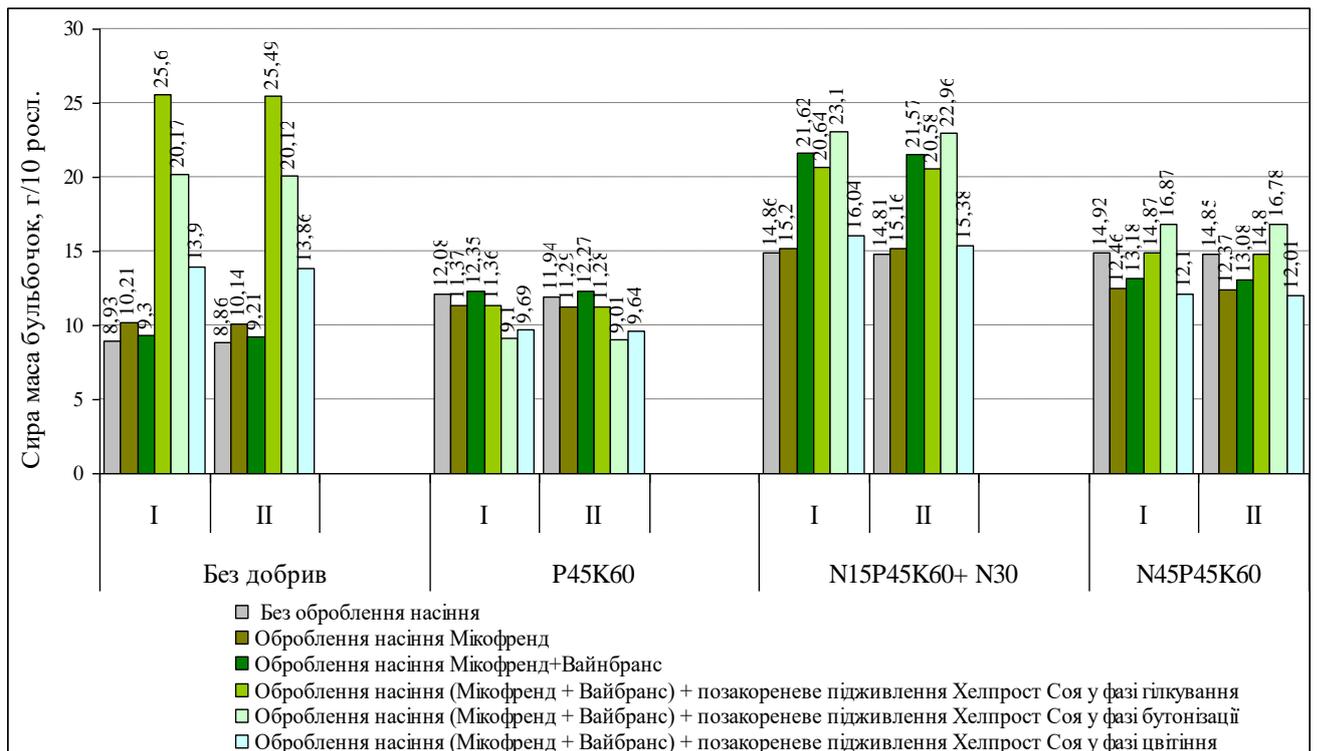


Рис. 5.9. Загальна маса (I) та маса активних (II) бульбочок на рослині сої у фазі наливу бобів (ВВСН 89) залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., г/10 росл.

Отримані результати досліджень свідчать, що загальна маса бульбочок збільшувалася на фоні вирощування сої з удобренням $P_{45}K_{60}$ на 3,15 г/10 росл. (або на 35%), $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – на 5,93 г/10 росл. (або на 66%), $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 5,99 г/10 росл. (або на 67%) порівняно з абсолютним контролем. При цьому сира маса активних бульбочок зростала пропорційно (на 35%, 67%, 68% відповідно).

Передпосівна обробка насіння мікоризоутворюючим препаратом сприяла зростанню загальної маси бульбочок і маси активних бульбочок у варіанті без удобрення на 1,28 г/10 росл. (або на 14%) порівняно з абсолютним контролем. На фоні внесення мінеральних добрив різниця з абсолютним контролем у значеннях показників маси бульбочок була більш істотною і становила за внесення $P_{45}K_{60}$ – 2,44 і 2,43 г/10 росл. (або 27%), $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – 6,27 і 6,30 г/10 росл. (або 70%), $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 3,53 і 3,51 г/10 росл. (або 40%). За поєднання біопрепарату і протруювача для передпосівного оброблення насіння відмічали подібну тенденцію впливу на наростання маси бульбочок на корінні сої, однак варто звернути увагу на варіант удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ де фіксували зростання маси бульбочок до 21,62 г/10 росл. і активних бульбочок до 21,57 г/10 росл., що було в 2,4 раза більше за абсолютний контроль.

Встановлено, що максимальна маса бульбочок рослин сої у фазі наливу бобів була у варіантах поєднання передпосівного оброблення насіння біопрепаратом та протруювачем та позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації на фоні без внесення добрив та $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ (див. рис. 5.9). Так, визначено, що у варіанті без удобрення позакореневе підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування сприяло наростанню бульбочок масою 25,60 г/10 росл., активних бульбочок масою 25,49 г/10 росл., що в 2,9 раза перевищувало абсолютний контроль і було максимальним у досліді. За проведення цього агрозаходу у фазі бутонізації показники маси бульбочок

були дещо меншими (20,20 і 20,12 г/10 росл. відповідно), проте порівняно з іншими варіантами дослідів рівень значень показника достатньо значним.

У варіанті внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування сприяло утворенню на корінні сої бульбочок масою 20,64 г/10 росл., активних бульбочок масою 25,58 г/10 росл., що в 2,3 раза перевищувало абсолютний контроль. За проведення цього агрозаходу у фазі бутонізації та цвітіння показники маси бульбочок були вищими порівняно з іншими варіантами дослідів і становили відповідно 23,10 і 22,96 г/10 росл. та 16,04 і 15,38 г/10 росл., а перевага над абсолютним контролем була в 2,3 і 1,8 раза.

У перерахунку на 1 га загальна маса бульбочок і маса активних бульбочок у посівах сої була найбільшою за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ та оброблення насіння біопрепаратом з протруювачем та позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя (Додаток Б.3). Зокрема, на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у критичні періоди росту сої забезпечило формування маси бульбочок у фазі 1-го трійчастого листка 28,9–38,4 кг/га, фазі бутонізації – 69,0–84,4 кг/га, фазі цвітіння – 168,2–179,4 кг/га, фазі наливу бобів – 946,4–1339,8 кг/га, що було більше за абсолютний контроль відповідно в 1,40–1,86 раза, 1,79–2,19, 2,0–2,14, 2,25–3,19 раза. При цьому маса активних бульбочок зросла у фазі 1-го трійчастого листка до 27,1–35,4 кг/га, фазі бутонізації – 66,1–81,4 кг/га, у фазі цвітіння – 166,5–172,9 кг/га, у фазі наливу бобів – 907,4–1331,7 кг/га, що було більше за абсолютний контроль відповідно в 1,38–1,80 раза, 1,87–2,31, 2,04–2,14, 2,18–3,20 раза.

На фоні удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$ спостерігали подібну тенденцію, але значення показника загальної маси бульбочок та маси активних бульбочок на 1 га посіву сої були дещо нижчими, а різниця з абсолютним контролем у варіантах із позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом

Хелпрост Соя становила в 1,24–1,79 раза, 1,35–2,15, 1,59–1,90, 1,64–2,29 раза та в 1,19–1,77 раза, 1,41–2,24, 1,59–1,93, 1,64–2,30 раза відповідно.

Також було визначено, що на фоні удобрення фосфорно-калійним добривом ($P_{45}K_{60}$) на початку вегетації (у фазі 1-й трійчастий листок) та наприкінці (у фазі наливу бобів) найвища загальна маса бульбочок / маса активних бульбочок на 1 га формується за вирощування сої із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом у поєднанні з протруювачем і становить 38,6 / 35,8 кг/га та 691,6 / 687,1 кг/га відповідно, що на 82–86% та 65% більше, ніж в абсолютному контролі. Однак більш стійка тенденція впродовж вегетації щодо накопичення маси бульбочок зберігається за поєднання оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя, що впродовж років досліджень забезпечило збільшення загальної маси бульбочок на 1 га посіву сої в 1,59–2,18 раза, маси активних бульбочок – в 1,61–2,23 раза порівняно з абсолютним контролем.

5.2. Загальний та активний симбіотичний потенціал рослин сої

Симбіотичний потенціал є акумулюючим показником маси бульбочок і тривалості їх функціонування на який впливають різні чинники [8, 19, 48, 49, 53, 63, 68, 83, 110, 116, 117]. Цей показник часто використовують під час аналізування ефективності формування й функціонування симбіотичного апарату бобових культур за застосування різних агротехнічних чинників, у т.ч. різних біопрепаратів та нових видів добрив для підживлення [111, 114, 122].

Наші дослідження показали, що на загальний та активний симбіотичний потенціал сої впливали застосовані агрозаходи, при чому найкращі умови формувалися за внесення мінеральних добрив та позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у критичні періоди розвитку рослин (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

**Симбіотичний потенціал посіву сої залежно від застосованих агрозаходів,
середнє за 2021–2023 рр., кг × діб /га**

Удобрення	Між-фазний період	Оброблення насіння						Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:					
		оброблення водою (контроль)		Мікофренд		Мікофренд + Вайбранс		гілкування		бутонізації		цвітіння	
		ЗСП**	АСП	ЗСП	АСП	ЗСП	АСП	ЗСП	АСП	ЗСП	АСП	ЗСП	АСП
Без добрив (контроль)	1*	473,6	440,0	678,4	638,4	860,8	781,6	860,8	820,0	860,0	806,4	797,6	756,0
	2	672,1	638,6	881,1	840,4	935,6	878,9	961,4	907,5	1138,0	1108,8	1047,2	1018,6
	3	4530,6	4474,8	5410,8	5336,1	4762,8	4691,7	11754,9	11640,6	9889,2	9854,1	6912,0	6877,8
P ₄₅ K ₆₀	1	696,0	652,0	703,2	675,2	739,2	698,4	719,2	681,6	1479,2	1273,6	1041,6	999,2
	2	1086,3	1003,2	1155,6	1122,6	1296,9	1256,8	1119,8	1078,0	1797,4	1761,1	1688,5	1661,0
	3	7256,7	7081,2	7439,4	7364,7	7862,4	7776,9	7245,9	7161,3	6301,8	6228,0	6663,6	6613,2
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1	579,2	547,2	728,0	696,0	752,0	719,2	982,4	934,4	816,8	784,0	896,8	849,6
	2	1075,8	1047,2	1339,8	1311,2	1298,6	1253,5	1450,9	1398,7	1372,5	1279,3	1382,7	1343,7
	3	8880,3	8834,4	9485,1	9438,3	12852,0	12773,7	12574,8	12483,9	13592,7	13430,8	10031,4	9653,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1	654,4	627,2	720,8	680,0	805,6	761,6	896,0	854,4	958,4	912,0	620,8	584,0
	2	813,5	785,4	1050,6	1019,2	902,0	868,5	1311,2	1279,3	1185,3	1144,0	1028,5	997,2
	3	8341,2	8280,9	7577,1	7510,5	7470,0	7395,3	9192,6	9129,6	9849,6	9767,7	7423,2	7346,7
V, %	1	16,2	16,9	3,1	3,6	7,0	5,2	12,7	12,8	29,8	24,0	21,1	21,8
	2	22,3	22,0	17,4	18,3	19,8	20,7	17,7	18,6	21,9	22,7	24,4	25,0
	3	26,7	27,0	22,3	22,6	40,9	41,3	23,9	24,0	30,0	29,9	20,0	18,2

Примітка. *1 – 1-й трійчастий листок – бутонізація, 2 – бутонізація – цвітіння, 3 – цвітіння – наливання бобів.

**ЗСП – загальний симбіотичний потенціал, АСП – активний симбіотичний потенціал.

Так, у міжфазний період «1-ий трійчастий листок – бутонізація» максимальні значення загального симбіотичного потенціалу (ЗСП) встановлено у варіантах із внесенням фосфорно-калійних добрив $P_{45}K_{60}$ та застосуванням позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізація і цвітіння – 1479,2 і 1041,6 кг × діб/га відповідно, що в 3,1 і 2,2 раза більше, ніж в абсолютному контролі. При цьому активний симбіотичний потенціал (АСП) сої зростав до 1273,6 і 999,2 кг × діб/га відповідно, а перевага з абсолютним контролем становила в 2,9 раза і 2,3 раза.

У міжфазний період «бутонізація – цвітіння» зберігалась тенденція максимальних значень ЗСП і АСП на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ та застосування позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізація і цвітіння, а перевага над абсолютним контролем була в 2,7 раза і 2,5 раза відповідно. Відповідні значення ЗСП були на рівні 1797,4 і 1688,5 кг × діб/га відповідно, АСП – 1761,1 і 1661,0 кг × діб/га відповідно. Варто зазначити, що в цей період перевага над варіантами з удобренням $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ за показником ЗСП становила 305,8–424,9 і 612,1–660,0 кг × діб/га, за показником АСП – 317,3–481,8 і 617,1–663,8 кг × діб/га відповідно.

У наступний міжфазний період «цвітіння – налив бобів» спостерігали дещо інші закономірності формування симбіотичного потенціалу посівів сої залежно від досліджуваних агрозаходів. У цей період сприятливіші умови для формування загального і активного симбіотичного потенціалу були на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та застосування позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації із перевагою над абсолютним контролем відповідно на 9062,1 і 8956,0 кг × діб/га, або в 3 рази. Тоді як за удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$ і позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації різниця з абсолютним контролем за показником ЗСП

становила 5319,0 кг × діб/га, за показником АСП – 5292,9 кг × діб/га, або в 2,2 раза.

На фоні удобрення фосфорно-калійним добривом у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» за застосування позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації та цвітіння фіксували зниження рівня загального і активного симбіотичного потенціалу до 6301,8 та 6663,6 кг × діб/га та 6228,0 і 6613,2 кг × діб/га відповідно, а різниця з абсолютним контролем становила 1717,2–2133,0 і 1753,2–2138,4 кг × діб/га відповідно, або 1,4–1,5 раза.

Розрахункові дані щодо обсягу фіксації біологічного азоту посівами сої за 2021–2023 рр. свідчать про те, що його величина залежала від удобрення та застосованих агрозаходів (Додаток Б.4).

Встановлено, що за період «1-й трійчастий листок – налив бобів» найвищу кількість азоту атмосфери рослини сої фіксували у варіантах досліду з внесенням мінеральних добрив у дозі $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Біологічна фіксація азоту посівами сої за період «1-й трійчастий листок – налив бобів» залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., кг/га

Удобрєння	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакорєневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:		
	Оброблення водою (контроль)	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізації	цвітіння
Без добрив (контроль)	29,03	38,91	33,17	46,91	61,44	45,17
$P_{45}K_{60}$	47,18	49,98	50,81	53,40	48,35	47,26
$N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$	54,45	65,62	78,66	77,88	81,16	67,88
$N_{45}P_{45}K_{60}$	50,65	50,49	60,31	58,30	62,48	48,64
V, %	24,8	21,4	34,0	22,6	21,3	20,1

Так, на цьому фоні удобрення застосування передпосівного оброблення насіння біопрепаратом, протруювачем та позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у критичні періоди розвитку рослин сої забезпечило фіксацію біологічного азоту на рівні 65,62–81,16 кг/га, що було в 2,3–2,8 раза більше, ніж в абсолютному контролі.

Позакореневе підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ сприяло підвищенню рівня накопичення біологічного азоту в середньому на 52,13 кг/га, у фазі гілкування – на 48,9 кг/га, цвітіння – на 38,85 кг порівняно з абсолютним контролем. Дещо нижчі показники фіксації біологічного азоту посівами сої виявлено за позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя на фоні внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$ та $P_{45}K_{60}$ і різниця з абсолютним контролем становила у фазі гілкування 29,3 і 24,4 кг/га, бутонізації – 33,45 і 19,32 кг/га, цвітіння – 19,61 і 18,23 кг/га відповідно.

У варіантах без удобрення впродовж вегетації величина накопичення біологічного азоту коливалася в межах від 33,17 кг/га до 61,44 кг/га залежно від застосованих агрозаходів із перевищенням абсолютного контролю на 4,14–32,41 кг/га (див. табл. 5.2, Додаток Б.4). У цих варіантах дослідів (без добрив) передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом забезпечило додаткову фіксацію біологічного азоту посівами сої за період «1-й трійчастий листок – налив бобів» на рівні 9,88 кг/га, що було більше за абсолютний контроль в 1,3 раза. А за поєднання біопрепарату і хімічного протруювача для передпосівного оброблення насіння фіксували дещо нижчі показники фіксації біологічного азоту (на 5,74 кг/га за вегетацію) порівняно з варіантом з обробленням насіння біопрепаратом, що ймовірно свідчить про пригнічувальний ефект фунгіциду на корисні мікроорганізми.

Варто зазначити, що вирощування сої без внесення добрив із передпосівною обробкою насіння мікоризоутворюючим препаратом разом із протруювачем та позакореневим підживленням органо-мінеральним

добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації за показником фіксації біологічного азоту є еквівалентно вирощуванню сої із внесенням мінеральних добрив у дозі $N_{45}P_{45}K_{60}$ або $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$.

Аналізування процесу накопичення біологічного азоту посівами сої у динаміці показало, що найбільші його обсяги фіксуються у період «цвітіння – налив бобів», що в середньому становить 67–87% у загальному їх обсязі (рис. 5.10).

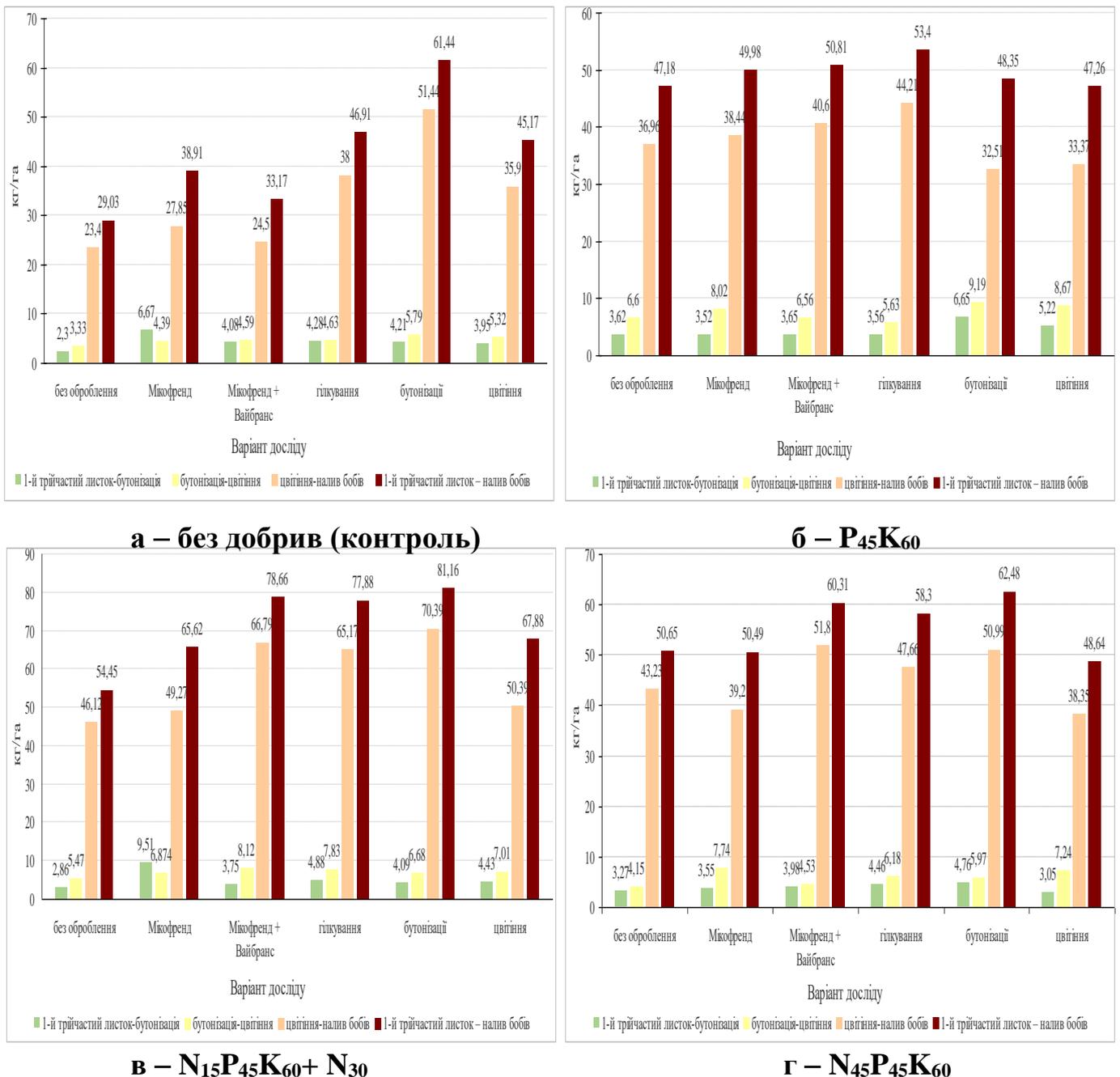


Рис. 5.10. Біологічна фіксація азоту посівами сої залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., кг/га

На фоні без внесення добрив на початку вегетації у період «1-й трійчастий листок – бутонізація» найбільшу різницю (4,37 кг/га) з абсолютним контролем в інтенсивності фіксації біологічного азоту, яка становила 2,9 раза, фіксували за оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом (рис. 5.10а). За застосування інших агрозаходів значення показників фіксації біологічного азоту були майже на одному рівні 3,95–4,28 кг/га, а перевага з абсолютним контролем становила 72–86%. У період «бутонізація – цвітіння» різниця з контролем від застосованих агрозаходів була на рівні 1,06–2,46 кг/га (або 32–74%), у період «цвітіння – налив бобів» – 1,10–28,04 кг/га (або 5–120%). Серед застосованих агрозаходів на фоні без удобрення перевага була за вирощування сої із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом із протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації, що підвищило інтенсивність біологічної фіксації азоту в середньому за період «бутонізація – цвітіння» – на 2,46 кг/га (в 1,7 раза), «цвітіння – налив бобів» – на 28,04 кг/га (2,2 раза).

За вирощування сої на фоні удобрення $P_{45}K_{60}$ у першій половині вегетації у період «1-й трійчастий листок – бутонізація» і «бутонізація – цвітіння» найбільшу різницю з абсолютним контролем в інтенсивності фіксації біологічного азоту, яка становила відповідно 4,35 і 5,86 кг/га, виявлено за передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом із протруювачем та позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації (рис. 5.10б). А у період «цвітіння – налив бобів» – за підживлення у фазі гілкування, що становило 20,81 кг/га або перевищувало абсолютний контроль на 89%.

На фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ у період «1-й трійчастий листок – бутонізація» найбільшу різницю (7,21 кг/га, або в 3,1 раза) з абсолютним контролем в інтенсивності фіксації біологічного азоту виявлено за оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом (рис. 5.10в). За

застосування інших агрозаходів показники фіксації біологічного азоту були майже на одному рівні 3,75–4,88 кг/га, а перевага з абсолютним контролем була на рівні 63–112%. У період «бутонізація – цвітіння» різниця з контролем від застосованих агрозаходів становила 3,35–4,79 кг/га (або в 2,0–2,4 раза), у період «цвітіння – налив бобів» – 25,87–46,99 кг/га (або в 2,1–3,0 раза). Серед застосованих агрозаходів на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ перевага була за вирощування сої із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом із протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації або гілкування.

При вирощуванні сої на фоні удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$ у період «1-й трійчастий листок – бутонізація» найвищі значення фіксації біологічного азоту посівами виявлено у варіантах із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом із протруювачем та позакореневим підживленням рослин у фазі гілкування і бутонізації органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя, що було більше за абсолютний контроль на 2,16 і 2,46 кг/га (або в 1,9 і 2,1 раза) відповідно (рис. 5.10г). Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом сприяло збільшенню фіксуванню біологічного азоту на 54% (або на 1,25 кг/га), а в поєднанні з протруювачем – на 73% (або на 1,68 кг/га). У наступні періоди розвитку рослин сої найбільше біологічного азоту фіксувалось у варіантах досліду із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом із протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя, що забезпечило збільшення показника в 1,79–2,17 раза у період «бутонізація – цвітіння» і 1,64–2,18 – у період «цвітіння – налив бобів».

Висновки до Розділу 5

1. Встановлено, що процес бульбочкоутворення на корінні сої тривав до фази наливу бобів (ВВСН 89) досягаючи максимуму 37,4–49,1 шт./роsl. залежно від застосованих агрозаходів.

2. Частка активних бульбочок на одній рослині сої у загальній їх кількості становила у фазі 1-го трійчастого листка – 91–98% (3,6–8,1 шт./роsl.), бутонізації – 93–99% (7,0–15,6 шт./роsl.), цвітіння – 96–99% (10,9–20,6 шт./роsl.), наливу бобів – 98–99% (37,1–48,4 шт./роsl.) залежно від застосованих агрозаходів.

3. Найбільш сприятливі умови для формування симбіотичного апарату сої сорту Муза впродовж вегетації були за передпосівного оброблення насіння у поєднанні з позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні внесення мінеральних добрив $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, що забезпечило у фазі наливу бобів (ВВСН 89) утворення на корінні бульбочок у кількості 48,6 шт./роsl. масою 23,10 г/10 роsl., серед яких кількість активних бульбочок становила 47,9 шт./роsl. із масою 22,96 г/10 роsl. Маса бульбочок у перерахунку на 1 га посівів сої була в 3,2 раза більшою, ніж в абсолютному контролі і становила 1339,8 кг і 1331,7 кг відповідно.

4. Встановлено, що найвищі показники загального (13592,7 кг × діб/га) та активного (13430,8 кг × діб/га) симбіотичного потенціалу сої у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» були на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та застосування позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації із перевагою над абсолютним контролем відповідно на 9062,1 і 8956,0 кг × діб/га, або в 3 рази. Це забезпечило фіксацію біологічного азоту на рівні 81,16 кг/га, що було на 52,13 кг/га або в 2,8 раза більше, ніж в абсолютному контролі.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [33].

РОЗДІЛ 6.

УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ НАСІННЯ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ

Урожайність є одним із важливих показників ефективності досліджуваних технологій вирощування сільськогосподарських культур та складною кількісною ознакою взаємодії чинників навколишнього середовища, генотипу культури та агротехнологій [1, 6, 9, 15, 16, 63, 65, 73, 152]. Величина врожайності сільськогосподарської культури серед економічних і екологічних параметрів визначає доцільність застосування будь-якого агротехнічного заходу.

6.1. Показники структури елементів продуктивності сої залежно від застосованих агрозаходів

Урожайність агрокультури залежить від рівня показників структури врожаю, які формують продуктивність конкретної рослини та має тісну залежність як від технології вирощування, так і погодних умов упродовж періоду вегетації [80, 119].

Основним показниками, які формують продуктивність рослини є, зокрема, кількість бобів, що збереглися до фази повної стиглості, кількість насінин у бобі, що формують озерненість рослини загалом, маса 1000 насінин та маса насіння з рослини, а також висота прикріплення бобів нижнього ярусу [73].

Дослідження особливостей формування показників структури елементів продуктивності сої у варіантах досліду показали наявність різниці в їх значеннях залежно від внесених добрив, передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення рослин. Так, у середньому за 2021–2023 рр. внесення мінеральних добрив сприяло збереженню на рослині до фази повної стиглості додатково 1,7–4,1 бобів, що становило 5,1–12,3%, за середнього показника у варіанті без добрив 33,2 шт./рослину (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Показники структури елементів продуктивності сої залежно від технологій вирощування, середнє за 2021–2023 рр.

Удобрення	Оброблення насіння та рослин*	Бобів	Насінин	Маса насіння з рослини	Маса 1000 насінин	Насінин, шт./бобі
		шт./роsl.	Г			
Без добрив (контроль)	1	33,2	73,2	14,3	198,2	2,2
	2	36,5	76,0	14,2	184,1	2,1
	3	38,4	79,8	14,9	188,9	2,1
	4	41,0	88,6	16,3	185,9	2,2
	5	39,9	84,0	15,6	186,0	2,1
	6	36,9	92,4	17,2	186,2	2,5
V, %		7,4	9,0	7,7	2,7	7,0
P ₄₅ K ₆₀	1	34,9	75,1	14,5	193,3	2,2
	2	37,7	77,0	14,2	184,6	2,0
	3	38,7	80,8	15,3	189,7	2,1
	4	38,0	80,4	16,4	205,0	2,1
	5	41,9	88,7	17,4	197,9	2,1
	6	41,4	92,3	17,2	189,0	2,2
V, %		6,7	8,2	8,6	3,8	3,6
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	1	37,0	88,5	17,2	194,6	2,4
	2	38,4	82,5	15,9	192,5	2,1
	3	37,7	84,9	16,2	190,2	2,3
	4	40,2	91,1	17,8	196,4	2,3
	5	43,0	97,0	18,6	192,0	2,3
	6	42,7	96,5	18,7	194,6	2,3
V, %		6,5	6,6	6,8	1,2	4,3
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1	37,3	86,4	17,1	198,6	2,3
	2	38,3	94,1	17,9	190,7	2,0
	3	41,0	92,2	17,6	190,4	2,2
	4	41,9	94,2	18,3	194,7	2,2
	5	42,5	97,8	19,5	197,7	2,3
	6	44,0	98,4	20,3	207,7	2,2
V, %		6,3	4,6	6,6	3,3	5,0

*Примітка: 1 – оброблення насіння водою (контроль), 2 – оброблення насіння Мікофренд, 3 – оброблення насіння Мікофренд + Вайбранс, 4 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі гілкування, 5 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі бутонізації, 6 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі цвітіння.

За внесення мінеральних добрив у дозі $N_{45}P_{45}K_{60}$ і $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ на рослинах формувалось на 13,2 і 15,3 насінин більше, ніж в абсолютному контролі, водночас їх маса збільшувалась на 2,8 і 2,9 г відповідно, та зростала кількість насінин у бобі до 2,3 і 2,4 шт. (у контролі 2,2 шт./бобі).

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом як окремо, так і у поєднанні з протруювачем сприяло формуванню на рослині 36,5–41,0 бобів залежно від фону удобрення, що на 9,9–23,5% більше, ніж в абсолютному контролі. Також фіксували збільшення кількості насінин на рослині на 2,8–20,9 шт., або на 3,8–28,6% та їх маси на 0,6–3,6 г, або на 4,2–25,2%. Водночас зменшувалась кількість насінин у бобі до 2,0–2,1 шт. та маса 1000 насінин на 3–7% до 184,1–192,5 г залежно від удобрення (у контролі – 198,2 г).

У варіантах досліду із передпосівним обробленням насіння та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя виявлено достовірне збільшення кількості бобів на рослині на 3,7–10,8 шт. (або на 11,1–32,5%), кількості насінин на рослині на 7,2–25,2 шт. (на 9,8–34,4%) та їх маси на 1,3–6,0 г/роsl. (на 9,1–42,0%) залежно від внесених добрив. При цьому кількість насінин у бобі була на рівні контролю, а за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – дещо перевищувала його і становила 2,3 шт./біб, але за показником маси 1000 насінин – в основному насіння було легшим за абсолютний контроль на 1–6% (185,9–197,9 г).

Найбільшу кількість бобів 44,0 шт./роsl. було сформовано у варіанті оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) із позакореневим підживленням Хелпрост Соя у фазі цвітіння на фоні внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$, що було більше за абсолютний контроль на 32,5%, а також виявляли найбільшу кількість насінин на рослині 98,4 шт. та їх масу 20,3 г, що відповідно на 34,4% та 42,0% перевищувало контроль. При цьому маса 1000 насінин зростала до 207,7 г і була найвищою у досліді (в абсолютному контролі 198,2 г).

Як зазначалось вище застосування мінеральних добрив у технології вирощування сої збільшувало кількість бобів на рослині та зменшувало

відсоток пустих бобів (табл. 6.2, Додаток В.1), що може бути пояснено меншим опаданням зав'язі внаслідок покращення живлення рослин.

Таблиця 6.2

Кількість бобів і насінин у бобі залежно від удобрення сої, 2021–2023 рр.

Удобрення	Бобів, шт./роsl.	Насінин, шт./бобі	Кількість насінин у бобі, штук				
			0	1	2	3	4
			бобів, % від загальної кількості				
Без добрив (контроль)	37,6	2,3	5,4	14,2	41,9	36,1	2,4
P ₄₅ K ₆₀	38,8	2,1	6,1	13,6	37,8	39,6	2,9
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	41,3	2,3	5,1	11,0	37,3	42,8	3,8
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	41,6	2,1	4,7	11,3	38,8	42,4	2,8
\bar{X}	39,8	2,2	5,3	12,5	39,0	40,2	3,0
$S\bar{X}$	1,0	0,1	0,3	0,8	1,0	1,5	0,3
V, %	4,9	5,2	11,1	12,9	5,3	7,7	19,9

У середньому за 2021–2023 рр. внесення мінеральних добрив сприяло збереженню більшої кількості бобів на рослині до фази повної стиглості на 1,2–4,0 шт./роsl., або на 3,2–10,6% за середнього показника у варіантах без добрив 37,6 шт./роslину. Найбільшу кількість бобів 41,3 і 41,6 шт./роsl. виявлено у варіанті з внесенням N₄₅P₄₅K₆₀, хоча кількість насінин у бобі була найменшою – 2,1 шт./роsl. (за середнього показника у досліді 2,2 шт./роsl.). Вважають, що кількість насінин у бобі – відносно стабільний показник і є характерною ознакою сорту [42]. Проте більш детальний аналіз показав, що виявляли боби без насіння, та ті, які містили навіть чотири насінини. За внесення вищевказаної норми мінеральних добрив найбільша кількість бобів (42,4%) мала 3 виповнених насінини, а найменша (2,8%) – 4 насінини в бобі. При цьому озерненість рослин становила 87,36 шт./роsl., що було майже на рівні контролю (86,48 шт./роsl.).

У варіанті, який передбачав внесення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀, кількість насінин у бобі була найбільшою і становила 2,3 шт./боб, проте зростала кількість бобів без насіння (5,1%) і з 4-ма насінинами (3,8%) порівняно з варіантом із внесенням N₄₅P₄₅K₆₀. При цьому кількість бобів, які мали 2 і 3 виповнених

насінини, була дещо меншою (80,1%), порівняно з попереднім варіантом (81,2%). Однак була найбільшою озерненістю рослин – 94,99 шт./роsl., що на 9,8% більше, ніж у контролі.

За вирощування сої на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ кількість насінин у бобі була майже на рівні контролю (38,8 шт./біб), кількість насінин у бобі була найменшою (2,1 шт./роsl.), а озерненість рослин – нижчою на 5,8% за контроль і становила 81,48 шт./роslину. При цьому виявлено у досліді найвищу кількість бобів без насіння (6,1%) та бобів з однією насіниною (13,6%), а також кількість бобів, які мали 2 і 3 виповнених насінини, була меншою (77,4%) за контроль (78,0%).

Варто зазначити, що кількість бобів і насінин у бобі на різних варіантах удобрення сої різнилися за роками (Додаток В.1). Найбільшу кількість бобів у 2021 р. фіксували у варіанті з внесенням $N_{45}P_{45}K_{60}$, хоча кількість насінин у бобі була найменшою – 2,0 шт./роsl. (за середнього показника у досліді 2,3 шт./роsl.). За внесення вищевказаної норми мінеральних добрив найбільша кількість бобів (81,6%) мала 2 і 3 виповнених насінини, та найменша (5,4%) – без насіння. У варіанті, який передбачав внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, кількість насінин у бобі була найбільшою (2,7 шт./біб), проте зростала кількість бобів без насіння (6,5%). Кількість бобів, які мали 2 і 3 виповнених насінини, була дещо меншою (78,8%), порівняно з попереднім варіантом, але була найбільшою озерненістю рослин – 114,8 шт./роsl. (за показника у контролі 92,5 шт./роsl.).

Залежність показника кількості бобів від варіанту удобрення була незначною, про що свідчить коефіцієнт варіації 5,8%, а кількість насінин у бобі – переважно середньою. У 2022 р. на рослинах сої зберігалась подібна залежність щодо формування кількості бобів на рослині залежно від удобрення, проте характерним була низька кількість насінин у бобі (середня у досліді 2,1 шт.). Однак озерненість рослин була доволі високою і становила у контролі 92,46 шт./роsl. та 80,80–92,84 шт./роsl. – за внесення добрив. У варіанті із внесенням фосфорно-калійних добрив виявляли значну кількість

бобів без насіння (7,2%) порівняно з контролем. На фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$, зменшувалась у 2,1–2,4 раза кількість бобів з однією насіниною, та збільшувалась кількість бобів, які мали 2 і 3 виповнених насінини (83,8–84,2%) і бобів із 4 насінинами (5,1–6,0%). В умовах 2023 р. на рослинах сої формувалось 32,5–38,7 шт./роsl., що було на 5–7 бобів менше, ніж у попередні роки досліджень (40,2–46,2 шт./роsl.), з однаковою кількістю насінин у бобі 2,2 шт./біб. При цьому озерненість рослин була на низькому рівні і становила у контролі 71,5 шт./роsl. та 73,48–85,14 шт./роsl. – за внесення мінеральних добрив. Не виявлено значних змін відносно контролю щодо кількості насінин у бобі за варіантами удобрення.

Вплив передпосівного оброблення насіння та позакореневого підживлення рослин на кількість бобів, кількість насінин у бобі у варіанті, який не передбачав застосування мінеральних добрив у основне внесення, наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3

Кількість бобів і насінин у бобі залежно від передпосівного оброблення насіння та підживлення рослин сої, середнє за 2021–2023 рр.

Оброблення		Бобів, шт./роsl.	Насінин, шт./бобі	Кількість насінин у бобі, штук				
				0	1	2	3	4
насіння	рослин			бобів, % від загальної кількості				
Оброблення водою (контроль)	-	35,5	2,2	4,7	13,4	37,4	41,3	3,2
Мікофренд	-	37,8	2,0	7,3	12,1	40,9	37,3	2,4
Мікофренд+ Вайбранс	-	39,2	2,1	5,2	12,6	42,1	37,1	3,1
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (гілкування)	42,8	2,2	5,1	12,3	38,9	40,5	3,2
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (бутонізація)	40,3	2,2	5,9	13,0	39,7	38,6	2,8
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (цвітіння)	38,3	2,2	8,0	12,3	43,4	34,0	4,3
\bar{X}		39,0	2,2	6,0	12,6	40,4	38,1	3,2
$S\bar{X}$		1,0	0,03	0,5	0,2	0,9	1,1	0,3
V, %		6,3	3,9	22,0	3,9	5,4	6,9	20,0
S		2,5	0,1	1,3	0,5	2,2	2,6	0,6

Як свідчать отримані результати польових досліджень, максимальну кількість бобів (42,8 шт./росл.), що переважало контроль на 7,3 шт./росл., або на 20,6%, отримано за вирощування сої у варіанті, який передбачав передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом у поєднанні з протруйником, а також підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування. Кількість насінин була на рівні контролю і становила 2,2 шт./біб, а озерненість рослин була максимальною 94,16 шт./росл., що на 21% більше, ніж у контролі. Водночас відмічали зростання порівняно з контролем кількості бобів без насіння (5,1%) і бобів, які мали 2 і 3 виповнених насінини (79,4%), та зменшення бобів з однією насіниною (12,3%).

За проведення підживлення рослин сої органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації у середньому на рослині формувалось 40,3 шт. бобів, що було більше за контроль на 4,8 шт./росл., або на 13,5%. Кількість насінин була на рівні контролю і становила 2,2 шт./біб, а озерненість рослин – 88,66 шт./росл., що на 13,5% більше, ніж у контролі. Однак у цьому варіанті дослідження збільшувалась порівняно з контролем кількість бобів без насіння (5,9%) та зменшувалась кількість бобів з 4-ма насінинами (2,8%). За показником кількості бобів, які мали 1, 2 і 3 виповнених насінини, – був на рівні контролю.

За проведення підживлення рослин сої органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі цвітіння виявлено дещо інші залежності. У середньому за 2021–2023 рр. на рослині формувалось 38,3 бобів, а озерненість становила 84,26 шт./росл., що на 7,9% більше, ніж у контролі. Кількість насінин була на рівні контролю – 2,2 шт./біб. Проте цей агрозахід спричинив найбільше зростання кількості бобів без насіння (8,0%) та з 4-ма насінинами (4,3%) відповідно на 70% та 34%. А також незначне зменшення кількості бобів, які мали 2 і 3 виповнених насінини (77,4%) (у контролі – 78,7%).

Передпосівна обробка насіння мікоризоутворювачем та поєднання з протруювачем забезпечила збільшення кількості бобів на рослині порівняно з

контролем на 2,3 шт. і 3,7 шт. відповідно, але кількість насінин у бобі була найменшою у досліді – 2,0 шт./росл. і 2,1 шт./росл. (за середнього показника у досліді 2,2 шт./росл.). При цьому озерненість рослин була найменшою – 75,6 і 82,32 шт./росл. Більш детальний аналіз показав, що оброблення насіння мікоризоутворюючим біопрепаратом зумовило зростання бобів без насіння (7,3%) та зменшило тих, які містили чотири насінини (2,4%). Кількість бобів, які мали 2 і 3 виповнених насінини, було на рівні контролю – 78,2%. За поєднання оброблення насіння біопрепаратом і протруювачем виявлено схожий ефект як із застосуванням позакореневого підживлення у фазі гілкування, а саме: підвищення порівняно з контролем кількості бобів без насіння (5,2%) і бобів, які мали 2 і 3 виповнених насінини (79,2%), та зменшення бобів з однією насіниною (12,6%).

Подібні тенденції формування кількості бобів і насінин у бобі залежно від варіанту передпосівного оброблення насіння та рослин сої виявляли за роками досліджень (Додаток В.2). Так, у 2021 р. максимальну кількість бобів (51,4 шт./росл.) відмічали на варіанті, який передбачав передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем у поєднанні з протруйником, а також підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування. Кількість бобів перевищила показник у контролі на 41,6%. Максимальною у вказаному варіанті була кількість бобів, які мали 2 і 3 виповнених насінин (79,5%), а також озерненість рослин – 107,9 шт./рослину за показників у контролі відповідно 36,3 шт./росл., 78,0% та 79,9 шт./росл. Залежність показника кількості бобів від вказаних агрозаходів була середньою ($V=15,4\%$), показника кількості насінин у бобі – слабкою ($V=4,7\%$). У 2022 р. і 2023 р. максимальну кількість бобів (43,9 і 37,5 шт./росл. відповідно) відмічали у варіанті, який передбачав передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем у поєднанні з протруйником, а також підживлення рослин органо-мінеральним добривом у фазі бутонізації. При цьому озерненість рослин зростала і становила 96,58 і 82,50 шт./росл., що на 9,9% і 17,6% більше за абсолютний контроль.

Отже, з метою збільшення кількості бобів на рослині та їх озерненості, що дає можливість більшою мірою реалізувати потенціал сорту, технологія вирощування сої повинна передбачати внесення мінеральних добрив у дозі $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом сумісно з протруйником, а також проведення позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом у хелатній формі Хелпрост Соя у фазі гілкування або бутонізації.

Важливим показником за вирощування зернобобових культур є висота прикріплення нижніх бобів, від яких залежить якість проведення механізованого збирання врожаю і рівень втрати насіння [69]. Низьке прикріплення нижніх бобів призводить до зниження рівня врожайності культури, оскільки значна частина бобів і зерна втрачається під час механізованого збирання. За даними автора, втрати врожаю за збирання можуть сягати 30% [27]. У посівах сої з оптимальною густиною стояння рослин боби формуються на стеблі на висоті 15–17 см і вище, на зріджених – на 3–5 см нижче, що призводить до значних втрат під час збирання [1, 124].

Висота прикріплення нижніх бобів є макроознакою, яка визначається багатьма чинниками, зокрема фізіологічними особливостями сорту, умовами росту та розвитку, і для сорту сої Муза становить 13–14 см. У наших дослідженнях висота прикріплення нижніх бобів на рослинах сої у роки досліджень становила від 12,1 до 14,3 см. Причому, в 2021 р. висоту прикріплення нижніх бобів у середньому по досліді відмічали на рівні 13,4 см, у 2022 р. – 13,0 см, що можливо пояснити деяким зрідженням посівів, у 2023 р. – 13,7 см [30].

Висота місця прикріплення нижніх бобів у досліді залежала як від застосування добрив, так і передпосівного оброблення насіння та позакореневого підживлення рослин (табл. 6.4, Додаток В.3).

Таблиця 6.4

Висота прикріплення нижніх бобів на рослинах сої залежно від технології вирощування, см, середнє за 2021–2023 рр.

Удобрєння	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакорєневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:		
	Оброблення водою (контроль)	Мікофренд	Мікофренд+ Вайбранс	гілкування	бутонізації	цвітіння
Без добрив (контроль)	12,4	12,8	13,0	13,1	13,2	13,0
P ₄₅ K ₆₀	12,6	13,1	13,3	13,3	13,4	13,2
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	13,0	13,6	13,6	13,9	14,1	13,7
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	12,9	13,4	13,5	14,0	14,2	13,6
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	12,7±0,1	13,2±0,2	13,4±0,1	13,6±0,2	13,7±0,2	13,4±0,2
V, %	2,2	2,6	2,0	3,3	3,6	2,5
S	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,3

Внесення лише фосфорно-калійних добрив сприяло формуванню нижніх бобів на рослинах сої у середньому за роки досліджень заввишки 12,6 см, що перевищувало показник у варіантах без застосування мінеральних добрив (12,4 см) на 0,2 см. Застосування фосфорних і калійних добрив із азотними зумовило зростання висоти прикріплення нижніх бобів, порівняно з контролем на 0,5–0,6 см, або на 4,0–4,8%.

Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд, а також одночасне з протруйником Вайбранс сприяло зростанню рівня показника на 0,4–0,6 см за показника у варіантах без внесення добрив і на 0,7–1,2 см – на фоні внесення мінеральних добрив порівняно з абсолютним контролем.

Поєднання передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом та протруйником із позакорєневим підживленням рослин орґано-

мінеральним добривом Хелпрост Соя позитивно вплинуло на збільшення висоти прикріплення нижніх бобів на 0,6–1,8 см, яка досягала у цих варіантах досліду 13,0–14,2 см (в абсолютному контролі 12,4 см). Максимальний (1,7 см і 1,8 см) приріст показника, порівняно з абсолютним контролем, відмічали за проведення позакореневого підживлення рослин органомінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$.

6.2. Урожайність насіння сої залежно від досліджуваних агрозаходів та гідротермічних чинників

Наші дослідження показали, що врожайність сої значною мірою залежала від варіанту удобрення, передпосівного оброблення насіння та підживлення рослин у критичні періоди розвитку рослин та погодних умов року (Додаток В.4).

Встановлено, що внесення мінеральних добрив при вирощуванні сої зумовило підвищення рівня врожайності на 5,4–8,7% відносно абсолютного контролю та отримання приросту врожаю насіння за внесення $P_{45}K_{60}$ – 0,16 т/га, $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 0,24 т/га, $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – 0,26 т/га (табл. 6.5). Натомість передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд як окремо, так і в поєднанні з протруювачем Вайбранс сприяло підвищенню врожайності сої до 3,06–3,11 т/га (або на 2,7–4,4%) на фоні без добрив і до 3,26–3,47 т/га (або на 9,4–16,4%) – за внесення мінеральних добрив. Найвищий приріст урожаю насіння сої від передпосівного оброблення насіння отримано на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, що становило за оброблення насіння біопрепаратом Мікофренд 0,4 т/га (або 13,4% до абсолютного контролю), за поєднання біопрепарату Мікофренд і протруювача Вайбранс – 0,49 т/га (або 16,4%).

Таблиця 6.5

**Урожайність насіння сої залежно від застосованих агрозаходів,
середнє за 2021–2023 рр., т/га**

Удобрєння	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакорєневе підживлення у фазі:		
	оброблення водою (контроль)	Мікофренд	Мікофренд+Вайбранс	гілкування	бутонізації	цвітіння
Без добрив (контроль)	2,98	3,06	3,11	3,18	3,34	3,31
P ₄₅ K ₆₀	3,14	3,26	3,29	3,41	3,49	3,42
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	3,24	3,38	3,47	3,67	3,74	3,62
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	3,22	3,33	3,36	3,61	3,65	3,61
<i>НІР₀₅</i>	<i>для факторів: оброблення насіння - 0,03; добрива – 0,04. загальна - 0,12</i>			<i>для факторів: оброблення насіння -0,04; добрива – 0,05. загальна -0,14</i>		

Відомо, що соя серед зернобобових культур доволі вибаглива до поживних елементів, які на формування врожаю використовує нерівномірно [78, 142], а тому ефективним заходом є підживлення сої мікро- і макроелементами у критичні періоди росту [21, 64, 105, 108, 259]. Наші дослідження довели, що застосування такого агрозаходу як оброблення насіння і позакорєневе підживлення посівів органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у критичні періоди розвитку рослин сої було ефективним і забезпечило підвищення врожайності порівняно з абсолютним контролем на 6,7–25,5% залежно від фону удобрення і фази внесення добрива.

Більш детальний аналіз показав, що більш ефективним підживлення рослин сої органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя було у фазі гілкування і бутонізації на фоні удобрення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀, що зумовило підвищення врожайності до 3,67 і 3,74 т/га (або на 23,2% і 25,5% відповідно),

а приріст врожаю до абсолютного контролю склав 0,69 т/га і 0,76 т/га. Підживлення у фазі цвітіння було менш ефективним, оскільки отримано врожайність насіння сої 3,62 т/га, а приріст врожаю становив 0,64 т/га.

На фоні удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$ підживлення рослин сої органомінеральним добривом Хелпрост Соя у критичні періоди росту рослин за роки досліджень показало майже однакові результати ефективності, що підтверджено рівнем урожайності 3,61–3,65 т/га, але незначна перевага була за проведення підживлення у фазі бутонізації. У цих варіантах досліді за 2021–2023 рр. приріст врожаю насіння сої становив 0,63–0,67 т/га, а перевага над абсолютним контролем – 21,1–22,5%.

На фоні удобрення $P_{45}K_{60}$ підживлення рослин сої органомінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування дало змогу підвищити врожайність сої на 14,4%, у фазі бутонізації – на 17,1%, у фазі цвітіння – на 14,8% порівняно з абсолютним контролем та отримати додатково приріст врожаю насіння 0,43 т/га, 0,51, 14,8 т/га відповідно.

Показовим є те, що вирощування сої на фоні без добрив із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та підживленням рослин органомінеральним добривом Хелпрост Соя у критичні періоди росту рослин за рівнем урожайності є більш ефективним та екологічним, ніж застосування мінеральних добрив (див. табл. 6.5). Так, цей агрозахід забезпечив отримання врожайності на рівні 3,18–3,34 т/га, тоді як на фоні внесення мінеральних добрив урожайність становила 3,14–3,24 т/га.

Погодні умови є важливим чинником, що впливають на рівень урожайності агрокультур, у т.ч. сої, та ефективність застосованих агрозаходів, зокрема біологічних препаратів, у сучасних умовах змін клімату [18, 65, 104, 128, 249, 259, 295]. З цією метою визначали кореляційну залежність впливу погодних умов на врожайність сої у роки досліджень (Додаток В.4).

Проведений кореляційний аналіз засвідчив різні за силою та направленістю зв'язки врожайності насіння сої з погодними умовами як подекадними, так і середніми за окремі місяці у період вегетації. При цьому

встановлено, що тіснота зв'язку варіювала від слабкого до тісного рівня ($r = 0,038-0,999$).

Аналізуючи залежність урожайності від окремих елементів погоди встановлено, що із середньомісячною температурою повітря тісним кореляційним зв'язком вирізняється липень ($r = -0,931$), а з кількістю опадів за місяць – травень ($r = -0,875$), червень ($r = 0,720$) і серпень ($r = -0,950$) (табл. 6.6, Додаток В.5).

Таблиця 6.6

Показники парного кореляційного зв'язку врожайності насіння сої з погодними умовами, 2021–2023 рр.

Місяць	Декада	Середньодобова температура повітря, °С		Сума опадів, мм	
		r	D, %	r	D, %
Квітень	I	0,467	21,8	0,553	30,6
	II	-0,411	16,9	-0,284	8,0
	III	0,999	99,8	-0,128	1,6
	середнє	0,541	29,2	0,242	5,8
Травень	I	0,377	14,2	-0,999	99,8
	II	0,239	5,7	-0,696	48,4
	III	0,038	0,1	-0,844	71,2
	середнє	0,186	3,4	-0,875	76,5
Червень	I	0,920	84,6	0,066	0,4
	II	-0,605	36,6	0,502	25,2
	III	-0,938	88,0	0,996	99,1
	середнє	-0,311	9,7	0,720	51,8
Липень	I	-0,999	99,8	0,136	1,8
	II	-0,867	75,2	0,492	24,3
	III	-0,828	68,6	0,393	15,4
	середнє	-0,931	86,7	0,403	16,2
Серпень	I	-0,335	11,2	-0,841	70,7
	II	0,533	28,5	0,283	8,0
	III	0,976	95,3	-0,999	99,8
	середнє	0,625	39,1	-0,950	90,3
Вересень	I	0,317	10,0	0,457	20,9
	II	-0,144	2,1	0,709	50,3
	III	0,601	36,1	0,103	1,1
	середнє	0,407	16,6	0,454	20,6

Найбільший сумісний вплив середньодобової температури повітря та кількості опадів спостерігали протягом третьої декади червня ($r = -0,938$ та $0,996$) і серпня ($r = 0,976$ та $-0,999$). Встановлені тісні кореляційні зв'язки дають змогу побудувати криволінійні моделі врожайності насіння сої відносно параметрів агрометеорологічних умов у зазначені періоди. Моделі залежності та їх основні характеристики наступні.

Для III декади червня рівняння регресії має вигляд:

$$Y = -32,1270 - 1,6849X_1 + 15,5624X_1^{0,5} + 0,0189X_2 - 0,1721X_2^{0,5}, \quad (6.1)$$

де

Y – урожайність, т/га;

X_1 – середньодобова температура повітря, °С;

X_2 – сума опадів, мм.

Основні характеристики рівняння: коефіцієнт множинної кореляції $R=0,999$; коефіцієнт детермінації $D=99,8$; критерій Фішера фактичний $F_{\phi}=293,0931$; табличне значення критерію Фішера при $\alpha=0,05$ становить $F=19,25$; стандартні похибки коефіцієнтів рівняння: $a_1=0,0007$; $a_2=0,0067$; $a_3=0,0002$; $a_4=0,0012$.

Для III декади серпня рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 19,3556 + 0,6987X_1 - 6,6803X_1^{0,5} - 0,0068X_2 + 0,0288X_2^{0,5}, \quad (6.2)$$

де

Y – урожайність, т/га;

X_1 – середньодобова температура повітря, °С;

X_2 – сума опадів, мм.

При цьому коефіцієнт множинної кореляції $R=0,989$; коефіцієнт детермінації $D=97,8$; критерій Фішера фактичний $F_{\phi}=23,4981$; табличне значення критерію Фішера при $\alpha=0,05$ становить $F_{\text{табл.}}=19,25$; стандартні похибки коефіцієнтів рівняння: $a_1=0,0028$; $a_2=0,0262$; $a_3=0,0002$; $a_4=0,0016$.

Одержані коефіцієнти множинної (сукупної) кореляції, які становлять $R=0,989-0,999$ вказують на достатньо сильну тісноту зв'язку між показниками. Коефіцієнт множинної детермінації R^2 виражений у відсотках

свідчить, що врожайність насіння сої на 97,8–99,8% залежала від погодних умов. Обидва коефіцієнти свідчать про те, що отримані рівняння регресії достатньо добре описують існуючий зв'язок між показниками. Для кожного рівняння встановлено адекватність за критерієм Фішера та статистичну значущість їхніх параметрів (коефіцієнтів) за критерієм Стюдента. Це дає змогу використовувати моделі для практичного прогнозування.

Так, для побудованих моделей фактичне значення критерію Фішера $F_{\phi}=23,4981-293,0931$ перевищує його табличний (критичний) рівень $F_{\text{табл.}}=19,25$ при $\alpha = 0,05$. Оскільки $F_{\phi} > F_{\text{табл.}}$ можна зробити висновок про адекватність побудованих моделей. Стандартні похибки коефіцієнтів рівнянь значно менші за самі коефіцієнти, тобто всі коефіцієнти регресії є статистично значущими.

Окрім цього, було здійснено графічне порівняння фактичних показників урожайності насіння сої із показниками розрахованими за побудованими моделями (рис. 6.1).

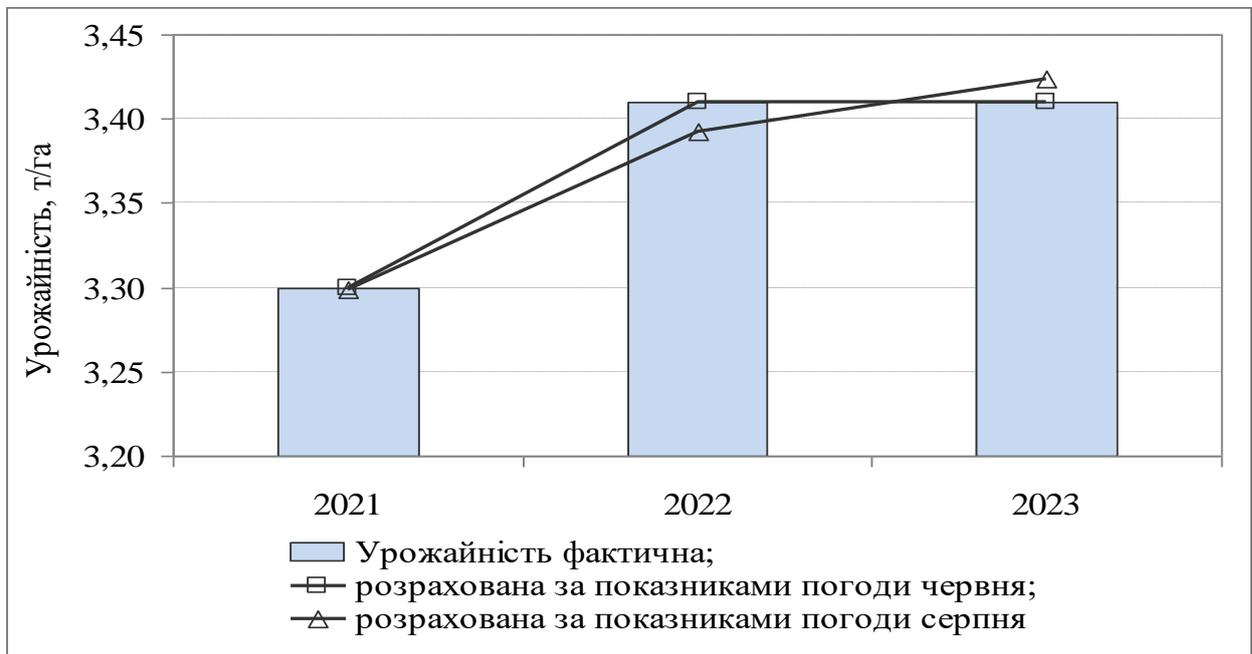


Рис. 6.1. Фактичні та розраховані за моделями показники врожайності насіння сої, т/га

Оскільки графіки розрахованих та фактичних значень наближені, то можна стверджувати, що отримані моделі дають змогу достатньо точно визначати рівень урожайності сої, тому ці моделі придатні для застосування у практичному прогнозуванні.

Частка впливу досліджуваних агрозаходів та погодних умов вегетаційних періодів на формування приросту врожаю насіння сої у середньому за роки досліджень представлені на рис. 6.2

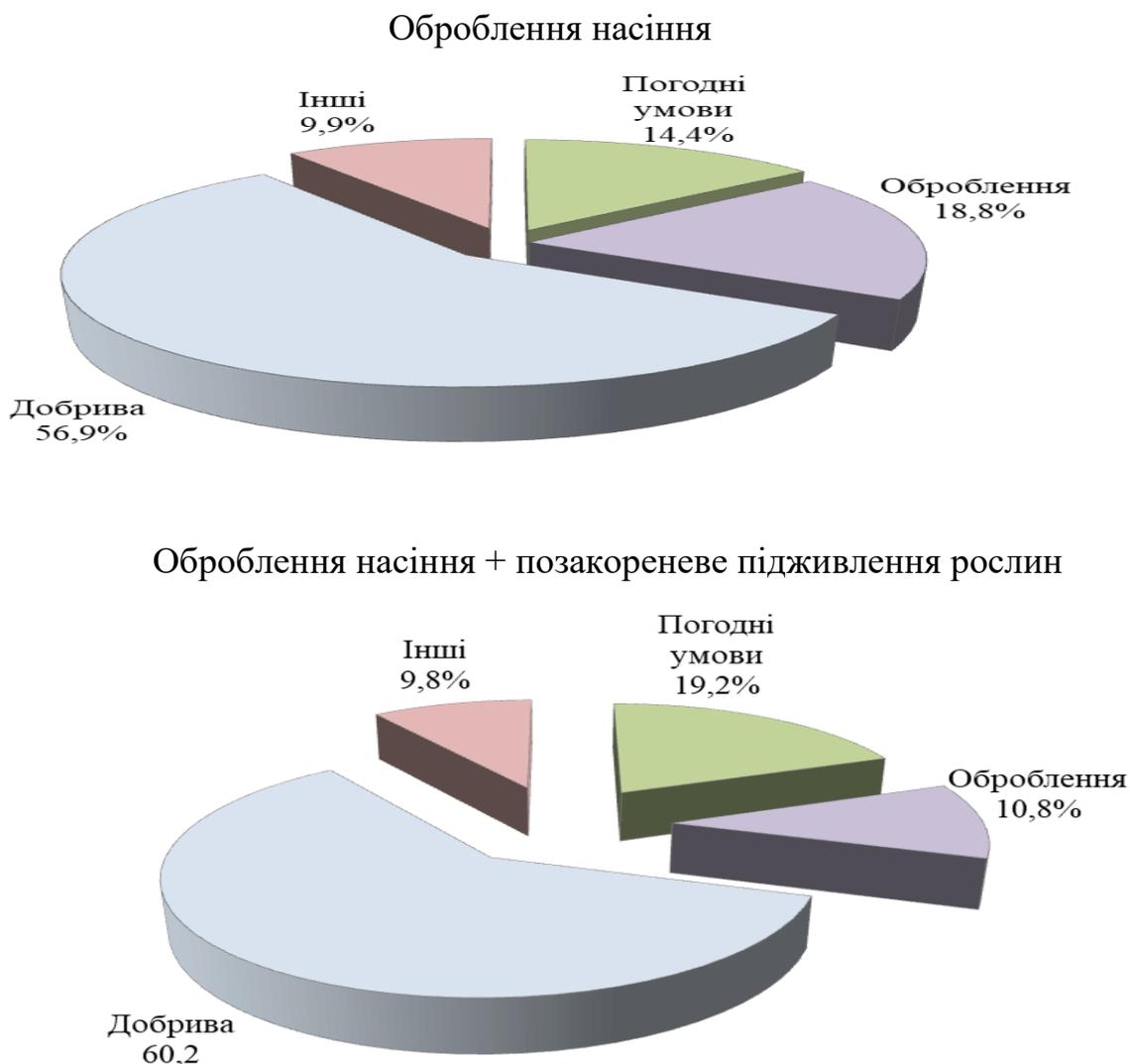


Рис. 6.2. Частка впливу досліджуваних агрозаходів і погодних умов на формування врожаю сої за різних варіантів технології вирощування, середнє за 2021–2023 рр.

Таким чином, моделювання показників урожайності залежно від сумісного впливу середньодобових температур повітря та суми опадів дало

змогу встановити критичні періоди (декади) для розвитку рослин сої протягом вегетації. Такими періодами є III декада червня та III декада серпня. Саме за погодними умовами цих періодів можна здійснити найточніший прогноз урожайності сої.

6.3. Якість насіння сої залежно від досліджуваних агрозаходів

Відомо, що погодні умови вегетаційного періоду та агрозаходи впливають не лише на рівень урожайності сільськогосподарських культур, у т.ч. сої, а й на показники якості врожаю – вміст та співвідношення цінних складових: білків, вуглеводів, жирів, вітамінів, мінеральних солей та ін. [61, 90, 128, 134].

Аналіз результатів дослідження виявив незначну диференціацію господарсько-біологічних показників насіння сої у варіантах досліду (Додаток В.6). Вміст сирого протеїну і олії в насінні коливався незначно і варіював у межах 35,8–37,8% і 20,7–22,9% відповідно (табл. 6.7, 6.8). Крім того не виявлено істотного впливу застосованих агрозаходів на вміст сирого протеїну в насінні сої (табл. 6.7). Оскільки на думку багатьох дослідників вміст білка значною мірою залежить від сортових особливостей, гідротермічних умов року та існує тісна обернена залежність між вмістом білка і олії в насінні сої [61, 90, 134].

Таблиця 6.7

Вміст сирого протеїну в насінні сої та його збір залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє 2021–2023 рр.

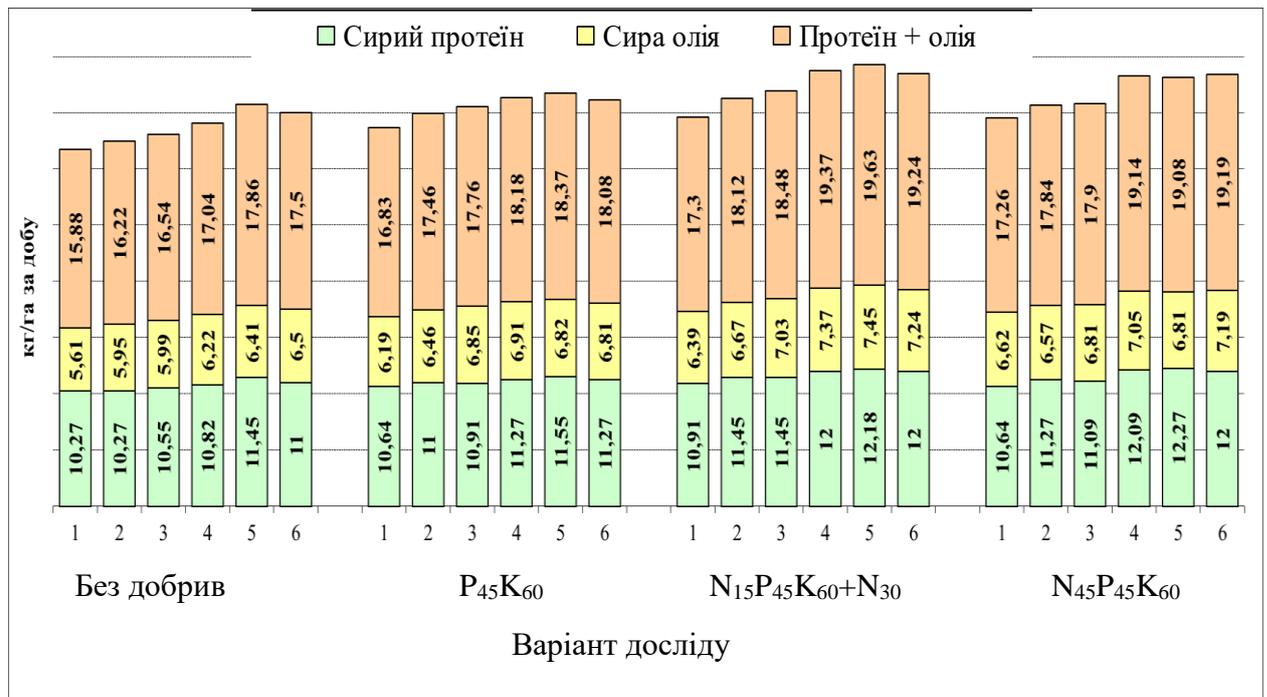
Удобрєння	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакорєневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:		
	Оброблення водою	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізації	цвітіння
Вміст сирого протеїну, %						
Без добрив (контроль)	37,8	36,8	37,2	37,5	37,6	36,5
P ₄₅ K ₆₀	37,4	37,1	36,4	36,3	36,4	36,4
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	37,0	37,4	36,3	36,1	35,8	36,5
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	36,3	37,2	36,4	36,8	36,9	36,7
V, %	1,7	0,7	1,1	1,7	2,1	0,3
Збір сирого протеїну, т/га						
Без добрив (контроль)	1,13	1,13	1,16	1,19	1,26	1,21
P ₄₅ K ₆₀	1,17	1,21	1,20	1,24	1,27	1,24
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	1,20	1,26	1,26	1,32	1,34	1,32
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1,17	1,24	1,22	1,33	1,35	1,32
HIP ₀₅	0,06	0,13	0,09	0,15	0,10	0,13

Водночас за рахунок підвищення врожайності сої, застосовані агрозаходи позитивно впливали на збір сирого протеїну з одиниці площі. Зокрема, вирощування сої із застосуванням мінеральних добрив забезпечило підвищення на 0,04–0,07 т/га, або на 3,5–6,2% збору сирого протеїну за показника в абсолютному контролі 1,13 т/га. Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруйником на фоні внесення мінеральних добрив сприяло збору сирого протеїну на рівні 1,20–1,26 т/га, що на 0,07–0,13 т/га, або на 6,2–11,5% більше, ніж в абсолютному контролі. За додаткового підживлення рослин у критичні періоди розвитку органічно-мінеральним добривом Хелпрост Соя на фоні без добрив збір сирого

протеїну зріс до 1,19–1,26 т/га (або на 5,3–11,5%), із застосуванням мінеральних добрив – до 1,24–1,35 т/га (або на 9,7–19,5%).

У середньому за 2021–2023 рр. найвищий збір сирого протеїну 1,34–1,35 т/га було отримано за вирощування сої на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації.

Аналіз показника інтенсивності накопичення сирого протеїну в насінні сої показав наступні залежності (рис. 6.3). Мінеральні добрива сприяли зростанню показника на 0,37–0,64 кг/га за добу, або на 3,6–6,2% за його рівня в абсолютному контролі 10,27 кг/га за добу.



Примітка: 1 – оброблення насіння водою (контроль), 2 – оброблення насіння Мікофренд, 3 – оброблення насіння Мікофренд + Вайбранс, 4 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі гілкування, 5 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі бутонізації, 6 – оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі цвітіння.

Рис. 6.3. Інтенсивність накопичення білка та олії в насінні сої залежно від застосованих агрозаходів, середнє за 2021–2023 рр., кг/га за добу

Передпосівне оброблення насіння на фоні внесення мінеральних добрив сприяло зростанню інтенсивності накопичення сирого протеїну на 0,64–1,18 кг/га за добу, або на 6,2–11,5%, передпосівне оброблення та проведення позакореневого підживлення рослин – на 1,00–1,91 кг/га за добу, або 9,7–19,5%.

Отже, в середньому за 2021–2023 рр. найвищі показники збору сирого протеїну з одиниці площі 1,34 і 1,35 т/га та інтенсивності накопичення сирого протеїну в насінні сої 12,18 і 12,27 кг/га за добу було отримано за вирощування сої з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$.

У роки досліджень виявляли залежність вмісту олії в насінні сої від технології вирощування культури. Застосування мінеральних добрив сприяло зростанню показника на 1,0–1,9% абсолютних за показника в абсолютному контролі 20,7%. Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруйником сприяло збільшенню вмісту олії в насінні на 0,5–2,2% із невеликою перевагою у варіантах, де було додатково застосовано оброблення насіння протруювачем. Зокрема, на фоні внесення фосфорно-калійних добрив і передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом сумісно з протруювачем виявлено найвищий вміст олії в насінні сої 22,9%, що на 10,6% було більше, ніж у контролі. Передпосівне оброблення насіння і позакореневе підживлення посівів органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя сприяло підвищенню накопичення олії в насінні сої на 0,4–1,6% абсолютних (табл. 6.8).

Таблиця 6.8

Вміст олії в насінні сої та її збір залежно від удобрення і передпосівного оброблення насіння, 2021–2023 рр.

Удобрення	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:		
	Оброблення водою	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізації	цвітіння
Вміст олії, %						
Без добрив (контроль)	20,7	21,4	21,2	21,5	21,1	21,6
P ₄₅ K ₆₀	21,7	21,8	22,9	22,3	21,5	21,9
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	21,7	21,7	22,3	22,1	21,9	22,0
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	22,6	21,7	22,3	21,5	21,7	21,9
V, %	3,6	0,8	3,2	1,9	1,6	0,8
Збір олії, т/га						
Без добрив (контроль)	0,62	0,65	0,66	0,68	0,70	0,71
P ₄₅ K ₆₀	0,68	0,71	0,75	0,76	0,75	0,75
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	0,70	0,73	0,77	0,81	0,82	0,80
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	0,73	0,72	0,75	0,78	0,79	0,79
HIP ₀₅	0,10	0,08	0,11	0,13	0,12	0,09

При цьому збір олії з одиниці площі визначався як її вмістом у насінні, так і рівнем урожайності культури. Застосування мінеральних добрив сприяло збільшенню кількості олії на 0,06–0,11 т/га, або 9,7–17,7% за показника у контролі 0,62 т/га. За обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруйником збір олії з 1 га зріс на 0,03–0,15 т, або на 4,8–24,2%. Тут варто зазначити, що на фоні внесення мінеральних добрив вирощування сої з обробленого насіння мікоризоутворюючим препаратом сумісно із протруйником підвищило збір олії з одиниці площі на 0,13–0,15 т/га (або на 21,0–24,2%) порівняно з абсолютним контролем. Позакореневе підживлення рослин органічно-мінеральним добривом Хелпрост

Соя на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ збільшило збір олії на 0,13–0,14 т/га, або на 21,0–22,6%, на фоні $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – на 0,18–0,20 т/га, або на 29,0–32,3%, на фоні $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 0,16–0,17 т/га, або на 25,8–27,4%.

Досліджувані агрозаходи мали значний вплив на інтенсивність накопичення олії в насінні сої (див. рис. 6.2). Мінеральні добрива сприяли зростанню показника на 0,58–1,01 кг/га за добу, або на 10,3–18,0% за його рівня в абсолютному контролі 5,61 кг/га за добу. Передпосівне оброблення насіння сприяло зростанню інтенсивності накопичення олії на 0,34–0,38 кг/га за добу, або на 6,1–6,8% на фоні без добрив і на 0,85–1,42 кг/га за добу, або на 15,2–25,3% – за внесення мінеральних добрив. Передпосівне оброблення насіння та проведення позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя забезпечило підвищення інтенсивності накопичення олії в насінні сої залежно від фону удобрення до 6,22–7,45 кг/га за добу, що на 0,61–1,84 кг/га за добу, або 10,9–32,8% вище, ніж в абсолютному контролі.

Отже, найвищі показники збору олії з одиниці площі 0,81 і 0,82 т/га та інтенсивності накопичення олії в насінні сої 7,37 і 7,45 кг/га за добу в середньому за роки досліджень було отримано за вирощування сої на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації.

Встановлено, що за сумарним показником інтенсивності накопичення протеїну і олії в насінні сої найвищі значення отримано за вирощування сої на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації (див. рис. 6.2). Так, позакореневе підживлення у фазі гілкування на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ підвищує інтенсивність сумарного накопичення протеїну і олії в насінні на 22,0%, у фазі бутонізації – на 23,6%, що збільшує відповідно показник до рівня 19,37 і 19,63 кг/га за добу за його значення в абсолютному контролі

15,88 кг/га за добу. В інших варіантах дослідів застосовані агрозаходи забезпечили зростання сумарного показника інтенсивності накопичення протеїну і олії в насінні сої на 5,9–8,9% за внесення лише мінеральних добрив, на 9,9–16,4% – за оброблення насіння мікоризоутворювачем і протруювачем на фоні внесення мінеральних добрив.

Висновки до Розділу 6

1. Встановлено, що досліджувані агрозаходи мали істотний вплив на врожайність сої та показники її структури і якості насіння. Висота прикріплення нижнього боба за внесення мінеральних добрив, передпосівного оброблення насіння і позакореневого підживлення рослин підвищувалася до рівня 12,6–14,2 см, кількість бобів на рослині – до 36,5–44,0 штук, кількість насінин у бобі – до 2,2 штук, кількість насінин з однієї рослини – до 76,0–98,4 штук, маса насіння з однієї рослини – 14,5–20,3 г, маса 1000 насінин – 192,4 г.

2. Вирощування сої із передпосівним обробленням насіння та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя зумовило достовірне збільшення кількості бобів на рослині на 3,7–10,8 шт. (або на 11,1–32,5%), кількості насінин на рослині на 7,2–25,2 шт. (на 9,8–34,4%) та їх маси на 1,3–6,0 г/роsl. (на 9,1–42,0%) залежно від внесених добрив.

3. Встановлено, що найбільшу кількість бобів 44,0 шт./роsl., кількість насінин на рослині 98,4 шт. та їх масу 20,3 г, було сформовано у варіанті оброблення насіння (Мікофренд+Вайбранс) із позакореневим підживленням органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі цвітіння на фоні внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$, що було більше за абсолютний контроль на 32,5%, 34,4% та 42,0% відповідно. При цьому маса 1000 насінин зростала до 207,7 г і була найвищою у досліді (в абсолютному контролі 198,2 г).

4. Внесення мінеральних добрив $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ збільшувало кількість бобів на рослині на 11–12% та кількість насінин у бобі до 2,3–

2,4 шт. та зменшувало відсоток пустих бобів (4,7–5,1%), що дало змогу підвищити врожайність сої до 3,22–3,24 т/га (на 8,1–8,7%) та отримати приріст врожаю насіння за внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 0,24 т/га, $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – 0,26 т/га.

5. Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд як окремо, так і в поєднанні з протруювачем Вайбранс підвищувало врожайність сої до 3,06–3,11 т/га (на 2,7–4,4%) на фоні без добрив і до 3,26–3,47 т/га (на 9,4–16,4%) – за внесення мінеральних добрив. Найвищий приріст урожаю насіння сої від передпосівного оброблення насіння отримано на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, що становило за оброблення насіння біопрепаратом Мікофренд 0,4 т/га (або 13,4% до абсолютного контролю), за поєднання біопрепарату Мікофренд і протруювача Вайбранс – 0,49 т/га (або 16,4%).

6. Підживлення рослин сої органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя було у фазі гілкування і бутонізації на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ підвищувало врожайність до 3,67 і 3,74 т/га (на 23,2% і 25,5% відповідно), а приріст врожаю до абсолютного контролю склав 0,69 т/га і 0,76 т/га. Підживлення у фазі цвітіння забезпечило врожайність насіння сої на рівні 3,62 т/га з приростом врожаю 0,64 т/га.

7. Встановлено залежність урожайності насіння сої від елементів погоди: із середньомісячною температурою повітря тісним кореляційним зв'язком вирізняється липень ($r = -0,931$), за кількістю опадів за місяць – травень ($r = -0,875$), червень ($r = 0,720$) і серпень ($r = -0,950$). Найбільший сумісний вплив середньодобової температури повітря та кількості опадів виявлено протягом третьої декади червня ($r = -0,938$ та $0,996$) і серпня ($r = 0,976$ та $-0,999$). За встановленими тісними кореляційними зв'язками побудовано криволінійні моделі врожайності насіння сої відносно параметрів агрометеорологічних умов у періоди III декади червня і серпня, які дають змогу здійснити точний прогноз урожайності сої в умовах Правобережного Лісостепу України.

8. У середньому за 2021–2023 рр. найвищі показники збору сирого протеїну з одиниці площі 1,34 і 1,35 т/га та інтенсивності накопичення сирого протеїну в насінні сої 12,18 і 12,27 кг/га за добу отримано за вирощування сої з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$.

9. Найвищі показники збору олії з одиниці площі 0,81 і 0,82 т/га та інтенсивності накопичення олії в насінні сої 7,37 і 7,45 кг/га за добу в середньому за роки досліджень було отримано за вирощування сої на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації.

10. Встановлено, що за сумарним показником інтенсивності накопичення протеїну і олії в насінні сої найвищі значення отримано за вирощування сої на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації. Позакореневе підживлення у фазі гілкування на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ підвищує інтенсивність сумарного накопичення протеїну і олії в насінні на 22,0%, у фазі бутонізації – на 23,6%, що збільшує відповідно показник до рівня 19,37 і 19,63 кг/га за добу за його значення в абсолютному контролі 15,88 кг/га за добу.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [31, 32, 35, 37, 41, 47].

РОЗДІЛ 7.
ЕКОНОМІЧНА ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ
ВИРОЩУВАННЯ СОЇ ЗА РІЗНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОЩУВАННЯ

На вітчизняному аграрному ринку соя, як цінна білково-олійна культура, вже багато років поспіль займає провідні позиції в експорті і переробці на харчові та кормові цілі, а також має стратегічно важливе значення у забезпеченні продовольчої та економічної безпеки країни [7, 34, 82].

Соя відноситься до високотехнологічних культур. Зважаючи на це, за умови розроблення нових або вдосконалення існуючих елементів технології вирощування важливо застосовувати науковий підхід та всебічно оцінювати відповідність запропонованих агрозаходів біологічним особливостям культури й ґрунтово-кліматичним умовам регіону. Правильний підбір технологій та певних агрозаходів дасть змогу зменшити ризики при вирощуванні сої, що зробить її ще більш привабливою для агровиробників [17, 22, 23, 154].

Основними напрямками підвищення ефективності виробництва сої є підвищення врожайності через впровадження інтенсивних технологій вирощування і збирання, з метою зниження витрат на одиницю продукції [15, 21, 45]. Оцінювати ефективність будь-якого агрозаходу або технології загалом лише за зміною рівня врожаю недостатньо, оскільки залишаються поза увагою витрати на його отримання. Економічна ефективність дає можливість урахувати реальні витрати, прибутки і на цій основі запропонувати найбільш економічно вигідні технології вирощування культури [13]. У зв'язку з цим, виникає необхідність визначення не лише однієї агротехнічної ефективності, а в комплексі з економічною і біоенергетичною оцінкою – визначити доцільність застосування

досліджуваних агрозаходів [23, 72, 127]. Крім того для різних агрогосподарств залишається актуальним розроблення/побудова адекватних моделей прогнозування рентабельності вирощування насіння сої за різних варіантів технології вирощування, визначення суттєвих чинників впливу на фінансові показники з метою прийняття ефективних управлінських рішень [14].

7.1. Економічна оцінка вирощування сої за різних технологій вирощування та прогнозування рівня рентабельності

Економічна ефективність вирощування сільськогосподарських культур визначається одержаним прибутком та рівнем рентабельності виробництва, які розраховують з урахуванням урожайності культури, ціни реалізації продукції, прямих витрат на вирощування культури та інших показників. Як свідчать отримані результати, рівень урожайності сої значно залежав від використання в технології вирощування досліджуваних агрозаходів (див. Розділ 6).

Аналіз показників економічної ефективності вирощування сої в умовах Правобережного Лісостепу показав, що із застосуванням додаткових агрозаходів у технології вирощування сої рівень урожайності підвищився і відповідно зросла вартість вирощеного врожаю у середньому на 5–26% порівняно з абсолютним контролем, збільшився на 25–43% показник повної собівартості врожаю, на 3–20% прибуток, а рівень рентабельності знизився на 15–27% (табл. 7.1). Зокрема, у варіантах без оброблення насіння лише з використанням мінеральних добрив урожайність зросла від 2,98 до 3,24 т/га, а рентабельність відповідно знизилась із 345 до 253% (або на 20,3–26,7%). При цьому вартість вирощеного врожаю зросла на 2,64–4,29 тис. грн/га (або на 5,4–8,7%), собівартість вирощеного врожаю – на 2,78–3,99 тис. грн/т (25,2–36,1%), собівартість 1 тонни насіння – на 0,69–0,96 тис. грн порівняно з

Таблиця 7.1

Показники економічної ефективності* вирощування сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр.

Удобрєння	Оброблення насіння														
	оброблення водою					мікоризоутворювач					мікоризоутворювач + протруйник				
	1**	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Без добрив (контроль)	49,17	11,04	3,71	38,13	345	50,49	11,22	3,67	39,27	350	51,32	11,56	3,72	39,76	344
P ₄₅ K ₆₀	51,81	13,82	4,40	37,99	275	53,79	14,00	4,29	39,77	284	54,28	14,34	4,36	39,95	279
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	53,46	15,03	4,64	38,43	256	55,77	15,22	4,50	40,55	266	57,26	15,56	4,48	41,69	268
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	53,13	15,03	4,67	38,09	253	54,94	15,21	4,57	39,73	261	55,44	15,55	4,63	39,89	256
Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакореневе підживлення у фазі:															
Удобрєння	гілкування					бутонізації					цвітіння				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Без добрив (контроль)	52,47	11,77	3,70	40,69	346	55,11	11,79	3,53	43,32	367	54,62	11,78	3,56	42,83	364
P ₄₅ K ₆₀	56,26	14,56	4,27	41,70	286	57,58	14,57	3,74	43,01	295	56,43	14,56	4,26	41,87	288
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	60,56	15,79	4,30	44,77	284	61,71	15,81	4,23	45,90	290	59,73	15,79	4,36	43,94	278
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	59,56	15,78	4,37	43,78	277	60,22	15,79	4,32	44,44	281	59,56	15,78	4,37	43,78	277

Примітка: *розраховано за цінами 2021 р.

**1 – вартість урожаю, тис. грн/га; 2 – повна собівартість урожаю, тис. грн/га; 3 – собівартість насіння, тис. грн/т;
4 – прибуток, тис. грн/га; 5 – рівень рентабельності, %.

абсолютним контролем. Прибуток у сумі 0,3 тис. грн/га було отримано лише за вирощування сої із внесенням мінеральних добрив у дозі $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$.

За оброблення насіння мікоризоутворювачем урожайність сої варіювала від 3,06 до 3,38 т/га, а рівень рентабельності виробництва – від 350 до 261%. Водночас отримання приросту врожаю на рівні 0,12–0,14 т/га від застосування передпосівного оброблення насіння мікоризоутворювачем на фоні внесення мінеральних добрив і 0,08 т/га на фоні без добрив дало змогу підвищити вартість вирощеного врожаю на 1,81–2,31 тис. грн/га (або на 3,4–4,3%) і 1,32 тис. грн/га (2,7%) відповідно. Однак фіксували незначне зростання повної собівартості врожаю на 0,18–0,19 тис. грн/га (на 1–2%) та зниження на 2–3% собівартості 1 тонни насіння, яка становила 3,67–4,57 тис. грн/т (у контрольних варіантах без оброблення насіння 3,71–4,67%). Цей агрозахід забезпечив отримання додаткового прибутку на рівні 3% (1,14 тис. грн/га) на фоні без удобрення і на 4,3–5,5% (або 1,64–2,12 тис. грн/га) – за внесення мінеральних добрив.

За оброблення насіння мікоризоутворювачем із додаванням протруйника урожайність сої в середньому за роки досліджень зросла до 3,11–3,47 т/га, а рентабельність виробництва була на рівні 344–256% (у контрольних варіантах без оброблення насіння 345–253%). Зокрема майже на 5% зріс рівень рентабельності виробництва та на 9% прибуток за вирощування сої з обробленням насіння мікоризоутворювачем із додаванням протруйника на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$. Також цей агрозахід підвищив вартість вирощеного врожаю на фоні без добрив на 2,15 тис. грн/га (або на 4,4%), на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 2,47 і 2,31 тис. грн/га (або на 4,8% і 4,3% відповідно), на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – на 3,80 тис. грн/га (або на 7,1% відповідно). При цьому повна собівартість урожаю знизилась на 0,52–0,53 тис. грн/га (на 3,5–4,7%), а собівартість 1 тонни насіння – була майже на рівні з контролем. Цей агрозахід забезпечив отримання додаткового прибутку на рівні 4,3% (1,63 тис. грн/га) на фоні без удобрення і на 4,7–8,5% (або 1,80–3,26 тис. грн/га) – за внесення мінеральних добрив.

За використання мінеральних добрив, передпосівного оброблення насіння та позакореневого підживлення у критичні для росту та розвитку рослин сої отримано дещо вищі значення показників економічної ефективності, що свідчить про доцільність поєднання цих агрозаходів у технології вирощування сої. Так, за підживлення у фазі гілкування врожайність сої зросла до 3,18–3,67 т/га, при цьому рівень рентабельності виробництва насіння на фоні внесення фосфорно-калійних добрив зріс на 4%, на фоні удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 9%, на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – на 11% і становив 286%, 277%, 284% відповідно. Вартість вирощеного врожаю зросла на фоні без добрив на 3,30 тис. грн/га (або на 6,7%), на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ і – на 4,45 тис. грн/га (на 8,6%), на фоні $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 7,10 і 6,43 тис. грн/га (або на 13,3% і 12,1% відповідно). Також фіксували зростання показника повної собівартості врожаю у варіантах досліді на 0,73–0,76 тис. грн/га (на 5,0–6,6%). Проте на фоні внесення мінеральних добрив собівартість 1 тонни насіння знизилась на 0,13–0,34 тис. грн (на 3,0–7,3%) і становила 4,27–4,37 тис. грн/т (проти 4,40–4,64 тис. грн/т у варіантах, де не застосовували передпосівне оброблення насіння і підживлення рослин органо-мінеральним добривом). Це дало змогу отримати прибуток у розмірі 40,69 тис. грн/га на фоні без удобрення, що на 2,56 тис. грн/га (на 6,7%) більше за контроль, і 41,70–44,77 тис. грн/га – за внесення мінеральних добрив, що на 3,71–6,34 тис. грн./га (на 9,8–16,5%) більше за відповідні варіанти без оброблення насіння і підживлення рослин.

За підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації урожайність сої зросла до 3,34–3,74 т/га, а рівень рентабельності виробництва – до 367–281%, прибуток – до 43,01–45,90 тис. грн/га і був найвищим у досліді (див. табл. 7.1). При цьому за рахунок передпосівного оброблення насіння і підживлення рослин у фазі бутонізації вартість вирощеного врожаю зросла на 5,77–8,25 тис. грн/га (або на 11,1–15,4%), повна собівартість врожаю – на 0,75–0,78 тис. грн/га (на 5,1–6,8%), а

собівартість 1 тонни насіння за рахунок отриманого додаткового приросту врожаю – знизилась на 0,18–0,41 тис. грн (на 5–15%).

Аналіз показників економічної ефективності вирощування сої показав, що найвищу вартість продукції, яка визначається рівнем урожайності та ціною продукції і є важливим показником економічної ефективності вирощування будь-якої культури, було отримано в технології, яка передбачала внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, сівбу насінням, обробленим мікоризоутворюючим препаратом у поєднанні з протруйником і проведення позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом у фазі бутонізації (61,71 тис. грн/га), що перевищило абсолютний контроль на 12,54 тис. грн/га (на 25,5%) та відповідний контроль без застосування цих агрозаходів – на 8,25 тис. грн/га (на 15,4%), а рентабельність виробництва зросла на 13,3% до рівня 290% (проти 256% у контролі), прибуток зріс на 19,4% і склав 45,90 тис. грн/га (проти 38,43 тис. грн/га у контролі).

За підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі цвітіння урожайність сої зросла до 3,31–3,61 т/га, а рівень рентабельності виробництва становив 364–277%, прибуток – 41,87–43,94 тис. грн/га. Вартість вирощеного врожаю зросла на фоні без добрив на 5,45 тис. грн/га (або на 11,1%), на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ – на 4,62 тис. грн/га (на 8,9%), на фоні $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 6,27 і 6,43 тис. грн/га (або на 11,7% і 12,1% відповідно), що було майже на рівні з показниками у варіантах із застосуванням підживлення рослин у фазі гілкування. Також фіксували зростання показника повної собівартості врожаю у варіантах дослідів на 0,74–0,76 тис. грн/га (на 5,0–6,7%). Проте на фоні без добрив і внесення $P_{45}K_{60}$ собівартість 1 тонни насіння знизилась на 0,14–0,15 тис. грн (на 3,2–4,0%) і рівень рентабельності зріс на 4,7–5,5%, на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – на 0,28 тис. грн (на 6,0%) та на 8,6%, на фоні удобрення $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 0,30 тис. грн (на 6,4%) та на 9,5% відповідно. Цей агрозахід забезпечив отримання додаткового прибутку на рівні 12,3% (4,70 тис. грн/га) на фоні без удобрення і на 10,2–14,9% (або 3,88–5,69 тис. грн/га) – за внесення мінеральних добрив.

Отже, розрахунки показників економічної ефективності показали, що в технології вирощування сої сорту Муза на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ застосування передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд у поєднанні з протруйником Вайбранс та проведення позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації є економічно вигідним агрозаходом, оскільки крім підвищення врожайності забезпечує зростання рівня рентабельності виробництва на 13,3%, вартості вирощеного врожаю на 15,4% та зниження собівартості 1 тонни насіння на 8,8%. Це важливо, оскільки доволі часто використання необґрунтованих технологічних заходів призводить до зростання показників економічної ефективності та отримання дорогої продукції і, як наслідок, – до збитків агровиробників [44].

Розвиток будь-якого напрямку бізнесу, у т.ч. аграрного, неможливо уявити без прогнозування і планування. Останніми роками більшість агровиробників доволі прискіпливо займаються бізнес-плануванням власної господарської діяльності. Як правило, аграрії планують власний агробізнес з огляду на результати господарської діяльності попередніх років, беручи до уваги також і можливі ризики погодних умов та економічного характеру впливу. Від того, наскільки правильно і точно буде зроблено прогноз залежить майбутній фінансовий стан господарства та перспективи його розвитку.

Одним із основних показників, що відображає результативність основної діяльності сільськогосподарського підприємства є рентабельність. Оцінка рентабельності та визначення чинників, що зумовлюють її зміну, є визначальними для адекватної оцінки діяльності підприємства з метою вибору стратегії його подальшого розвитку. У цьому контексті важливим є застосування математичного моделювання, що передбачає розроблення певних економіко-математичних моделей для найбільш повного і достовірного відображення процесу функціонування підприємства з метою підвищення його рентабельності. Отже, дослідження факторів впливу на

рентабельність підприємств є актуальним і зумовлює доцільність розгляду цього питання.

Поряд із вивченням питань, спрямованих на підвищення продуктивності, важливим є визначення зв'язку врожайності насіння сої з економічними показниками за різних варіантів технології вирощування. Такий зв'язок можливо встановити за допомогою кореляційного аналізу, головним завданням якого є визначення форми та щільності зв'язку між досліджуваними ознаками.

Отримані коефіцієнти кореляції свідчать, що тіснота зв'язку економічних показників з урожайністю у досліді варіювала від високого до сильного рівня. Слід зазначити, що зв'язок повної собівартості та собівартості насіння був прямим ($r = 0,868-0,996$), а рентабельності – оберненим ($r = -0,845-0,985$). При цьому у варіантах за оброблення насіння перед сівбою отримано вищі коефіцієнти, ніж за оброблення насіння у поєднанні з підживленням у різні фази (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

Коефіцієнти парного кореляційного зв'язку економічних показників з урожайністю сої за різних варіантів технології вирощування, г

Варіант досліджу	Повна собівартість урожаю	Собівартість насіння	Рентабельність
Оброблення насіння			
Оброблення водою	0,996	0,991	-0,985
Мікоризоутворювач	0,989	0,977	-0,977
Мікоризоутворювач + протруйник	0,950	0,885	-0,889
Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакореневе підживлення у фазі:			
Гілкування	0,973	0,896	-0,888
Бутонізації	0,940	0,941	-0,845
Цвітіння	0,942	0,868	-0,860

Оскільки одним із основних економічних показників є рентабельність, за використання кореляційного аналізу було визначено її залежність від інших показників економічної ефективності з подальшим включенням їх до економіко-математичних моделей.

Для побудови математичних моделей прогнозування рівня рентабельності за вирощування сої було обраний метод факторного моделювання. Суть методу полягає в тому, що спочатку визначається система основних факторів, що мають прямий логічний зв'язок із формуванням показника рентабельності. Далі аналізується ступінь впливу кожного окремого фактору на формування рентабельності та здійснюється відбір факторів, що мають найбільший вплив для включення їх у багатофакторну модель регресії та подальшого прогнозування. Вихідними даними для економіко-математичних моделей слугували показники економічної ефективності вирощування насіння сої за період 2021–2023 рр. (див. табл. 7.1).

На основі результатів кореляційного аналізу за шкалою Чеддока встановлено обернений високий та сильний зв'язок рентабельності з економічними показниками (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Коефіцієнти парної кореляції (r) рентабельності з показниками економічної ефективності за вирощування сої, середнє за 2021–2023 рр.

Варіант дослідю	Фактор впливу		
	Вартість урожаю, грн/га	Повна собівартість урожаю, грн/га	Собівартість насіння, грн/т
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Оброблення насіння			
Оброблення водою	-0,985	-0,996	-0,999
Мікоризоутворювач	-0,977	-0,996	-0,999
Мікоризоутворювач + протруйник	-0,889	-0,987	-0,999
Загалом	-0,779	-0,975	-0,999

Продовження таблиці 7.3

1	2	3	4
Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакореневе підживлення у фазі:			
Гілкування	-0,888	-0,970	-0,999
Бутонізації	-0,845	-0,976	-0,817
Цвітіння	-0,860	-0,981	-0,999
Загалом	-0,778	-0,962	-0,922

За оброблення лише насіння (мікоризоутворювач + протруйник) залежність рентабельності від економічних показників визначалась наступними коефіцієнтами парної кореляції: від вартості врожаю $r = -0,889 \div -0,985$; від повної собівартості врожаю $r = -0,987 \div -0,996$; від собівартості насіння $r = -0,999$

У варіантах за поєднання оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) із позакореневим підживленням у різні фази росту та розвитку коефіцієнти кореляції відповідно знаходились у межах $r = -0,845 \div -0,888$; $r = -0,970 \div -0,981$ та $r = -0,817 \div -0,999$.

Виходячи з результатів кореляційного аналізу для побудови математичних моделей відібрано наступні показники: повна собівартість урожаю (X_1) та собівартість насіння сої (X_2), які є факторами, що можуть чинити найбільший вплив на результуючий показник, яким у даному випадку є рентабельність (Y). На основі наведених вихідних даних побудовані криволінійні моделі для варіантів досліду з обробленням лише насіння (мікоризоутворювач + протруйник) та варіантів з обробленням насіння (мікоризоутворювач + протруйник) та проведенням позакореневого підживлення у різні фази розвитку культури.

Моделі залежності рентабельності від вибраних факторів та їх основні характеристики наступні.

Для варіантів із обробленням лише насіння (мікоризоутворювач + протруйник) рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 1037,4079 - 2,9489 X_1 + 22,1701 X_1^{0,5} - 278,8882 X_2 + 21,8512 X_2^2 \quad (7.1)$$

коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,999$; коефіцієнт детермінації $D = 99,8\%$; критерій Фішера фактичний $F_\phi = 28751,5784$ за $F_{\text{табл.}} = 4,12$; критерій Стьюдента фактичний (t_ϕ) для коефіцієнтів рівняння відповідно становить: $a_1 = 46,027$, $a_2 = 47,646$, $a_3 = 970,251$, $a_4 = 630,067$ за $t_{\text{табл.}} = 2,29$;

коефіцієнти еластичності становлять $\epsilon(X_1) = -0,140$, $\epsilon(X_2) = -4,187$.

Для варіантів з обробленням насіння (мікоризоутворювач + протруйник) із послідуочим позакореневим підживленням у різні фази рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 2011,8848 - 121,5228 X_1 + 3,9182 X_1^2 - 362,7179 X_2 + 41,6933 X_2^2 \quad (7.2)$$

коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,991$; коефіцієнт детермінації $D = 98,2\%$; критерій Фішера фактичний $F_\phi = 99,3847$ за $F_{\text{табл.}} = 4,12$; критерій Стьюдента фактичний (t_ϕ) для коефіцієнтів рівняння відповідно становить: $a_1 = 120,483$, $a_2 = 107,056$, $a_3 = 71,784$, $a_4 = 65,449$ за $t_{\text{табл.}} = 2,29$;

коефіцієнти еластичності становлять $\epsilon(X_1) = -5,812$, $\epsilon(X_2) = -4,888$.

Таким чином, у процесі кореляційно-регресійного аналізу показників економічної ефективності за різних варіантів технологій вирощування сої одержані коефіцієнти множинної (сукупної) кореляції ($R = 0,999$ та $0,991$) вказують на вельми високу (сильну) тісноту зв'язку між показниками. Коефіцієнт множинної детермінації (D) стверджує, що $99,8\%$ і $98,2\%$ всієї варіації рентабельності зумовлено сукупною дією досліджуваних змінних – повної собівартості врожаю та собівартості насіння. Обидва коефіцієнта свідчать про те, що отримані рівняння регресії досить добре описують існуючий зв'язок між показниками.

Окрім цього, якість моделей проаналізовано за відповідними критеріями (Фішера та Стьюдента) та встановлено, що фактичне значення критерію Фішера обох рівнянь ($F_\phi = 28751,5784$ та $F_\phi = 99,3847$) значно

перевищує його табличний (критичний) рівень ($F_{\text{табл.}} = 4,12$ при $\alpha = 0,05$), що підтверджує адекватність побудованих моделей. Водночас визначено, що всі коефіцієнти регресії, які ввійшли до рівнянь, є статистично значущими, так як розраховані критерії Стюдента ($t_{\text{ф}} = 46,027 - 970,251$) були значно вищими за його табличне значення ($t_{\text{табл.}} = 2,29$).

Для більш повного уявлення про вплив кожного з включених до моделі факторів на результативну ознаку було визначено коефіцієнт еластичності (ϵ_i), який дає змогу оцінити, на скільки відсотків зміниться результуюча ознака при зміні факторної ознаки на один відсоток при фіксованому значенні інших факторів. Проаналізувавши отримані коефіцієнти еластичності за використання лише оброблення насіння, які становлять $\epsilon(X_1) = -0,140$ та $\epsilon(X_2) = -4,187$, можна стверджувати, що збільшення повної собівартості врожаю на 1% призводить до зниження рентабельності у середньому на 0,14%, а збільшення собівартості насіння сої лише на 1% до зниження рентабельності на 4,19%.

За оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) із послідовним позакореневим підживленням у різні фази розвитку сої коефіцієнти еластичності відповідно становили: $\epsilon(X_1) = -5,812$, $\epsilon(X_2) = -4,888$.

7.2. Біоенергетична оцінка вирощування сої за різних технологій вирощування

Аналіз показників біоенергетичної оцінки технологій вирощування сої показав, що витрати сукупної енергії за застосування досліджуваних агрозаходів зростали на 4,2–90,2% (на 374–7995 МДж/га) порівняно з абсолютним контролем (табл. 7.4). Відповідно у перерахунку на 1 т вирощеної продукції витрати сукупної енергії зросли на 2–55% (на 50–1630 МДж/т). Також виявлено збільшення на 2,7–25,5% (1415–13445 МДж/га) виходу енергії з урожаєм.

Таблиця 7.4

Показники біоенергетичної ефективності вирощування сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр.

Удобрєння	Оброблення насіння											
	Оброблення водою				мікоризоутворювач				мікоризоутворювач + протруйник			
	1*	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Без добрив (контроль)	8860	52716	2970	5,95	9234	54131	3020	5,86	9553	55016	3070	5,76
P ₄₅ K ₆₀	10487	55547	3340	5,30	10925	57669	3350	5,28	11211	58200	3410	5,19
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	14851	57316	4580	3,86	15321	59792	4530	3,90	15702	61384	4530	3,91
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	14520	56962	4510	3,92	14942	58908	4490	3,94	15228	59994	4530	3,90
Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакореневе підживлення у фазі:												
Удобрєння	гілкування				бутонізації				цвітіння			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Без добрив (контроль)	10389	56254	3270	5,42	10642	59085	3190	5,55	10594	58554	3200	5,53
P ₄₅ K ₆₀	12127	60323	3560	4,97	12253	61738	3510	5,04	12142	60500	3550	4,98
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	16744	64922	4560	3,88	16855	66161	4510	3,93	16665	64038	4600	3,84
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	16349	63861	4530	3,91	16413	64569	4500	3,93	16349	63861	4530	3,91

Примітка: *1 – всього витрат на 1 га, МДж; 2 – вихід енергії з урожаєм, МДж/га;
3 – витрати енергії на створення 1 т продукції, МДж; 4 – Кеє.

У варіантах без оброблення насіння при удобренні сої фосфорно-калійними добривами $P_{45}K_{60}$ витрати сукупної енергії зросли на 18,4% (1627 МДж/га), на 67,6% (5991 МДж/га) – за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, на 63,9% (на 5660 МДж/га) – за внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$. У перерахунку на 1 т вирощеної продукції витрати сукупної енергії зросли відповідно на 12,5%, 54,2%, 51,9%, що становило 370 МДж/т, 1640 МДж/т, 1540 МДж/т. Також виявлено збільшення на 5,4–8,7% (2831–4600 МДж/га) виходу енергії з урожаєм.

Водночас коефіцієнт біоенергетичної ефективності (K_{ee}) знизився на 35% порівняно з абсолютним контролем до рівня 3,86 у варіанті з унесенням $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і до 3,92 – за внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$. Тоді як у варіанті з удобренням $P_{45}K_{60}$ K_{ee} був на рівні з контролем 5,30.

Встановлено, що вирощування сої із застосуванням передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом супроводжувалось незначним (на 3–4%) зростанням витрат сукупної енергії на 374–470 МДж/га, а витрати енергії на 1 т вирощеної продукції були на рівні контрольних варіантів, де не застосовували цей агрозахід. При цьому вихід енергії з урожаєм зростав на 1415–2476 МДж/га (3–4%), а коефіцієнт біоенергетичної ефективності (K_{ee}) був на рівні контрольних варіантів без оброблення насіння.

За оброблення насіння мікоризоутворювачем із додаванням протруйника виявлено зростання витрат сукупної енергії на 693–851 МДж/га, що було на 5–8% більше, ніж у контрольних варіантах без оброблення насіння. Також зростав на 4–7% (на 2300–4068 МДж/га) вихід енергії з урожаєм. При цьому показники витрат енергії на 1 т вирощеної продукції та коефіцієнту біоенергетичної ефективності (K_{ee}) були на рівні контрольних варіантів без оброблення насіння.

За передпосівного оброблення насіння сої та позакореневого підживлення рослин у критичні для росту та розвитку рослин періоди на фоні внесення мінеральних добрив виявлено зростання витрат сукупної енергії в

1,4–1,9 раза порівняно з абсолютним контролем та на 12–17% порівняно з варіантами без застосування цих агрозаходів. Відповідно витрати енергії на формування 1 т вирощеної продукції зростали в 1,2–1,5 раза, а вихід енергії з урожаєм – в 1,1–1,3 раза порівняно з абсолютним контролем.

Так, у варіанті з передпосівним обробленням насіння сої та позакореневим підживленням рослин у фазі гілкування витрати сукупної енергії зросли на 1529 МДж/га, що було на 17,3% більше, ніж у контрольному варіанті (без оброблення насіння і підживлення рослин). На фоні внесення фосфорно-калійних добрив цей показник зріс на 15,6% (1640 МДж/га), на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ – на 12,7% і 12,6% (1893 МДж/га і 1829 МДж/га) відповідно. Витрати енергії на формування 1 т вирощеної продукції зростали на 6,6% (220 МДж) на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ і на 10,1% (300 МДж) на фоні без добрив, а за внесення повного мінерального добрива ($N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$) було на рівні контролю. При цьому виявлено зростання показника виходу енергії урожаю на фоні без добрив на 3538 МДж/га (або на 6,7%), на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ – на 4776 МДж/га (на 8,6%), на фоні $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 7606 і 6899 МДж/га (або на 13,3% і 12,1% відповідно). Коефіцієнт біоенергетичної ефективності (K_{ee}) у варіанті без добрив знизився на 8,9% і становив 5,42, на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ – знизився на 6,2% і становив 4,97, тоді як на фоні внесення повного мінерального добрива $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ – залишався на рівні контролю і становив відповідно 3,88 і 3,91 (у контролі – 3,86 і 3,92).

У варіанті з передпосівним обробленням насіння сої та підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації рівень витрат сукупної енергії зріс на 1782 МДж/га (20,1%) на фоні без добрив, на 16,8% (1766 МДж/га) – на фоні внесення фосфорно-калійних добрив, на 13,5% і 13,0% (2004 МДж/га і 1893 МДж/га) – на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ порівняно з контрольними варіантами (без оброблення насіння і підживлення рослин). Витрати енергії на формування 1 т вирощеної продукції зростали на 5,1% (170 МДж) на фоні внесення $P_{45}K_{60}$

і на 7,4% (220 МДж) на фоні без добрив, а за внесення повного мінерального добрива ($N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$) були на рівні контролю. При цьому виявлено зростання показника виходу енергії урожаю на фоні без добрив на 6369 МДж/га (або на 12,1%), на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ – на 6191 МДж/га (на 11,1%), на фоні $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ – 8845 і 7607 МДж/га (або на 15,4% і 13,4% відповідно). Коефіцієнт біоенергетичної ефективності (K_{ee}) у варіанті без добрив знизився на 6,7% і становив 5,55, на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ – знизився на 4,9% і становив 5,04, на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ – зріс майже на 2% і становив 3,93, тоді як на фоні $N_{45}P_{45}K_{60}$ – був майже на рівні контролю без застосування цих агрозаходів і становив 3,93 (у контролі – 3,92).

За підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі цвітіння виявляли подібні залежності показників біоенергетичної ефективності вирощування сої як і за підживлення в фазу бутонізації, але значення показників були дещо нижчими. Зокрема, цей агрозахід забезпечив зростання сукупних витрат енергії на 19,6% (на 1734 МДж/га) на фоні без удобрення, на 15,8% (1655 МДж/га) – при удобренні сої фосфорно-калійними добривами $P_{45}K_{60}$, на 12,2% і 12,6% (1814 і 1829 МДж/га) – за внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$. Виявлено збільшення на 8,9–12,1% (4953–6899 МДж/га) виходу енергії з урожаем порівняно з контрольними варіантами (без оброблення насіння і підживлення рослин) у всіх варіантах дослідження. У перерахунку на 1 т вирощеної продукції витрати сукупної енергії зросли лише у варіанті без добрив і за внесення фосфорно-калійних добрив – на 6,3–7,7%, що становило 210–230 МДж/т. Аналогічно, фіксували зменшення показника коефіцієнта біоенергетичної ефективності (K_{ee}) у варіанті без добрив на 7,7% і на фоні внесення $P_{45}K_{60}$ на 6,0%, які відповідно становили в 5,53 і 4,98. На фоні внесення повного мінерального добрива $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$ – K_{ee} був майже на рівні контролю без застосування цих агрозаходів і становив 3,84 і 3,91 (у контролі – 3,86 і 3,92 відповідно).

Отже, розрахунки показників біоенергетичної ефективності у середньому за роки досліджень (2021–2023 рр.) показали, що введення до технології вирощування сої таких елементів як передпосівна обробка насіння мікоризоутворюючим біопрепаратом у поєднанні з протруювачем та позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом є ефективним і доцільним, оскільки значення коефіцієнта біоенергетичної ефективності (K_{ee}) є високими ($> 3,5$) та забезпечує збільшення накопичення енергії в урожаї.

Висновки до Розділу 7

1. Вирощування сої сорту Муза на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд у поєднанні з протруйником Вайбранс та проведенням позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації є економічно вигідним агрозаходом, оскільки забезпечує зростання рівня рентабельності виробництва на 13,3%, прибутку на 19,4%, вартості вирощеного врожаю на 15,4% та зниження собівартості 1 тонни насіння на 8,8%.

2. За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що найбільший вплив на рентабельність при вирощування сої має повна собівартість урожаю та собівартість насіння культури. Це підтверджують коефіцієнти детермінації, які свідчать, що 98,2–99,8% всієї варіації рентабельності зумовлено сукупною дією досліджуваних змінних. На основі цього побудовано моделі залежності рівня рентабельності від повної собівартості врожаю та собівартості насіння сої за оброблення лише насіння (мікоризоутворювач + протруйник) та з подальшим проведенням позакореневого підживлення у критичні для росту і розвитку рослин фази. Побудовані економіко-математичні моделі є адекватними за критерієм Фішера, а коефіцієнти рівнянь регресії значимі за критерієм Стюдента, що

дає можливість використання моделей для практичного прогнозування рівня рентабельності.

3. Найбільш ефективним за біоенергетичними показниками було вирощування сої сорту Муза із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд у поєднанні з протруйником Вайбранс та проведенням позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та $N_{45}P_{45}K_{60}$, що за збільшення сукупних витрат на 13,0–13,5% забезпечило підвищення накопичення енергії в урожаї на 13,4–15,4% та K_{ee} 3,93.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [14].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі проведених комплексних досліджень науково обґрунтовано удосконалення технології вирощування сої в умовах Правобережного Лісостепу України шляхом поєднання внесення мінеральних добрив, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом і протруювачем та позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом у критичні періоди росту рослин. Аналіз та узагальнення результатів теоретичних і експериментальних досліджень дали змогу зробити такі висновки:

1. Встановлено, що гідротермічні умови мали значний вплив на проходження міжфазних періодів і тривалість вегетації рослин сої сорту Муза. Сприятливий температурний режим та достатнє зволоження (2023 р.) зумовило подовження періоду вегетації сої до 113 діб; за дефіциту опадів та нестачі тепла (2022 р.) період вегетації був на 6 діб коротшим і становив 107 діб.

2. Варіант технології вирощування сої, що передбачав внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$, сівбу насінням, обробленим мікоризоутворюючим біопрепаратом Мікофренд у поєднанні з протруйником Вайбранс та позакоренеve підживленням органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя (у фазі бутонізації, цвітіння) забезпечує у фазі наливу бобів (ВВСН 89) формуванню рослин висотою 108,1–112,3 см, їх надземної маси на рівні 116,4–118,0 г/рослину та накопиченню сухої маси 26,8–29,2 г/рослину. За перенесення частини азотних добрив у підживлення ($N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$) відмічали збільшення висоти рослин до 104,6–111,9 см, формування надземної маси до рівні 113,4–115,0 г/роsl. та накопичення сухої маси до 25,9–27,4 г/роsl.

3. Найкращі умови для наростання площі листкової поверхні рослин сої сорту Муза, яка у фазі наливу бобів досягала максимального значення

1707,5 см²/рослину, що перевищувало абсолютний контроль на 16%. формувалися за передпосівного оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд сумісно з протруйовачем Вайбранс та позакореневим підживленням рослин у період цвітіння на фоні внесення N₄₅P₄₅K₆₀.

4. Найвищі значення показника індексу листової поверхні посіву сої у фазі наливу бобів (ВВСН 89) 9,76–10,02 м²/м² формувалися за внесення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворювачем та протруйником, а також позакореневого підживлення рослин органо-мінеральним добривом. При цьому найвищий рівень врожайності насіння сої був у варіантах з індексом листової поверхні на рівні 9,81 і 9,76 м²/м² і площею листової поверхні 1662,7 і 1682,8 см²/рослину відповідно за внесення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворювачем та протруйником та позакореневого підживлення рослин у фазі гілкування та бутонізації.

5. Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем і протруйником та позакореневе підживлення органо-мінеральним добривом рослин сої у критичні періоди на фоні внесення N₄₅P₄₅K₆₀ забезпечило найвищий фотосинтетичний потенціал посівів у міжфазний період «1-ий трійчастий листок – бутонізація» і «бутонізація – цвітіння» з перевищенням абсолютного контролю в 1,7 раза і 2,0 раза відповідно, у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» на фоні внесення N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀ – в 1,7 раза.

6. Найвищі показники чистої продуктивності посівів у міжфазні періоди «1-ий трійчастий листок – бутонізація» та «бутонізація – цвітіння» – відповідно 4,52–6,21 г/м²×добу і 8,52–11,28 г/м²×добу, формувалися за внесення N₄₅P₄₅K₆₀. У варіантах із перенесенням частини азотних добрив у підживлення (N₁₅P₄₅K₆₀+N₃₀) найвищими показники були у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» – 5,60–6,43 г/м²×добу, що свідчить про подовження періоду функціонування листового апарату рослин.

7. Найбільш сприятливі умови для формування симбіотичного апарату сої сорту Муза впродовж вегетації були за передпосівного оброблення

насіння у поєднанні з позакореневим підживленням рослин органомінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, що забезпечило у фазі наливу бобів (ВВСН 89) утворення на корінні бульбочок у кількості 48,6 шт./роsl. масою 23,10 г/10 роsl., серед яких кількість активних бульбочок становила 47,9 шт./роsl. з масою 22,96 г/10 роsl. Маса бульбочок у перерахунку на 1 га посівів сої була в 3,2 раза більшою, ніж в абсолютному контролі і становила 1339,8 кг і 1331,7 кг відповідно.

8. Встановлено, що найвищі показники загального (13592,7 кг × діб/га) та активного (13430,8 кг × діб/га) симбіотичного потенціалу посіву сої у міжфазний період «цвітіння – налив бобів» були на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та застосування позакореневого підживлення рослин органомінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації із перевагою над абсолютним контролем відповідно на 9062,1 і 8956,0 кг × діб/га, або в 3 рази. Це забезпечило фіксацію біологічного азоту на рівні 81,16 кг/га, що було на 52,13 кг/га або в 2,8 раза більше, ніж в абсолютному контролі.

9. Встановлено, що за внесення мінеральних добрив, передпосівного оброблення насіння і позакореневого підживлення висота прикріплення нижніх бобів на рослині підвищувалася до рівня 12,6–14,2 см, кількість бобів на рослині – до 36,5–44,0 шт., кількість насінин у бобі – до 2,2 шт., кількість насінин з однієї рослини – до 76,0–98,4 шт., маса насіння з однієї рослини – до 14,5–20,3 г, маса 1000 насінин – 192,4 г.

10. Найбільшу кількість бобів – 44,0 шт./роsl., кількість насінин на рослині – 98,4 шт. та їх масу 20,3 г було сформовано у варіанті оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) та позакореневим підживленням органомінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі цвітіння на фоні внесення $N_{45}P_{45}K_{60}$, що перевищувало абсолютний контроль на 32,5%, 34,4% та 42,0% відповідно. При цьому маса 1000 насінин зростала до 207,7 г і була найбільшою у досліді (в абсолютному контролі 198,2 г).

11. Позакореневе підживлення рослин сої органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації на фоні удобрення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ та передпосівного оброблення насіння підвищувало врожайність до 3,67 і 3,74 т/га (на 23,2% і 25,5% відповідно) та дало змогу отримати приріст врожаю до абсолютного контролю 0,69 т/га і 0,76 т/га. Підживлення рослин у фазі цвітіння забезпечило врожайність насіння сої на рівні 3,62 т/га з приростом врожаю 0,64 т/га.

12. У середньому за 2021–2023 рр. найвищі показники збору сирого протеїну з одиниці площі 1,34 і 1,35 т/га та інтенсивності його накопичення в насінні 12,18 і 12,27 кг/га за добу отримано за вирощування сої з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі бутонізації на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ і $N_{45}P_{45}K_{60}$. Найвищі показники збору олії з одиниці площі 0,81 і 0,82 т/га та інтенсивності накопичення олії в насінні сої 7,37 і 7,45 кг/га за добу в середньому за роки досліджень було отримано за вирощування сої на фоні внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ з обробленням насіння мікоризоутворювачем і протруювачем та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя у фазі гілкування і бутонізації.

13. Встановлено залежність урожайності насіння сої від елементів погоди: із середньомісячною температурою повітря тісний кореляційний зв'язок виявлено для липня ($r = -0,931$), з кількістю опадів за місяць – для травня ($r = -0,875$), червня ($r = 0,720$) і серпня ($r = -0,950$). Найбільший сумісний вплив середньодобової температури повітря та кількості опадів виявлено протягом третьої декади червня ($r = -0,938$ та $0,996$) і серпня ($r = 0,976$ та $-0,999$).

14. Варіант технології вирощування сої сорту Муза, що передбачав внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд у поєднанні з протруйником Вайбранс та позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом

Хелпрост Соя у фазі бутонізації забезпечив зростання рівня рентабельності виробництва на 13,3%, прибутку на 19,4%, вартості вирощеного врожаю на 15,4% та зниження собівартості 1 тони насіння на 8,8%, а також підвищення накопичення енергії в урожаї на 13,4–15,4% та Кеє 3,93.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

На основі одержаних результатів досліджень для отримання врожайності насіння середньоранніх сортів сої на рівні 3,65–3,74 т/га із вмістом сирого протеїну 35,8–36,1% та олії 21,7–21,9% агроформуванням Лісостепу правобережного рекомендується:

- висівати середньоранні сорти сої типу Муза;
- вносити мінеральні добрива у нормі $N_{15}P_{45}K_{60}$ в основне удобрення та N_{30} у фазі бутонізації рослин;
- проводити передпосівне протруєння насіння та у день сівби оброблення мікоризоутворюючим препаратом;
- проводити позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом у фазі бутонізації (ВВСН 51–59).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамень Ф.Ф., Вергунов В.А., Лазер П.Н. Агробиологические особенности возделывания сои в Украине. Київ: Аграрна наука, 2006. 456 с.
2. Амонс С.Е., Красняк О.П. Екологізація аграрного виробництва як основа формування системи продовольчої безпеки України. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 47. doi: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-41>
3. Андрієнко А.Л., Мащенко Ю.В. Вплив різного насичення сівозмін соєю на її продуктивність. *Агроном*. 2011. № 1. С. 140–143.
4. Бабич А.О., Новохацький М.Л. Освітленість рослин та її вплив на динаміку листкового індексу посівів сої в умовах Правобережного Лісостепу України. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2001. Вип. 12. С. 179–184.
5. Балан Г.О., Ткачик С.О., Орленко Н.О., Бушулян О.В. Аналіз фітосанітарного стану посівів різних сортів сої в умовах Південного Степу України. *Вивчення та охорона сортів рослин*. 2018. № 14(3). С. 295–301. doi: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145300>
6. Бахмат О.М. Моделювання адаптивної технології вирощування сої. Монографія. Кам'янець-Подільський, 2012. 436 с.
7. Бербенець О.В. Світове виробництво сої як невичерпного джерела білків рослинного походження та місце України на світовому ринку торгівлі нею. *Агросвіт*. 2019. № 10. С. 41–45. doi: [10.32702/2306-6792.2019.10.41](https://doi.org/10.32702/2306-6792.2019.10.41)
8. Береговенко С.К., Пухтаєвич П.П., Якимчук Р.А. Особливості формування та функціонування соєво-ризобіального симбіозу при використанні нових культур *Bradyrhizobium japonicum*. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2018. Вип. 27. С. 3–10. doi: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.27.3-10>
9. Бердін С.І., Мурач О.М., Колісник О.М., Триус В.О. Врожайність сої в залежності від схем передпосівної обробки насіння різнодіючими

біологічними препаратами. *Аграрні інновації*. 2024. № 24. С. 24–30. doi: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.3>

10. Білявська Л.Г., Білявський Ю.В. Взаємодія сучасних сортів сої з біопрепаратами комплексної дії та її вплив на урожайність. *Мікробіологічний журнал*. 2016. № 78(3). С. 61–68.

11. Білявська Л.Г., Білявський Ю.В., Брижак Я.В. Вплив біопрепаратів комплексної дії на посівні якості насіння сої. *Вісник ПДАА*. 2022. № 4. С. 32–40. doi: [10.31210/visnyk2022.04.04](https://doi.org/10.31210/visnyk2022.04.04)

12. Бойко А.Л., Адамчук В.В., Литвинюк Л.К. та ін. Дослідження впливу повторного внесення біопрепарату Біоекофунге-3 на врожайність соняшнику та сої. *Механізація та електрифікація сільського господарства. Загальнодержавний збірник*. 2022. Вип. 15(114). С. 57–63. doi: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-6>

13. Бричко А.М., Зубенок А.В. Економічна ефективність застосування добрив під сою. *Економіка і суспільство*. 2018. Вип. 18. С. 302–308. doi: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-18-42>

14. Буслаєва Н.Г., Голодна А.В., Грицюк Я.В. Прогнозування рівня рентабельності за різних варіантів технології вирощування (*Glycine max* L.). *Агроекологічний журнал*. 2024. № 3. С. 164–172. doi: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311192>

15. Вишнівський П.С., Фурман О.В. Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах правобережного Лісостепу України. *Plant and soil science*. 2020. Вип. 11. № 1. С. 13–22. doi: [10.31548/agr2020.01.013](https://doi.org/10.31548/agr2020.01.013)

16. Вожегова Р.А., Боровик В.О., Клубук В.В., Бояркіна Л.В., Біднина І.О. Особливості нових зразків сої *Glycine max* (L.) в умовах зрошення Півдня України. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 3. С. 82–87. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202203-10>

17. Вожегова Р.А., Коковіхіна О.С. Економічна та енергетична ефективність вирощування насіння сої залежно від сортового складу, удобрення та захисту рослин. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 14. С. 129–134. doi: <https://doi.org/10.32848/agraar.innov.2022.14.19>
18. Вознюк Н.П., Собко З.З. Залежність врожайності сільськогосподарських культур від агрометеорологічних та антропогенних факторів. *Вісник НУВГП. Серія «Сільськогосподарські культури»*. 2016. Вип. 2(74). С. 38–46.
19. Вознюк С.В., Титова Л.В., Ратушинська О.В., Іутинська Г.О. Формування та функціонування симбіотичних систем та мікробіоценозу ризосфери сої за використання різних фунгіцидів. *Мікробіологічний журнал*. 2016. Т. 78, № 4. С. 59–70.
20. Воробей Н.А., Пухтаєвич П.П., Коць Т.А., Коць С.Я. Використання бульбочкових бактерій як засобу розширення адаптивних можливостей сої в умовах посухи. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. Т. 54, № 1. С. 26–39. doi: <https://doi.org/10.15407/frg2022.01.026>
21. Гадзовський Г.Л., Новицька Н.В. Формування врожайності сої під впливом інокуляції та підживлення. *Миронівський вісник*. 2018. Вип. 7. С. 113–122. doi: <https://doi.org/10.31073/mvis201807-11>
22. Гангур В.В., Пипко О.С., Прокопів О.О. Продуктивність сої залежно від технології передпосівного обробітку ґрунту та інокулювання. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 4. С. 85–90. doi: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.10>
23. Ганжа В.В., Іванів М.О. Економічна та енергетична оцінка вирощування сортів сої на краплинному зрошенні. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 119. С. 16–27. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.119.3>
24. Гарбар Л.А., Довбаш Н.І., Венгер В.В. Формування продуктивності сої за впливу дії інокуляції, удобрення, стимуляторів росту.

Аграрні інновації. 2022. № 14. С. 12–17. doi:
<https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.2>

25. Гень С.П. Врожайність і структура врожаю сої залежно від елементів технології вирощування. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 71(2). С. 100–111.

26. Глупак З.І. Оптимізація густоти стояння рослин сої залежно від групи стиглості сорту для умов північно-східної частини Лісостепу України. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 2. С. 23–25.

27. Голбан Н.М., Рассохина А.И. Методы и результаты селекции фасоли на пригодность к механизированной уборке. Селекция и семеноводство полевых культур в Молдавской ССР. Кишинев: Штиинца, 1987. С. 47–54.

28. Голобородько С., Ютинська Г., Титова Л., Дубінська О. Продуктивність сортів сої за інокуляції насіння бульбочковими та ендоефітними бактеріями в умовах зрошення Півдня України. *Меліорація та водне господарство*. 2020. № 1. С. 122–130. doi:
<https://doi.org/10.31073/mivg202001-221>

29. Голодна А.В. Технологічні аспекти вирощування кормових люпинів у зоні Лісостепу України. Монографія. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2018. 380 с.

30. Голодна А., Грицюк Я. Накопичення сухої речовини рослинами сої залежно від варіанту технології вирощування. *Сучасні кормові ресурси: селекція, технологія виробництва, заготівля та безпека кормів: Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених (Вінниця, 14 вересня 2023 р.)*. Вінниця, 2023. С. 32–34.

31. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Висота прикріплення нижніх бобів у рослин сої за різного удобрення й оброблення насіння. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. Вип. 4(10). С. 51–57. doi:
[10.54651/agri.2023.04.06](https://doi.org/10.54651/agri.2023.04.06)

32. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Вміст олії в насінні сої та її збір залежно від удобрення та оброблення насіння. *Олійні культури: сьогодення та перспективи: Матеріали Міжнародної наукової Інтернет-конференції* (Запоріжжя, 27 березня 2024 р.). Запоріжжя: ІОК НААН, 2024. С. 86–87.

33. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Загальний та активний симбіотичний потенціал рослин сої за різних технологій вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 4–5 липня 2024 р.). Київ, 2024. С. 56–58.

34. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Культура соя та її значення у сучасному світовому і вітчизняному агровиробництві. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 2. С. 101–110. Doi: 10.33730/2310-4678.2.2024.309929

35. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Показники структури врожаю сої залежно від варіанту технології вирощування. *Корми і кормовий білок: Матеріали XIV Міжнародної наукової конференції* (Вінниця, 12 жовтня 2022 р.). Вінниця, 2022. С. 74–76.

36. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Ріст і розвиток рослин сої за різних варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Наукові читання до 85-річчя від Дня народження В.Г. Михайлова – видатного вченого у галузі селекції та насінництва с.-г. культур: Матеріали наукової Інтернет-конференції* (Чабани, 5 жовтня 2021 р.). Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2021. С. 64–68.

37. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Формування продуктивності рослинами сої за різних технологій вирощування. *Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції* (Іллінці, 23 червня 2022 р.). Іллінці, 2022. С. 109–112.

38. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Фотосинтетична діяльність посіву сої за різних моделей технології вирощування. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 1 (11). С. 57–65. doi: 10.54651/agri.2024.01.06
39. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Фотосинтетична діяльність рослин сої за різних варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Тенденція та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика: Матеріали III Міжнародної наукової Інтернет-конференції* (Київ, 20–22 жовтня 2021 р.). Київ: НУБІП, 2021 С. 78–80.
40. Голодна А.В., Грицюк Я.В. Фотосинтетична продуктивність посіву сої за різних варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 2. С. 133–142. doi: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305672>
41. Голодна А.В., Грицюк Я.В., Буслаєва Н.Г., Столяр О.О. Вплив удобрення, оброблення насіння та метеорологічних умов на урожайність сої в Правобережному Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 2 (12). С. 58–66. doi: 10.54651/agri.2024.02.07
42. Голодна А.В., Павленко В.Ю. Показники елементів структури врожаю та врожайність люпину вузьколистого за вирощування з вівсом голозерним. *Корми і кормовий білок*. 2014. Вип. 79. С. 157–163.
43. Господаренко Н.М., Прокопчук І.В., Леонова К.П., Бойко В.П. Урожайність і якість насіння сої за різного удобрення на чорноземі опідзоленому. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2020. Вип. 97. Ч. 1. С. 136–144. doi: <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2020-97-1-136-144>
44. Грабовський М.Б., Мостипан О.В. Економічна оцінка застосування фунгіцидного і гербіцидного захисту сортів сої різних груп стиглості. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 134. С. 46–53. doi: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.7>
45. Грабовський М.Б., Федорук Ю.В., Грабовська Т.О., Лозінський М.В., Козак Л.А. Порівняльна оцінка урожайності та якісних

показників сортів сої за традиційної та органічної технологій вирощування. *Зернові культури*. 2023. Т. 7, № 1. С. 113–122. doi: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0266>

46. Григор'єва О.М., Дімова С.Б., Алмасва Т.М. Ефективність біопрепаратів у технології вирощування сої на чорноземі звичайному важкосуглинковому Правобережного Степу України. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2019. Вип. 29. С. 46–55. doi: 10.35868/1997-3004.29.46-55

47. Грицюк Я.В. Урожайність сої залежно від варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Новітні системи землеробства та технології вирощування сільськогосподарських культур: вклад молодих вчених: Матеріали Науково-практичної Інтернет-конференції молодих вчених і спеціалістів* (Чабани, 18 листопада 2021 р.). Вінниця, ТОВ «ТВОРИ», 2021. С. 16–18.

48. Гутянський Р.А. Нодуляційна здатність, маса рослин та врожайність сої залежно від комплексного застосування препаратів. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 6. С. 23–29. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202206-03>

49. Гуменюк І.І., Левішко А.С., Дем'янюк О.С. Ефективність формування і функціонування симбіотичної системи сої за обробки посівів гліфосат. *Біологічні системи: теорія та інновації*. 2021. Т. 12, № 1. С. 75–89. doi: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2021.01.0>

50. Дем'янюк О.С., Гаврилюк Л.В., Безноско І.В. Ефективність біопрепарату філазоніт на вегетативних органах рослин різних сортів сої. *Збалансоване природокористування*. 2022. № 1. С. 82–89. doi: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2022.255226>

51. Державна служба статистики України. URL: <http://ukrstat.gov.ua>

52. Димитров С., Саблук В. Ефективність обробки насіння біопрепаратами для підвищення продуктивності сої (*Glycine max* (L.) Merr.). *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2023. № 2(3). С. 67–81. doi: <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230203.07>

53. Дідора В.Г., Ступніцька О.С., Дідора Л.Д. Ефективність симбіотичної діяльності посівів сої в умовах Полісся України. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 8. С. 56–60.

54. Дідур І.М. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневих підживлень на динаміку формування площі листкової поверхні рослин сої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 4(27). С. 5–14. doi: 10.37128/2707-5826-2022-4-1

55. Дідур І.М. Економічна оцінка моделей технології вирощування сої за біологізованої системи живлення. *Сільське господарство та лісівництво*. № 2 (29). 2023. С. 214–221. doi: 10.37128/2707-5826-2023-2-19.

56. Дідур І.М., Циганський В.І. Вплив мікоризації насіння та ґрунтового біодобрива на формування індивідуальної продуктивності рослин сої. *Сільське господарство та лісівництво*. № 4 (31). 2023. С. 5–15. doi: 10.37128/2707-5826-2023-4-1

57. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 350 с.

58. ДСТУ 4362 : 2006. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Чинний від 2006 – 01-01. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 19 с. (Національний стандарт України).

59. Енкен В.Б. Критический период в развитии сои по требовательности ее к влаге. Научные труды Кубанской опытной станции, 1963. Вып. 2. С. 77–92.

60. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Дія, 2005. 288 с.

61. Жеребко В.М. Зміни жирно-кислотного складу насіння сої залежно від догляду за її посівами. *Карантин і захист рослин*. 2016. № 5. С. 4.

62. Жуйков О.Г., Іванів М.О., Марченко Т.Ю., Возняк В.В. Сучасне виробництво сої як елемент розв'язання проблеми харчового білка: світові

тренди та вітчизняні реалії. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 116. Ч. 1. С. 54–63.

63. Заболотний Г.М., Мазур В.А., Циганська О.І. та ін. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності: монографія. Вінниця, 2020. 276 с.

64. Задорожний В.С., Свитко С.М. Вплив листових підживлень бактеріальними добривами на продуктивність сої. *Корми і кормовиробництво*. 2018. Вип. 86. С. 87–94.

65. Зимароєва А.А. Екологічні детермінанти урожайності сої. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 112. С. 69–76. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112.9>

66. Іванів М.О., Ганжа В.В. Динаміка площі листової поверхні та урожайність сортів сої залежно від елементів технології за краплинного зрошення. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 29–37. doi: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.5>

67. Іванів М.О., Возняк В. Формування асиміляційної листової поверхні сортів сої залежно від елементів технології в умовах зрошення. *Аграрні інновації*. 2023. № 18. С. 56–66. doi: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.8>

68. Іутинська Г.О., Голобородько С.П., Титова Л.В., Дубинська О.Д. Ефективність бобово-ендофітно-ризобіального симбіозу і продуктивність різних за скоростиглістю сортів сої в умовах зрошення Південного Степу України. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 11. С. 56–66. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-08>

69. Казыдуб Н.Г., Цыганок Н.С. О пригодности сортов фасоли овощной к механизированной уборке. *Овощи России*. 2010. № 3 (9). С. 37–40.

70. Каленська С.М. Агроекологічні та біологічні основи інтенсифікації виробництва озимого жита і тритикале в Лісостепу України: дис... доктора с.-г. наук: 06.01.09. Київ, 2001. 419 с.

71. Каленська С.М., Дмитришак М.Я., Демидась Г.І. та ін. Рослинництво з основами кормовиробництва: підручник. Вінниця: ТОВ «Нілан ЛТД», 2014. 650 с.
72. Каленська С.М., Новицька Н.В., Барзо І.Т. Економічна ефективність вирощування нуту в умовах правобережного Лісостепу України. *Молодий вчений*. 2014. № 10(13). С. 18–20.
73. Каленська С.М., Новицька Н.В., Гарбар Л.А., Андрієць Д.В. Урожайність як інтегральний показник реакції рослин сої на елементи технології вирощування. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Агрономія»*. 2010. Вип. 149. С. 227–234.
74. Калетнік Г.М., Браніцький Ю.Ю., Гунько І.В., Мазур О.В. Генотипні відмінності сортів сої за вмістом та виходом олії для виробництва біодизеля. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 11. С. 5–14.
75. Камінський В.Ф., Гадзало Я.М., Сайко В.Ф., Корнійчук М.С. Землеробство ХХІ століття – проблеми та шляхи вирішення / за ред. В.Ф. Камінського. Київ: ВП Едельвейс, 2015. 272 с.
76. Кириченко В.В., Рябуха С.С., Кобизєва Л.Н., Посилаєва О.О., Чернишенко П.В. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.): монографія. Харків, 2016. 400 с.
77. Киричок М., Ременюк С. Ефективність застосування гербіцидів на сої. *Карантин і захист рослин*. 2022. № 3. С. 20–25. doi: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2022.3.20-25>
78. Кобак С., Колісник С., Сереветник О., Чорна В. Мінеральне живлення сої. *The Ukrainian Farmer*. 2017. № 4. С. 112–116.
79. Кобизєва Л.Н., Святченко С.І., Тертишний О.В. Відбір сортозразків сої за інтенсивністю утворення білка. *Досягнення і проблеми генетики, селекції та біотехнології*. 2007. Т. 2. С. 67–69.
80. Ковалев В.Н. Теоретические основы оптимизации формирования урожая. М.: МСХА, 1997. 284 с.

81. Кононов А.С. Агрофитоценоз и методы его исследования. Брянск: Курсив, 2009. 300 с.
82. 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
83. Коць С.Я. Біологічна фіксація азоту: досягнення та перспективи розвитку. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 2. С. 128–159. doi: <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.128>
84. Коць С.Я., Воробей Н.А., Кириченко О.В., Мельникова Н.М., Михалків Л.М., Пухтаєвич П.П. Мікробіологічні препарати для сільського господарства. Київ: Логос, 2016. 48 с.
85. Крутило Д.В. Ефективність спільної інокуляції сої штамми *Bradyrhizobium japonicum* з різною швидкістю росту *Вісник аграрної науки*. 2017. № 10. С. 5–9.
86. Крутило Д.В., Колісник С.І., Булах Т.Д. Симбіоз штамів *Bradyrhizobium japonicum* із соєю за різних ґрунтово-кліматичних умов. *Агроекологічний журнал*. 2008. № 3. С. 70–74.
87. Кукол К.П., Воробей Н.А., Пухтаєвич П.П., Рибаченко Л.І., Якимчук Р.А. Вплив фунгіцидів на ефективність інокуляції сої стійкими до пестицидів бульбочковими бактеріями. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2020. Вип. 31. С. 26–35. doi: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.31.26-35>
88. Кульбіда М.І., Барабаш М.Б., Єлістратова Л.О. та ін. Клімат України: у минулому і майбутньому? Монографія / За ред. М.І. Кульбіди, М.Б. Барабаш. Київ: Сталь, 2009. С. 85–98.
89. Куперман Ф.М. Морфологія рослин. М.: Высшая школа, 1984. 240 с.
90. Кушнір М.В. Вплив передпосівної обробки насіння та позакоренових підживлень на урожайність та якість насіння сучасних сортів сої. *Селекція і насінництво*. 2014. Вип. 106. С. 134–140.

91. Логвінов К.Т., Дмитренко В.П., Грушка, І.Г. Короткий агрокліматичний довідник України: керівництво по користуванню гідрометеоінформації в сільськогосподарському виробництві. Київ: Укр. НДІ гідрометеорології. 1976. 214 с.
92. Любчич О.Г., Голодна А.В., Грицюк Я.В. Вирощування зернобобових культур в умовах змін клімату. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 21 квітня 2021 р.). Київ, 2021. С. 102–105.
93. Мазур В.А., Гончарук І.В., Дідур І.М. та ін. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур: монографія. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2021. 180 с.
94. Мазур В.А., Дідур І.М., Панцирева Г.В. Обґрунтування адаптивної сортової технології вирощування зернобобових культур в Правобережному Лісостепу України. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 3(18). С. 5–16. doi: 10.37128/2707-5826-2020-3-1
95. Мазур В.А., Ткачук О.П., Дідур І.М., Панцирева Г.В. Технологічність та агроекологічна стійкість скоростиглих сортів сої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 4(23). С. 96–111.
96. Мазур В.А., Ткачук О.П., Панцирева Г.В. Сортові ресурси сої в Україні. Вінниця: ТОВ «Твори», 2023. 220 с.
97. Мацибора В.І. Економіка сільського господарства: підручник. Київ: Вища школа, 1994. С. 136–153.
98. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 1988. 206 с.
99. Методика биоэнергетической оценки технологий производства сельскохозяйственных культур. Вып. 2. М.: Колос, 1971. 239 с.
100. Методика визначення відповідності сортів сої культурної (*Glycine max* (L.) Merr.) критеріям відмінності, однорідності та стабільності.

Затверджено Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 02.10.2023 № 1745. Київ, 2023. 21 с. URL: https://www.sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/2023/Method_soybean.pdf

101. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур / Держ. коміс. України по випробуванню та охороні сортів рослин; під ред. В.В. Волкодава. Київ, 2000. Загальна частина. 100 с.

102. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. І.П. Яцука, С.А. Балюка. Київ, 2019. 108 с.

103. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях / За ред. В. Волкогона. Київ, 2015. 248 с.

104. Міленко О.Г. Вплив агроекологічних факторів на врожайність сої. *Молодий вчений*. 2015. № 6 (12). С. 52–54.

105. Міленко О.Г., Сідаш А.А., Вегеренко В.С., Безпалый А.М., Гордівський І.В. Ефективність позакореневого підживлення посівів сої. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. Т. 27, № 1. С. 53–57. doi: <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.09>

106. Міленко О.Г., Соломон Ю.В., Вегеренко В.С. Вплив агротехнічних факторів на урожайність сої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. № 2. С. 119–126. doi: <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.02.14>

107. Міхеєва О.О., Рожков А.О., Міхеєв В.Г. Динаміка наростання площі листкової поверхні рослин сої залежно від норм висіву і способів сівби. *Біоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11, № 1–2. С. 77–88. doi: <http://dx.doi.org/10.31548/bio2019.01.009>

108. Молдован Ж.А., Молдован В.Г. Ефективність використання мікроелементів у позакореному підживленні сої в умовах Лісостепу Західного. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 12. С. 38–44.

109. Моргун В.В., Коць С.Я. Роль біологічного азоту в азотному живленні рослин. *Вісник НАН України*. 2018. № 1. С. 62–74. doi: <https://doi.org/10.15407/vsn2018.01.062>
110. Мостов'як І.І., Кравченко О.В. Симбіотичний апарат сої на фоні використання різних видів фунгіцидів та мікробного препарату. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 72–77. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.10>
111. Небаба К.С. Загальний і активний симбіотичний потенціал гороху посівного залежно від технологічних прийомів в умовах лісостепу західного. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агронія і біологія»*. 2021. Вип. 4(46). С. 49–54. doi: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.7>
112. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. *Тимирязевские чтения*. 1956. Вып. 15. С. 11–18.
113. Ничипорович А.А., Строганова Л.Э., Чмора С.Н., Власова М.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М.: Издательство АН СССР, 1961. 133 с.
114. Німенко С.С., Грабовський М.Б. Формування симбіотичного апарату сортів сої за органічного вирощування. *Аграрні інновації*. 2023. № 18. С. 89–97. doi: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.13>
115. Огурцов Є.М., Міхєєв В.Г., Белінський Ю.В., Клименко І.В. Адаптивна технологія вирощування сої у Східному Лісостепу України: монографія. Харків, 2016. 272 с.
116. Павлище А.В., Жемойда А.В., Кірізій Д.А., Рибаченко Л.І. Функціонування симбіотичного і фотосинтетичного апаратів сої за впливу протруйників фунгіцидної дії та екзогенного лектину. *Фізіологія рослин і генетика*. 2019. Т. 51. № 6. С. 517–528. doi: <https://doi.org/10.15407/frg2019.06.517>
117. Павлище А.В., Кірізій Д.А., Коць С.Я. Реакція симбіотичних систем сої на дію фунгіцидів за різних способів обробки. *Фізіологія рослин і*

генетика. 2017. Т. 49, № 3. С. 237–247. doi:
<https://doi.org/10.15407/frg2017.03.237>

118. Пати́ка В.П., Коць С.Я., Волкогон В.В. та ін. Біологічний азот. Київ: Світ, 2003. 424 с.

119. Петр И., Черны В., Грушка Л. Формирование урожаев основных сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1984. 367 с.

120. Петриченко В.Ф., Воронецька І.С. Виробництво олійних культур в Україні: сучасні виклики та перспективи. *Економіка АПК.* 2017. № 10. С. 32–40.

121. Петриченко В.Ф., Кобак С.Я., Чорна В.М. Вплив інокуляції та морфорегулятора на особливості росту рослин сої в умовах Лісостепу. *Вісник аграрної науки.* 2017. № 11. С. 29–34.

122. Петриченко В.Ф., Кобак С.Я., Чорна В.М., Колісник С.І., Лихочвор В.В., Пида С.В. Формування азотфіксувального потенціалу та продуктивності сортів сої селекції Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН. *Мікробіологічний журнал.* 2018. Т. 80, № 5. С. 63–75. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.05.063>

123. Петриченко В.Ф., Коць С.Я. Симбіотичні системи у сучасному сільськогосподарському виробництві. *Вісник НАН України.* 2014. № 3. С. 57–66.

124. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур: навчальний посібник. 4-те вид., випр., доповн. Львів: НВФ «Українські технології», 2014. 1040 с.

125. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В., Колісник С.І., Воронецька І.С., Кобак С.Я. Обґрунтування інтенсифікації виробництва зернобобових культур в Україні. *Web of Scholar.* 2018. Вип. 6(24). С. 22–29. doi: [10.31435/rsglobal_wos/12062018/5769](https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/12062018/5769)

126. Півторак М.В., Музиченко О.М. Методи прогнозування чистого прибутку підприємства. *Економіка та держава*. 2021. № 1. С. 124–129. doi: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.1.124>

127. Покотило І.А., Крижанівський В.Г., Невлад В.І. Урожайність і технологічна якість насіння сої залежно від основного обробітку ґрунту і попередників у Правобережному Лісостепу України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2020. Вип. 96. Ч. 1. С. 405–416. doi: 10.31395/2415-8240-2020-96-1-405-416

128. Посилаєва О.О., Кириченко В.В., Шелякіна Т.А. Вплив дефіциту вологи і підвищених температур на накопичення білку в насінні сучасних сортів сої. *Селекція і насінництво*. 2014. Вип. 105. С. 149–156.

129. Посыпанов Г.С. Методические аспекты изучения симбиотического аппарата бобовых культур в полевых условиях. *Изв. Моск. с.-х. акад. им. Тимирязева*. 1983. № 5. С. 17–26.

130. Посыпанов Г.С. Методические аспекты изучения симбиотического аппарата бобовых культур в полевых условиях. *Известия ТСХА*. 1975. № 6. С. 41–46.

131. Про внесення змін до Податкового кодексу України та деяких законодавчих актів України щодо забезпечення збалансованості бюджетних надходжень у 2018 році: Закон України від 21 грудня 2017 року № 2245-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-19#Text>

132. Прус Л.І. Вплив агротехнічних заходів на продуктивність сої. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 1. С. 62–67.

133. Рибальченко А.М. Особливості формування сортових ресурсів та урожайність сої в Україні. *Вісник Полтавської державної академії*. 2022. № 3. С. 18–25.

134. Рябуха С.С., Чернищенко П.В., Святченко С.І., Садовой О.О., Тесля Т.О. Вплив гідротермічних чинників довкілля на урожайність і біохімічний склад насіння сої. *Селекція і насінництво*. 2019. Вип. 115. С. 93–102. doi: 10.30835/2413-7510.2019.172785

135. Сергієнко В., Шита О., Худолій А. Вплив фунгіцидів на розвиток хвороб та врожайність сої в умовах Лісостепу України. *Карантин і захист рослин*. 2021. № 3. С. 18–23. doi: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2021.3.18-23>
136. Сергієнко В.Г., Шита О.В. Порівняльна оцінка різних систем захисту сої. *Карантин і захист рослин*. 2022. № 1(268). С. 3–7. doi: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2022.1.3-7>
137. Сільське господарство України. 2022. Статистичний збірник. Київ: Державна служба статистики України, 2023. 164 с.
138. Сінченко В.В., Танчик С.П., Літвінов Д.В. Урожайність та якість насіння сої залежно від обробітку ґрунту і попередників у правобережному Лісостепу України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2019. Вип. 95. Ч. 1. С. 217–225. doi: <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2019-95-1-217-225>
139. Січкач В.І. Сучасний стан і перспективи вирощування зернобобових культур на нашій планеті. *Зернобобові культури та соя для сталого розвитку аграрного виробництва України 2016: Матеріали Міжнар. наук. конф.* (м. Вінниця, 11–12 серпня 2016 р.). Вінниця, 2016. С. 14–15.
140. Степанова В.М. Биоклиматология сои. Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. 124 с.
141. Сторожук В.П., Кустовська О.В., Ткач Є.І., Шост І.М. та ін. Теорія статистики: курс лекцій / За ред. Є.І. Ткача. Тернопіль: Економічна думка, 2006. Ч. 1. 224 с.
142. Ткаченко Ю.А., Позднєв А.В. Живлення сої та вплив стресових чинників на врожай. *Агроном*. 2021. URL: <https://www.agronom.com.ua/zhyvlennya-soyi-ta-vplyv-stresovyh-chynnykiv-na-vrozhajnist/>
143. Ткачук О.П., Дідур І.М., Панцирева Г.В. Екологічна оцінка середньостиглих і середньо пізньостиглих сортів сої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 1(24). С. 5–15. doi: [10.37128/2707-5826-2022-1-1](https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-1-1)

144. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. 200 с.
145. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 264 с.
146. Федорук І.В. Вплив мікроелементів та інокуляції посівного матеріалу в технології вирощування сої. *Агробіологія*. 2020. № 2(161). С. 178–184. doi: 10.33245/2310-9270-2020-161-2-178-184
147. Фурман О.В. Симбіотична продуктивність та урожайність насіння сої залежно від інокуляції та удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 118. С. 200–205. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.24>
148. Цехмейструк М.Г., Шелякін В.О., Шевніков М.Я., Литвиненко О.С. Вплив строків сівби на врожайність сортів сої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 1. С. 35–41.
149. Циганська О.І., Слободянюк Е.О. Вивчення впливу біологічних препаратів на розвиток рослин сої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 1(32). С. 205–216. doi: 10.37128/2707-5826-2024-1-16
150. Циганська О.І., Циганський В.І. Вплив системи удобрення на проходження фаз росту і розвитку сортів сої та на показник коефіцієнту збереження рослин. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 13. С. 105–118.
151. Чинчик О.С., Козирський Д.В., Кравченко В.С. Польова схожість насіння та виживання рослин сої залежно від технології вирощування в умовах Лісостепу Західного. *Збірник наукових праць УНУС*. 2023. Вип. 102. Ч. 1. С. 155–164. doi: 10.32782/2415-8240-2023-102-1-155-164
152. Шашков Є.О., Танчик С.П. Урожайність сої залежно від сорту та геометричного розміщення рослин у Правобережному Лісостепу України. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2018. № 286. С. 100–106.
153. Шевніков М.Я., Логвиненко О.М. Вплив строків, способів сівби, норм висіву різних сортів сої на її продуктивність. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 1. С. 12–16.

154. Шевніков М.Я., Міленко О.Г. Економічна оцінка вирощування сої за різних технологій. *Агробіологія*. 2015. № 2. С. 83–86.
155. Шепілова Т.Л., Петренко Д.І., Лещенко С.М., Артеменко Д.Ю. Формування продуктивності сої залежно від строків сівби та регуляторів росту рослин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 4. С. 30–35.
156. Юркевич Є.О., Флакей В.В. Продуктивність органічних посівів сої за нульового обробітку ґрунту в зоні Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 131. С. 263–270. doi: 10.32782/2226-0099.2023.131.32
157. Abd-Alla M.H., Al-Amri S.M., El-Enany A-W.E. Enhancing *Rhizobium*–Legume Symbiosis and Reducing Nitrogen Fertilizer Use Are Potential Options for Mitigating Climate Change. *Agriculture*. 2023. 13(11). 2092. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture13112092>
158. Afrashte Z., Daliri M.S., Mousavi A. Effect of different levels of nitrogen fertilizer on morphological traits and yield of soybean cultivar. *Adv. Environ. Biol.* 2014. 8. P. 334–337.
159. Agapie A.L., Horablaga N.M., Bostan C., Popa D. The efficiency of using nitrogen fertilizers in wheat crop. *Life Science and Sustainable Development*. 2021. 2(1). doi: <https://doi.org/10.58509/lssd.v2i1.71>
160. Agomoh I.V., Drury C.F., Yang X., Phillips L.A., Reynolds W.D. Crop rotation enhances soybean yields and soil health indicators. *Soil Sci Soc Am J.* 2021. 85(4). P. 1185–1195. doi: 10.1002/saj2.20241
161. Alfonso M. Improving soybean seed oil without poor agronomics. *J. Exp. Bot.* 2020. 71. P. 6857–6860. doi: 10.1093/jxb/eraa407
162. Alsajri F.A., Wijewardana C., Irby J.T. et al. Developing functional relationships between temperature and soybean yield and seed quality. *Agronomy Journal*. 2020. 112(1). P. 194–204. doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.20034>
163. Alves L.A., Ambrosini V.G., de Oliveira Denardin L.G. et al. Biological N₂ fixation by soybeans grown with or without liming on acid soils in a

no-till integrated crop-livestock system. *Soil and Tillage Research*. 2021. 209. 104923. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104923>

164. AMIS. 2022. Market Database. Agricultural Market Information System. USDA. URL: <https://data.nal.usda.gov/dataset/amis-market-database>

165. Anderson E.J., Ali M.L., Beavis W.D. et al. Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] breeding: history, improvement, production and future opportunities. In: *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*. Eds Al-Khayri J.M., Jain S.M., Johnson D.V. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 431–516. doi: [10.1007/978-3-030-23400-3_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23400-3_12)

166. Antle J.M., Basso B., Conant R.T. et al. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Design and improvement. *Agricultural Systems*. 2017. 155. P. 255–268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.10.002>

167. Araujo R.S., da Cruz S.P., Souchie E.L. et al. Preinoculation of Soybean Seeds Treated with Agrichemicals up to 30 Days before Sowing: Technological Innovation for Large-Scale Agriculture. *International Journal of Microbiology*. 2017. 5914786. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/5914786>

168. Balboa G.R., Sadras V.O., Ciampitti I.A. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: a historical synthesis-analysis. *Crop Sci*. 2018. 58(1). P. 43–54. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0349>

169. Baraibar Norberg M., Deutsch L. The Soybean Through World History. Lessons for Sustainable Agrofood Systems. London and New York, 2023. 267 p. doi: [10.4324/9780367822866](https://doi.org/10.4324/9780367822866)

170. Baraibar Norberg M. Sojización as a New First Movement: A Polanyian Analysis of the South American Soybean Boom. In: *The Age of the Soybean: An Environmental History of the Soyacene during the Great Acceleration*. Ed. by da Silva, and de Majo. Winwick, Cambridgeshire: The White Horse Press. 2022. P. 91–114.

171. Bateman N.R., Catchot A.L., Gore J. et al. Effects of planting date for soybean growth, development, and yield in southern USA. *Aronomy*. 2020. 10. 596. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10040596>
172. Begum N., Qin C., Ahanger M.A. et al. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Front. Plant Sci.* 2019. 10. 1068. doi: 10.3389/fpls.2019.01068
173. Bellaloui N., Reddy K.N., Bruns H.A. et al. Soybean seed composition and quality: Interactions of environment, genotype, and management practices. In *Soybeans: Cultivation, Uses and Nutrition*, 1st ed.; Gillen A. (Ed.). Nova Science Publishers, Inc.: New York, NY, USA, 2011. P. 1–42.
174. Bender F.R., Alves L.C., da Silva J.F.M. et al. Microbiome of Nodules and Roots of Soybean and Common Bean: Searching for Differences Associated with Contrasting Performances in Symbiotic Nitrogen Fixation. *Int. J. Mol. Sci.* 2022. 23. 12035. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms231912035>
175. Bindraban P.S., Franke A.C., Ferrar D.O. et al. GM-related sustainability: agro-ecological impacts, risk and opportunities of soy production in Argentina and Brazil. *Plant Research International*. 2009. 56 p. URL: <https://edepot.wur.nl/7954>
176. Bobrecka-Jamro D., Jarecki W., Buczek J. Response of soya bean to different nitrogen fertilization levels. *J. Elem.* 2018. 23. P. 559–568. doi: 10.5601/jelem.2017.22.3.1435
177. Borowska M., Prusiński J. Effect of soybean cultivars sowing dates on seed yield and its correlation with yield parameters. *Plant Soil Environ.* 2021. 67. P. 360–366. doi: 10.17221/73/2021-PSE
178. Bueno A.F., Panizzi A.R., Hunt T.E. et al. Challenges for adoption of integrated pest management (IPM): The soybean example. *Neotrop. Entomol.* 2021. 50. P. 5–20.
179. Bueno A.F., Sutil W.P., Jahnke S.M. et al. Biological Control as Part of the Soybean Integrated Pest Management (IPM): Potential and Challenges. *Agronomy*. 2023. 13(10). 2532. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13102532>

180. Bardas M., Rusu T., Russu F. et al. The Impact of Foliar Fertilization on the Physiological Parameters, Yield, and Quality Indices of the Soybean Crop. *Agronomy*. 2023. 13(5). 1287. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051287>
181. Cakmakcı R., Salık M.A., Cakmakcı S. Assessment and Principles of Environmentally Sustainable Food and Agriculture Systems. *Agriculture*. 2023. 13(5). 1073. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture13051073>
182. 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. 48 (1–3). P. 154–163. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03179994>
183. Carciochi W.D., Schwalbert R., Andrade F.H. et al. Soybean Seed Yield Response to Plant Density by Yield Environment in North America. *Agronomy Journal*. 2019. № 111(4). doi: [10.2134/agronj2018.10.0635](https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0635)
184. Ciampitti I.A., de Borja Reis A.F., Córdova S.C. et al. Revisiting Biological Nitrogen Fixation Dynamics in Soybeans. *Front Plant Sci*. 2021. 12. 727021. doi: [10.3389/fpls.2021.727021](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.727021)
185. Ciampitti I.A., Salvagiotti F. New insights into soybean biological nitrogen fixation. *Agronomy J*. 2018. 110(4). P. 1185–1196. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0348>
186. Collino D.J., Salvagiotti F., Peticari A. et al. Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil*. 2015. 392. P. 239–252. doi: [10.1007/s11104-015-2459-8](https://doi.org/10.1007/s11104-015-2459-8)
187. Coman V., Oprea I., Leopold L.F., Vodnar D.C., Coman C. Soybean Interaction with Engineered Nanomaterials: A Literature Review of Recent Data. *Nanomaterials (Basel)*. 2019. 9(9). 1248. doi: [10.3390/nano9091248](https://doi.org/10.3390/nano9091248)
188. Dass A., Rajanna G.A., Babu S. et al. Foliar Application of Macro- and Micronutrients Improves the Productivity, Economic Returns, and Resource-Use Efficiency of Soybean in a Semiarid Climate. *Sustainability*. 2022. 14. 5825.

189. de Oliveira J.B., Lavres J., Kopittke P.M. et al. Unravelling the fate of foliar-applied nickel in soybean: a comprehensive investigation. *Plant Soil*. 2024. doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06567-0>
190. Diers B., Specht J., Rainey K.M. et al. Genetic Architecture of Soybean Yield and Agronomic Traits. G3. *Genes, Genomes, Genetics*. 2018. 8(10). P. 3367–3375. doi: <https://doi.org/10.1534/g3.118.200332>
191. Faligowska A., Szukała J. Influence of seed inoculation and nitrogen fertilization on morphological characters of legume crops. *Zesz. Probl. Postępow. Nauk Rol.* 2010. 550. P. 201–209.
192. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO The state of food security and nutrition in the world 2018. Building climate resilience for food security and nutrition. FAO, Rome. 2018.
193. FAOSTAT 2022. FAOSTAT Statistical Database. HD9000.4. Library of Congress Online Catalog (1,343,705). Rome: FAO.
194. Fae G.S., Kemanian A.R., Roth G.W., White C., Watson J.E. Soybean Yield in Relation to Environmental and Soil Properties. *Eur. J. Agron.* 2020. 118. 126070. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126070>
195. Fehlenberg V., Baumann M., Gasparri N.I. et al. The role of soybean production as an underlying driver of deforestation in the South American Chaco. *Global Environmental Change*. 2017. 45. P. 24–34. doi: [10.1016/j.gloenvcha.2017.05.001](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.05.001)
196. Feng L., Wang H., Ma X., Peng H., Shan J. Modeling the current land suitability and future dynamics of global soybean cultivation under climate change scenarios. *Field Crops Research*. 2021. 263. 108069. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108069>
197. Feng Z., Ding C., Li W., Wang D., Cui D. Applications of metabolomics in the research of soybean plant under abiotic stress. *Food Chem.* 2020. 310. 125914. doi: [10.1016/j.foodchem.2019.125914](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125914)

198. Fernandez V., Gil-Pelegrín E., Eichert T. Foliar water and solute absorption: an update. *Plant J.* 2021. 105. P. 870–883. doi: <https://doi.org/10.1111/tpj.15090>
199. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2023. Soybean production. URL: https://ourworldindata.org/grapher/soybean-production?tab=chart&country=UKR~OWID_WRL
200. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Balance Sheets. *FAOSTAT* (n.d.). URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
201. Fraanje W., Garnett T. Soy: Food, feed, and land use change (Foodsource: Building Blocks). Food Climate Research Network. 2020. URL: https://tabledebates.org/sites/default/files/2021-12/FCRN%20Building%20Block%20-%20Soy_food%2C%20feed%2C%20and%20land%20use%20change%20%281%29.pdf
202. Freitas M.E., Souza L.C.F., Salton J.C. et al. Crop rotation affects soybean performance in no-tillage system under optimal and dry cropping seasons. *Aus. J. Crop Sci.* 2016. 10. P. 353–361.
203. Gai Z., Zhang J., Li C. Effects of starter nitrogen fertilizer on soybean root activity, leaf photosynthesis and grain yield. *PLoS ONE.* 2017. 12. e0174841. doi: 10.1371/journal.pone.0174841
204. Gasparri N.I., de Waroux Y. le P. The Coupling of South American Soybean and Cattle Production Frontiers: New Challenges for Conservation Policy and Land Change Science. *Conservation Letters.* 2015. 8. P. 290–298. doi: 10.1111/conl.12121
205. Gaweda D., Haliniarz M., Bronowicka-Mielniczuk U., Łukasz J. Weed Infestation and Health of the Soybean Crop Depending on Cropping System and Tillage System. *Agriculture.* 2020. 10(6). 208. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture10060208>
206. Global Soybean Market Growth, Analysis, Trends, Forecast: By Nature: Organic, Conventional; By Application: Animal Feed, Human Food, Biodiesel and Lubricants, Others; Regional Analysis; Market Dynamics: SWOT

Analysis, Porter's Five Forces Analysis; Competitive Landscape; Key Trends and Developments in the Market. P. 2024–2032. URL: <https://www.expertmarketresearch.com/reports/soybean-market/requestsample>

207. Głowacka A., Jariene E., Flis-Olszewska E., Kiełtyka-Dadasiewicz A. The Effect of Nitrogen and Sulphur Application on Soybean Productivity Traits in Temperate Climates Conditions. *Agronomy*. 2023. 13(3). 780. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13030780>

208. Gonzalez A.D., Frostell B., Carlsson-Kanyama A. Protein efficiency per unit energy and per unit greenhouse gas emissions: potential contribution of diet choices to climate change mitigation. *Food Policy*. 2011. 36. P. 562–570. doi: [10.1016/j.foodpol.2011.07.003](https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.07.003)

209. Gray S.B., Dermody O., Klein S.P. et al. Intensifying drought eliminates the expected benefits of elevated carbon dioxide for soybean. *Nat. Plants*. 2016. 2(9). 16132. doi: [10.1038/nplants.2016.132](https://doi.org/10.1038/nplants.2016.132)

210. Gumeniuk I., Symochko L., Mostoviak I. et al. The role of *Bradyrhizobium japonicum* exopolysaccharides in the formation of an effective symbiotic apparatus of soybean. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2022. 12(4). P. 1–12. doi: [10.31407/ijees12.4](https://doi.org/10.31407/ijees12.4)

211. Gumeniuk I.I., Levishko A.S., Demyanyuk O.S., Sherstoboeva O.V. Properties of microorganisms isolated from soils under conventional and organic farming. *Microbiological journal*. 2022. 84(2). P. 12–23. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj84.02.012>

212. Halwani M., Reckling M., Egamberdieva D., Omari R.A., Bellingrath-Kimura S.D., Bachinger J., Bloch R. Soybean Nodulation Response to Cropping Interval and Inoculation in European Cropping Systems. *Front Plant Sci*. 2021. 12. 638452. doi: [10.3389/fpls.2021.638452](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.638452)

213. Hartman G.L., West E.D., Herman T.K. Crops that feed the World 2. Soybean – worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Secur*. 2011. 3. P. 5–17. doi: [10.1007/s12571-010-0108-x](https://doi.org/10.1007/s12571-010-0108-x)

214. Held M., Bonfante P., Stougaard J., Szczyglowski K. Common and not so common symbiotic entry. *Trends Plant Sci.* 2010. 15. P. 540–545. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.08.001>
215. Homrich M.S., Wiebke-Strohm B., Weber R.L., Bodanese-Zanettini M.H. Soybean genetic transformation: A valuable tool for the functional study of genes and the production of agronomically improved plants. *Genet Mol Biol.* 2012. 35(4(suppl)). P. 998–1010. doi: 10.1590/s1415-47572012000600015
216. Hou Z., Fang C., Liu B., Yang H., Kong F. Origin, variation, and selection of natural alleles controlling flowering and adaptation in wild and cultivated soybean. *Mol Breed.* 2023. 43(5). 36. doi: 10.1007/s11032-023-01382-4
217. Hughes G.J., Ryan D.J., Mukherjea R., Schasteen C.S. Protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS) for soy protein isolates and concentrate: criteria for evaluation. *J Agric Food Chemistry.* 2011. 59. P. 12707–12712. doi: 10.1021/jf203220v
218. Hymowitz T. On the domestication of the soybean. *Economic Botany.* 1970. 24. P. 408–421. doi: 10.1007/BF02860745
219. Ibrahim S.E. Agronomic studies on irrigated soybeans in central Sudan. II. Effect of sowing date on grain yield and yield components. *Int. J. Agri Sci.* 2012. 2. P. 766–773.
220. International Year of Pulses 2016. URL: <http://www.fao.org/pulses-2016/en/>
221. ISAAA. 2019. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2019: Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. ISAAA Brief No. 55. Ithaca, NY: Cornell University.
222. Islam S.M., Muhyidiyn I., Rafiqul Islam et al. Soybean and Sustainable Agriculture for Food Security. *IntechOpen.* 2022. doi: 10.5772/intechopen.104129

223. Jarecki W. Reaction of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] to seed inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* bacteria. *Plant, Soil and Environment*. 2020. 66. P. 242–247. doi: <https://doi.org/10.17221/201/2020-PSE>
224. Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. Effect of fertilization with nitrogen and seed inoculation with nitragina on seed quality of soya bean (*Glycine max* (L) Merrill). *Acta Sci. Pol. Agric.* 2015. 14. P. 51–59.
225. Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. Effect of sowing date on the yield and seed quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *J. Elem.* 2021. 26. P. 7–18. doi: 10.5601/jelem.2020.25.4.2054
226. Jha P.K., Prasad P.V.V., Araya A., Ciampitti I.A. Estimation of Crop Genetic Coefficients to Simulate Growth and Yield Under Changing Climate, Global Agricultural Production: Resilience to Climate Change. 2023. P. 283–309. doi: 10.1007/978-3-031-14973-3_10
227. Kadiata B.D., Schubert S., Yan F. Assessment of different inoculants of *Bradyrhizobium japonicum* on nodulation, potential N₂ fixation and yield performance of soybean (*Glycine max* L.). *J. Anim. Plant Sci.* 2012. 13. P. 1704–1713.
228. Kebede E. Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems. *Front. Sustain. Food Syst.* 2021. 5. 767998. doi: 10.3389/fsufs.2021.767998
229. Kim M.Y., Van K., Kang Y.J., Kim K.H., Lee S.-H. Tracing soybean domestication history: from nucleotide to genome. *Breeding Science*. 2012. 61. P. 445–452. doi: 10.1270/jsbbs.61.445
230. Klümper W., Qaim M. A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PLoS One*. 2014. 9(11). e111629. doi: 10.1371/journal.pone.0111629
231. Korobko A., Kravets R., Mazur O., Mazur O., Shevchenko N. Nitrogen-Fixing Capacity of Soybean Varieties Depending on Seed Inoculation and Foliar Fertilization with Biopreparations. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. 25(4). P. 23–37. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/183497>

232. Kots S., Kiriziy D., Pavlyshche A., Rybachenko L. Peculiarities of formation and functioning of the soybean *Bradyrhizobium japonicum* symbiotic apparatus in relation to photosynthetic activity under the influence of seed protectants. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022. 11(6). e3128. doi: <https://doi.org/10.55251/jmbfs.3128>
233. Kühling I., Hüsing B., Bome N., Trautz D. Soybeans in high latitudes: effects of *Bradyrhizobium* inoculation in Northwest Germany and southern West Siberia. *Org. Agric.* 2018. 8. P. 159–171. doi: 10.1007/s13165-017-0181-y
234. Kulig B., Klimek-Kopyra A. Sowing Date and Fertilization Level Are Effective Elements Increasing Soybean Productivity in Rainfall Deficit Conditions in Central Europe. *Agriculture*. 2023. 13(1). 115. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010115>
235. Kyrychenko O.V., Kots S.Y., Khrapova A.V., Omelchuk S.V. Biological activity of soybean seed lectin at the spraying of *Glycine max* plants against the background of seed treatment with pesticide containing fipronil, thiophanate-methyl, pyraclostrobin as active substances and rhizobial bacterization. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. 13(2). P. 105–113. doi: 10.15421/022215
236. Ladha J.K., Peoples M.B., Reddy P.M. et al. Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems. *Field Crops Research*. 2022. 283. 108541. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108541>
237. Lee K.Y., Rahman M.S., Kim A.N. et al. Quality characteristics and storage stability of low-fat tofu prepared with defatted soy flours treated by supercritical-CO₂ and hexane. *LWT Food Sci. Technol.* 2019. 100. P. 237–243.
238. Li H., Wang L., Zhang Z., Yang A., Liu D. Effect of Phosphorus Supply Levels on Nodule Nitrogen Fixation and Nitrogen Accumulation in Soybean (*Glycine max* L.). *Agronomy*. 2022. 12(11). 2802. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112802>

239. Li Y., Guan R., Liu Z. et al. Genetic structure and diversity of cultivated soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) landraces in China. *Theor Appl Genet.* 2008. 117. P. 857–871. doi: 10.1007/s00122-008-0825-0
240. Lin F., Chhapekar S.S., Vieira C.C. et al. Breeding for disease resistance in soybean: a global perspective. *Theor Appl Genet.* 2022. 135. P. 3773–3872. doi: <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04101-3>
241. Losak T., Ševčík M., Plchova R. et al. Nitrogen and sulphur fertilisation affecting soybean seed spermidine content. *J. Elem.* 2018. 23. P. 581–588. doi: 10.5601/jelem.2017.22.3.1516
242. Lyu X., Xia X., Wang C., Ma C., Dong S., Gong Z. Effects of changes in applied nitrogen concentrations on nodulation, nitrogen fixation and nitrogen accumulation during the soybean growth period. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2019. 65. P. 479–489.
243. Madsen L.H., Tirichine L., Jurkiewicz A. et al. The molecular network governing nodule organogenesis and infection in the model legume *Lotus japonicus*. *Nat. Commun.* 2010. 1(10). P. 1–12. doi: <https://doi.org/10.1038/ncomms1009>
244. Mandic V., Simic A., Krnjaja V. et al. Effect of foliar fertilization on soybean grain yield. *Biotechnology in Animal Husbandry.* 2015. 31(1). P. 133–143. doi: 10.2298/BAH1501133M
245. Mashchenko Yu.V., Sokolovska I.M. Productivity of soybean depends on predecessors and fertilizer systems in short-rotation crop rotations of the Steppe zone of Ukraine. *Аграрні інновації.* 2023. № 20. С. 50–55. doi: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.20.8>
246. Mastrodomenico A.T., Purcell L.C. Soybean Nitrogen Fixation and Nitrogen Remobilization during Reproductive Development. *Crop Sci.* 2012. 52. P. 1281–1289. doi: 10.2135/cropsci2011.08.0414
247. Matsuo N., Yamada T., Takada Y., Fukami K., Hajika M. Effect of plant density on growth and yield of new soybean genotypes grown under early

planting condition in southwestern Japan. *Plant Prod. Sci.* 2018. 21(1). P. 16–25. doi: 10.1080/1343943X.2018.1432981

248. Messina M. Perspective: Soybeans Can Help Address the Caloric and Protein Needs of a Growing Global Population. *Front. Nutr.* 2022. 9. 909464. doi: 10.3389/fnut.2022.909464

249. Miransari M. Environmental Stresses in Soybean Production. Soybean Production. London: Academic Press, 2016. 322 p.

250. Mourtzinis S., Mitchell P., Esker P. et al. Field-level yield benefits and risk effects of intensive soybean management across the US. *Field Crops Research.* 2023. 301. 109012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109012>

251. Muminova S.S., Tastanbekova G.R., Kashkarov A.A. et al. Effect of foliar mineral fertilizer and plant growth regulator application on seed yield and yield components of soybean (*Glycine max*) cultivars. *Eurasian Journal of Soil Science.* 2022. 11(4). P. 322–328. doi: <https://doi.org/10.18393/ejss.1135498>

252. Nakagawa A.C.S., Ario N., Tomita Y. et al. High temperature during soybean seed development differentially alters lipid and protein metabolism. *Plant Product. Sci.* 2020. 23(4). P. 504–512. doi: 10.1080/1343943X.2020.1742581

253. Nakei M.D., Venkataramana P.B., Ndakidemi P.A. Soybean-Nodulating Rhizobia: Ecology, Characterization, Diversity, and Growth Promoting Functions. *Front. Sustain. Food Syst.* 2022. 6. 824444. doi: 10.3389/fsufs.2022.824444

254. Nasar J., Wang G.Y., Zhou F.J. et al. Nitrogen fertilization coupled with foliar application of iron and molybdenum improves shade tolerance of soybean under maize-soybean intercropping. *Front. Plant Sci.* 2022. 13. 1014640. doi: 10.3389/fpls.2022.1014640

255. Niu J., Liu C., Huang M., Liu K., Yan D. Effects of Foliar Fertilization: A Review of Current Status and Future Perspectives. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2020. 21. P. 104–118. doi: [https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-](https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3)

256. Nwofia G.E., Edugbo R.E., Mbah E.U. Interaction of genotype \times sowing date on yield and associated traits of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] over two cropping seasons in a humid agro-ecological zone of south-eastern Nigeria. *J. Agric. Sci.* 2016. 11. P. 164–177. doi: <http://dx.doi.org/10.4038/jas.v11i3.8170>
257. Ono Y., Fukasawa M., Sueyoshi K. et al. Application of nitrate, ammonium, or urea changes the concentrations of ureides, urea, amino acids and other metabolites in xylem sap and in the organs of soybean plants (*Glycine max* (L.) Merr.). *Int. J. Mol. Sci.* 2021. 22. 4573.
258. Ott T., van Dongen J.T., Gu C. et al. Symbiotic leghemoglobins are crucial for nitrogen fixation in legume root nodules but not for general plant growth and development. *Curr. Biol.* 2005. 15. P. 531–535. doi: [10.1016/j.cub.2005.01.042](https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.01.042)
259. Parfenuk A.I., Havryliuk L.V., Beznosko I.V., Pasichnik L.P., Turovnik Y.A., Ternovyi Y.V. Influence of Filazonit biopreparation on soybean seed quality. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2021. № 11(3). P. 86–89. doi: [10.15421/2021_148](https://doi.org/10.15421/2021_148)
260. Petit A.N., Fontaine F., Vatsa P. et al. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. *Photosynth Res.* 2012. 111. P. 315–326. doi: <https://doi.org/10.1007/s11120-012-9719-8>
261. Pittelkow C.M., Linqvist B.A., Lundy M.E. et al. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Res.* 2015. 183. P. 156–168.
262. Rabbani M.G., Salam M.A., Paul S.K., Afsana-Kheya S. Effect of *Rhizobium* inoculum on the Growth, Yield and Quality of Soybean. *J. Bangladesh Agricul. Univ.* 2023. 21(1). P. 1–11. doi: <https://doi.org/10.5455/JBAU.141905>
263. Riedell W.R., Osborne S.L., Pikul J.L. Soil attributes, soybean mineral nutrition, and yield in diverse crop rotations under no-till conditions. *Agron. J.* 2013. 105. P. 1231–1236.
264. Ritchie H. Is our appetite for soy driving deforestation in the Amazon? Our World in Data. 2021. URL: <https://ourworldindata.org/soy>

265. Rodrigues E.S., Montanha G.S., Marques J.P.R. et al. Foliar application of rare earth elements on soybean (*Glycine max* (L)): Effects on biometrics and characterization of phytotoxicity. *Journal of Rare Earths*. 2020. 38(10). P. 1131–1139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jre.2019.09.004>
266. Saito A., Tanabata S., Tanabata T. et al. Effect of Nitrate on Nodule and Root Growth of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *International Journal of Molecular Science*. 2014. 15. P. 4464–4480.
267. Salvagiotti F., Cassman K.G., Specht J.E. et al. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *F. Crop. Res.* 2008. 108. P. 1–13. doi: 10.1016/j.fcr.2008.03.001
268. Santachiara G., Borrás L., Salvagiotti F., Gerde J.A., Rotundo J.L. Relative importance of biological nitrogen fixation and mineral uptake in high yielding soybean cultivars. *Plant Soil*. 2017. 418. P. 191–203. doi: 10.1007/s11104-017-3279-9
269. Santeramo F.G., Searle S. Linking soy oil demand from the US Renewable Fuel Standard to palm oil expansion through an analysis on vegetable oil price elasticities. *Energy Policy*. 2019. 127. P. 19–23. doi: 10.1016/j.enpol.2018.11.054
270. Santos M.S., Nogueira M.A., Hungria M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express*. 2019. 9(1). 205. doi: 10.1186/s13568-019-0932-0
271. Sanzovo A.W.S., Silvestre D.A., Goes K.C.G.P. et al. Crop rotation and inoculation increase soil bradyrhizobia population, soybean grain yields, and profitability. *Brazilian J. Microbiol.* 2023. 54. P. 3187–3200. doi: <https://doi.org/10.1007/s42770-023-01148-2>
272. Sauer S. Soy expansion into the agricultural frontiers of the Brazilian Amazon: the agribusiness economy and its social and environmental conflicts. *Land use policy*. 2018. 79. P. 326–338.

273. Schauberger B., Archontoulis S., Arneth A. et al. Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models. *Nat. Commun.* 2017. 8(1). P. 1–9. doi: 10.1038/ncomms13931
274. Schmutz J., Cannon S.B., Schlueter J. et al. Genome sequence of the palaeopolyploid soybean. *Nature.* 2010. 463. P. 178–183. doi: 10.1038/nature08670
275. Sedivy E.J., Wu F., Hanzawa Y. Soybean domestication: the origin, genetic architecture and molecular bases. *New Phytologist.* 2017. 214(2). P. 539–553. doi: <https://doi.org/10.1111/nph.14418>
276. Segatelli C.R., Camara G.M.S., Aguila L.S.H.D. et al. Soybean yield under no-tillage system with an early *Eleusine coracana* fertilization. *Rev. Caatinga.* 2022. 35. P. 308–319.
277. Serafin-Andrzejewska M., Helios W., Jama-Rodzenska A. et al. Effect of sowing date on soybean development in south-western Poland. *Agriculture.* 2021. 11. 413. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture11050413>
278. Shah A., Nazari M., Antar M. et al. PGPR in agriculture: a sustainable approach to increasing climate change resilience. *Front. Sustain. Food Syst.* 2021. 5. 667546. doi: 10.3389/fsufs.2021.667546
279. Shwethakumari U., Pallavi T., Prakash N.B. Influence of Foliar Silicic Acid Application on Soybean (*Glycine max* L.) Varieties Grown across Two Distinct Rainfall Years. *Plants (Basel).* 2021. 10(6). 1162. doi: 10.3390/plants10061162
280. Silva G.Fd., Calonego J.C., Luperini B.C.O. et al. No-Tillage System Can Improve Soybean Grain Production More Than Conventional Tillage System. *Plants.* 2023. 12(21). 3762. doi: <https://doi.org/10.3390/plants12213762>
281. Silva M.A., Sousa G.Fd., Van Opbergen G.A.Z. et al. Foliar Application of Selenium Associated with a Multi-Nutrient Fertilizer in Soybean: Yield, Grain Quality, and Critical Se Threshold. *Plants.* 2023. 12(10). 2028. doi: <https://doi.org/10.3390/plants12102028>

282. Simon A., Ceclan O.A., Russu F. Bardas M. et al. Influence of NP Mineral Fertilization on Soybean Crops. *Life Sci. Sustain. Dev.* 2022. 3. P. 84–90.
283. Sindelar A.J., Schmer M.R., Jin V.L., Wienhold B.J., Varvel G.E. Long-term corn and soybean response to crop rotation and tillage. *Agron. J.* 2015. 107. P. 2241–2252.
284. Song H., Taylor D.C., Zhang M. Bioengineering of Soybean Oil and Its Impact on Agronomic Traits. *Int J Mol Sci.* 2023. 24(3). 2256. doi: 10.3390/ijms24032256
285. Soratto R.P., Guidorizzi F.V.C., Sousa W.S. et al. Effects of Previous Fall–Winter Crop on Spring–Summer Soybean Nutrition and Seed Yield under No-Till System. *Agronomy.* 2022. 12(12). doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy121229>
286. Soumare A., Diedhiou A.G., Thuita M., Hafidi M., Ouhdouch Y., Gopalakrishnan S., Kouisni L. Exploiting Biological Nitrogen Fixation: A Route Towards a Sustainable Agriculture. *Plants.* 2020. 9(8). 1011. doi: <https://doi.org/10.3390/plants9081011>
287. Szostak B., Głowacka A., Kasiczak A., Kiełtyka-Dadasiewicz A., Bąkowski M. Nutritional value of soybeans and the yield of protein and fat depending on a cultivar and the level of nitrogen application. *J. Elem.* 2020. 25. P. 45–57. doi: 10.5601/jelem.2019.24.2.1769
288. Szpunar-Krok E., Bobrecka-Jamro D., Pikuła W., Jańczak-Pieniążek M. Effect of Nitrogen Fertilization and Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on Nodulation and Yielding of Soybean. *Agronomy.* 2023. 13(5). 1341. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051341>
289. Taliman N.A., Dong Q., Echigo K., Raboy V., Saneoka H. Effect of Phosphorus Fertilization on the Growth, Photosynthesis, Nitrogen Fixation, Mineral Accumulation, Seed Yield, and Seed Quality of a Soybean Low-Phytate Line. *Plants.* 2019. 8. 119. doi: 10.3390/plants8050119
290. Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Soya bean (*Glycine max* (L.) Merrill) (TG /80/7, UPOV). Geneva.

- 2022-04-07. 30 p. URL:
https://www.upov.int/edocs/mdocs/upov/en/twa_51/tg_80_7_proj_8.pdf
291. UN Population prospects 2022. URL:
<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>.
292. USDA. Soybean 2023. World Production. URL:
<https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000>
293. Van Zwieten L., Terry R., Herridge D., Stephen K., Josh R., Annette C., Stephen M. Enhanced biological N₂ fixation and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in an acid soil following biochar addition: dissection of causal mechanisms. *Plant Soil*. 2015. 395(1–2). P. 7–20. doi: 10.1007/s11104-015-2427-3
294. Voora V., Bermudez S., Le H., Larrea C., Luna E. Global Market Report. Soybean prices and sustainability. IISD, 2024. 38 p. URL:
<https://www.iisd.org/system/files/2024-02/2024-global-market-report-soybean.pdf>
295. Vozniuk N., Skyba V., Likho O., Sobko Z., Klymenko T. Forecasting the adaptability of heat-loving crops to climate change in Ukraine. *Scientific Horizons*. 2023. 26(2). P. 87–102. doi:
[https://doi.org/10.48077/scihor.26\(2\).2023.87-102](https://doi.org/10.48077/scihor.26(2).2023.87-102)
296. Wahab A., Muhammad M., Munir A., Abdi G. et al. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Regulating Growth, Enhancing Productivity, and Potentially Influencing Ecosystems under Abiotic and Biotic Stresses. *Plants (Basel)*. 2023. 12(17). 3102. doi: 10.3390/plants12173102
297. Wilson R.F. Soybean: market driven research needs in genetics and genomics of soybean. 2008. doi: 10.1007/978-0-387-72299-3_1
298. Woyengo T.A., Beltranena E., Zijlstra R.T. Effect of anti-nutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry. *Animal Feed Science and Technology*. 2017. 233. P. 76–86. doi:
[10.1016/j.anifeedsci.2016.05.006](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.006)

299. Xu H., Guo Y., Qiu L., Ran Y. Progress in Soybean Genetic Transformation Over the Last Decade. *Front. Plant Sci.* 2022. 13. 900318. doi: 10.3389/fpls.2022.900318
300. Xu R., Hu W., Zhou Y. et al. Use of near-infrared spectroscopy for the rapid evaluation of soybean [*Glycine max* (L.) Merri.] water soluble protein content. *Spectrochim. Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 2020. 224. 117400. doi: 10.1016/j.saa.2019.117400
301. Yamashita N., Tanabata S., Ohtake N. et al. Effects of Different Chemical Forms of Nitrogen on the Quick and Reversible Inhibition of Soybean Nodule Growth and Nitrogen Fixation Activity. *Front Plant Sci.* 2019. 10. 131. doi: 10.3389/fpls.2019.00131
302. Yang L., Song W., Xu C., Sapey E., Jiang D., Wu C. Effects of high night temperature on soybean yield and compositions. *Front. Plant Sci.* 2023. 14. 1065604. doi: 10.3389/fpls.2023.1065604
303. Yuan M., Bi Y., Han D. et al. Long-Term Corn–Soybean Rotation and Soil Fertilization: Impacts on Yield and Agronomic Traits. *Agronomy.* 2022. 12(10). 2554. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102554>
304. Yusefi-Tanha E., Fallah S., Pokhrel L.R., Rostamnejadi A. Addressing global food insecurity: Soil-applied zinc oxide nanoparticles promote yield attributes and seed nutrient quality in *Glycine max* L. *Sci Total Environ.* 2023. 876. 162762. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162762
305. Zhang M., Liu S., Wang Z. et al. Progress in soybean functional genomics over the past decade. *Plant Biotechnol. J.* 2022. 20. P. 256–282. doi: 10.1111/pbi.13682
306. Zhao C., Liu B., Piao S. et al. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2017. 114(35). P. 9326–9331. doi: 10.1073/pnas.1701762114
307. Zhu Y., Chen G., Diao J., Wang C. Recent advances in exploring and exploiting soybean functional peptides – a review. *Front. Nutr.* 2023. 10. 1185047. doi: 10.3389/fnut.2023.1185047

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А.1

Вид: Соя культурна *Glycine max* (L.) Merr.

Заявка №: 11018013 Назва сорту Муза

Дата державної реєстрації майнових прав інтелектуальної власності:

Патент №:

Дата пріоритет 21.11.2011

Дата державної реєстрації майнового права інтелектуальної власності на поширення:

27.03.2015

Свідство про державну реєстрацію № 150718

Опис морфологічних ідентифікаційних ознак сорту

№	Ознака	Проявлення	Код
1	Гіпокотиль: антоціанове забарвлення забарвлення	наявне	9
2	Гіпокотиль: інтенсивність антоціанового забарвлення	середня	5
3	Рослина: тип росту	детермінантний	1
4	Рослина: форма росту	від прямої до напіврозлогої	2
5	Рослина: забарвлення опушення головного стебла (в середній третині)	рудувато-коричнєве	2
6	Рослина: за висотою	від низької до середньої	4
7	Листок: пухирчатість	дуже сильна	9
8	Листок: форма бічного листочка (складного листка)	загостренояйцевидна	3
9	Листок: розмір бічного листочка	великий	7
10	Листок: інтенсивність зеленого забарвлення	помірне	5
11	Квітка: забарвлення	фіолетове	2
12	Біб: інтенсивність коричневого забарвлення	помірне	5
13	Насіння: маса 1000 шт.	середня	5
14	Насіння: форма	куляста	1
15	Насіння: основне забарвлення оболонки (рубчик не враховують)	жовте	1
16	Насіння: забарвлення, викликане реакцією пероксидази в насінній оболонці	ознака не визначалась	0
17	Насіння: забарвлення рубчика	світло-коричнєве	3
18	Насіння: забарвлення сім'янки рубчика	як у насінній оболонці	1
19	Рослина: час початку цвітіння (50% рослин щонайменше з однією відкритою квіткою)	від раннього до середнього	4
20	Рослина: час досягання	ранній	3

Результат польових досліджень показників господарської придатності

Показник	Значення		
	С	Л	П
Урожайність, ц/га	20,5	22,5	21,3
Прибавка до національного стандарту, ц/га	2,7	1,5	2,5
Прибавка до національного стандарту, %	15,2	7,1	13,3
Маса 1000 насінин, г	158,1	169,9	179,3
Висота рослин, см	68,6	71,0	78,4
Стійкість проти, бал:			
- вилягання	9,0	8,9	8,6
- осипання	8,7	8,9	9,0
- засухи	7,7	8,3	9,0
Висота прикріплення нижнього бобу, см	10,5	12,5	13,0
Стійкість проти, бал:			
- пероноспорозу	9,0	9,0	9,0
- аскохітозу	9,0	9,0	9,0
- бактеріозу	9,0	9,0	9,0
- септоріозу	9,0	9,0	9,0
- фузаріозу	9,0	9,0	9,0
Вміст білку, %	39,8	39,0	38,6
Вміст олії, %	23,3	22,6	21,3

Географічні та зонові рекомендації використання сорту

Степ, Лісостеп, Полісся

ДОДАТОК Б.1

Кількість бульбочок на рослинах сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння,
середнє за 2021-2023 рр., штук/роsl.

Удобрення	Фаза розвитку рослин	Оброблення насіння						Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:					
		оброблення водою (контроль)		Мікофренд		Мікофренд + Вайбранс		гілкування		бутонізації		цвітіння	
		1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок	3,8	3,6	4,2	4,1	5,9	5,6	6,3	6,1	6,5	6,4	6,7	6,4
	бутонізація	7,3	7,0	8,1	7,7	9,5	9,2	9,7	9,3	12,1	11,6	13,0	12,4
	цвітіння	11,4	10,9	12,2	11,8	11,7	11,2	12,5	12,4	15,3	14,8	16,8	16,2
	налив бобів	40,4	39,9	39,3	39,0	37,4	37,1	39,8	39,3	40,6	40,3	42,4	42,0
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	4,0	3,8	4,6	4,3	5,7	5,2	6,6	6,4	7,4	6,9	7,2	6,7
	бутонізація	8,9	8,6	8,6	8,4	10,2	9,7	12,3	11,8	11,8	11,6	15,3	14,7
	цвітіння	13,5	13,2	12,9	12,7	12,3	12,0	15,1	14,5	15,8	15,1	17,7	17,0
	налив бобів	41,7	41,1	39,0	38,6	42,6	42,0	44,4	43,8	44,6	44,1	47,1	46,5
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок	4,9	4,6	4,6	4,2	5,9	5,6	6,8	6,4	7,7	7,2	8,5	8,1
	бутонізація	9,5	9,4	10,1	9,6	10,7	10,0	12,8	12,2	13,5	12,8	15,7	14,9
	цвітіння	15,5	15,0	13,3	12,8	14,0	13,6	16,7	16,4	16,5	16,0	19,4	18,8
	налив бобів	45,8	45,2	43,7	43,1	43,1	42,7	45,2	44,7	48,6	47,9	46,6	46,2

Продовження Додатку Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	5,2	4,9	4,6	4,4	7,1	6,7	8,0	7,5	8,5	7,8	8,3	7,6
	бутонізація	11,0	10,5	11,5	10,8	10,9	10,6	13,3	12,7	15,2	14,4	16,3	15,6
	цвітіння	14,4	14,0	13,8	13,6	12,8	12,5	16,1	15,4	16,6	16,0	21,0	20,6
	налив бобів	46,3	45,7	45,8	45,1	45,0	44,7	48,0	47,2	49,1	48,4	48,3	47,3
V, %	1-й трійчастий листок	15,2	14,8	4,4	3,0	10,4	11,2	10,8	9,3	11,0	8,3	11,3	10,9
	бутонізація	16,7	16,6	16,1	15,0	6,0	5,9	13,3	13,1	11,8	10,5	9,6	9,6
	цвітіння	12,7	13,2	5,2	5,8	7,7	8,2	12,3	11,6	3,8	4,0	9,9	10,8
	налив бобів	6,8	6,8	8,0	7,7	7,7	7,8	7,7	7,5	8,7	8,4	5,6	5,2

*Примітка. 1 – загальна кількість бульбочок, 2 – кількість активних бульбочок.

ДОДАТОК Б.2

Маса бульбочок на рослинах сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння,
середнє за 2021-2023 рр., г/ 10 росл.

Удобрення	Фаза розвитку рослин	Оброблення насіння						Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:					
		оброблення водою (контроль)		Мікофренд		Мікофренд + Вайбранс		гілкування		бутонізації		цвітіння	
		1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок	0,44	0,42	0,52	0,47	0,63	0,56	0,76	0,70	0,65	0,59	0,51	0,47
	бутонізація	0,82	0,75	1,21	1,16	1,66	1,52	1,53	1,48	1,59	1,51	1,61	1,54
	цвітіння	1,78	1,72	2,06	1,96	1,96	1,88	2,19	2,03	2,72	2,69	2,44	2,40
	налив бобів	8,93	8,86	10,21	10,14	9,30	9,21	25,60	25,49	20,17	20,12	13,90	13,86
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	0,57	0,53	0,57	0,55	0,69	0,64	0,56	0,53	1,05	0,97	0,55	0,50
	бутонізація	1,01	0,95	0,92	0,88	0,96	0,92	0,99	0,94	2,31	2,25	1,81	1,77
	цвітіння	2,58	2,51	2,64	2,58	3,25	3,16	2,52	2,44	3,63	3,57	3,77	3,72
	налив бобів	12,08	11,94	11,37	11,29	12,35	12,27	11,36	11,28	9,10	9,01	9,69	9,64
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок	0,29	0,27	0,34	0,31	0,55	0,52	0,64	0,60	0,57	0,55	0,49	0,46
	бутонізація	0,98	0,93	1,23	1,19	1,07	1,03	1,43	1,38	1,19	1,14	1,41	1,34
	цвітіння	2,45	2,41	2,97	2,92	3,00	2,90	3,04	2,93	2,04	2,87	2,85	2,80
	налив бобів	14,86	14,81	15,20	15,16	21,62	21,57	20,64	20,58	23,10	22,96	16,04	15,38

Продовження Додатку Б.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	0,45	0,43	0,54	0,51	0,76	0,72	0,56	0,52	0,65	0,61	0,45	0,41
	бутонізація	1,01	0,97	1,04	0,98	1,07	1,01	1,37	1,32	1,45	1,39	0,91	0,87
	цвітіння	1,63	1,58	2,31	2,27	1,91	1,86	2,74	2,69	2,33	2,26	2,37	2,31
	налив бобів	14,92	14,85	12,46	12,37	13,18	13,08	14,87	14,80	16,87	16,78	12,10	12,01
V, %	1-й трійчастий листок	26,2	26,0	21,1	22,9	13,6	14,5	15,0	14,1	29,7	28,7	8,3	8,1
	бутонізація	9,5	11,3	13,4	14,0	26,7	24,2	17,8	18,4	29,3	30,3	26,9	27,7
	цвітіння	22,5	23,0	15,9	16,9	27,5	27,7	13,7	15,2	25,8	19,2	22,5	23,0
	налив бобів	22,4	22,6	17,3	17,6	37,4	37,7	34,7	34,8	34,9	35,0	20,8	19,4

**Примітка: 1 – загальна маса бульбочок, 2 – маса активних бульбочок.*

ДОДАТОК Б.3
Маса бульбочок у посівах сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння,
середнє за 2021-2023 рр., кг/га

Удобрєння	Міжфазний період розвитку рослин	Оброблення насіння						Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакорєнєве підживлення Хелпрост Соя у фазі:					
		оброблення водою (контроль)		Мікофренд		Мікофренд + Вайбранс		гілкування		бутонізації		цвітіння	
		1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок	20,7	19,7	25,5	23,0	29,6	26,3	35,7	32,9	31,2	28,3	24,0	22,1
	бутонізація	38,5	35,3	59,3	56,8	78,0	71,4	71,9	69,6	76,3	72,5	75,7	72,4
	цвітіння	83,7	80,8	100,9	96,0	92,1	88,4	102,9	95,4	130,6	129,1	114,7	112,8
	налив бобів	419,7	416,4	500,3	496,9	437,1	432,9	1203,2	1198,0	968,2	965,8	653,3	651,4
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	31,4	29,2	33,6	32,5	38,6	35,8	32,5	30,7	37,8	35,4	30,3	27,5
	бутонізація	55,6	52,3	54,3	51,9	53,8	51,5	57,4	54,5	127,1	123,8	99,6	97,4
	цвітіння	141,9	130,1	155,8	152,2	182,0	177,0	146,2	141,5	199,7	196,4	207,4	204,6
	налив бобів	664,4	656,7	670,8	666,1	691,6	687,1	658,9	654,2	500,5	495,6	533,0	530,2
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок	16,5	15,4	19,7	18,0	31,9	30,2	38,4	35,4	33,1	31,9	28,9	27,1
	бутонізація	55,9	53,0	71,3	69,0	62,1	59,7	84,4	81,4	69,0	66,1	83,2	79,1
	цвітіння	139,7	137,4	172,3	169,4	174,0	168,2	179,4	172,9	170,5	166,5	168,2	165,2
	налив бобів	847,0	844,2	881,6	879,3	1254,0	1251,1	1217,8	1214,2	1339,8	1331,7	946,4	907,4

Продовження Додатку Б.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок	25,2	24,1	30,8	29,1	41,8	39,6	32,5	30,2	37,1	34,8	25,7	23,4
	бутонізація	56,6	54,3	59,3	55,9	58,9	55,6	79,5	76,6	82,7	79,2	51,9	49,6
	цвітіння	91,3	88,5	131,7	129,4	105,1	102,3	158,9	156,0	132,8	128,8	135,1	131,7
	налив бобів	835,5	831,6	710,2	705,1	724,9	719,4	862,5	858,4	961,6	956,5	689,7	684,6
V, %	1-й трійчастий листок	27,2	26,8	22,4	25,1	16,0	17,9	8,2	7,4	9,1	10,0	10,6	10,7
	бутонізація	17,0	18,4	11,8	12,6	16,5	14,4	16,1	16,6	29,5	30,6	25,6	26,5
	цвітіння	27,1	26,3	22,1	23,2	33,5	33,7	22,0	23,5	20,9	21,1	25,9	26,3
	налив бобів	28,9	29,1	22,7	22,8	44,2	44,5	27,7	27,8	36,5	36,5	24,7	22,7

**Примітка: 1 – загальна маса бульбочок, 2 – маса активних бульбочок.*

ДОДАТОК Б.4

Фіксація біологічного азоту посівами сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння за період, середнє за 2021–2023 рр., кг/га

Удобрення	Міжфазний період	Оброблення насіння			Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соє у фазі:		
		Оброблення водою	Мікофренд	Мікофренд + Вайбранс	гілкування	бутонізації	цвітіння
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок–бутонізація	2,30	6,67	4,08	4,28	4,21	3,95
	бутонізація–цвітіння	3,33	4,39	4,59	4,63	5,79	5,32
	цвітіння–налив бобів	23,40	27,85	24,50	38,00	51,44	35,90
	1-й трійчастий листок – налив бобів	29,03	38,91	33,17	46,91	61,44	45,17
P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок–бутонізація	3,62	3,52	3,65	3,56	6,65	5,22
	бутонізація–цвітіння	6,60	8,02	6,56	5,63	9,19	8,67
	цвітіння–налив бобів	36,96	38,44	40,60	44,21	32,51	33,37
	1-й трійчастий листок – налив бобів	47,18	49,98	50,81	53,40	48,35	47,26
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	1-й трійчастий листок–бутонізація	2,86	9,51	3,75	4,88	4,09	4,43
	бутонізація–цвітіння	5,47	6,874	8,12	7,83	6,68	7,01
	цвітіння–налив бобів	46,12	49,27	66,79	65,17	70,39	50,39
	1-й трійчастий листок – налив бобів	54,45	65,62	78,66	77,88	81,16	67,88
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	1-й трійчастий листок–бутонізація	3,27	3,55	3,98	4,46	4,76	3,05
	бутонізація–цвітіння	4,15	7,74	4,53	6,18	5,97	7,24
	цвітіння–налив бобів	43,23	39,20	51,80	47,66	50,99	38,35
	1-й трійчастий листок – налив бобів	50,65	50,49	60,31	58,30	62,48	48,64
V, %	1-й трійчастий листок–бутонізація	18,8	49,4	5,2	12,8	24,0	21,8
	бутонізація–цвітіння	29,5	24,4	29,0	22,1	22,7	19,4
	цвітіння–налив бобів	27,0	22,6	38,9	23,9	30,1	19,1
	1-й трійчастий листок – налив бобів	24,8	21,4	34,0	22,6	21,3	20,1

ДОДАТОК В.1
Кількість бобів і насінин у бобі залежно від варіанту удобрення сої,
2021–2023 рр.

Удобрення	Бобів, шт./росл.	Насінин, шт./бобі	Кількість насінин у бобі, штук				
			0	1	2	3	4
			бобів, % від загальної кількості				
2021 р.							
Без добрив (контроль)	40,2	2,3	7,2	13,4	40,1	37,1	2,2
P ₄₅ K ₆₀	42,6	2,1	5,9	15,9	38,5	38,2	1,5
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	42,5	2,7	6,5	12,2	37,3	41,8	2,2
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	46,2	2,0	5,4	11,5	32,7	48,9	1,5
\bar{X}	42,9	2,3	6,3	13,3	37,2	41,5	1,9
$S\bar{x}$	1,2	0,2	0,4	1,0	1,6	2,7	0,2
V, %	5,8	13,6	12,4	14,6	8,6	12,8	21,8
S	2,5	0,3	0,8	1,9	3,2	5,3	0,4
2022 р.							
Без добрив (контроль)	40,2	2,3	3,6	16,2	46,5	30,2	3,5
P ₄₅ K ₆₀	40,4	2,0	7,2	11,4	44,7	32,5	4,1
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	42,6	2,0	3,1	6,7	35,8	48,4	6,0
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	42,2	2,2	3,7	7,4	46,9	36,9	5,1
\bar{X}	41,4	2,1	4,4	10,4	43,5	37,0	4,7
$S\bar{x}$	0,6	0,1	0,9	2,2	2,6	4,0	0,6
V, %	3,0	7,1	42,8	41,9	12,0	21,9	23,6
S	1,2	0,2	1,9	4,4	5,2	8,1	1,1
2023 р.							
Без добрив (контроль)	32,5	2,2	5,5	13,0	38,7	40,8	2,0
P ₄₅ K ₆₀	33,4	2,2	4,9	14,3	30,0	47,7	3,1
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ +N ₃₀	38,7	2,2	5,7	14,2	38,6	38,3	3,2
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	36,3	2,2	5,0	14,9	36,9	41,3	1,9
\bar{X}	35,2	2,2	5,3	14,1	36,1	42,0	2,6
$S\bar{x}$	1,4	0	0,2	0,4	2,1	2,0	0,3
V, %	8,0	0	7,3	5,6	11,4	9,5	27,3
S	2,8	0	0,4	0,8	4,1	4,0	0,7

ДОДАТОК В.2
Кількість бобів і насінин у бобі залежно від варіанту передпосівного оброблення насіння та рослин сої, 2021–2023 рр.

Оброблення		Бобів, шт./росл.	Насінин, шт./бобі	Кількість насінин у бобі, штук				
				0	1	2	3	4
насіння	рослин			бобів, % від загальної кількості				
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
2021 р.								
Оброблення водою (контроль)	-	36,3	2,2	5,2	13,8	37,8	40,2	3,0
Мікофренд	-	37,5	2,0	11,7	10,9	41,4	35,5	0,5
Мікофренд+ Вайбранс	-	41,0	2,2	7,6	12,7	38,8	38,5	2,4
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (гілкування)	51,4	2,1	5,6	13,0	38,3	41,2	1,9
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (бутонізація)	39,5	2,2	6,6	13,9	38,0	40,0	1,5
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (цвітіння)	35,5	2,0	7,3	15,8	48,2	24,2	4,5
\bar{X}		40,2	2,1	7,3	13,4	40,4	36,6	2,3
$S\bar{x}$		2,5	0,04	1,0	0,7	1,7	2,8	0,6
$V, \%$		15,4	4,7	31,8	13,4	10,6	18,8	64,5
S		6,2	0,1	2,3	1,8	4,3	6,9	1,5
2022 р.								
Оброблення водою (контроль)	-	38,2	2,3	3,3	14,1	43,4	35,1	4,1
Мікофренд	-	39,3	1,9	4,5	10,8	44,1	36,3	4,3
Мікофренд+ Вайбранс	-	40,9	2,1	3,1	10,3	44,5	37,6	4,5
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (гілкування)	42,9	2,1	5,0	11,0	42,4	36,9	4,7
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (бутонізація)	43,9	2,2	6,2	10,1	41,5	37,2	5,0
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (цвітіння)	42,9	2,4	4,3	6,2	44,8	39,3	5,4
\bar{X}		41,4	2,2	4,4	10,4	43,5	37,1	4,7
$S\bar{x}$		0,9	0,1	0,5	1,0	0,5	0,6	0,2
$V, \%$		5,5	8,1	26,0	24,3	3,0	3,8	10,2
S		2,3	0,2	1,1	2,5	1,3	1,4	0,5

Продовження Додатку В.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
2023 р.								
Оброблення водою (контроль)	-	31,9	2,2	5,5	12,3	30,9	48,7	2,6
Мікофренд	-	36,5	2,2	5,6	14,6	37,2	40,2	2,4
Мікофренд+ Вайбранс	-	35,7	2,1	4,6	14,9	43,1	35,1	2,3
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (гілкування)	34,1	2,3	4,7	12,9	36,0	43,3	3,1
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (бутонізація)	37,5	2,2	5,0	15,0	39,6	38,5	1,9
Мікофренд+ Вайбранс	Хелпрост Соя (цвітіння)	36,4	2,2	6,5	14,8	37,3	38,4	3,0
\bar{X}		35,4	2,2	5,3	14,1	37,4	40,7	2,6
$S\bar{x}$		0,8	0,03	0,3	0,5	1,6	1,9	0,2
$V, \%$		5,7	2,9	13,3	8,3	10,8	11,7	17,7
S		2,0	0,1	0,7	1,2	4,0	4,7	0,5

Додаток В.3

Висота прикріплення нижнього бобу на рослинах сої залежно від проведених агрозаходів, 2021–2023 рр., см

Оброблення насіння	Підживлення рослин мікродобривом Хелпост Соя	Варіант удобрення															
		Без удобрення (контроль)				P ₄₅ K ₆₀				N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀				N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀			
		2021	2022	2023	серед.	2021	2022	2023	серед.	2021	2022	2023	серед.	2021	2022	2023	серед.
Оброблення водою (контроль)	-	12,4	12,1	12,6	12,4	12,7	12,2	12,8	12,6	13,7	12,5	12,8	13,0	13,4	12,5	12,9	12,9
Мікофренд	-	12,5	12,7	13,1	12,8	13,3	12,6	13,5	13,1	14,3	12,7	13,9	13,6	13,7	12,7	13,8	13,4
Мікофренд + Вайбранс	-	12,6	13,0	13,3	13,0	13,5	12,5	13,8	13,3	14,1	12,8	14,0	13,6	13,5	13,0	13,9	13,5
Мікофренд + Вайбранс	фаза 2 пар листків	12,5	13,3	13,4	13,1	13,4	12,6	14,0	13,3	13,9	13,5	14,2	13,9	13,9	13,6	14,4	14,0
Мікофренд + Вайбранс	фаза бутонізації	12,7	13,5	13,5	13,2	13,2	12,9	14,1	13,4	14,0	13,6	14,7	14,1	14,2	13,9	14,4	14,2
Мікофренд + Вайбранс	фаза цвітіння	12,3	13,3	13,4	13,0	13,1	12,7	13,9	13,2	13,8	13,3	14,0	13,7	13,8	13,1	14,0	13,7
\bar{X}		12,5	13,0	13,2	12,9	13,2	12,6	13,7	13,2	14,0	13,1	13,9	13,7	13,8	13,1	13,9	13,6
$S\bar{X}$		0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
$V, \%$		1,1	4,0	2,5	2,2	2,1	1,8	3,5	2,2	1,5	3,5	4,5	2,7	2,1	4,0	4,0	3,4
S		0,1	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2	0,5	0,6	0,4	0,3	0,5	0,6	0,5

Додаток В.4

Урожайність насіння сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, 2021–2023 рр., т/га

Удобрення	Оброблення насіння									Оброблення насіння (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення Хелпрост Соя у фазі:								
	оброблення водою (контроль)			Мікофренд			Мікофренд + Вайбранс			гілкування			бутонізації			цвітіння		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Без добрив (контроль)	3,02	2,94	2,98	3,07	3,11	3,01	3,13	3,16	3,04	3,21	3,27	3,06	3,29	3,32	3,42	3,31	3,30	3,33
P ₄₅ K ₆₀	3,09	3,15	3,18	3,18	3,23	3,37	3,24	3,31	3,32	3,31	3,39	3,54	3,38	3,46	3,64	3,40	3,42	3,44
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ ⁺ N ₃₀	3,23	3,27	3,22	3,40	3,33	3,42	3,43	3,45	3,52	3,62	3,69	3,70	3,51	3,78	3,93	3,47	3,71	3,72
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	3,15	3,31	3,20	3,20	3,42	3,37	3,16	3,53	3,40	3,48	3,74	3,62	3,45	3,82	3,68	3,42	3,78	3,63
<i>НІР₀₅</i>	<i>для факторів: погодні умови – 0,03; оброблення насіння - 0,03; добрива – 0,04. загальна - 0,12</i>									<i>для факторів:погодні умови – 0,04; оброблення насіння -0,04; добрива – 0,05. загальна -0,14</i>								

Додаток В.5

Коефіцієнти суттєвості відхилень від багаторічних значень показників середньодобових температур повітря і кількості опадів протягом періоду вегетації сої

Рік	Квітень			Травень			Червень			Липень			Серпень			Вересень		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
З показниками середньодобових температур																		
2021	-0,12	0,12	-0,20	-0,14	-0,03	-0,05	-0,06	0,10	0,23	0,16	0,24	0,10	0,03	0,06	0,03	-0,14	0,06	-0,23
2022	-0,11	-0,15	0,07	-0,05	-0,08	-0,18	0,16	0,08	0,10	0,08	-0,15	0,04	-0,01	0,07	0,21	-0,19	-0,15	-0,10
2023	-0,12	0,17	0,07	-0,16	0,14	0,12	0,06	0,01	0,04	0,09	0,06	-0,01	0,04	0,19	0,24	0,11	0,22	0,50
З показниками кількості опадів																		
2021	-0,31	0,17	-1,48	-1,00	-0,87	0,45	-0,75	-3,84	-1,53	-0,03	0,03	-1,25	0,06	-2,03	2,21	-2,94	-0,87	-1,10
2022	-0,11	-0,81	-1,14	-3,88	-1,39	-0,56	-1,12	-3,77	-0,47	-0,23	0,09	-1,45	-0,21	-0,55	-0,78	-0,52	0,66	0,03
2023	0,04	0,57	-2,14	-3,78	-2,63	-1,56	-0,20	-2,61	-0,41	0,37	1,17	1,15	-0,47	-2,63	-0,76	-3,23	-0,52	-2,04

Додаток В.6

Вміст сирого протеїну та олії в насінні сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння

Удобрення	Оброблення насіння						Оброблення насіння препаратами (Мікофренд + Вайбранс) + позакореневе підживлення мікродобривом Хелпрост Соя у фазі:					
	Оброблення водою		Мікофренд		Мікофренд + Вайбранс		гілкування		бутонізації		цвітіння	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
2021 р.												
Без добрив (контроль)	36,6	21,7	34,6	23,8	34,7	23,0	35,1	23,2	35,2	22,6	33,5	23,6
P ₄₅ K ₆₀	35,6	23,2	34,6	22,3	34,7	23,6	34,7	23,9	34,3	21,0	35,1	21,5
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	35,4	21,6	35,7	21,8	34,8	21,6	35,1	21,7	33,2	22,0	34,8	22,6
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	34,9	22,7	35,6	22,2	33,4	23,4	33,6	23,0	34,2	22,8	36,1	22,3
V, %	2,0	3,5	1,7	3,9	1,9	3,9	2,0	4,0	2,4	3,7	3,1	3,9
2022 р.												
Без добрив (контроль)	38,1	20,2	36,2	19,4	37,6	20,0	37,6	20,7	38,5	20,1	36,7	20,6
P ₄₅ K ₆₀	38,6	20,2	37,2	21,5	35,3	22,8	36,6	21,3	35,6	22,0	35,9	22,1
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ + N ₃₀	38,5	21,6	38,4	21,3	35,5	22,8	35,3	22,8	36,8	22,0	37,4	21,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	36,1	22,7	37,3	21,2	36,8	21,9	38,1	21,2	37,0	21,8	36,0	22,0
V, %	3,1	5,7	2,4	4,7	3,0	6,0	3,3	4,2	3,2	4,3	1,9	3,2

Продовження Додатку В.6

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
2023 р.												
Без добрив (контроль)	38,84	20,25	39,50	21,10	39,21	20,73	39,76	20,54	39,05	20,62	39,16	20,56
P ₄₅ K ₆₀	37,88	21,57	39,59	21,54	39,06	22,23	37,61	21,68	39,44	21,60	38,11	21,95
N ₁₅ P ₄₅ K ₆₀ ⁺ N ₃₀	37,18	21,93	38,08	21,92	38,65	22,36	37,99	21,74	37,38	21,57	37,25	22,05
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	37,89	22,37	38,55	21,82	39,11	21,57	38,73	20,30	39,38	20,42	38,07	21,45
V, %	1,8	4,2	1,9	1,7	0,6	3,4	2,5	3,6	2,5	2,9	2,1	3,2

Примітка. *1 – вміст сирого протеїну, %; **2 – вміст олії, %.

ДОДАТОК Д
АКТИ АПРОБАЦІЇ/ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
 УКРАЇНИ

АГРОБІОЛОГІЧНИЙ
 ФАКУЛЬТЕТ



03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4 тел.: (044) 527-82-13

Вих. № 1034 від 08.09 2024 р.

Д О В І Д К А

про впровадження результатів наукових досліджень

Грицюка Ярослава Васильовича

Підтверджуємо, що результати наукових досліджень аспіранта ННЦ «Інститут землеробства НААН» Грицюка Я.В., отримані під час підготовки дисертаційної роботи на тему «*Оптимізація процесів формування продуктивності сої у технології вирощування в Правобережному Лісостепу*» пройшли апробацію та використовуються в навчальному процесі при підготовці магістрів спеціальності агрономія агробіологічного факультету НУБІП України.

Теоретичні положення дисертаційної роботи увійшли до навчальних дисциплін: «Адаптивні технології в рослинництві», «Управління факторами ризику в землеробстві», «Інноваційні технології у рослинництві», «Технології виробництва насіння та садивного матеріалу сільськогосподарських культур», «Наукові основи екологічних систем землеробства», які викладалися на кафедрах рослинництва, землеробства та гербології впродовж 2023–2024 нр.

Довідка видана у спеціалізовану вчену раду за місцем захисту дисертаційної роботи.

Декан агробіологічного
 факультету НУБІП України,
 доктор с.-г. наук, професор



Віталій КОВАЛЕНКО



Актом виробничої перевірки науково-технічного досягнення (НТД) як результату закінченої науково-дослідної роботи (НДР)

1. Назва НТД, що впроваджується: технологія вирощування середньораннього сорту сої Муза, яка включає агротехнічні заходи, спрямовані на забезпечення біологічних потреб рослини протягом періоду вегетації макро- та мікроелементами, формування оптимального рівня фотосинтетичного та симбіотичного потенціалу посівів для зменшення впливу несприятливих зовнішніх чинників. Рекомендовано вносити мінеральні добрива у дозі $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, проводити передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд (1 л/т) у поєднанні з протруювачем Вайбранс (1 л/т), а також позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хеллпрост Соя (2 л/га) у фазі бутонізації (ВВСН 51-59).
2. Якою науково-дослідною установою одержано НДР та запропоновано до впровадження, і його автори: ННЦ Інститут Землеробства НААН України, Грицюк Я.В.
3. Назва господарства і його адреса, де проводилося дослідження: ТОВ «Агромілк», вул. Комсомольська, 1а, с. Луб'янка, Рокитнянський район, Київська область.
4. Рік і обсяг впровадження: 2023 р., 25 га.
5. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на гектар і на весь обсяг впровадження: на 1 га — 4200 грн., на 25 га — 105 тис. грн.
6. Відповідальні за впровадження (ПІБ, посада):
 - від підприємства: заступник директора Коцар Андрій Петрович
 - від наукової установи: здобувач Грицюк Я.В.

Заступник директора

Здобувач

Коцар А.П.

Грицюк Я.В.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ФГ «Зернівка»

Бойко А.Б.

21.09.2023 р.

Акт

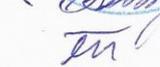
виробничої перевірки науково-технічного досягнення (НТД) як результату закінченої науково-дослідної роботи (НДР)

1. *Назва НТД, що впроваджується:* технологія вирощування середньораннього сорту сої Муза, яка включає агротехнічні заходи, спрямовані на забезпечення біологічних потреб рослини протягом періоду вегетації макро- та мікроелементами, формування оптимального рівня фотосинтетичного та симбіотичного потенціалу посівів для зменшення впливу несприятливих зовнішніх чинників. Рекомендовано вносити мінеральні добрива у дозі $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, проводити передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд (1 л/т) у поєднанні з протруювачем Вайбранс (1 л/т), а також позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя (2 л/га) у фазі бутонізації (ВВСН 51-59).
2. *Якою науково-дослідною установою одержано НДР та запропоновано до впровадження, і його автори:* ННЦ «Інститут землеробства НААН», Голодна А.В., Грицюк Я.В.
3. *Назва господарства і його адреса, де проводилося дослідження:* Фермерське господарство «Зернівка», вул. Запоріжська, 41, с. Сулимівка, Бориспільський район, Київська область.
4. *Рік і обсяг впровадження:* 2023 р., 50 га.
5. *Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на гектар і на весь обсяг впровадження:* на 1 га - 4400 грн., на 50 га - 220 тис. грн.
6. *Відповідальні за впровадження (ПІБ, посада):*
 - від підприємства: заступник директора господарства Хоменко І.М.
 - від наукової установи: головний науковий співробітник Голодна А.В., здобувач Грицюк Я.В.

Заступник директора ФГ «Зернівка»  Хоменко І.М.

Головний науковий співробітник
ННЦ «Інститут землеробства НААН»  Голодна А.В.

Здобувач

 Грицюк Я.В.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ФГ «Зернівка»

Бойко А.Б.

09.10.2024 р.

Акт

виробничої перевірки науково-технічного досягнення (НТД) як результату закінченої науково-дослідної роботи (НДР)

1. *Назва НТД, що впроваджується:* технологія вирощування середньораннього сорту сої Муза, яка включає агротехнічні заходи, спрямовані на забезпечення біологічних потреб рослини протягом періоду вегетації макро- та мікроелементами, формування оптимального рівня фотосинтетичного та симбіотичного потенціалу посівів для зменшення впливу несприятливих зовнішніх чинників. Рекомендовано вносити мінеральні добрива у дозі $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, проводити передпосівне оброблення насіння мікоризоутворюючим препаратом Мікофренд (1 л/т) у поєднанні з протруювачем Вайбранс (1 л/т), а також позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя (2 л/га) у фазі бутонізації (ВВСН 51-59).
2. *Якою науково-дослідною установою одержано НДР та запропоновано до впровадження, і його автори:* ННЦ «Інститут землеробства НААН», Голодна А.В., Грицюк Я.В.
3. *Назва господарства і його адреса, де проводилося дослідження:* Фермерське господарство «Зернівка», вул. Запорізьська, 41, с. Сулимівка, Бориспільський район, Київська область.
4. *Рік і обсяг впровадження:* 2024 р., 100 га.
5. *Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на гектар і на весь обсяг впровадження:* на 1 га - 3150 грн., на 100 га - 315 тис. грн.
6. *Відповідальні за впровадження (ПІБ, посада):*
 - від підприємства: заступник директора господарства Хоменко І.М.
 - від наукової установи: головний науковий співробітник Голодна А.В., здобувач Грицюк Я.В.

Заступник директора ФГ «Зернівка»

Хоменко І.М.

Головний науковий співробітник
ННЦ «Інститут землеробства НААН»

Голодна А.В.

Здобувач

Грицюк Я.В.

ДОДАТОК Е

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Буслаєва Н.Г., Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Прогнозування рівня рентабельності за різних варіантів технології вирощування (*Glycine max* L.). *Агроекологічний журнал*. 2024. № 3. С. 164–172. Doi: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311192>
2. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Фотосинтетична продуктивність посіву сої за різних варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 2. С. 133–142. Doi: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305672>
3. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.**, Буслаєва Н.Г., Столяр О.О. Вплив удобрення, оброблення насіння та метеорологічних умов на урожайність сої в Правобережному Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 2 (12). С. 58–66. Doi: 10.54651/agri.2024.02.07
4. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Культура соя та її значення у сучасному світовому і вітчизняному агровиробництві. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 2. С. 101–110. Doi: 10.33730/2310-4678.2.2024.309929
5. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Фотосинтетична діяльність посіву сої за різних моделей технології вирощування. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 1 (11). С. 57–65. Doi: 10.54651/agri.2024.01.06
6. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Висота прикріплення нижніх бобів у рослин сої за різного удобрення й оброблення насіння. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. Вип. 4(10). С. 51–57. Doi: 10.54651/agri.2023.04.06

Тези доповідей і матеріали конференцій

1. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Загальний та активний симбіотичний потенціал рослин сої за різних технологій вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 4–5 липня 2024 р.). Київ, 2024. Ч.1. С. 56–58.

2. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Вміст олії в насінні сої та її збір залежно від удобрення та оброблення насіння. *Олійні культури: сьогодення та перспективи: Матеріали Міжнародної наукової Інтернет-конференції* (Запоріжжя, 27 березня 2024 р.). Запоріжжя: ІОК НААН, 2024. С. 86–87.

3. Голодна А., **Грицюк Я.** Накопичення сухої речовини рослинами сої залежно від варіанту технології вирощування. *Сучасні кормові ресурси: селекція, технологія виробництва, заготівля та безпека кормів: Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених* (Вінниця, 14 вересня 2023 р.). Вінниця, 2023. С. 32–34.

4. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Формування продуктивності рослинами сої за різних технологій вирощування. *Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції* (Іллінці, 23 червня 2022 р.). Іллінці, 2022. С. 109–112.

5. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Показники структури врожаю сої залежно від варіанту технології вирощування. *Корми і кормовий білок: Матеріали XIV Міжнародної наукової конференції* (Вінниця, 12 жовтня 2022 р.). Вінниця, 2022. С. 74–76.

6. Любчич О.Г., Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Вирощування зернобобових культур в умовах змін клімату. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 21 квітня 2021 р.). Київ, 2021. С. 102–105.

7. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Ріст і розвиток рослин сої за різних варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Наукові читання до 85-річчя від Дня народження В.Г. Михайлова – видатного вченого у галузі селекції та насінництва с.-г. культур: Матеріали наукової Інтернет-конференції* (Чабани, 5 жовтня 2021 р.). Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2021. С. 64–68.

8. Голодна А.В., **Грицюк Я.В.** Фотосинтетична діяльність рослин сої за різних варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Тенденція та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика: Матеріали III Міжнародної наукової Інтернет-конференції* (Київ, 20–22 жовтня 2021 р.). Київ: НУБІП, 2021 С. 78–80.

9. **Грицюк Я.В.** Урожайність сої залежно від варіантів удобрення та передпосівного оброблення насіння. *Новітні системи землеробства та технології вирощування сільськогосподарських культур: вклад молодих вчених: Матеріали Науково-практичної Інтернет-конференції молодих вчених і спеціалістів* (Чабани, 18 листопада 2021 р.). Вінниця, ТОВ «ТВОРИ», 2021. С. 16–18.