

УДК 631.811:633.34:579.69+631.816
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.46>

ГОСПОДАРСЬКЕ ВИНЕСЕННЯ АЗОТУ ТА ЙОГО БАЛАНС У ҐРУНТІ ЗА ВИРОЩУВАННЯ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ІНОКУЛЯЦІЇ ТА УДОБРЕННЯ

Яровий Я.О. – аспірант кафедри агрохімії і ґрунтознавства,
Уманський національний університет садівництва

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

Застосування парних комбінацій та варіанти із неповним поверненням фосфорних і калійних добрив забезпечували незначне зменшення господарського винесення порівняно з повним мінеральним добривом.

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

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

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

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

Ключові слова: урожай стебел, урожай насіння сої, інтенсивність балансу, системи удобрення, баланс азоту.

Yarovy Y.O. Economic nitrogen removal and its balance in the soil during soybean cultivation depending on inoculation and fertilization

It was established that fertilizer application significantly affected the economic removal of nitrogen with soybean seed and stem yields. On average, over three years, the economic nitrogen removal increased from 159.6 kg/ha in the variant without fertilizers to 193.5–210.0 kg/ha in nitrogen systems and to 206.7–226.6 kg/ha with the application of complete minerals. At the same time, the nitrogen component of the complete minerals greatly affected this indicator.

The use of paired combinations and variants with incomplete return of phosphorus and potassium fertilizers provided a slight reduction in economic removal compared to complete minerals.

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

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

Carrying out inoculation significantly increased the economic removal of nitrogen with the yield of seeds and stems. The level of economic removal was 14–17% higher compared to areas without inoculation. At the same time, the trend of the impact of fertilization systems was similar both on average and over the years of research.

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

Key words: stem yield, soybean seed yield, balance intensity, fertilizer systems, nitrogen balance.

Постановка проблеми. Соя [*Glycine max* (L.) Merrill] вирощується в різноманітних ґрунтово-кліматичних умовах і є домінуючою олійною культурою в США. Унікальні симбіотичні відносини між рослинами сої та бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* забезпечують більшу частину необхідного азоту [1]. Біологічна азотфіксація є одним із найважливіших екологічних та економічних процесів, що впливає на виробництво сої, оскільки урожайність сої зростала протягом останніх десятиліть [2], існує занепокоєння, чи зможе сама біологічна азотфіксація забезпечити достатню кількість азоту та підтримувати якість насіння за вищих рівнів урожайності [3]. Утворення бульбочок сої зазвичай починається незабаром після появи сходів, але активна фіксація азоту почнеться лише на стадіях росту від V_2 до V_3 [4]. Максимальна фіксація N_2 через біологічну азотфіксацію відбувається між стадіями росту R_3 і R_5 , а зменшення спостерігається між R_5 і R_7 [5], що потенційно обмежує доступність азоту під час досягання насіння. За оцінками, біологічна фіксація азоту забезпечує близько 60% азоту для рослин сої, решта кількості надходить із ґрунту та через додаткові добрива [1]. Використання ризобактерій, що стимулюють ріст рослин, може бути альтернативою для усунення потенційного дефіциту азоту в соєвих бобах і в той же час підтримувати низький вплив на навколишнє середовище.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. *Azospirillum brasilense*, азотфіксуючий діазотроф [6], який у симбіотичних зв'язках може стимулювати формування корневих волосків і ріст коренів за рахунок виробництва фітогормону індол-3-оцтової кислоти, збільшуючи поглинання рослинами води і поживних речовин. [7]. Рослини сої, інокульовані штамми *Bradyrhizobium japonicum* і *Azospirillum brasilense*, що також називають ко-інокуляцією, може збільшити ріст рослин і біологічну азотфіксацію в порівнянні з *Bradyrhizobium japonicum* окремо [8].

Спільна інокуляція цих двох бактерій може призвести до збільшення фіксації N_2 [9], і дослідження, проведені в Бразилії, показали подібні тенденції [10]. Проведення ко-інокуляції з *Bradyrhizobium spp.* і *Azospirillum brasilense* в Бразилії показали значне збільшення маси коренів, кількості бульбочок, маси бульбочок, вмісту азоту в пагонах і врожайності зерна в системах *no-till* на піщаних ґрунтах за врожайності насіння менше 3,50 т/га [11]. В іншому експерименті в Бразилії порівнювали ко-інокуляцію (*Bradyrhizobium japonicum* і *Azospirillum brasilense*) з одноразовою інокуляцією *Bradyrhizobium japonicum*, а також без інокуляції за внесення 200 кг/га азоту. Спільна обробка забезпечила значно більший врожай, ніж лише *Bradyrhizobium japonicum*, у всіх середовищах і не відрізнялася від застосування азотних добрив [12].

У США проведений експеримент протягом 25 років показав позитивний вплив спільної інокуляції на врожайність лише на трьох ділянках [13]. Якщо азоту в ґрунті недостатньо для задоволення потреб рослин під час раннього росту, коли біологічна азотфіксація ще не відбувається, низька норма азотних добрив може бути корисною для стимулювання росту рослин [14], однак удобрення азотом на початку сезону може зменшити біологічну азотфіксацію. Додаткове внесення азотних добрив має потенціал для досягнення максимальної врожайності, коли потреба в азоті не задовольняється за рахунок надходження азоту з ґрунту та біологічної азотфіксації [1]. Активність біологічної азотфіксації може бути обмежена кількома умовами навколишнього середовища, такими як вологість ґрунту, ущільнення ґрунту, рН ґрунту, температура, шкідники і хвороби. Застосування азоту в кінці сезону може збільшити вміст білка в насінні сої [15].

Взаємозв'язок сої з бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* відповідає за забезпечення приблизно 60% азоту, необхідного для культури, а решта азоту надходить із ґрунту або добрив. Коли азотні добрива вносили в дозі 112 кг/га д. р., утворення бульбочок значно пригнічувалося. Ко-інокуляція збільшувала кількість великих бульбочок і їх об'єм, проте урожайність не відрізнялася від інокуляції *Bradyrhizobium japonicum*. Застосування азотних добрив у дозі 112 і 336 кг/га д. р. підвищував урожайність зерна, вихід протеїну та масу насіння. Виходячи з поліноміального співвідношення, найвища врожайність (3,71 т/га) була досягнута за внесення 273 кг/га азоту, але за низького економічного ефекту [16].

Отже, враховуючи значні відмінності щодо ефективності удобрення та проведення інокуляції необхідно проводити додаткові дослідження щодо формування продуктивності сої за різного сценарію вирощування.

Постановка завдання. Експериментальну частину досліджень проведено в умовах Правобережного Лісостепу України у стаціонарному польовому досліді з географічними координатами за Гринвічем 48° 46' північної широти і 30° 14' східної довготи, закладеному у 2011 році на дослідному полі Уманського національного університету садівництва.

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

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

Схема застосування добрив у польовій сівозміні включала такі варіанти (насиченість добривами 1 га площі сівозміни): без добрив (контроль), N₇₅, N₁₅₀, P₆₀, K₈₀, N₁₅₀, K₈₀, N₁₅₀, P₆₀, N₇₅, P₃₀, K₄₀, N₁₅₀, P₆₀, K₈₀, N₁₅₀, P₃₀, K₄₀, N₁₅₀, P₆₀, K₄₀, N₁₅₀, P₃₀, K₈₀. Відповідно до схеми дослідів фосфорні та калійні добрива вносяться під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивуацію та в підживлення. Під сою вносили добрива відповідно до схеми, що наведена в таблицях результатів досліджень. Нетоварна частина врожаю культур сівозміни (солота, стебеління) залишається на полі на добриво. Вирощували сою сорту Асука. Для інокуляції використували препарат Ризоактив.

Господарське винесення розраховували за показниками урожайності та вмісту елементів живлення в продукції. Для спрощення розрахунків балансу елементів

живлення скоротили кількість статей як у частині надходження, так і їх вилучення. Так, кількість азоту, яка надходить у ґрунт з атмосфери опадами, насінням і фіксується вільноіснуючими мікроорганізмами прирівнювали до його сумарних витрат від вимивання, ерозії і звітрювання. Сумарну кількість фосфору й калію, що надходять з атмосфери та з насінням прирівняли до втрат від ерозії і вимивання. Тому, в кінцевому результаті, до прибуткової частини балансу ввійшло лише внесення елементів живлення з мінеральними добривами.

Математичну обробку даних здійснювали методом дисперсійного аналізу двофакторного польового досліду, використовуючи пакет стандартних програм Microsoft Excel 2022.

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

Застосування парних комбінацій та варіанти із неповним поверненням фосфорних і калійних добрив забезпечували незначне зменшення господарського винесення порівняно з повним мінеральним добривом.

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

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

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

Таблиця 1

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

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення дослідження			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без інокуляції (чинник В)				
Без добрив (контроль)	139,3	215,9	83,9	146,4
N ₃₀	202,6	236,0	94,9	177,8
N ₆₀	215,8	257,0	100,7	191,1
P ₆₀ K ₆₀	155,1	232,6	85,5	157,7
N ₆₀ K ₆₀	220,7	260,9	101,4	194,3
N ₆₀ P ₆₀	218,7	270,0	102,5	197,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	209,9	261,4	96,7	189,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	227,2	286,2	102,2	205,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	223,3	284,2	103,5	203,7

Продовження таблиці 1

$N_{60} P_{60} K_{30}$	226,6	282,0	102,2	203,6
$N_{60} P_{30} K_{60}$	225,9	285,6	102,8	204,8
З інокуляцією				
Без добрив (контроль)	176,4	251,5	86,1	171,4
N_{30}	244,1	279,2	97,4	206,9
N_{60}	257,8	286,2	101,8	215,3
$P_{60} K_{60}$	193,9	276,4	87,8	186,0
$N_{60} K_{60}$	262,6	292,6	103,2	219,5
$N_{60} P_{60}$	260,7	306,1	105,0	224,0
$N_{30} P_{30} K_{30}$	251,4	314,3	105,0	223,6
$N_{60} P_{60} K_{60}$	270,0	324,7	104,2	233,0
$N_{60} P_{30} K_{30}$	265,3	320,1	105,0	230,1
$N_{60} P_{60} K_{30}$	269,6	323,1	105,6	232,8
$N_{60} P_{30} K_{60}$	268,7	323,8	105,3	232,6

Встановлено, що застосування добрив значно менше впливало на господарське винесення азоту з урожаєм стебел сої порівняно з насінням (табл. 2). При цьому рівень цього показника був у 9–11 рази нижчим порівняно з господарським винесенням азоту з насінням. У середньому за три роки господарське винесення азоту збільшувалось від 13,3 кг/га у варіанті без добрив до 15,7–18,9 кг/га за азотних систем і до 17,4–21,4 кг/га за внесення повного мінерального добрива. При цьому азотна складова повного мінерального добрива також найбільше впливала на цей показник.

Застосування парних комбінацій та варіанти із неповним поверненням фосфорних і калійних добрив забезпечували незначне зменшення господарського винесення порівняно з повним мінеральним добривом.

Найменше на господарське винесення впливало застосування фосфорно-калійної системи удобрення, оскільки він збільшувався лише на 5% порівняно з ділянками без добрив.

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

Проведення інокуляції значно підвищувало господарське винесення азоту з урожаєм стебел сої. Рівень господарського винесення був на 19–21% вищим порівняно з ділянками без інокуляції. При цьому тенденція впливу систем удобрення як у середньому, так і за роки досліджень була подібною (табл. 2).

Встановлено, що застосування добрив значно впливало на господарське винесення азоту з урожаєм насіння та стебел сої (табл. 3). У середньому за три роки господарське винесення азоту збільшувалось від 159,6 кг/га у варіанті без добрив до 193,5–210,0 кг/га за азотних систем і до 206,7–226,6 кг/га за внесення повного мінерального добрива. При цьому азотна складова повного мінерального добрива найбільше впливала на цей показник.

Застосування парних комбінацій та варіанти із неповним поверненням фосфорних і калійних добрив забезпечували незначне зменшення господарського винесення порівняно з повним мінеральним добривом.

Таблиця 2

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

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

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

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

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

Таблиця 3

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

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

Встановлено, що баланс азоту був від'ємним незалежно від сценарію залишення побічної продукції вирощування сої (табл. 4). При цьому величина дефіциту балансу прямо пропорційна господарському винесенню азоту. Залишення стебел після збирання врожаю дещо знижує дефіцит балансу азоту. Дефіцит азоту свідчить про недостатнє забезпечення рослин сої азотом. При цьому розроблена система удобрення повністю екологічно безпечна для довкілля.

Розрахована інтенсивність балансу свідчить про недостатнє повернення азоту в ґрунт (табл. 5). При цьому величина цього показника також значно змінюється залежно від року дослідження. На тлі залишення стебел інтенсивність балансу дещо вища, проте залишається дефіцитною. Показник дефіцитності на тлі проведення інокуляції змінювався подібно до ділянок без її проведення.

Отже, господарське винесення азоту з урожаєм значно залежить від удобрення рівень якого визначається погодними умовами. При цьому застосування 30–60 кг/га д. р. азотних добрив у Правобережному Лісостепу повністю безпечно, оскільки навіть за умови залишення супутньої продукції на полі баланс азоту дефіцитний.

Таблиця 4

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

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

Таблиця 5

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

Варіант досліджу (чинник А)	Рік проведення дослідження					
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
	за умови видалення стебел з поля			за умови залишення стебел на полі		
Без інокуляції (чинник В)						
N ₃₀	13,4	11,7	29,9	14,8	12,7	31,6
N ₆₀	25,1	21,1	56,0	27,8	23,3	59,6
P ₆₀ K ₆₀	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N ₆₀ K ₆₀	24,5	20,8	55,6	27,2	23,0	59,2
N ₆₀ P ₆₀	24,7	20,1	55,0	27,4	22,2	58,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13,0	10,5	29,2	14,3	11,5	31,0

Продовження таблиці 5

$N_{60}P_{60}K_{60}$	23,7	18,9	55,1	26,4	21,0	58,7
$N_{60}P_{30}K_{30}$	24,1	18,9	54,4	26,9	21,1	58,0
$N_{60}P_{60}K_{30}$	23,8	19,2	55,1	26,5	21,3	58,7
$N_{60}P_{30}K_{60}$	23,8	18,9	54,7	26,6	21,0	58,4
З інокуляцією						
N_{30}	11,2	9,7	29,0	12,3	10,7	30,8
N_{60}	21,1	18,8	55,2	23,3	21,0	58,9
$P_{60}K_{60}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$N_{60}K_{60}$	20,6	18,3	54,4	22,8	20,5	58,1
$N_{60}P_{60}$	20,7	17,5	53,4	23,0	19,6	57,1
$N_{30}P_{30}K_{30}$	10,8	8,7	26,9	11,9	9,5	28,6
$N_{60}P_{60}K_{60}$	19,9	16,5	53,8	22,2	18,5	57,6
$N_{60}P_{30}K_{30}$	20,4	16,8	53,4	22,6	18,7	57,1
$N_{60}P_{60}K_{30}$	20,1	16,6	53,1	22,3	18,6	56,8
$N_{60}P_{30}K_{60}$	20,1	16,5	53,2	22,3	18,5	57,0

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Salvagiotti F., Cassman K.G., Specht J.E., Walters D.T., Weiss A., Doberman A. Nitrogen uptake, fixation, and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Res.* 2008. Vol. 108. P. 1–13.
2. Любич В. В. Технологічні властивості та врожайність різних сортів пшениці м'якої озимої залежно від попередників. *Збірник Уманського НУС.* 2024. Вип. 105. С. 218–230.
3. Любич В. В., Красноштан В. І., Войтовська В. І., Климович Н. В. Формування якості насіння різних сортів нуту. *Зб. наук. пр. Уманського НУС.* 2023. Вип. 102. С. 109–115.
4. Fehr, W.R., Caviness C.E., Burmood D.T., Pennington J.S. Stage of development descriptions for soybeans, glycine max (L.) merrill. *Crop Sci.* 1971. Vol. 11. P. 929–931.
5. Zapata F., Danso S.K.A., Hardarson G., Fried M. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agron. J.* 1987. Vol. 79. P. 172–176.
6. Chibeba A.M., Guimarães M.F., Brito O.R., Nogueira M.A., Araujo R.S., Hungria M. Co-inoculation of soybean with Bradyrhizbium and Azospirillum promotes early nodulation. *Am. J. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. P. 1641–164.
7. Bashan Y., Levanony H. Current status of Azospirillum inoculation technology: Azospirillum as a challenge for agriculture. *Can. J. Microbiol.* 1990. Vol. 36. P. 591–608.
8. Galal Y. Dual inoculation with strains of Bradyrhizobium japonicum and Azospirillum brasilense to improve growth and biological Nitrogen fixation of soybean (*Glycine max* L.). *Biol. Fertil. Soils.* 1997. Vol. 24. P. 317–322.

9. Groppa M.D., Zawoznik M.S., Tomaro M.L. Effect of co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* on soybean plants. *Eur. J. Soil Biol.* 1998. Vol. 34. P. 75–80.
 10. Hungria M., Nogueira M.A., Araujo R.S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: Strategies to improve sustainability. *Biol. Fertil. Soils.* 2013. Vol. 49. P. 791–801.
 11. Barbosa J.Z., Hungria M., da Silva Sena J.V., Poggere G., dos Reis A.R., Correa R.S. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. *Appl. Soil Ecol.* 2021. Vol. 163. 103913.
 12. Hungria M., Nogueira M.A., Araujo R.S. Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: A new biotechnological tool to improve yield and sustainability. *Am. J. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. P. 811–817.
 13. De Borja Reis A.F., Moro Rosso L.H., Adey E., Davidson D., Kovács P., Purcell L.C., Below F.E., Casteel S.N., Knott C., Kandel H., et al. Seed inoculation with *Azospirillum brasilense* in the U.S. soybean systems. *Field Crops Res.* 2022. Vol. 283. 108537.
 14. Hardarson G., Zapata F., Danso K.S.A. Effect of plant genotype and nitrogen fertilizer on symbiotic fixation by soybean cultivars. *Plant Soil.* 1984. Vol. 82. P. 397–405.
 15. Buttery B.R., Park S.J., Hume D.J. Potential for increasing nitrogen fixation in grain legumes. *Can. J. Plant Sci.* 1992. Vol. 72. P. 323–349.
 16. Bais J., Kandel H., DeSutter T., Deckard E., Keene C. Soybean Response to N Fertilization Compared with Co-Inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*. *Agronomy.* 2023. Vol. 13(8). 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082022>.
-