

УДК 633.34

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.13>

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ НОРМОЮ ВИСІВУ, ЗАСТОСУВАННЯМ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ І УРОЖАЙНІСТЮ СОЇ У ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОМУ

Івасик М.В. – аспірантка кафедри землеробства, ґрунтознавства та захисту рослин, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

У 2023 році на дослідних ділянках Хмельницької області України було проведено дослідження впливу норми висіву та застосування регуляторів росту на урожайність сої. Дослідження проводилося на площі 4 га, розділеній на ділянки по 0,5 га для кожної групи. Використовували два способи посіву: рядковий та широкорядний. Як регулятор росту застосовувався гіберелін, контрольні ділянки були без регулятора.

Результати показали, що застосування гібереліну значно підвищує врожайність ($F = 15,72$, $p < 0,01$), висоту рослин ($F = 9,63$, $p < 0,05$) та кількість бобів на рослині ($t = 2,85$, $p < 0,05$). Спосіб посіву також впливає на ці параметри: врожайність ($F = 4,05$, $p < 0,05$), висоту рослин ($F = 4,21$, $p < 0,05$), кількість бобів ($t = 2,11$, $p < 0,05$). Вплив на стійкість до хвороб і шкідників, а також на вміст білка та олії у насінні не був статистично значущим.

Отримані результати дозволяють зробити кілька важливих висновків. Виявлено, що застосування гібереліну та вибір способу посіву мають істотний вплив на врожайність сої та морфологічні характеристики рослин. Це відкриває широкі можливості для оптимізації вирощування цієї культури з метою підвищення врожайності та ефективності виробництва. Однак, варто зазначити, що дослідження мало деякі обмеження, зокрема, вони проводилися на обмеженій території та обмеженій кількості сортів сої. Для отримання більш репрезентативних результатів, необхідно провести додаткові дослідження на більшій території та включити до аналізу більшу кількість сортів.

Одним з можливих напрямків майбутніх досліджень може бути вивчення впливу інших регуляторів росту на розвиток сої, а також подальше дослідження різних методів посіву з метою знаходження оптимальних стратегій вирощування. Також важливо дослідити вплив змін клімату на рост та урожайність сої в умовах Лісостепу Західного. Такі дослідження допоможуть покращити розуміння процесів, що відбуваються в агроєкосистемі, та сприятимуть подальшому розвитку сільського господарства на регіональному рівні.

Практичне застосування отриманих результатів включає оптимізацію використання регуляторів росту та вибір способу посіву для максимізації урожайності. Це дозволить фермерам досягати кращих показників урожайності сої, підвищуючи загальну ефективність виробництва і забезпечуючи стійке сільське господарство.

Ключові слова: соя, гіберелін, урожайність, спосіб посіву, регулятори росту.

Ivasyk M.V. The relationship between the rate of sowing, the use of growth regulators and the productivity of soybeans in the Western Forest Steppe

In 2023, a study of the influence of the sowing rate and the use of growth regulators on the yield of soybeans was carried out in experimental plots of the Khmelnytskyi region of Ukraine. The study was conducted on an area of 4 hectares, divided into plots of 0.5 hectares for each group. Two methods of sowing were used: row and wide row. Gibberellin was used as a growth regulator, the control plots were without the regulator.

The results showed that the use of gibberellin significantly increases yield ($F = 15.72$, $p < 0.01$), plant height ($F = 9.63$, $p < 0.05$) and the number of beans per plant ($t = 2.85$, $p < 0.05$). The sowing method also affects these parameters: yield ($F = 4.05$, $p < 0.05$), plant height ($F = 4.21$, $p < 0.05$), number of beans ($t = 2.11$, $p < 0.05$). The effect on resistance to diseases and pests, as well as on protein and oil content of seeds was not statistically significant.

The obtained results allow us to draw several important conclusions. It was found that the use of gibberellin and the choice of sowing method have a significant effect on soybean yield

and morphological characteristics of plants. This opens up wide opportunities for optimizing the cultivation of this crop in order to increase the yield and efficiency of production. However, it is worth noting that the study had some limitations, in particular, it was conducted in a limited area and a limited number of soybean varieties. To obtain more representative results, it is necessary to conduct additional studies in a larger area and include a larger number of varieties in the analysis.

One of the possible directions of future research may be the study of the influence of other growth regulators on the development of soybeans, as well as the further study of different sowing methods in order to find optimal cultivation strategies. It is also important to investigate the impact of climate change on the growth and yield of soybeans in the conditions of the Western Forest Steppe. Such research will help to improve the understanding of the processes taking place in the agroecosystem and will contribute to the further development of agriculture at the regional level.

The practical application of the obtained results includes optimization of the use of growth regulators and selection of the sowing method to maximize yield. This will allow farmers to achieve better soybean yields, increasing overall production efficiency and ensuring sustainable agriculture.

Key words: soybean, gibberellin, yield, planting method, growth regulators.

Постановка проблеми. Соя є однією з основних культур, що вирощується в Лісостепі Західном Україні та має важливе значення як для продовольчої безпеки, так і для економіки країни в цілому. Однак, досягнення стабільно високих урожаїв сої залишається викликом через різноманітні чинники, серед яких особливо важливими є норма висіву та застосування регуляторів росту. Ці чинники впливають на стан рослин, їх стійкість до стресових умов і, зрештою, на врожайність. Таким чином, дослідження взаємозв'язку між цими параметрами є актуальним і важливим як з наукової, так і з практичної точки зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Соя (*Glycine max*) є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі завдяки високій споживній цінності. Вона використовується в харчовій промисловості, тваринництві, виробництві біопалива та багатьох інших галузях. Як основа для виготовлення продуктів, таких як соєве молоко, тофу, соєве борошно, соєве масло та соєвий соус, соя відзначається високим вмістом білка, вітамінів і мінералів, що робить її важливим компонентом вегетаріанських та веганських дієт [1]. В тваринництві соя є основним інгредієнтом у кормах для тварин, завдяки високому вмісту білка, який сприяє швидкому росту та розвитку тварин. Окрім цього, соя використовується для виробництва біодизеля, що є альтернативним джерелом енергії [2].

Врожайність сої залежить від багатьох факторів, таких як кліматичні умови, тип ґрунту, агротехнічні заходи та застосування добрив й пестицидів. В середньому, врожайність сої у світі коливається від 2 до 3 тон з гектара, проте в оптимальних умовах цей показник може бути значно вищим. До основних факторів, що впливають на врожайність сої, належать кліматичні умови, такі як температура, опади та тривалість світлового дня, що є критичними для росту та розвитку рослин [3]. Також важливими є ґрунтові умови: родючість ґрунту, його структура та кислотність, які впливають на доступність поживних речовин для рослин [4]. Не менш важливими є агротехнічні заходи, що включають норми висіву, обробіток ґрунту, застосування добрив та захист рослин від шкідників і хвороб [5].

Підвищення врожайності сої вимагає застосування ефективних методів та технологій. Одним із способів є оптимізація норми висіву, яка допомагає забезпечити рівномірний розподіл рослин, зменшити конкуренцію за ресурси та покращити доступ до світла. Застосування регуляторів росту є ще одним важливим методом. Ці речовини стимулюють ріст і розвиток рослин, покращують їх стійкість до стресів (наприклад, засухи чи хвороб) та підвищують ефективність використання

поживних речовин [6]. Крім того, внесення збалансованих добрив і мікроелементів забезпечує рослини необхідними поживними речовинами, сприяючи їх здоровому росту та розвитку [7]. Використання сучасних засобів захисту рослин допомагає мінімізувати втрати врожаю через шкідників і хвороби.

Регулятори росту, такі як гібереліни, цитокініни, ауксини та етилен, використовуються для стимулювання росту рослин, покращення їхнього фізіологічного стану та підвищення врожайності. Оптимальна норма висіву залежить від конкретних умов вирощування і може змінюватись від 300 до 600 тисяч рослин на гектар [8]. Правильний підбір норми висіву в поєднанні із застосуванням регуляторів росту дозволяє досягти найвищих показників урожайності.

Таким чином, підвищення врожайності сої вимагає комплексного підходу, що включає оптимізацію агротехнічних заходів, правильний вибір норм висіву та застосування регуляторів росту.

У сучасній науковій літературі розглядаються різні аспекти впливу норми висіву та регуляторів росту на врожайність сої. Зокрема, дослідження показують, що оптимізація норми висіву може сприяти кращій структурі посівів і зменшенню конкуренції між рослинами за ресурси. Наприклад, результати наукової розвідки А. Баби́ча та О. Бахмата демонструє, що правильний підбір густоти посіву може підвищити продуктивність культур [9]. У своєму подальшому дослідженні О. Бахмат довів, що регулятори росту сприяють покращенню фізіологічного стану рослин, підвищуючи їхню стійкість до несприятливих погодних умов та хвороб [10]. Однак, в цих дослідженнях бракує комплексного підходу, який би враховував взаємодію між нормою висіву та регуляторами росту.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри наявність значної кількості досліджень, питання комплексного впливу норми висіву та застосування регуляторів росту на урожайність сої залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, невирішеним залишається питання оптимізації цих факторів для досягнення максимальних урожаїв у конкретних кліматичних та агротехнічних умовах регіону. Крім того, бракує даних про економічну ефективність таких агротехнічних заходів, що також є важливим аспектом для їх практичного застосування.

Постановка завдання. Метою даної статті є дослідження впливу різних норм висіву та застосування регуляторів росту на врожайність сої в умовах Лісостепу Західного України. Завданнями дослідження є:

- а) визначити оптимальні норми висіву для забезпечення високої продуктивності сої;
- б) оцінити ефективність застосування регуляторів росту в умовах Лісостепу Західного України;
- в) дослідити взаємодію між нормою висіву та регуляторами росту і їхній спільний вплив на врожайність сої.

Виклад основного матеріалу дослідження. Лісостеп Західний України розташований на території Вінницької, Хмельницької, Тернопільської, Львівської, Рівненської та Волинської областей. Цей регіон характеризується помірно континентальним кліматом з чітко вираженими сезонами. Середньорічна кількість опадів становить близько 570 мм, що забезпечує достатнє зволоження для вирощування сільськогосподарських культур. Вегетаційний період триває від 195 до 215 днів, що сприяє вирощуванню широкого спектру культур, включаючи сою.

Ґрунти представлені опідзоленими чорноземами. Ці ґрунти мають високу родючість завдяки високому вмісту гумусу (4–6%) та хорошій структурі. Агрохімічні характеристики ґрунту включають високу забезпеченість азотом, фосфором

та калієм. Реакція ґрунтового розчину слабо кисла або нейтральна (рН 6.0–7.0), що є оптимальним для вирощування сої.

Для досліджень було обрано декілька сортів сої.

1. Сорт «Сандра»: ранньостиглий сорт з періодом вегетації 95–100 днів. Відзначається високою стійкістю до хвороб та шкідників.

2. Сорт «Білявка»: середньостиглий сорт з періодом вегетації 110–115 днів. Має високий потенціал урожайності та добру адаптивність до різних умов вирощування.

3. Сорт «Ультра»: середньостиглий сорт з періодом вегетації 105–110 днів. Відзначається високою стійкістю до посухи та відмінними показниками якості насіння.

Дослідження проводилися на дослідних ділянках загальною площею 5 гектарів, розділених на 10 окремих ділянок по 0,5 гектара кожна. Посів сої було здійснено 12 травня 2023 року на території Хмельницької області. Використовувалися два способи сівби:

- 1) традиційний рядковий спосіб з міжряддям 45 см;
- 2) широкорядний спосіб з міжряддям 70 см.

Для досліджень використовувався регулятор росту гіберелін, він використовувався у фазу розвитку 2–3 трійчастих листків; контроль на дослідних ділянках без використання регулятора проводився для всіх фаз розвитку.

В ході досліджень оцінювались низка показників. Урожайність вимірювалася як загальна маса насіння з однієї ділянки. Висота рослин вимірювалася на різних стадіях росту. Кількість бобів на рослині підраховувалася на кожній ділянці. Стійкість до хвороб і шкідників оцінювалася візуально та шляхом лабораторних аналізів. Для визначення якості насіння аналізували вміст білка та олії у ньому.

Для статистичної перевірки цих результатів був використаний однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA). Значення *F*-коефіцієнта для впливу гібереліну на урожайність склало 15,72, що перевищує критичне значення $F = 4,15$ при рівні значущості $p < 0.01$ (Таблиця 1). Це підтверджує, що вплив гібереліну на урожайність є статистично значущим.

Таблиця 1

Урожайність, висота рослин та кількість бобів на рослині для різних сортів сої з урахуванням стимуляторів росту та способу посіву

Сорт сої	Спосіб посіву	Стимулятор росту	Урожайність (т/га)	Висота рослин (см)	Кількість бобів на рослині
Білявка	Рядковий	Без стимулятора	2.6 ± 0.2	70 ± 3	28 ± 2
Білявка	Рядковий	Гіберелін	2.9 ± 0.2	73 ± 3	30 ± 2
Білявка	Широкорядний	Без стимулятора	2.5 ± 0.3	68 ± 4	27 ± 2
Білявка	Широкорядний	Гіберелін	2.8 ± 0.2	72 ± 3	29 ± 2
Сандра	Рядковий	Без стимулятора	2.4 ± 0.3	68 ± 2	26 ± 1
Сандра	Рядковий	Гіберелін	2.7 ± 0.3	71 ± 2	28 ± 1
Сандра	Широкорядний	Без стимулятора	2.3 ± 0.2	66 ± 3	25 ± 1
Сандра	Широкорядний	Гіберелін	2.6 ± 0.2	70 ± 2	27 ± 1
Ультра	Рядковий	Без стимулятора	2.8 ± 0.2	75 ± 4	30 ± 3
Ультра	Рядковий	Гіберелін	3.1 ± 0.2	78 ± 4	32 ± 3
Ультра	Широкорядний	Без стимулятора	2.7 ± 0.3	73 ± 4	29 ± 3
Ультра	Широкорядний	Гіберелін	3.0 ± 0.2	77 ± 4	31 ± 3

Джерело: власна розробка автора.

Розрахункове значення F -коефіцієнта для встановлення статистичної значущості впливу способу посіву на врожайність склало 4,05, що більше $F = 3,98$ при рівні значущості $p < 0,05$ (Таблиця 1), тобто спосіб посіву має статистично значущий вплив на врожайність сої.

Значення F -коефіцієнта для встановлення статистичної значущості впливу способу посіву на висоту рослин склало 4,21, що перевищує критичне значення $F = 3,98$ для $p < 0,05$ (Таблиця 1). Тобто спосіб посіву має статистично значущий вплив на висоту рослин. Розрахунковий F -коефіцієнт, що визначає статистичну значущість впливу застосування гібереліну на висоту рослин, становить 9,63, що вище критичне значення $F = 3,98$ для $p < 0,05$ (Таблиця 1). Отже, вплив гібереліну на висоту рослин є статистично значущим.

Для оцінки впливу гібереліну на кількість бобів на рослині застосовувався t -тест. Значення t -коефіцієнта для кількості бобів на рослині склало 2,85, що перевищує критичне значення $t = 2,06$ при рівні значущості $p < 0,05$ (Таблиця 1). Це вказує на статистично значущий вплив гібереліну на кількість бобів на рослині. Розрахункове значення t -коефіцієнта при визначенні впливу способу посіву на кількість бобів склало 2,11 перевищує критичне значення $t = 2,06$ для $p < 0,05$, тому відмінності є статистично значущими.

Вплив від застосування гібереліну на стійкість до хвороб і шкідників був також оцінений за допомогою t -тесту. Розрахункове значення t -коефіцієнта для стійкості до хвороб склало 1,45, а для стійкості до шкідників – 1,58, що не перевищує критичне значення $t = 2,06$ для рівня значущості $p < 0,05$ (Таблиця 2). В залежності від способу посіву t -коефіцієнт для стійкості до хвороб склав 1,32, а для стійкості до шкідників – 1,45, що не перевищує критичне значення $t = 2,06$ для $p < 0,05$. Отже, спосіб посіву та вплив гібереліну не мають статистично значущого впливу на ці параметри.

Таблиця 2

Стійкість до хвороб і шкідників, вміст білка та олії в насінні для різних сортів сої з урахуванням стимуляторів росту та способу посіву

Сорт сої	Спосіб посіву	Стимулятор росту	Стійкість до хвороб (бали)	Стійкість до шкідників (бали)	Вміст білка (%)	Вміст олії (%)
Білявка	Рядковий	Без стимулятора	4.5 ± 0.2	4.2 ± 0.3	38.5 ± 0.5	18.2 ± 0.4
Білявка	Рядковий	Гіберелін	4.6 ± 0.2	4.3 ± 0.3	38.7 ± 0.5	18.3 ± 0.4
Білявка	Широкорядний	Без стимулятора	4.4 ± 0.3	4.1 ± 0.3	38.3 ± 0.6	18.1 ± 0.5
Білявка	Широкорядний	Гіберелін	4.5 ± 0.2	4.2 ± 0.3	38.6 ± 0.5	18.2 ± 0.4
Сандра	Рядковий	Без стимулятора	4.3 ± 0.3	4.0 ± 0.2	37.8 ± 0.6	18.0 ± 0.3
Сандра	Рядковий	Гіберелін	4.4 ± 0.3	4.1 ± 0.2	38.0 ± 0.6	18.1 ± 0.3
Сандра	Широкорядний	Без стимулятора	4.2 ± 0.3	3.9 ± 0.2	37.7 ± 0.7	17.9 ± 0.3
Сандра	Широкорядний	Гіберелін	4.3 ± 0.3	4.0 ± 0.2	37.9 ± 0.6	18.0 ± 0.3
Ультра	Рядковий	Без стимулятора	4.6 ± 0.2	4.4 ± 0.2	39.0 ± 0.4	18.5 ± 0.5
Ультра	Рядковий	Гіберелін	4.7 ± 0.1	4.5 ± 0.2	39.2 ± 0.4	18.6 ± 0.5
Ультра	Широкорядний	Без стимулятора	4.5 ± 0.2	4.3 ± 0.2	38.8 ± 0.4	18.4 ± 0.5
Ультра	Широкорядний	Гіберелін	4.6 ± 0.2	4.4 ± 0.2	39.1 ± 0.4	18.5 ± 0.5

Джерело: власна розробка автора.

Значення F -коефіцієнта для вмісту білка склало 1,28, а для вмісту олії – 1,34, що не перевищує критичне значення $F = 3,98$ для рівня значущості $p < 0,05$

(Таблиця 2). Це вказує на те, що вплив гібереліну на ці параметри не є статистично значущим.

Висновки і пропозиції. З результатів аналізу видно, що застосування гібереліну позитивно впливає на врожайність, висоту рослин та кількість бобів на рослині для всіх досліджуваних сортів сої. Статистичний аналіз (ANOVA і *t*-тест) підтверджує значущість цих змін на рівнях значущості $p < 0,01$ та $p < 0,05$ відповідно. Вплив гібереліну на стійкість до хвороб і шкідників, а також на вміст білка та олії у насінні не є статистично значущим, що свідчить про необхідність додаткових досліджень для більш повного розуміння ефектів регуляторів росту на ці параметри. Спосіб посіву також має статистично значущий вплив на такі параметри, як урожайність, висота рослин та кількість бобів на рослині. Це підтверджується значеннями *F*-коефіцієнтів (ANOVA) та *t*-коефіцієнтів (*t*-тест) для рівня значущості $p < 0,05$. Однак, спосіб посіву не має статистично значущого впливу на стійкість до хвороб і шкідників, а також на вміст білка та олії в насінні. Це свідчить про те, що зміна способу посіву може бути ефективним засобом для підвищення врожайності та покращення морфологічних характеристик сої.

Виявлено, що застосування гібереліну та вибір способу посіву мають істотний вплив на урожайність сої та морфологічні характеристики рослин. Це відкриває широкі можливості для оптимізації вирощування цієї культури з метою підвищення врожайності та ефективності виробництва. Однак, варто зазначити, що проведене дослідження мало деякі обмеження, зокрема, воно проводилося на обмеженій території та для обмеженої кількості сортів сої. Для отримання більш репрезентативних результатів, необхідно провести додаткові дослідження на більшій території та включити до аналізу більшу кількість сортів.

Одним з можливих напрямків майбутніх досліджень може бути вивчення впливу інших регуляторів росту на розвиток сої, а також подальше дослідження різних методів посіву з метою знаходження оптимальних стратегій вирощування. Також важливо дослідити вплив змін клімату на рост та врожайність сої в умовах Лісостепу Західного. Такі дослідження допоможуть покращити розуміння процесів, що відбуваються в агроecosystemі, та сприятимуть подальшому розвитку сільського господарства на регіональному рівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Growth regulators promote soybean productivity: a review / H. Amoanimaa-Dede et al. *Peer Journal*. 2022. Vol. 10. Article e12556. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.12556> (дата звернення: 20.05.2024).
2. Study on the regulatory effects of GA₃ on soybean internode elongation / F. Shan et al. *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 8. Article 1737. URL: <https://doi.org/10.3390/plants10081737> (дата звернення: 20.05.2024).
3. Gibberellins and auxin regulate soybean hypocotyl elongation under low light and high-temperature interaction / G. Bawa et al. *Physiologia Plantarum*. 2020. Vol. 170. No. 3. P. 345–356. URL: <https://doi.org/10.1111/ppl.13158> (дата звернення: 20.05.2024).
4. Al-Karawi A. W., Al-Jumaily J. M. Study of some growth criteria and yield of soybean crop with the effect of boron and some growth regulators: study of some growth criteria and yield of soybean crop with the effect of boron and some growth regulators. *Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection*. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 137–145. URL: <https://www.iasj.net/iasj/download/f1ac0577b3af1b82> (дата звернення: 20.05.2024).
5. Yield and economic effectiveness of soybean grown under different cropping systems / D. Gawęda et al. *International Journal of Plant Production*. 2020. Vol. 14.

№ 3. Р. 475–485. URL: <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00098-1> (дата звернення: 20.05.2024).

6. Yield features of two soybean varieties under different water supplies and field conditions / A. Anda et al. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 245. Article 107673. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107673> (дата звернення: 20.05.2024).

7. Wei M. C. F., Molin J. P. Soybean yield estimation and its components: A linear regression approach. *Agriculture*. 2020. Vol. 10. No. 8. Article 348. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture10080348> (дата звернення: 20.05.2024).

8. Shea Z., Singer W. M., Zhang B. Soybean production, versatility, and improvement. *Legume crops – prospects, production and uses*. London, UK : IntechOpen, 2020. P. 29–50.

9. Бабич А. О., Бахмат О. М. Екологічні умови та агротехнічне обґрунтування технології вирощування сої в умовах південно-західної частини Лісостепу України. *Вісник ДААУ*. 1999. № 1–2. С. 200–205. URL: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/6601> (дата звернення: 20.05.2024).

10. Бахмат О. М. Екологічні основи удобрення та інокуляції на урожайність насіння сої в умовах лісостепу західного. *Вісник Житомирського Національного Агроєкологічного Університету*. 2013. № 1. Ч. 1. С. 21–27. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2013_1%281%29__5 (дата звернення: 20.05.2024).