

Міністерство освіти і науки України  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Козючко Альона Григорівна**

УДК 581.143:57.017.6]:633.34

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ФІЗІОЛОГІЧНО-БІОХІМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ  
МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ СПОЛУК У ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИРОЩУВАННЯ СОЇ**

Спеціальність 091 – Біологія

Галузь знань 09 – Біологія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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



---

Козючко Альона Григорівна

Науковий керівник: **Гавій Валентина Миколаївна**, кандидат біологічних наук,  
доцент

Ніжин – 2022

## АНОТАЦІЯ

*Козючко А.Г.* Фізіологічно-біохімічне обґрунтування застосування метаболічно активних сполук у технології вирощування сої. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 – Біологія. – Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, Ніжин, 2022.

Одним із найважливіших завдань рослинництва є інтенсифікація виробництва сільськогосподарської продукції з одночасним зменшенням енергетичних витрат. Зернобобові культури – одні з найпоширеніших і найважливіших сільськогосподарських культур у світі, в тому числі й в Україні. З усіх зернобобових культур соя є найбільш цінною культурою. Соевий феномен криється у рідкісному хімічному складі, у широкому ареалі вирощування і використанні для вирішення проблем білка, олії та інших продуктів насіння сої.

Якість продукції зернобобових культур і сої зокрема, залежить від сукупного поєднання погодно-кліматичних, ґрунтових факторів та технології вирощування. Сучасні технологічні прийоми вирощування зернобобових культур передбачають використання регуляторів росту рослин.

Перспективними регуляторами росту зернобобових культур можуть бути комбінації метаболічно активних сполук, зокрема параоксибензойної кислоти (ПОБК),  $MgSO_4$ , метіоніну, убихінону-10, вітаміну Е. Вони є високоефективними в малих концентраціях та не токсичні для здоров'я людини та тварин.

У дисертаційній роботі з'ясовано особливості впливу передпосівної обробки насіння сої комбінаціями метаболічно активних речовин на фізіолого-біохімічні показники росту і розвитку рослин, якість зерна сої сорту Аннушка.

Комбінації метаболічно активних речовин мали позитивний вплив на формування кореневої системи сої протягом усіх фаз росту та розвитку рослин.

Використання комбінації вітамін Е+убіхінон-10 сприяло утворенню найбільшої кількості бічних коренів протягом усього дослідження. Комбінації вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  виявились більш ефективними у порівнянні з іншими варіантами досліду і дали можливість збільшити лінійний ріст бічних коренів протягом усіх фаз онтогенезу сої.

Досліджено, що передпосівна обробка насіння метаболічно активними речовинами оптимізує процес росту рослин сої, стимулює накопичення маси сирі речовини надземних і підземних органів, підвищує інтенсивність утворення соєво-ризобіального симбіозу в ґрунтово-кліматичних умовах Чернігівської області. Передпосівна обробка насіння вітаміном Е в поєднанні з убіхіноном-10 виявила найбільший ефект у порівнянні з іншими комбінаціями щодо формування симбіотичного апарату рослин сої сорту Аннушка. Зазначена комбінація показала найвищий результат у фазі 1-3 трійчастих листків і перевищила показники контролю за кількістю утворених бульбочок на бічних коренях на 98,86 %. У фазах цвітіння та формування бобів вище зазначена комбінація мала також позитивний ефект і сприяла збільшенню показників кількості азотофіксуючих бульбочок на бічних коренях на 52,07 % та 55,12 % відповідно до показників контролю. Найвищі значення маси сирі речовини надземної та підземної частин рослини сої протягом всіх досліджуваних фаз було досягнуто за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10. Так, у фазі 1-3 трійчастих листків за використання вище зазначеної комбінації маса сирі речовини надземної та підземної частин рослини перевищила показники контролю на 127,65 % та 111,43 % відповідно. У фазі формування бобів за рахунок передпосівної обробки вище зазначеною комбінацією вдалося збільшити масу сирі речовини надземної та підземної частин рослини сої в середньому на 93,27 % та 84,06 % порівняно з показниками контролю.

Передпосівна обробка насіння сої вітаміном Е в поєднанні з убіхіноном-10 найефективніше стимулювали наростання листків сої протягом усіх досліджуваних фаз. Встановлено, що передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е + убіхінон-10 дає можливість збільшити площу

трійчастого листка у фазі 1-3 трійчастих листків в середньому на 25,99 см<sup>2</sup>, що на 77,03% більше за показники у контролі. У варіантах досліду із передпосівною обробкою насіння комбінаціями вітамін Е + метіонін + ПОБК і вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub> рослини сої сформували площу асиміляційної поверхні трійчастого листка на рівні 46,83 см<sup>2</sup> та 39,56 см<sup>2</sup>, що на 39,33 % та 17,70 % вище порівняно із показниками контролю. Розвиток листової поверхні у фазі цвітіння та формування бобів досягає свого максимального значення за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10.

На формування площі листового апарату сої значно вплинули комбінації вітамін Е + убіхінон-10, вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub> та вітамін Е + метіонін + ПОБК. З'ясовано, що передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е в поєднанні з убіхіноном-10 показала найвищі результати щодо збільшення площі листового апарату протягом усіх досліджуваних фаз росту і розвитку сої.

Застосування комбінацій метаболічно активних сполук для передпосівної обробки насіння викликає певні зміни у пігментному складі листків рослин сої на різних фазах онтогенезу. Досліджено, що у фазу 1–3 трійчастих листка у контролі вміст суми хлорофілів *a* і *b* в середньому становив 18,86 мг/г сирової маси, хлорофілу *a* – 13,55 мг/г сирової маси, хлорофілу *b* – 6,37 мг/г сирової маси. За передпосівної обробки насіння сої комбінацією речовин вітамін Е + убіхінон-10 виявлено максимальну кількість пігментів, а саме: вміст суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої становив 25,54 мг/г сирової маси, що на 35,42 % більше від контролю та на 16,55 % вище від показників у варіанті з Вимпелом. Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями речовин вітамін Е + убіхінон-10, вітаміну Е + ПОБК + метіонін дала можливість збільшити вміст суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої на 9,97 мг/г та на 8,35 мг/г сирової маси і у фазі цвітіння. Варто зазначити, що всі досліджувані речовини сприяли зростанню вмісту хлорофілу *a* порівняно з контролем у середньому на 7,77–16,59 %. Найбільший вміст хлорофілу *b* виявлено за використання комбінації вітамін Е +

убіхінон-10. Максимальні показники вмісту хлорофілів *a* і *b* виявлено у фазі формування бобів.

Чиста продуктивність фотосинтезу залежить як від біологічних особливостей культури, так і від комплексу зовнішніх факторів: сонячної радіації, температури повітря, вологості ґрунту, рівня мінерального живлення, а також від застосування регуляторів росту рослин. Застосування досліджуваних речовин забезпечило збільшення чистої продуктивності фотосинтезу в усіх досліджуваних варіантах, а також у всіх досліджуваних фазах. Максимальний результат був досягнутий завдяки використанню вітаміну Е в поєднанні з убіхінон-10. Так, використання цієї комбінації для передпосівної обробки насіння збільшило показник чистої продуктивності фотосинтезу посівів сої у фазі формування бобів на 1,00 г/м<sup>2</sup>, що на 25,25 % більше від показників контролю.

Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub> сприяла збільшенню показників структурних елементів врожаю сої (висоти рослин, висоти прикріплення нижніх бобів, кількості плодоносних вузлів, кількості та довжини бобів на рослині, кількості насінин та маси насіння з 1 рослини). Максимальної висоти було досягнуто при використанні комбінації з вітаміну Е та убіхінону-10. З'ясовано, що застосування вище зазначеної комбінації дало змогу збільшити висоту рослини на 7,91 см, перевищуючи показники контролю на 15,33 % відповідно. Найбільшу середню висоту прикріплення нижніх бобів було зафіксовано за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10. За використання цієї комбінації вдалося збільшити досліджуваний показник на 2,77 см, який перевищує показник контролю на 19,55 %. Найбільша кількість вузлів на головному стеблі сої була сформована також при використанні комбінації з вітаміну Е та убіхінону-10. Передпосівна обробка сої вище зазначеною комбінацією сприяла збільшенню цього показника до 29,63 шт. з рослини, перевищуючи показники контролю на 15,74 % відповідно. Застосування комбінації вітамін Е + убіхінон-10 забезпечило формування в

середньому 99,96 бобів на рослині, що перевищило показники контролю на 32,31 % відповідно. Всі досліджувані речовини сприяли зростанню кількості насінин із рослини. Крім того, цей показник позитивно корелює з кількістю бобів з рослини. Маса насіння з однієї рослини сої була найвищою за використання комбінації вітаміну Е та убіхінону-10 і складала 48,34 г з рослини, що на 34,43 % більше за значення контролю.

Найвища врожайність сої спостерігалася при обробці насіння комбінацією речовин вітаміну Е + убіхінон-10 і становила 3,20 т/га, перевищуючи показники контролю на 36,75 %. Передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е + ПОБК + метіонін +  $MgSO_4$  підвищила урожайність сої на 14,10 % порівняно з показниками контролю.

Обробка насіння вітаміном Е у поєднанні з убіхіноном-10 перед сівбою забезпечила підвищення вмісту сирого протеїну в насінні сої в середньому на 31,44 %, збільшенню загального вмісту цукрів, вмісту моносахаридів та вмісту дисахаридів і каротиноїдів у насінні сої. Комбінації метаболічно активних речовин вітамін Е + убіхінон-10, вітамін Е + метіонін + ПОБК та вітамін Е + ПОБК + метіонін +  $MgSO_4$  дали можливість збільшити вміст «сирої» клітковини у насінні сої, що суттєво поліпшує біохімічний склад насіння. Поєднання вітаміну Е та убіхінону-10 в порівнянні з іншими варіантами досліджень виявилось найефективнішим при дослідженні біохімічного складу насіння сої.

Комбінації вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  можуть бути перспективними регуляторами росту зернобобових культур, а передпосівна обробка насіння зазначеними сполуками є ефективним елементом технології при вирощуванні сої.

**Ключові слова:** соя, передпосівна обробка, вітамін Е, убіхінон-10, параоксибензойна кислота, метіонін,  $MgSO_4$ , кількість насінин, бульбочки, біометричні показники, фотоасиміляційний апарат, боби сої, продуктивність, структура врожаю, врожайність, біохімічний склад зерна, каротиноїди, білки, вуглеводи.

## ABSTRACT

*Koziuchko A. G.* Physiological and biochemical justification of metabolically active combinations application in soybean cultivation technology. – Qualifying scientific work on the right of manuscript.

Dissertation on competition of the degree of Doctor of Philosophy in speciality 091 – Biology. – Nizhyn Mykola Gogol State University, Nizhyn, 2022.

One of the most important objectives of crop production is the intensification of the yielding of products of agricultural origin with the simultaneous reduction of energy costs. Legumes are one of the most widespread and important crops in the world, including in Ukraine. Soybean is the most valuable crop of all leguminous crops. The soy phenomenon lies in the rare chemical composition, in the wide range of cultivation and use to solve the problems of protein, oil and other products of soybean seeds.

The quality of the legume crops and soybeans in particular, depends on the combination of weather and climate, soil factors and cultivation technology. Modern technological methods of legume cultivation involve the use of plant growth regulators.

Combinations of metabolically active compounds, in particular paraoxybenzoic acid (PHBA),  $MgSO_4$ , methionine, ubiquinone-10, and vitamin E, can be promising growth regulators of leguminous crops. They are highly effective in small concentrations and are not toxic to human and animal health.

The peculiarities of the influence of the pre-sowing treatment of soybean seeds with combinations of metabolically active substances on the physiological and biochemical indicators of plant growth and development and the quality of Annushka soybean grain were clarified in the thesis.

Combinations of metabolically active substances had a positive effect on the formation of the soybean root system during all phases of plant growth and development. Vitamin E + ubiquinone-10 combination application contributed to the formation of the largest number of lateral roots throughout the study. Combinations

of vitamin E + ubiquinone-10 and vitamin E + methionine + PHBA + MgSO<sub>4</sub> were more effective compared to other variants of the experiment and made it possible to increase the linear growth of lateral roots during all phases of soybean ontogenesis.

It was investigated that pre-sowing treatment of seeds with metabolically active substances optimizes the growth process of soybean plants, stimulates the accumulation of the mass of raw matter of above-ground and underground organs, and increases the intensity of the formation of soybean-rhizobial symbiosis in the soil and climatic conditions of the Chernihiv region. Pre-sowing treatment of seeds with vitamin E in combination with ubiquinone-10 showed the maximum effect compared to other combinations on the formation of the symbiotic apparatus of Annushka soybean plants. The specified combination showed the highest result in the phase of 1-3 trifoliolate leaves and exceeded the control indicators in the number of nodules formed on the lateral roots by 98,86 %. In the flowering and fruit ripening phases, the abovementioned combination also had a positive effect and contributed to an increase in the number of nitrogen-fixing nodules on the lateral roots by 52,07 % and 55,12 %, respectively, compared to the control indicators. The highest values of the mass of the raw substance of the above-ground and underground parts of the soybean plant during all the studied phases were achieved applying the combination of vitamin E + ubiquinone-10. Thus, in phase 1-3 of trifoliolate leaves, when applying the abovementioned combination, the mass of raw material of the above-ground and underground parts of the plant exceeded the control indicators by 127,65 % and 111,43 %, respectively. In the bean-ripening phase it was possible to increase the mass of raw matter of the above-ground and underground parts of the soybean plant by an average of 93,27 % and 84,06 % compared to the control indicators due to the pre-sowing treatment with the abovementioned combination.

Pre-sowing treatment of soybean seeds with vitamin E in combination with ubiquinone-10 most effectively stimulated the growth of soybean leaves during all studied phases. It was established that the pre-sowing treatment of soybean seeds with a combination of vitamin E + ubiquinone-10 allows for increasing the area of the trifoliolate leaf in the phase of 1-3 trifoliolate leaves by an average of 25,99 cm<sup>2</sup>,



which is 77,03 % more than the indicators in control. In the variants of the experiment with the pre-sowing treatment of seeds with combinations of vitamin E + methionine + PHBA and vitamin E + methionine + PHBA + MgSO<sub>4</sub>, soybean plants formed the assimilation surface area of the trifoliolate at the level of 46,83 cm<sup>2</sup> and 39,56 cm<sup>2</sup>, which is 39,33 % and 17,70 % higher, compared to control indicators. The development of the leaf surface in the flowering and bean formation phases reaches its maximum value when applying the combination of vitamin E + ubiquinone-10.

Combinations of vitamin E + ubiquinone-10, vitamin E + methionine + PHBA + MgSO<sub>4</sub> and vitamin E + methionine + PHBA significantly influenced the formation of the area of the soybean leaf apparatus. It was found that the pre-sowing treatment of soybean seeds with vitamin E in combination with ubiquinone-10 demonstrated the highest results in terms of increasing the area of the leaf apparatus during all investigated phases of soybean growth and development.

The application of combinations of metabolically active compounds for pre-sowing seed treatment causes certain changes in the pigment composition of leaves of soybean plants at different phases of ontogenesis. It was investigated that in phase 1–3 of trifoliolate leaves in the control, the content of the sum of *a* and *b* chlorophylls was on average 18.86 mg/g of raw mass, chlorophyll *a* – 13,55 mg/g of raw mass, chlorophyll *b* – 6,37 mg/g of raw mass. During the pre-sowing treatment of soybean seeds with the combination of vitamin E + ubiquinone-10 substances, the maximum amount of pigments were found, namely: the content of the sum of *a* and *b* chlorophylls in soybean leaves was 25,54 mg/g of raw mass, which is 35,42 % more than the control and by 16,55 % higher than the indicators in the variant with the Vympel. Pre-sowing treatment of soybean seeds with combinations of vitamin E + ubiquinone-10, vitamin E + PHBA + methionine substances allowed for increasing the content of the sum of *a* and *b* chlorophylls in soybean leaves by 9,97 mg/g and by 8.35 mg/g of raw mass and in the flowering phase. All the studied substances contributed to the increase in the content of chlorophyll *a* compared to the control by an average of 7,77–16,59 %. The highest content of chlorophyll *b* was found when

applying the combination of vitamin E + ubiquinone-10. The maximum indicators of the content of *a* and *b* chlorophylls were found in the phase of bean formation.

The net productivity of photosynthesis depends on the biological characteristics of the culture and a complex of external factors: solar radiation, air temperature, soil moisture, the level of mineral nutrition, and the application of plant growth regulators. The application of the studied substances ensured an increase in the net productivity of photosynthesis in all studied options and phases. The maximum result was achieved due to the application of vitamin E in combination with ubiquinone-10. Thus, the application of this combination for pre-sowing seed treatment increased the net photosynthetic productivity of soybean crops in the phase of bean formation by 1,00 g/m<sup>2</sup>, which is 25,25 % more than the control indicators.

Pre-sowing treatment of soybean seeds with combinations of vitamin E + ubiquinone-10 and vitamin E + methionine + PHBA + MgSO<sub>4</sub> contributed to an increase in the indicators of the structural elements of the soybean crop (plant height, attachment height of lower beans, number of fruiting nodes, number and length of beans per plant, number of seeds and mass of seeds from one plant). The maximum height was achieved when applying a combination of vitamin E and ubiquinone-10. It was found that the application of the abovementioned combination allowed for increasing the height of the plant by 7,91 cm, exceeding the control indicators by 15,33 %, respectively. The highest average attachment height of lower beans was recorded applying the combination of vitamin E + ubiquinone-10. By utilizing this combination it was possible to increase the studied indicator by 2,77 cm, which exceeds the control indicator by 19,55 %. The maximum number of nodes on the main stem of soybeans was also formed when applying a combination of vitamin E and ubiquinone-10. The pre-sowing treatment of soybeans with the abovementioned combination contributed to the increase of this indicator to 29,63 pcs from the plant, exceeding the control indicators by 15,74 %, respectively. The application of the combination of vitamin E + ubiquinone-10 ensured the formation of an average of 99,96 beans per plant, which exceeded the control indicators by 32,31 %, respectively. All studied substances contributed to the growth of the number of seeds

from the plant. In addition, this indicator is positively correlated with the number of beans per plant. The weight of seeds from one soybean plant was the highest when utilizing the combination of vitamin E and ubiquinone-10 and was 48,34 g per plant, which is 34,43 % more than the control value.

The highest soybean yield was observed when the seeds were treated with a combination of vitamin E + ubiquinone-10 substances and was 3,20 tons per hectare, exceeding the control indicators by 36,75 %. Pre-sowing treatment of soybean seeds with a combination of vitamin E + PHBA + methionine + MgSO<sub>4</sub> increased soybean yield by 14,10 % compared to the control indicators.

Pre-sowing treatment of seeds with vitamin E in combination with ubiquinone-10 provided an increase in crude protein content in soybean seeds by an average of 31,44 % and an increase in total sugar, monosaccharide, disaccharide and carotenoid content in soybean seeds. The combinations of metabolically active substances vitamin E + ubiquinone-10, vitamin E + methionine + PHBA, and vitamin E + PHBA + methionine + MgSO<sub>4</sub> allowed for increasing the content of "raw" fiber in soybean seeds, which significantly improves the biochemical composition of the seeds. The combination of vitamin E and ubiquinone-10, in comparison with other options of research, turned out to be the most effective when studying the biochemical composition of soybean seeds.

Combinations of vitamin E + ubiquinone-10 and vitamin E + methionine + PHBA + MgSO<sub>4</sub> can be promising growth regulators of leguminous crops; pre-sowing treatment of seeds with these compounds is an effective element of technology in soybean cultivation.

**Keywords:** soybean, pre-sowing treatment, vitamin E, ubiquinone-10, paraoxybenzoic acid, methionine, MgSO<sub>4</sub>, number of seeds, nodules, biometric parameters, photoassimilation apparatus, soybeans, productivity, crop structure, yield, the biochemical composition of grain, carotenoids, proteins, carbohydrates.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА:

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Козючко А. Г., Гавій В. М., Кучменко О. Б. Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на окремі фізіологічні показники сої сорту Аннушка та її продуктивність. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2020. № 1–2 (79). С. 84–90. DOI: <http://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.12>. Фахове наукове видання МОН України (біологічні науки) (кат. Б) та індексується в міжнародній науковій базі даних Index Copernicus.

2. Козючко А. Г., Гавій В. М., Кучменко О. Б. Фотосинтетична продуктивність сої Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2021. № 4 (84). С. 81-90. doi: <https://doi.org/10.25128/2078-2357.21.4.11>. Фахове наукове видання МОН України (біологічні науки) (кат. Б) та індексується в міжнародній науковій базі даних Index Copernicus.

3. Козючко А. Г., Гавій В. М. Продуктивність сої сорту Аннушка залежно від впливу передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2022. № 3 (82). С. 59-65. doi: <https://doi.org/10.25128/2078-2357.22.3.9>. Фахове наукове видання МОН України (біологічні науки) (кат. Б) та індексується в міжнародній науковій базі даних Index Copernicus.

4. Козючко А. Г., Гавій В. М. Біохімічні показники зерна сої за попередньої обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія та біологія. 2022. № 2 (48). С. 90-

95. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.13>. Фахове наукове видання МОН України (біологічні науки) (кат. Б) та індексується в міжнародній науковій базі даних Index Copernicus.

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

5. Козючко А. Г. Сучасні регулятори росту у технологіях вирощування бобових культур. V Міжнародна заочна науково-практична конференція «Актуальні питання біологічної науки»: Збірник статей – Ніжин: НДУ імені Миколи Гоголя, 2019. С. 23-27.

6. Козючко А. Г., Гавій В. М. Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на окремі фізіологічні показники та вміст фотосинтетичних пігментів у листках сої сорту аннушка у фазі 1-3 трійчастих листків. Perspectives of world science and education. Abstracts of the 7th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, 2020. С. 354-361.

7. Козючко А. Г., Гавій В. М., Кучменко О. Б. Ефективність впливу передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на окремі фізіологічні показники сої сорту Аннушка у фазі 1-3 трійчастих листків. VI Міжнародна заочна науково-практична конференція «Актуальні питання біологічної науки»: Збірник статей – Ніжин: НДУ імені Миколи Гоголя, 2020. С. 26-29.

8. Козючко А. Г., Гавій В. М. Ефективність впливу передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами та регулятором росту рослин «Вимпел» на асиміляційні процеси сої сорту аннушка у фазі цвітіння рослин. Збірник наукових праць ЛОГОС, 2020. С. 82-85. doi:10.36074/18.09.2020.v2.15.

9. Козючко А. Г., Гавій В. М., Кучменко О. Б. Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами та регулятором росту «Вимпел» на структуру врожаю сої сорту Аннушка. VII Міжнародна заочна науково-практична конференція «Актуальні питання біологічної науки»: Збірник статей – Ніжин: НДУ імені Миколи Гоголя, 2021. С. 29-33.

10. Козючко А. Г., Гавій В. М. Порівняльний вплив метаболічно активних речовин та регулятору росту вимпел на окремі фізіологічні показники сої сорту аннушка у фазі цвітіння. Збірник наукових праць ЛОГОС, 2021. С. 119-122. doi:10.36074/logos-30.04.2021.v1.36.

11. Козючко А. Г., Гавій В. М. Біохімічний склад насіння сої за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин та регулятором росту Вимпел. Грааль науки, вип. 4. 2021. С. 135-40. doi:10.36074/grail-of-science.07.05.2021.025. Index Copernicus.

12. Козючко А. Г., Гавій В. М., Кучменко О. Б. Чиста продуктивність фотосинтезу посівів сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами. I Всеукраїнські науково-практичні читання пам'яті професора І. І. Гордієнка: Збірник статей – Ніжин: НДУ імені Миколи Гоголя, 2021. С. 47-52.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	17
ВСТУП.....	18
Список використаних джерел до вступу.....	24
РОЗДІЛ 1. ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН В РОСЛИННИЦТВІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).....	25
1.1. Роль та механізм дії метаболічно активних речовин на процеси росту та розвитку рослинних організмів.....	25
1.2. Застосування метаболічно активних речовин у рослинництві.....	33
Список використаних джерел до розділу.....	38
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	52
2.1. Агрокліматичні умови проведення дослідів.....	52
2.2. Характеристика об'єктів дослідження.....	55
2.3. Методики проведення досліджень.....	61
2.4. Статистична обробка результатів.....	69
Список використаних джерел до розділу 2.....	69
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ СПОЛУКАМИ НА ФІЗІОЛОГІНІ ПОКАЗНИКИ, АСИМІЛЯЦІЙНІ ПРОЦЕСИ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ.....	72
3.1. Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на окремі фізіологічні показники сої сорту Аннушка.....	72
3.2. Фотосинтетична продуктивність сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами.....	90
3.3. Продуктивність та урожай сої залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами.....	106
Висновки до розділу 3.....	118
Список використаних джерел до розділу 3.....	119

РОЗДІЛ 4. БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕРНА СОЇ ЗА ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ КОМБІНАЦІЯМИ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН.....	125
Висновки до розділу 4.....	139
Список використаних джерел до розділу 4.....	139
РОЗДІЛ 5. УЗАГАЛЬНЕННЯ.....	141
Список використаних джерел до розділу 5.....	145
ВИСНОВКИ.....	146
ДОДАТКИ.....	148



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АТФ – аденозинтрифосфорна кислота

АФК – активна форма кисню

ДНК – дезоксирибонуклеїнова кислота

РНК – рибонуклеїнова кислота

ПОБК – параоксибензойна кислота

УФ-випромінювання – ультрафіолетове випромінювання

MgSO<sub>4</sub> – сульфат магнію

NADH – нікотинамідаденіндинуклеотид

Q10 – убіхінон-10

SAM – S-аденозилметіонін

SMM – S-метилметіонін

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** Одним із найважливіших завдань рослинництва є інтенсифікація виробництва сільськогосподарської продукції з одночасним зменшенням енергетичних витрат. Труднощі у вирішенні зазначеної проблеми полягають у тому, що підвищення врожайності сільськогосподарських культур не завжди корелює з якістю врожаю. Тому виникає потреба в розробці нових елементів агротехнічних прийомів вирощування сільськогосподарських рослин. Упровадження у виробництво нових регуляторів росту рослин із метою підвищення продуктивності рослинництва може бути новим елементом зазначеної технології [1]. Застосування ефективних агротехнологій з використанням регуляторів росту дає можливість регулювати фізіолого-біохімічні процеси, що відбуваються в рослинному організмі. Важливим аспектом дії регуляторів росту рослин є підвищення стійкості рослин до несприятливих умов навколишнього середовища [2]. Тому, важливо проводити пошук серед регуляторів росту рослин саме таких, які виявляють комплексну дію: і забезпечують суттєвий приріст високоякісної продукції, і захищають рослини від несприятливих факторів довкілля.

Зернобобові культури – одні з найпоширеніших і найважливіших сільськогосподарських культур у світі, в тому числі й в Україні. З усіх зернобобових культур соя є найбільш цінною культурою. За вмістом життєво необхідних речовин у зерні соя не має собі рівних. Останні десятиліття характеризуються винятковим розвитком її виробництва. Новим етапом у використанні сої є принциповий напрям науково-технічного прогресу в харчовій індустрії – розробка технології одержання текстурованих продуктів із сої, виробництво білкових гранул і волокон з наступним їх оформленням у різні види харчових продуктів – доповнювачів або заміників м'яса.

Уживання в їжу соєвого молока й олії рекомендується при багатьох захворюваннях. Із соєвого лецитину виготовляються медичні препарати.

Завдяки низькому вмісту холестерину в соєвих продуктах, соя вважається ідеальною їжею для людини [3].

Зерно сої містить 20 і більше відсотків напіввисихаючої олії високої біологічної цінності, що має добрі смакові якості та легко засвоюється, не містить холестерину. Завдяки високим харчовим властивостям ця олія є основною серед харчових жирів. Цінність соєвої олії зумовлена високим вмістом (95%) гліцеридів, високоенергетичних жирних кислот, з них 75% – ненасичені (лінолева, ліноленова, олеїнова) і 15% – насичені (пальмітинова, стеаринова) та такі життєво необхідні компоненти, як лецитин і природний вітамін Е. Її використовують в їжу, для виготовлення маргарину, шортингів, майонезу й інших високоякісних продуктів харчування [4].

Висока цінність сої визначається насамперед великим вмістом (33-52%) повноцінного білка, який на 88-95% представлений водорозчинною фракцією і включає легкорозчинні глобуліни (60-81%), альбуміни (8-25%), важкорозчинні глобуліни (3-7%). За хімічним складом він дуже близький до білків тваринного походження, зокрема до білка курячих яєць, який є еталоном оцінки якості білка [5]. Тому організм людини витрачає мінімальні зусилля для перетворення соєвого білка в білки свого тіла. Білки сої містять незамінні амінокислоти (лізин, метіонін, цистин, тирозин, триптофан, треонін, валін, лейцин, ізолейцин, фенілаланін), що і визначають його повноцінність. У жодній іншій культурі немає такої кількості амінокислот, як у сої [6].

Соевий шрот і макуху використовують для виготовлення соєвого молока, що за смаковими якостями не відрізняється від коров'ячого молока. Воно здатне скисати, і з нього одержують сир, йогурт, кефір, ряжанку, які також не відрізняються від натуральних продуктів [3].

Медико-біологічні дослідження показали, що споживання соєвих продуктів виявляє позитивний ефект при лікуванні багатьох захворювань. Продукти із сої зміцнюють ослаблених людей, що мають дефіцит маси тіла. Впливаючи на показники ліпідного обміну, соя відновлює енергетичний баланс організму, що виявляється у зменшенні маси тіла. Отже, соя корисна для

вживання людям, що мають різну вагу. Споживання соєвих продуктів нормалізує артеріальний тиск, дію серцево-судинної системи, обмінні процеси, запобігає розвитку цукрового діабету, утворенню каменів у нирках та у жовчному міхурі. Завдяки вмісту антиканцерогенів (п'ять різних видів), споживання сої може запобігати розвитку онкологічних захворювань [7].

Соевий білок істотно зменшує вміст холестерину у крові і може бути таким же ефективним, як і інші ліки з подібною дією. Він покращує утилізацію кальцію, що є профілактикою остеопорозу. Із соєвого білка виготовляють препарати, які стимулюють дію центральної нервової системи, лікують променеви хворобу, сприяють виведенню радіонуклідів з організму [7].

Якість продукції зернобобових культур і сої зокрема, залежить від сукупного поєднання погодно-кліматичних, ґрунтових факторів та технології вирощування. Сучасні технологічні прийоми вирощування зернобобових культур передбачають використання регуляторів росту рослин.

Регулятори росту застосовують для обробки зернобобових культур із метою ініціювання змін у процесах їх життєдіяльності для підвищення продуктивності та з метою впливу на хімічний склад зерна для покращення його якості та харчових властивостей.

Перспективними регуляторами росту зернобобових культур можуть бути комбінації метаболічно активних сполук, зокрема параоксибензойної кислоти,  $MgSO_4$ , метіоніну, убіхінону, вітаміну Е. Вони є високоефективними в малих концентраціях та не токсичні для здоров'я людини та тварин.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження було виконане у навчально-науковій лабораторії з біохімічних та медико-валеологічних досліджень Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя у рамках комплексної науково-дослідної теми кафедри біології «Регуляція процесів росту і розвитку рослин» (реєстраційний номер 0119U100677). Польові дослідження проводили на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя впродовж 2019-2021 років.

**Об'єкт дослідження** – рослини сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук на основі вітаміну Е, параоксibenзойної кислоти (ПОБК) і метіоніну; вітаміну Е, ПОБК, метіоніну і магній сульфату ( $MgSO_4$ ); вітаміну Е і убіхінону-10.

**Предмет дослідження** – морфометричні показники росту, фотосинтетична продуктивність посівів, структура врожаю та хімічний склад насіння сої за впливу передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук.

**Мета дослідження** – фізіолого-біохімічне обґрунтування застосування передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук у технології вирощування сої в ґрунтово-кліматичних умовах Чернігівської області.

Для досягнення вказаної мети необхідно було вирішити наступні **завдання**:

1. З'ясувати вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук на формування кореневої системи сої у різні фази онтогенезу;
2. Дослідити вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук на формування надземної частини сої у різні фази розвитку;
3. Вивчити вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук на асиміляційні процеси і фотосинтетичну продуктивність посівів сої у різні фази онтогенезу;
4. Встановити вплив комбінацій метаболічно активних сполук на продуктивність та структуру врожаю сої;
5. Вивчити вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук на хімічний склад зерна сої;
6. Визначити найбільш ефективні комбінації метаболічно активних сполук росту для застосування та обробки насіння сої, з метою покращення процесів росту та підвищення її врожайності.

**Методи дослідження:** теоретичні (аналіз та систематизація літературних, наукових, методичних та інших джерел з досліджуваної теми), морфометричні методи, біохімічні методи (визначення вмісту фотосинтетичних пігментів, вуглеводів, білків, клітковини, каротиноїдів, активності амілаз), методи статистичної обробки результатів дослідження.

**Наукова новизна одержаних результатів.** На основі експериментальних досліджень та їх теоретичного аналізу з'ясовано особливості впливу передпосівної обробки насіння сої комбінаціями метаболічно активних речовин на фізіолого-біохімічні показники росту і розвитку рослин, якість зерна сої сорту Аннушка.

*Вперше* надано фізіолого-біохімічне обґрунтування застосування передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук у технології вирощування сої в ґрунтово-кліматичних умовах Чернігівської області. Показано, що передпосівна обробка насіння метаболічно активними речовинами оптимізує процес росту рослин сої, стимулює накопичення маси сирі речовини надземних і підземних органів, підвищує інтенсивність утворення соєво-ризобіального симбіозу, викликає позитивні зміни в пігментному складі листків рослин сої, підвищує чисту продуктивність фотосинтезу сої на різних фазах онтогенезу, підвищує біологічну врожайність та покращує показники структури врожаю сої.

*Вперше* продемонстровано можливість поліпшення біохімічного складу насіння (за вмістом білка, вуглеводів, крохмалю, каротиноїдів) шляхом передпосівної обробки насіння сої комбінаціями метаболічно активних речовин.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані в даній роботі результати мають важливе практичне значення. Результати дисертаційного дослідження створюють ґрунтовну теоретичну базу для вирішення наукової задачі розширення асортименту сучасних регуляторів росту рослин, здатних проявляти високу ефективність при вирощуванні зернобобових культур, а

передпосівна обробка насіння метаболічно активними сполуками може бути ефективним елементом технології при вирощуванні сої.

Отримані результати впроваджені у навчальний процес при викладанні навчальних курсів «Фізіологія рослин» і «Біохімія рослин» для підготовки здобувачів Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя, навчальних курсів «Фізіологія рослин», «Ботаніка», «Біологія» для підготовки здобувачів Житомирського державного університету імені Івана Франка, навчальних курсів «Біохімія та фізіологія рослин», «Фізіологія рослин та формування врожаю», «Екологія рослин» для підготовки здобувачів Таврійського державного агротехнічного університету імені Дмитра Моторного, що підтверджується відповідними Довідками про впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійною завершеною науковою працею. Здобувачкою було самостійно здійснено інформаційний пошук, аналіз та інтерпретацію даних джерел наукової літератури із проблематики дослідження. Разом із науковим керівником було сформульовано мету, ключові завдання та узгоджені методи і методики проведення дослідження. Здобувачкою самостійно здійснено статистичне опрацювання та аналіз одержаних даних, написано усі розділи дисертаційної роботи. Разом із науковим керівником проведено узагальнення основних результатів, обговорено висновки.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні і практичні результати дослідження апробовано на науково-практичних конференціях:

– *міжнародних*: V Міжнародній заочній науково-практичній конференції «Актуальні питання біологічної науки» (Ніжин, 2019); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Perspectives of world science and education» (Осака, 2020); VI Міжнародній заочній науково-практичній конференції «Актуальні питання біологічної науки» (Ніжин, 2020); Міжнародній науково-практичній конференції «Korszerű műszerek és algoritmusok tapasztalati és elméleti tudományos kutatási» (Будапешт, 2020); VII Міжнародній заочній науково-практичній конференції «Актуальні питання

біологічної науки” (Ніжин, 2021); I Міжнародній науково-практичній конференції «Theoretical and practical aspects of modern scientific research» (Сеул, 2021); I Міжнародній науково-практичній конференції з віддаленою участю «Globalization of scientific knowledge: international cooperation and integration of sciences» (Вінниця - Відень, 2021).

– *всеукраїнських*: I Всеукраїнські науково-практичні читання пам’яті професора І.І. Гордієнка (Ніжин, 2021).

**Публікації.** Результати дослідження висвітлено у наукових працях, з яких: 4 статті у фахових наукових виданнях України та 8 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових Всеукраїнських та Міжнародних конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел, містить 20 рисунків і 31 таблицю. Повний обсяг дисертації становить 150 сторінок, з них основного тексту – 107 сторінок.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО ВСТУПУ:

1. Сайко В.Ф. Землеробство на шляху до ринку. К.: Інститут землеробства Української академії аграрних наук, 1997. С. 25.
2. Застосування регуляторів росту рослин. *Синтетичні регулятори росту рослин*. URL: [http://rostroslun.blogspot.com/p/blog-page\\_71.html](http://rostroslun.blogspot.com/p/blog-page_71.html) (дата звернення: 11.06.2020).
3. Силенко Г. Л., Шерстобитов В. В., Капрелянц Л. В Продукти із сої - їжа третього тисячоліття. Агросвіт, 2001. № 6. С. 10-12.
4. Бабич А. О. Кормові і білкові ресурси світу. К.: ІТІ., 1995. - 298 с.
5. Огурцов Є.М. Соя у Східному Лісостепу України. Харків. нац. аграр. ун-т. – Х., 2008. 270 с.
6. Бабич А. О. Сучасне виробництво і використання сої. К.: Урожай, 1993. 430 с.
7. Бабич А. О. Соя для здоров’я і життя на планеті земля. К.: Аграрна наука, 1998. 272 с.



# РОЗДІЛ 1. ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН В РОСЛИННИЦТВІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

## 1.1. Роль та механізм дії метаболічно активних речовин на процеси росту та розвитку рослинних організмів

Продовольча проблема як глобальне явище та продовольча безпека кожної країни світу є важливим фактором соціальної стабільності та вагомим стратегічним і поточним актуальним завданням вирішення для будь-якої держави [1]. Основою вирішення продовольчої проблеми є підвищення біологічної продуктивності вже існуючих угідь. У прагненні задовольнити підвищений попит на продукти харчування стало важливим впровадження агротехнічних методів, які сприяють пристосованості рослин до складних умов середовища, покращують стійкість їх до абіотичного стресу та підвищують продуктивність [2]. З цих причин пошук нових ефективних регуляторів росту рослин є актуальними науковими дослідженнями у всьому світі [3]. Перспективними регуляторами росту сільськогосподарських культур можуть бути метаболічно активні сполуки.

Метаболічно активні речовини часто використовують у галузі рослинництва. Вони входять до складу багатьох стимуляторів росту та інших препаратів для рослин. Щороку вивчають нові властивості цих речовин та їхні перспективи щодо подальшого застосування. На сьогодні їх використовують для стимуляції росту рослин, захисту їх від шкідників, хвороб та стресів, що сприяє підвищенню показників урожайності культурних рослин.

Використання метаболічно активних речовин дає змогу краще розкрити потенціал рослини, підвищити стресостійкість проти факторів живої та неживої природи і в результаті збільшити продуктивність сільськогосподарських культур. Вчені всього світу проводять дослідження в цій галузі для виявлення нових корисних властивостей, які в подальшому можна було б використовувати

у рослинництві для збільшення їхньої ефективності. Метаболічно активні речовини мають здатність прискорювати та уповільнювати ростові процеси в насінні рослин, захищати його від різних факторів, що безпосередньо впливають на подальший ріст рослини, перебіг її фізіологічних процесів та можуть підвищувати показники врожайності [3].

До метаболічно активних сполук належить *вітамін E* (токоферол), який є сильним антиоксидантом і використовується рослинами як складова захисних систем проти окиснювального стресу. У рослинах виявлено чотири різних типи токоферолу, включаючи альфа ( $\alpha$ )-, бета ( $\beta$ )-, гамма ( $\gamma$ )- та дельта ( $\delta$ )-токофероли.

Температура та інтенсивність освітлення є двома ключовими факторами навколишнього середовища, які можуть впливати на врожайність [4]. Під час сильного світлового та теплового стресу токофероли (особливо  $\alpha$ -токоферол) накопичуються на високих рівнях, і вважається, що підвищений рівень  $\alpha$ -токоферолів необхідний для захисту фотосистеми від спустошення синглетного кисню та підтримки стабільності хлоропласту [5].

Вітамін E вже давно оцінюють і вивчають як антиоксидант, але нові докази переконливо свідчать про те, що вітамін E також може служити сигнальною молекулою в рослинах. Активні форми кисню (АФК), такі як  $H_2O_2$  і атомарний кисень, які утворюються у фотосистемі, є важливими сигнальними молекулами у зв'язку між хлоропластом і експресією генів у ядрі [6, 7]. Коли багато кисню накопичується у хлоропласті, токофероли будуть окиснюватися з утворенням токоферилового радикала та гідропероксиду. Оборотно ці два продукти можна відновити до токоферолів шляхом введення аскорбату (також відомого як вітамін C) [8]. Таким чином, шляхом усунення АФК вітамін E підтримує окиснювально-відновний стан хлоропласту та модулює ретроградну передачу сигналів від хлоропласту до ядра [9]. Сполука  $\alpha$ -токоферолу захищає фотосинтетичний механізм від фотозбудження [10, 11]. Дослідники [12] повідомили, що  $\alpha$ -токоферол захищає хлоропласти шляхом відновлення цитохрому b559 під час періодичного потоку електронів через фотосистему II.

Крім того, поява  $\alpha$ -токофенолу в мембранах хлоропластів впливає на проникність мембрани для вільних радикалів і таким чином генерує індукований світлом трансмембранний градієнт протонів [13]. Токоферолі також відіграють життєво важливу роль у компенсаторному механізмі для захисту фотосинтетичної системи від високого енергетичного стресу [14, 15].

Токоферолі відіграють важливу роль в адаптації рослин до стресу в таких умовах, як посуха, підвищена солоність ґрунту, екстремальна температура, радіація, дія токсичних металів [16, 17]. Дослідники рекомендують екзогенне застосування токоферолів у вигляді позакореневого спрею або попередньої обробки насіння рослин, які переживають стрес від посухи [16, 17]. Наприклад, застосування позакореневого обприскування  $\alpha$ -токоферолом бавовни за умов нестачі води призвели до поліпшення росту та врожайності, а також поліпшення деяких фізико-біохімічних ознак, таких як вміст пігментів, загальної кількості розчинних цукрів і загальної кількості вільних амінокислот [18]. В інших дослідженнях [19], попередньо оброблене насіння *Leymus chinensis* трьома концентраціями вітаміну Е (0,05, 1,0 і 10 ммоль/л) сприяло підвищенню активності супероксиддисмутази, пероксидази та підвищення вмісту проліну, в той час як вміст малонового діальдегіду зменшився порівняно до контролю.

Абдалл та ін. [20] досліджували ефект сумісного застосування мікоризи та  $\alpha$ -токоферолу на рослини соняшнику. Вони показали покращення параметрів росту, врожайності рослин порівняно з необробленими рослинами.

Також було з'ясовано, що позакореневе обприскування  $\alpha$ -токоферолом покращило ріст і активність антиоксидантних ферментів бобів в умовах дефіциту вологи [21].

Солоність ґрунту шкідливіша за посуху, тому що вона накладає не лише іонний, а й осмотичний ефект. Засолення викликає помітне порушення основних фізіологічних дій рослин, таких як поглинання води та поживних речовин, дихання та фотосинтез. Застосування  $\alpha$ -токоферолу допомогло пом'якшити несприятливий вплив солоності та підвищило активність

антиоксидантних ферментів і накопичення фенольних речовин, флавоїдів, допоміжних пігментів, кальцію, калію і магнію у рослинах [22, 23, 24, 25].

Рослини є також вразливими до УФ-випромінювання на що вказують симптоми пошкодження, пов'язані з ростом, порушенням біохімічних показників та зниженням врожайності. З'ясовано, що  $\alpha$ -токоферол полегшує АФК і знижує перекисне окиснення ліпідів і  $H_2O_2$ , тим самим зберігаючи цілісність мембран під УФ-випромінюванням у різних видах рослин [26]. Також  $\alpha$ -токоферол захищає мембранну антиоксидантну систему [27].

Численні дослідження свідчать про корисне використання вітамінів, фітогормонів, антиоксидантів для захисту рослин від абіотичних стресів. Ці засоби захисту здатні підвищити стійкість рослин до стресу шляхом регулювання метаболічних функцій і, отже, підвищити врожайність [28]. До таких речовин належить убіхінон-10.

**Убіхінон-10** (також відомий як убідекаренон, кофермент Q, CoQ10, CoQ, Q10, або Q) є функціонально важливим переносником електронів у рослинах в аеробному дихальному ланцюзі [29, 30, 31]. На додаток до своїх основних функцій у фотофосфорилуванні та окисному фосфорилуванні, Q10 також відіграють незамінну роль у рості та розвитку рослин, беручи участь у біосинтезі чи метаболізмі різних важливих хімічних сполук, діючи як антиоксидант, беручи участь у реакції рослин на стрес та регулює експресію генів і трансдукцію клітинного сигналу.

Було з'ясовано, що Q10 бере участь у метаболізмі амінокислот з розгалуженим ланцюгом у мітохондріях [32, 33].

Убіхінон-10 може поглинати вільні радикали, запобігаючи перекисному окисненню ліпідів, окисненню білків і пошкодженню ДНК у відповідь рослини на біотичні та абіотичні стреси. Він проявляє антиоксидантну активність у мітохондріальній мембрані.

Убіхінон-10 є обов'язковим елементом функціонування мітохондрій як у тварин, так і у рослин [34, 35]. Він запобігає пошкодженню ДНК і перекисному окисненню ліпідів клітинної мембрани шляхом усунення АФК. Q10 має дві

форми: відновлений тип (убіхінол) і окиснений (убіхінон), з яких убіхінол є формою, що виявляє антиоксидантну дію [36]. Є дослідження в яких показано, що Q10 відіграє ключову роль у адаптації клітинних регуляцій під час охолоджувального стресу [37] та регуляторну роль у базальній резистентності проти бактеріальних патогенів у відповідь на середовище з високим окиснювальним стресом [38]. Q10 має захисну протівірусну дію через контроль гормонального статусу рослини [39]. Крім того, Q10 бере участь у мітохондріальному гліцерин-3-фосфатному циклі для підтримки окисно-відновного гомеостазу в рослинах [40] і служить перехідною ланкою мітохондріальної проникності у метаболізмі клітин [41, 42].

Убіхінон-10 може опосередковано регулювати передачу сигналів клітинами та експресію генів через утворення перекису водню, що є важливою сигнальною молекулою в резистентності рослин і клітинному метаболізмі [43].

Однією з перспективних метаболічно активних речовин у рослинництві є  $\text{MgSO}_4$ , що містить у своєму складі елементи, які є невід'ємною складовою фізіологічних процесів у всіх рослинах. Mg є незамінним компонентом у великій кількості важливих фізіологічних і біохімічних процесів під час росту та розвитку рослин. Він є основним компонентом пігменту хлорофілу у світловловлюючому комплексі хлоропластів і, отже, бере участь у фотосинтетичній асиміляції  $\text{CO}_2$  [44, 45, 46]. Майже 15-35% магнію, який поглинають рослини, фіксується у пігментах хлорофілу, решта (~65-85 %) відкладається у вакуолях або використовується для синтезу білка та інших пов'язаних біологічних процесах [47, 48]. Mg також діє як кофактор численних ферментів (понад 300), які беруть участь у біосинтезі хлорофілу та фотосинтетичній фіксації  $\text{CO}_2$  [49, 50, 51, 52]. Різні інші ферменти, такі як рибулозо-1,5-бісфосфаткарбоксилаза/оксигеназа, протеїнкази, РНК-полімераза, глутатіонсинтаза, аденозинтрифосфатази (АТФ-ази), фосфатази та карбоксилази потребують Mg для активації [53, 54, 55, 56]. Крім того, Mg бере участь у транспорті сахарози, енергетичному метаболізмі, утилізації азоту, розвитку генеративних органів, стійкості до стресу, взаємодії рослин і

мікроорганізмів та в інших численних біологічних процесах [52, 57, 58, 59, 60, 61, 62]. Mg також бере участь у різних фізіологічних і біохімічних процесах і, зокрема, у виробництві, транспортуванні та використанні фотосинтатів у рослинах.

MgSO<sub>4</sub> є важливою мінеральною поживною речовиною для утворення та розподілу вуглеводів і пов'язаний з накопиченням біомаси в більшості видів сільськогосподарських культур [44, 52, 63, 64]. Сахароза також функціонує як посередник у широкому спектрі процесів розвитку та росту як сигнальна молекула для тонкого налаштування диференціації органів і генезису, для підвищення врожайності [52, 65]. Фотосинтез, регульований Mg, генерує різні вуглеводи, що забезпечують вуглецеві скелети для синтезу більшості якісних компонентів [66].

Сільськогосподарські культури, які накопичують значну кількість вуглеводів або олії в зерні або бульбах, вимагають достатнього постачання Mg для оптимізації врожайності та якісних характеристик [67]. Наприклад, для забезпечення оптимальної врожайності та якості пшениці [67, 68], ріпаку [69] і яблунь [70] необхідна достатня кількість Mg. Зокрема, застосування Mg покращує концентрацію сухої речовини та крохмалю в картоплі [63], концентрацію цукру в цукровому буряку [71], вітаміну С та концентрацію білка в китайській капусті [72], урожайність зерна та концентрацію сирого протеїну в сочевиці [73], вміст білка та олії в сої [74], а також урожайність і проростання насіння наступного покоління у восковому гарбузі [64]. Достатній вміст Mg також покращує концентрацію поліфенолів, катехіну та амінокислот у чорному чаї [75, 76].

Mg переважно необхідний для структурування та функціонування хлорофілу при поглинанні сонячної енергії [78], при цьому 15-35 % загального доступного Mg міститься в хлоропластах [45, 79].

Mg відіграє вирішальну роль в енергетичному обміні. Так, світло стимулює потік протонів у тилакоїдний простір у хлоропластах, який компенсується перенесенням Mg<sup>2+</sup> з просвіту тилакоїду в строму [80]. Цей

двонаправлений рух іонів необхідний для встановлення міжмембранного електрохімічного градієнта для синтезу аденозинтрифосфату (АТФ) (фотофосфорильовання). У АТФ Mg приєднується до двох негативно заряджених фосфорильних груп разом із двома N-основами аденіну, таким чином уможливаючи зв'язування Mg-АТФ із ферментами, що потребують АТФ [56].

У рослинах відбувається низка фізіологічних реакцій за наявності Mg, включаючи морфологічні та архітектурні реакції кореневої системи. У клітинах корневих волосків Mg є важливим елементом, що необхідний для багатьох фундаментальних біохімічних процесів, включаючи генерацію енергії, активацію/інактивацію ферментів, синтез нуклеїнових кислот, згорання нуклеїнових кислот, метаболізм вуглеводів і хімічний каталіз сплайсингу РНК [81, 82].

Сірка, як складова  $MgSO_4$ , є одним з незамінних елементів, необхідних усім живим організмам, включаючи рослини. Сірка входить до складу білкових амінокислот, таких як метіонін і цистеїн, глутатіон, вітаміни (біотин і тіамін), фітохелатини, хлорофіл, коензим А і S-аденозил-метіонін [83, 84, 85]. Сірка також бере участь у формуванні дисульфідних зв'язків у регуляції білків і ферментів, зокрема в окисно-відновному контролі, що забезпечує захист від окисного пошкодження через глутатіон та його похідні [86, 87]. Сірка також є компонентом кількох вторинних метаболітів (SM) рослин і необхідна для фізіологічних функцій, росту та розвитку рослин [88]. Крім того, в рослинах сірка та сірковмісні сполуки прямо чи опосередковано беруть участь у біотичному та абіотичному управлінні стресом, метаболізмі та передачі сигналів.

У дослідженнях [89, 90] було виявлено, що вплив сірчаних добавок покращує врожайність та вміст білка у зерні у таких агрономічно важливих рослинах, як пшениця та ріпак.

Сучасне дослідження на пшениці показало, що використання сірковмісних добрив прискорює проростання насіння, а також покращує імунну відповідь проти патогенів [91].

Сірка необхідна для утворення хлорофілу та утримання у цитоплазмі йонів заліза та мангану [92].

Сірковмісна амінокислота **метіонін** задіяна у багатьох метаболічних процесах рослинних організмів. Окрім, ролі білкової складової та центральної ролі в ініціації трансляції мРНК, метіонін опосередковано регулює різноманітність клітинних процесів як попередника S-аденозилметіоніну (SAM), який є основним біологічним донором метильних груп. Субстрат SAM-залежних метилтрансфераз бере участь як у первинному, так і у вторинному метаболізмі. Він входить до складу ліпідів, ДНК, РНК, білків, пектинів, алкалоїдів, фітостеролів, осмопротекторів, ферментів, що необхідні для синтезу хлорофілу та лігнінів і суберинів [93, 94]. Таким чином, як донор метильних груп, метіонін через SAM регулює важливі клітинні процеси, такі як поділ клітин, синтез клітинної стінки, синтез хлорофілу та синтез мембран [94]. У вищих рослинах SAM також є попередником гормону етилену, який регулює стиглість та старіння рослин [95, 96, 97, 98].

Крім того, SAM є джерелом пропіламіногрупи в синтезі поліамінів, спермідину та сперміну, що відіграють вирішальну роль у багатьох аспектах росту рослин, включаючи проліферацію та диференціювання клітин, апоптоз, гомеостаз та експресію генів [99, 100, 101]. SAM також є попередником для хелатуючих сполук, що утворюють іони металів, нікотинаміду та фітосидерофорів, а також для біотину [94, 102, 103, 104]. Метіонін служить донором різноманітних вторинних метаболітів, таких як глюкозинолати [105, 106]. Нарешті, метіонін призводить до синтезу S-метилметіоніну (SMM), який вважається рухомою та накопичувальною формою метіоніну [107], регулятора рівня SAM у клітинах [108, 109], і попередником інших вторинних метаболітів [110].



**Параоксибензойна кислота**, як метаболічно активна сполука, може впливати на різні процеси у рослин. Досліджено, що похідні бензойної кислоти, синтезовані вищими рослинами, включаються в алелопатію. Одним із таких проявів є деполаризація мембранних структур, що впливає на обмін води в організмі рослин і може пригнічувати їх ріст. Але, згідно із даними досліджень [111], які проводилися на сої, за концентрації 0,25 мМ параоксибензойна кислота виступає в ролі стимулятора ростових процесів. Також, показано вплив зазначеної речовини на енергетичний обмін, оскільки бензойна кислота інгібує сукцинатдегідрогеназу та окиснення NADH [112]. Авторами встановлено [113], що завдяки своїм антиоксидантним властивостям ця сполука слугує своєрідним захисним бар'єром для насіння і захищає від згубної дії бактеріальних та грибкових інфекцій. Завдяки цьому насіння має довшу життєздатність, порівняно з насінням інших рослин, що не мають у своєму складі такого «захисного бар'єру».

Отже, метаболічно активні сполуки здатні впливати на ряд фізіологічних процесів у рослині та стимулювати ростові процеси за надходження у рослинний організм у оптимальних концентраціях.

## **1.2. Застосування метаболічно активних речовин у рослинництві**

Сьогоднішні реалії диктують нам такі умови, що мало виростити високий урожай сільськогосподарських культур, а ще й потрібно подбати і про його якість. Тому, при підживленні сільськогосподарських культур враховують не лише рівень засвоєння поживних елементів, а й намагаються створити цілу систему живлення. Вона повинна ґрунтуватись на збалансованому співвідношенні макро- та мікроелементів, повноцінно забезпечувати рослину поживними речовинами в критичні фази розвитку.

У рослинництві широко використовується вітамін Е як допоміжний компонент, що входить до складу органічних та мінерально-органічних добрив. Він знижує чутливість рослин до низьких температур. Ефект від вітамінів

проявляється у конкретних умовах. Наприклад, вітамін Е знижує температурний стрес [114].

Група вчених з Пакистану, Саудівської Аравії і Тайваню [115] провели експеримент для захисту рослин кукурудзи від посухи, застосувавши обробку  $\alpha$ -токоферолом по листках. Встановлено, що на ранніх стадіях сходів рослини з найкращим антиоксидантним потенціалом більш стійкі до посухи, ніж рослини з меншою антиоксидантною активністю. Це відбувається тому, що порушення різних фізіологічних механізмів призводить до вторинного стресу – окиснювальний стрес через надмірне виробництво активних форм кисню, що пошкоджує ліпіди мембран. Експеримент включав два сорти кукурудзи (Agaiti-2002 і EV-1098), два рівня водного стресу (70% і 100%) і два рівні альфа-токоферолу (10 ммоль і 50 ммоль) у вигляді обприскування листків на ранній вегетативній стадії. Дослідження було організоване за повністю рандомізованою схемою з трьома повторностями. Водний стрес знижував проростання та засвоєння поживних речовин, що пов'язано зі збільшенням перекисного окиснення ліпідів в обох сортів кукурудзи. Проте, альфа-токоферол, який застосовувався на листках, допоміг відновити ростові процеси обох сортів кукурудзи, що пов'язано з покращенням синтезу пігментів фотосинтезу, водного балансу, антиоксидантного механізму і кращого засвоєння поживних речовин коренями та пагонами. Також, показано зниження окиснення ліпідів і підвищення рівня токоферолу у коренях після листкового підживлення.

Авторами [115] встановлено, що екзогенне застосування  $\alpha$ -токоферолу на пшениці і льону поліпшило стійкість рослин до сольового стресу. Також, токоферол підвищував процес запліднення у рослин [115].

Дослідженнями [116] показано, що убіхінон-10 входить до складу фунгіцидів як сильний антиоксидант.

Останнім часом все більше з'являється інформації про користь використання амінокислот в сільському господарстві для подолання стресу під час вирощування рослин. Амінокислоти є одними з найактивніших сполук

обміну речовин у рослині, на їхній основі формуються білки, ферменти і гормони росту, а це – найважливіші речовини в рослинному організмі, адже вони є основою усіх процесів життєдіяльності [117].

Амінокислоти діють на рослини найрізноманітнішими способами і їх дія буде залежати від потреб рослин, від умов середовища та від їх виду. В умовах стресових впливів на рослини амінокислоти відіграють важливу роль.

Синтез амінокислот у клітинах рослин доволі складний і енерговитратний процес. Будівельним матеріалом для утворення амінокислот є карбон і кисень повітря, гідроген і окисен води та нітроген ґрунту. Амінокислоти, що синтезуються у рослинах, належать до груп протеїногенних ( $\alpha$ -амінокислоти, з яких складаються білки) та непротеїногенних. Протеїногенні амінокислоти – це  $\alpha$ -L-амінокислоти (у рослин) [118].

Важливим фактором є те, що амінокислоти повністю водорозчинні, мають невеликий розмір та можуть легко проникати у рослину та сприяти транспортуванню інших корисних речовин. Тому, добрива з амінокислотами дуже добре працюють у бакових сумішах з іншими добривами та засобами захисту рослин [117].

Протягом останніх років в галузі агрохімічних речовин посиленням інтересом користуються засоби, що містять у своєму складі амінокислоту метіонін. Особливо ефективним є застосування таких препаратів шляхом позакореневого живлення, а також для обробітку насіння перед посівом та при краплинному зрошенні.

Авторами [119] встановлено, що застосування препаратів, що містять метіонін, на посівах злаків підвищує стійкість до вилягання та позитивно впливає на довжину колоса і його озерненість. Крім того, встановлено, що при внесенні метіоніну в рослин посилюється імунітет до патогенних бактерій із родів *Pseudomonas* та *Xanthomonas* [119].

У сільському господарстві як цінне джерело сірки та магнію використовують сульфат магнію ( $MgSO_4$ ). Це добриво високоефективне для тих культур, які відчувають гостру нестачу цих елементів для повноцінного

розвитку. Сульфат магнію впливає як на врожайність сільськогосподарських рослин в цілому, так і на його якісні показники – вміст білків, вуглеводів, вітамінів та багато іншого. Це пояснюється тим, що магній відіграє найважливішу роль в процесі фотосинтезу, бо входить до складу молекули хлорофілу [117]. Також, він приймає участь на всіх етапах синтезу білків, керує процесом поглинання води кореневою системою. Сірка відіграє велику роль у посиленні росту рослин та підвищенні врожайності. Нестача сірки веде до уповільнення активності біологічних процесів, що відбуваються під час вегетації рослини. Вона є одним з факторів, що регулює процес синтезу білків [117].

Сірка також підвищує мікробіологічну активність ґрунту, відіграє ключову роль у розвитку бульбочкових бактерій при вирощуванні бобових культур і здатності фіксувати атмосферний азот. Крім того, сульфати активують процеси бродіння та мікробіологічну деструкторизацію рослинних залишків, тому використання сірковмісних добрив (сульфат амонію, сульфат магнію) в бакових сумішах має стати нормою при внесенні деструкторів стерні [120].

У рослинах сульфат магнію підтримує колоїдну структуру протоплазми, збільшує інтенсивність асиміляції та впливає на синтез вуглеводів. Сірка посилює активність гідролітичних ферментів, яка при використанні хлоровмісних добрив здатна зменшуватись. Авторами [120] експериментально доведено здатність сірки підвищувати неспецифічну стійкість рослин при стресових умовах вирощування. Встановлено, що сірка, як складова частина «шокових білків», «антистресових» амінокислот і ферментів окисно-відновного циклу дозволяє істотно знизити стреспресінг.

Виділяють два варіанти внесення сульфату магнію – прикореневе та позакореневе (по листках). Прикореневим способом зазвичай використовують гранульований сульфат магнію на всіх типах ґрунтів, але враховуючи їхню кислотність. Для підкормки рослин частіше всього комбінують добрива таким чином, щоб поєднати внесення сульфату магнію із внесенням NPK, попередньо

підлуживши ґрунт, адже на закисленому ґрунті повноцінне засвоєння магнію неможливе.

При внесенні мінерального добрива навесні потрібно звертати увагу на особливості розміщення кореневої системи певної рослини. Одним із важливих чинників для внесення є легка розчинність та відповідно висока рухливість Mg та S у ґрунті, тому високе дозування сульфату магнію рослина може просто не встигнути засвоїти. Вносити сульфат магнію восени краще за все незадовго до зимових холодів та у важкі за механічним складом ґрунти, адже в цьому випадку зменшується ризик передчасного вимивання добрива [121].

Ще одна перевага добрива – швидка дія, адже воно починає виконувати свої функції вже через добу після внесення. Рекомендовано вносити перед прогнозованими опадами.

Для внесення по листу добре підходить кристалічний магнію сульфат. Його розчиняють у воді та проводять обприскування [117].

Одним із експериментальних способів застосування  $MgSO_4$  у сільському господарстві проводився на рослинах кукурудзи (*Zea mays* L. cv. Susann, Nordsaat Saatzucht, Langenstein, Німеччина) [122]. У ході досліджень вчені намагалися з'ясувати ефективність застосування цієї речовини в якості позакореневого добрива. Оскільки наявність  $MgSO_4$  у ґрунті ще не гарантує потрапляння цієї речовини до рослинного організму, бо на це впливає багато несприятливих ґрунтових та кліматичних факторів, тому на меті у цьому дослідженні було з'ясування позитивної дії  $MgSO_4$  при його дії безпосередньо на листки, а не на кореневу систему. Цей експеримент повністю виправдав усі сподівання. Показники біомаси, вмісту хлорофілу та загального іонного балансу суттєво покращилися [122].

Крім азоту, сульфат магнію покращує засвоєння фосфору та кальцію, а це у свою чергу покращує врожайність, а також товарний вигляд та смакові якості сільськогосподарської продукції.

Отже, використання метаболічно активних сполук у рослинництві може бути ефективним елементом технології вирощування сільськогосподарських культур.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ:

1. Shakya M., Patel M., Singh V. Knowledge level of chickpea growers about chickpea production technology. *Indian Research Journal of Extension Education*, 2016. № 8. P. 65-68.
2. Amoanimaa-Dede H., Su C., Yeboah A., Zhou., H Zheng, D., & Zhu, H. Growth regulators promote soybean productivity: a review. 2020 PeerJ 10:e12556. doi: 10.7717/peerj.12556.
3. Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism // *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)* vol.73 no.1 Piracicaba Jan./Feb. 2016.
4. Pretty J., Sutherland W. J., Ashby J., Auburn J., Baulcombe D., Bell M., et al. The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. *Int. J. Agric. Sustain.* 2010. №8. P. 219–236. doi: 10.3763/ijas.2010.0534.
5. Kruk J., Hollander-Czytko H., Oettmeier W., and Trebst, A. Tocopherol as singlet oxygen scavenger in photosystem II. *J. Plant Physiol.* 2005, 162. P. 749–757. doi: 10.1016/j.jplph.2005.04.020.
6. Foyer C. H., Noctor G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. *Physiol. Plant.* 2003. №119. P. 355–364. doi: 10.1034/j.1399-3054.2003.00223.x.
7. Foyer C. H., Noctor G. Redox homeostasis and antioxidant signaling: A metabolic interface between stress perception and physiological responses. *Plant Cell* 2005. № 17. P. 1866–1875. doi: 10.1105/tpc.105.033589.

8. Neely W. C., Martin J. M., Barker S. A. Products and relative reaction rates of the oxidation of tocopherols with singlet molecular oxygen. *Photochem. Photobiol.* 1988. № 48. P. 423–428. doi: 10.1111/j.1751-1097.1988.tb02840.x.
9. Krieger-Liszkay A., Trebst A. Tocopherol is the scavenger of singlet oxygen produced by the triplet states of chlorophyll in the PSII reaction centre. *J. Exp. Bot.* 2006. № 57. P. 1677–1684. doi: 10.1093/jxb/erl002.
10. Sharma P., Jha A. B., Dubey R. S., Pessarakli M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *J Bot* 2012. P. 1–26.
11. Jajic I., Sarna T., Strzalka K. Senescence, stress, and reactive oxygen species. *Plants*, 2015. № 4(3). P. 393–411.
12. Kruk J., Strzalka K. Redox changes of cytochrome b559 in the presence of plastoquinones. *J Biol Chem*, 2001. № 276. P. 86–91.
13. Fryer M. J. The antioxidant effects of thylakoid vitamin E ( $\alpha$ -tocopherol). *Plant Cell Environ*, 1992. №15. P. 381–392.
14. Munné-Bosch S., Cela J. Effects of water deficit on photosystem II photochemistry and photoprotection during acclimation of lyre leaf sage (*Salvia lyrata* L.) plants to high light. *J Photochem Photobiol B*, 2006. №85. P. 191–197.
15. Pintó-Marijuan M., Munné-Bosch S. Photo-oxidative stress markers as a measure of abiotic stress-induced leaf senescence: advantages and limitations. *J Exp Bot*, 2014. №65(14). P. 3845–3857.
16. Li Y., Wang Z., Sun X., Tang K. Current opinions on the functions of tocopherol based on the genetic manipulation of tocopherol biosynthesis in plants. *J Integr Plant Biol*, 2008. №50(9). P. 1057–1069.
17. Kapoor D., Sharma R., Handa N., Kaur H., Rattan A., Yadav P., Gautam V., Kaur R., Bhardwaj R. Redox homeostasis in plants under abiotic stress: role of electron carriers, metabolism mediators and proteinaceous thiols. *Front Environ Sci*, 2015. №3. P. 1–12.

18. Mekki BED, Hussien H. A., Salem H. Role of glutathione, ascorbic acid and  $\alpha$ -tocopherol in alleviation of drought stress in cotton plants. *Int J Chem Technol Res*, 2015. №8(4). P. 1573–1581.
19. Jie G. U., Liu G. S., Juan GUO, Zhang J. Effects of Vitamin E on the activities of protective enzymes and membrane lipid peroxidation in *Leymus chinensis* under drought stress. *Chem Res Chin Univ*, 2008. №24(1). P. 80–83.
20. Abdallah M. M., Abdel-Monem A. A., Hassanein R. A., El-Bassiouny HMS. Response of sunflower plant to the application of certain vitamins and Arbuscular mycorrhiza under different water regimes. *Aust J Basic Appl Sci*, 2013. №7. P. 915–932.
21. Sadiq M., Akram N. A., Javed M. T. Alpha-tocopherol alters endogenous oxidative defense system in mungbean plants under waterdeficit conditions. *Pak J Bot*, 2016. №48(6). P. 2177–2182.
22. Mohamed A. A., Aly A. A. Alterations of some secondary metabolites and enzymes activity by using exogenous antioxidant compound in onion plants grown under seawater salt stress. *Am-Eur J Sci Res*, 2008. №3(2). P. 139–146.
23. Farouk S. Ascorbic acid and  $\alpha$ -tocopherol minimize salt-induced wheat leaf senescence. *J Stress Physiol Biochem*, 2011. №7. P. 58–79.
24. Rady M. M., Sadak MSH., El-Bassiouny HMS., Abdel-Monem A. A. Alleviation the adverse effects of salinity stress in sunflower cultivars using nicotinamide and  $\alpha$ -tocopherol. *Aust. J Basic Appl Sci*, 2011. №5(10). P. 342–355.
25. Orabi S. A., Abdelhamid M. T. Protective role of  $\alpha$ -tocopherol on two *Vicia faba* cultivars against seawater-induced lipid peroxidation by enhancing capacity of anti-oxidative system. *J Saudi Soc Agric Sci*, 2016. №15(2). P. 145–154.
26. Sharma P., Jha A. B., Dubey R. S., Pessarakli M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *J Bot*, 2012. P. 1–26.
27. DeLong J. M., Steffen K. L. Lipid peroxidation and  $\alpha$ -tocopherol content in  $\alpha$ -tocopherol supplemented thylakoid membranes during UV-B exposure. *Environ Exp Bot*, 1998. №39. P. 177–185.



28. Hasanuzzaman M., Nahar K., Fujita M. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. *In: Ecophysiology and responses of plants under salt stress*. Springer, New York, 2003. Pp 25–87.
29. Cramer W. A., Hasan S. S., Yamashita E. The Q cycle of cytochrome bc complexes: a structure perspective. *Biochim. Biophys. Acta*, 2011. №1807. P. 788–802. 10.1016/j.bbabi.2011.02.006.
30. de Dieu Ndikubwimana J., Lee B. H. Enhanced production techniques, properties and uses of coenzyme Q10. *Biotechnol. Lett.* 2014. №36. P. 1917–1926. 10.1007/s10529-014-1587-1.
31. Payne K. A., White M. D., Fisher K., Khara B., Bailey S. S., Parker D., et al. New cofactor supports  $\alpha,\beta$ -unsaturated acid decarboxylation via 1,3-dipolar cycloaddition. *Nature*, 2015. №522. P. 497–501. 10.1038/nature14560.
32. Ishizaki K., Schauer N., Larson T. R., Graham I. A., Fernie A. R., Leaver C. J. The mitochondrial electron transfer flavoprotein complex is essential for survival of Arabidopsis in extended darkness. *Plant J.* 2006. №47. P. 751–760. 10.1111/j.1365-313X.2006.02826.x.
33. Araújo W. L., Ishizaki K., Nunes-Nesi A., Larson T. R., Tohge T., Krahnert I., et al. Identification of the 2-hydroxyglutarate and isovaleryl-CoA dehydrogenases as alternative electron donors linking lysine catabolism to the electron transport chain of Arabidopsis mitochondria. *Plant Cell*, 2010. №22. P. 1549–1563. 10.1105/tpc.110.075630.
34. Littarru G. P., Tiano L. Bioenergetic and antioxidant properties of coenzyme Q10: recent developments. *Mol. Biotechnol.* 2007. №37. P. 31–37. 10.1007/s12033-007-0052-y.
35. Littarru G. P., Tiano L. Clinical aspects of coenzyme Q10: an update. *Nutrition*, 2010. №26. P. 250–254. 10.1016/j.nut.2009.08.008.
36. Ohara K., Kokado Y., Yamamoto H., Sato F., Yazaki K. Engineering of ubiquinone biosynthesis using the yeast *coq2* gene confers oxidative stress tolerance in transgenic tobacco. *Plant J.* 2004. №40. P. 734–743. 10.1111/j.1365-313X.2004.02246.x.

37. Chang J., Fu X., An L., Chen T. Properties of cellular ubiquinone and stress-resistance in suspension-cultured cells of *Chorispora bungeana* during early chilling. *Environ. Exp. Bot.* 2005. №57. P. 116–122. 10.1016/j.envexpbot.2005.05.001.
38. Dutta A., Chan S. H., Pauli N. T., Raina R. HYPERSENSITIVE RESPONSE-LIKE LESIONS 1 codes for AtPPT1 and regulates accumulation of ROS and defense against bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* in *Arabidopsis thaliana*. *Antioxid. Redox Signal.* 2015. №22. P. 785–796. 10.1089/ars.2014.5963.
39. Rozhnova N. A., Gerashchenkov G. A. Effect of ubiquinone 50 and viral infection on phytohemagglutinin activity in development of induced resistance in tobacco plants. *Izv. Akad. Nauk Ser. Biol.* 2008. №35. P. 442–447. 10.1134/S1062359008040080.
40. Shen W., Wei Y., Dauk M., Tan Y., Taylor D. C., Selvaraj G., et al. Involvement of a glycerol-3-phosphate dehydrogenase in modulating the NADH/NAD<sup>+</sup> ratio provides evidence of a mitochondrial glycerol-3-phosphate shuttle in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 2007. №18. P. 422–441. 10.1105/tpc.105.039750
41. Amirsadeghi S., Robson C. A., Vanlerberghe G. C. The role of the mitochondrion in plant responses to biotic stress. *Physiol. Plant.* 2007. №129. P. 253–266. 10.1111/j.1399-3054.2006.00775.x.
42. Reape T. J., Molony E. M., McCabe P. F. Programmed cell death in plants: distinguishing between different modes. *J. Exp. Bot.* 2007. №59. P. 435–444. 10.1093/jxb/erm258.
43. Schmelzer C., Lindner I., Vock C., Fujii K., Döring F. Functional connections and pathways of coenzyme Q10-inducible genes: an in-silico study. *IUBMB Life*, 2007. №59. P. 628–633. 10.1080/15216540701545991.
44. Cakmak I., Kirkby E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiol. Plant.* 2008. №133. P. 692–704. doi: 10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x.
45. Cakmak I., Yazici A. M. Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better Crops*, 2010. №94. P. 23–25. Available online at: <https://www.ks->

minerals-and-agriculture.com/en/pdf-articles/article-201006-better-crops-magnesium.pdf.

46. Gerendás J., Führs H. The significance of magnesium for crop quality. *Plant Soil*, 2013. №368. P. 101–128. doi: 10.1007/s11104-012-1555-2.
47. Karley A. J., White P. J. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2009. №12. P. 291–298. doi: 10.1016/j.pbi.2009.04.013.
48. Marschner H. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Vol. 89. San Diego, CA: Academic Press. 2012.
49. Peng H. Y., Qi Y. P., Lee J., Yang L. T., Guo P., Jiang H. X., et al. Proteomic analysis of *Citrus sinensis* roots and leaves in response to long-term magnesium-deficiency. *BMC Genom.* 2015. №16 P. 253. doi: 10.1186/s12864-015-1462-z.
50. Billard V., Maillar, A., Coquet L., Jouenne T., Cruz F., Garcia-Mina J. M., et al. Mg deficiency affects leaf Mg remobilization and the proteome in *Brassica napus*. *Plant Physiol. Biochem.* 2016. №107. P. 337–343. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.06.025.
51. Ma C. L., Qi Y. P., Liang W. W., Yang L. T., Lu Y. B., Guo P., et al. MicroRNA regulatory mechanisms on *Citrus sinensis* leaves to magnesium-deficiency. *Front. Plant Sci.* 2016. №7. P. 201. doi: 10.3389/fpls.2016.00201.
52. Chen Z. C., Peng W. T., Li J., Liao H. Functional dissection and transport mechanism of magnesium in plants. *Semin. Cell Dev. Biol.* 2018. №74. P. 142–152. doi: 10.1016/j.semcdb.2017.08.005.
53. Maguire M. E., Cowan J. A. Magnesium chemistry and biochemistry. *Biometals*, 2002. №15. P. 203–210. doi: 10.1023/A:1016058229972.
54. Shaul O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *Biometals*, 2002. №15. P. 307–321. doi: 10.1023/A:1016091118585.
55. Dann Iii C. E., Wakeman C. A., Sieling C. L., Baker S. C., Irnov I., Winkler W. C. Structure and mechanism of a metal-sensing regulatory RNA. *Cell*, 2007. №130. P. 878–892. doi: 10.1016/j.cell.2007.06.051.

56. Marschner H. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Vol. 89. San Diego, CA: Academic Press. 2012.
57. Li L. G., Sokolov L. N., Yang Y. H., Li D. P., Ting J., Pandey G. K., et al. A mitochondrial magnesium transporter functions in Arabidopsis pollen development. *Mol. Plant*. 2008. №1. P. 675–685. doi: 10.1093/mp/ssp031.
58. Chen J., Li L. G., Liu Z. H., Yuan Y. J., Guo L. L., Mao D. D., et al. Magnesium transporter AtMGT9 is essential for pollen development in Arabidopsis. *Cell Res*. 2009. №19. P. 887–898. doi: 10.1038/cr.2009.58.
59. Xu X. F., Wang B., Lou Y., Han W. J., Lu J. Y., Li D. D., et al. Magnesium Transporter 5 plays an important role in Mg transport for male gametophyte development in Arabidopsis. *Plant J*. 2015. №84. P. 925–936. doi: 10.1111/tpj.13054.
60. Li D., Ma W., Wei J., Mao Y., Peng Z., Zhang J., et al. Magnesium promotes root growth and increases aluminum tolerance via modulation of nitric oxide production in Arabidopsis. *Plant Soil*, 2020. №457. P. 83–95. doi: 10.1007/s11104-019-04274-9.
61. Ishfaq M., Zhong Y., Wang Y., and Li X. Magnesium limitation leads to transcriptional down-tuning of auxin synthesis, transport, and signaling in the tomato root. *Front. Plant Sci*. 2021. №12. doi: 10.3389/fpls.2021.802399.
62. Tian X. Y., He D. D., Bai S., Zeng W. Z., Wang Z., Wang M., et al. Physiological and molecular advances in magnesium nutrition of plants. *Plant Soil*, 2021. №468. P. 1–17. doi: 10.1007/s11104-021-05139-w.
63. Koch M., Busse M., Naumann M., Jákl B., Smit I., Cakmak I., et al. Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and partitioning of photoassimilates in potato plants. *Physiol. Plant*. 2019. №166. P. 921–935. doi: 10.1111/pp1.12846.
64. Zhang B., Cakmak I., Feng J., Yu C., Chen X., Xie D., et al. Magnesium deficiency reduced the yield and seed germination in wax gourd by affecting the carbohydrate translocation. *Front. Plant Sci*. 2020. №11. P. 797. doi: 10.3389/fpls.2020.00797.

65. Hackel A., Schauer N., Carrari F., Fernie A. R., Grimm B., Kühn C. Sucrose transporter LeSUT1 and LeSUT2 inhibition affects tomato fruit development in different ways. *Plant J.* 2006. №45. P. 180–192. doi: 10.1111/j.1365-313X.2005.02572.x.
66. Gerendás J., Führs H. The significance of magnesium for crop quality. *Plant Soil*, 2013. №368. P. 101–128. doi: 10.1007/s11104-012-1555-2.
67. Grzebisz W. Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant Soil*, 2013. №368. P. 23–39. doi: 10.1007/s11104-012-1574-z.
68. Ceylan Y., Kutman U. B., Mengutay M., Cakmak I. Magnesium applications to growth medium and foliage affect the starch distribution, increase the grain size and improve the seed germination in wheat. *Plant Soil*, 2016. №406. P. 145–156. doi: 10.1007/s11104-016-2871-8.
69. Bogdevich I. M., Mishuk O. L. Efficiency of magnesium and sulfur-containing fertilizers under spring rape seed on the podzoluvisol loam soil with different magnesium content. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 2006. №2. P. 68–72.
70. von Bennewitz E., Cooper T., Benavides C., Losak T., and Hlusek J. Response of “Jonagold” apple trees to Ca, K and Mg fertilization in an andisol in southern Chile. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2011. №11. P. 71–81. doi: 10.4067/S0718-95162011000300006.
71. Poglodziński R., Barlog P., Grzebisz W. Effect of nitrogen and magnesium sulfate application on sugar beet yield and quality. *Plant Soil Environ.* 2021. №67. P. 507–513. doi: 10.17221/336/2021-PSE.
72. Lu M., Liang Y., Lakshmana P., Guan X., Liu D., Chen X. Magnesium application reduced heavy metal-associated health risks and improved nutritional quality of field-grown Chinese cabbage. *Environ. Pollut.* 2021. №289. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117881.
73. Azizi K., Yaghobi M., Hidary S., Chaeichi M. R., Roham R. Effects of different methods of magnesium sulphate application on qualitative and quantitative yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars under Khorramabad climatic conditions of Iran. *Res. Crops*, 2011. №12. P. 103–111.

74. Vratarić M., Sudarić A., Kovacević V., Duvnjak T., Krizmanić M., Mijić, A. Response of soybean to foliar fertilization with magnesium sulfate (Epsom salt). *Cereal Res. Commun.* 2006. №34. P. 709–712. doi: 10.1556/CRC.34.2006.1.177.
75. Jayaganesh S., Venkatesan S., Senthurpandian, V. K. Impact of different sources and doses of magnesium fertilizer on biochemical constituents and quality parameters of black tea. *Asian J. Biochem.* 2011. №6. P. 273–281. doi: 10.3923/ajb.2011.273.281.
76. Ruan J. Y., Ma L. F., Yang Y. J. Magnesium nutrition on accumulation and transport of amino acids in tea plants. *J. Sci. Food Agric.* 2012. №92. P. 1375–1383. doi: 10.1002/jsfa.4709.
77. Greffeuille V., Abecassis J., Lapierre C., Lullien-Pellerin V. Bran size distribution at milling and mechanical and biochemical characterization of common wheat grain outer layers: a relationship assessment. *Cereal Chem.* 2006. №83. P. 641–646. doi: 10.1094/CC-83-0641.
78. Verbruggen N., Hermans C. Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. *Plant Soil*, 2013. №368. P. 87–99. doi: 10.1007/s11104-013-1589-0.
79. Guo W., Nazim H., Liang Z., Yang D. Magnesium deficiency in plants: an urgent problem. *Crop J.* 2016. №4. P. 83–91. doi: 10.1016/j.cj.2015.11.003.
80. Shaul O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *Biometals*, 2002. №15. P. 307–321. doi: 10.1023/A:1016091118585.
81. Kirkby E. A., Mengel K. The role of magnesium in plant nutrition. *Zeitschr Pflanzenernähr Bodenk.* 1976. №39. P. 209–22. doi: 10.1002/jpln.19761390208.
82. Wilkinson S. R., Welch R. M., Mayland H. F., Grunes D. L. Magnesium in plants: uptake, distribution, function, and utilization by man and animals. In: Sigel H, eds. *Metal ions in biological systems*. New York: Mercel Dekker, 1990. №26. P. 37-47.

83. Li Q, Gao Y, Yang A. Sulfur homeostasis in plants. *Int J Mol Sci.* 2020. №23. doi:<https://doi.org/10.3390/ijms21238926>.
84. Nakai Y, Maruyama-Nakashita A. Biosynthesis of sulfur-containing small biomolecules in plants. *Int J Mol Sci.* 2020. №21(10). P. 3470. doi:<https://doi.org/10.3390/ijms21103470>.
85. Scherer H. W., Pacyna S., Spoth K. R., Schulz M. Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited N<sub>2</sub> fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. *Biol and Fertility Soils.* 2008. №44(7). P. 9–11. doi:<https://doi.org/10.1007/s00374-008-0273-7>.
86. Aarabi F., Naake T., Fernie A. R., Hoefgen R. Coordinating sulfur pools under sulfate deprivation. *Trends Plant Sci.* 2020. №25. P. 1227–1239. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.07.007>.
87. Leustek T, Saito K. Sulfate transport and assimilation in plants. *Plant Physiol.* 1999. №120(3). P. 637–644. doi:<https://doi.org/10.1104/pp.120.3.637>.
88. Gohain B. P., Rose T. J., Liu L., Barkla B. J., Raymond C. A., King G. J. Remobilization and fate of sulphur in mustard. *Ann Bot.* 2019. №124(3). P. 471–480. doi:<https://doi.org/10.1093/aob/mcz101>.
89. Yu Z, She M, Zheng T, Diepeveen D, Islam S, Zhao Y, Zhang Y, Tang G, Zhang Y, Zhang J, et al. Impact and mechanism of sulphur-deficiency on modern wheat farming nitrogen-related sustainability and gliadin content. *Comm Bio.* 2021. №4(1). P. 1–6. doi:<https://doi.org/10.1038/s42003-021-02458-7>.
90. Filipek-Mazur B, Tabak M, Gorczyca O, Lisowska A. Effect of sulfur-containing fertilizers on the quantity and quality of spring oilseed rape and winter wheat yield. *J Elementol.* 2019. №24(4). doi:<https://doi.org/10.5601/jelem.2019.24.1.1809>.
91. Kurmanbayeva M, Sekerova T, Tileubayeva Z, Kaiyrbekov T, Kusmangazinov A, Shapalov S, Madenova A, Burkitbayev M, Bachilova N. Influence of new sulfur-containing fertilizers on performance of wheat yield. *Saudi J Bio Sci.* 2021. № (8). P. 4644–4655. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.073>.

92. Лещенко А. К. Культура сої. К.: Наук. думка. 1978. 235 с.
93. Kagan R. M., Clarke S. Widespread occurrence of three sequence motifs in diverse S-adenosylmethionine-dependent methyltransferases suggests a common structure for these enzymes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1994. №310. P. 417-427.
94. Roje S. S-Adenosyl-L-methionine: Beyond the universal methyl group donor. *Phytochemistry*, 2006. №67. P. 1686-1698.
95. Yang S. F., Hoffman N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 1984. №35. P. 155-189.
96. Miyazaki J., Yang S. F. The methionine salvage pathway in relation to ethylene and polyamine biosynthesis. *Physiologia Plantarum*, 1987. №69. P. 366-370.
97. Yang S. F., Yip W. K., Dong J. G. Mechanism and regulation of ethylene biosynthesis. *American Society Plant Physiology*, 1990. №5. P. 24-35.
98. Matilla A. J. Ethylene in seed formation and germination. *Seed Science Research*, 2000. №6. P. 111-126.
99. Kaur-Sawhney R., Albabella T., Tiburcio A. F., Galston W. Polyamines in plants: An overview. *Journal of Cell Molecular Biology*, 2003. №2. P. 1-12.
100. Кузнецов В., Шевякова Н. І. Поліаміни та стресостійкість рослин. *Стрес рослин*. 2007. №1. С. 50-71.
101. Pang X. M., Zhang Z. Y., Wen X. P., Ban Y., Moriguchi T. Polyamines, all-purpose players in response to environment stresses in plants. *Plant Stress*, 2007. №1. P. 173-188.
102. Ravanel S., Gakiere B., Job D., Douce R. The specific features of methionine biosynthesis and metabolism in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 1998. №95. P. 7805-7812.
103. Droux M. Sulfur assimilation and the role of sulfur in plants metabolism: a survey. *Photosynthesis Research*, 2004. №79. P. 331-348.



104. Hesse H., Kerft O., Maimann O., Zeh M., Hoefgen R. Current understanding of the regulation of methionine biosynthesis in plants. *Journal of Experimental Botany*, 2004. №55. P. 1799-1808.
105. Gigolashvili T., Yatusевич R., Berger B., Müller C., Flügge U. I. The R2R3-MYB transcription factor HAG1/MYB28 is a regulator of methionine -derived glucosinolate biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 2007. №51. P. 247-261.
106. Hirai M. Y., Sugiyama K., Sawada Y., Tohge T., Obayashi T., Suzuki A., Araki R., Sakurai N., Suzuki H., Aoki A., Goda H., Nishizawa O. I., Shibata D., Saito K. Omics-based identification of *Arabidopsis* Myb transcription factors regulating aliphatic glucosinolate biosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 2007. №104. P. 6478-6483.
107. Mudd H. D., Datko A. H. The S-methylmethionine cycle in *Lemna pauci-costata*. *Plant Physiology*, 1990. №93. P. 623-630.
108. Ranocha P., McNeil S., Ziemak M. J., Li C., Tarczynski M. C., Hanson A. D. The S-methylmethionine cycle in angiosperms: Ubiquity, antiquity and activity. *The Plant Journal*, 2001. №25. P. 575-584.
109. Kocsis M. G., Nolte P., Gage D. A., Simon E. S., Rhodes D., Peel G. J., Mellema S., Saito K., Awazuhara M., Li C., Meeley R. B., Tarczynski M. C., Wagner C., Hanson A. D. Insertional inactivation of the methionine S-methyltransferase gene eliminates the S-methylmethionine cycle and increases the methylation ratio. *Plant Physiology*, 2003. №131. P. 1808-1815.
110. Hanson A. D., Rivoal J., Paquet L., Gage D. A. Biosynthesis of 3-dimethyl-sulfoniopropionate in *Wollastonia biflora* (L.) DC. Evidence that S-methylmethionine is an intermediate. *Plant Physiology*, 1994. №105. P. 103-110.
111. Barkosky R. R., Einhellig F. A. Allelopathic interference of plantwater relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 2003. №44. Available from: <http://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/content/2003/1/bot441-08.html>.

112. Hulme A. C., Jones J. D. Tannin inhibition of plant mitochondria. *In J.B. Pridham (ed.), Enzyme Chemistry of Phenolic Compounds*. New York, Macmillan, 1963, pp. 97-120.

113. Jeong-Yong CHO, Jae-Hak MOON, Ki-Young SEONG, Keun-Hyung PARK. Antimicrobial Activity of 4-Hydroxybenzoic Acid and trans 4-Hydroxycinnamic Acid Isolated and Identified from Rice Hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 62:11, 2273-2276, DOI: 10.1271/bbb.62.2273.

114. «Поперчимо» у теплиці. *Infoindustria*. URL: <https://infoindustria.com.ua/poperchimo-u-teplitsi/> (дата звернення: 20.05.2020).

115. Обприскування кукурудзи вітаміном Е по листу захищає рослини від посухи. *Журнал Агроном*. URL: <https://www.agronom.com.ua/obpryskuvannya-kukurudzy-vitaminom-e-po-lystu-zahyshhaye-roslyny-vid-posuhy/> (дата звернення: 20.05.2020).

116. Стробітек. Хімаго маркетую. URL: <http://himagro.com.ua/product/zasobi-zaxistu-roslin/strobitek> (дата звернення: 20.05.2020).

117. Амінокислоти у добривах для позакореневого живлення та їх застосування. URL: <https://makosh-group.com.ua/blog/aminokisloti-u-dobrivah-dlya-pozakoreneвого-zhivlennya-ta-yih-zastosuvannya/> (дата звернення: 29.06.2020).

118. Полянчиков С. П., Ковбель А. И. Роль амінокислот у захисті культур від стресів. *Agromage*. URL: [https://agromage.com/stat\\_id.php?id=1086](https://agromage.com/stat_id.php?id=1086) (дата звернення: 20.05.2020).

119. Амінокислоти: міф чи реальність. *Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу*. URL: <https://propozitsiya.com/ua/aminokysloty-mif-chy-realnist> (дата звернення: 20.05.2020).

120. Роль сірки у живленні рослин. *Інститут живлення рослин*. URL: <https://pni.com.ua/%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%96%D1%80%D0%BA%D0%B8%D1%80%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%>

D0%BD%D0%BD%D1%96%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B8%D0%BD/ (дата звернення: 20.05.2020).

121. Роль сульфату магнію у сільському господарстві. *ХімАгроСтен*. URL: [https://himagrostep.com/rol\\_sulfatu\\_magniyu\\_u\\_silskomu\\_gospodarstvi.html](https://himagrostep.com/rol_sulfatu_magniyu_u_silskomu_gospodarstvi.html) (дата звернення: 20.05.2020).

122. Фотосинтетична здатність, стан поживних речовин і ріст кукурудзи (*Zea mays* L.) після внесення  $MgSO_4$  по листю. *Frontiers*. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2014.00781/full> (дата звернення: 20.05.2020).

## РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Агрокліматичні умови проведення дослідів

Полеві дослідження проводили на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя впродовж 2019-2021 рр.

За природно-географічним районуванням дослідне поле знаходиться в м. Ніжин в межах лісостепової ландшафтної зони України Дніпровської терасової рівнини.

Ґрунтовий покрив дослідного поля – чорнозем опідзолений, малогумусний. Чорнозем опідзолений залягає на добре дренованих вододілах та їх схилах між темно-сірими ґрунтами і чорноземами типовими. У профілі помітні ознаки як чорноземів, так і опідзолених ґрунтів (переміщення колоїдів).

Будова профілю:

1. Перший генетичний горизонт – гумусовий Н, темно-сірий з кремнеземистою присипкою  $\text{SiO}_2$ , у вигляді «сивини», структура – зерниста, перехід поступовий.
2. Другий генетичний горизонт Н<sub>рк</sub> – верхній, перехідний, слабкоілювіований, товщиною 30-40 см, темно-бурий, ущільнений.
3. Третій генетичний горизонт Р<sub>hk</sub> – нижній, перехідний, слабкоілювіований, товщиною 35-45 см, темно-бурий, має язички натічного гумусу, переходить у породу по лінії залягання карбонатів.
4. Четвертий генетичний горизонт – материнська порода (Рк), залягає з глибини 120 см і є карбонатним лесом [1].

Ґрунтовий покрив дослідного поля за профілем характеризується відносною однорідністю гранулометричного і валового хімічного складу зі значним вмістом елементів живлення в гумусовому горизонті. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту 3,5 % , ступінь насиченості основами – 90,8-91,1 %, реакція ґрунтового розчину слабкисла (рН 6,0-6,3), гідролітична кислотність 2,42 мг -

екв./100 г ґрунту, вміст рухомих сполук фосфору – 118 мг/кг та обмінного калію – 99 мг/кг (за Чириковим – забезпеченість підвищена), нітрогену – 64 мг/кг (за Корнфілдом – забезпеченість середня). Потреби у внесенні мінеральних добрив не було.

Клімат району досліджень – помірно-континентальний, з досить теплим літом. порівняно м'якою зимою та достатньою зволоженістю.

Середньорічна температура січня –  $-7^{\circ}\text{C}$ , липня –  $+19^{\circ}\text{C}$ . Абсолютний температурний максимум –  $+38^{\circ}\text{C}$ , а мінімум –  $-34^{\circ}\text{C}$ . Сумарна сонячна радіація становить приблизно  $98-100$  ккал/см<sup>2</sup>, радіаційний баланс коливається в межах  $44-46$  ккал/см<sup>2</sup>. Тривалість сонячного світла становить 1600 годин/рік. Безморозний період триває 155-170 днів/рік. Період вегетації (кількість днів з температурою понад  $15^{\circ}$ ) становить 105-110 днів.

У районі дослідження переважають західні вітри, що приносять 550-600 мм опадів за рік. Найменше опадів буває зимою (січень – лютий), найбільше їх припадає на червень-серпень. Випаровуваність становить приблизно 450 мм, тому зволоження надмірне і дорівнює 1,3. Взимку встановлюється потужний сніговий покрив – до 40 см. Тривалість періоду зі стійким сніговим покривом становить 95-105 днів.

Урожайність сільськогосподарських культур значно залежить від погодних умов року. Найбільший вплив на продуктивність в усіх ґрунтово-кліматичних зонах мають температура повітря та умови зволоження в період вегетації.

Для досліджень використовувалася соя культурна або щетиниста (*Glycine hispida Maxim.*) – однорічна трав'яниста культура родини Бобових – *Fabaceae*.

Соя – дуже чутлива до агрометеорологічних умов вирощування теплолюбна культура. Мінімальна температура проростання її насіння –  $7-8^{\circ}\text{C}$ , оптимальна –  $15-20^{\circ}\text{C}$ , сходи легко витримують приморозки до  $-2-3^{\circ}\text{C}$ . У період формування репродуктивних органів сприятливими є середньодобові температури на рівні  $21-23^{\circ}\text{C}$ ; під час цвітіння –  $22-25^{\circ}\text{C}$ . Формування бобів

найкраще проходить при 20-23°C, дозрівання насіння – при 18-20°C. Зниження середньодобової температури повітря до 10-13°C затримує дозрівання насіння [2].

Культура вимоглива до умов вологозабезпечення, оптимальна вологість ґрунту для неї становить 75-80 % відносна вологість повітря – 70-75 %, гідротермічний коефіцієнт – 1,0-1,7, транспіраційний коефіцієнт високий – 520-600 [3, 4].

У роки проведення досліджень гідротермічний режим під час вегетації сої відрізнявся (рис. 2.1, 2.2), що обумовило різний рівень продуктивності.

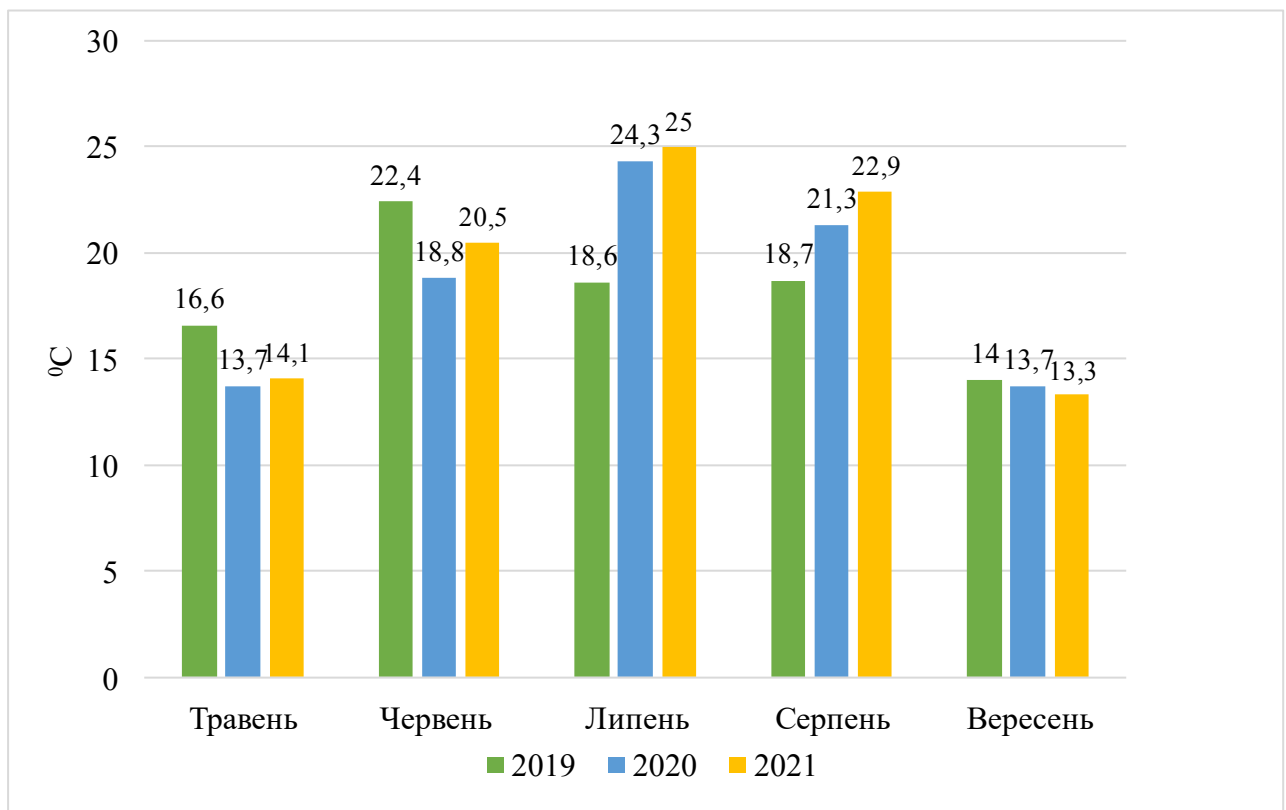


Рис. 2.1. Показники середньодобової температури повітря за роки проведення досліджень, °C

У 2019 році погодні умови були сприятливими для росту й розвитку рослин сої. За весь вегетаційний період випала достатня кількість опадів та утримувалась помірна температура повітря.

2020 рік виявився менш сприятливим в порівнянні з 2019 роком. У травні середня добова температура повітря становила 13,7°C, що нижче в порівнянні з

іншими роками досліджень. Крім того, після висівання сої, у другій декаді травня, були зафіксовані приморозки в межах 0,9 -1,3°C, що значно вплинуло на проростання насіння. Також, на сході сої значний вплив мала надмірна кількість опадів у травні та червні. Під час фази цвітіння погодні умови були сприятливими для росту та розвитку рослин сої. У серпні та вересні спостерігалось зменшення кількості опадів, що значно вплинуло на формування бобів та налив насіння.

2021 рік був досить сприятливим для росту та розвитку рослин сої, що дало можливість отримати високий урожай.

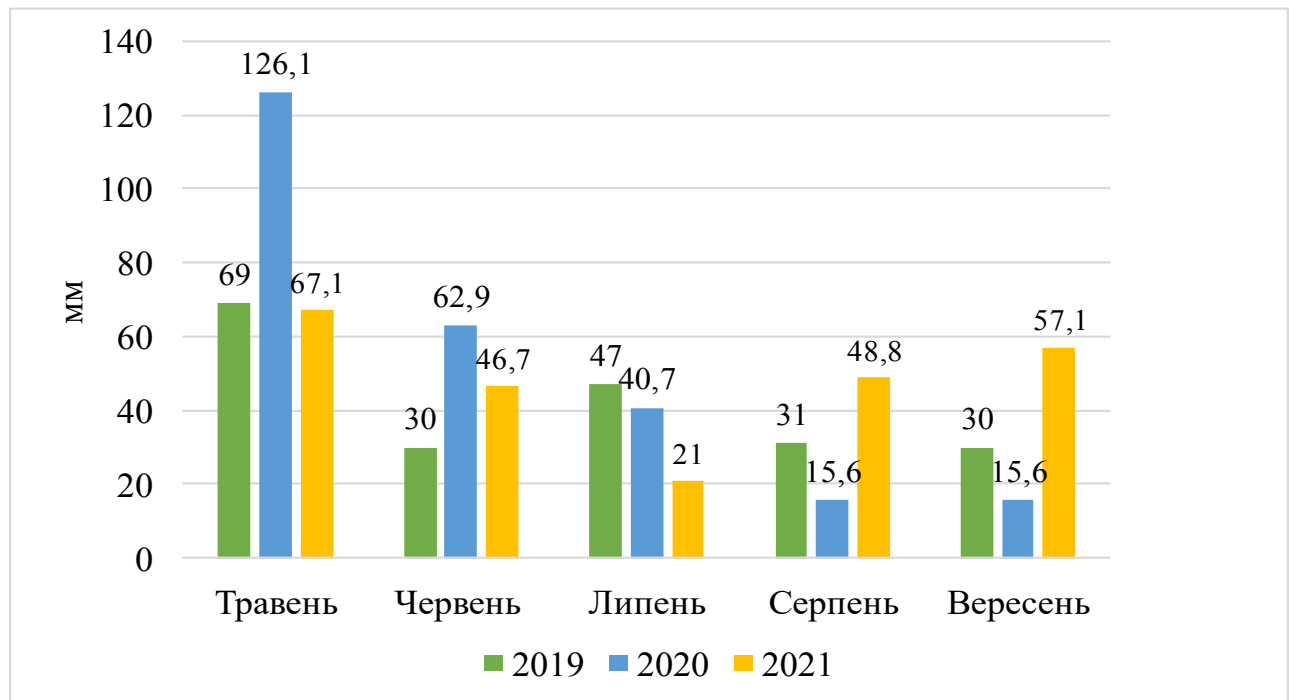


Рис. 2.2. Кількість опадів за роки проведення досліджень, мм

## 2.2. Характеристика об'єктів дослідження

Соя культурна (*Glycine hispida Maxim.*) – це трав'яниста однорічна рослина з періодом вегетації від 70 до 250 діб. Коренева система сої стрижнева. Головний корінь короткий, від нього у верхній частині відходять бічні корені, які складають близько 60% маси кореня. Основна маса коренів розміщується в орному шарі ґрунту. На поперечному зрізі кореня видно епідерміс, судинно-

волокнисті пучки, первинну флоему, первинну та вторинну ксилему. Через 7-10 діб після появи сходів на коренях сої в місцях проникнення бульбочкових бактерій *Rhizobium japonicum* починають формуватися бульбочки, в яких фіксується вільний азот з повітря. При інокуляції активними штамми бульбочкових бактерій на головному корені та бічних корінцях утворюються крупні бульбочки, в яких відбувається біологічна фіксація азоту. На кореневій системі однієї рослини за сприятливих умов формується 25-60 бульбочок і більше [5].

Листки черешкові, складні, трійчасті, розміщуються по чергово. Листки цілокраї, широкі, вузькі або проміжні, за формою – широкояйцеподібні, овальні, овально-видовжені, широколанцетоподібні, ромбічні, клиноподібні з притупленим або гострим кінчиком [6]. Поверхня листочків опушена. За анатомічною будовою тканини листків сої займають проміжне положення між ксероморфними та мезоморфними типами. Сходи спочатку мають дві сім'ядолі, які при проростанні насіння виносяться на поверхню ґрунту. Пізніше розвиваються два супротивних примордіальних листки, що за формою овальні, округлі, ланцетоподібні, списоподібні. У подальшому утворюються трійчасті листки, різні за формою.

Висота стебла коливається від 20 см до 2 м. У сортів, поширених в Україні, висота складає від 40 см до 1 м. Воно або грубе і товсте (діаметром завбільшки 11-13 мм) або ніжне і тонке (3-4 мм), прямостояче чи сланке, іноді витке, злегка колінчасто-зігнуте, добре гілкується. Бічні гілки завдовжки до 10-18 см, відхиляються від стебла під різним кутом і утворюють 5-10 гілок різної форми. Стебло сої і бокові гілки закінчуються суцвіттям або витягнутою верхівкою, яка несе листки. Перший тип властивий рослинам із закінченим (детермінантним) типом росту, другий – незакінченим (індетермінантним) типом росту. Завдяки селекції виникли рослини з проміжним типом росту. Основні форми куща – стисла або компактна, проміжна, розкидиста. Стебло і гілки вкриті білими, бурими, жовтими волосками. Опушення – коротке, густе,



довге, дуже рідке, повстяне. При досяганні стебло жовтіє, стає буро-жовтим чи рудим [7, 8].

Суцвіття – китиця, розміщена у пазухах листків, на верхівці стебла та на бічних гілках. У кожній китиці від 2 до 20 квіток і більше. Квітки дрібні, майже без запаху, п'ятипелюсткові, білого, світло-фіолетового або фіолетового кольору. Тичинок 10: дев'ять зростаються, а одна вільна. Маточка з однією верхньою одногніздою зав'яззю. Стовпчик маточки невисокий, злегка зігнутий. Приймочка плеската, розширена, густо вкрита залозистими сосочками. Така форма маточки є характерною родовою ознакою сої [6].

Соя – самоzapильна рослина, запліднення відбувається у фазі закритої квітки. Перехресно соя запилюється дуже рідко.

Плід сої – багатогніздний біб, складається із двох половинок, з'єднаних двома швами і містить 2-4 насінини. Боби у сої за формою бувають прямі, зігнуті, іноді серпоподібні або плескати, із загостреним кінчиком. У малоквіткових китицях формується 1-3 боби, у багатоквіткових – 4-8 і більше. Забарвлення плодів змінюється від пісочно-сірого до чорного. Висота прикріплення нижніх бобів над рівнем ґрунту коливається від 2-3 до 20-25 см, залежно від умов і технологій вирощування та сорту. Оптимальна висота прикріплення нижніх бобів над рівнем ґрунту – 10-15 см, що забезпечує ефективне механізоване збирання урожаю [7, 8].

Насінина сої – овальна, куляста, видовжена, ниркоподібна, має жовтий, зеленувато-жовтий, коричневий або чорний колір, маса 1000 насінин у районованих сортів 130-150 г. Сім'ядолі жовті або зелені [6].

Соя – теплолюбна, вологолюбна рослина короткого дня. Одночасно, вона пластична до умов вирощування: ареал її поширення – від екватора до 56° північної широти. Протягом декількох тисячоліть у різних екологічних районах виділилися форми сої з різною реакцією на природні фактори [6].

Експериментальну частину роботи виконано з використанням сої сорту Аннушка та комбінаціями метаболічно активних речовин: вітамін Е, убіхінон-10, параоксибензойна кислота (ПОбК), метіонін та  $MgSO_4$ .

*Сорт Аннушка* є перспективним для зони Лісостепу та Полісся. За врожайністю істотно перевищує інші скоростиглі сорти, а за вмістом жиру та сирого протеїну йде на рівні з ними. Сорт Аннушка має найкращий показник висоти прикріплення нижнього бобу – 12-14 см, завдяки чому значно зменшуються втрати врожаю при збиранні. Термін вегетації 75-85 днів. Українська державна система сортовипробування визнала за Аннушкою максимальну стійкість до хвороб – 9 балів (за 9-бальною шкалою), до вилягання – 8-9, посухи – 8,5-9,0 до осипання – 8,0-8,8 балів (тобто боби цього сорту практично не розтріскуються).

Сорт Аннушка було виведено Науковою селекційною-насінницькою фірмою (НСНФ) Соєвий вік [9].

Польові дослідження передбачали вивчення дії метаболічно активних сполук на фізіолого-біохімічні показники сої сорту Аннушка. Для цього було сформовано три комбінації метаболічно активних речовин: вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + параоксибензойна кислота (ПОБК) (0,001%) + метіонін (0,001%); вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + ПОБК (0,001%) + метіонін (0,001%) +  $MgSO_4$ , вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + убіхінон-10 (0,001%). Для порівняння ефективності дії вище зазначених комбінацій використали синтетичний регулятор росту Вимпел. Дослідну ділянку готували до посіву: проводили культивуацію, обміряли, розбивали на варіанти та повторності, а також обробляли насіння досліджуваними речовинами.

Всього було сформовано п'ять варіантів досліду:

1. Контроль (насіння сої, замочене у дистильованій воді).
2. Насіння сої, оброблене розчином комбінації речовин: вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + убіхінон-10 (0,001%).
3. Насіння сої, оброблене розчином комбінації речовин: вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + параоксибензойна кислота (ПОБК) (0,001%) + метіонін (0,001%) +  $MgSO_4$  (0,001%).
4. Насіння сої, оброблене розчином комбінації речовин: вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + параоксибензойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%).

5. Насіння сої, оброблене розчином регулятора росту рослин Вимпел (20 г/л л. води).

Час обробки насіння сої препаратами складав 2 години. Після обробки насіння сої висівали широкорядним способом (ширина міжрядь – 45 см). Глибина загортання насіння становила 4–5 см. Загальна площа посівної ділянки – 108 м<sup>2</sup>. Повторність досліду – трьохразова. Дослідження проводилися протягом 2019-2021 рр:

1. Перший посів сої – 10 травня 2019 р.;
2. Другий посів сої – 11 травня 2020 р.;
3. Третій посів сої – 15 травня 2021 р.

При проведенні досліджень керувались «Основами наукових досліджень в агрономії» [10].

Характеристика досліджуваних метаболічно активних речовин:

1. *Вітамін Е* – сильний антиоксидант, який використовується рослинами як складова захисних систем проти окиснювального стресу. У рослинах виявлено чотири різних типи токоферолу, включаючи альфа ( $\alpha$ )-, бета ( $\beta$ )-, гамма ( $\gamma$ )- та дельта ( $\delta$ )-токоферолі. Однак  $\alpha$ -токоферол є найпоширенішою формою, що зустрічається у фотосинтетичній тканині. У окремих видів рослин вітамін Е накопичується в різних кількостях та в різних органах. Ця сполука та її похідні виконують різноманітні функції у життєвих процесах рослин. Рослинні організми з підвищеним рівнем токоферолів мають більшу стійкість до засолень, посухи, дії важких металів, озону, УФ-променів тощо. Відповідно, рослини із низьким вмістом токоферолів у організмі є менш витривалими до дії різних негативних абіотичних факторів навколишнього середовища. Вітамін Е координовано працює з іншими антиоксидантами та взаємодіє із фітогормонами (етиленом, абсцизовою кислотою, саліциловою кислотою та ін.). На сьогодні роль цієї сполуки в організмі рослин не є до кінця вивченою [11].

2. *Убіхінон-10* – це жиророзчинний кофермент. Він виконує функцію транспорту електронів у дихальному ланцюзі під час фотосинтезу. Разом із

пластохіноном, він є складовою хімічних реакцій фотофосфорилування та окислювального фосфорилування; вони розташовуються відповідно у тилакоїдах хлоропластів на внутрішніх мембранах мітохондрій. Також, убіхінон має велике значення у фізіологічних процесах росту та розвитку рослин, бо приймає участь у біосинтезі та обміні важливих хімічних сполук, які виконують роль антиоксидантів. Тривалість життя убіхінону дуже коротка (від 15 до 30 год.), тому для підтримання стабільної концентрації та активних процесів дихання у клітині дана сполука постійно синтезується в організмі рослин [11].

3. *Метіонін* – незамінна амінокислота, що бере участь у процесах переметилування. Метіонін використовується на декількох рівнях в клітинному метаболізмі: як складова білка, при ініціації трансляції мРНК і як регуляторна молекула у вигляді S-аденозилметіоніну (SAM). Через важливість даної сполуки синтез, накопичення та споживання метіоніну знаходяться під суворим регуляторним контролем [12]. Сам SAM виконує ключові функції як основний донор метильної групи і як попередник метаболітів, таких як етилен, поліаміни, вітамін B<sub>1</sub>, 3-диметилсульфоніопропіонат (осмопротектор), і як джерело сірки: диметилсульфід [13].

4. *Параоксибензойна кислота* – ароматична кислота. Завдяки своїм антиоксидантним властивостям ця сполука слугує своєрідним захисним бар'єром для насіння і захищає від згубної дії бактеріальних та грибкових інфекцій. Завдяки цьому насіння має довшу життєздатність, порівняно з насінням інших рослин, які не мають у своєму складі такого «захисного бар'єру». Також встановлено, що параоксибензойна кислота здатна впливати на ряд фізіологічних процесів у рослині і навіть стимулювати ростові процеси за надходження у рослинний організм певних її концентрацій [14].

5. *Сіль MgSO<sub>4</sub>* містить у своєму складі елементи, що є невід'ємною складовою фізіологічних процесів у всіх рослинах. Макроелемент магній (Mg) бере участь у численних фізіологічних процесах під час росту та розвитку рослин, виходячи далеко за межі своєї відомої функції центрального атома

хлорофілу. Хоча у надмірних концентраціях сульфат магнію може спричинити зворотню дію на рослинний організм. Високий вміст сульфату магнію викликає ефект засолення, що в подальшому може привести до зменшення сухої маси рослини [15]. Усвідомлюючи його вплив на рослинний обмін, досить мало уваги приділяється сільськогосподарським дослідженням впливу сульфату магнію в останні десятиліття, хоча дефіцит магнію може спричинити сильне зниження врожаю та якості сільськогосподарських культур.

б. *Вимпел* – комплексний природно-синтетичний препарат контактної системної дії для обробки насіння та вегетуючих рослин, що активує вироблення аденозинтрифосфору (АТФ), тому препарат є потужним стимулятором вироблення енергії, посилює клітинне дихання, сприяє засвоєнню кисню клітинами. Завдяки цьому прискорюється швидкість споживання кисню мітохондріями рослини збільшується в десятки разів. Це призводить до прискорення всіх обмінних процесів, у тому числі підвищується енергія проростання та сила росту паростків, що дає можливість сформувати задану густоту стояння рослин [16].

### 2.3. Методики проведення досліджень

*Методики дослідження впливу метаболічно активних речовин на фізіологічні показники сої.* Дослідження фізіологічних показників сої сорту Аннушка проводилося у таких фазах розвитку сої: 1-3 трійчастих листків, цвітіння, формування бобів. Початок кожної фази росту та розвитку встановлювали за настанням їх у 10% рослин, повну – не менше ніж у 75% рослин.

Протягом досліджуваних фаз були проведені такі фізіологічні виміри:

- довжина стебла (визначали за допомогою мірної лінійки, аналізуючи 20 рослин у трьохкратній повторності) [10];

- кількість бічних коренів на головному корені (підраховували кількість бічних коренів на головному корені у 20 рослин, взятих у трьохкратній повторності) [10];
- довжина бічних коренів (визначали лінійний ріст бічних коренів за допомогою мірної лінійки, аналізуючи 20 рослин у трьохкратній повторності) [10];
- кількість бульбочок на бічних коренях (визначали підраховуючи кількість бульбочок на бічних коренях у 20 рослин, взятих у трьохкратній повторності) [10].

**Методики дослідження впливу метаболічно активних речовин на асиміляційні процеси та продуктивність сої.** Дослідження показників активності асиміляційних процесів сої проводилося з визначенням кількості листків, площі листкової поверхні, площі листкового апарату, визначення вмісту хлорофілів *a* і *b*, їх суми та визначення чистої продуктивності фотосинтезу на таких фазах онтогенезу сої: 1-3 трійчастих листка, цвітіння, формування бобів.

*Кількість листків* підраховували у 20 рослин в трьохкратній повторності.

*Площу листкової поверхні* визначали за допомогою його довжини і ширини окремого листка і перевідного коефіцієнта, який становить 0,74. При цьому площу окремої листкової пластинки розраховували за такою формулою:

$$П = ДШК,$$

де П – площа листка, см<sup>2</sup>;

Д – довжина листка, см;

Ш – ширина листка, см;

К – перевідний коефіцієнт [17].

Оскільки листок сої – складний трійчастий, то враховувалася площа листкової поверхні трьох листкових пластинок.

Визначення *площі листкового апарату* проводили методом висічок. На дослідній ділянці відбирають 10-20 типових рослин, зривали з них усе листя і зважували. Потім за допомогою ручного сверла (у вигляді металевої трубки

певного діаметра із загостреними краями) брали з цих листків по 20 висічок загальною площею не менше 10 см<sup>2</sup>. Після зважування висічок загальну листову площу у пробі визначають за формулою:

$$П = (M \times n \times K) / m,$$

де П – загальна площа листя у пробі, см<sup>2</sup>;

М – маса листя в пробі, г;

n – площа однієї висічки, см<sup>2</sup>;

К – кількість висічок, шт.;

m – маса висічок, г [17].

*Чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) визначали за певний проміжок часу за формулою:*

$$\text{ЧПФ} = (M_2 - M_1) / 0,5(П_{Л1} + П_{Л2})Д,$$

де M<sub>1</sub> і M<sub>2</sub> – маса рослин на одиниці площі на початку і наприкінці певного періоду, г;

П<sub>Л1</sub> і П<sub>Л2</sub> – площа листового апарату у ці самі періоди визначення, см<sup>2</sup>;

Д – тривалість періоду, діб [17].

*Вмісту хлорофілу a, хлорофілу b та загального вмісту хлорофілу у листі рослин визначали спектрофотометричним методом.*

Для розрахунку концентрації хлорофілу використовували спектрофотометр СФ-46. Вимірювання проводилися за довжини хвиль 654, 643 і 665 нм. Для обрахунків загального вмісту хлорофілу у листках використовували наступну формулу:

$$C_a + C_b = 25,1 E_{654},$$

де C<sub>a</sub> + C<sub>b</sub> – концентрація хлорофілів a та b;

E<sub>654</sub> – оптична густина екстракту за довжини хвилі 654 нм.

Для визначення концентрації хлорофілів a та b застосовують формули:

$$C_a = 13,7 E_{665} - 5,76 E_{643},$$

$$C_b = 25,8 E_{643} - 7,60 E_{665},$$

де C<sub>a</sub> – концентрація хлорофілу a;

C<sub>b</sub> – концентрація хлорофілу b;

$E_{665}$  – оптична густина екстракту за довжини хвилі 665 нм.

$E_{643}$  – оптична густина екстракту за довжини хвилі 643 нм.

Вміст хлорофілу у тканинах визначали в міліграмах на 1 г сирової маси за формулою:

$$V_{\text{ек}} = C_{\text{хл}}/1000 m_{\text{нав}},$$

де  $V_{\text{ек}}$  – об'єм екстракту;

$C_{\text{хл}}$  – концентрація хлорофілу;

$m_{\text{нав}}$  – маса наважки [18, 19].

Визначення показників *структури врожаю* сої проводили у кінці вересня згідно загальноприйнятої методики шляхом аналізу снопового матеріалу [10].

Аналізуючи снопові зразки визначали:

➤ висоту рослин – за допомогою мірної лінійки. При цьому стебло вимірюють від його кореневої шийки до верхньої частини рослини. Визначалась висота стебла кожної з 20-ти рослин. Після цього встановлюється середнє з трьох повторень кожного варіанту;

➤ висоту прикріплення нижніх бобів – визначали, вимірюючи відстань від кореневої шийки до місця прикріплення нижніх бобів у 20 рослин, взятих із снопового зразка. Після цього встановлюється середнє з трьох повторень кожного варіанту;

➤ кількість плодоносних вузлів на головному стеблі визначали, підраховуючи кількість плодоносних вузлів на головному стеблі у 20 рослин, взятих із снопового зразка у трьохкратній повторності;

➤ кількість бобів на рослині визначали, аналізуючи 20 рослин із снопового зразка у трьохкратній повторності;

➤ довжину бобів визначали за допомогою мірної лінійки, аналізуючи 20 рослин із снопового зразка у трьохкратній повторності;

➤ кількість насінин з рослини визначали, підраховуючи кількість насінин у бобах на тих же 20 рослинах із снопового зразка;

➤ масу насінин з 1 рослини визначали ваговим методом, зважуючи окремо насіння 20 рослин із снопового зразка у трьохкратній повторності.



Для визначення **урожайності** використовували методику авторів [10].

**Методики дослідження впливу метаболічно активних речовин на біохімічний склад насіння сої.** Дослідження показників біохімічного вмісту насіння сої проводилося з визначенням зазначених показників вмісту білка, «сирої клітковини», вмісту вільних цукрів: моно- та дисахаридів, вмісту каротиноїдів, визначення амілазної активності.

Визначення *вмісту білка* проводили методом Лоурі. Метод поєднує реакції іонів міді з пептидними зв'язками в лужних умовах (біуретовий тест) з окисненням залишків ароматичних білків. Метод Лоурі заснований на реакції  $\text{Cu}^+$ , що утворюється при окисненні пептидних зв'язків, з реактивом Фоліна-Чокальте (суміш фосфорновольфрамової кислоти і фосфорномолібденової кислоти в реакції Фоліна-Чокальте). Результатом цієї реакції є молекула інтенсивного синього кольору, відома як гетерополімолібденовий синій.

Для приготування витяжки подрібнену наважку (200 мг) зерен центрифугували з 5 мл 0,1 н розчину NaOH на 20% етиловому спирті протягом 30 хв при 3000 об/хв. Після центрифугування до осаду додавали 5 мл цього ж розчину та центрифугували 30 хв за тих же умов. Надосадові рідини, отримані після двох центрифугувань, об'єднували для визначення вмісту білка. Для цього до 1 мл витяжки додавали 5 мл 0,5 % розчину  $\text{CuSO}_4$  (суміш 1 і 2 реагентів у співвідношенні 50:1) та витримували 10 хв. Потім до суміші додавали 0,5 мл робочого розчину Фоліна і витримували 30 хв.

Для розрахунку вмісту білка в насінні сої використовували фотоколориметер за довжини хвилі 750 нм у кюветі 10 мм. Кількість білка в розчині визначали за калібрувальним графіком [20].

Визначення *вмісту «сирої клітковини»* проводили за методикою Геннеберга й Штомана. Суть методу полягає в тому, що зразок рослинної речовини подрібнюють і, за необхідності, знежирюють, обробляють слабким розчином сірчаної кислоти та піддають температурній обробці в автоклаві. Після автоклавування до проби додають розчин луку і знову піддають

температурній обробці в автоклаві. Потім пробу промивають водою, висушують і визначають масову частку сирої клітковини.

Масову частку сирої клітковини (СК) у відсотках обчислюють за формулою:

$$СК(\%) = m_2 - m_1 / m_n \times 100,$$

де  $m_n$  – маса наважки проби;

$m_1$  – маса фільтра;

$m_2$  – маса висушеного залишку разом із фільтром [21].

Визначення *вмісту вмісту вільних цукрів: моно- та дисахаридів* проводили спектрофотометричним методом, де використовувалася властивість цукрів легко розчинятися у воді. Пропонований метод заснований на зміні забарвлення розчину гліцерату міді при кип'ятінні його з витяжками цукрів. Моносахариди (глюкоза, фруктоза, мальтоза) при нагріванні в лужному середовищі відновлюють двовалентну мідь до одновалентної, яка випадає у вигляді нерозчинного осаду закису міді. Внаслідок хімічної реакції вихідний розчин стає світлішим, що легко реєструється спектрофотометрично. Вихідну водну витяжку, що містить крім цукрів, інші відновлювальні речовини (білки та ін.), очищають за допомогою осаджувачів. Для визначення загальної кількості моно- та дисахаридів водні витяжки попередньо кип'ятять із соляною кислотою, що призводить до гідролізу дисахаридів до моносахаридів, здатних з високою ефективністю відновлювати двовалентну мідь до закису міді. Таким чином, після гідролізу можна визначити сумарну кількість вільних цукрів у рослині і, відповідно, ендогенний вміст дисахаридів.

Для розрахунку вмісту моносахаридів використовуємо формулу:

$$M = (X_i \times V \times 100) : N \times V_1,$$

Де  $M$  – кількість моносахаридів, % від сирої маси навішування;

$X_i$  – вміст моносахаридів у пробі (0,5 мл), знайдений з калібрувальної кривої, мг;

100 – коефіцієнт переведення значення у відсотки;

$V$  – обсяг витяжки, отриманої з навішування, мл;

$V_1$  – обсяг витяжки, взятої для аналізу, мл (0,5 мл);

$H$  – сира маса наважки, мг.

Для розрахунку вмісту дисахаридів використовуємо формулу:

$$D = 0,95 \times (S - M),$$

де  $D$  – кількість дисахаридів, % від сирової маси наважки;

$S$  – сумарна кількість моно- та дисахаридів, % в одиниці маси наважки;

$M$  – вміст моносахаридів, % в одиниці маси наважки;

0,95 – коефіцієнт, що використовується для розрахунку змісту дисахаридів, виходячи з кількості моносахаридів та суми моно- та дисахаридів.

Визначення вмісту *каротиноїдів* здійснювали спектрофотометричним методом. Для виділення пігментів з насіння сої використовували етанол. Для розрахунку концентрації каротиноїдів у витяжці визначали її оптичну густину спектрофотометрично (спектрофотометр СФ-46) за довжини хвилі 450 нм. Розчином порівняння був 96 % етанол [18, 19].

Для визначення *активності амілаз* використовували йодометричний метод, тобто визначення кількості нерозщепленого ферментом крохмалю після обробки розчином йоду.

Кількісне визначення редукуючих цукрів виконували за методом, що заснований на здатності вільних функціональних груп (альдегідної або кетонної) цих цукрів у лужному середовищі відновлювати окисну мідь у закис міді. Для екстракції вільних цукрів 1 г зерна гомогенізували з водою, нагрітою до 70°C, у пропорції 1:10 (г:мл) протягом 3-5 хв. Отриману суспензію проціджували, відкидали осад і додавали фіксований об'єм осаджувача до утворення прозорої надосадової рідини, що містить вільні цукри. Для визначення кількості моносахаридів відбирали 0,5 мл прозорої надосадової рідини, додавали 7,5 мл гліцерату міді, перемішували і кип'ятили на водяній бані рівно 6 хв. Потім пробірки з екстрактом охолоджували, поміщаючи в холодильник на 12-24 години. Після чого вимірювали оптичну щільність прозорої рідини при довжині хвилі 630 нм.

Для визначення загальної кількості моно- і дисахаридів відбирали 0,25 мл прозорої витяжки, додавали 0,25 мл 1% HCl, перемішували і ставили на 15 хв у киплячу водяну баню для гідролізу дисахаридів до моносахаридів. Потім додавали 7,5 мл гліцерату міді, перемішували і кип'ятили суміш на водяній бані рівно 6 хв. Після чого пробірки з отриманим гідролізатом охолоджували при кімнатній температурі та поміщали в холодильник на 12-24 години для повного осадження закису міді. Оптичну густина прозорого надосаду вимірювали при довжині хвилі 630 нм. Потім визначають вміст цукрів за калібрувальним графіком [22].

Визначення *вмісту крохмалю* в зерні сої проводили за методом [23], заснованим на гідролізі крохмалю при нагріванні рослинної тканини в 80%-ному розчині азотнокислого кальцію і осадженні його з отриманого розчину йодом. У присутності йодистого калію та азотнокислого кальцію йод повністю осаджує крохмаль у вигляді темно-синьої сполуки, що містить від 14 до 16% йоду. Після центрифугування і промивання осад йодного крохмалю розчиняють у гідроокисі натрію, розбавляють дистильованою водою та проводять реакцію з йодом у кислому середовищі. Наважку зерна (1 г) розтирали в 5 мл 80% азотнокислого кальцію. Отриманий гомогенат переносили у конічні колби на 100 мл, нагрівали до кипіння та кип'ятили 3 хв. Далі доливали 20 мл дистильованої води та центрифугували при 2000-3000 об/хв протягом 2-3 хв. Надосадову рідину зливали окремо в колбу. Отриманий осад промивали гарячою дистильованою водою (5-10 мл), ретельно ресуспендуючи осад, та центрифугували при 2000-3000 об/хв протягом 2-3 хв. Отриману надосадову рідину доливали до попередньої. Повторювали промивання осаду 2-3 рази. Колбу з надосадовою рідиною доводили дистильованою водою до мітки (50 мл). До 5 мл отриманого розчину додавали 2 мл 0,5% розчину йоду, перемішували і залишали на 15 хв. Далі центрифугували при 2000-3000 об/хв протягом 2-3 хв, прозору надосадову рідину відкидали, а осад крохмалю промивали 2 рази 5% розчином азотнокислого кальцію, що містить 0,01% йоду. До промитого осаду додавали 10 мл 0,1 н розчину NaOH та інкубували на

киплячій водяній бані 5 хв. Розчин переносили у мірну колбу на 50 мл, додавали 0,3 мл 0,5%-го розчину йоду, доливали дистильованою водою приблизно до 40 мл, додавали 2 мл 1 н розчину НСІ, доводили водою до мітки (50 мл). Оптичну щільність отриманого синього розчину вимірюють колориметрично при 590 нм, потім визначають вміст крохмалю за калібрувальним графіком.

#### 2.4. Статистична обробка результатів

Статистична обробка результатів здійснювалась за допомогою програми Excel 16.0 для Windows. Для кількісних показників розраховували середнє арифметичне (M) і стандартну помилку середнього (m), середнє квадратичне відхилення, для якісних ознак – відносні (в %) частоти. Статистична оцінка проводилась за t – критерієм Стьюдента при рівні значимості  $p \leq 0,05$ .

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 2:

1. Практикум з ґрунтознавства: Навчальний посібник / За редакцією Д. Г. Тихоненка, В. В. Дегтярьова. Вільниця: Нова книга, 2008. 448 с.
2. Петриченко В. Ф. Наукові основи сталого соссяння в Україні. *Корми і кормовиробництво*. Вінниця, 2011. Вип. 69. С. 3-10.
3. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. В. Соя: монографія. Вінниця: Діло, 2016. 400 с.
4. Лещенко А. К. Соя / А. К. Лещенко В. И. Сичкаръ, В. Г. Михайлов, В. Ф. Марьюшкин. Київ: Наукова думка, 1987. 256 с.
5. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво. - Київ: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
6. Лещенко А. К. Культура сої. Київ: Наук. думка, 1978. 235 с.
7. Рослинництво: лабораторно-практичні заняття (Зернові культури): навчальний посібник / Г. К. Фурсова, Д. І. Фурсов, В. В. Сергеев ; під ред. Г. К. Фурсової. Харків: ТО Ексклюзив, 2004. 380 с.

8. Рослинництво: лаб.-практ. заняття: навч. посіб. для вищ. агр. закл. освіти II–IV рівнів акредитації з напрямку «Аг- 385 рономія» / Д. М. Алімов, М. А. Білоножко, М. А. Бобро та ін.; під ред. М. А. Бобро. Київ: Урожай, 2001. 392 с.
9. Коротич П. Надання соя й новий погляд на сівозміни. Пропозиція, 2006. № 1. С. 72-75.
10. Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії / В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, В. П. Опришко, П. В. Костогриз. Київ: Дія, 2005. 288 с.
11. Mirza H., Kamrun N., Masayuki F., Role of Tocopherol (Vitamin E) in Plants: Abiotic Stress Tolerance and Beyond. A Sustainable Approach, 2014. Vol. 2. p. 267-289.
12. Amir R., Nacham Y., Galili G. Cystathionine  $\gamma$ -synthase and threonine synthase operate in concert to regulate carbon flow towards methionine in plants. *Trends in Plant Science*, 2002. №7. P. 153–156.
13. Matthews B. F. Lysine, Threonine, and Methionine Biosynthesis / In: Singh B. K., Ed., *Plant Amino Acids: Biochemistry and Biotechnology*, Marcel Dekker Inc New York, 1999. P. 205-225.
14. Jeong-Yong Cho, Jae-Hak Moon, Ki-Young Seong, Keun-Hyung Park. Antimicrobial Activity of 4-Hydroxybenzoic Acid and trans 4-Hydroxycinnamic Acid Isolated and Identified from Rice Hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. №62(11). P. 2273-2276.
15. Abid M. et al. Effect of magnesium sulphate on the first stage of development of Lucerne. *Options Méditerranéennes, Series A*. №79. CIHEAM, FAO, ENMP, SPPF, 2008. p. 405-408.
16. Регулятор росту рослин Вимпел. *SuperAgronom*. URL: <https://superagronom.com/pesticidi-regulyatori-rostu/vimpel-id9181> (дата звернення: 11.06.2021).
17. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрономічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. 320 с.

18. Горяча Л. М. Визначення кількісного вмісту хлорофілів у траві амброзії полинолистої / Л. М. Горяча, І. О. Журавель. *Технологічні та біофармацевтичні аспекти створення лікарських препаратів різної направленості дії: матеріали II міжнар. наук.–практ. інтернет — конф., м. Харків, 12–13 листоп. 2015 р.* Харків: Вид-во НФаУ, 2015. С. 92.
19. Колісник Ю. С. Пігменти трави грициків звичайних (*Capsella bursa-pastoris*) / Ю. С. Колісник, В. С. Кисличенко, В. Ю. Кузнецова. *Фармацевтичний журнал*. 2013. № 1. С. 75–77.
20. Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., Randall R. J. "Protein measurement with the Folin phenol reagent". *Journal of Biological Chemistry*, 1951. №193(1) doi:10.1016/S0021-9258(19)52451-6.
21. Henneberg W., Stohmann F. Beitrage zur Begrundung einer Rationellen Fütterung der Wiederkauer. 1860, Vol. I, II, Schwetschke u. Sohn, Brunswick.
22. Antonenko K., Duma M., Kreicberg V., Kunkulberga D. The influence of microelements selenium and cooper on the rye malt amylase activity and flour technological properties. *Agronomy Research*, 2016. №14(S2). P. 1261-1270.
23. Dien D. C., Mochizuki T., Yamakawa T. Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Plant Prod. Sci.* 2019. №22. P. 530–545.

### **РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ СПОЛУКАМИ НА ФІЗІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ, АСИМІЛЯЦІЙНІ ПРОЦЕСИ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ**

#### **3.1. Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на окремі фізіологічні показники сої сорту Аннушка**

Коренева система сої відіграє важливу роль у мінеральному живленні рослини. Завдяки добре розвиненій кореневій системі, соя може засвоювати поживні елементи з глибших шарів ґрунту, а також ті, що знаходяться у важкодоступних формах і практично не засвоюються іншими зерновими і бобовими культурами.

Одна з найважливіших властивостей кореня забезпечується його адсорбуючою (поглинальною) поверхнею, яка здатна засвоювати поживні речовини, що містяться у ґрунті та знаходяться у безпосередньому контакті з ним. Така властивість кореня істотно зростає завдяки утворенню корневих волосків [1].

Нами було досліджено вплив комбінацій метаболічно активних речовин на формування кореневої системи рослин сої, а саме на кількість бічних коренів та їх довжину.

Комбінації метаболічно активних речовин мали позитивний вплив на формування кореневої системи сої протягом усіх фаз росту та розвитку рослин в 2019 та 2021 роках. 2020 рік відрізнявся недостатньою кількістю опадів і тому був несприятливим для росту рослин сої. Це вплинуло на зниження фактично усіх досліджуваних показників у цей рік дослідження (табл. 3.1) [2].

Так, у період проведення досліджень найменшу кількість бічних коренів протягом усіх фаз вегетації було відмічено в контрольному варіанті. Використання комбінації вітамін Е+убіхінон-10 сприяло утворенню найбільшої кількості бічних коренів протягом усього дослідження (рис. 3.1). У фазі 1-3 трійчастих листків вище зазначена комбінація сприяла утворенню в середньому



14,2 шт. коренів, що перевищувало показники контролю на 99,16 % відповідно (табл. 3.1).

У фазі цвітіння передпосівна обробка вітаміном Е у поєднанні з убіхіноном-10 також сприяла покращенню формування кореневої системи. За результатами трирічних досліджень на головному корені рослин цього варіанту було сформовано в середньому 18,95 коренів, що на 70,11 % та 11,76 % перевищувало показники контролю та Вимпелу (табл. 3.1).

Використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10 для передпосівної обробки насіння сої позитивно вплинуло на формування бічних коренів протягом усіх фаз онтогенезу. Так, у фазу досягання плодів кількість бічних коренів на рослинах сої, що виростили з насіння, що було оброблене зазначеною комбінацією, складала 25,29 шт., що перевищило показники контролю на 39,80 % відповідно.

Стимуляція процесів утворення бічних коренів на головному корені спостерігалася й за використання комбінацій вітамін Е + метіонін + ПОВК +  $MgSO_4$  та вітамін Е + метіонін + ПОВК. Так, ці комбінації ефективно вплинули на показники кількості бічних коренів у фазах 1-3 трійчастих листки та цвітіння (табл. 3.1). За результатами трирічних досліджень у фазі 1-3 трійчастих листка за використання вище зазначених комбінацій вдалося збільшити показники кількості бічних коренів на 71,69 % та 62,69 % порівняно з показниками контролю. За використання комбінацій вітамін Е + метіонін + ПОВК +  $MgSO_4$  та вітамін Е + метіонін + ПОВК у фазі цвітіння було отримано досліджуваний показник із перевищенням значень у контролі на 54,58 % та 43,45 % відповідно. Також слід зазначити, що використання комбінації вітамін Е + метіонін + ПОВК +  $MgSO_4$  було ефективним протягом всіх фаз онтогенезу і показники цієї комбінації були наближені до показників варіанту застосування регулятора росту Вимпел (рис. 3.1).

Таблиця 3.1.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел на кількість бічних коренів на головному корені рослин сої сорту Аннушка за 2019-2021 рр.**

Фази росту та розвитку сої	Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів					
		Контроль	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОБК	Вимпел	
1	2	3	4	5	6	7	
1-3 трійчастих листка	2019 р.	7,40 ± 1,56	14,90 ± 1,81*	12,30 ± 1,51*	11,90 ± 1,18*	14,40 ± 0,72*	
	2020 р.	6,90 ± 0,92	11,90 ± 1,02*	10,88 ± 0,93*	10,30 ± 1,01*	13,30 ± 0,92*	
	2021 р.	7,10 ± 0,81	15,80 ± 0,72*	13,50 ± 1,01*	12,60 ± 0,72*	14,60 ± 0,72*	
	середнє	шт	7,13 ± 0,72	14,20 ± 0,72*	12,20 ± 0,62*	11,60 ± 0,51*	14,10 ± 0,64*
		% до контролю	100,00	199,16	171,11	162,69	197,75
Цвігіння	2019 р.	8,40 ± 1,56	19,50 ± 1,81*	18,00 ± 1,51*	16,50* ± 1,18*	18,18 ± 0,93*	
	2020 р.	14,20 ± 1,15	18,00 ± 1,0*	16,00 ± 1,18*	14,50 ± 1,18*	16,75 ± 1,2*	
	2021 р.	10,82 ± 0,73	19,36 ± 0,61*	17,66 ± 0,52*	16,96 ± 0,51*	18,00 ± 0,56*	
	середнє	шт	11,14 ± 0,52	18,95 ± 0,51*	17,22 ± 0,70*	15,98 ± 0,71*	17,64 ± 0,71*
		% до контролю	100,00	170,11	154,58	143,45	158,35
Формування бобів	2019 р.	18,20 ± 0,62	25,90 ± 0,94*	20,30 ± 0,73*	19,30 ± 0,84*	21,44 ± 0,61*	
	2020 р.	17,20 ± 0,82	22,50 ± 0,62*	19,20 ± 0,82*	18,30 ± 0,63*	22,7 ± 0,73*	

## Продовження таблиці 3.1.

1	2	3	4	5	6	7
	2021 р.	18,87 ± 0,72	27,49 ± 0,51*	21,83 ± 0,70*	21,50 ± 0,56*	26,8 ± 0,61*
середнє	шт	18,09 ± 0,65	25,29 ± 0,76*	20,44 ± 0,65*	19,7 ± 0,50*	23,6 ± 0,53*
	% до контролю	100,00	139,80	124,05	108,89	130,46

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

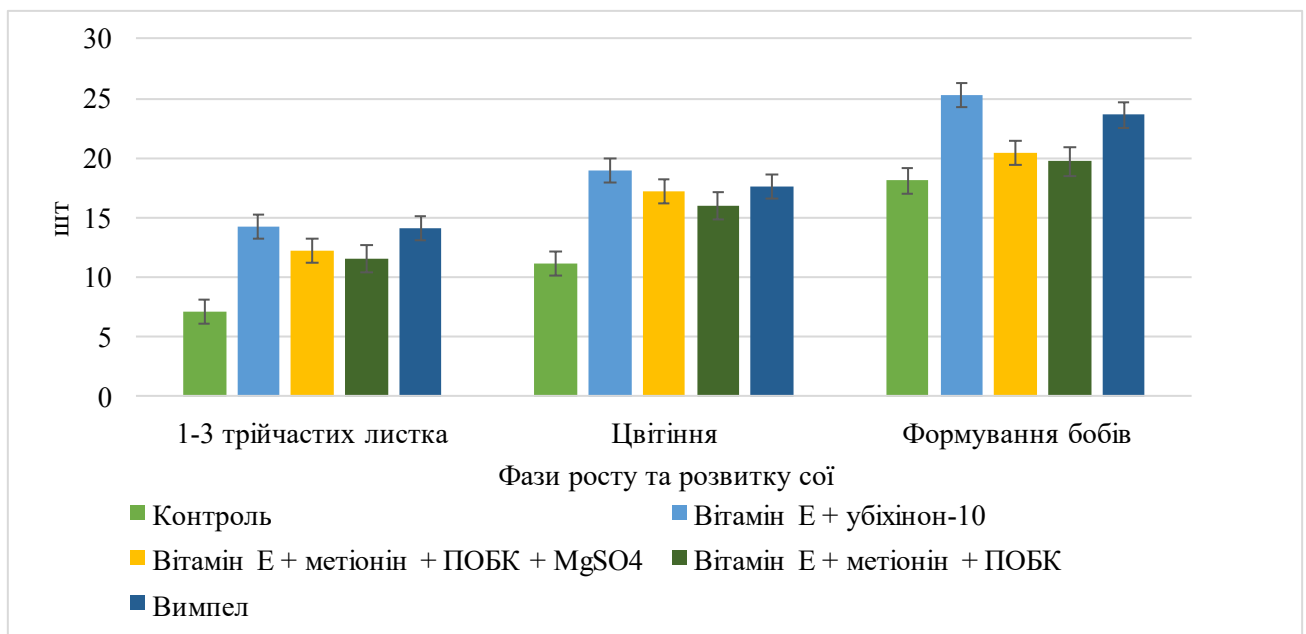


Рис. 3.1. Динаміка наростання бічних коренів на головному корені рослин сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятором росту Вимпел (середнє за 2019-2021 рр.)

Одна з найбільш унікальних особливостей сої – здатність у симбіозі з азотфіксуючими бульбочковими бактеріями засвоювати азот повітря, завдяки чому у біологічний кругообіг вводиться величезна кількість атмосферного азоту [3, 4]. За сприятливих умов соя може біологічно фіксувати до 180 кг/га та більше азоту, який на відміну від азоту мінеральних добрив, не забруднює навколишнє середовища та краще засвоюється іншими рослинами. Саме це робить сою цінним попередником для наступних культур сівозміни [5].

Науковцями з інституту фізіології рослин і генетики НАН України з'ясовано, що ефективність симбіозу підвищується за рахунок утворення більшої кількості бічних коренів [6].

Результати дослідження кореневої системи сої сорту Аннушка показали, що передпосівна обробка насіння метаболічно активними сполуками мала вплив і на лінійний ріст бічних коренів (рис. 3.2). Так, у фазі 1-3 трійчастих листка середня довжина бічних коренів становила 2,70 см. Використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10 дало можливість збільшити довжину бічних коренів до 1,90 см (на 70,37 % перевищуючи показники контролю та на 20 % показники Вимпелу). Передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  збільшила показники лінійного росту бічних коренів на 33,33 % порівняно з показниками контролю (табл. 3.2) [2].

У фазу цвітіння було відмічено подальше збільшення довжини бічних коренів сої за рахунок впливу передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин. Комбінації вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  виявились більш ефективними у порівнянні з іншими варіантами дослідження і дали можливість збільшити лінійний ріст бічних коренів на 4,27 і 4,47 см, що перевищило показники контролю на 46,13 % та 44,06 % відповідно (табл. 3.2).

У фазі дозрівання бобів, найдовші бічні корені мали рослини сої, які виростили з насіння, що зазнало передпосівної обробки комбінаціями речовин: вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  (табл. 3.2). Також слід зазначити, що вище зазначені комбінації виявили вищу ефективність в порівнянні з синтетичним регулятором росту Вимпел (рис. 3.2).

Такий вплив зазначених комбінацій метаболічно активних сполук можна пояснити тим, що вітамін Е та убіхінон-10 залучені до біоенергетичних процесів, а ПОБК є природною фенольною сполукою, яка бере участь у багатьох ланках рослинного метаболізму (виконує роль антиоксиданта та прооксиданта, індукує альтернативну оксидазу і регулює активність комплексу антиоксидантних ферментів). Також, ПОБК виконує в клітині функцію

сигнальних молекул при формуванні захисних реакцій, результатом чого є набуття системної стійкості рослин до різних чинників довкілля [7]. Складові солі магній сульфату відіграють важливу роль у метаболічних процесах клітини. Магній є коферментом, що входить до складу ферментів, які регулюють процес синтезу білків. Водночас сульфур входить до складу сірковмісних амінокислот – метіоніну, цистину, цистеїну, вітамінів (тіаміну, біотину), ферментів (дегідрогеназ та ін.) [8]. Таким чином ця комбінація метаболічно активних речовин за певних умов росту і розвитку рослини може виконувати функцію стимулятора росту або індуктора захисних реакцій.

Комбінація вітамін Е + метіонін + ПОВБ була малоефективною в порівнянні з іншими комбінаціями, а у фазі цвітіння показала нижчі результати від показників контролю (табл. 3.2).

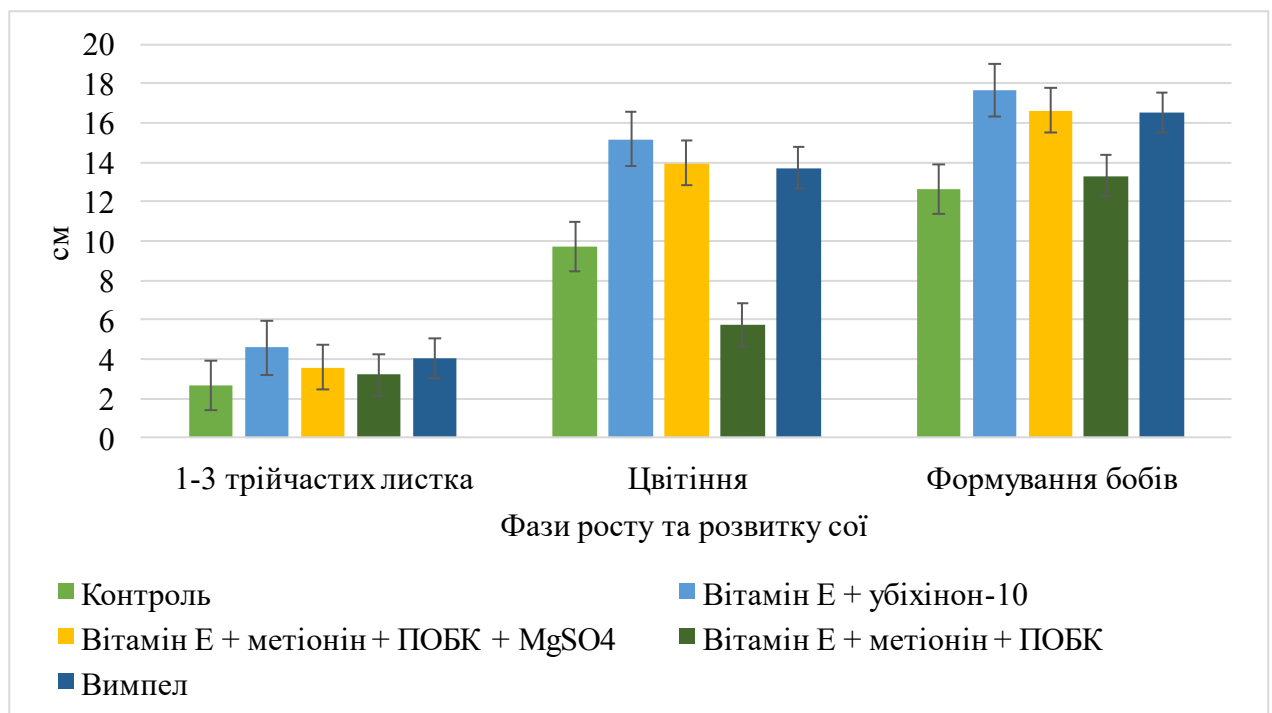


Рис. 3.2. Динаміка наростання довжини бічних коренів на головному корені рослин сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятором росту Вимпел (середнє за 2019-2021 рр.)

Таблиця 3.2.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел на лінійний ріст бічних коренів рослин сої сорту Аннушка за 2019-2021 рр.**

Фази росту та розвитку сої	Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів					
		Контроль	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОВК	Вимпел	
1	2	3	4	5	6	7	
1-3 трійчастих листка	2019 р.	3,60 ± 0,45	5,60 ± 0,51*	4,20 ± 0,47*	3,90 ± 0,45	4,40 ± 0,47*	
	2020 р.	1,60 ± 0,15	2,60 ± 0,25*	2,10 ± 0,20*	1,90 ± 0,18	2,70 ± 0,3*	
	2021 р.	3,10 ± 0,36	5,80 ± 0,63*	4,50 ± 0,45*	4,10 ± 0,39*	5,10 ± 0,5	
	середнє	см	2,70 ± 0,35	4,60 ± 0,5*	3,60 ± 0,45*	3,20 ± 0,4	4,06 ± 0,48*
		% до контролю	100,00	170,37	133,33	118,52	150,37
Цвітіння	2019 р.	13,76 ± 1,76	19,00 ± 3,86*	19,50 ± 1,84*	6,40 ± 1,51	18,20 ± 1,23*	
	2020 р.	2,52 ± 0,23	3,58 ± 0,18*	3,40 ± 0,18*	2,60 ± 0,15	5,11 ± 0,64*	
	2021 р.	12,80 ± 0,78	19,92 ± 0,56*	18,89 ± 0,72*	8,23 ± 0,81	17,9 ± 0,6*	
	середнє	см	9,69 ± 0,52	14,16* ± 0,51	13,96* ± 0,72	5,74 ± 0,71	13,73 ± 0,71*
		% до контролю	100	146,13	144,06	59,24	141,69

Продовження таблиці 3.2.

1	2	3	4	5	6	7
Формування бобів	2019 р.	15,5 ± 1,32	20,0 ± 1,61*	19,90 ± 1,06*	16,24 ± 1,17	19,67 ± 0,94*
	2020 р.	7,50 ± 1,15	12,50 ± 1,3*	10,20 ± 1,17*	8,20 ± 1,13	9,80 ± 1,0*
	2021 р.	14,87 ± 1,27	20,49 ± 1,15*	19,83 ± 1,07*	15,50 ± 1,2	20,07 ± 1,06*
	середнє	см	12,62 ± 1,26	17,66 ± 1,37*	16,64 ± 1,15*	13,31 ± 1,07
	% до контролю	100,00	139,93	131,64	105,46	130,82

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ )

Рослини сої вступають у симбіотичні відносини з бульбочковими бактеріями, що здатні засвоювати молекулярний азот з повітря, трансформуючи його в амонійну форму та постачати його рослинам в обмін на продукти фотосинтезу [9]. Проте у формуванні симбіотичних відносин між ризобіями та рослинами важливу роль відіграють умови середовища та особливості технологій вирощування. Тому, ми вивчали вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на формування симбіотичного апарату рослин сої сорту Аннушка.

Наші дослідження показали, що за несприятливих умов (заморозки після висівання насіння, недостатня кількість вологи під час вегетаційного періоду у 2020 році) формування симбіотичного апарату було поганим, а саме, майже в усіх варіантах досліджу, крім Вимпелу, не було відмічено азотофіксуючих бульбочок на коренях (табл. 3.3).

Передпосівна обробка насіння вітаміном Е у поєднанні з убіхіноном-10 виявила найбільший ефект у порівнянні з іншими комбінаціями протягом досліджуваного періоду. Зазначена комбінація показала найвищий результат у фазі 1-3 трійчастих листка і перевищила показники контролю за кількістю

утворених бульбочок на бічних коренях на 98,86 %. У фазах цвітіння та дозрівання плодів вище зазначена комбінація також мала позитивний ефект і сприяла збільшенню показників кількості азотофіксуючих бульбочок на бічних коренях на 52,07 % та 55,12 % відповідно до показників у контролі (табл. 3.3).

Високу ефективність, щодо стимуляції утворення бульбочок на бічних коренях виявила композиція вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub>. У фазі 1-3 трійчастих листка передпосівна обробка насіння сої зазначеною комбінацією сприяла утворенню в середньому 4,6 бульбочок на бічних коренях сої, що на 74,90 % перевищило показники контролю. У фазах цвітіння та дозрівання плодів досліджувана комбінація дала можливість збільшити показники контролю на 23,64 % і 35,43 % відповідно (табл. 3.3).

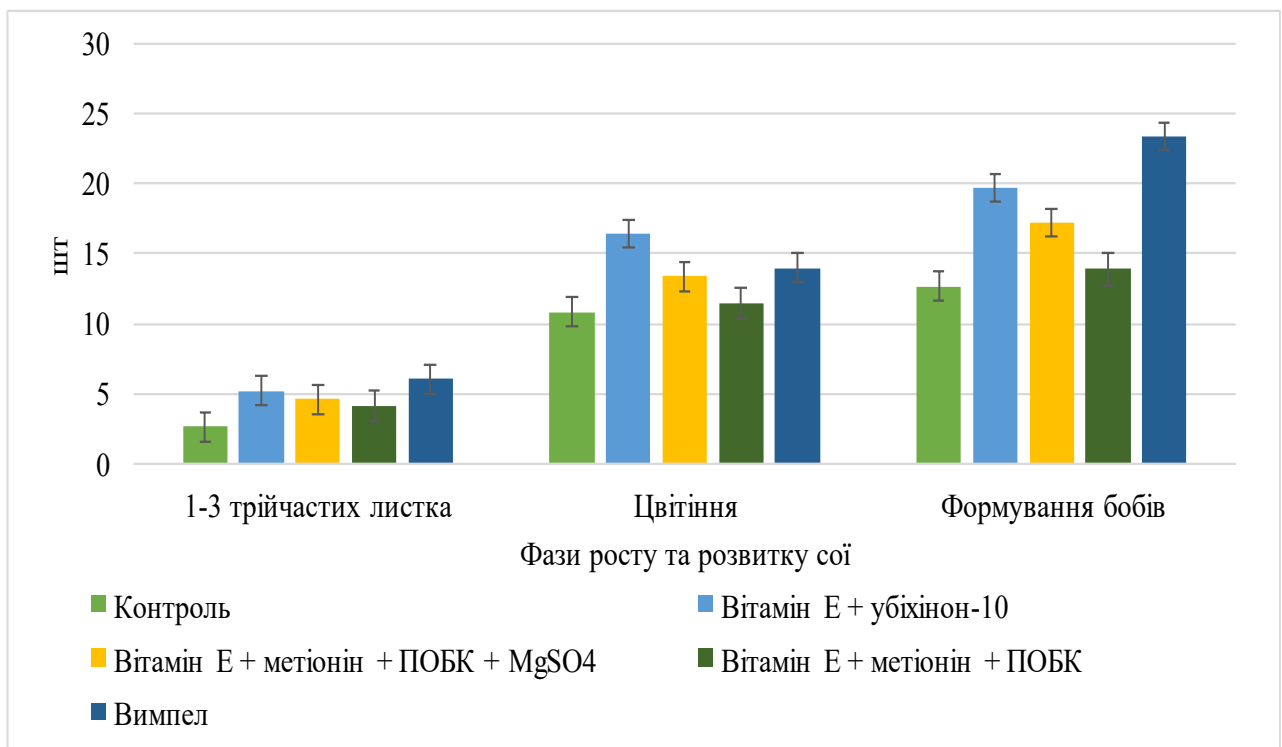


Рис. 3.3. Динаміка наростання формування азотофіксуючих бульбочок на головному корені рослин сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятором росту Вимпелу (середнє за 2019-2021 рр.)



Таблиця 3.3.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел на кількість азотофіксуючих бульбочок на бічних коренях сої сорту Аннушка за 2019-2021 рр.**

Фази росту та розвитку сої	Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів					
		Контроль	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОВК	Вимпел	
1	2	3	4	5	6	7	
1-3 трійчастих листка	2019 р.	3,70 ± 0,41	7,60 ± 0,63*	4,20 ± 0,45*	3,90 ± 0,4	7,40 ± 0,59*	
	2020 р.	0	0	0	0	2,40 ± 0,3*	
	2021 р.	4,20 ± 0,4	8,10 ± 0,72*	5,00 ± 0,51*	4,30 ± 0,4	8,30 ± 0,73*	
	середнє	шт	2,63 ± 0,3	5,23 ± 0,48*	4,60 ± 0,43*	4,10 ± 0,39*	6,03 ± 0,57*
		% до контролю	100,00	198,86	174,90	155,89	229,27
Цвітіння	2019 р.	6,37 ± 1,16	15,90 ± 1,26*	12,80 ± 1,18*	10,60 ± 1,15*	16,98 ± 1,03*	
	2020 р.	0	0	0	0	7,80 ± 1,12*	
	2021 р.	8,90 ± 0,9	17,02 ± 1,06*	13,98 ± 1,27*	12,30 ± 1,08*	17,10 ± 1,16*	
	середнє	шт	10,83 ± 1,15	16,47 ± 1,25*	13,39 ± 1,17*	11,46 ± 1,07*	14,0 ± 1,31*
		% до контролю	100,00	152,07	123,64	105,82	129,27

Продовження таблиці 3.3.

1	2	3	4	5	6	7
Дозрівання плодів	2019 р.	16,50 ± 1,32	26,10 ± 1,61*	22,90 ± 1,06*	18,80 ± 1,17*	27,57 ± 0,94*
	2020 р.	4,50 ± 1,22	7,10 ± 1,31*	5,25 ± 1,19*	4,90 ± 1,2	15,70 ± 1,1*
	2021 р.	17,10 ± 1,17	25,80 ± 1,25 <sub>м</sub>	23,40 ± 1,13*	17,90 ± 1,17	26,90 ± 1,1*
	середнє	шт	12,70 ± 1,06	19,70 ± 1,3*	17,20 ± 1,1*	13,90 ± 1,12*
% до контролю		100,00	155,12	135,43	109,45	184,17

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ )

Висота рослин є важливою морфологічною ознакою, від якої значною мірою, залежить рівень розкриття генетичного потенціалу та продуктивність посівів цієї культури. Висота рослин має важливе значення у технології вирощування сучасних сортів з метою їх механічного збирання. Разом з тим вона визначає архітекtonіку рослин, їх стійкість до вилягання [10, 11].

Ріст рослин сої у висоту починається від фази повних сходів і закінчується цвітінням верхівкового суцвіття [12]. Різниця у висоті стебла впливає на вертикальну структуру посівів, їх фітосанітарний стан, визначає ефективність фотосинтезу нижніх листків [13]. Тому, нами було досліджено вплив метаболічно активних речовин на показник довжини стебла рослин сої сорту Аннушка протягом усіх фаз росту та розвитку рослин сої.

За результатами досліджень було встановлено, що використання комбінацій метаболічно активних речовин дало помітний вплив на динаміку росту стебла рослин (рис. 3.4) [2]. Уже починаючи з фази 1-3 трійчастих листка на ділянках з використанням комбінації вітаміну Е та убіхінону-10 вдалося досягнути найбільших результатів за показником довжини стебла (табл. 3.4). Так, у середньому за результатами трирічних досліджень ця комбінація сприяла

наростанню довжини стебла до 16,13 см, перевищуючи показники контролю та Вимпелу на 42,15% та 2,84 % відповідно.

Використання комбінацій вітамін Е + метіонін + ПОПБ + MgSO<sub>4</sub> та вітамін Е + метіонін + ПОБК також сприяло збільшенню показника довжини стебла у фазі 1-3 трійчастих листка і в середньому дали можливість збільшити цей показник на 22,32 і 22,56 % у порівнянні з показниками контролю (табл. 3.4).

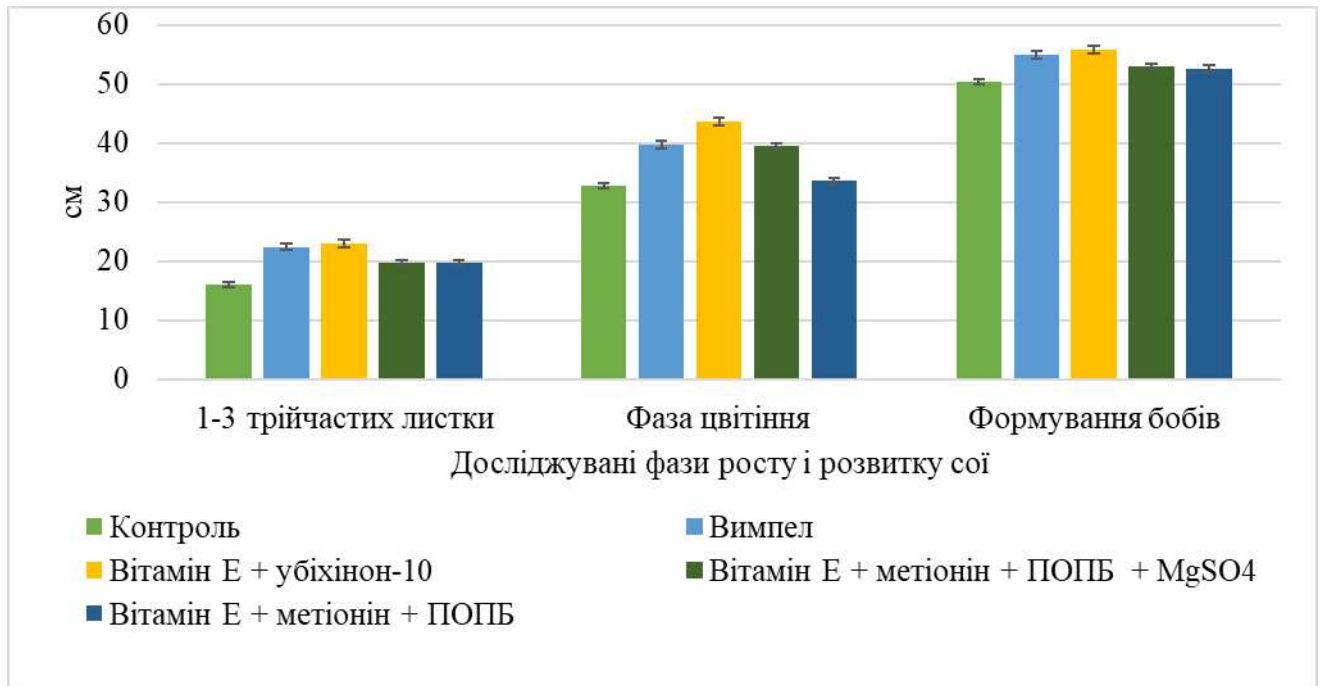


Рис. 3.4. Динаміка збільшення довжини стебла рослин сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятором росту Вимпел (середнє за 2019-2021 рр.).

Таблиця 3.4.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел на довжину стебла сої сорту Аннушка в фазі 1-3 трійчастих листка**

Варіант досліджу	2019 р.	2020 р.	2021 р.	Середнє	
				см	% до контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль	16,91 ± 0,57	14,90 ± 0,45	16,57 ± 0,48	16,13 ± 0,46	100,00

## Продовження таблиці 3.4.

1	2	3	4	5	6
Вимпел	22,48 ± 0,55*	21,20 ± 0,47*	23,75 ± 0,51*	22,47 ± 0,6*	139,31
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	20,55 ± 0,48*	17,90 ± 0,47*	20,75 ± 0,39*	19,73 ± 0,42*	122,32
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	21,09 ± 0,58*	17,00 ± 0,57*	20,64 ± 0,46*	19,77* ± 0,51*	122,56

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (р < 0,05)

У фазі цвітіння ми спостерігали подальшу динаміку наростання довжини стебла рослин сої (рис. 3.5). Так, у контролі довжина стебла під час досліджуваної фази становила 32,73 см (табл. 3.5). Комбінація вітамін Е + убихінон-10 мала найбільший вплив на показник довжини стебла в фазі цвітіння і в середньому сприяла збільшенню його до 10,95 см, перевищуючи показник контролю на 33,45 %.

Використання комбінації вітамін Е + ПОБК + метіонін + MgSO<sub>4</sub> сприяло збільшенню цього показника на 13,42 см, перевищивши показники контролю на 20,62 % (табл. 3.5).

Показники довжини стебла сої у досліджуваних фазах за передпосівної обробки насіння комбінацією речовин вітамін Е + метіонін + ПОБК майже не відрізнялися від значень у контролі.

Таблиця 3.5.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел на довжину стебла сої сорту Аннушка у фазі цвітіння**

Варіант досліджу	2019 р.	2020 р.	2021 р.	Середнє	
				см	% до контролю
1	2	3	4	5	6

Продовження таблиці 3.5.

1	2	3	4	5	6
Контроль	33,83 ± 1,30	28,60 ± 1,19	35,77 ± 1,1	32,73 ± 1,21	100,00
Вимпел	42,10 ± 1,17*	35,55 ± 1,2*	41,70 ± 1,1*	39,78 ± 1,17*	121,53
Вітамін Е + убіхінон-10	45,66 ± 1,41*	40,95 ± 1,2*	44,43 ± 1,13*	43,68 ± 1,2*	133,45
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	40,13 ± 1,64*	38,91 ± 1,5*	39,41 ± 1,36*	39,48 ± 1,43*	120,62
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	35,36 ± 2,12*	28,74 ± 0,94*	36,57 ± 1,43*	33,56 ± 1,56*	102,54

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ )

У фазі формування бобів усі рослини на досліджуваних ділянках досягли максимальної довжини стебла (рис. 3.6), але як і у попередніх фазах найвищі показники були зафіксовані за використання вітаміну Е в поєднанні з убіхіноном-10. Показник довжини стебла, за використання вище зазначеної комбінації становив в середньому 55,76 см, що на 10,72 % більше від показників у контролі (табл. 3.6). Комбінації вітамін Е + метіонін + ПОБК та вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub> у фазі дозрівання бобів показали значно нижчі результати у порівнянні з іншими фазами. У середньому за результатами трирічних досліджень вище зазначені комбінації сприяли збільшенню показника довжини стебла рослин сої на 2,32-4,40 см (табл. 3.6).

Таблиця 3.6.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел на довжину стебла сої сорту Аннушка у фазі формування бобів**

Варіант досліджу	2019 р.	2020 р.	2021 р.	Середнє	
				см	% до контролю
Контроль	48,40 ± 1,17	51,20 ± 1,14	51,50 ± 1,02	50,36 ± 1,15	100,00
Вимпел	54,90 ± 1,17*	54,40 ± 1,14*	55,60 ± 1,09*	54,96 ± 1,06*	109,13
Вітамін Е + убіхінон-10	56,90 ± 1,58*	55,90 ± 1,29*	54,50 ± 1,15*	55,76 ± 1,15*	110,72
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	52,92 ± 1,79*	51,93 ± 1,32*	54,40 ± 1,43*	53,08 ± 1,24*	105,40
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	53,04 ± 1,45	51,90 ± 1,04	53,10 ± 1,39	52,68 ± 1,18	104,61

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (р < 0,05)

Аналізуючи динаміку збільшення маси сирової речовини надземної та підземної частин рослини слід відмітити, що найвищі результати протягом всіх досліджуваних фаз було досягнуто за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10. Так, в фазі 1-3 трійчастих листка за використання вище зазначеної комбінації маса сирової речовини надземної та підземної частин рослини перевищила показники контролю на 127,65 % та 111,43 % відповідно. У фазі дозрівання бобів за рахунок передпосівної обробки вище зазначеною комбінацією вдалося збільшити досліджувані показники надземної та підземної частин рослини сої в середньому на 93,27 % та 84,06 % порівняно з показниками контролю. Крім того, комбінація вітамін Е + убіхінон-10 перевищувала показники регулятора росту Вимпел (табл. 3.7-3.8).

Таблиця 3.7.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел на масу сирі речовини надземної частини рослин сої сорту Аннушка за 2019-2021 рр.**

Фази росту та розвитку сої	Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів					
		Контроль	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОВК	Вимпел	
1	2	3	4	5	6	7	
1-3 трійчастих листка	2019 р.	3,09 ± 0,02	7,03 ± 0,02*	4,12 ± 0,03*	6,05 ± 0,03*	6,89 ± 0,04*	
	2020 р.	2,20 ± 0,03	5,40 ± 0,1*	3,90 ± 0,05*	3,70 ± 0,01*	4,70 ± 0,02*	
	2021 р.	3,50 ± 0,01	7,60 ± 0,02*	4,53 ± 0,04*	6,30 ± 0,02*	7,13 ± 0,02*	
	середнє	Г	2,93 ± ,02	6,67 ± 0,03*	4,18 ± 0,02*	5,35 ± 0,03*	6,24 ± 0,09*
		% до контролю	100,00	227,65	142,66	182,59	212,97
Цвітіння	2019 р.	36,30 ± 0,05	66,30 ± 0,03*	58,10 ± 0,08*	41,30 ± 0,05*	61,98 ± 0,03*	
	2020 р.	28,90 ± 0,03	59,17 ± 0,05*	49,80 ± 0,04*	33,12 ± 0,03*	57,10 ± 0,02*	
	2021 р.	38,10 ± 0,08	67,21 ± 0,06*	61,80 ± 0,07*	42,38 ± 0,02*	63,10 ± 0,06*	
	середнє	Г	34,43 ± 0,05	64,23 ± 0,05*	46,57 ± 0,07*	38,93 ± 0,04*	60,73 ± 0,03*
		% до контролю	100,00	186,55	135,26	113,07	176,38

Продовження таблиці 3.7.

1	2	3	4	5	6	7
Формування бобів	2019 р.	143,00 ± 0,02	275,83 ± 0,06*	206,11 ± 0,06*	176,60 ± 0,02*	265,70 ± 0,04*
	2020 р.	129,50 ± 0,02	258,10 ± 0,03*	195,80 ± 0,09*	164,90 ± 0,12*	247,30 ± 0,1*
	2021 р.	149,50 ± 0,07	281,30 ± 0,05*	215,50 ± 0,08*	179,90 ± 0,07*	271,30 ± 0,06*
	середнє	Г	140,60 ± 0,06	271,74 ± 0,03*	205,80 ± 0,09*	173,80 ± 0,02*
% до контролю		100,00	193,27	146,37	123,61	185,94

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

Таблиця 3.8.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел на масу сирої речовини підземної частини рослин сої сорту Аннушка за 2019-2021 рр.**

Фази росту та розвитку сої	Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів				
		Контроль	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОБК	Вимпел
1	2	3	4	5	6	7
1-3 трійчастих листка	2019 р.	0,36 ± 0,03	0,77 ± 0,02*	0,45 ± 0,04*	0,74 ± 0,03*	0,89 ± 0,04*
	2020 р.	0,29 ± 0,03	0,64 ± 0,1*	0,39 ± 0,05*	0,57 ± 0,01*	0,71 ± 0,02*
	2021 р.	0,41 ± 0,01	0,8 ± 0,02*	0,43 ± 0,04*	0,72 ± 0,02*	0,83 ± 0,02*



Продовження таблиці 3.8.

1	2		3	4	5	6	7
	середнє	Г	0,35 ± 0,02	0,74 ± 0,03*	0,42 ± 0,02*	0,67 ± 0,03*	0,81 ± 0,09*
		% до контролю	100,00	211,43	120,00	191,43	231,43
Цвітіння	2019 р.		3,36 ± 0,05	5,49 ± 0,03*	4,95 ± 0,08*	4,45 ± 0,05*	5,70 ± 0,03*
	2020 р.		2,50 ± 0,03	4,81 ± 0,05*	3,58 ± 0,04*	3,49 ± 0,03*	4,93 ± 0,02*
	2021 р.		4,10 ± 0,08	5,83 ± 0,06*	4,56 ± 0,07*	4,29 ± 0,02*	6,30 ± 0,06*
	середнє	Г	3,32 ± 0,05	5,37 ± 0,05*	4,36 ± 0,07*	4,07 ± 0,04*	5,64 ± 0,03*
		% до контролю	100,00	161,75	131,33	122,59	169,88
Формування бобів	2019 р.		14,80 ± 0,02	25,30 ± 0,06*	20,90 ± 0,06*	19,60 ± 0,02*	27,70 ± 0,04*
	2020 р.		12,50 ± 0,02	24,10 ± 0,03*	18,60 ± 0,09*	17,90 ± 0,12*	25,90 ± 0,1*
	2021 р.		14,10 ± 0,07	26,80 ± 0,05*	21,60 ± 0,08*	19,90 ± 0,07*	28,30 ± 0,06*
	середнє	Г	13,80 ± 0,06	25,40 ± 0,03*	20,37 ± 0,09*	19,14 ± 0,02*	27,30 ± 0,07*
		% до контролю	100,00	184,06	147,61	138,69	197,83

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

Таким чином, результати польових дослідів підтвердили, що передпосівна обробка насіння метаболічно активними речовинами оптимізує процес росту рослин сої, стимулює накопичення маси сирої речовини

надземними й підземними органами, підвищує інтенсивність утворення соєво-ризобіального симбіозу в ґрунтово-кліматичних умовах Чернігівської області.

### **3.2. Фотосинтетична продуктивність сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами**

Основним джерелом синтезу й нагромадження рослинами сухої речовини у результаті складних біохімічних процесів, які відбуваються з використанням сонячного світла і вуглекислого газу, є процес фотосинтезу. За твердженнями А. О. Ничипоровича [14], урожай сільськогосподарських культур, у тому числі й сої, формується завдяки засвоєнню ними органічних речовин і їх синтезу в процесі внутрішнього обміну, а також у процесах росту і розвитку. 90-95 % урожаю формується у листках за рахунок фотосинтетичних процесів, що змінюються в часі та залежать від біологічних особливостей культури, сорту, віку рослин та умов зовнішнього середовища.

З'ясовано, що передпосівна обробка насіння комбінаціями метаболічно активних сполук ефективно стимулювала наростання листків протягом усіх фаз росту та розвитку сої.

Так, протягом трьох років досліджень рослини контрольного варіанту сформували найменшу кількість листків у всіх досліджуваних фазах (рис. 3.5) [15].

Передпосівна обробка насіння сої вітаміном Е у поєднанні з убіхіноном-10 найефективніше стимулювали наростання листків протягом усіх досліджуваних фаз (рис. 3.5). У фазі 1-3 трійчастих листка на рослинах, що виростили з насіння, яке зазнало передпосівної обробки зазначеною комбінацією речовин, було сформовано в середньому 3,02 листки, що на 75,58 % перевищувало показник контролю (табл. 3.9).

За результатами трирічних досліджень у фазі цвітіння передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е + убіхінон-10 виявила найбільший ефект серед усіх досліджуваних варіантів. Зазначена композиція збільшила

показник кількості листків на рослинах сої у цій фазі до 19,50 шт., що на 106,35 % та 54,29 % перевищує показники контролю та показники Вимпелу (табл. 3.9).

Максимальної кількості листків у фазі дозрівання бобів також було досягнуто за використання вітаміну Е у поєднанні з убіхіноном-10, що на 60,29 % та 21,50 % більше порівняно до контролю та Вимпелу (табл. 3.9). Таку дію речовин можна пояснити тим, що вітамін Е та убіхінон-10 виконують важливу роль у функціонуванні рослинного організму. Зокрема, вони залучені до біоенергетичних процесів, захисту від шкодочинної дії активних форм кисню та продуктів окиснення, виступають як ефективні імуностимулятори, впливають на формування вегетативних та генеративних органів тощо [8].

Позитивний вплив на формування листків сої мала передпосівна обробка насіння комбінаціями метаболічно активних сполук: вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub> та вітамін Е + метіонін + ПОБК (рис. 3.5). Зокрема, у фазі цвітіння у варіанті з використанням комбінації речовин вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub> кількість листків на рослинах сої перевищила показники контролю на 53,44 % (табл. 3.9). Передпосівна обробка насіння вітаміном Е + метіонін + ПОБК на всіх досліджуваних фазах онтогенезу сприяла збільшенню кількості листків на рослинах сої на 49,42 %, 38,20% і 23,52% порівняно з показниками контролю (табл. 3.9).

Таблиця 3.9.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел на кількість листків на рослинах сої сорту Аннушка за 2019-2021 рр.**

Фази росту та розвитку сої	Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів				
		Контроль	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОБК	Вимпел

Продовження таблиці 3.9.

1	2	3	4	5	6	7	
1-3 трійчастих листка	2019 р.	1,30 ± 0,21	2,92 ± 0,45*	1,95 ± 0,29*	2,60 ± 0,39*	3,00 ± 0,49*	
	2020 р.	1,66 ± 0,14	2,65 ± 0,14*	1,55 ± 0,09	2,26 ± 0,08*	2,50 ± 0,14*	
	2021 р.	2,20 ± 0,13	3,50 ± 0,12*	2,60 ± 0,10*	2,86 ± 0,06*	3,50 ± 0,12*	
	середнє	шт	1,72 ± 0,08	3,02 ± 0,07*	2,03 ± 0,08*	2,57 ± 0,05*	3,00 ± 0,08*
		% до контролю	100,00	175,58	118,02	149,42	174,42
Цвітіння	2019 р.	7,70 ± 1,56	13,20 ± 2,18*	9,60 ± 1,21*	9,50 ± 2,62*	10,37 ± 1,0*	
	2020 р.	11,60 ± 1,37	22,20 ± 1,34*	16,70 ± 1,71*	14,40 ± 1,32*	14,60 ± 1,45*	
	2021 р.	9,00 ± 0,36	23,10 ± 0,96*	17,20 ± 0,49*	15,30 ± 0,42*	18,14 ± 0,49*	
	середнє	шт	9,45 ± 0,67	19,50 ± 0,71*	14,50 ± 0,64*	13,06 ± 0,45*	14,37 ± 0,30*
		% до контролю	100,00	206,35	153,44	138,20	152,06
Формування бобів	2019 р.	13,00 ± 0,39	18,73 ± 0,47*	17,60 ± 0,52*	15,50 ± 0,43*	17,80 ± 0,42*	
	2020 р.	15,80 ± 0,42	24,30 ± 0,71*	18,60 ± 0,49*	17,90 ± 0,50*	19,53 ± 0,47*	
	2021 р.	14,20 ± 0,28	25,90 ± 0,68*	20,00 ± 0,48*	19,70 ± 0,45*	22,35 ± 0,41*	
	середнє	шт	14,33 ± 0,24	22,97 ± 0,48*	18,73 ± 0,30*	17,70 ± 0,48*	19,89 ± 0,39*
		% до контролю	100,00	160,29	130,70	123,52	138,79

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ )

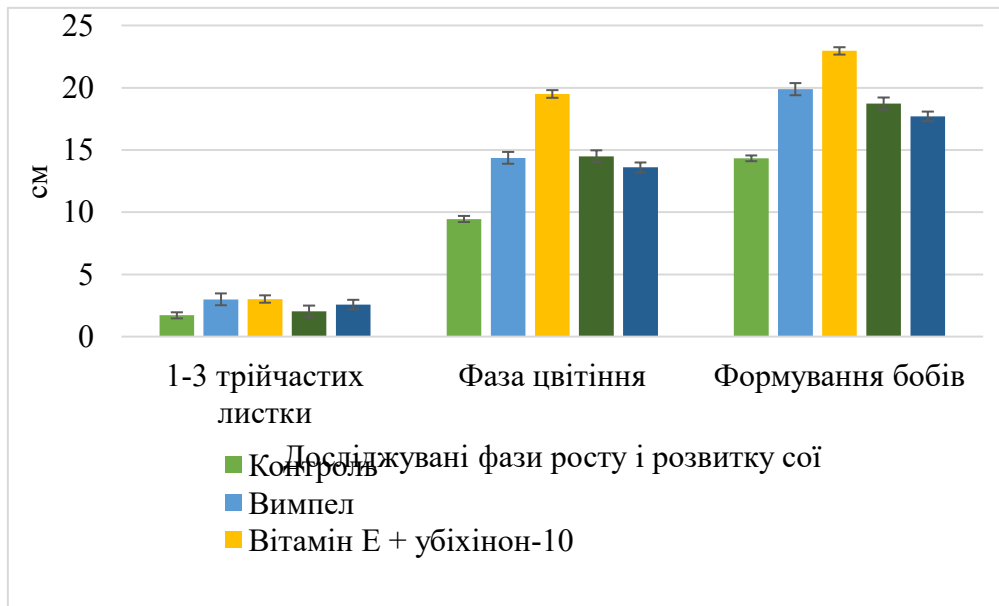


Рис. 3.5. Динаміка кількості листків рослин сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятором росту Вимпел (середнє за 2019-2021 рр.)

Фотосинтез – основний та важливий процес життєдіяльності рослин. Утворення органічної речовини внаслідок фотосинтетичної діяльності визначається, насамперед, розміром листкової поверхні. Чим більша її площа, тим повніше фіксується посівами сонячна радіація і тим енергійніше йде накопичення органічної речовини, що обумовлює збільшення урожайності культури [16, 17, 18].

Соя утворює площу листкової поверхні в досить широкому діапазоні – від 20 до 70 тис. м<sup>2</sup>/га залежно від умов вирощування. Більшість її сортів можуть мати розмір листкового апарату у межах 2500–3000 см<sup>2</sup> на рослину [19].

Установлено, що величина й інтенсивність роботи фотосинтетичного листкового апарату сої залежить від генотипу сорту, екологічних умов регіону й агротехнічних заходів її вирощування [20].

Проте, у науковій літературі зустрічається мало даних щодо особливостей формування площі листової поверхні у посівах залежно від передпосівної

обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин в умовах Чернігівської області України.

Вивчення динаміки наростання площі листкової поверхні сої показало, що досліджувані речовини стимулювали наростання площі трійчастого листка сої. Використання досліджуваних комбінацій активізувало максимальне наростання площі листкової поверхні у фазі 1-3 трійчастих листка. Відмічено, що передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е + убіхінон-10 дає можливість збільшити площу трійчастого листка в середньому на 25,99 см<sup>2</sup>, що на 77,03 % більше від показників у контролі. Крім того, вище зазначена комбінація стимулювала зростання площі трійчастого листка на 19,66 % у порівнянні з показниками синтетичного регулятора росту Вимпел.

У варіантах досліду із передпосівною обробкою насіння комбінаціями вітамін Е + метіонін + ПОБК і вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub> рослини сої сформували площу трійчастого листка на рівні 46,83 см<sup>2</sup> та 39,56 см<sup>2</sup>, що на 39,33 % та 17,70 % вище порівняно із показниками у контролі (табл. 3.10).

Таблиця 3.10.

**Площа трійчастого листка рослин сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятором росту Вимпел у фазі 1-3 трійчастих листка**

Варіант досліду	2019	2020	2021	середнє	
	р.	р.	р.	см <sup>2</sup>	% до контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль	33,98 ± 0,72	31,25 ± 0,88	32,62 ± 0,88	33,61 ± 0,85	100,00
Вітамін Е + убіхінон-10	66,36 ± 1,0*	59,90 ± 1,15*	52,24 ± 1,29*	59,50 ± 1,11*	177,03
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	39,63 ± 0,92*	39,72 ± 1,05*	39,67 ± 0,98*	39,56 ± 1,0*	117,70

Продовження таблиці 3.10.

1	2	3	4	5	6
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	45,73 ± 0,85*	47,95 ± 0,71*	46,84 ± 0,65*	46,83 ± 0,55*	139,33
Вимпел	53,04 ± 0,95	53,02 ± 1,1*	51,21 ± 1,0*	52,42 ± 1,15*	157,37

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p &lt; 0,05)

У фазі цвітіння ми спостерігали подальше наростання площі трійчастого листка в результаті збільшення розмірів листкових пластинок (табл. 3.11). Так, у контрольному варіанті площа листкової поверхні трійчастого листка складала в середньому 120,52 см<sup>2</sup> (табл. 3.11).

Розвиток листкової поверхні у фазі цвітіння досягає свого максимального значення за використання комбінації вітаміну Е + убихінон-10. Порівняно із варіантом контролю, ця комбінація сприяла збільшенню площі листкової поверхні трійчастого листка на 66,06 % і в середньому склала 200,14 см<sup>2</sup>. Також, зазначена комбінація виявилась більш ефективною у порівнянні з Вимпелом і перевищувала його дію на 35,00 %.

Досить ефективну дію показала й передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub>. Під час використання вище зазначеної комбінації у фазі цвітіння вдалося досягти наростання площі трійчастого листка в середньому до 164,24 см<sup>2</sup>, що на 36,29 % та 5,23 % перевищувало показник контролю та Вимпелу відповідно.

Передпосівна обробка комбінацією вітамін Е + метіонін + ПОБК сприяла збільшенню площі трійчастого листка сої на 18,70 % порівняно з показниками контролю (табл. 3.11).

Таблиця 3.11.

**Площа трійчастого листка сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятором росту Вимпел у фазі цвітіння**

Варіант досліджу	2019	2020	2021	середнє	
	р. см <sup>2</sup>	р. см <sup>2</sup>	р. см <sup>2</sup>	см <sup>2</sup>	% до контролю
Контроль	137,85 ± 0,98	92,92 ± 0,91	130,78 ± 0,87	120,52 ± 1,0	100,00
Вітамін Е + убіхінон-10	209,57 ± 1,17*	189,89 ± 1,81*	200,95 ± 1,15*	200,14 ± 1,29*	166,06
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	188,92 ± 0,68*	114,05 ± 1,08*	189,82 ± 1,05*	164,26 ± 0,95*	136,29
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	157,47 ± 1,19*	116,95 ± 1,34*	154,77 ± 1,11*	143,06 ± 1,1*	118,70
Вимпел	163,86 ± 0,79*	143,63 ± 0,89*	166,38 ± 0,92*	157,96 ± 0,88*	131,06

\* *Примітка.* Різниця достовірна порівняно з контролем (р < 0,05)

У фазі формування бобів була сформована максимальна площа листової поверхні трійчастих листків сої. Дослідження динаміки наростання площі фотосинтетичної поверхні показало, що як і у попередніх фазах використання вітаміну Е в поєднанні з убіхіноном-10 виявилось найефективнішим. Так, використання зазначеної композиції дало можливість збільшити площу листків до 216,75 см<sup>2</sup>, що на 36,50 % перевищувало показники контролю відповідно (табл. 3.12). Застосування комбінації вітаміну Е у поєднанні з ПОБК та метіоніном для передпосівної обробки насіння також вплинуло на формування площі листової поверхні та дало можливість перевищити показники контролю на 34,97 % відповідно (табл. 3.12).

*Таблиця 3.12.*

**Площа трійчастого листка рослин сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятора росту Вимпел у фазі формування бобів**



Варіант досліджу	2019	2020	2021	середнє	
	р. см <sup>2</sup>	р. см <sup>2</sup>	р. см <sup>2</sup>	см <sup>2</sup>	% до контролю
Контроль	171,12 ± 0,67	127,64 ± 0,71	177,61 ± 0,64	158,79 ± 0,48	100,00
Вітамін Е + убіхінон-10	232,04 ± 0,64*	190,61 ± 0,8*	227,61 ± 1,13*	216,75 ± 0,86*	136,50
Вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO <sub>4</sub>	209,02 ± 0,72*	180,83 ± 0,65*	212,38 ± 0,77*	200,74 ± 0,85*	126,42
Вітамін Е + метіонін + ПОВК	228,91 ± 0,55*	184,06 ± 0,95*	230,02 ± 0,87*	214,33 ± 0,72*	134,97
Вимпел	229,93 ± 0,86*	187,34 ± 0,92*	219,52 ± 0,81*	212,23 ± 0,75*	133,65

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (р < 0,05)

Аналізуючи динаміку наростання площі листкового апарату сої варто відмітити, що всі досліджувані комбінації, які вивчали, позитивно впливали на її збільшення (рис. 3.6). Передпосівна обробка насіння сої комбінацією з вітаміном Е у поєднанні з убіхіноном-10 показала найвищі результати протягом усіх досліджуваних фаз і була більш ефективною у порівнянні з Вимпелом.

На формування площі листкового апарату сої значно вплинули також комбінації вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO<sub>4</sub> та вітамін Е + метіонін + ПОВК. Із отриманих даних видно, що за використання вище зазначених комбінацій максимальне значення було зафіксовано у фазі цвітіння. Вони сприяло збільшенню площі листкового апарату на 3528,09 см<sup>2</sup> та 2561,49 см<sup>2</sup> відповідно до контролю.

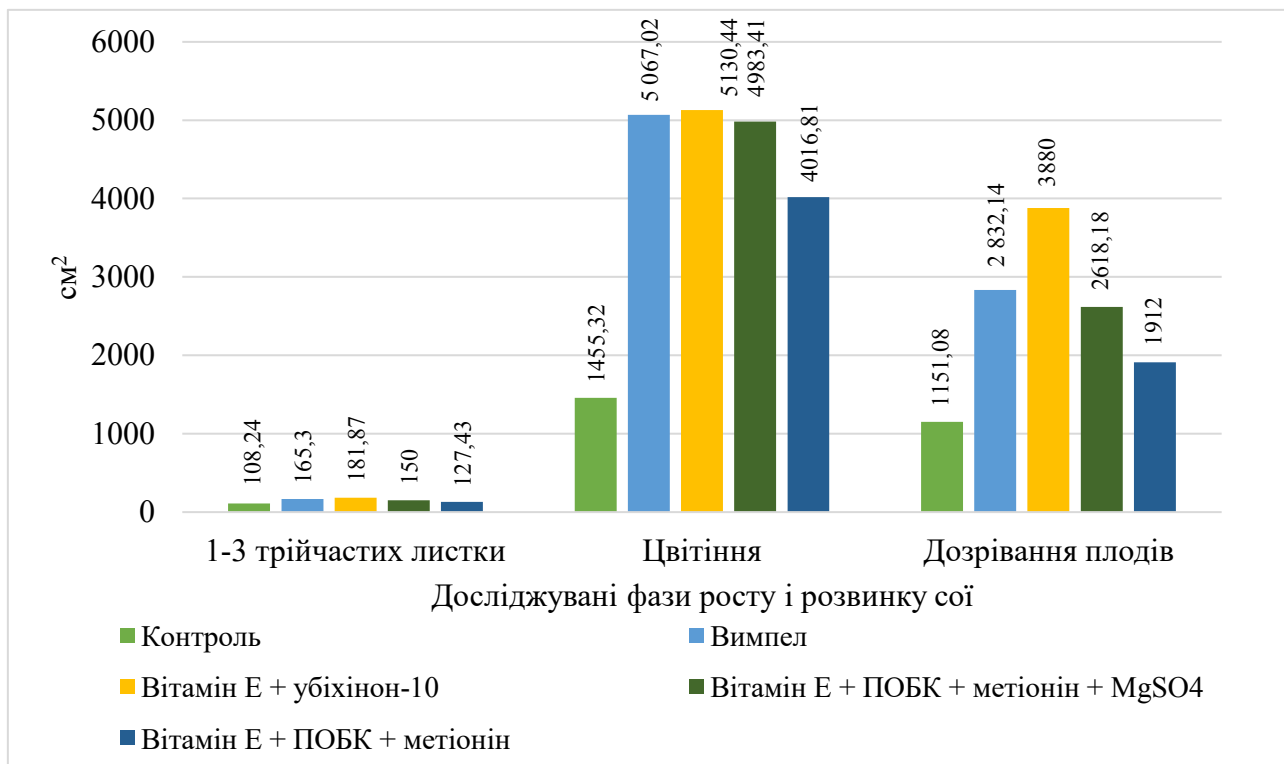


Рис. 3.6. Динаміка наростання площі листкового апарату рослин сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин і регулятором росту Вимпел (середнє за 2019-2021 рр.)

Вміст хлорофілу у фотосинтезуючих тканинах рослин є важливою характеристикою адаптації фотосинтетичного апарату до умов навколишнього середовища та одним із основних факторів біологічної продуктивності рослин, у тому числі й сої. Особливе значення в процесі фотосинтезу належить зеленим пігментам – хлорофілам *a* і *b*. Вони є чутливими індикаторами фізіологічного стану рослин [21, 22, 23]. Хлорофіли *a* і *b* необхідні для формування структури фотосинтетичного апарату, виконують важливу роль у фотохімічних реакціях, поглинають енергію сонячного світла й трансформують її в хімічну енергію органічних сполук [24, 25].

Інтенсивність фотосинтезу та вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах значною мірою залежить від мінерального живлення. Дефіцит основних поживних елементів призводить до зниження кількості фотосинтетичних пігментів у листових пластинках рослин [24, 26].

Застосування комбінацій метаболічно активних сполук для передпосівної обробки насіння викликає певні зміни у пігментному складі листків рослин сої на різних фазах онтогенезу [15].

З'ясовано, що у фазу 1-3 трійчастих листка у контролі вміст суми хлорофілів *a* і *b* в середньому становив 18,86 мг/г сирової маси, хлорофілу *a* – 13,55 мг/г сирової маси, хлорофілу *b* – 6,37 мг/г сирової маси. За передпосівної обробки насіння сої комбінацією речовин вітамін Е + убіхінон-10 виявлено максимальну кількість пігментів, а саме: вміст суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої становив 25,54 мг/г сирової маси, що на 35,42 % більше від контролю та на 16,55 % вище від показників у варіанті з Вимпелом. Зазначена композиція метаболічно активних сполук сприяла зростанню вмісту хлорофілу *a* і *b* у листках сої порівняно з показниками контролю на 36,08 % і 37,52 % та на 18,66 % і 23,39 % – порівняно з показниками Вимпелу відповідно (табл. 3.13).

Таблиця 3.13.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на вміст хлорофілів *a* і *b* у листках сої сорту Аннушка у фазі 1–3 трійчастих листка (середні показники за 2019-2021 рр.), мг/г сирової маси**

Проведені дослідження	Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів				
		Контроль	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОБК	Вимпел
1	2	3	4	5	6	7
Вміст суми хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>	2019 р.	20,33 ± 0,32	27,61 ± 0,62*	17,07 ± 0,30	17,82 ± 0,81	24,35 ± 0,33*
	2020 р.	15,69 ± 0,64	20,91 ± 0,93*	12,79 ± 0,74	14,05 ± 0,53	19,13 ± 0,33*
	2021 р.	20,58 ± 0,83	28,11 ± 0,40*	15,68 ± 0,38	19,07 ± 0,37	23,77 ± 0,74*
	середнє	18,86 ± 0,38	25,54 ± 0,43*	18,18 ± 0,40	16,98 ± 0,40	22,42 ± 0,34*
		100,00	135,42	96,39	90,03	118,87

Продовження таблиці 3.13

1	2	3	4	5	6	7
Вміст хлорофілу <i>a</i>	2019 р.	14,48 ± 0,82	19,26 ± 0,62*	11,83 ± 0,63	12,59 ± 0,52	17,68 ± 0,67*
	2020 р.	11,06 ± 0,61	15,66 ± 0,65*	8,64 ± 0,68	9,80 ± 0,82	13,62 ± 0,63*
	2021 р.	15,11 ± 0,52	20,39 ± 0,34*	10,84 ± 0,42	13,96 ± 0,34	16,43 ± 0,42*
	середнє	13,55 ± 0,32	18,44 ± 0,44*	10,44 ± 0,42	12,12 ± 0,40	15,91 ± 0,21*
		100,00	136,08	77,05	89,45	117,42
Вміст хлорофілу <i>b</i>	2019 р.	6,48 ± 0,42	10,10 ± 0,21*	5,17 ± 0,52	5,83 ± 0,38	7,69 ± 0,46*
	2020 р.	5,45 ± 0,54	7,33 ± 0,72*	3,43 ± 0,42	3,78 ± 0,38	6,18 ± 0,38*
	2021 р.	7,18 ± 0,22	8,86 ± 0,40*	5,32 ± 0,22	5,88 ± 0,34	7,95 ± 0,25*
	середнє	6,37 ± 0,27	8,76 ± 0,25*	4,64 ± 0,30	5,16 ± 0,17	7,27 ± 0,24*
		100,00	137,52	72,84	81,01	114,13

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ )

Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями речовин вітамін Е + убіхінон-10, вітаміну Е + ПОБК + метіонін дала можливість збільшити вміст суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої на 9,97 мг/г та 8,35 мг/г сирої маси і у фазі цвітіння (табл. 3.14). Варто зазначити, що всі досліджувані речовини сприяли зростанню вмісту хлорофілу *a* порівняно з контролем у середньому на 7,77–16,59 %. Найбільший вміст хлорофілу *b* виявлено за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10 (табл. 3.14). Ефективність досліджуваних комбінацій метаболічно активних сполук можна пояснити тим, що убіхінон бере участь у перенесенні електронів у транспортному ланцюзі, у процесах обміну енергії, разом із пластохіноном він бере участь у процесах фотофосфорилування в тилакоїдах хлоропластів та окиснювальному фосфорилуванні. Параоксибензойна кислота має виражену антимікробну активність і пригнічує ріст бактерій, цвілевих та інших грибів. Вона поєднує у собі властивості сигнального посередника і стресового фітогормону. Метіонін є попередником

синтезу гормонів росту, регулює відкриття продихів [27]. Джерелом додаткового живлення сільськогосподарських культур є мінеральне добриво – сульфат магнію. Відомо, що магній виконує важливу роль у фотосинтезі, оскільки входить до складу молекули хлорофілу, пектинових речовин, бере участь у синтезі білків, переміщенні фосфору, активізує ферменти, регулює поглинання води кореневою системою. Сульфур контролює ріст і розвиток рослини, також, як і магній, бере участь у синтезі білків, ферментів, метаболізмі, в окисно-відновних процесах клітини, підвищує стійкість до стресових умов, активізує відновні процеси [28].

Таблиця 3.14.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на вміст хлорофілів *a* і *b* у листках сої сорту Аннушка у фазі цвітіння (середні показники за 2019–2021 рр.), мг/г сирої маси**

Проведені дослідження	Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів				
		Контроль	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОБК	Вимпел
1	2	3	4	5	6	7
Вміст суми хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>	2019 р.	152,01 ± 0,62	164,46 ± 0,82*	153,24 ± 0,61*	160,63 ± 0,71*	162,44 ± 0,72*
	2020 р.	102,90 ± 0,92	102,90 ± 1,02*	87,80 ± 0,93	111,90 ± 1,01*	112,20 ± 0,92*
	2021 р.	143,17 ± 0,81	160,63 ± 0,72*	145,59 ± 1,01*	150,60 ± 0,72*	160,63 ± 0,72*
	середнє	132,69 ± 0,72	142,66 ± 0,72*	128,87 ± 0,62	141,04 ± 0,51*	145,09 ± 0,64*
		100,00	107,51	97,12	106,29	109,35
Вміст хлорофілу <i>a</i>	2019 р.	101,42 ± 0,92	123,49 ± 0,91*	111,88 ± 0,81*	114,30 ± 0,91*	123,18 ± 0,93*
	2020 р.	73,80 ± 0,92	74,60 ± 0,81*	62,90 ± 1,02	81,30 ± 0,83*	80,70 ± 0,91*
	2021 р.	99,82 ± 0,73	122,58 ± 0,61*	121,66 ± 0,52*	114,96 ± 0,51*	112,00 ± 0,56*

Продовження таблиці 3.14.

1	2	3	4	5	6	7
	Середнє	91,68 ± 0,52	106,89 ± 0,51*	98,81 ± 0,72*	103,52 ± 0,41*	105,29 ± 0,41*
		100,00	116,59	107,77	112,91	114,85
Вміст хлорофілу <i>b</i>	2019 р.	39,82 ± 0,32	51,00 ± 0,42*	49,48 ± 0,31*	43,76 ± 0,51*	47,44 ± 0,31*
	2020 р.	33,90 ± 0,82	32,50 ± 0,62*	29,20 ± 0,82	35,30 ± 0,63*	35,70 ± 0,73*
	2021 р.	46,87 ± 0,42	46,49 ± 0,51	41,83 ± 0,40	43,50 ± 0,26	48,86 ± 0,31*
	середнє	40,19 ± 0,22	43,33 ± 0,26*	40,17 ± 0,35	40,85 ± 0,20*	44,00 ± 0,23*
		100,00	107,81	99,95	101,64	109,48

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ )

Максимальні показники вмісту хлорофілів *a* і *b* виявлено у фазі формування бобів. Так, у фазі формування бобів у контролі вміст суми хлорофілів *a* і *b* становив 180,97 мг/г сирової маси, хлорофілу *a* – 120,82 мг/г сирової маси та хлорофілу *b* – 56,76 мг/г сирової маси. Обробка насіння сої комбінацією речовин вітамін Е + убихінон-10 дала можливість збільшити на 8,24 % показник суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої порівняно з контролем (табл. 3.15).

Таблиця 3.15.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на вміст хлорофілів *a* і *b* у листках сої сорту Аннушка у фазі формування бобів (середні показники за 2019-2021 рр.), мг/г сирової маси**

Проведені дослідження	Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів				
		Контроль	Вітамін Е + убихінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОБК	Вимпел
1	2	3	4	5	6	7

Продовження таблиці 3.15.

1	2	3	4	5	6	7
Вміст суми хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>	2019 р.	202,05 ± 0,25	214,61 ± 0,41*	203,31 ± 0,33*	210,84 ± 0,28*	212,59 ± 0,29*
	2020 р.	147,64 ± 0,61	162,23 ± 0,63*	149,05 ± 0,81*	155,32 ± 0,63*	161,22 ± 0,71*
	2021 р.	193,23 ± 0,91	210,84 ± 1,11*	195,78 ± 0,98*	200,80 ± 1,0*	210,84 ± 0,87*
	середнє	180,97 ± 0,86	195,89 ± 0,86*	182,71 ± 0,97*	188,98 ± 0,81*	194,88 ± 0,84*
		100,00	108,24	101,06	104,43	107,68
Вміст хлорофілу <i>a</i>	2019 р.	131,72 ± 0,71	153,79 ± 0,71*	142,18 ± 0,83*	154,4 ± 0,94*	153,48 ± 0,81*
	2020 р.	100,62 ± 0,53	123,05 ± 0,51*	111,77 ± 0,70*	119,53 ± 0,59*	117,59 ± 0,57*
	2021 р.	130,12 ± 0,32	152,88 ± 0,28*	141,96 ± 0,24*	145,26 ± 0,21*	142,30 ± 0,20*
	середнє	120,82 ± 0,11	143,24 ± 0,09*	131,97 ± 0,10*	139,73 ± 0,44*	137,79 ± 0,60*
		100,00	118,56	109,23	115,65	114,05
Вміст хлорофілу <i>b</i>	2019 р.	60,02 ± 0,31	71,20 ± 0,35*	69,68 ± 0,34*	63,96 ± 0,31*	67,64 ± 0,41*
	2020 р.	43,29 ± 0,71	48,75 ± 0,87*	45,61 ± 0,64*	43,63 ± 0,64*	48,15 ± 0,51*
	2021 р.	66,97 ± 0,51	66,69 ± 0,45	61,93 ± 0,63	63,7 ± 0,75	69,06 ± 0,66*
	середнє	56,76 ± 0,30	62,21 ± 0,85*	59,07 ± 0,79*	57,09 ± 0,73*	61,62 ± 0,75*
		100,00	109,60	104,07	100,58	108,83

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ )

У процесі фотосинтезу утворюється близько 95% загальної біомаси рослин. Тому, зміна цієї величини може досить об'єктивно відображати їх асиміляційну діяльність. Саме цей показник лежить в основі визначення чистої продуктивності фотосинтезу [29].

Чиста продуктивність фотосинтезу залежить як від біологічних особливостей культури, так і від комплексу зовнішніх факторів: сонячної

радіації, температури повітря, вологості ґрунту, рівня мінерального живлення, а також від застосування регуляторів росту рослин [10, 30, 31, 32]. Чиста продуктивність фотосинтезу повніше, порівняно з площею листків, відображає реальні можливості агробіоценозу щодо синтезу органічної речовини. Вона є одним із найважливіших параметрів, із яким корелює рівень урожайності [33, 34, 35].

У результаті досліджень виявлено, що найбільші показники чистої продуктивності фотосинтезу посівів сої у фазі цвітіння визначено у варіантах із застосуванням комбінацій вітаміну Е + убіхінон-10 та вітаміну Е + метіонін + ПОВК, де чиста продуктивність фотосинтезу сої перевищувала показники контролю на 27,61 % і 24,66 % та на 10,45 % і 7,50 % – показники Вимпелу (табл. 3.16) [15].

Таблиця 3.16.

**Чиста продуктивність фотосинтезу посівів сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами у фазі цвітіння (середні показники за 2019-2021 рр.), г/м<sup>2</sup> за добу**

Варіанти дослідів	Роки проведення дослідів			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	г/м <sup>2</sup>	% до контролю
Контроль	3,60 ± 0,10	3,69 ± 0,12	3,90 ± 0,12	3,73 ± 0,15	100,00
Вітамін Е + убіхінон-10	4,96 ± 0,15*	4,41 ± 0,17*	4,91 ± 0,12*	4,76 ± 0,14*	127,61
Вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO <sub>4</sub>	3,98 ± 0,12*	3,52 ± 0,17*	4,02 ± 0,15*	3,84 ± 0,13*	102,95
Вітамін Е + метіонін + ПОВК	4,82 ± 0,13*	4,31 ± 0,12*	4,83 ± 0,16*	4,65 ± 0,12*	124,66
Вимпел	4,48 ± 0,14*	3,82 ± 0,10*	4,38 ± 0,12*	4,37 ± 0,15*	117,16

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)



Застосування досліджуваних речовин сприяло збільшенню чистої продуктивності фотосинтезу сої в усіх варіантах комбінацій і у фазі формування бобів. Максимальний результат виявлено за використання вітаміну Е в поєднанні з убихінон-10. Застосування зазначеної комбінації метаболічно активних речовин зумовило збільшення показника чистої продуктивності фотосинтезу на 1,00 г/м<sup>2</sup>, або на 25,25 % порівняно з показниками контролю та на 4,29 % – у порівнянні з показниками Вимпелу (табл. 3.17).

Таблиця 3.17.

**Чиста продуктивність фотосинтезу посівів сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами у фазі формування бобів (середні показники за 2019-2021 рр.), г/м<sup>2</sup> за добу**

Варіанти дослідів	Роки проведення дослідів			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	г/м <sup>2</sup>	% до контролю
Контроль	4,05 ± 0,14	3,73 ± 0,15	4,10 ± 0,13	3,96 ± 0,17	100,00
Вітамін Е + убихінон-10	5,09 ± 0,14*	4,70 ± 0,11*	5,11 ± 0,10*	4,96 ± 0,13*	125,25
Вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO <sub>4</sub>	4,43 ± 0,19*	4,00 ± 0,16*	4,50 ± 0,15*	4,31 ± 0,10*	108,84
Вітамін Е + метіонін + ПОВК	5,01 ± 0,14*	4,63 ± 0,17*	5,05 ± 0,15*	4,89 ± 0,10*	123,48
Вимпел	4,96 ± 0,15*	4,43 ± 0,12*	5,00 ± 0,11*	4,79 ± 0,11*	120,96

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

Ефективність метаболічно активних сполук також залежить від особливостей погодних умов. Тому, при проведенні досліджень нами враховувалися метеорологічні показники, зокрема середньодобові мінімальні та

максимальні температури повітря, кількість опадів, запаси вологи в ґрунті. Так, за температурними показниками та водозабезпеченням 2019 і 2021 роки були більш сприятливими для росту та розвитку сої порівняно з 2020 роком. Недостатня кількість опадів та нерівномірний їхній розподіл у 2020 році стали причиною зменшення показників асиміляційних процесів у рослинах сої. Крім того, у 2020 році спостерігалось зниження температури навколишнього середовища після висіву насіння у ґрунт, що також вплинуло на перебіг фізіологічних процесів у рослинах сої.

Таким чином, вміст хлорофілу в листках рослин сої поступово зростав за фазами росту та розвитку і досягнув свого максимуму в фазу формування бобів. Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями речовин вітамін Е + убіхінон-10 та вітаміну Е + ПОБК + метіонін забезпечила збільшення вмісту суми хлорофілів *a* і *b*, вміст хлорофілу *a* та вміст хлорофілу *b* у листках сої. Застосування комбінацій вітамін Е + убіхінон-10, вітамін Е + метіонін + ПОБК забезпечило збільшення чистої продуктивності фотосинтезу на всіх досліджуваних фазах онтогенезу сої. Максимальний результат був досягнутий завдяки використанню вітаміну Е в поєднанні з убіхінон-10. Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями метаболічно активних речовин вітамін Е + убіхінон-10, вітамін Е + метіонін + ПОБК сприяють максимальній реалізації фотосинтетичної продуктивності, тому подальше вивчення впливу зазначених вище речовин на зернобобові культури є перспективним.

### **3.3. Продуктивність та урожай сої залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами**

Найважливішим і останнім завершальним етапом роботи у галузі рослинництва є урожай.

Висота рослин, висота прикріплення нижніх бобів, кількість плодоносних вузлів, кількість та довжина бобів на рослині, кількість насінин і їх маса є основними структурними елементами врожаю зернобобових культур. За

допомогою застосування метаболічно активних речовин можна здійснювати вплив на ці елементи, а тому і змінювати величину врожаю.

Висота рослини є важливою селекційною ознакою, яка пов'язана з основними морфологічними та біологічними характеристиками сої. Від висоти рослин залежить і продуктивність сої у цілому [36].

З'ясовано, що передпосівна обробка насіння комбінаціями метаболічно активних сполук ефективно вплинула на висоту рослин сої. Так, протягом трьох років досліджень у контролі висота рослин була найменшою та становила в середньому 51,60 см (табл. 3.18) [36]. Максимальної висоти було досягнуто при використанні комбінації з вітаміну Е та убіхінону-10. За результатами трирічних досліджень було з'ясовано, що застосування вище зазначеної комбінації дало змогу збільшити висоту рослини на 7,91 см, перевищуючи показники контролю та регулятора росту Вимпел на 15,33 % і 5,49 % відповідно (рис. 3.7). Таку високу ефективність зазначеної комбінації метаболічно активних сполук можна пояснити тим, що вітамін Е та убіхінон-10 є потужними антиоксидантами, вони беруть участь у біоенергетичних процесах. Вітамін Е координовано працює з іншими антиоксидантами та взаємодіє з фітогормонами (етиленом, абсцизовою кислотою, саліциловою кислотою та ін.) [8]. Також показано, що вітамін Е ( $\alpha$ -токоферилацетат) та убіхінон можуть виявляти імуностимулювальну, антифітовірусну та антибактеріальну активність [38, 39].

Таблиця 3.18.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на висоту рослин сої сорту Аннушка**

Варіанти досліджу	Роки проведення досліджень			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	см	% до контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль	51,64 ± 0,71	51,56 ± 0,72	50,7 ± 0,65	51,60 ± 0,4	100,00

Продовження таблиці 3.18.

1	2	3	4	5	6
Вітамін Е + убіхінон- 10	59,66 ± 0,78*	55,36 ± 0,88*	63,51 ± 0,85*	59,51 ± 1,07*	115,33
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	55,83 ± 0,75*	52,8 ± 0,85*	54,36 ± 0,79*	54,33 ± 0,76*	105,29
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	54,44 ± 0,85*	52,83 ± 0,71*	56,65 ± 0,76*	54,64 ± 0,81*	105,89
Вимпел	56,91 ± 0,69*	58,86 ± 0,65*	54,27 ± 0,71*	56,68 ± 0,65*	109,84

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (р < 0,05)

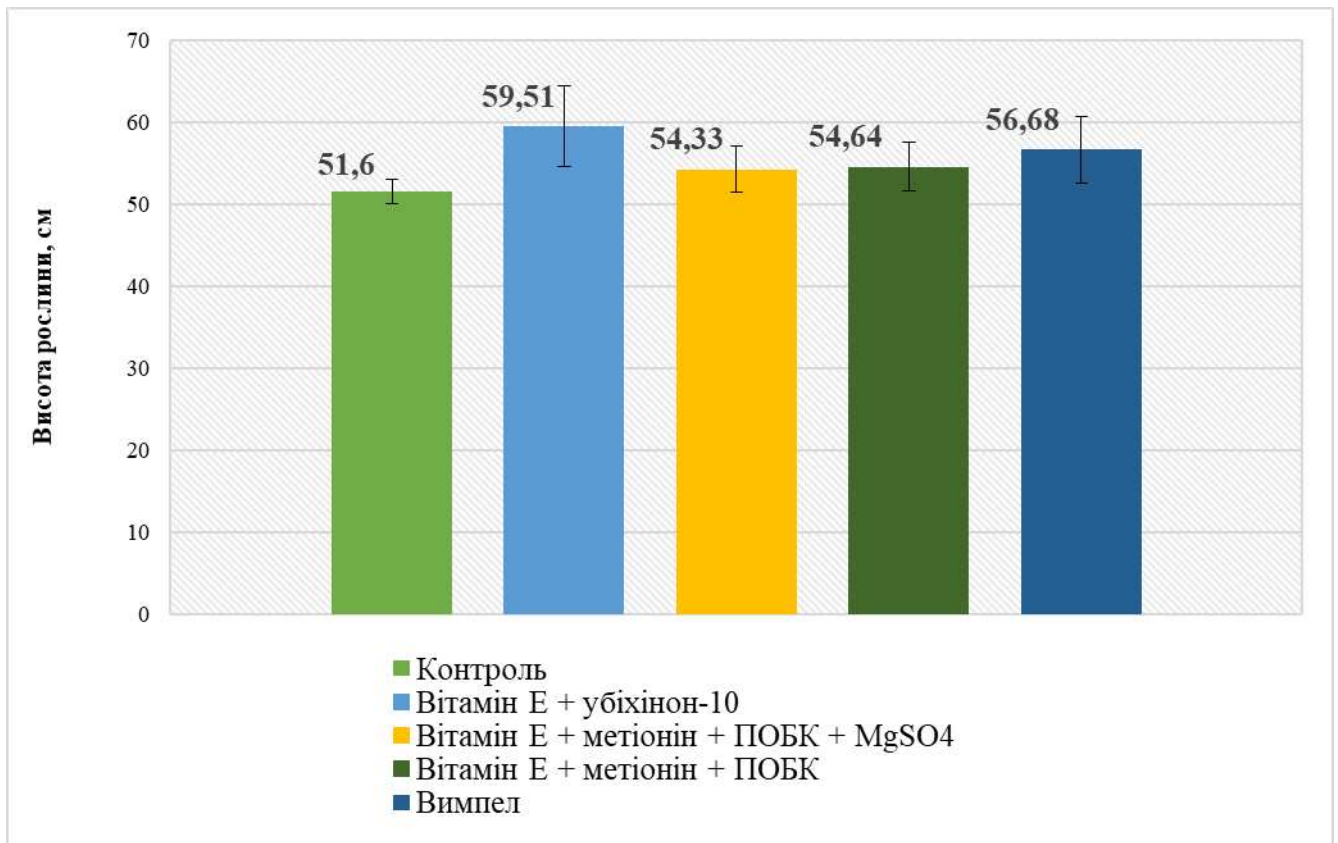


Рис. 3.7. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на висоту рослин сої сорту Аннушка, (середнє за 2019-2021 рр.).

Ще однією важливою селекційною ознакою є висота прикріплення нижніх бобів. Низьке прикріплення перших бобів (нижче 10 см), впливає на травмування бобів і насіння, так і до загальної втрати врожайності – до 15–30 % [40].

Проаналізувавши отримані дані, можна зробити висновок, що передпосівна обробка комбінаціями метаболічно активних речовин мала позитивний вплив на висоту прикріплення нижніх бобів (рис. 3.8) [36]. Так, в контрольному варіанті висота прикріплення нижніх бобів становила 14,17 см. Найбільшу середню висоту прикріплення було зафіксовано за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10. За використання вище зазначеної комбінації вдалося збільшити досліджуваний показник на 2,77 см, що перевищує показник контролю на 19,55 %. Також слід зазначити, що комбінації вітамін Е + убіхінон-10 показали вищі результати у порівнянні з регулятором росту Вимпел (табл. 3.19). Комбінація вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub> також показала високі результати та у порівнянні з контролем змогла збільшити цей показник на 14,18 %.

Таблиця 3.19.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на висоту прикріплення нижніх бобів рослин сої сорту Аннушка**

Варіанти дослідів	Роки проведення досліджень			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	см	% до контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль	14,60 ± 0,86	13,50 ± 0,72	14,40 ± 0,69	14,17 ± 0,71	100,00
Вітамін Е + убіхінон- 10	17,15 ± 0,87*	15,8 ± 0,83*	17,85 ± 0,79*	16,94 ± 0,84*	119,55
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	16,85 ± 0,91*	14,35 ± 0,89*	17,35 ± 0,85*	16,18 ± 0,85*	114,18

Продовження таблиці 3.19.

1	2	3	4	5	6
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	15,80 ± 0,83*	13,70 ± 1,0*	16,20 ± 0,91*	15,24 ± 0,82*	107,62
Вимпел	17,10 ± 0,79*	16,20 ± 0,78*	16,90 ± 0,82*	16,74 ± 0,79*	118,14

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

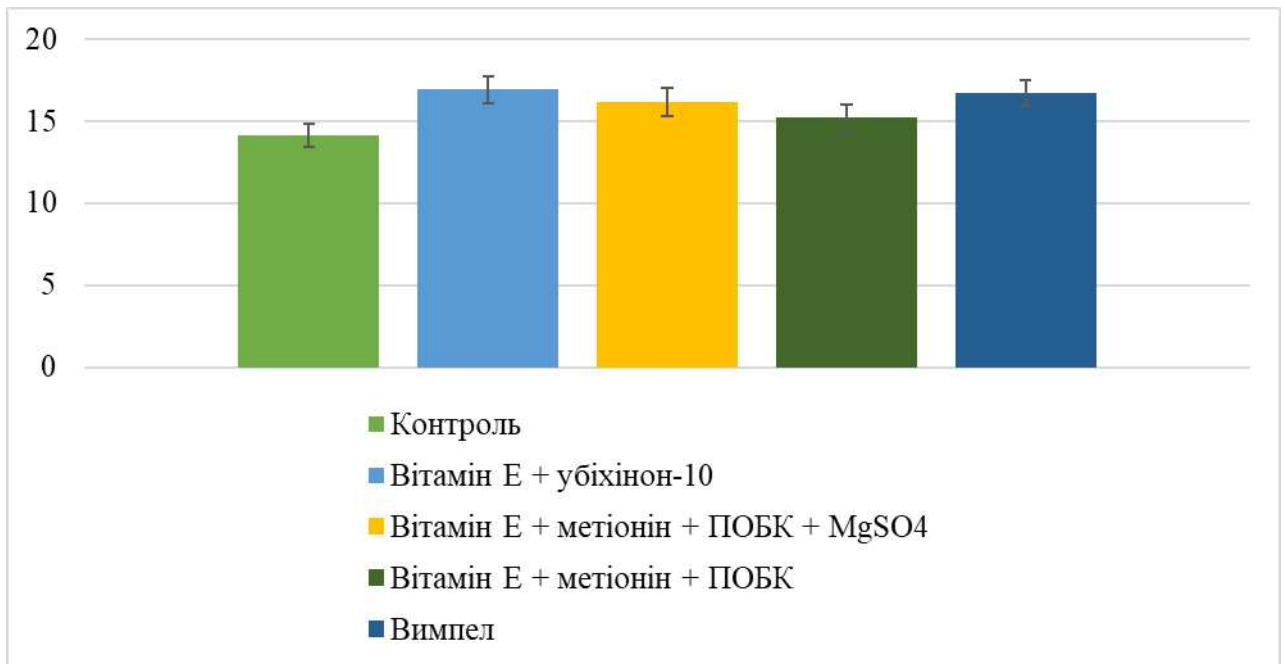


Рис. 3.8. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на висоту прикріплення нижніх бобів рослин сої сорту Аннушка (середнє за 2019-2021 рр.).

Кількість вузлів на головному стеблі є важливою ознакою, оскільки від неї суттєво залежить і кількість бобів на рослині. На основі аналізу результатів трирічних досліджень встановлено, що цей показник також піддався впливу досліджуваних речовин (рис. 3.9) [36]. Найбільша кількість вузлів на головному стеблі сої була сформована при використанні комбінації вітаміну Е та убіхінону-10. Передпосівна обробка сої вище зазначеною комбінацією сприяла збільшенню цього показника до 29,63 шт. з рослини, перевищуючи показники контролю та Вимпелу на 15,74 % і 6,56 % відповідно (табл. 3.20).

Таблиця 3.20.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на кількість плодоносних вузлів на головному стеблі рослин сої сорту Аннушка**

Варіанти дослідів	Роки проведення досліджень			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	шт	% до контролю
Контроль	25,95 ± 0,98	24,00 ± 0,88	26,85 ± 0,87	25,60 ± 0,8	100,00
Вітамін Е + убіхінон-10	29,11 ± 1,11*	28,00 ± 1,15*	30,15 ± 1,36*	29,63 ± 3,94*	115,74
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	27,50 ± 1,5*	25,60 ± 1,11*	28,08 ± 1,24*	27,06 ± 2,01*	105,70
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	24,80 ± 0,95	22,50 ± 0,98	26,14 ± 1,05	24,48 ± 1,13	95,63
Вимпел	28,50 ± 0,74*	27,55 ± 0,55*	27,80 ± 1,12*	27,95 ± 2,53*	109,18

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (р < 0,05)

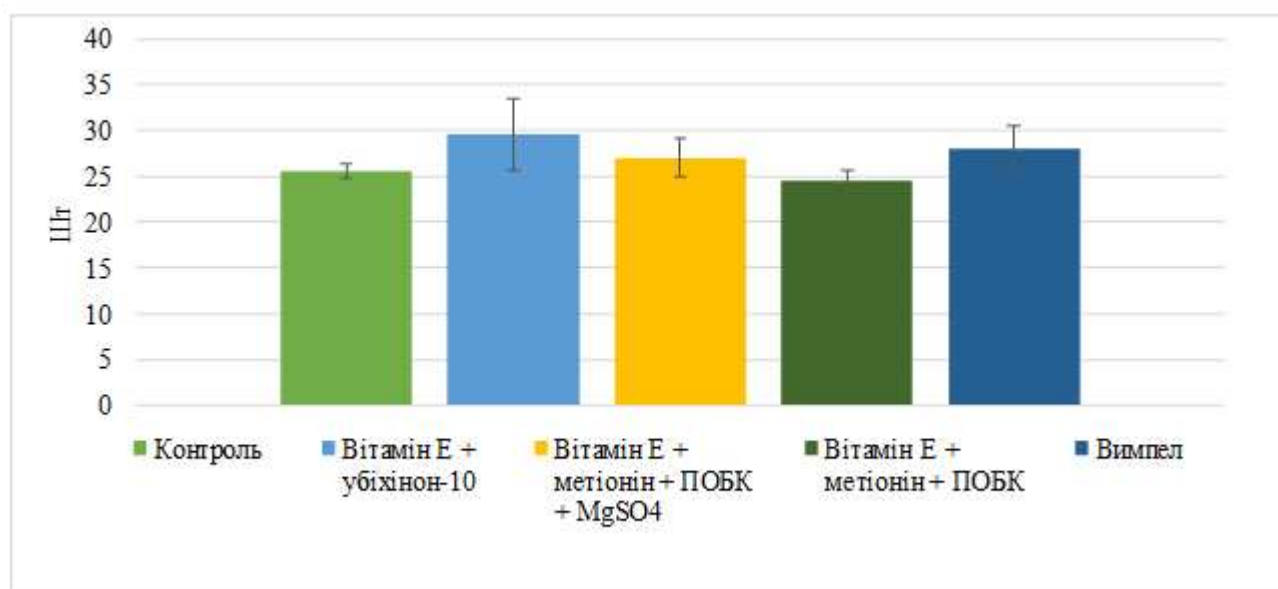


Рис. 3.9. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на показники кількості плодоносних вузлів на головному стеблі сої сорту Аннушка (середнє за 2019–2021 рр.)

Наступною важливою ознакою продуктивності сої є кількість бобів на рослині, яка коливалася в межах від 75,55 до 99,96 штук залежно від варіантів досліду. Так, у контролі цей показник становить у середньому 75,55 шт. із рослини. Застосування комбінації вітамін Е + убіхінон-10 забезпечило формування в середньому 99,96 бобів на рослині, що перевищило показники контролю на 32,31 % відповідно (рис. 3.10, табл. 3.21) [37].

Таблиця 3.21.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на кількість бобів на рослині рослині сої сорту Аннушка**

Варіанти досліду	Роки проведення досліджень			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	шт	% до контролю
Контроль	74,1 ± 1,0	77,0 ± 1,0	75,5 ± 1,15	75,55 ± 1,45	100
Вітамін Е + убіхінон- 10	84,6 ± 0,26*	95,33 ± 0,33*	93,3 ± 2,2*	99,96 ± 5,36*	132,31
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	83,7 ± 0,17*	85,2 ± 0,92*	81,25 ± 1,34*	84,45 ± 3,86*	111,78
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	67,6 ± 0,14	78,0 ± 0,77*	73,8 ± 0,76	75,8 ± 0,5	100,33
Вимпел	97,95 ± 0,95*	101,13 ± 1,1*	98,31 ± 1,65*	99,13 ± 5,34*	131,19

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ )

Варто зазначити, що всі досліджувані речовини сприяли зростанню кількості насінин із рослини. Крім того, цей показник позитивно корелює з кількістю бобів з рослини. З табл. 3.22 видно, що використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10 призвело до збільшення цього показника на 23,34 % порівняно з показниками контролю (рис. 3.10) [36].



Таблиця 3.22.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на кількість насінин з рослини сої сорту Аннушка**

Варіанти дослідів	Роки проведення досліджень			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	шт	% до контролю
Контроль	140,70 ± 0,64	144,00 ± 1,15	142,4 ± 1,1	142,35 ± 1,65	100,00
Вітамін Е + убіхінон-10	154,40 ± 0,37*	174,87 ± 1,29*	197,50 ± 5,47*	175,58 ± 14,28*	123,34
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	148,30 ± 0,21*	174,00 ± 1,05*	170,30 ± 1,12*	164,20 ± 9,8*	115,35
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	121,60 ± 0,25	146,50 ± 0,95*	137,05 ± 0,87	143,05 ± 0,78	100,49
Вимпел	152,57 ± 0,96*	176,00 ± 1,0*	194,12 ± 4,25*	174,60 ± 12,45*	122,65

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (р < 0,05)

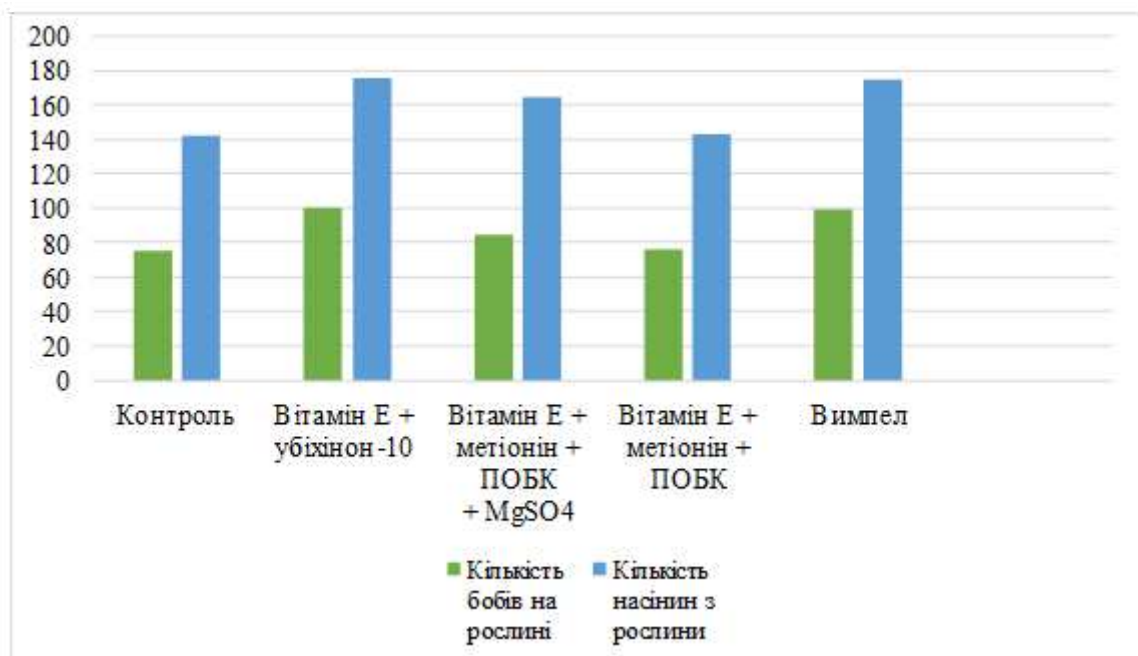


Рис. 3.10. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на показники кількості бобів на рослині та кількості насінин з рослин сої сорту Аннушка (середнє за 2019–2021 рр.), шт.

Ще одним показником, який має безпосередній вплив на урожайність сої, є довжина бобів, що у контролі в середньому за досліджувані роки становила 4,36 см (табл. 3.23). Застосування досліджуваних комбінацій призвело до збільшення цього показника на 0,16–0,46 см, перевищуючи показник контролю на 3,67–10,55 % відповідно (рис. 3.11) [37].

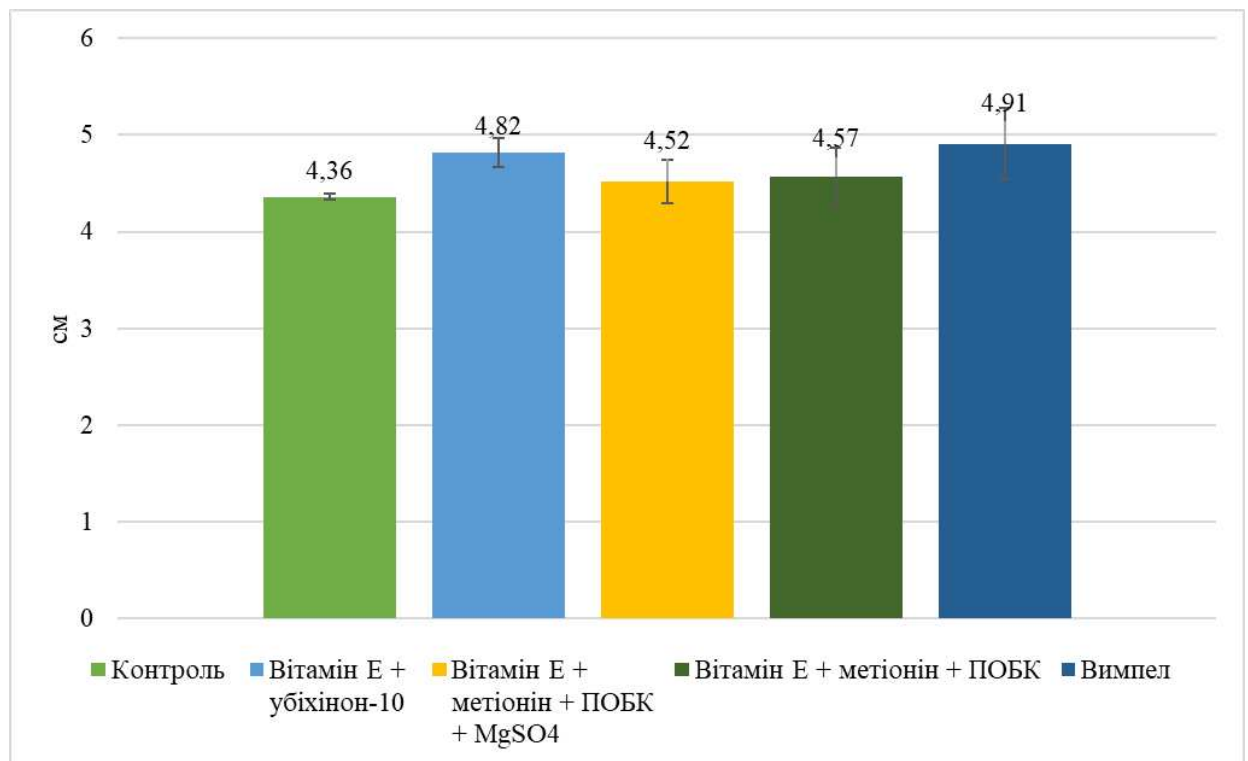


Рис. 3.11. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на показники довжини бобів сої сорту Аннушка (середнє за 2019–2021 рр.)

Таблиця 3.23.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на кількість насінин з рослини сої сорту Аннушка**

Варіанти досліджу	Роки проведення досліджень			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	см	% до контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль	4,34 ± 0,08	4,36 ± 0,03	4,38 ± 0,04	4,36 ± 0,03	100,00
Вітамін Е + убіхінон-10	4,47 ± 0,67*	4,95 ± 0,04*	5,04 ± 0,12*	4,82 ± 0,15*	110,55

## Продовження таблиці 3.23.

1	2	3	4	5	6
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	4,30 ± 0,05	4,67 ± 0,07*	4,59 ± 0,08*	4,52 ± 0,22*	103,67
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	4,27 ± 0,04	4,70 ± 0,03*	4,74 ± 0,06*	4,57 ± 0,3*	104,82
Вимпел	4,51 ± 0,08*	5,05 ± 0,1	5,17 ± 0,2*	4,91 ± 0,37*	112,61

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

Одним із важливих показників продуктивності сої є маса насіння з однієї рослини. У контролі вона становила 35,96 г (табл. 3.24) [36]. Дослідження показали, що застосування комбінації вітаміну Е та убихінону-10 дало змогу отримати в середньому 48,34 г з рослини, що на 34,43 % більше за значення контролю та на 8,62 % більше в порівнянні з показниками Вимпелу відповідно. Висока ефективність також спостерігалася при використанні комбінації речовин вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub>, що перевищила значення контролю за цим показником на 12,93 % (рис. 3.12). Таку дію зазначених речовин можна пояснити тим, що вітамін Е бере участь у біоенергетичних процесах, а ПОБК виконує роль антиоксиданта та прооксиданта, індукує альтернативну оксидазу і регулює активність комплексу антиоксидантних ферментів. Також ПОБК виконує в клітині функцію сигнальних молекул при формуванні захисних реакцій, результатом чого є набуття системної стійкості рослин до різних чинників довкілля. Метіонін необхідний для синтезу білків, регулює обмін води в рослинному організмі. Складові солі магній сульфат відіграють важливу роль у метаболічних процесах клітини. Магній є складовою хлорофілу і виконує головну роль у процесі фотосинтезу, а також як кофермент входить до складу ферментів, що регулюють процес синтезу білків. Водночас сульфур входить до складу сірковмісних амінокислот – метіоніну, цистину, цистеїну, вітамінів (тіаміну, біотину), ферментів (дегідрогеназ та ін.) [41].

Таким чином, ця комбінація метаболічно активних речовин за певних умов росту і розвитку рослини може виконувати функцію стимулятора росту або індуктора захисних реакцій.

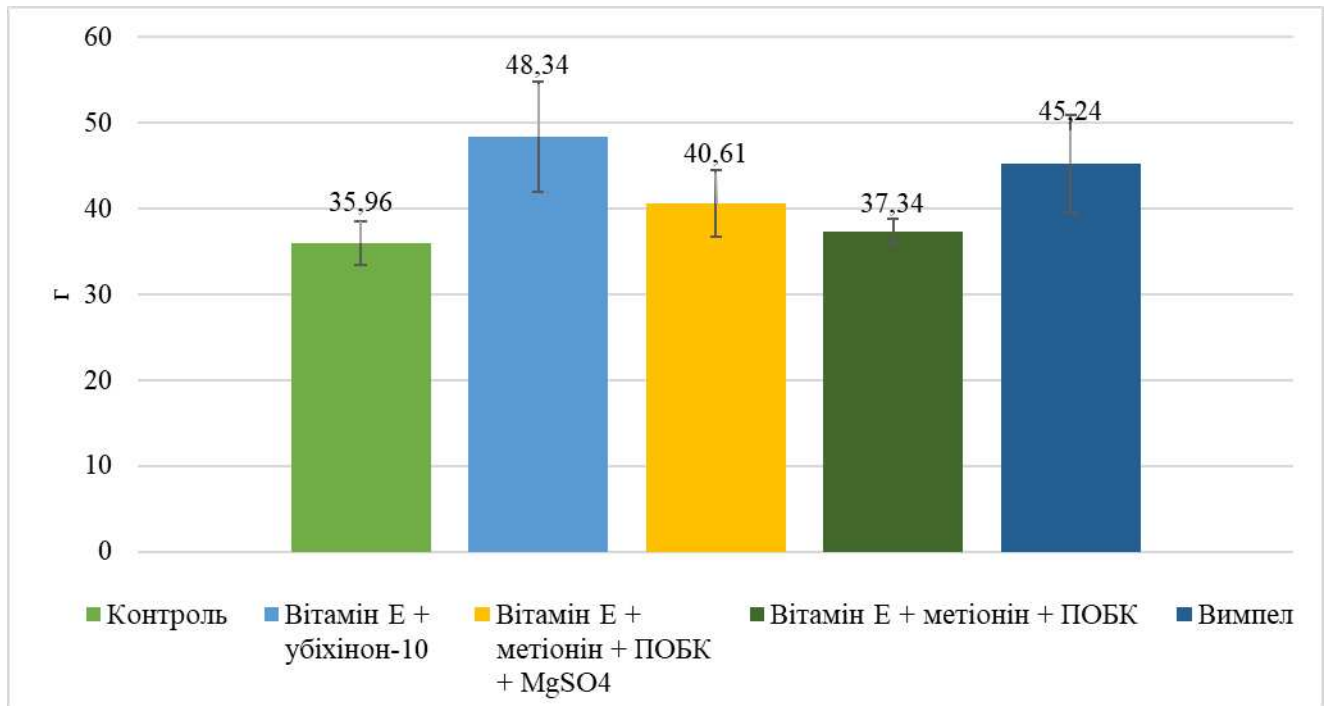


Рис. 3.12. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на показники маси насінин з 1 рослини сої сорту Аннушка (середнє за 2019–2021 рр.), шт.

Таблиця 3.24.

**Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на масу насінин з 1 рослини сорту Аннушка**

Варіанти дослідів	Роки проведення досліджень			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	г	% до контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль	34,22 ± 3,03	38,5 ± 1,11	35,16 ± 1,43	35,96 ± 2,54	100,00
Вітамін Е + убіхінон-10	47,16 ± 1,91*	49,00 ± 1,41*	48,86 ± 3,97*	48,34 ± 6,42*	134,43
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	34,85 ± 2,67	44,50 ± 0,92*	41,13 ± 2,17*	40,61 ± 3,89*	112,93

## Продовження таблиці 3.24.

1	2	3	4	5	6
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	30,93 ± 1,51	43,75 ± 0,72*	37,37 ± 1,71	37,34 ± 1,51	103,84
Вимпел	43,02 ± 3,13*	46,20 ± 0,66*	46,50 ± 3,19*	45,24 ± 5,66*	125,81

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

Урожайність сортів сої є комплексним показником і його реалізація значною мірою залежить від показників індивідуальної продуктивності: кількості продуктивних вузлів, бобів у вузлі, кількості насінин у бобі, крупності насіння; висоти закладання нижнього бобу тощо. Як правило, у найбільш продуктивних форм сої або поєднуються середні значення основних елементів продуктивності, або деякі з них мають максимальні значення, а інші – середні [42, 43].

Визначальним чинником у формуванні високого врожаю насіння сої, на думку вчених аграріїв, є система мінерального живлення, адже соя досить чутлива як до прямої дії, так і післядії добрив та регуляторів росту. Виростити високий урожай можливо лише за повного забезпечення її потреби в елементах живлення [44, 45].

Найвища врожайність сої спостерігалася при обробці насіння комбінацією речовин з вітаміну Е + убихінон-10 і становила 3,2 т/га, перевищуючи показники контролю на 36,75 % та на 2,57 % показники Вимпелу відповідно (табл. 3.25) [36]. Передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е + ПОБК + метіонін + MgSO<sub>4</sub> підвищила урожайність сої на 14,10 % порівняно з показниками контролю (табл. 3.25).

Таким чином, передпосівна обробка насіння сої комбінаціями речовин вітаміну Е + убихінон-10 і вітамін Е + ПОБК + метіонін + MgSO<sub>4</sub> обумовили найвищу врожайність сої. Ці метаболічно активні речовини можуть бути рекомендовані до застосування у практиці сільського господарства для передпосівної обробки насіння бобових культур.

Таблиця 3.25.

**Вплив комбінацій метаболічно активних речовин на урожайність насіння  
сої сорту Аннушка, т/га**

Варіант досліджу	Рік проведення дослідів			Середнє
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	
Контроль	1,88 ± 0,34	2,76 ± 0,23	2,38 ± 0,21	2,34 ± 0,27
Вітамін Е + убіхінон-10	2,37 ± 0,32*	3,55 ± 0,32*	3,68 ± 0,29*	3,2 ± 0,34*
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	2,07 ± 0,27*	3,04 ± 0,21*	2,91 ± 0,31*	2,67 ± 0,24*
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	1,46 ± 0,34	2,38 ± 0,37	2,20 ± 0,20	2,02 ± 0,27
Вимпел	2,27 ± 0,55*	3,77 ± 0,5*	3,48 ± 0,42*	3,17 ± 0,38*

\* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (р < 0,05)

**Висновки до розділу 3:**

1. Використання комбінацій вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO<sub>4</sub> для передпосівної обробки насіння сприяло утворенню бічних коренів та їхньому росту на всіх досліджуваних фазах розвитку сої. Передпосівна обробка насіння комбінацією вітаміну Е в поєднанні з убіхіноном-10 найефективніше стимулювала утворення бульбочок на бічних коренях сої.

2. Використання комбінацій вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + ПОБК + метіонін + MgSO<sub>4</sub> для передпосівної обробки насіння призводило до збільшення довжини стебла, кількості листків та площі листової поверхні рослин сої.

3. Вміст хлорофілу в листках рослин сої поступово зростає за фазами росту та розвитку і досягнув свого максимуму в фазу формування бобів. Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями речовин вітамін Е + убіхінон-

10 та вітаміну E + ПОВК + метіонін забезпечила збільшення вмісту суми хлорофілів *a* і *b*, вмісту хлорофілу *a* та вмісту хлорофілу *b* у листках сої. Застосування комбінацій вітамін E + убіхінон-10, вітамін E + метіонін + ПОВК сприяло зростанню чистої продуктивності фотосинтезу в усіх досліджуваних фазах онтогенезу сої.

4. Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями вітамін E + метіонін + ПОВК та вітамін E + метіонін + ПОВК + MgSO<sub>4</sub> сприяла збільшенню показників структурних елементів врожаю сої (висоти рослин, висоти прикріплення нижніх бобів, кількості плодоносних вузлів, кількості та довжини бобів на рослині, кількості насінин та маси насінин з 1 рослини). Найвища врожайність сої спостерігалася за передпосівної обробки насіння комбінацією речовин з вітаміну E + убіхінон-10.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 3:

1. Bengough A. G. Root hairs improve root penetration, rootsoil contact, and phosphorus acquisition in soils of different strength / A.G. Bengough, I.M. Young, R.E. Haling. *Journal of Experimental Botany*. 2013. Vol. 64, Issue 12. P. 3711–3721.
2. Козючко А. Г., Гавій В. М., Кучменко О. Б. Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на окремі фізіологічні показники сої сорту Аннушка та її продуктивність. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2020. № 1–2 (79). С. 84–90. DOI: <http://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.12>.
3. Біологічний азот : монографія / за ред. В. П. Патики. Київ: Світ, 2003. 424 с.
4. Hunt S., Layzell D. Gas exchange of legume nodules and the regulation of nitrogenase activity. *Plant Physiol*. 1993. Vol. 44. P. 483–511.
5. Марущак О. Вирощування сої з інокулянтами. *Агроном*. 2013. № 1. С. 152–153.

6. Мандровська Н. М., Кругова О. Д., Охріменко С. М. та ін. Дія синтетичного полісахариду на ріст бульбочкових бактерій ризогенез рослин гороху. *Агроекологічний журнал*. Київ, 2005. № 4. С. 47-51.

7. Добриво «Планта-Віта. Бадваси. 2012. URL: <https://badvasy.com.ua/uk/2012-11-17-16-38-29/-q-q.html> (дата звернення: 11.02.2022).

8. Farouk S. Ascorbic Acid and a Tocopherol Minimize Salt-Induced Wheat Leaf Senescence. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2011. Vol. 7(3). P. 58-79.

9. Вирощування сої із застосуванням мікробних препаратів – ризобіофіту та альбобактеріозу в умовах північної частини Лісостепу України / Методичні рекомендації . Київ, 2004. 24 с.

10. Адамень Ф. Ф. Агробіологічні особливості вирощування сої в Україні / Ф. Ф. Адамень та ін. Київ: Аграр. Наука, 2006. 456 с.

11. Адаптивна технологія вирощування сої у Східному Лісостепу України: монографія / Є.М. Огурцов, В.Г. Міхєєв, Ю.В. Белінський, І.В. Клименко; за ред. д-ра с.-г. наук, професора, чл.-кор. НААН України М.А. Бобро. – Харків: ХНАУ, 2016. 268 с.

12. Бабич А. О., Бабич-Побережна А. А. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої в світі: монографія. Київ: Аграрна наука, 2011. 574 с.

13. Глупак З. І. Удосконалення технології вирощування скоростиглої сої для умов північно-східного Лісостепу України: дис. канд. с.-г. наук: 06.01.09. *Сумський національний аграрний університет*. Суми, 2013. 200 с.

14. Заболотний Г.М., Циганська О.І., Циганський В.І. Фотосинтетична продуктивність сої залежно від рівня удобрення та застосування комплексу мікроелементів. *Наукові доповіді НУБІП України*. 2018. № 5 (75).

15. Дубровський В. І., Швартау В. В., Михальська Л. М. Фотосинтез і врожай: проблеми, досягнення, перспективи досліджень. *Інститут садівництва НААН України. Садівництво*. 2020. Вип. 75. С. 251-256. DOI: 10.35205/0558-1125-2020-75-251-256.



16. Козючко А. Г., Гавій В. М., Кучменко О. Б. Фотосинтетична продуктивність сої Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2021. № 4 (84). С. 81-90. doi: <https://doi.org/10.25128/2078-2357.21.4.11>.

17. Петриченко В. Ф. Агробіологічне обґрунтування і розробка технологічних прийомів підвищення урожайності та якості насіння сої в Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття канд. с.-г. наук / В. Ф. Петриченко. Київ, 1995. 36 с.

18. Мосьондз Н. П. Фотосинтетична діяльність посівів сої залежно від елементів технології вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 2015. № 4 (53).

19. Бабич А. О., Новохацький М. Л. Освітленість рослин та її вплив на динаміку листового індексу посівів сої в умовах Правобережного Лісостепу України. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2001. Вип. 12. С. 179–184.

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

21. Рудник-Іващенко О. І. Вміст хлоропластів у листках рослин проса та їх роль в процесі фотосинтезу. *Наукові доповіді НУБіП*. 2010. № 3 (19). С. 1–7.

22. Лебедева Т. С., Ситник К. М. Пігменти рослинного світу. Київ: Наук. думка, 1986. 87 с.

23. Шовкова О. В. Формування продуктивності сої залежно від строків сівби та мінерального живлення в умовах лівобережної частини Лісостепу України: дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.09 / О. В. Шовкова. Полтава, 2021. 238 с.

24. Гуляєв Б. І. Екофізіологія фотосинтезу: досягнення, стан та перспективи досліджень. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліття: збірник наукових праць*. Київ, 2001. Т. 1. С. 60–74.

25. Шадчина Т. М., Гуляєв Б. І., Кірізій Д. А. та ін. Регуляція фотосинтезу і продуктивність рослин: фізіологічні та екологічні аспекти. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. 384 с.

26. Мальцева Н. М., Гаєвський А. П., Дерев'янка К. Ю. Вплив біологічно активних речовин та їх композицій на вміст фотосинтетичних пігментів у листках озимої пшениці в умовах дефіциту фосфору. *Фізіологія та біохімія культурних рослин*. 2011. Т. 43. № 5. С. 403–411.

27. Полянчиков С. П., Ковбель А. И. Роль амінокислот у захисті культур від стресів. *НПК «Квадрат»*. URL: [https://agromage.com/stat\\_id.php?id=1086](https://agromage.com/stat_id.php?id=1086) (дата звернення: 10.10.2021).

28. Сульфат магнію, як додаткове джерело сірки та магнію для рослини. *Agro One*. URL: [www.agroone.info/publication/sulfat-magniju-jak-dodatkovе-dzherelo-sirki-ta-magniju-dlja-roslini/](http://www.agroone.info/publication/sulfat-magniju-jak-dodatkovе-dzherelo-sirki-ta-magniju-dlja-roslini/) (дата звернення: 5.11.2021).

29. Турін Є. М. Специфічність взаємодії сортів сої з різними штаммами бульбочкових бактерій. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 11. С. 82–84.

30. Бабич А. О., Венедіктов О. М. Фотосинтетична діяльність та урожайність насіння сої залежно від строків сівби та системи захисту від хвороб в умовах Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2004. № 53. С. 83–88.

31. Бабич А. О., Петриченко Ф. В., Адамень Ф. Ф. Проблема фотосинтезу і біологічної фіксації азоту бобовими культурами. *Вісник аграр. науки*. 1996. № 2. С. 34–39.

32. Caulfield F. Comparative responses of photosynthesis to growth temperature in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars / F. Caulfield, J. Bunce. *Canad. J. Plant Sc.* 1988. Т. 68, № 2. Р. 419–425.

33. Колісник С. І. Формування продуктивності сої залежно від способів сівби, густоти рослин і добрив в умовах центрального Лісостепу України Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук / С. І. Колісник. Кам'янець - Подільський, 1996. 18 с.

34. Паламарчук В. Вплив строків сівби на площу листкової поверхні гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2018. № 22(1). С. 290-299.

35. Bone S. Reduces tillage systems for soybean production. *Soybean news*. 1978. V. 28. № 2. P. 1–2.

36. Козючко А. Г., Гавій В. М. Продуктивність сої сорту Аннушка залежно від впливу передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2022. № 3 (82). С. 59-65. doi: <https://doi.org/10.25128/2078-2357.22.3.9>.

37. Марченко Т. Ю. Характер мінливості господарськоцінних ознак сої в умовах зрошення півдня України. *Селекція і насінництво*. Вип. 90. С. 187–194.

38. Miret JA, Munné-Bosch S. Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Ann N Y Acad Sci*. 2015;1340:29–38. DOI: 10.1111/nyas.12639.

39. Stahl E, Hartmann M, Scholten N, Zeier J. A Role for Tocopherol Biosynthesis in Arabidopsis Basal Immunity to Bacterial Infection. *Plant Physiol*. 2019. №181(3):1008–1028. DOI: 10.1104/pp.19.00618.

40. Обробка насіння. *Агро Еліта*. URL.: <https://agroelita.info/2019/04/obrobka-nasinnya-soji/> (дата звернення: 10.11.2021).

41. Іванюк С. Потенціал продуктивності соєвого поля. *Агробізнес сьогодні*. 2015. № 21. С. 50–55.

42. Січкач В. І. Методи створення сортів сої з покращенням біохімічного складу насіння. *Корми і кормовиробництво : міжвід. темат. наук. зб. Корми і кормовиробництво*. 2011. Вип. 69. С. 37–44.

43. Бабич А. О. Моделі технології вирощування сої, їх економічна ефективність та конкурентоспроможність. *Корми і кормовиробництво*. 2006. Вип. 56. С. 22–29.

44. Бахмат О. М. Вплив агротехнічних заходів на продуктивність сої в умовах західного регіону України. *Корми і кормовиробництво*. 2010. Вип. 66. С. 103–108.

45. Бахмат О. М. Соя – культура майбутнього, особливості формування високого врожаю: монографія. Кам'янець-Подільський : ПП Мошак М. І, 2009. 208 с.

## РОЗДІЛ 4. БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕРНА СОЇ ЗА ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ КОМБІНАЦІЯМИ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

В арсеналі світових рослинних ресурсів соя за хімічним складом належить до найбільш цінних, рідкісних за комплексом ознак рослин. Соевий феномен криється у рідкісному хімічному складі, у потребі народів, широкому ареалі вирощування і використання для вирішення проблеми білка, олії та інших продуктів насіння сої [1].

Висока цінність сої визначається насамперед високим вмістом (33-52 %) повноцінного білка, який на 88-95 % представлений водорозчинною фракцією і включає легкокорозчинні глобуліни (60-81 %), альбуміни (8-25 %), важкорозчинні глобуліни (3-7%). За хімічним складом він дуже близький до білків тваринного походження, зокрема до білка курячих яєць, який є еталоном оцінки якості білка [2]. Білки сої містять незамінні амінокислоти (лізин, метіонін, цистин, тирозин, триптофан, треонін, валін, лейцин, ізолейцин, фенілаланін), які і визначають його повноцінність. У жодній іншій культурі немає такого набору амінокислот, як у сої [2].

На основі проведених нами досліджень з'ясовано, що передпосівна обробка насіння сої комбінаціями метаболічно активних речовин впливає на вміст білка в насінні (рис. 4.1). Так, вміст сирого протеїну у насінні сої у контрольному варіанті дослідів становив 18 мг/г. У результаті проведених досліджень встановлено позитивний вплив комбінацій вітаміну Е + убіхінон-10 та вітаміну Е + метіонін + ПОВК +  $MgSO_4$  на вміст сирого протеїну в зерні сої. Так, обробка насіння вітаміном Е в поєднанні з убіхіноном-10 перед сівбою забезпечила підвищення вмісту сирого протеїну в середньому на 31,44 %, у той час як передпосівна обробка насіння комбінацією вітаміну Е + метіонін + ПОВК +  $MgSO_4$  – на 4,77 %, відповідно до показників контролю. Також слід відмітити, що за використання комплексу вітаміну Е + убіхінон-10 вміст сирого протеїну був вищим порівняно із варіантами де застосовували регулятор росту Вимпел (табл. 4.1) [3, 4].

Таблиця 4.1.

**Вміст сирого протеїну в зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин за 2019-2021 рр., мг/г**

Варіант досліджу	2019 р.	2020 р.	2021 р.	середнє	
				мг/г	% до контролю
Контроль	18,38 ± 0,30	16,87 ± 0,63	18,75 ± 0,44	18,00 ± 0,46	100,00
Вимпел	22,73 ± 0,92*	23,44 ± 0,59*	23,25 ± 0,75*	23,14 ± 0,63*	128,55
Вітамін Е + убіхінон-10	24,75 ± 1,07*	21,25 ± 1,25*	25,00 ± 1,17*	23,66 ± 0,96*	131,44
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	19,10 ± 0,15	18,13 ± 0,63	19,37 ± 0,46	18,86 ± 0,43	104,77
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	18,28 ± 0,32	15,95 ± 0,59	18,45 ± 0,45	17,56 ± 0,44	97,55

Примітка: \* – різниця достовірна порівняно з контролем,  $p < 0,05$ .

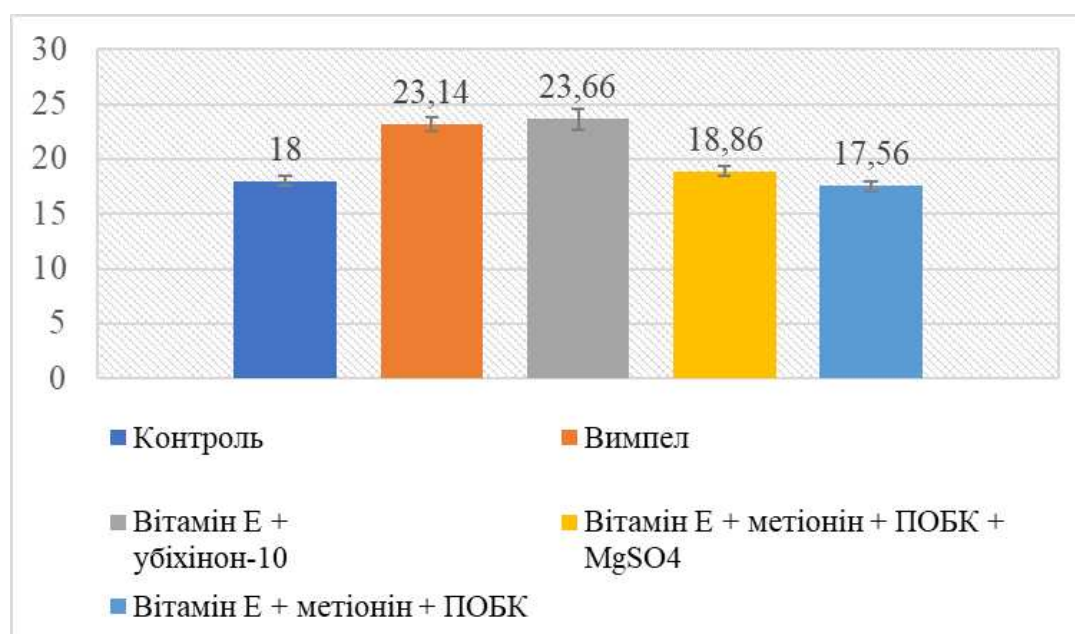


Рис. 4.1. Вміст сирого протеїну в зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин (середнє за 2019-2021 рр.), мг/г

У насінні сої міститься вуглеводів 22-35 %, у тому числі моноцукрів – 0,7-2,2, сахарози – 3,31-13,5, рафінози – 1,13, стахіози – 3,52, крохмалю і декстрину – 8,1-8,97, (пентозанів – 3,8-5,45, галоктону 4,6, арабану – 3,8, целюлози (клітковини) – 3,3-3,7, геміцелюлози – 1,3-6,5 % та ін. Однак, лише частина цих речовин засвоюється організмом людини і тварин. Вони представлені основними компонентами: розчинні цукри – 9-12 % маси насіння, крохмаль – 3-9, клітковина – 3-7 %. Розчинні цукри складаються в основному із сахарози, рафінози і стахіози, які в сумі становлять 99 % всіх розчинних цукрів. Моносахариди становлять менше 1 % розчинних цукрів. Вуглеводи сої цінні тим, що більша частина їх добре розчинна у воді й легко засвоюється організмом тварин. Галоктони, пентозани, геміцелюлози погано засвоюються або зовсім не використовуються. Нерозчинні вуглеводи (клітковина, декстрини, пектини) також відіграють позитивну роль у харчовому процесі, активізуючи засвоєння інших поживних речовин [5].

Вміст моно- та дисахаридів за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук збільшується порівняно з контрольною групою (табл. 4.2, рис. 4.2).

Використання вітаміну Е у поєднанні з убіхіноном-10 виявилось найефективнішим і сприяло збільшенню загального вмісту моно- та дисахаридів, вмісту моносахаридів та вмісту дисахаридів у насінні сої сорту Аннушка, на 122,89 %, 136,41 % та 124,58 % відповідно до контролю.

Комбінація вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  також сприяла збільшенню показників моно- та дисахаридів і передпосівна обробка вище зазначеною комбінацією сприяла збільшенню досліджуваних показників на 43,34 % , 21,74 % та 33,37 % в порівнянні з контролем (табл. 4.2).

Крім того, комбінації вітамін Е + убіхінонон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  показали вищі результати в порівнянні з синтетичним регулятором росту Вимпел.

Загальний вміст моно- та дисахаридів та вміст дисахаридів за використання комбінації вітамін Е + метіонін + ПОВК виявився нижчим порівняно до контролю (табл. 4.2, рис. 4.2).

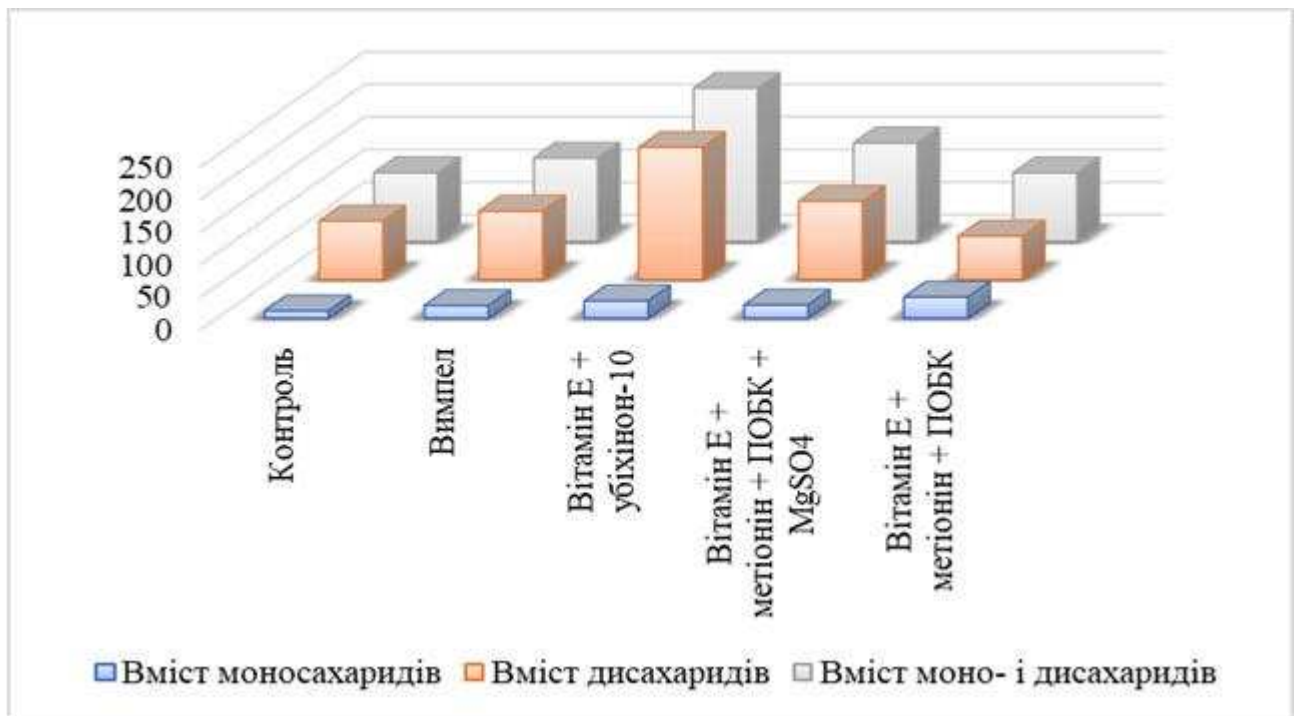


Рис. 4.2. Вміст моно- і дисахаридів у зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин (середнє за 2019-2021 рр.), мг/г сирої маси

Таблиця 4.2.

**Вміст моно- і дисахаридів у зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин за 2019-2021 рр., мг/г сирої маси**

Роки проведення дослідів	Варіанти дослідів				
	Контроль	Вимпел	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОВК
1	2	3	4	5	6



Продовження таблиці 4.2.

1	2	3	4	5	6	
<i>Вміст моно- і дисахаридів</i>						
2019 р.	107,20 ± 8,21	128,40 ± 12,07*	238,80 ± 21,05*	150,86 ± 13,95*	112,80 ± 10,92	
2020 р.	100,00 ± 8,05	127,20 ± 11,81*	230,80 ± 21,94*	141,60 ± 12,45*	90,00 ± 10,02	
2021 р.	109,60 ± 9,11	129,08 ± 12,96*	236,56 ± 22,02*	151,67 ± 14,10*	113,71 ± 11,22	
Середнє	мг/г сирової маси	105,60 ± 8,49	128,23 ± 12,28*	235,38 ± 21,31*	151,37 ± 13,99*	105,50 ± 10,19
	% до контролю	100,00	121,32	222,89	143,34	99,91
<i>Вміст моносахаридів</i>						
2019 р.	12,48 ± 4,13	21,56 ± 6,11*	29,08 ± 7,99*	21,15 ± 5,95*	34,92 ± 6,48*	
2020 р.	7,00 ± 3,75	17,20 ± 6,16*	23,00 ± 7,03*	16,60 ± 5,11*	29,20 ± 6,08*	
2021 р.	14,65 ± 4,28	22,07 ± 6,19*	28,56 ± 7,92*	23,80 ± 6,09*	33,60 ± 6,56*	
Середнє	мг/г сирової маси	11,37 ± 4,07	19,61 ± 6,09*	26,88 ± 7,84*	20,51 ± 5,84*	32,57 ± 5,92*
	% до контролю	100	172,47	236,41	180,38	286,45
<i>Вміст дисахаридів</i>						
2019 р.	92,47 ± 5,35	106,84 ± 6,82*	207,29 ± 11,37*	121,74 ± 6,46*	70,88 ± 3,46	
2020 р.	88,35 ± 5,25	104,50 ± 6,59*	197,41 ± 10,47*	118,75 ± 6,73*	57,76 ± 3,06	
2021 р.	90,95 ± 5,17	105,71 ± 6,47*	205,66 ± 11,73*	121,98 ± 7,06*	73,19 ± 4,73	
Середнє	мг/г сирової маси	90,59 ± 5,47	105,68 ± 5,94*	203,45 ± 11,35*	120,82 ± 6,96*	67,27 ± 6,59
	% до контролю	100	116,66	224,58	133,37	74,26

Примітка: \* – різниця достовірна порівняно з контролем,  $p < 0,05$ .

Показник вмісту крохмалю у насінні сої сорту Аннушка позитивно змінився лише за використання комбінації Вітамін Е + убихінон-10. Так, вище

зазначена комбінація збільшила вміст крохмалю на 10,37 % та 11,63 % відповідно до показників контролю та Вимпелу (табл. 4.3, рис. 4.3).

Комбінації вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO<sub>4</sub> та Вітамін Е + метіонін + ПОВК виявились малоефективними у порівнянні з контролем (табл. 4.3, рис. 4.3).

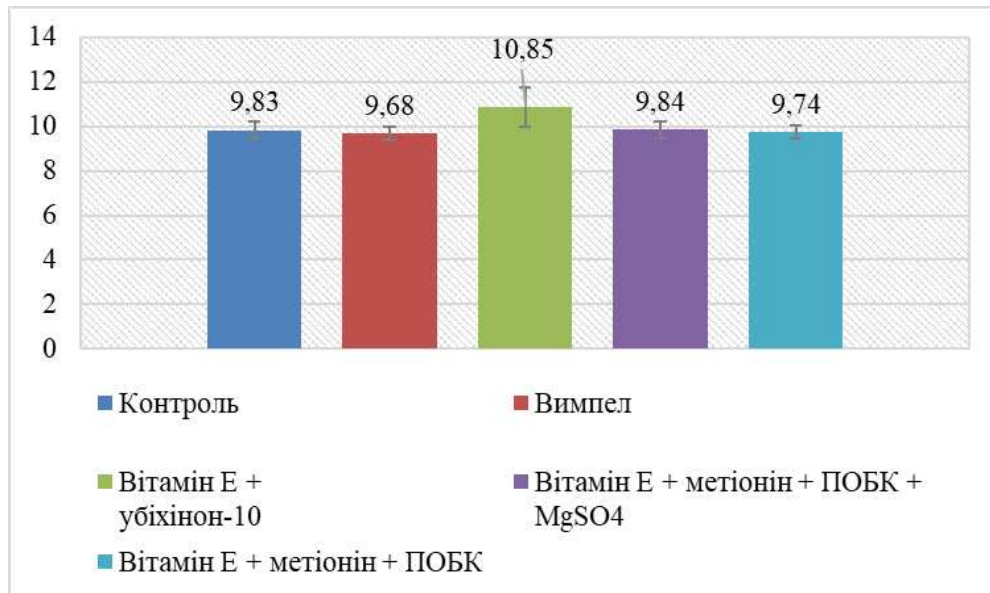


Рис. 4.3. Вміст крохмалю в зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин (середнє за 2019-2021 рр.), мг/г сирі маси

Таблиця 4.3.

**Вміст крохмалю в зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин за 2019-2021 рр., мг/г сирі маси**

Варіант дослідження	2019 р.	2020 р.	2021 р.	середнє	
				мг/г сирі маси	% до контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль	9,61 ± 0,22	9,33 ± 0,23	10,55 ± 0,31	9,83 ± 0,39	100,00
Вимпел	10,42 ± 0,23*	9,26 ± 0,17	9,37 ± 0,29	9,68 ± 0,29	98,74

## Продовження таблиці 4.3.

1	2	3	4	5	6
Вітамін Е + убіхінон-10	11,26 ± 0,75*	10,33 ± 0,66*	10,97 ± 0,74*	10,85 ± 0,88*	110,37
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	10,16 ± 0,37*	9,40 ± 0,27	9,95 ± 0,28	9,84 ± 0,4	100,10
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	10,33 ± 0,30*	9,33 ± 0,24	9,55 ± 0,23	9,74 ± 0,30	99,08

Примітка: \* – різниця достовірна порівняно з контролем,  $p < 0,05$ .

Біологічні та технологічні показники якості зерна сої визначаються вмістом та співвідношенням у ньому запасних білків та вуглеводів, метаболізм яких при дозріванні та проростанні знаходиться під контролем відповідних ферментних систем. При цьому центральну роль у формуванні технологічних та посівних характеристик зерна відіграють амілолітичні ферменти. Під дією цих ферментів відбувається гідроліз крохмалю з утворенням декстринів та мальтози.

Передпосівна обробка комбінціями метаболічно активних речовин вплинула й амілазну активність у зерні сої сорту Аннушка (табл. 4.4, рис. 4.4).

Із результатів досліджень ми бачимо, що в насінні сої присутні як  $\alpha$ - так і  $\beta$ -амілази. Нами було з'ясовано, що передпосівна обробка комбінаціями метаболічно активних речовин дала можливість збільшити сумарну активність  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілаз у середньому на 22,63 %-23,46 % відповідно до контролю (табл. 4.4, рис. 4.4).

Активність  $\alpha$ -амілази в зерні сої сорту Аннушка за використання метаболічно активних речовин має тенденцію до збільшення. Найвищий рівень активності  $\alpha$ -амілази спостерігається за використання комбінації вітаміну Е та убіхінону-10. Активність  $\beta$ -амілази також збільшується за використання досліджуваних речовин і в середньому складає 65,35-61,42 мг гідролізованого

крохмалю / год. на 1 г порівняно з контролем (табл. 4.4, рис. 4.4). Таким чином існує чітка кореляція між вмістом крохмалю у зерні сої та активністю амілаз. Зазначена комбінація вітамін Е + убіхінон-10 стимулювала утворення крохмалю у зерні сої, що є субстратом амілази. Збільшена активність амілаз корелює з високим вмістом цукрів у насінні сої, що утворюються при гідролізі крохмалю.

Таблиця 4.4.

**Активність амілаз в зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин за 2019–2021 рр.**

Роки проведення дослідів		Варіанти дослідів				
		Контроль	Випел	Вітамін Е + убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОВК + MgSO <sub>4</sub>	Вітамін Е + метіонін + ПОВК
1		2	3	4	5	6
<i>Сумарна активність α- і β-амілаз, мг гідролізованого крохмалю / год. на 1 г</i>						
2019 р.		56,76 ± 1,07	70,25 ± 2,82*	67,73 ± 1,73*	70,39 ± 2,94*	70,15 ± 2,73*
2020 р.		49,22 ± 0,59	68,06 ± 1,47*	69,91 ± 0,73*	68,44 ± 1,73*	67,97 ± 1,28*
2021 р.		65,18 ± 1,47	72,35 ± 2,94*	72,23 ± 2,47*	72,5 ± 3,20*	72,32 ± 2,85*
Середнє	мг/г сирової маси	57,06 ± 1,11	70,23 ± 2,06*	69,97 ± 1,82*	70,45 ± 2,15*	70,16 ± 1,96*
	% до контролю	100,00	123,08	122,63	123,46	122,96
<i>Активність α-амілази, мг гідролізованого крохмалю / год. на 1 г</i>						
2019 р.		6,83 ± 0,75	10,65 ± 0,99*	10,25 ± 0,92*	10,62 ± 0,94*	9,68 ± 0,82*
2020 р.		4,56 ± 0,59	7,53 ± 0,75*	8,24 ± 0,84*	6,73 ± 0,61*	5,92 ± 0,9*
2021 р.		8,75 ± 0,73	10,82 ± 0,82*	10,37 ± 0,8*	9,67 ± 0,79	10,59 ± 0,82*

## Продовження таблиці 4.4.

1		2	3	4	5	6
Середнє	мг/г сирової маси	6,72 ± 0,67	9,70 ± 0,92*	9,63 ± 0,82*	9,02 ± 0,8*	8,74 ± 0,75*
	% до контролю	100	144,35	143,30	134,23	130,06
<i>Активність β-амілази, мг гідролізованого крохмалю / год. на 1 г</i>						
2019 р.		49,93 ± 1,47	59,60 ± 1,6*	57,48 ± 1,55*	59,75 ± 1,59*	60,47 ± 1,62*
2020 р.		44,65 ± 1,11	60,51 ± 1,53*	61,67 ± 1,6*	61,7 ± 1,6*	62,05 ± 1,65*
2021 р.		57,00 ± 1,59	61,53 ± 1,9*	61,86 ± 1,92*	61,43 ± 1,9*	61,7 ± 1,91*
Середнє	мг/г сирової маси	50,54 ± 1,52	60,56 ± 1,95*	60,35 ± 1,9*	60,98 ± 2,01*	61,42 ± 2,1*
	% до контролю	100,00	119,83	119,41	120,66	121,53

Примітка: \* – різниця достовірна порівняно з контролем,  $p < 0,05$ .

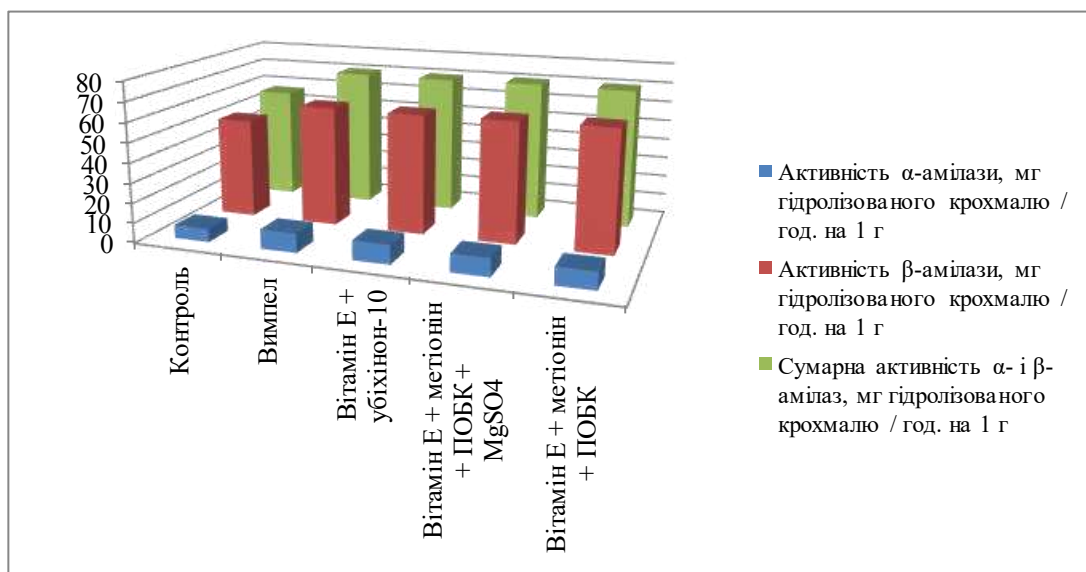


Рис. 4.4. Активність амілаз у зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин (середнє за 2019–2021 рр.)

Передпосівна обробка комбінаціями метаболічно активних речовин також позитивно вплинула на вміст “сирової” клітковини в зерні сої (табл. 4.5, рис. 4.5). “Сира” клітковина – це основна частина оболонки рослинних клітин, що

складається з целюлози і геміцелюлози. Вона необхідна як фактор, що нормалізує травлення їжі в кишечнику. За результатами трирічних досліджень вміст «сирої» клітковини у контрольному варіанті складає 7,54 %. З'ясовано, що комбінації метаболічно активних речовин дали можливість збільшити цей показник у середньому на 2,88-3,89 %. Максимальних результатів було досягнуто за використання комбінацій вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОВК. Вище зазначені комбінації не тільки перевищили показник контролю на 51,59 % і 50,00 %, а й показали вищий результат у порівнянні з дією синтетичного регулятора росту Вимпел [3, 4].

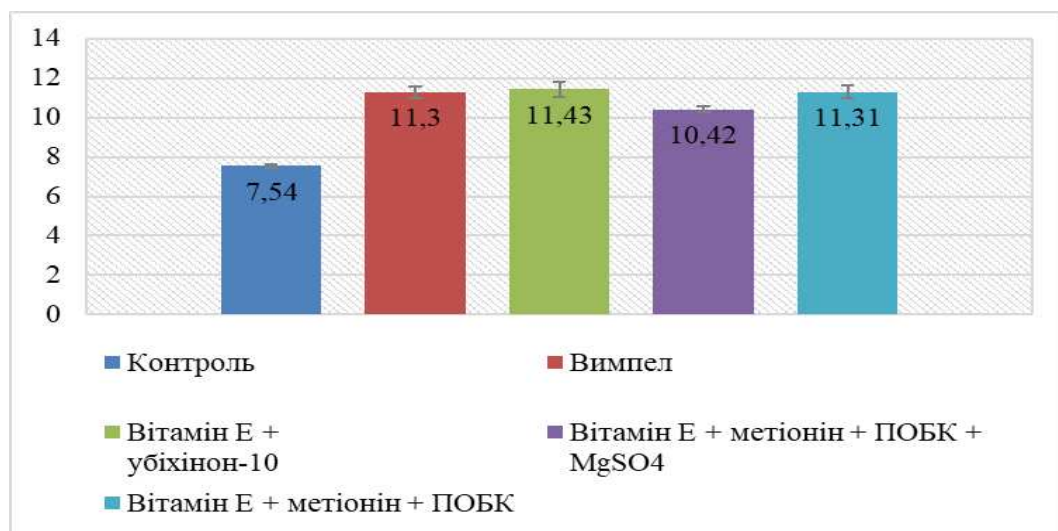


Рис. 4.5. Вміст «сирої» клітковини в зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин (середнє за 2019-2021 рр.), %

Таблиця 4.5.

**Вміст «сирої» клітковини в зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин за 2019-2021 рр., %**

Варіант досліджу	2019 р.	2020 р.	2021 р.	середнє	
				%	% до контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль	7,61 ± 0,12	7,47 ± 0,08	7,55 ± 0,11	7,54 ± 0,09	100,00

Продовження таблиці 4.5.

1	2	3	4	5	6
Вимпел	11,42 ± 0,33*	11,12 ± 0,35*	11,37 ± 0,49*	11,30 ± 0,30*	149,87
Вітамін Е + убіхінон-10	11,46 ± 0,05*	11,37 ± 0,09*	11,47 ± 0,14*	11,43 ± 0,08*	151,59
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	11,16 ± 0,17*	9,05 ± 0,19*	11,05 ± 0,28*	10,42 ± 0,15*	138,19
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	11,33 ± 0,30*	11,46 ± 0,31*	11,15 ± 0,43*	11,31 ± 0,30*	150,00

Примітка: \* – різниця достовірна порівняно з контролем,  $p < 0,05$ .

За хімічним складом насіння сої характеризується малою стійкістю при зберіганні. У своєму складі зерно сої містить 18-25% ліпідів, вміст високоненасичених жирних кислот в яких складає близько 64 %. Присутність у соєвій олії ліноленової кислоти є причиною швидкого переокиснення в процесі зберігання, що знижує її харчову цінність [6]. Інтенсивність гідролітичних і перекисних процесів у ліпідному комплексі сої визначається як умовами зберігання, так і тими речовинами, які закладено в процесі дозрівання насіння. За сприятливих умов вирощування рослин у насінневих тканинах формується багатокомпонентна система антиоксидантного захисту (АОЗ), яка включає низькомолекулярні біоантиоксиданти (каротиноїди, токофероли, фосфоліпіди та ін.) і антиоксидантні ферменти (супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза та ін.) [6]. Саме від рівня сформованості АОЗ залежить інтенсивність перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) і ступінь ушкодження біоактивних речовин при зберіганні насіння. Тому, нами було досліджено вміст каротиноїдів у насінні сої сорту Аннушка.

Збільшення вмісту каротиноїдів спостерігалось за передпосівної обробки комбінаціями з вітаміну Е + убіхінон-10 та вітаміну Е + метіонін + ПОБК (рис. 4.6). Використання вітаміну Е у поєднанні з убіхіноном-10

виявилось найефективнішим і в середньому вміст каротиноїдів збільшився на 45,65% у порівнянні з контролем і на 43,48% відповідно до Вимпелу (табл. 4.6). Комбінація вітамін Е + метіонін + ПОБК сприяла збільшенню показника каротиноїдів на 6,52% та 4,35% відповідно до показників контролю та Вимпелу. Збільшення каротиноїдів у насінні сої поліпшує його харчові властивості.

Вміст каротиноїдів у дослідному варіанті з використанням комбінації вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  був нижчим від контролю на 4,35% (табл. 4.6).

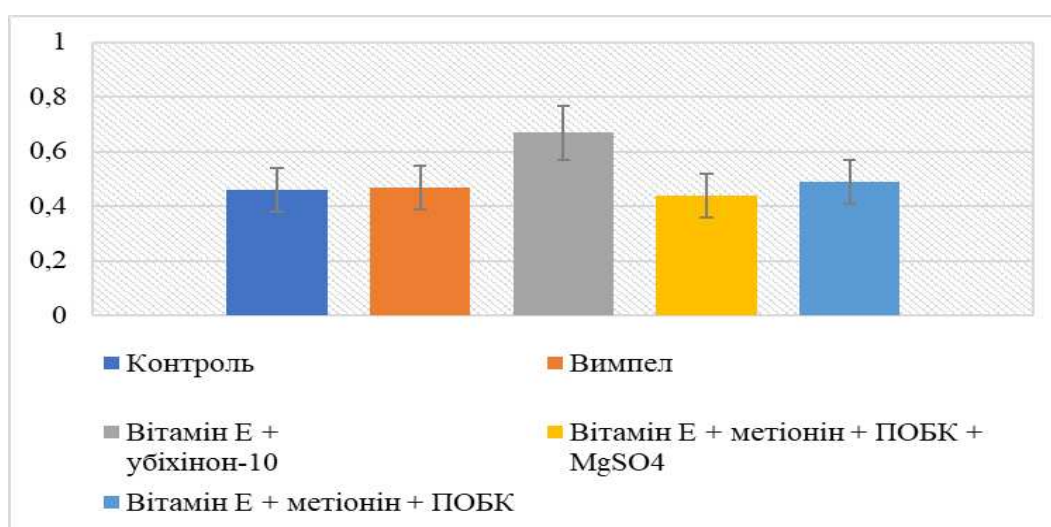


Рис. 4.6. Вміст каротиноїдів у зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин (середнє за 2019-2021 рр.), мг/г

Таблиця 4.6.

**Вміст каротиноїдів у зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин за 2019-2021 рр.**

Варіант досліджу	2019 р.	2020 р.	2021 р.	середнє	
				мг/г	% до контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль	0,45 ± 0,1	0,43 ± 0,08	0,5 ± 0,1	0,46 ± 0,09	100,00



Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6
Вимпел	0,52 ± 0,13*	0,43 ± 0,08	0,47 ± 0,09	0,47 ± 0,09	102,17
Вітамін Е + убіхінон-10	0,71 ± 0,2*	0,63 ± 0,1*	0,67 ± 0,24*	0,67 ± 0,21*	145,65
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO <sub>4</sub>	0,46 ± 0,1	0,41 ± 0,06	0,45 ± 0,88*	0,44 ± 0,05	95,65
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	0,53 ± 0,14*	0,45 ± 0,09	0,50 ± 0,11	0,49 ± 0,1	106,52

Примітка: \* – різниця достовірна порівняно з контролем,  $p < 0,05$ .

Продемонстровані ефекти зазначених речовин можна пояснити ефективністю компонентів досліджуваних комбінацій, їхнім дозуванням за передпосівної обробки насіння. Так, вітамін Е (токоферол) є сильним антиоксидантом, який рослини використовують як складову захисних систем проти окиснювального стресу. Високий вміст токоферолів зумовлює стійкість до засолень, посухи, дії важких металів, озону, УФ-променів тощо. Вітамін Е координовано працює з іншими антиоксидантами та взаємодіє з фітогормонами (етиленом, абсцизовою кислотою, саліциловою кислотою та ін.) [7]. Найвищу концентрацію токоферолів серед усіх органів рослин має насіння. Оскільки в насінні міститься висока концентрація поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), токофероли також можуть виконувати роль їхніх протекторів. Завдяки високому вмісту токоферолів насіння може довгий час залишатися життєздатним і перебувати у стані спокою за несприятливих умов навколишнього середовища [8]. Убіхінон в організмі рослин бере участь в обмінних процесах, виявляє антиоксидантні властивості, бере участь у регуляції експресії генів, передачі сигналів у клітинах [7, 9]. Разом із пластохіноном він бере участь у процесах фотофосфорилування та окиснювального фосфорилування відповідно в тилакоїдах хлоропластів та на

внутрішній мембрані мітохондрій. Також показано, що вітамін Е ( $\alpha$ -токоферилацетат) та убіхінон можуть виявляти імуностимулювальну, антифітовірусну та антибактеріальну активність [10]. Параоксибензойна кислота має виражену антимікробну активність і має властивості пригнічувати ріст бактерій, цвілевих та інших грибів. Вона поєднує у собі властивості сигнального посередника і стресового фітогормону. Метіонін є попередником у синтезі гормонів росту.

Джерелом додаткового живлення сільськогосподарських культур є мінеральне добриво – сульфат магнію. Магній входить до складу хлорофілу, впливає на інтенсивність фотосинтезу, бере участь у переміщенні фосфору в рослинах і вуглеводному обміні, впливає на активність окислювально-відновних процесів, входить до складу хлорофілу, фітину, пектинових речовин, активізує ферментативні процеси, регулює колоїдно-хімічний стан протоплазми [2]. Магній впливає на перерозподіл і перетворення фосфору у рослинах, на розвиток бульбочок на коренях, активізує ферменти, зокрема фосфатазу [11]. Сульфур контролює ріст і розвиток рослини, також, як і магній, відіграє роль у синтезі білків, ферментів, метаболізм, в окисно-відновних процесах клітини, підвищує стійкість до стресових умов, активізує відновні процеси [12].

#### **Висновки до розділу 4:**

1. Обробка насіння вітаміном Е в поєднанні з убіхіноном-10 перед сівбою забезпечила підвищення вмісту сирого протеїну в насінні сої в середньому на 31,44 %, збільшенню загального вмісту моно- та дисахаридів, вмісту моносахаридів та вмісту дисахаридів в насінні сої.

2. Комбінації метаболічно активних речовин вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОВК дали можливість збільшити вміст «сирої» клітковини та каротиноїдів у насінні сої, що суттєво поліпшує біохімічний склад насіння.

3. Поєднання вітаміну Е та убіхінону-10 в порівнянні з іншими варіантами досліджень виявилось найефективнішим при дослідженні біохімічного складу насіння сої.

4. Комбінації вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  можуть бути перспективними регуляторами росту, оскільки поліпшують харчові якості насіння, а передпосівна обробка насіння зазначеними сполуками є ефективним елементом технології при вирощуванні сої.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 4:

1. Бабич А. О. Соя для здоров'я і життя на планеті земля. Київ: Аграрна наука, 1998. 272 с.

2. Бабич А. О. Сучасне виробництво і використання сої. Київ: Урожай, 1993. 430 с.

3. Козючко А. Г., Гавій В. М. Біохімічний склад насіння сої за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин та регулятором росту Вимпел. *Грааль науки*, 2021. №4. С. 135-140.

4. Козючко А. Г., Гавій В. М. Біохімічні показники зерна сої за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 2022. №48(2). Р. 90-95.

5. Заболотний, Г. М., Мазур, В. А., Циганська, О. І., Дідур, І. М., Циганський, В. І., & Панцирева, Г. В. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності. : *монографія. Вінниця. 2020. 276 с./Рек. до друку рішенням ВР ВНАУ (Протокол№ 6 від 18. 12. 2020 р.)*.

6. Горбань Я. І., Калитка В. В. Динаміка перекисних процесів ліпідів сої під впливом антиоксидантів при зберіганні зерна. *Наукові доповіді Національного аграрного університету*. 2006. №2(3).

7. Miret J. A., Munné-Bosch S. Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Ann N Y Acad Sci.* 2015. P. 29–38. doi: 10.1111/nyas.12639.
8. Sattler S. E., Gilliland L. U., Magallanes-Lundback M., Pollard M., Della Penna D. Vitamin E. Is Essential for Seed Longevity and for Preventing Lipid Peroxidation during Germination. *The Plant Cell*, 2004. №16(14). P. 19–32. doi: 10.1105/tpc.021360.
9. Liu M., Lu S. Plastoquinone and Ubiquinone in Plants: Biosynthesis, Physiological Function and Metabolic Engineering. *Front Plant Sci.* 2016. №7. doi: 10.3389/fpls.2016.01898.
10. Stahl E., Hartmann M., Scholten N., Zeier J. A role for tocopherol biosynthesis in arabidopsis basal immunity to bacterial infection. *Plant physiol*, 2019. №181(3). P. 1008–1028. doi: 10.1104/pp.19.00618.
11. Лещенко А. К. Культура сои. Київ: Наук. думка. 1978. 235 с.
12. Сульфат магнію як додаткове джерело сірки та магнію для рослини. "ТДА". URL: <https://tda-shop.com.ua/ua/a375350-sulfat-magniyu-yak.html> (дата звернення: 5.11.2021).

## РОЗДІЛ 5

### УЗАГАЛЬНЕННЯ

Продовольча безпека кожної країни світу є важливим фактором соціальної стабільності та вагомим стратегічним і поточним актуальним завданням вирішення для будь-якої держави [1]. Основою вирішення продовольчої проблеми є підвищення біологічної продуктивності сільськогосподарських культур. У прагненні задовольнити підвищений попит на продукти харчування стало важливим впровадження агротехнічних методів, які сприяють пристосованості рослин до складних умов середовища, покращують стійкість їх до абіотичного стресу та підвищують продуктивність [2]. З цих причин пошук нових ефективних регуляторів росту рослин є актуальними науковими дослідженнями у всьому світі [3].

Зернобобові культури – одні з найпоширеніших і найважливіших сільськогосподарських культур у світі, в тому числі й в Україні. З усіх зернобобових культур соя є найбільш цінною культурою. Соевий феномен криється у рідкісному хімічному складі, у широкому ареалі вирощування і використанні для вирішення проблем білка, олії та інших продуктів насіння сої [4].

Якість продукції зернобобових культур і сої зокрема, залежить від сукупного поєднання погодно-кліматичних, ґрунтових факторів та технології вирощування. Сучасні технологічні прийоми вирощування зернобобових культур передбачають використання регуляторів росту рослин.

Перспективними регуляторами росту зернобобових культур можуть бути комбінації метаболічно активних сполук, зокрема ПОБК,  $MgSO_4$ , метіоніну, убіхінону-10, вітаміну Е. Вони є високоефективними в малих концентраціях та не токсичні для здоров'я людини та тварин.

У дисертаційній роботі вперше з'ясовано особливості впливу передпосівної обробки насіння сої комбінаціями метаболічно активних речовин на фізіолого-біохімічні показники росту і розвитку рослин, якість зерна сої

сорту Аннушка та надано фізіолого-біохімічне обґрунтування застосування передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук у технології вирощування сої в ґрунтово-кліматичних умовах Чернігівської області.

З'ясовано, що комбінації метаболічно активних речовин мали позитивний вплив на формування кореневої системи сої протягом усіх фаз росту та розвитку рослин. Встановлено, що використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10 сприяло утворенню найбільшої кількості бічних коренів протягом усього дослідження. Комбінації вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  виявились більш ефективними у порівнянні з іншими варіантами досліду і дали можливість збільшити лінійний ріст бічних коренів протягом усіх фаз онтогенезу сої.

В дисертаційній роботі вперше показано, що передпосівна обробка насіння метаболічно активними речовинами оптимізує процес росту рослин сої, стимулює накопичення маси сирі речовини надземних і підземних органів, підвищує інтенсивність утворення соєво-ризобіального симбіозу в ґрунтово-кліматичних умовах Чернігівської області. Передпосівна обробка насіння вітаміном Е в поєднанні з убіхіноном-10 виявила найбільший ефект у порівнянні з іншими комбінаціями щодо формування симбіотичного апарату рослин сої сорту Аннушка.

Продемонстровано позитивний ефект передпосівної обробки насіння сої вітаміном Е в поєднанні з убіхіноном-10 на формування фотосинтетичного апарату сої протягом усіх досліджуваних фаз. Показано, що максимальну кількість листків на рослинах було виявлено за використання вітаміну Е в поєднанні з убіхіноном-10. Зазначена вище комбінація найефективніше стимулювала наростання листків, перевищуючи показники контролю у всіх досліджуваних фазах та показники у варіанті з Вимпелом у фазах цвітіння та формування бобів. Позитивний вплив на формування листків сої мала також передпосівна обробка насіння комбінаціями метаболічно активних сполук: вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  та вітамін Е + метіонін + ПОБК.

У дисертаційній роботі з'ясовано, що досліджувані речовини вплинули на формування площі листкового апарату та площі листкової поверхні. Застосована комбінація вітамін Е + убіхінон-10 найефективніше впливала на зазначені показники протягом усіх досліджуваних фаз та перевищувала показники контролю і Вимпелу. Використання комбінації вітамін Е + ПОБК + метіонін +  $MgSO_4$  найефективніше стимулювала зазначені показники у фазі цвітіння.

На основі експериментальних досліджень та їх теоретичного аналізу нами встановлено, що застосування комбінацій метаболічно активних сполук для передпосівної обробки насіння викликає певні зміни в пігментному складі листків рослин сої на різних фазах онтогенезу. Показано, у фазі 1-3 трійчастих листків показники суми хлорофілів *a* і *b* та показники вмісту хлорофілу *a* і *b* у листках сої за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10 були найвищими порівняно з контролем та регулятором росту Вимпел. Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями речовин вітамін Е + убіхінон-10, вітаміну Е + ПОБК + метіонін дала можливість збільшити вміст суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої і у фазі цвітіння. Продемонстровано, що всі досліджувані речовини сприяли збільшенню вмісту хлорофілу *a* порівняно з контролем. Найбільший вміст хлорофілу *b* було виявлено за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10. Максимальні показники вмісту хлорофілів *a* і *b* виявлено у фазі формування бобів.

Чиста продуктивність фотосинтезу залежить як від біологічних особливостей культури, так і від комплексу зовнішніх факторів: сонячної радіації, температури повітря, вологості ґрунту, рівня мінерального живлення, а також від застосування регуляторів росту рослин. Продемонстровано, що застосування досліджуваних речовин забезпечило збільшення чистої продуктивності фотосинтезу в усіх досліджуваних варіантах, а також у всіх досліджуваних фазах. Максимальний результат був досягнутий завдяки використанню вітаміну Е в поєднанні з убіхінон-10.

Ми вперше показали, що передпосівна обробка насіння сої комбінаціями вітаміну Е + убіхінон-10 та вітаміну Е + метіонін + ПОВК +  $MgSO_4$  сприяла збільшенню показників структурних елементів врожаю сої (висоти рослин, висоти прикріплення нижніх бобів, кількості плодоносних вузлів, кількості та довжини бобів на рослині, кількості насінин та маси насіння з 1 рослини). Максимальний ефект було досягнуто при використанні комбінації з вітаміну Е та убіхінону-10.

Нами вперше встановлено, що застосування композицій метаболічно активних сполук в передпосівній обробці насіння сої сорту Аннушка приводила до зростання біологічної врожайності. Найвища врожайність сої спостерігалася за передпосівної обробки насіння комбінацією речовин вітаміну Е + убіхінон-10.

Нами вперше продемонстровано можливість покращення якості зерна шляхом передпосівної обробки насіння сої композиціями метаболічно активних сполук. Встановлено, що обробка насіння вітаміном Е у поєднанні з убіхіноном-10 перед сівбою забезпечила підвищення вмісту сирого протеїну, збільшенню загального вмісту цукрів, вмісту моносахаридів та вмісту дисахаридів і каротиноїдів у насінні сої. Комбінації метаболічно активних речовин вітаміну Е + убіхінон-10, вітаміну Е + метіонін + ПОВК та вітаміну Е + ПОВК + метіонін +  $MgSO_4$  дали можливість збільшити вміст «сирої» клітковини у насінні сої, що суттєво поліпшує біохімічний склад насіння. Поєднання вітаміну Е та убіхінону-10 в порівнянні з іншими варіантами досліджень виявилось найефективнішим при дослідженні біохімічного складу насіння сої. Високу ефективність вище зазначених речовин можна пояснити ефективністю компонентів досліджуваних комбінацій, їхнім дозуванням за передпосівної обробки насіння.

Отримані у дисертаційній роботі результати мають важливе практичне значення для вирішення проблем біологічної та аграрної науки. Представлені в роботі експериментальні дані відкривають перспективу створення на їх основі нових препаратів для стимуляції росту і розвитку рослин, збільшення



врожайності, покращення якості зерна сої. Комбінації вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК +  $MgSO_4$  можуть бути перспективними регуляторами росту зернобобових культур, а передпосівна обробка насіння зазначеними сполуками є ефективним елементом технології при вирощуванні сої.

Отримані результати мають теоретичне значення і впроваджені у навчальний процес при викладанні навчальних курсів «Фізіологія рослин» і «Біохімія рослин» для підготовки здобувачів Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя, навчальних курсів «Фізіологія рослин», «Ботаніка», «Біологія» для підготовки здобувачів Житомирського державного університету імені Івана Франка, навчальних курсів «Біохімія та фізіологія рослин», «Фізіологія рослин та формування врожаю», «Екологія рослин» для підготовки здобувачів Таврійського державного агротехнічного університету імені Дмитра Моторного.

Результати дисертаційного дослідження створюють ґрунтовну теоретичну базу для вирішення наукової задачі розширення асортименту сучасних регуляторів росту рослин, здатних проявляти високу ефективність при вирощуванні зернобобових культур.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 5:

1. Стариченко Є. М. Продовольча безпека країни як соціально економічна категорія. *Агросвіт*, 2018. № 13. С. 42-48.
2. Тіщенко М. Г. Проблеми забезпечення продовольчої безпеки України. *Ефективна економіка*, 2013. № 7.
3. Застосування регуляторів росту рослин. *Синтетичні регулятори росту рослин*. URL: [http://rostroslun.blogspot.com/p/blog-page\\_71.html](http://rostroslun.blogspot.com/p/blog-page_71.html) (дата звернення: 11.06.2020).
4. Силенко Г. Л., Шерстобитов В. В., Капрелянц Л. В. Продукти із сої - їжа третього тисячоліття. *Агросвіт*, 2001. № 6. С. 10-12.

## ВИСНОВКИ

1. Використання комбінацій вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОВК +  $MgSO_4$  для передпосівної обробки насіння сприяло утворенню бічних коренів та їхньому росту на всіх досліджуваних фазах розвитку сої. Передпосівна обробка насіння комбінацією вітаміну Е в поєднанні з убіхіноном-10 найефективніше стимулювала утворення бульбочок на бічних коренях сої. Зазначена комбінація показала найвищий результат у фазі 1-3 трійчастих листків і перевищила показники контролю за кількістю утворених бульбочок на бічних коренях на 98,86 %. У фазах цвітіння та формування бобів вище зазначена комбінація сприяла збільшенню показників кількості азотофіксуючих бульбочок на бічних коренях на 52,07 % та 55,12 % відповідно до показників контролю.

2. Використання комбінацій вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + ПОВК + метіонін +  $MgSO_4$  для передпосівної обробки насіння призводило до збільшення довжини стебла, кількості листків та площі листової поверхні рослин сої. Передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е + убіхінон-10 дає можливість збільшити площу трійчастого листка у фазі 1-3 трійчастих листків в середньому на 25,99  $cm^2$ , що на 77,03% більше за показники у контролі. Розвиток листової поверхні у фазі цвітіння та формування бобів досягає свого максимального значення за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10.

3. Вміст хлорофілу в листках рослин сої поступово зростає за фазами росту та розвитку і досягнув свого максимуму в фазу формування бобів. Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями речовин вітамін Е + убіхінон-10 та вітаміну Е + ПОВК + метіонін забезпечила збільшення вмісту суми хлорофілів *a* і *b*, вмісту хлорофілу *a* та вмісту хлорофілу *b* у листках сої. Застосування комбінацій вітамін Е + убіхінон-10, вітамін Е + метіонін + ПОВК сприяло зростанню чистої продуктивності фотосинтезу в усіх досліджуваних фазах онтогенезу сої.

Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями вітамін Е + метіонін + ПОВК та вітамін Е + метіонін + ПОВК +  $MgSO_4$  сприяла збільшенню показників структурних елементів врожаю сої (висоти рослин, висоти прикріплення нижніх бобів, кількості плодоносних вузлів, кількості та довжини бобів на рослині, кількості насінин та маси насінин з 1 рослини). Найвища врожайність сої спостерігалася за передпосівної обробки насіння комбінацією речовин з вітаміну Е + убіхінон-10 і становила 3,20 т/га, перевищуючи показники контролю на 36,75 %. Передпосівна обробка насіння сої комбінацією вітамін Е + ПОВК + метіонін +  $MgSO_4$  підвищила урожайність сої на 14,10 % порівняно з показниками контролю.

4. Обробка насіння вітаміном Е в поєднанні з убіхіноном-10 перед сівбою забезпечила підвищення вмісту сирого протеїну в насінні сої в середньому на 31,44 %, збільшенню загального вмісту моно- та дисахаридів, вмісту моносахаридів та вмісту дисахаридів в насінні сої.

5. Комбінації метаболічно активних речовин вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОВК дали можливість збільшити вміст «сирої» клітковини та каротиноїдів у насінні сої, що суттєво поліпшує біохімічний склад насіння.

6. Поєднання вітаміну Е та убіхінону-10 в порівнянні з іншими варіантами досліджень виявилось найефективнішим при дослідженні біохімічного складу насіння сої.

7. Комбінації вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОВК +  $MgSO_4$  можуть бути перспективними регуляторами росту, оскільки поліпшують фізіолого-біохімічні показники росту і розвитку сої, харчові якості насіння, а передпосівна обробка насіння зазначеними сполуками є ефективним елементом технології при вирощуванні зернобобових культур.

## ДОДАТКИ

Додаток А



Міністерство освіти і науки України  
НІЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИКОЛИ ГОГОЛЯ

вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська обл., 16602  
тел.: (04631) 7-19-67, факс: (04631) 2-53-09  
e-mail: ndu@ndu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02125668

28.11.2022 № 01-14/572

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Акт про впровадження в навчальний процес кафедри біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя результатів дисертаційного дослідження Козючко Альони Григорівни

Результати наукового дослідження в рамках виконання дисертаційної роботи за темою «Фізіологічно-біохімічне обґрунтування застосування метаболічно активних сполук у технології вирощування сої» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 - Біологія за спеціальністю були використані під час викладання навчальних курсів «Фізіологія рослин», «Біохімія рослин» у Ніжинському державному університеті імені Миколи Гоголя в період 2020-2022 н.р.

Використання отриманих результатів дозволяє поглибити розуміння студентами впливу метаболічно-активних сполук на рослинні організми з метою подальшого застосування в рослинництві. Речовини, які показали свою ефективність, можуть бути використані в якості складових компонентів стимуляторів росту.

Ректор

О.Г. САМОЙЛЕНКО

**УКРАЇНА**  
**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**імені ДМИТРА МОТОРНОГО**

000599



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**імені ДМИТРА МОТОРНОГО**

Юридична адреса: проспект Богдана Хмельницького 18, місто Мелітополь, Запорізька область, 72312

Фактична адреса: вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна

тел: (061) 289-12-99.; (099) 614-83-02, e-mail: office@tsatu.edu.ua код ЄДРПОУ 00493698

*29.11.2022* № *54/3/625* На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

**Акт про впровадження**

в навчальний процес кафедри рослинництва та садівництва імені проф. В.В. Калитки Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного результатів дисертаційного дослідження Козючко Альони Григорівни

Результати наукового дослідження в рамках виконання дисертаційної роботи за темою «Фізіологічно-біохімічне обґрунтування застосування метаболічно активних сполук у технології вирощування сої» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 - Біологія були використані під час викладання навчальних курсів «Біохімія та фізіологія рослин», «Фізіологія рослин та формування врожаю», «Екологія рослин» у Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного в період 2022-2023 н.р.

Використання отриманих результатів дозволяє поглибити уявлення студентів про сучасні технологічні прийоми вирощування сої, про шляхи збільшення продуктивності зернобобових культур при одночасному підвищенні якості продукції.

Ректор Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного,  
 доктор технічних наук, професор

Сергій КЮРЧЕВ

Міністерство освіти і науки України  
ПОЛІССЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

10008, м. Житомир, бульвар Старий, 7  
тел: (0412) 47-13-56  
e-mail: [mail@polissiauniver.edu.ua](mailto:mail@polissiauniver.edu.ua)  
polissiauniver.edu.ua  
код ЄДРПОУ 00493681



Ministry of Education and Science of Ukraine  
POLISSIA NATIONAL  
UNIVERSITY

7, Staryi Blvd, 10008, Zhytomyr, Ukraine  
phone: +38(0412) 47-13-56  
e-mail: [mail@polissiauniver.edu.ua](mailto:mail@polissiauniver.edu.ua)  
polissiauniver.edu.ua  
USREOU 00493681

Від 07.12.22 № 1678/0117  
на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Результати наукових досліджень Козючко Альони Григорівни, отриманих під час виконання дисертаційної роботи за темою «Фізіологічно-біохімічне обґрунтування застосування метаболічно активних сполук у технології вирощування сої», на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 – Біологія були впроваджені в навчальний процес кафедри екології і використані під час викладання навчальних курсів «Фізіологія рослин», «Біологія», «Ботаніка» у студентів галузі знань 10 «Природничі науки» спеціальності 101 «Екологія» за освітніми ступенями бакалавр, магістр денної і заочної форми навчання в період 2021-2022 н.р.

Використання отриманих результатів дозволяє поглибити уявлення здобувачів освіти про перспективні сучасні регулятори росту, що можуть бути використані у технології вирощування сої та призведуть до збільшення її продуктивності і поліпшення біохімічного складу зерна.

Проректор з наукової роботи  
та інноваційного розвитку



*L. Romanchuk*  
Людмила РОМАНЧУК