

ФОРМУВАННЯ ПЛОЩІ ЛИСТКОВОГО АПАРАТУ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД РОЗВИТКУ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ЗА ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО-АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

В. М. ГАВІЙ¹, кандидат біологічних наук

О. Б. КУЧМЕНКО¹, доктор біологічних наук

А. Г. КОЗЮЧКО-ГОЛОВАЧ², доктор філософії

¹Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя

²Національний медичний університет імені О. О. Богомольця

Наведено результати вивчення впливу передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно-активних речовин на формування кореневої системи та площу листкового апарату сої на різних фазах росту і розвитку. Встановлено, що використання комбінацій вітаміну E + убіхінон-10 та вітаміну E + метіонін + параоксибензойна кислота (ПОБК) + MgSO₄ для передпосівної обробки насіння сої найефективніше стимулювало утворення бічних коренів і збільшення маси сирої речовини кореневої системи у фазах одного–трьох трійчастих листків і цвітіння.

Ключові слова: вітаміну E, убіхінон-10, метіонін, параоксибензойна кислота, MgSO₄, кількість коренів, маса сирої речовини, площа листкового апарату.

Вступ. Зернобобові культури займають важливе місце серед сільськогосподарських рослин як у світі, так і в Україні. Серед них соя є найбільш цінною завдяки унікальному хімічному складу, широкому географічному ареалу вирощування та значному потенціалу у вирішенні питань забезпечення білками, олією та іншими продуктами переробки [1]. Зростаючий попит на сою та її продукти зумовлює необхідність впровадження сучасних агротехнологій, що сприяють адаптації рослин до стресових умов, підвищенню їхньої стійкості до абіотичних чинників та підвищенню врожайності [2]. Зважаючи на це, пошук ефективних регуляторів росту рослин залишається актуальним напрямом наукових досліджень у всьому світі [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування врожаю сої безпосередньо пов'язане з функціонуванням її фотосинтетичного апарату, зокрема з розвитком листкової поверхні. Листки відіграють основну роль у засвоєнні сонячної енергії та синтезі органічних сполук, що забезпечують ріст рослин і формування насіння [4].

Формування площі листкової поверхні сої визначається комплексом чинників, з основними з яких є строк сівби і спосіб внесення мікродобрив. Дослідження показали, що застосування позакоренових підживлень препаратами «Рексолін» і «Брасітрел» у поєднанні з обробкою насіння «Рексоліном» за ранніх строків сівби позитивно впливає на збільшення площі листкової поверхні [4]. Як

зазначено в дослідженні [5], на площу листової поверхні сої також впливають такі фактори, як сорт, спосіб сівби, норма висіву та умови зволоження.

Одним із визначальних чинників у формуванні листової поверхні є система живлення рослин. Для досягнення максимальної фотосинтетичної ефективності необхідно створити оптимальні умови для мінерального живлення сої впродовж усього періоду вегетації [6, 7]. Збалансоване внесення добрив сприяє розвитку потужної кореневої системи, що забезпечує активне наростання надземної біомаси, формування великої листової поверхні та високу врожайність. Крім того, рослини з добре розвинутою кореневою системою менше пошкоджуються хворобами та шкідниками, що сприяє зниженню потреби в пестицидах і покращенню якості врожаю [7]. Передпосівна обробка насіння мікоризоутворювальними грибами та азотофіксувальними бактеріями має позитивний вплив на розвиток кореневої системи та площу листового апарату [8]. З метою підвищення врожайності та стійкості сільськогосподарських культур до різних стресових факторів науковці світу широко використовують метаболічно-активні сполуки. Так, пакистанські дослідники встановили, що обприскування кукурудзи (*Zea mays* L.) розчином α -токоферолу (вітаміну Е) підвищує активність антиоксидантних ферментів і сприяє збільшенню вмісту зелених фотосинтетичних пігментів у листках [9]. Експериментальні дослідження [10] довели, що використання убіхінону-10 продовжує вегетаційний період пшениці та покращує її врожайність.

Проте, у наукових джерелах недостатньо інформації щодо впливу передпосівної обробки насіння метаболічно-активними речовинами на розвиток кореневої системи та формування листового апарату сої в умовах північного Лісостепу України.

Метою досліджень було встановлення особливостей формування площі листового апарату сої залежно від розвитку кореневої системи за передпосівної обробки насіння метаболічно-активними речовинами.

Методика досліджень. Польові дослідження проводилися на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя впродовж 2019–2021 років. Перед закладкою дослідів на ділянках проводили передпосівну культивуацію, вимірювання, поділ на варіанти та повторності, а також обробку насіння досліджуваними речовинами. Загальна площа посівної ділянки – 108 м². Повторність дослідів – триразова.

Для дослідження використовували сорт сої Аннушка, що характеризується ультраскоростиглістю, високою стійкістю до вилягання, резистентністю до хвороб і високою продуктивністю [11]. Схема однофакторного польового дослідів включала такі варіанти передпосівної обробки насіння:

1. Дистильована вода (контроль 1).
2. Вимпел (контроль 2).
3. Вітамін Е (10^{-8} М) + убіхінон-10 (0,001 %).
4. Вітамін Е (10^{-8} М) + параоксibenзойна кислота (0,001 %) + метіонін (0,001 %).
5. Вітамін Е (10^{-8} М) + параоксibenзойна кислота (ПОВ) (0,001 %) + метіонін (0,001 %) + MgSO₄ (0,001 %).

Після обробки досліджуваними речовинами насіння висівали широкорядним способом із шириною міжрядь 45 см. Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений чорноземом опідзоленим, малогумусним, з відносною однорідністю гранулометричного складу. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту 3,5 %, ступінь насиченості основами – 90,8–91,1 %, реакція ґрунтового розчину слабокисла (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.

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. У 2020 році погодні умови були менш сприятливими. У травні середня добова температура повітря становила 13,7°C. У другій декаді травня фіксували заморозки в межах 0,9–1,3°C, що значно вплинуло на проростання насіння. Надмірна кількість опадів у травні та червні негативно впливала на ріст і розвиток рослин сої. Під час фази цвітіння сої погодні умови були сприятливими для росту та розвитку рослин. У 2021 році погодні умови були оптимальними для росту та розвитку рослин сої.

Визначення фізіологічних показників формування кореневої системи та листкового апарату проводилося у фазах 1–3 трійчастих листків і цвітіння. Кількість бічних коренів на головному корені і масу сирої речовини підземної частини рослин сої визначали на 20 рослинах за трикратної повторності [12]. Визначення площі листкового апарату проводили методом висічок [13].

Статистичний та математичний аналіз результатів здійснювали за методикою В. О. Єщенко зі співавторами [12]. Статистична оцінка проводилась за t-критерієм Стюдента на рівні значущості $p \leq 0,05$.

Результати досліджень. 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 зернобобовими культурами. Соя характеризується специфічністю живлення. На формування одиниці врожаю вона споживає більше поживних речовин, ніж зернові, нерівномірно поглинає елементи живлення впродовж вегетації, здатна засвоювати азот із повітря, використовувати важкорозчинні сполуки фосфору і калію з ґрунту та реутилізувати їхні запаси зі стебел у насіння [14].

Надходження елементів живлення протягом вегетації сої відбувається нерівномірно. Виділяють три періоди інтенсивності засвоєння поживних речовин:

1. Сходи–бутонізація (низький рівень);
2. Цвітіння–формування бобів (інтенсивний);
3. Наливання насіння–достигання (середній) [14].

З огляду на це, нами було досліджено вплив комбінацій метаболічно-активних речовин на формування кореневої системи рослин сої, а саме на кількість бічних коренів і масу сирої речовини кореневої системи впродовж фаз одного–трьох трійчастих листків і цвітіння.

Комбінації метаболічно-активних речовин мали позитивний вплив на формування кореневої системи сої протягом обох досліджуваних фаз росту та розвитку рослин (табл. 1).

Табл. 1. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно-активних речовин і регулятором росту Вимпел на кількість бічних коренів на головному корені сої сорту Аннушка (2019–2021 рр.)

Варіант	Кількість бічних коренів, шт.	Відхилення, %	
		від контролю 1	від контролю 2
Фаза одного–трьох трійчастих листків			
Дистильована вода (контроль 1)	7,1 ± 0,72	—	-50
Вимпел (контроль 2)	14,1 ± 0,64*	+99	—
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	11,6 ± 0,51*	+63	-18
Вітамін Е + убіхінон-10	14,2 ± 0,72*	+100	+1
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	12,2 ± 0,62*	+72	-13
Фаза цвітіння			
Дистильована вода (контроль 1)	11,1 ± 0,52	—	-37
Вимпел (контроль 2)	17,6 ± 0,71*	+59	—
Вітамін Е + убіхінон-10	19,0 ± 0,51*	+71	+8
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	15,9 ± 0,71*	+43	-10
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	17,2 ± 0,70*	+55	-2

Примітка. * – різниця достовірна порівняно з контролем ($p \leq 0,05$)

Протягом усього періоду досліджень найменша кількість бічних коренів сформувалася за обробки дистильованою водою. Передпосівна обробка насіння комбінацією вітамін Е + убіхінон-10 сприяла утворенню максимальної кількості бічних коренів у досліджуваних фазах росту і розвитку сої. У фазі одного–трьох трійчастих листків сої вище зазначена комбінація сприяла утворенню в середньому 14,2 шт. коренів, що істотно перевищувало показники контролю 1 на 100 %. Показники цієї комбінації були наближені до показників варіанту застосування регулятора росту Вимпел (табл. 1).

У фазі цвітіння сої передпосівна обробка вітаміном Е у поєднанні з убіхіноном-10 також сприяла покращенню формування кореневої системи. На головному корені рослин цього варіанту було сформовано в середньому 19,0 шт. коренів, що на 71 і 8 % перевищувало показники контролю 1 та контролю 2 відповідно. Комбінація вітамін Е + убіхінон-10 ефективно стимулювала формування бічних коренів впродовж всіх досліджуваних фаз розвитку. Крім того, позитивний вплив спостерігався і за використання комбінацій вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄ та вітамін Е + метіонін + ПОБК, які також сприяли зростанню кількості бічних коренів у фазах 1–3 трійчастих листків і цвітіння (табл. 1).

Аналізуючи динаміку маси сирії речовини кореневої системи сої слід відмітити, що найвищі результати протягом всіх досліджуваних фаз було досягнуто за використання комбінації вітамін Е + убіхінон-10. У фазі одного-трьох трійчастих листків ця комбінація збільшила масу сирії речовини кореневої системи сої на 110 % порівняно з контролем 1 та поступалося контролю 2 на 9 % (табл. 2).

Табл. 2. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно-активних речовин і регулятором росту Вимпел на масу сирії речовини кореневої системи сої сорту Аннушка (2019–2021 рр.)

Варіант	Маса сирії речовини кореневої системи, г	Відхилення, %	
		від контролю 1	від контролю 2
Фаза одного-трьох трійчастих листків			
Дистильована вода (контроль 1)	4,8 ± 0,72	—	-57
Вимпел (контроль 2)	11,1 ± 0,64*	+131	—
Вітамін Е + убіхінон-10	10,1 ± 0,72*	+110	-9
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	9,2 ± 0,51*	+92	-17
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	5,8 ± 0,62*	+21	-48
Фаза цвітіння			
Дистильована вода (контроль 1)	53,1 ± 2,52	—	-41
Вимпел (контроль 2)	90,2 ± 2,71*	+70	—
Вітамін Е + убіхінон-10	85,9 ± 3,51*	+62	-5
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	65,3 ± 2,71*	+23	-28
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	69,7 ± 3,70*	+31	-23

Примітка. * – різниця достовірна порівняно з контролем ($p \leq 0,05$)

У фазі цвітіння застосування комбінації Вітамін Е + убіхінон-10 сприяло зростанню маси сирії речовини кореневої системи сої на 62 % порівняно з показниками контролю 1 та було близьке до показників контролю 2.

Таким чином, результати польових досліджень підтвердили, що передпосівна обробка насіння метаболічно-активними речовинами і Вимпелом сприяє формування бічних коренів сої, активізує накопичення маси сирії речовини підземними органами сої в ґрунтово-кліматичних умовах північного Лісостепу України. Такий позитивний вплив досліджуваних комбінацій метаболічно-активних речовин можна пояснити тим, що вітамін Е та убіхінон-10 беруть участь у біоенергетичних процесах, а ПОБК є природною фенольною сполукою, що виконує важливі функції у рослинному метаболізмі. Вона діє, як антиоксидант і прооксидант, стимулює альтернативну оксидазу та регулює активність антиоксидантних ферментів [15]. Крім того, ПОБК виконує функцію сигнальної молекули під час формування захисних реакцій, що сприяє

підвищенню системної стійкості рослин до несприятливих чинників довкілля [16]. Метіонін є попередником у синтезі гормонів росту та бере участь у регуляції відкриття продихів [17]. Компоненти магнію сульфату також відіграють важливу роль у метаболічних процесах клітини: магній діє як кофермент у складі ферментів, що регулюють білковий синтез, а сульфур входить до складу важливих амінокислот (метіоніну, цистину, цистеїну), а також вітамінів (тіаміну, біотину) і ферментів (дегідрогеназ та інших) [18]. Отже, за певних умов росту і розвитку рослин ці комбінації метаболічно-активних сполук можуть виконувати функцію стимулятора росту або індуктора захисних механізмів.

Рослини сої, що формують добре розвинену кореневу систему, мають також потужний листковий апарат. Аналіз динаміки площі листкової поверхні показав, що всі досліджувані комбінації метаболічно-активних речовин позитивно впливали на її збільшення (табл. 3).

Табл. 3. Динаміка площі листкового апарату рослин сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно-активних речовин (2019–2021 рр.)

Варіант	Площа листкового апарату, см ²	Відхилення, %	
		від контролю 1	від контролю 2
Фаза одного-трьох трійчастих листків			
Дистильована вода (контроль 1)	108,3 ± 4,7	–	-36
Вимпел (контроль 2)	169,9 ± 9,3*	+57	–
Вітамін Е + убіхінон-10	181,9 ± 5,9*	+68	+7
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	165,3 ± 8,1*	+53	-3
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	150,0 ± 4,2*	+39	-12
Фаза цвітіння			
Дистильована вода (контроль 1)	1455,1 ± 167,4	–	-71
Вимпел (контроль 2)	5067,0 ± 202,1*	+248	–
Вітамін Е + убіхінон-10	5130,44 ± 203,5*	+253	+1
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	4016,8 ± 192,3*	+176	-21
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	4983,4 ± 193,6*	+242	-2

Примітка. * – різниця достовірна порівняно з контролем ($p \leq 0,05$)

Найвищі показники спостерігалися за передпосівної обробки насіння комбінацією вітаміну Е та убіхінону-10, що забезпечувало значний розвиток листкового апарату на всіх етапах досліджень, перевищуючи показники контролю 1 на 68 %, контролю 2 – на 7 % у фазу одного-трьох трійчастих листків та на 253 % показники контролю 1 у фазу цвітіння. На формування площі листкового апарату сої значно вплинули також комбінації вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄ та вітамін Е + метіонін + ПОБК. За використання

вищезазначених комбінацій максимальне значення було зафіксовано у фазі цвітіння.

Висновки. Використання комбінацій вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO_4 для передпосівної обробки насіння сої найефективніше стимулювало утворення бічних коренів та збільшення маси сирої речовини кореневої системи на всіх досліджуваних фазах росту і розвитку сої. На формування площі листкового апарату сої значно вплинули також комбінації вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO_4 . За використання вищезазначених комбінацій максимальне значення було зафіксовано у фазі цвітіння. Таким чином, передпосівна обробка насіння сої зазначеними комбінаціями метаболічно-активних сполук може є ефективним елементом технології при вирощуванні сої.

Література:

1. Бахмат О. М. Соя – культура майбутнього, особливості формування високого врожаю: монографія. Кам'янець-Подільський: ПП Мошак М. І., 2009. 208 с.
2. Тіщенко М. Г. Проблеми забезпечення продовольчої безпеки України. *Ефективна економіка*. 2013. № 7. Режим доступу: <http://www.economy.uyka.com.ua/?op=1&z=2208>.
3. Стасик О. О., Кірізій Д. А., Прядкіна Г. О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53. № 2. С. 160–184.
4. Шовкова О. В. Фотосинтетична продуктивність посівів сої залежно від строків сівби та способів застосування мікродобрив. *Сторінка молодого вченого*. 2014. С. 156–160.
5. Лотиш І. І. Формування площі листкової поверхні посівів сої залежно від сорту, способу сівби та норми висіву в умовах недостатнього зволоження лісостепу. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 1–2. С. 167–171.
6. Стасик О. О., Кірізій Д. А., Прядкіна Г. О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53. № 2. С. 160–184.
7. Іванів М. О., Возняк В. В. Формування асиміляційної листкової поверхні сортів сої залежно від елементів технології в умовах зрошення. *Аграрні інновації*. 2023. № 18. С. 56–66.
8. Димитров С. Г., Саблук В. Т. Формування площі листкової поверхні рослин сільськогосподарських культур залежно від маси кореневої системи за її мікоризації. *Біоенергетика*. 2022. № 1–2. С. 29–31.
9. Ali Q., Javed M., Haider M., Habib N., Rizwan M., Perveen R., Ali S., Alyemeni M., El-Serehy H., Al-Misned F. α -Tocopherol foliar spray and translocation mediates growth, photosynthetic pigments, nutrient uptake, and oxidative defense in Maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Agronomy*. 2020. Vol. 10 (9). P. 1235.
10. Liu M., Lu S. Plastiquinone and ubiquinone in plants: Biosynthesis, physiological function and metabolic engineering. *Front Plant Sci*. 2016. Vol. 7. P. 1898.

11. Рожков А. О., Лошак О. О., Огурцов Є. М., Міхєєв В. Г. Продуктивність сортів сої залежно від строків сівби і регуляторів росту. *Селекція і насінництво*. 2024. № 126. С. 74-86.
12. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник / За ред. В. О. Єщенка. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
13. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрономічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
14. Лихочвор В., Панасюк Р., Щербачук В. Вплив добрив на врожайність сої. *Агробізнес сьогодні*. Режим доступу: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/691-vplyv-dobryv-na-vrozhainist-soi.html>.
15. 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.
16. Cho J.-Y., Moon J.-H., Seong K.-Y., Park K.-H. Antimicrobial Activity of 4-Hydroxybenzoic Acid and trans 4-Hydroxycinnamic Acid Isolated and Identified from Rice Hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2008. № 62(11). P. 2273–2276.
17. Roje S. S-Adenosyl-L-methionine: Beyond the universal methyl group donor. *Phytochemistry*. 2006. №67. P. 1686–1698.
18. 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.

References:

1. Bakhmat, O. M. (2009). Soia – kultura maibutnoho, osoblyvosti formuvannia vysokoho vrozhaiu: monohrafiia. Kamianets-Podilskyi: PP Moshak M. I., 208 p. [in Ukrainian].
2. Tishchenko, M. H. (2013). Problems of food security in Ukraine. *Efektivna ekonomika*, no. 7. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2208>. [in Ukrainian].
3. Stasik, O. O., Kirizii, D. A., Priadkina, H. O. (2021). Photosynthesis and productivity: Main scientific achievements and innovative developments. *Fiziolohiia roslin i henetyka*, no. 53(2), pp. 160–184. [in Ukrainian].
4. Shovkova, O. V. (2014). Photosynthetic productivity of soybean crops depending on sowing dates and microfertilizer application methods. *Storinka molodoho vchenoho*, pp. 156–160. Available at: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2014/02/34.pdf>. [in Ukrainian].
5. Lotysh, I. I. (2017). Formation of soybean crop leaf area depending on variety, sowing method, and seeding rate under insufficient moisture conditions of the forest-steppe. *Bulletin of Poltava state agrarian academy*, no. 1–2, pp. 167–171. [in Ukrainian].
6. Stasik, O. O., Kirizii, D. A., Priadkina, H. O. (2021). Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments. *Plant physiology and genetics*, no. 53(2), pp. 160–184. [in Ukrainian].

7. Ivaniv, M. O., Vozniak, V. V. (2023). Formation of the assimilation leaf area of soybean varieties depending on technological elements under irrigation conditions. *Agrarian innovations*, no.18, pp. 56–66. [in Ukrainian].
8. Dymyrov, S. G., Sabluk, V. T. (2022). Formation of the leaf surface area of agricultural crops depending on root system mass under mycorrhization. *Bioenergy*, no. 1–2, pp. 29–31. [in Ukrainian].
9. Ali, Q., Javed, M., Haider, M., Habib, N., Rizwan, M., Perveen, R., Ali, S., Alyemeni, M., El-Serehy, H., Al-Misned, F. (2020). α -Tocopherol foliar spray and translocation mediates growth, photosynthetic pigments, nutrient uptake, and oxidative defense in Maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Agronomy*, no. 10 (9), pp. 1235.
10. Liu, M., Lu, S. (2016). Plastoquinone and ubiquinone in plants: Biosynthesis, physiological function and metabolic engineering. *Front Plant Sci.*, no. 7, pp. 1898.
11. Rozhkov, A. O., Loshak, O. O., Ohurtsov, Y. M., Mikheiev, V. H. (2024). Productivity of soybean varieties depending on sowing dates and growth regulators. *Breeding and seed production*, no. 126, pp. 74–86. [in Ukrainian].
12. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Kostohryz, P. V., & Opryshko, V. P. (Eds.). (2014). Fundamentals of scientific research in agronomy. Vinnytsia, Ukraine: PP TD Edelweis i K, 332 p. [in Ukrainian].
13. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). Methods of biological and agronomic research of plants and soils. Kyiv, Ukraine: ZAT "NICHILAVA", 320 p. [in Ukrainian].
14. Lykhochvor, V., Panasiuk, R., Shcherbachuk, V. Effect of fertilizers on soybean yield. *Agrobusiness Today*. Available at: <https://agrobusiness.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/691-vplyv-dobryv-na-vrozhainist-soi.html>. [in Ukrainian].
15. Rozhnova, N. A., Gerashchenkov, G. A. (2008). Effect of ubiquinone 50 and viral infection on phytohemagglutinin activity in development of induced resistance in tobacco plants. *News of Academy of science*, no. 35, pp. 442–447.
16. Jeong-Yong, C., Jae-Hak, M., Ki-Young, S., Keun-Hyung, P. (2008). Antimicrobial activity of 4-hydroxybenzoic acid and trans 4-hydroxycinnamic acid isolated and identified from rice hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, no. 62(11), pp. 2273–2276.
17. Roje, S. (2006). S-Adenosyl-L-methionine: Beyond the universal methyl group donor. *Phytochemistry*, no. 67, pp. 1686–1698.
18. Azizi, K., Yaghobi, M., Hidary, S., Chaeichi, M. R., Roham, R. (2011). 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. *Research on Crops*, no. 12, pp. 103–111.

Annotation

Havii V. M., Kuchmenko O. B., Koziuchko-Holovach A. G.

Formation of soybean leaf area depending on root system development under seed pre-treatment with metabolically active substances

Aim. To determine the peculiarities of soybean leaf area formation depending on root system development under seed pre-treatment with metabolically active substances.

Methods. Laboratory, measuring, calculation and comparison, analysis, statistical.

Results. It was established that seed pre-treatment with a combination of vitamin E + ubiquinone-10 contributed to the formation of the maximum number of lateral roots at all stages of soybean growth and development. At the 1–3 trifoliolate leaf stage, this combination facilitated an average of 14.2 roots, which exceeded the control values by 99.2%. At the flowering stage, plants in this variant formed an average of 19.0 roots on the main root, surpassing the control by 70.1% and Vympel treatment by 11.7%. A positive effect was also observed with the combinations vitamin E + methionine + POBA + MgSO₄ and vitamin E + methionine + POBA. At the 1–3 trifoliolate leaf stage, pre-sowing seed treatment with vitamin E + ubiquinone-10 increased the fresh biomass of the root system by 111.4% compared to the control. At the flowering stage, applying the same combination contributed to an increase in root system biomass by 61.8% relative to the control. An increase in fresh biomass of the root system was also noted with the use of vitamin E + methionine + POBA + MgSO₄ and vitamin E + methionine + POBA. Analysis of the dynamics of leaf area expansion showed that all studied combinations of metabolically active substances positively influenced its growth. The highest values were observed with vitamin E + ubiquinone-10, ensuring maximum leaf area development throughout all research stages.

Conclusions. A direct correlation was found between root system formation, its biomass, and soybean leaf area. Thus, the studied combinations of metabolically active compounds can serve as promising growth regulators for leguminous crops, while pre-sowing seed treatment with these substances represents an effective technological element in soybean cultivation.

Key words: Vitamin E, ubiquinone-10, methionine, para-oxybenzoic acid, MgSO₄, root number, fresh biomass, leaf area.

УДК: [635.13 : 575.222.7 : 631.963]: 575.826(477.4)

DOI: 10.32782/2415-8240-2025-106-1-207-216

АДАПТИВНІСТЬ ІНТРОДУКОВАНИХ ГІБРИДІВ МОРКВИ СТОЛОВОЇ ДО УМОВ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В. В. КЕЦКАЛО, кандидат сільськогосподарських наук
Уманський національний університет

У статті представлено результати фенологічних спостережень за розвитком рослин, їх біометричні показники, продуктивність. Встановлено, що досліджувані інтродуковані гібриди моркви столової в Правобережному Лісостепу України за традиційної технології вирощування здатні забезпечити достатній рівень продукції (56,3–67,4 т/га) з товарністю коренеплодів 91–95 %.

Ключові слова: морква столова, *Daucus carota* L., сорт, гібрид, адаптивність, продуктивність, урожайність.

Вступ. Україна має вельми різноманітний асортимент та сортимент овочевих культур, тому для кожного овочівника важливим завданням є обрати надійний сорт чи гібрид кожної з них. Щороку вагомість сортового різноманіття для зростання врожайності овочевих культур стає більш відчутною. Нині, завдяки плідній співпраці генетики, фізіології рослин, біохімії і селекції, маємо