

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІОСТИМУЛЯТОРІВ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО ЗА ЗМІНИ КЛІМАТУ**

**Ороховський А. О.**, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти

**Овчарук О. В.**, д. с.-г. н, професор

**Овчарук К. О.**, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Скиба Г. О.**, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Слишинський Р. О.**, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти

ЗВО «Подільський державний університет»

м. Кам'янець-Подільський, Україна

Значення сої (*Glycine max (L.) Merr.*) у структурі світового агровиробництва визначається її багатовекторним використанням як незамінного компонента продовольчого, кормового та біоенергетичного секторів. Сучасний селекційний прогрес уможливив досягнення максимальних лімітів індивідуальної продуктивності культури на рівні 14,68 т/га, тоді як середньостатистичні глобальні збори зерна тривалий час лімітуються діапазоном 2,77–2,79 т/га.

Наявність цього деструктивного розриву (yield gap) призводить до втрати майже 44% потенційного валового збору, що в умовах дестабілізації кліматичної системи безпосередньо детермінує ризики для світової продовольчої безпеки.

Контекст прогнозного зростання глобального попиту на харчові калорії на 46,8% до 2050 року вимагає переорієнтації селекційних програм у напрямі створення кліматично резистентних генотипів із низьким рівнем деструктивного антропогенного впливу на біосферу.

Стратегічні завдання, що стоять перед дослідниками до 2050 року, охоплюють подолання стабілізації врожайності, еволюційного тиску з боку нових рас фітопатогенів і фітофагів, а також оптимізацію нутрієнтного балансу рослин. Процес адаптації цієї бобової культури має тривалий історичний генезис: від перших етапів сортового опису за часів китайської династії Цін до масштабного трансконтинентального обміну генетичними ресурсами у XIX столітті. Наступні фундаментальні відкриття в галузі біохімії та азотфіксації сформували підґрунтя для розробки сучасних високотехнологічних систем управління посівами.

Проте на сучасному етапі домінує проблема невідповідності між високим біологічним потенціалом нових сортів та традиційним характером існуючих агротехнологій. Більшість базових технологічних схем орієнтовані на статичні середньобогаторічні кліматичні норми і не містять механізмів оперативної компенсації погодних аномалій поточного вегетаційного періоду. Внаслідок цього чинні рекомендації не здатні забезпечити належний рівень стресостійкості агрофітоценозів, зумовлюють падіння рентабельності виробництва через перевитрату матеріальних ресурсів та спричиняють екологічні ризики для довкілля.

Ситуація ускладнюється вираженою просторовою та екологічною диференціацією сучасного асортименту сортів сої. Більшість комерційних генотипів відзначаються вузьким ареалом адаптивності та суттєво варіюють за своїми морфо-біологічними вимогами до фотоперіоду, температурного режиму та едафічних умов конкретної географічної зони, що зумовлює потребу в розробці індивідуалізованих, сортоспецифічних технологічних рішень.

Сорти, адаптовані для різних ґрунтово-кліматичних зон, суттєво відрізняються один від одного за вимогами до факторів зовнішнього середовища та господарсько-цінними показниками.

Реалізація генетичного потенціалу сучасних сортів сої інтенсивного типу перебуває у прямій детермінаційній залежності від гідротермічних умов навколишнього середовища та рівня екологічної пластичності самих рослин. Сучасні тенденції глобальних та регіональних кліматичних трансформацій актуалізують завдання не лише з селекції інноваційних генотипів, а й з адаптивної модернізації технологічних схем їх вирощування в частині оптимізації мінерального живлення та превентивного інтегрованого захисту посівів. Системна дія таких абіотичних стресорів, як пролонговані ґрунтово-повітряні посухи, суховії та критичні температурні інверсії, виступає головним лімітуючим чинником, що перешкоджає досягненню біологічного максимуму продуктивності. Це зумовлює наукову потребу в поєднанні високої потенційної врожайності генотипів із вираженою стійкістю до несприятливих факторів довкілля.

У контексті стратегічного розвитку вітчизняного ринку сої та продуктів її переробки, посилення ролі культури в процесах біологізації землеробства, оптимізації азотного балансу едафотопу та гарантування продовольчої безпеки держави, нарощування адаптивного потенціалу соєвих агроценозів потребує фундаментального обґрунтування та розробки диференційованих зональних технологій. Ключова увага при цьому має приділятися інтенсифікації взаємозв'язаних процесів симбіотичної азотфіксації та фотосинтетичної діяльності, які є базисними фізіологічними чинниками формування високих показників оптико-структурної продуктивності та якості насіння.

Потенціал посівних площ сої в Україні становить понад 1,5 млн. га, що забезпечить валовий збір більше 3 млн. т зерна. Це сприятиме забезпеченню сівозмін біологічним азотом, тваринництво отримає повноцінні корми, а переробна галузь – якісний білок. Щоб мати постійний запас цієї важливої культури потрібно вводити державне замовлення на вирощування сої та й інших культур [1].

Сучасні досягнення в галузі генетики, селекції та молекулярної біотехнології уможливили створення інноваційного сортового асортименту сої з високим генетичним лімітом зернової продуктивності. Провідні комерційні генотипи характеризуються поєднанням високих адаптивних властивостей, стійкості до фітопатогенного та ентомологічного пресингу, а також потенційною врожайністю на рівні 4,0–6,5 т/га. Окремим вагомим вектором селекційного прогресу стало виведення сортів із низьким вмістом або повною відсутністю

антипоживних речовин (зокрема інгібіторів трипсину Kunitz та Bowman-Birk), що суттєво підвищує технологічну та кормову цінність отриманої білкової сировини.

Аналіз чинного Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, свідчить, що заявлений біологічний потенціал більшості зареєстрованих сортів перевищує 3,5 т/га. Разом з тим фактична середня врожайність культури у виробничих умовах країни тривалий час стабілізувалася на рівні близько 2,0 т/га. Наявність цього суттєвого технологічного розриву (yield gap) актуалізує науково-практичне завдання щодо нарощування валових зборів зерна сої в Україні виключно за рахунок інтенсифікації середньої продуктивності посівів на основі раціонального, сортоспецифічного та зонально адаптованого використання генетичних ресурс

Трансформація сучасних систем землеробства супроводжується інтенсифікацією попиту на біологізовані засоби живлення та біологічно активні сполуки, серед яких регулятори росту рослин позиціонуються як екологічно імперативна альтернатива класичним синтетичним агрохімікатам. Зважаючи на домінуючий статус сої (*Glycine max* (L.) Merr.) у структурі світового виробництва продовольчої та кормової сировини, комплексне вивчення механізмів впливу ендогенних та екзогенних стимуляторів на її врожайність, якісні параметри насіння та загальний гомеостаз рослинного організму набуває особливої ваги, що безпосередньо зумовлено прогресуючою аридністю клімату в Україні (Amoanimaa-Dede et al., 2022). У межах цього підрозділу систематизовано експериментальні та теоретичні відомості щодо фізіологічних закономірностей дії різногрупових стимуляторів росту на бобові культури, проаналізовано їхню роль у моделюванні архітекtonіки врожаю та визначено потенційні вектори їх інтеграції в сучасні сортові технології.

З метою мінімізації деструктивного впливу абіотичного пресингу – зокрема, тривалого дефіциту вологи, гіпертермії та осмотичного стресу в едафотопі – стратегічного значення набуває залучення біостимуляторів природного генезису. Окрему увагу дослідників привертають фітоекстракти морських макрофітів, вільні амінокислоти та консорціуми корисних мікроорганізмів. Зазначені субстрати виступають потужними еліситорами, які ініціюють каскад адаптивних фізіолого-біохімічних реакцій, оптимізують параметри транспірації та устьочної провідності, активують ендогенну антиоксидантну систему захисту рослин (зокрема, ферменти супероксиддисмутази та каталази) і суттєво підвищують нутрієнтну ефективність засвоєння елементів мінерального живлення (Sankhala et al., 2024).

Узагальнюючи результати численних досліджень, можна зробити висновок, що застосування біологічно активних речовин, зокрема стимуляторів росту природного походження, є ефективним інструментом підвищення продуктивності сої. Такі речовини, як екстракти морських водоростей, амінокислоти, вітаміни, а також мікробні інокулянти, сприяють активізації фізіолого-біохімічних процесів, покращують використання води та елементів

живлення, підвищують стійкість рослин до абіотичних стресів, зокрема спеки, посухи та засолення ґрунтів.

Кліматичний режим кожного регіону формується як комплекс особливостей температури, вологості, опадів, вітру, які базуються на закономірностях розподілу радіаційного, теплового та водного балансів і впливу атмосферної циркуляції. Умови температурного режиму і рівня зволоженості Київської області характеризувалися істотними коливаннями температурного режиму і рівня зволоження, особливо за період активної вегетації сої. Щодо умов зволоження, які визначалися кількістю опадів та рівномірністю їх випадання у часі, то закономірність їх розподілу в умовах регіону за 2006–2020 рр. також мала суттєві відхилення порівняно із середньобаторічними показниками. Умови весни (квітень – травень) у 27% років мали суттєве відхилення від середньобаторічних показників, що викликано надмірним зволоженням. Таким чином, за вегетаційний період сої (квітень-вересень), частка місяців (48 місяці із 90), близьких за кількістю опадів та температурним режимом до середньобаторічних даних, становить 53,3%, які суттєво відрізнялися від баторічних (по 34 місяці) – 37,8%, з екстремальними умовами (по 8 місяців) – 8,9%. [2].

В зоні Степу України продуктивність сої обмежена зазвичай нестачею опадів та високими температурами, що обумовлює значні недобори врожаю. Виникає потреба більш детального вивчення ефективних елементів технології вирощування для реалізації генетичного потенціалу нових сортів сої в складних посушливих умовах північного Степу України. Важливим напрямом збільшення виробництва сої є застосування енергоощадних елементів технології із використанням рістрегулюючих речовин та добрив як ефективних елементів підживлення рослин. Під їх впливом підвищується стійкість до несприятливих погодних умов регіону, високих температур, нестачі опадів та збільшується врожайність культур. Фізіологічно активні речовини стимулюють процеси росту та посилюють метаболізм рослин. Дослідження ефективності дії стимуляторів росту в умовах Лісостепу України свідчить, що сумісне їх застосування з інокуляцією насіння сприяло збільшенню врожайності сої сорту Романтика на 4,5 ц/га, сорту Аннушка – на 2,1 ц/га порівняно з контролем. В результаті досліджень проведених в умовах Полтавської області встановлено, що використання стимулятора росту Емістим збільшує врожайність на 3,0–5,0 ц/га. На фоні інокуляції насіння прибавка врожаю була 6,0 ц/га. У різних сортів сої регулятори росту на фоні бактеріальних добрив сприяли збільшенню врожайно [4].

Результати дослідів, проведених у різних агрокліматичних умовах, підтверджують доцільність використання стимуляторів росту у поєднанні з інокуляцією, що дозволяє досягати стабільного підвищення врожайності, покращення якості зерна та зменшення потреби у традиційних агрохімікатах. Такий підхід відповідає сучасним вимогам сталого землеробства та забезпечує адаптивність сої до змін клімату.

Серед розмаїття біостимуляторів природного походження особливе місце належить вільним амінокислотам (L-амінокислотам). Вони діють як готові будівельні блоки для синтезу протеїнів, що дозволяє рослині заощаджувати енергію, яка за умов стресу витрачається на внутрішній азотний метаболізм. Фізіологічний механізм дії окремих амінокислот має чітко виражену функціональну спрямованість:

Пролін та глютамінова кислота виступають потужними осмопротекторами. Накопичуючись у цитоплазмі клітин, вони підтримують тургорний тиск під час тривалої посухи, запобігають дегідратації мембран та стабілізують структуру ферментів.

Гліцин та бетаїн оптимізують роботу устьочного апарату, регулюючи процеси транспірації та запобігаючи надмірним втратам вологи через листя (гіпертранспірації) за умов суховіїв.

Аргінін та аспарагінова кислота ініціюють каскад ендогенного синтезу фітогормонів, зокрема ауксинів, що стимулює мітотичний поділ клітин та інтенсифікує лінійний ріст кореневої системи.

Зважаючи на зазначені фізіолого-біохімічні закономірності, у межах нашого дослідження особливу наукову й практичну цінність мало вивчення дії високоефективних полікомпонентних біостимуляторів нового покоління, створених на основі сировини природного генезису, а саме препаратів Вуксал БІО Аскофол (WUXAL) та АЛЬГУМ ПЛЮС / ALHUM PLUS (Smart Grow) [3].

Препарат Вуксал БІО Аскофол базується на висококонцентрованому екстракті бурі водорості *Ascophyllum nodosum*, отриманому за м'яких умов екстракції, що гарантує збереження нативної структури біологічно активних речовин. Цей субстрат інтегрує природний гормональний комплекс (ауксини, цитокініни, гібереліни) з полісахаридами (альгінатами, ламінарином), які діють як елісатори сигнальних систем рослини. Позакореневе застосування цього стимулятора спрямоване на пролонгацію фотосинтетичної активності посівів сої та запуск генів захисної відповіді проти температурного шоку.

У свою чергу, препарат АЛЬГУМ ПЛЮС є збалансованим комплексом, який гармонійно поєднує екстракти морських макрофітів із концентрованими гуміновими та фульвокислотами, а також спектром вільних L-амінокислот. Таке поєднання забезпечує багатовекторний вплив на рослинний організм: гумінова складова оптимізує процеси дихання та поглинання елементів живлення, тоді як амінокислотний та водоростевий компоненти мобілізують антиоксидантний потенціал клітин.

За результатами наших досліджень, проведених впродовж 2023–2025 років, найвищі показники продуктивності сої сорту Ментор були за умов двократного застосування біостимуляторів Вуксал БІО Аскофол (WUXAL) та АЛЬГУМ ПЛЮС / ALHUM PLUS (Smart Grow). Зазначена схема обробки забезпечила оптимальний прояв адаптивного та продуктивного потенціалу сортів порівняно з іншими варіантами досліду.

Найвищі показники кількості зерен в бобі у сорту Ментор відмічені на варіанті– Вуксал БІО Аскофол застосованого в 2 міжвузля (BBCH 14) та

бутонізацію (ВВСН 55) в кількості 1,0 л/га, які складали 2,7 шт., переважаючи контрольний варіант – без застосування біостимуляторів на 0,9 шт., та 0,1–0,5 шт. інші варіанти досліду. У сорту Сірелія кількість зерен в бобі від застосування біостимуляторів-антистресантів становила 2,2–2,4 шт., що переважало контроль на 0,2–0,4 шт, але в цілому поступалась сорту Ментор.

Біологічна урожайність сої залежно від застосування біостимуляторів-антистресантів Вуксал БІО Аскофол та Альгум Плюс суттєво переважала контрольний варіант у сорту Ментор, і знаходилась в межах 4,24–4,68 т/га, що на 0,41–0,85 т/га, порівняно з контролем – 3,83 т/га.

У сорту Сірелія показники були менші і знаходились на рівні 3,43 т/га на контролі, від застосування Вуксал БІО Аскофол – 3,72–4,50 т/га, та Альгум плюс – 3,58–4,02 т/га, тощо.

Застосування біостимулятора Вуксал БІО Аскофол в період ВВСН 14 та ВВСН 55 в кількості 1,0 л/га на варіанті сорту Ментор забезпечило найвищу врожайність 4,37 т/га. За роками досліджень відмічено, що найвищу урожайність отримали в 2025 році – від застосування Вуксал БІО Аскофол – 4,47–4,83 т/га, Альгум плюс – 4,25–4,51 т/га, на контролі – 4,08 т/га.

У сорту Сірелія урожайність була меншою за сорт Ментор. В середньому за 2023-2025 рр на варіанті без застосування біостимуляторів урожайність становила 3,27 т/га, що на 0,38 т/га менше. Показники за роками становили в 2025 р. – 3,71 т/га, в 2024 р. – 3,21, в 2023 р. – 2,89 т/га. Найвищу врожайність встановлено також від дворазового внесення Вуксал БІО Аскофол в період ВВСН 14 та ВВСН 55 в кількості 1,0 л/га з показником 4,21 т/га.

Порівняння рівня урожайності сої наведено на рис. 1.

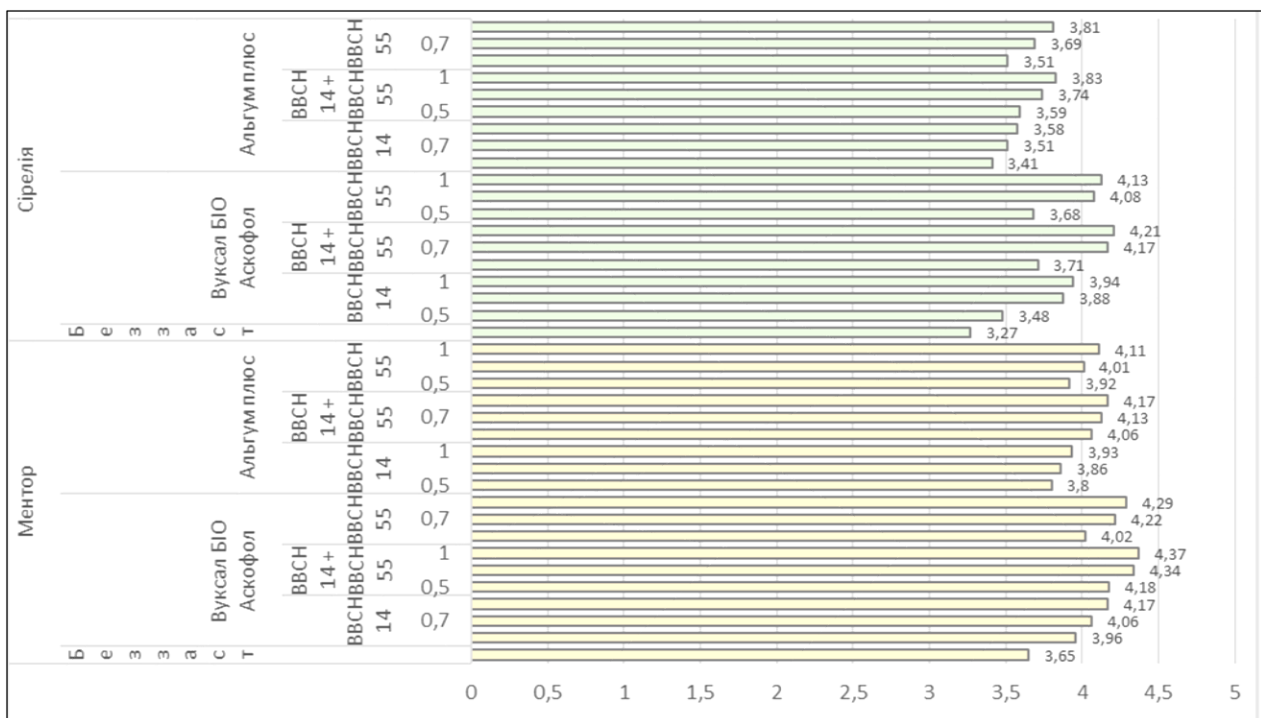


**Рис. 1. Урожайність сортів сої Ментор і Сірелія залежно від строків та кратності застосування біостимуляторів-антистресантів, середнє за 2023-2025 рр. (т/га)**

На варіанті без застосування біопрепаратів у сорту Ментор урожайність становила 3,65 т/га, а у сорту Сірелія – 3,27 т/га, що на 0,38 т/га менше. Найвищу врожайність 4,37 т/га одержано на варіанті сорту Ментор з дворазовим внесенням Вуксал БІО Аскофол в період ВВСН 14 та ВВСН 55 в кількості 1,0 л/га. На варіантах сорту Сірелія найвищу врожайність відмічено також від дворазового внесення Вуксал БІО Аскофол в період ВВСН 14 та ВВСН 55 в кількості 1,0 л/га з показником 4,21 т/га.

В умовах зміни клімату дослідження біостимуляторів-антистресантів залишається актуальним, а періоди їх внесення на сої мають суттєве практичне значення. Досвід вирощування сої в умовах кліматичного стресу, що часто спостерігається високими температурами повітря та ґрунту, а також зниженням запасів продуктивної вологи та відсутністю опадів підтверджує ефективність застосування таких речовин, зберігаючи екологічну рівновагу агроценозів.

### Література

1. Bondarenko V., Havrylianchik R., Ovcharuk O., Pansyryeva H., Krusheknyckiy V., Tkach O., Niemec M. Features of the soybean photosynthetic productivity indicators formation depending on the foliar nutrition. *Ecology, Environment and Conservation*. 2022. Vol. 28, August Supplement Issue. P. S20–S26. DOI: <https://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i04s.004>.
2. Голодна А. В., Губенко Л. В., Любич О. Г. Тенденції вирощування сої в Київській області в умовах змін клімату. *Challenges, Threats and Developments in Biology, Agriculture, Ecology, Geography, Geology and Chemistry* : conference proceedings. Riga : Baltija Publishing, 2021. С. 191–194. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-111-4-45>.
3. Овчарук О. В., Ороховський А. О., Овчарук К. О., Секрієру С., Скриник О. А. Вплив строків та норм внесення біостимуляторів-антистресантів на фотосинтетичну продуктивність сої в умовах Лісостепу Західного. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2026. № 1 (50). С. 156–163. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-20>.
4. Шепілова Т. П., Петренко Д. І., Лещенко С. М., Васильковська К. В., Андрейченко О. Г. Вплив стимуляторів росту на продуктивність сої в умовах Північного Степу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. Vol. 28, No. 1. P. 11–14. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.02>.