

ДІЯ ФЕНІЛЗАМІЩЕНИХ ПОХІДНИХ НА ФОТОСИНТЕТИЧНИЙ АПАРАТ АГРОЦЕНОЗІВ ПШЕНИЦІ

Лоза В.В., Назаренко М.М.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. С. Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро
research.team.ddaeu@gmail.com

У статті наведено результати польового дослідження біорегуляторної дії фенілзаміщених похідних FA-55 (5-феніл-імідазолідин-2,4-діон) та FA-59 (N-(1-гідрокси-2-оксо-2-феніл-етил)-бензенсульфонамід) за передпосівної обробки насіння пшениці м'якої озимої. Досліди проводили в умовах зони Степу на дослідній станції кафедри селекції і насінництва Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Об'єктами були сорти МІП Дарунок, МІП Відзнака, Біла, Бісквіт, ДСВ1929121, ФОРСАЙТ і Фокс. Насіння замочували у водних розчинах сполук концентраціями 0,01%, 0,02% і 0,04% протягом 24 годин, водний контроль використовували як базовий варіант. Активність фотосинтетичного апарату оцінювали у фазу колосіння за показником SPAD з подальшим розрахунком сумарного хлорофілу a+b. Встановлено, що FA-55 мав чітко виражений стимулювальний максимум при 0,02%: приріст SPAD становив 14,9–23,3%, а розрахункового хлорофілу – 28,2–45,5% відносно контролю. Найсильніше реагував генотип ДСВ1929121, тоді як у Фокс і ФОРСАЙТ вихідні значення SPAD були вищими, але відносний приріст дещо нижчим. Концентрація 0,04% FA-55 знижувала показники фотосинтетичної активності, що свідчить про перехід від біостимуляції до пригнічення. Для FA-59 позитивний ефект обмежувався переважно концентрацією 0,01%, тоді як 0,02% і 0,04% зумовлювали стабільне зменшення SPAD і вмісту хлорофілу. Отримані дані підтверджують концентраційно залежний і генотип-специфічний характер дії фенілзаміщених похідних та дають підстави розглядати FA-55 0,02% як перспективний режим передпосівної обробки для підтримання фотосинтетичного потенціалу агроценозів пшениці озимої, за якої спостерігалось максимальне зростання показника SPAD та розрахункового вмісту хлорофілу в усіх досліджених сортах. Встановлено, що дві фенілзаміщені похідні по-різному впливали на фотосинтетичний стан рослин пшениці озимої.

Ключові слова: агроценоз, пшениця озима, фотосинтез, SPAD, продуктивність, рістрегулятор.

The effect of phenyl-substituted derivatives on the photosynthetic apparatus of wheat agroecosystems. Loza V., Nazarenko M.

The article presents the results of a field study on the bioregulatory effect of the phenyl-substituted derivatives FA-55 (5-phenyl-imidazolidine-2,4-dione) and FA-59 (N-(1-hydroxy-2-oxo-2-phenyl-ethyl)-benzenesulfonamide) used for pre-sowing treatment of bread winter wheat seed. The experiment was conducted under steppe conditions at the experimental station of the Department of Breeding and Seedfarming, Dnipro State Agrarian and Economic University. The varietal panel included MIP Darunok, MIP Vidznaka, Bila, Biskvit, DSV1929121, FORSAIT and Foks. Seeds were soaked for 24 h in aqueous solutions of each compound at 0.01%, 0.02% and 0.04%, with water-soaked seed as the control. Photosynthetic status was assessed at heading using a SPAD-502 chlorophyll meter, and total chlorophyll a+b was calculated from SPAD readings. FA-55 showed a clear stimulatory optimum at 0.02%, increasing SPAD by 14.9–23.3% and calculated chlorophyll by 28.2–45.5% relative to the control. The strongest response was observed in DSV1929121, whereas Foks and FORSAIT had higher initial SPAD values but a lower relative increase. At 0.04%, FA-55 reduced photosynthetic parameters, indicating a transition from biostimulation to inhibition. For FA-59, the positive effect was mainly limited to 0.01%, while 0.02% and 0.04% consistently reduced SPAD and chlorophyll. The results demonstrate the concentration-dependent and genotype-specific action of phenyl-substituted derivatives and support FA-55 at 0.02% as a promising pre-sowing treatment for maintaining the photosynthetic potential of winter wheat agroecosystems at which the maximum increase in the SPAD value and the calculated chlorophyll content was observed in all studied varieties. It was established that the two phenyl-substituted derivatives affected the photosynthetic status of winter wheat plants differently. **Key words:** agroecosystem, winter wheat, photosynthesis, SPAD, chlorophyll, productivity, bioregulator, phenyl-substituted derivatives.

Постановка проблеми. Стабільність продуктивності пшениці озимої в умовах зони Степу значною мірою залежить від активності фотосинтетичного апарату, особливо у період переходу до генеративного розвитку. Передпосівна обробка насіння сполуками з потенційною рістрегуляторною дією роз-

глядається як один із доступних способів раннього спрямування фізіологічних процесів рослини [1–5].

Актуальність дослідження. Нагальною потребою є пошуку нових препаратів та ідентифікація робочого діапазону їх концентрацій, котрі здатні не лише стимулювати проростання, а й підтримувати



подальше функціонування асиміляційного апарату. Сучасні дослідження доводять, що ефективність так званого праймінгу насіння залежить від природи сполуки, тривалості експозиції, концентрації та генотипу об'єкта дії [2; 3; 6]. Особливо важливим є встановлення межі між стимулювальною та фітотоксичною дією [8; 16].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлене дослідження пов'язане з науковим завданням підвищення адаптивності агроценозів пшениці озимої за рахунок передпосівної обробки насіння. Для виробництва це означає потенційне підвищення стабільності врожаю, а для агроекологічної практики – додатковий інструмент оцінювання генотип-специфічної реакції на біологічно активні речовини [7; 9–12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній літературі праймінг насіння розглядають як захід попередньої фізіологічної активації насіння, що може поліпшувати польову схожість, синхронність сходів, водний статус, антиоксидантний захист і продуктивність зернових культур [1–4]. Для пшениці показано позитивний вплив осмопраймінгу PEG і CaCl_2 на ріст, водний режим, SPAD, газообмін та врожайність за посушливих умов [1; 3]. Праймінг у поєднанні з амінокислотними обробками може підвищувати активність та вміст каротиноїдів і загального хлорофілу, а також збільшувати врожайність [4].

Для пшениці та споріднених культур описано здатність окремих сполук модифікувати антиоксидантний статус, підтримувати фотосинтез і зменшувати втрати за стресових умов [5; 8]. Такі сполуки розглядають не тільки як регулятори росту, але і як інструменти керування співвідношенням вегетативного та генеративного розвитку і фотосинтетичною активністю [7; 10; 11]. Разом з тим більшість робіт стосується вже відомих регуляторів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Недостатньо з'ясованим залишається питання, як саме нові похідні FA-55 і FA-59 впливають на активність фотосинтетичного апарату різних сортів пшениці озимої після передпосівної обробки. Особливо важливо встановити, чи є їхня дія однотипною, чи кожна сполука має власний профіль.

Новизна. Встановленні різноспрямованої дії двох фенілзаміщених похідних на фотосинтетичний статус пшениці озимої. Для FA-55 виявлено виражений оптимум при 0,02%, який супроводжувався максимальним підвищенням SPAD і розрахункового вмісту хлорофілу у всіх досліджених сортів. Для FA-59 встановлено інший тип реакції: помірна стимуляція при 0,01% і пригнічення при 0,02–0,04%.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення дослідження полягає у поєднанні польового досліді, стандартизованої передпосівної обробки насіння, SPAD-вимірювання

та розрахункової оцінки хлорофілу, що дозволяє порівнювати фізіологічну реакцію рослин.

Виклад основного матеріалу. Польові досліді проводили протягом вегетаційних сезонів 2024–2026 рр. на дослідній станції кафедри селекції і насінництва Дніпровського державного аграрно-економічного університету, передпосівну обробку насіння пшениці м'якої озимої проводили водними розчинами двох сполук FA-55 (5-феніл-імідазолідин-2,4-діон) та FA-59 (N-(1-гідрокси-2-оксо-2-феніл-етил)-бензенсульфонамід), у концентраціях 0,01%, 0,02% і 0,04%. Досліджували сорти пшениці озимої МПП Дарунок, МПП Відзнака, Біла, Бісквіт (Україна), ДСВ1929121 (Німеччина), ФОРСАЙТ і Фокс (Франція). Площа кожної дослідної ділянки становила 10 м², повторність трьохкратна. Агротехнічні заходи та система захисту рослин відповідали регіональним рекомендаціям для степової зони. Ступінь активності фотосинтетичного апарату вимірювали за допомогою хлорофілометра SPAD-502. Загальну концентрацію хлорофілу (a + b) оцінювали за показниками SPAD відповідно до загальноприйнятої залежності $\text{Chl} = 10M^{0.265}$, де M – значення SPAD [7]. Усі статистичні аналізи виконували у програмі Statistica 10.0. Дані обробляли за допомогою факторного аналізу (ANOVA).

Дія FA-55 мала чітко виражений стимулювальний характер у діапазоні 0,01–0,02% (табл. 1). У всіх сортів 0,01% підвищував SPAD порівняно з контролем, однак максимальна реакція припадала на 0,02%. Для МПП Дарунок приріст SPAD при 0,02% становив 18,0%, для Білої – 18,8%, для Бісквіту – 19,4%, а для ДСВ1929121 – 23,3%. Подібна закономірність простежувалася і за вмістом хлорофілу.

FA-55 у концентрації 0,02% істотно посилював потенціал накопичення хлорофілу. Це особливо важливо для фази колосіння, коли листовий апарат забезпечує формування зернівки і визначає можливість наливу зерна. Водночас західні генотипи ДСВ1929121, ФОРСАЙТ і Фокс мали вищі контрольні значення SPAD, але відносний приріст за дії FA-55 0,02% коливався в межах 14,9–23,3%.

Концентрація 0,04% FA-55 змінювала характер дії препарату. У всіх сортів вона знижувала SPAD і розрахунковий вміст хлорофілу відносно контролю. Найбільші втрати SPAD спостерігалися у МПП Відзнака та МПП Дарунок, тоді як у ДСВ1929121, ФОРСАЙТ і Фокс зниження було менш різким. Такий результат підтверджує наявність фітотоксичного порогу.

Профіль дії FA-59 істотно відрізнявся від FA-55 (табл. 2). Для цієї сполуки стимулювальний ефект був обмежений концентрацією 0,01%. У цьому варіанті приріст SPAD становив від 4,5% у ФОРСАЙТ до 10,7% у сорту Біла, а приріст розрахункового хлорофілу – від 8,1% до 19,0%. FA-59 може проявляти позитивну дію лише на нижній межі концентраційного діапазону.

Таблиця 1

Фотосинтетична активність за дії FA-55

Сорт	Soil Plant Analysis Development (SPAD)	Chl, mkmol/cm ²
МІП Дарунок	47,64 ± 1,31 ^a	608,07 ± 11,11
МІП Дарунок, FA-55 0.01%	51,90 ± 1,34 ^b	704,47 ± 11,90
МІП Дарунок, FA-55 0.02%	56,21 ± 1,41 ^c	810,42 ± 11,17
МІП Дарунок, FA-55 0.04%	43,16 ± 1,30 ^d	515,28 ± 11,17
МІП Відзнака	47,56 ± 1,16 ^a	606,34 ± 11,20
МІП Відзнака, FA-55 0.01%	51,12 ± 1,14 ^b	686,21 ± 11,50
МІП Відзнака, FA-55 0.02%	55,34 ± 1,20 ^c	788,34 ± 11,00
МІП Відзнака, FA-55 0.04%	42,88 ± 1,22 ^d	509,76 ± 11,50
Біла	47,14 ± 1,24 ^a	597,29 ± 11,60
Біла, FA-55 0.01%	51,70 ± 1,20 ^b	699,77 ± 11,40
Біла, FA-55 0.02%	56,01 ± 1,23 ^c	805,31 ± 11,16
Біла, FA-55 0.04%	43,56 ± 1,22 ^d	523,22 ± 11,79
Бісквіт	46,99 ± 1,11 ^a	594,07 ± 11,60
Бісквіт, FA-55 0.01%	51,62 ± 1,14 ^b	697,89 ± 11,40
Бісквіт, FA-55 0.02%	56,12 ± 1,16 ^c	808,12 ± 11,16
Бісквіт, FA-55 0.04%	43,47 ± 1,25 ^d	521,42 ± 11,79
ДСВ 1929121	52,11 ± 0,92 ^a	709,44 ± 7,21
ДСВ 1929121, FA-55 0.01%	59,15 ± 0,91 ^b	887,72 ± 9,50
ДСВ 1929121, FA-55 0.02%	64,26 ± 0,80 ^c	1032,12 ± 9,39
ДСВ 1929121, FA-55 0.04%	50,30 ± 0,83 ^d	667,31 ± 9,50
ФОРСАЙТ	53,53 ± 1,01 ^a	743,53 ± 9,24
ФОРСАЙТ, FA-55 0.01%	56,85 ± 0,95 ^b	826,90 ± 10,03
ФОРСАЙТ, FA-55 0.02%	63,16 ± 1,03 ^c	999,93 ± 9,79
ФОРСАЙТ, FA-55 0.04%	51,08 ± 0,97 ^d	685,28 ± 9,79
Фокс	54,11 ± 1,01 ^a	757,72 ± 10,01
Фокс, FA-55 0.01%	57,78 ± 0,95 ^b	851,18 ± 10,00
Фокс, FA-55 0.02%	62,16 ± 1,02 ^c	971,20 ± 9,89
Фокс, FA-55 0.04%	51,57 ± 0,99 ^d	696,71 ± 9,77

Примітка: факторний аналіз ANOVA підтвердив достовірний вплив концентрації досліджуваної речовини на варіювання показників за рівня значущості $P \leq 0,05$.

За підвищення концентрації FA-59 до 0,02% спостерігалось стабільне зниження обох показників у всіх генотипів. Найбільш виражене зменшення SPAD було зафіксовано у Бісквіт, МІП Дарунок і МІП Відзнака. Концентрація 0,04% посилювала депресивний ефект: зниження розрахункового хлорофілу досягало 18,3–23,9% залежно від сорту.

Порівняння двох сполук показує, що FA-55 має більш практично-цінний профіль дії. Концентрація 0,01% діє як помірний стимулятор, 0,02% – як оптимальний режим. FA-59, навпаки, демонструє звужене вікно позитивної дії: 0,01% стимулює, але 0,02% уже викликає пригнічення. Підбір біорегулятора має здійснюватися через встановлення фізіологічно безпечної концентрації.

У цьому досліді FA-55 0,02% був найперспективнішим варіантом для посилення фотосинтетичного статусу рослин. FA-59 0,01% може розглядатися як

м'який стимулятор, але його застосування потребує більш обережного підходу.

Головні висновки. Передпосівна обробка насіння пшениці озимої фенілзаміщеними похідними FA-55 і FA-59 суттєво змінювала показники SPAD та розрахункового вмісту хлорофілу а+в у фазу колосіння. FA-55 мала найбільш виражену стимулювальну дію при концентрації 0,02%. У цьому варіанті приріст SPAD становив 14,9–23,3%, а хлорофілу – 28,2–45,5% залежно від генотипу. Технологічно перспективним режимом у межах досліді є FA-55 0,02%, тоді як FA-59 потребує подальшого дослідження.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективним є розширення дослідження на показники врожайності, якості зерна, антиоксидантного статусу і польової стійкості до стресових чинників.

Таблиця 2

Фотосинтетична активність за дії FA-59

Сорт	Soil Plant Analysis Development (SPAD)	Chl, mkmol/cm ²
МІП Дарунок	47,64 ± 1,31 ^a	608,07 ± 11,11
МІП Дарунок, FA-55 0.01%	50,74 ± 1,05 ^b	677,42 ± 11,41
МІП Дарунок, FA-55 0.02%	44,12 ± 1,14 ^c	534,44 ± 11,91
МІП Дарунок, FA-55 0.04%	41,11 ± 1,12 ^d	475,66 ± 11,91
МІП Відзнака	47,56 ± 1,16 ^a	606,34 ± 11,20
МІП Відзнака, FA-55 0.01%	50,91 ± 1,05 ^b	681,34 ± 10,76
МІП Відзнака, FA-55 0.02%	44,15 ± 1,03 ^c	535,05 ± 11,39
МІП Відзнака, FA-55 0.04%	41,85 ± 0,85 ^d	489,76 ± 11,07
Біла	47,14 ± 1,24 ^a	597,29 ± 11,60
Біла, FA-55 0.01%	52,17 ± 1,11 ^b	710,86 ± 11,47
Біла, FA-55 0.02%	44,17 ± 1,00 ^c	535,45 ± 11,90
Біла, FA-55 0.04%	40,93 ± 1,06 ^d	472,26 ± 11,16
Бісквіт	46,99 ± 0,93 ^a	594,07 ± 11,60
Бісквіт, FA-55 0.01%	49,67 ± 1,11 ^b	653,00 ± 11,47
Бісквіт, FA-55 0.02%	43,16 ± 0,86 ^c	515,28 ± 11,90
Бісквіт, FA-55 0.04%	40,13 ± 0,78 ^d	457,33 ± 11,16
ДСВ 1929121	52,11 ± 0,92 ^a	709,44 ± 7,21
ДСВ 1929121, FA-55 0.01%	55,74 ± 0,82 ^b	798,45 ± 9,50
ДСВ 1929121, FA-55 0.02%	49,19 ± 0,87 ^c	642,21 ± 9,50
ДСВ 1929121, FA-55 0.04%	45,40 ± 0,80 ^d	560,60 ± 8,76
ФОРСАЙТ	53,53 ± 1,01 ^a	743,53 ± 9,24
ФОРСАЙТ, FA-55 0.01%	55,94 ± 1,03 ^b	803,53 ± 10,10
ФОРСАЙТ, FA-55 0.02%	50,40 ± 1,01 ^c	669,60 ± 10,10
ФОРСАЙТ, FA-55 0.04%	47,60 ± 0,92 ^d	607,21 ± 10,10
Фокс	54,11 ± 1,01 ^a	757,72 ± 10,01
Фокс, FA-55 0.01%	57,94 ± 1,02 ^b	855,40 ± 9,10
Фокс, FA-55 0.02%	50,40 ± 0,86 ^c	669,60 ± 9,01
Фокс, FA-55 0.04%	46,17 ± 0,67 ^d	576,67 ± 8,18

Примітка: факторний аналіз ANOVA підтвердив достовірний вплив концентрації досліджуваної речовини на варіювання показників за рівня значущості $P \leq 0,05$.

Література

1. Aldahadha A., Alhajaj N., Shakhathreh Y., Bani Khalaf Y., Samarah N., Alzoubi E. Seed priming improved the physiological parameters, growth, and yield of durum wheat varieties under tillering and anthesis drought stress conditions. *Australian Journal of Crop Science*. 2024. Vol. 18, № 3. P. 178–186. <https://doi.org/10.21475/ajcs.24.18.03.PNE4098>.
2. Anwar M.P., Akhter M., Aktar S., Kheya S.A., Islam A.K.M.M., Yeasmin S., Hasan A.K., Rashid M.H.O. Relationship between seed priming mediated seedling vigor and yield performance of spring wheat. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. 2024. Vol. 93, № 6. P. 1159–1177. <https://doi.org/10.32604/phyton.2024.049073>.
3. Bani Khalaf Y., Aldahadha A., Migdadi O., Alkaabnh A. Seed priming with polyethylene glycol improved drought tolerance of late sown wheat by enhanced gas exchange attributes. *Agronomy Research*. 2025. Vol. 23, № S2. P. 805–821. <https://doi.org/10.15159/AR.25.069>.
4. Fahim N.H., Aboutalebian M., Chaichi M. Seed hydropriming and amino acid sprays mitigate drought stress impacts on rainfed wheat biochemistry and yield under supplementary irrigation. *The Journal of Agricultural Science*. 2026. Vol. 164. e2. <https://doi.org/10.1017/S0021859625100300>.
5. Hmissi M., Nsiri K., Zagoub R., Gimeno-Nieves V., Krouma A., Chaieb M., García-Sánchez F. Salinity stress mitigation in durum wheat via seed hormonal priming. *Plants*. 2026. Vol. 15, № 7. 1103. <https://doi.org/10.3390/plants15071103>.
6. Iglesias-Ganado Á., Martín-García J., Poveda J., López-Sainz M. F., Sánchez-Gómez T., Santamaría O. Improvement of wheat and barley cultivation through seed priming with UV, ozone, and nutripriming (Fe, Zn, and B). *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, № 18. 9988. <https://doi.org/10.3390/app15189988>.

7. Nazarenko M., Khoroshun I. Estimation of effectivity of new growth regulators on winter wheat productivity and quality. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2025. Vol. 16, № 4. e25190. <https://doi.org/10.15421/0225190>.
8. Nazarenko M., Okselenko O., Pozniak V. Ecology- and geography-related features of winter wheat varieties for the areas of insufficient humidification. *Agriculture and Forestry*. 2023. Vol. 69, № 3. P. 159–177. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.69.3.11>
9. Peng D., Xu H., Guo Z., Cao W., Zhang J., Liu M., Wang X., Tang Y., Cai T. Characteristics of lodging resistance of wheat cultivars from different breeding decades as affected by the application of paclobutrazol under shading stress. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, № 8. 1848. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081848>.
10. Rossini A., Ruggeri R., Rossini F. Use of foliar biostimulants in durum wheat: Understanding its potential in improving agronomic and quality responses under Mediterranean field conditions. *Plants*. 2025. Vol. 14, № 15. 2276. <https://doi.org/10.3390/plants14152276>.
11. Sharifi L., Ghiyasi M., Talebian B., Danesh Y.R., Najafi S., Tunçtürk M., Tunçtürk R., Farda B., Pace L. Machine learning-based evaluation of seed priming and foliar nutrition effects on rainfed wheat productivity. *PeerJ*. 2026. Vol. 14. e20578. <https://doi.org/10.7717/peerj.20578>
12. Sumbal S., Ali A., Binjawhar D.N., Ullah Z., Eldin S.M., Iqbal R., Sher H., Ali I. Comparative effects of hydropriming and iron priming on germination and seedling morphophysiological attributes of stay-green wheat. *ACS Omega*. 2023. Vol. 8. P. 23078–23088. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02359>
13. Todorova D., Nikolova T., Sergiev I., Anev S. The effect of seed priming with polyamine spermine on key photosynthetic parameters in *Fusarium culmorum* infected winter wheat. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, № 12. 2675. <https://doi.org/10.3390/agronomy15122675>.
14. Wang X., Shi Y. Effects of different seed priming agents on seed germination and physiological characteristics of wheat under saline-alkali stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2024. Vol. 84, № 4. P. 489–499. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392024000400489>.
15. Wojtyła Ł., Wleklik K., Borek S., Garnczarska M. Polyamine seed priming: A way to enhance stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. Vol. 25. 12588. <https://doi.org/10.3390/ijms252312588>.
16. Xu B., Zheng C., Sun T., Wu Y., He M., Chen W., Zhang P., Jiang H. Beneficial effects of triadimefon in overcoming drought stress in wheat seedlings. *Journal of Plant Physiology*. 2023. Vol. 286. 154002. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2023.154015>
17. Zhang Y., He Z., Xing P., Luo H., Yan Z., Tang X. Effects of paclobutrazol seed priming on seedling quality in wheat. *BMC plant biology*. 2024. Vol. 24, № 1. 53. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04683-0>.

Дата першого надходження статті до видання: 06.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.07.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.08.2026