

УДК 633.11:631.95: 631.81

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.10>

ВПЛИВ ТРИАЗОЛЬНИХ РІСТ-РЕГУЛЮЮЧИХ СПОЛУК НА ПОКАЗНИКИ ОНТОГЕНЕЗУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Дерев'янюк Є.П. – аспірант кафедри селекції і насінництва,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0009-0003-4687-9137

Назаренко М.М. – д.с.-г.н.,
професор кафедри селекції і насінництва,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0002-6604-0123

Похідні триазолу набувають дедалі більшого значення у сфері оптимізації сучасних агротехнологій завдяки здатності регулювати широкий спектр біохімічних і фізіологічних процесів у рослинах. Вони сприяють збалансованому росту та розвитку культур, підвищують стійкість рослин до стресових чинників навколишнього середовища і забезпечують ефективнішу реалізацію генетичного потенціалу продуктивності. Для сортів Подолянка та Смуглянка був проведений аналіз з визначення характеристик енергії проростання (4 доби) та лабораторної схожості (7 діб) для обробки водним розчином перспективних ріст-регулюючих речовин CAS-64 (калій [1,2,4]триазоло[1,5-с]хіназолін-2-тіол), CAS-79 (калій тетразола[1,5-с]хіназолін-5-тіол) та CAS-67 (5-(2-амінофеніл)-1H-1,2,4-триазол-3-тіолат). Контролем була дистильована вода. Робочі розчини застосовували у концентраціях 0,01%, 0,02% та 0,04%. Пророщування проводили в рулонах фільтрувального паперу. Показники енергії проростання та лабораторної схожості не залежали від генотипу насіння. Основним фактором впливу була концентрація речовини. Вплив концентрації на лабораторну схожість був менш вираженим, ніж на енергію проростання, що свідчить про більш згладжену дію за концентраціями для цього параметра. Найбільш перспективними стимуляторами для підвищення енергії проростання та лабораторної схожості насіння сортів пшениці Подолянка і Співанка є похідні триазолу CAS-64 та CAS-79 у концентрації 0,02%. Застосування більш високих концентрацій (0,04%) є недоцільним через прояв токсичності та значне погіршення досліджуваних показників. Препарат CAS-67 має суттєво менший потенціал для застосування як стимулятор росту через незначний позитивний ефект навіть при найнижчій концентрації (0,01%) та чітку токсичну дію за вищих концентрацій. Отримані результати свідчать про суттєвий потенціал досліджуваних сполук як ефективних стимуляторів росту та розвитку пшениці, що важливо для підвищення початкових показників якості насіння, особливо в разі компенсації його зниженої життєздатності та схожості. Окрім початкового стимулюючого ефекту, виявлено також пролонговану позитивну дію препаратів CAS-64 і CAS-79 на фізіологічні процеси рослин, яка проявляється у підвищенні фотосинтетичної активності у критичну фазу розвитку (колосіння). Це свідчить про перспективність подальшого застосування зазначених сполук для покращення загального стану рослин та потенційного зростання продуктивності пшениці. Слабка сортова компонента варіації дії досліджуваних препаратів забезпечує широку універсальність та ефективність їхнього застосування в різних агротехнологічних схемах.

Ключові слова: пшениця озима, схожість, енергія проростання, триазольна група.

Derevianko Ye.P., Nazarenko M.M. The effect of triazole growth-regulating compounds on the ontogenesis of winter wheat

Triazole derivatives are becoming increasingly important in the field of optimization of modern agricultural technologies due to their ability to regulate a wide range of biochemical and physiological processes in plants. They contribute to balanced growth and development of crops, increase plant resistance to environmental stress factors and ensure more effective implementation of the genetic potential of productivity. For the varieties Podoljanka and Smuglyanka, an analysis was conducted to determine the characteristics of germination energy (4 days) and laboratory germination (7 days) for treatment with an aqueous solution of promising growth regulators CAS-64 (potassium [1,2,4]triazolo[1,5-c]quinazoline-2-thiol),

CAS-79 (potassium tetrazolo[1,5-c]quinazoline-5-thiol) and CAS-67 (5-(2-aminophenyl)-1H-1,2,4-triazole-3-thiolate). Distilled water was used as the control. Working solutions were used in concentrations of 0.01%, 0.02% and 0.04%. Germination was carried out in rolls of filter paper. The indicators of germination energy and laboratory germination did not depend on the genotype of the seeds. The main factor of influence was the concentration of the substance. The effect of concentration on laboratory germination was less pronounced than on germination energy, which indicates a more smoothed effect on concentrations for this parameter. The most promising stimulants for increasing the germination energy and laboratory germination of seeds of wheat varieties Podolyanka and Spivanka are triazole derivatives CAS-64 and CAS-79 at a concentration of 0.02%. The use of higher concentrations (0.04%) is inappropriate due to the manifestation of toxicity and a significant deterioration of the studied indicators. The drug CAS-67 has a significantly lower potential for use as a growth stimulant due to a slight positive effect even at the lowest concentration (0.01%) and a clear toxic effect at higher concentrations. The results obtained indicate a significant potential of the studied compounds as effective stimulants of growth and development of wheat, which is important for increasing the initial indicators of seed quality, especially in the case of compensating for its reduced viability and germination. In addition to the initial stimulating effect, a prolonged positive effect of the preparations CAS-64 and CAS-79 on the physiological processes of plants was also revealed, which is manifested in an increase in photosynthetic activity in the critical phase of development (earring). This indicates the prospects for further use of these compounds to improve the general condition of plants and the potential increase in wheat productivity. The weak varietal component of the variation in the action of the studied preparations provides wide versatility and efficiency of their use in various agrotechnological schemes.

Key words: winter wheat, germination, energy of germination, triazol group.

Постановка проблеми. Похідні триазолу набувають дедалі більшого значення у сфері оптимізації сучасних агротехнологій завдяки здатності регулювати широкий спектр біохімічних і фізіологічних процесів у рослинах. Вони сприяють збалансованому росту та розвитку культур, підвищують стійкість рослин до стресових чинників навколишнього середовища і забезпечують ефективнішу реалізацію генетичного потенціалу продуктивності [1, 3]. У зв'язку із цим важливим є дослідження меж мінливості реакції перспективних сортів пшениці на нові похідні триазолу, що є необхідним для обґрунтування їхнього практичного використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових публікацій свідчить, що похідні триазолу мають здатність суттєво підвищувати адаптивність культурних рослин до несприятливих умов, таких як посуха, екстремальні температури та атаки патогенних організмів. Відомо, що застосування цих сполук поліпшує формування генеративних органів, сприяючи як кількісному, так і якісному приросту врожаю. Крім того, триазоли здатні покращувати ефективність використання ресурсів – води, мінеральних добрив та інших агрохімікатів, що є важливою перевагою в умовах сучасного ресурсозберігаючого землеробства [5, 6, 9].

Особливе значення використання триазолів має в умовах глобального потепління, оскільки вони допомагають стабілізувати врожайність і забезпечують адаптивність рослин до кліматичних змін [2, 4].

Завдяки поєднанню регуляторних та захисних властивостей, похідні триазолу займають унікальне місце серед засобів агрохімії. Їх виражена фунгіцидна активність забезпечує ефективний захист культур від широкого спектру збудників грибкових захворювань, що додатково підвищує їхню цінність у практичному застосуванні [7, 8].

Метою дослідження було визначити межі мінливості лабораторних параметрів – схожості та енергії проростання насіння – залежно від сорту досліджуваних зразків, типу застосованої похідної триазолу та концентрації речовини, яка використовувалася під час обробки.

Постановка завдання. Дослідження проведено на базі науково-дослідного поля науково-освітнього центру практичної підготовки Дніпровського державного

аграрно-економічного університету. Об'єктом досліджень стали перспективні сорти пшениці озимої Подолянка та Співанка української селекції (м. Дніпро), обрані за результатами попередніх польових випробувань, для котрих було проведено лабораторне дослідження з визначення характеристик енергії проростання (4 доби) та лабораторної схожості (7 діб) після дії водним розчином. Досліджували вплив потенційних стимуляторів росту CAS-64 (калій [1,2,4]триазоло[1,5-с]хіназолін-2-тіол), CAS-79 (калій тетразол[1,5-с]хіназолін-5-тіол) та CAS-67 (5-(2-амінофеніл)-1Н-1,2,4-триазол-3-тіолат) у концентраціях 0,01%, 0,02% та 0,04% на насіння. Контрольним варіантом була дистильована вода. Кожний варіант включав 4 повторності по 50 зерен. Робочі розчини застосовували у концентраціях 0,01%, 0,02% та 0,04%. Пророщування проводили рулоним методом.

Дані були оброблені методом факторного аналізу ANOVA та дискримінантного аналізу для класифікації та групування варіантів. Аналіз проведено за допомогою програмного забезпечення Statistic 10.0 (пакети «базова статистика» та «мультифакторні методи аналізу»).

Виклад основного матеріалу дослідження. Вплив досліджуваних сполук (CAS-64, CAS-79 та CAS-67) на енергію проростання і лабораторну схожість сортів пшениці Подолянка і Співанка характеризується певними закономірностями, які залежать переважно від концентрації речовин, а не від генотипу рослин. Так, у таблиці 1 наведені дані щодо енергії проростання та лабораторної схожості за дії CAS-64 (ярко-виражена гідрофільна сполука).

Встановлено, що загалом енергії проростання та схожість не залежали від генотипу суб'єкту дії ($F = 0,61$; $F_{0,05} = 4,17$; $P = 0,73$), а тільки від концентрації ($F = 219,92$; $F_{0,05} = 2,94$; $P < 0,01$), причому дія на лабораторну схожість відносно більш згладжена за концентраціями, ніж для енергії.

Максимальні показники для обох сортів були зафіксовані при концентрації 0,02 %. Подальше збільшення концентрації до 0,04 % спричиняло суттєве зниження енергії проростання і лабораторної схожості до рівня контролю. Більш чітко виражено диференціація для схожості.

Таблиця 1
Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для CAS-64

Сорт	Вода	0,01 %	0,02 %	0,04 %
Енергія проростання				
Подолянка	91,5±0,2 ^a	93,5±0,3 ^b	96,5±0,2 ^c	91,5±0,3 ^d
Співанка	91,0±0,2 ^a	93,0±0,3 ^b	95,5±0,3 ^c	91,0±0,2 ^d
Лабораторна схожість				
Подолянка	91,5±0,2 ^a	92,5±0,2 ^b	96,0±0,3 ^c	91,0±0,3 ^d
Співанка	91,0±0,2 ^a	93,0±0,3 ^b	96,0±0,3 ^c	91,5±0,2 ^d

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Аналогічна тенденція спостерігалась за використанням CAS-79 (також гідрофільна сполука). У Таблиці 2 показано, що енергія проростання та схожість не залежали від сорту ($F = 0,62$; $F_{0,05} = 4,17$; $P = 0,61$), але на них впливала концентрація CAS-79 ($F = 243,10$; $F_{0,05} = 2,94$; $P < 0,01$), дія на обидва параметри приблизно рівнозначна. При попарному порівнянні жоден з сортів не виділювався.

Таблиця 2

Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для CAS-79

Сорт	Вода	0,01 %	0,02 %	0,04 %
Енергія проростання				
Подольнка	91,5±0,2 ^a	93,5±0,3 ^b	96,5±0,3 ^c	88,0±0,2 ^d
Співанка	91,0±0,3 ^a	93,5±0,3 ^b	96,0±0,2 ^c	89,0±0,3 ^d
Лабораторна схожість				
Подольнка	91,5±0,2 ^a	94,0±0,2 ^b	96,5±0,3 ^c	89,0±0,2 ^d
Співанка	91,0±0,2 ^a	94,0±0,2 ^b	96,0±0,2 ^c	89,5±0,2 ^d

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Енергія проростання зростала до концентрації 0,02 % за дії CAS-79, після чого за дії 0,04 % відчувався значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 2,0 – 3,5 %, що було статистично достовірним). Концентрація показала суттєву токсичність у дії на зерно.

Лабораторна схожість зростала до концентрації 0,02 % за дії CAS-79, після чого за дії 0,04 % відчувався значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 1,5 – 2,5 %, що було статистично достовірним). Таким чином, в усіх випадках до значимого позитивного ефекту призвела дія CAS-79 0,02 %, дія препарату менш залежить від сорту та якості вихідного матеріалу та є більш вирівняною. Разом з тим різниця між препаратами CAS-79 та CAS-64 статистично недостовірна.

Результати за дії CAS-67 (слабо-виражена гідрофільна сполука) представлені у таблиці 3 показали, що енергії проростання та схожість не залежали від фактору сорту ($F = 0,98$; $F_{0,05} = 4,17$; $P = 0,45$), а лише від концентрації чинника ($F = 34,17$; $F_{0,05} = 2,49$; $P < 0,01$), причому дія на порядок менш чітко диференційована за концентраціями.

Таблиця 3

Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для CAS-67

Сорт	Вода	0,01 %	0,02 %	0,04 %
Енергія проростання				
Подольнка	91,5±0,2 ^a	92,5±0,3 ^b	87,5±0,3 ^c	81,5±0,2 ^d
Співанка	91,0±0,2 ^a	92,5±0,2 ^b	88,0±0,3 ^c	82,0±0,2 ^d
Лабораторна схожість				
Подольнка	91,5±0,2 ^a	93,5±0,3 ^b	89,5±0,2 ^c	82,5±0,3 ^d
Співанка	91,0±0,2 ^a	93,5±0,3 ^b	89,5±0,3 ^c	82,5±0,2 ^d

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Загалом енергія проростання зростала у концентрації 0,01 % за дії CAS-67, потім знижувалася нижче контролю за дії 0,02 %, після чого за дії 0,04 % відчувався дуже значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 9,0 – 10,0 %, що було статистично достовірним). Тобто ця речовина має суттєвий більш токсичний ефект. Позитивний вплив 0,01% більш слабкий за попередні речовини.

Лабораторна схожість зростала за дії CAS-67, різниця була достовірна за дії 0,01%, за дії 0,02 % переважно достовірна гірша, після чого за дії 0,04 % відчувався значимий негативний ефект в усіх випадках (в порівнянні з контролем

показник знижувався на 8,5 – 9,0 %, що було статистично достовірним). Ефект був максимум обмежено-позитивним.

Таким чином, позитивний вплив CAS-67 був слабким і нетривалим, а токсичний вплив – найсильнішим серед досліджених речовин. Дія CAS-67 статистично достовірно відрізнялась від CAS-64 і CAS-79 ($F = 7,54$; $F_{0,05} = 3,49$; $P = 0,01$).

Дискримінантний аналіз підтвердив близькість ефектів CAS-64 та CAS-79 на насіння, групуючи ці сполуки разом і підтверджуючи відсутність достовірних відмінностей між ними. Сполука CAS-67 виокремлюється окремо через її суттєво слабший стимулюючий та виразно негативний ефект при підвищенні концентрацій (рис. 1).

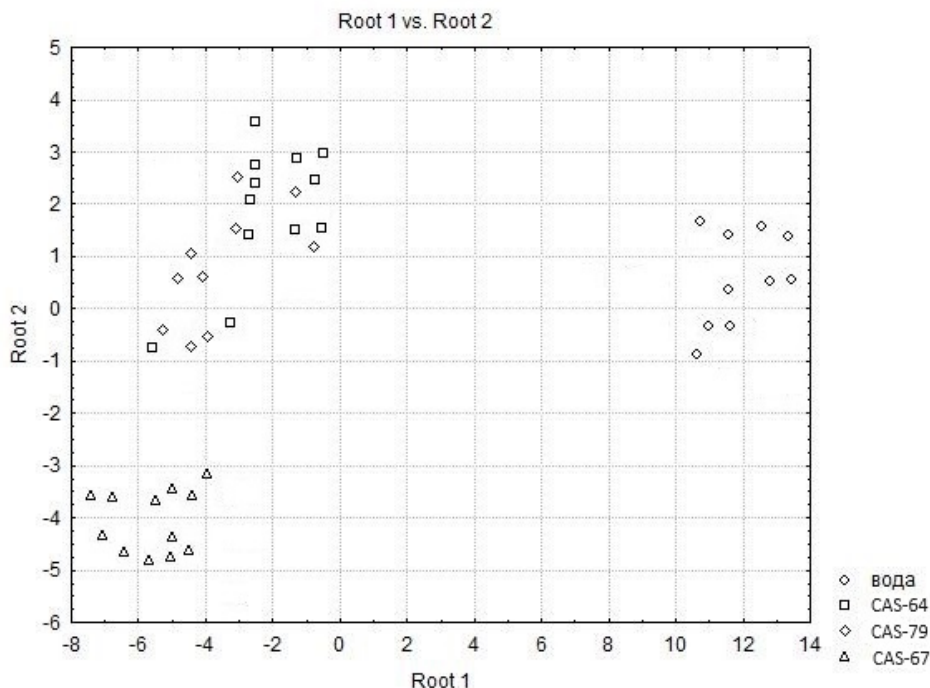


Рис. 1. Результати дискримінантного аналізу за типом речовини

За результатами дослідження по фотосинтетичній активності (таблиця 4), для CAS-64 максимальний позитивний ефект на фотосинтетичну активність спостерігається при концентрації 0,02%, з приростом у порівнянні з контролем приблизно на 5,9% (Подолянка) та 5,3% (Співанка). Концентрація 0,04% різко знижує активність до рівня контролю або навіть нижче. Для CAS-79 найвираженіший стимулюючий вплив зафіксовано також при концентрації 0,02%, з приростом фотосинтетичної активності на 7,2% (Подолянка) та 6,4% (Співанка). Подальше підвищення концентрації до 0,04% аналогічно призводить до суттєвого зниження показника до рівня контролю.

Для CAS-67 максимальний ефект менш виражений та спостерігається при найнижчій концентрації 0,01%, приріст становить лише близько 2%. Подальше підвищення концентрації (0,02% і 0,04%) має негативний вплив, а концентрація 0,04% спричиняє суттєве зниження активності фотосинтезу (до 4,9–5,0% нижче контролю).

Таблиця 4

Аналіз впливу на фотосинтетичну активність у фазі колосіння, тис. мкмоль/см²

Сорт	Вода	0,01 %	0,02 %	0,04 %
CAS-64				
Подільянка	708,5±1,3 ^a	731,5±1,2 ^b	750,5±1,3 ^c	710,5±1,2 ^a
Співанка	716,3±1,2 ^a	738,0±1,3 ^b	754,2±1,2 ^c	709,3±1,3 ^d
CAS-79				
Подільянка	708,5±1,3 ^a	732,5±1,2 ^b	759,3±1,2 ^c	710,4±1,2 ^a
Співанка	716,3±1,2 ^a	739,0±1,2 ^b	762,0±1,3 ^c	715,5±1,2 ^a
CAS-67				
Подільянка	708,5±1,3 ^a	723,5±1,2 ^b	709,1±1,2 ^a	673,4±1,2 ^d
Співанка	716,3±1,2 ^a	724,0±1,2 ^b	715,1±1,3 ^a	672,5±1,2 ^c

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Таким чином, за результатами аналізу впливу на фотосинтетичну активність найбільш ефективними є препарати CAS-64 та CAS-79 у концентрації 0,02%, які значно підвищують фотосинтетичну активність сортів Подільянка та Співанка у фазі колосіння. Препарат CAS-67 демонструє слабкий позитивний ефект лише в мінімальній концентрації (0,01%) і має суттєво негативний вплив при її збільшенні.

За результатами дослідження, за стимулюючою дією на насіння виділилися речовини CAS-64 та CAS-79 у концентрації 0,02 %, котрі здатні статистично достовірно покращити показники схожості пшениці озимої та позитивний вплив котрих зберігається до поліпшення фотосинтетичної активності.

Висновки і пропозиції. Таким чином, найбільш перспективними стимуляторами для підвищення енергії проростання та лабораторної схожості насіння сортів пшениці Подільянка і Співанка є похідні триазолу CAS-64 та CAS-79 у концентрації 0,02%. Застосування більш високих концентрацій (0,04%) є недоцільним через прояв токсичності та значне погіршення досліджуваних показників. Препарат CAS-67 має суттєво менший потенціал для застосування як стимулятор росту через незначний позитивний ефект навіть при найнижчій концентрації (0,01%) та чітку токсичну дію за вищих концентрацій. Отримані результати свідчать про суттєвий потенціал досліджуваних сполук як ефективних стимуляторів росту та розвитку пшениці, що важливо для підвищення початкових показників якості насіння, особливо в разі компенсації його зниженої життєздатності та схожості. Окрім початкового стимулюючого ефекту, виявлено також пролонговану позитивну дію препаратів CAS-64 і CAS-79 на фізіологічні процеси рослин, яка проявляється у підвищенні фотосинтетичної активності у критичну фазу розвитку (колосіння). Слабка сортова компонента варіації дії досліджуваних препаратів забезпечує широку універсальність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Bordes J., Ravel C., Le Gouis J., Lapiere A., Charmet G., Balfourier F. Use of a global wheat core collection for association analysis of flour and dough quality traits. *Journal of Cereal Science*. 2011. 54. P. 137–134.
2. Cann D., Hunt J., Rattey A., Porker K. Indirect early generation selection for yield in winter wheat. *Field Crops Research*. 2022. 282. 108505.
3. Essam F., Badrya M., Aya M. Modeling and forecasting of wheat production in Egypt. *Advances and Applications in Statistics*. 2019. 59(1). P. 89–101.

4. Jaradat A. Simulated climate change differentially impacts phenotypic plasticity and stoichiometric homeostasis in major food crops. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2018. 30(6). P. 429–442.
5. Groeneveld M., Grunwald D., Piepho H.P, Koch H.J. Crop rotation and sowing date effects on yield of winter wheat. *The Journal of Agricultural Science*. 2024. 1. P. 1–11.
6. Miedaner T., Juroszek P. Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021. 134. P.1771–1785.
7. Sushchenko I. G., Kabar A. M., Kovalenko S. I., Lykholat Y. V., Sayenko A. A. Evaluation of the influence of a new triazole derivative on the period vegetation and 1st phase of growth of creeping clover seeds white (*Trifolium repens* L.). *Ecology and Noospherology*. 2024. 35. P.78–83.
8. Zhao C., Liu B.; Piao S., Wang X., Lobell D.B., Huang Y., Huang M.T., Yao Y.T., Bassu S., Ciais P. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of National Academy of Sciences of USA*. 2017. 114. P. 9326–9331.
9. Wakatsuki H., Ju H., Nelson G.C., Farrell A.D., Deryng D., Meza F., Hasegawa T. Research trends and gaps in climate change impacts and adaptation potentials in major crops. *Current Opinions in Environment Sustainability*. 2023. 60. 101249.