

МОЖЛИВОСТІ НОВИХ РІСТ-РЕГУЛЯТОРІВ У ПОКРАЩЕННІ ОНТОГЕНЕЗУ ПШЕНИЦІ ЯРОЇ

ТРЕТЯК О.О. – аспірант

orcid.org/0009-0001-0297-7056

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

НАЗАРЕНКО М.М. – доктор сільськогосподарських наук,

orcid.org/0000-0002-6604-0123

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Сучасні умови ведення сільського господарства характеризуються постійним зростанням потреби в ефективних регуляторах росту рослин, які здатні не лише підвищувати врожайність, а й забезпечувати адаптивність культур до змін кліматичних умов. Особливу увагу привертають похідні триазолу – гетероциклічні сполуки, які мають значний потенціал у сфері оптимізації агротехнологій. Їх використання дозволяє краще контролювати процеси росту і розвитку рослин, покращувати показники продуктивності та підвищувати ефективність використання агро-технічних ресурсів [1, 3]. У зв'язку з цим актуальним є дослідження можливості використання нових сполук триазольної природи для стимулювання проростання насіння перспективних сортів пшениці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Похідні триазолу, які належать до класу гетероциклічних сполук, останнім часом широко досліджуються як перспективні регулятори росту рослин. Доведено, що триазольні похідні здатні ефективно модулювати низку ключових фізіологічних процесів, таких як швидкість проростання насіння, інтенсивність росту кореневої системи, фотосинтетична активність, а також забезпечують регулювання процесів, пов'язаних із адаптацією рослин до несприятливих факторів навколишнього середовища [5, 6, 9].

Особливо важливим об'єктом для застосування таких регуляторів є пшениця, яка є однією з основних зернових культур, що визначають продовольчу безпеку як у світовому, так і в національному масштабах. Пшениця забезпечує значну частку калорій та білка в харчуванні людини і має стратегічне економічне значення, оскільки її виробництво створює робочі місця та забезпечує експортні надходження багатьом країнам [2, 4].

Відомий механізм дії похідних триазолу включає такі ключові ефекти, як пригнічення біосинтезу гіберелінів, регулювання транслокації гормонів рослин, блокування активності гормональних рецепторів і прояв спіролактонової активності. Крім того, багато похідних триазолу мають виражену фунгіцидну та бактерицидну активність, ефективно пригнічуючи широкий спектр фітопатогенів, що робить їх застосування багатофункціональним і комплексним рішенням для рослинництва [7, 8].

Таким чином, наукове обґрунтування ефективності нових похідних триазолу як стимуляторів росту для перспективних сортів пшениці є актуальним напрямом досліджень у сучасній аграрній науці.

Мета. Очікується визначити найбільш ефективні концентрації та стимулятори, що суттєво впливають на підвищення енергії проростання та лабораторної схожості насіння перспективних сортів пшениці Меїса та Ксантія. Результати дозволять рекомендувати оптимальні технологічні схеми обробки насіння для поліпшення стартового росту рослин і подальшої продуктивності в умовах польового виробництва.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проведено на базі науково-дослідного поля науково-освітнього центру практичної підготовки Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Об'єктом досліджень стали перспективні сорти пшениці ярої Меїса та Ксантія української селекції (м. Харків), 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 тетразола[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 рулонним 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»).

Результати досліджень. Вплив досліджуваних сполук (CAS-64, CAS-79 та CAS-67) на енергію проростання і лабораторну схожість сортів пшениці Меїса і Ксантія 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 схожості не залежали від генотипу суб'єкту дії ($F = 0,47$; $F_{0,05} = 4,17$; $P = 0,83$), а тільки від концентрації ($F = 249,92$; $F_{0,05} = 2,94$; $P < 0,01$), причому дія на лабораторну схожість відносно більш згладжена за концентраціями, ніж для енергії.

Таблиця 1

Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для CAS-64

Сорт	Вода	0,01%	0,02%	0,04%
Енергія проростання				
Меїса	84,5±0,2 ^a	91,5±0,2 ^b	93,5±0,2 ^c	81,5±0,2 ^d
Ксантия	84,0±0,2 ^a	91,0±0,3 ^b	93,5±0,2 ^c	81,0±0,2 ^d
Лабораторна схожість				
Меїса	89,0±0,2 ^a	93,5±0,2 ^b	95,0±0,2 ^c	83,0±0,2 ^d
Ксантия	88,0±0,2 ^a	93,0±0,2 ^b	95,0±0,3 ^c	82,5±0,2 ^d

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

Максимальні показники для обох сортів були зафіксовані при концентрації 0,02%. Подальше збільшення концентрації до 0,04% спричиняло суттєве зниження енергії проростання (на 3%) і лабораторної схожості (на 5,5–6,0% порівняно з контролем), що свідчить про токсичну дію цієї концентрації ($F=34,17$; $F_{0,05}=3,99$; $P<0,01$). Більш чітко виражено диференціація для схожості.

Аналогічна тенденція спостерігалась за використанням CAS-79 (також гідрофільна сполука). У таблиці 2 показано, що енергія проростання та схожість не залежали від сорту ($F = 0,57$; $F_{0,05} = 4,17$; $P = 0,66$), але на них впливала концентрація CAS-79 ($F = 317,10$ $F_{0,05} = 2,94$; $P < 0,01$), 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				
Меїса	84,0±0,1 ^a	92,5±0,2 ^b	93,5±0,3 ^c	79,0±0,2 ^d
Ксантия	84,5±0,2 ^a	91,5±0,2 ^b	94,5±0,2 ^c	80,0±0,2 ^d
Лабораторна схожість				
Меїса	88,5±0,2 ^a	93,0±0,2 ^b	95,5±0,3 ^c	82,0±0,2 ^d
Ксантия	88,5±0,2 ^a	93,0±0,2 ^b	96,0±0,2 ^c	82,5±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% відчувалася значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 4,5–5,0%, 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% відчувалася значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 6,0–6,5%, 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 достовірна тільки для сорту Ксантия ($F = 3,98$; $F_{0,05} = 3,49$; $P = 0,05$).

Результати за дії CAS-67 (слабо-виражена гідрофільна сполука) представлені у таблиці 3 показали, що

енергії проростання та схожості не залежали від фактору сорту ($F = 4,17$; $F_{0,05} = 4,17$; $P = 0,08$), а лише від концентрації чинника ($F = 11,87$; $F_{0,05} = 2,49$; $P < 0,01$), 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				
Меїса	84,0±0,2 ^a	89,5±0,2 ^b	82,5±0,2 ^c	75,5±0,2 ^d
Ксантия	83,5±0,2 ^a	88,5±0,2 ^b	81,0±0,2 ^c	76,0±0,2 ^d
Лабораторна схожість				
Меїса	84,0±0,2 ^a	90,5±0,2 ^b	84,5±0,2 ^a	80,0±0,2 ^c
Ксантия	84,0±0,2 ^a	90,5±0,2 ^b	83,5±0,2 ^a	80,5±0,2 ^c

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% відчувалася дуже значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 7,5 – 8,5%, 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 недостовірною за дії 0,01%, за дії 0,02% переважно достовірна гірша за рівня першої але на рівні контролю, після чого за дії 0,04% відчувалася значимий негативний ефект в усіх випадках (в порівнянні з контролем показник знижувався на 3,5 – 4,0%, 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 ($F = 11,17$; $F_{0,05} = 3,49$; $P = 0,009$).

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 (Рисунок 1).

За результатами дослідження по фотосинтетичній активності (таблиця 4), за стимулюючою дією на рослини знов суттєво виділилися речовини CAS-64 та CAS-79 у концентрації 0,02%, котрі здатні статистично суттєво її посилити. Таким чином, є свідчення пролонгованої дії даних речовин.

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.

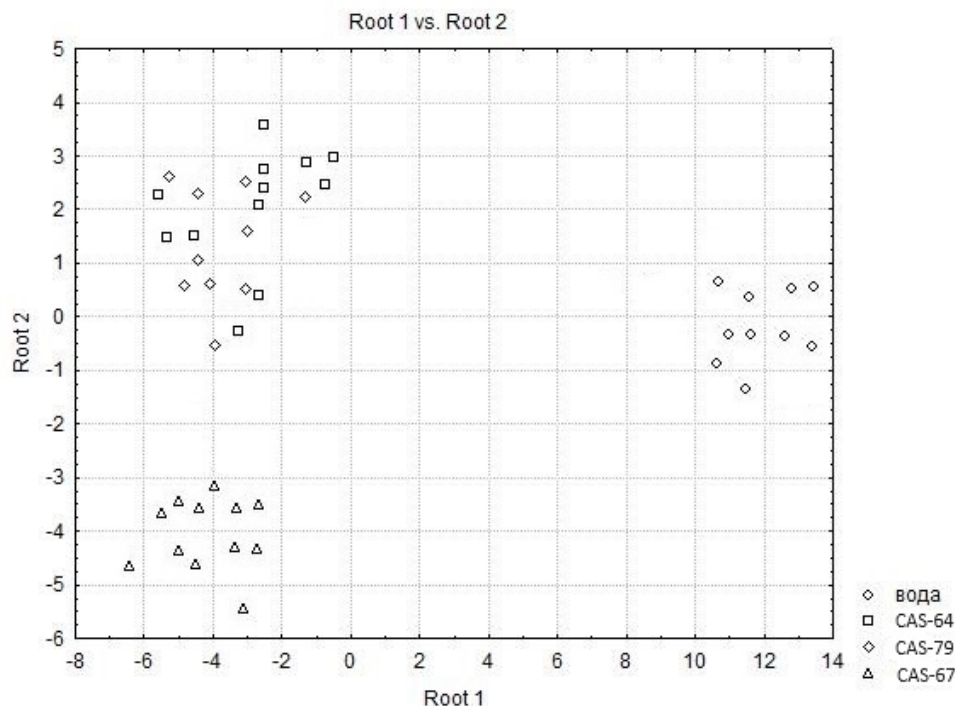


Рис. 1. Результати дискримінантного аналізу за типом речовини

Таблиця 4

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

Сорт	Вода	0,01%	0,02%	0,04%
CAS-64				
Меїса	712,5±1,2 ^a	730,5±1,2 ^b	755,5±1,2 ^c	712,5±1,2 ^a
Ксантія	706,3±1,2 ^a	731,0±1,3 ^b	748,2±1,2 ^c	711,3±1,2 ^d
CAS-79				
Меїса	711,0±1,2 ^a	730,5±1,2 ^b	756,0±1,2 ^c	713,0±1,2 ^a
Ксантія	709,0±1,2 ^a	736,0±1,2 ^b	758,0±1,3 ^c	712,5±1,2 ^a
CAS-67				
Меїса	709,0±1,2 ^a	724,5±1,2 ^b	703,1±1,2 ^c	683,0±1,2 ^d
Ксантія	705,0±1,2 ^a	718,0±1,2 ^b	705,1±1,3 ^a	682,5±1,2 ^c

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

Висновки. Таким чином, найбільш перспективними для стимуляції проростання насіння пшениці сортів Меїса та Ксантія є сполуки CAS-64 та CAS-79 у концентрації 0,02%. Застосування вищих концентрацій (0,04%) усіх досліджених речовин є токсичним і недоцільним. Препарат CAS-67 має обмежений потенціал для застосування як стимулятора, а за високих концентрацій проявляє значну токсичність. Попередні результати показують суттєві можливості використання застосованих препаратів як стимуляторів росту та розвитку, що здатні суттєво поліпшити показники енергії проростання та лабораторної схожості, що актуально перш за все при компенсації значимо нижчої якості насіння. Доведена пролонгованість позитивної дії на фізіологічні процеси рослин у вигляді посилення фотосинтетичної активності у критичній фазі розвитку. Сортова компонента варіації слабка та ефект повинен бути максимально широким.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- 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. Vol. 54. P. 137–134.
- Cann D., Hunt J., Rattey A., Porker K. Indirect early generation selection for yield in winter wheat. *Field Crops Research*. 2022. Vol. 282. 108505. doi: 10.1016/j.fcr.2022.108505
- Essam F., Badrya M., Aya M. Modeling and forecasting of wheat production in Egypt. *Advances and Applications in Statistics*. 2019. Vol. 59, № 1. P. 89–101.
- Jaradat A. Simulated climate change differentially impacts phenotypic plasticity and stoichiometric homeostasis in major food crops. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2018. Vol. 30, № 6. P. 429–442.
- Hongjie L., Timothy D. M., McIntosh R. A., Yang, Z. Breeding new cultivars for sustainable wheat production. *The Crop Journal*. 2019. Vol. 7, № 6. P. 715–717.
- Li H. J., Timothy D. M., McIntosh R. A., Zhou Y. Wheat breeding in northern China: achievements and technical advances. *The Crop Journal*. 2019. Vol. 7, № 6. P. 718–729.
- Miedaner T., Juroszek P. Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021. Vol. 134. 1771–1785.
- 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 of vegetation and 1st phase of growth of creeping clover seeds white (*Trifolium repens* L.). *Ecology and Noospherology*. 2024. Vol. 35. P. 78–83.
- Tsenov N., Atanasova D., Stoeva I., Tsenova, E. Effects of drought on grain productivity and quality in winter

bread wheat. *Bulgarian Journal Agricultural Sciences*. 2015. Vol. 21. P. 592–598.

REFERENCES:

1. Bordes J., Ravel C., Le Gouis J., Lapierre A., Charmet G., Balfourier F. (2011). Use of a global wheat core collection for association analysis of flour and dough quality traits. *Journal of Cereal Science*, 54. P. 137–134.
2. Cann D., Hunt J., Rattey A., Porker K. (2022). Indirect early generation selection for yield in winter wheat. *Field Crops Research*, 282. 108505.
3. Essam F., Badrya M., Aya M. (2019). Modeling and forecasting of wheat production in Egypt. *Advances and Applications in Statistics*, 59(1). P. 89–101.
4. Jaradat A. (2018). Simulated climate change differentially impacts phenotypic plasticity and stoichiometric homeostasis in major food crops. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(6). P. 429–442.
5. Hongjie L., Timothy D. M., McIntosh R. A., Yang, Z. (2019). Breeding new cultivars for sustainable wheat production. *The Crop Journal*, 7(6). P. 715–717. doi: 10.1016/j.cj.2019.11.001
6. Li H. J., Timothy D. M., McIntosh R. A., Zhou Y. (2019). Wheat breeding in northern China: achievements and technical advances. *The Crop Journal*, 7(6). P. 718–729.
7. Miedaner T., Juroszek P. (2021). Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe. *Theoretical and Applied Genetics*, 134, P. 1771–1785.
8. Sushchenko I. G., Kabar A. M., Kovalenko S. I., Lykholat Y. V., Sayenko A. A. (2024). Evaluation of the influence of a new triazole derivative on the period of vegetation and 1st phase of growth of creeping clover seeds white (*Trifolium repens* L.). *Ecology and Noospherology*, 35. P. 78–83.
9. Tsenov N., Atanasova D., Stoeva I., Tsenova, E. (2015). Effects of drought on grain productivity and quality in winter bread wheat. *Bulgarian Journal Agricultural Sciences*, 21. P. 592–598.

Третяк О.О., Назаренко М.М. Можливості нових ріст-регуляторів у покращенні онтогенезу пшениці ярої

Сучасні умови ведення сільського господарства характеризуються постійним зростанням потреби в ефективних регуляторах росту рослин, які здатні не лише підвищувати врожайність, а й забезпечувати адаптивність культур до змін кліматичних умов. Особливу увагу привертають похідні триазолу – гетероциклічні сполуки, які мають значний потенціал у сфері оптимізації агротехнологій. **Мета.** Метою було визначити найбільш ефективні концентрації та стимулятори, що суттєво впливають на підвищення енергії проростання та лабораторної схожості насіння перспективних сортів пшениці Меїса та Ксантія. **Методи:** Для сортів пшениці ярої Меїса та Ксантія 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. **Результати.** Вплив CAS-64 та CAS-79 на енергію проростання і лабораторну схожість сортів пшениці Меїса і Ксантія характеризується певними закономірностями, які залежать переважно від концентрації речовин, а не від генотипу рослин. За результатами аналізу дії 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 (що свідчить про токсичну дію цієї концентрації). Відмінність у впливі CAS-79 та CAS-64 була достовірною лише для сорту Ксантія ($F=3,98$; $F_{0,05}=3,49$; $P=0,05$). За дії CAS-67 максимальний позитивний ефект для енергії проростання досягався при концентрації 0,01%, тоді як вже при 0,02% спостерігався ефект нижчий за контроль. 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. За результатами дослідження по фотосинтетичній активності за стимулюючою дією на рослини знов суттєво виділилися речовини CAS-64 та CAS-79 у концентрації 0,02%. **Висновки.** Таким чином, найбільш перспективними для стимуляції проростання насіння пшениці сортів Меїса та Ксантія є сполуки CAS-64 та CAS-79 у концентрації 0,02%. Застосування вищих концентрацій (0,04%) усіх досліджених речовин є токсичним і недоцільним. Препарат CAS-67 має обмежений потенціал для застосування як стимулятора, а за високих концентрацій проявляє значну токсичність.

Ключові слова: пшениця озима, схожість, енергія проростання, триазоли.

Tretiak O.O., Nazarenko M.M. Possibilities of new growth regulators in improving the ontogenesis of spring wheat

Modern conditions of agriculture are characterized by a constant increase in the need for effective plant growth regulators, which are able not only to increase yield, but also to ensure the adaptability of crops to changing climatic conditions. Triazole derivatives – heterocyclic compounds, which have significant potential in the field of optimization of agricultural technologies, attract particular attention. **Purpose.** The goal was to determine the most effective concentrations and stimulants that significantly affect the increase in germination energy and laboratory germination of seeds of promising wheat varieties Meisa and Ksanthiia. **Methods:** For spring wheat varieties Meisa and Ksanthiia, 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. **Results.** The effect of CAS-64 and CAS-79 on germination energy and laboratory germination of wheat varieties Meisa and Ksanthiia is characterized by certain patterns that depend mainly on the concentration of substances, and not on the genotype of plants. According to the results of the action analysis, the maximum indicators for both varieties were recorded

at a concentration of 0.02%. Further increase in concentration to 0.04% caused a significant decrease in germination energy and laboratory germination (which indicates the toxic effect of this concentration). The difference in the effect of CAS-79 and CAS-64 was significant only for the variety Ksanthiy ($F=3.98$; $F_{0.05}=3.49$; $P=0.05$). Under the action of CAS-67, the maximum positive effect for germination energy was achieved at a concentration of 0.01%, while already at 0.02% the effect was lower than the control. Discriminant analysis confirmed the closeness of the effects of CAS-64 and CAS-79 on seeds, grouping these compounds together and confirming the absence of significant differences between them. The compound CAS-67 is isolated separately due to its significantly weaker

stimulating and clearly negative effect at increasing concentrations. According to the results of the study on photosynthetic activity, the stimulating effect on plants was again significantly. The substances CAS-64 and CAS-79 were isolated at a concentration of 0.02%. **Findings.** Thus, the most promising for stimulating the germination of wheat seeds of the varieties Meisa and Ksanthi are the compounds CAS-64 and CAS-79 at a concentration of 0.02%. The use of higher concentrations (0.04%) of all the studied substances is toxic and inappropriate. The drug CAS-67 has limited potential for use as a stimulant, and at high concentrations it exhibits significant toxicity.

Key words: winter wheat, germination, energy of germination, triazols.