

МОЖЛИВОСТІ НОВИХ ТРИАЗОЛЬНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ОНТОГЕНЕЗУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

ХОРОШУН І.В. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0009-0003-2929-3863

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

НАЗАРЕНКО М.М. – доктор сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-6604-0123

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Похідні триазолу мають великий потенціал для оптимізації агротехнологій, забезпечуючи кращий контроль за процесами росту та розвитку рослин. Їх застосування сприяє адаптації до змін клімату, покращенню врожайності та ефективності використання ресурсів [1, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Похідні триазолу, що належать до гетероциклічних сполук, демонструють високу ефективність як регулятори росту рослин у сільському господарстві завдяки здатності модулювати ключові фізіологічні процеси. Триазоли можуть регулювати швидкість проростання насіння, прискорюючи цей процес для сприятливих умов або затримуючи його для уникнення несприятливих факторів [5, 6, 9].

Пшениця забезпечує значну частину світового та національного виробництва зернових культур. Вона є важливим джерелом калорій і білка для людини. Вирощування пшениці має велике економічне значення для багатьох країн, забезпечуючи робочі місця та експортні надходження [2, 4].

Механізм дії похідних триазолу включає пригнічення біосинтезу гібереліну, перешкоджання транслокації гормонів, активність спіролактону та блокування гормональних рецепторів. Деякі сполуки на основі триазолу також виявляють сильну фунгіцидну дію, спрямовану на широкий спектр фітопатогенних грибів і бактерій з додатковими властивостями регулювання росту [7, 8].

Мета. Метою було показати межі мінливості за лабораторними параметрами схожості та енергії проростання в залежності від сорту, застосованої речовини та її концентрації.

Матеріали та методика досліджень. В умовах науково-дослідного поля науково-освітнього центру практичної підготовки Дніпровського державного аграрно-економічного університету виявили в результаті попереднього випробування як більш перспективні сорти Вагома (Україна, Одеса), Балагура, Белінда (Україна, Луганськ), Ейфорія (Польща), ЗУ Траско (Німеччина), для котрих було проведено лабораторне дослідження з визначення характеристик енергії проростання (4 доби) та лабораторної схожості (7 діб) після дії водним розчином можливих стимуляторів СА-64 (калій [1,2,4]триазоло[1,5-с]хіназолін-2-тіолат), СА-79 (калій тетразола[1,5-с]хіназолін-5-тіолат), СА-67 (5-(2-амінофеніл)-1Н-1,2,4-триазол-3-тіол). Контролем була дистильована вода. Робочі розчини застосовували

у концентраціях 0,01%, 0,02% та 0,04%. Пророщування проводили рулонним методом. Відбирали чотири проби по 50 зерен.

Математико-статистичну обробку проводили за факторним аналізом ANOVA, групування та класифікацію даних методом дискримінантного аналізу. В усіх випадках застосовували пакети «базова статистика» та «мультифакторні методи аналізу» програми Statistic 10.0.

Результати досліджень. Результати представлені в залежності від речовин. Так, у таблиці 1 наведені дані щодо енергії проростання та лабораторної схожості за дії СА-64 (ярко-виражена гідрофільна сполука).

Встановлено, що загалом енергії проростання та схожості не залежали від генотипу суб'єкту дії ($F = 5,87$; $F_{0,05} = 6,59$; $P = 0,06$), а тільки від концентрації ($F = 18,77$; $F_{0,05} = 5,19$; $P < 0,01$), причому дія на лабораторну схожість відносно більш згладжена за концентраціями, ніж для енергії. Але при попарному порівнянні за сортами виділився сорт Ейфорія ($F = 5,21$; $F_{0,05} = 4,11$; $P = 0,04$), насіння котрого мало вищу якість в контролі, але ефект дії даної речовини був менш вираженим та призвів до незначного зростання схожості при 0,02 %, в той час як у інших тенденція за дії СА-64 0,02% виражена явно.

Загалом енергія проростання зростала до концентрації 0,02 % за дії СА-64, крім сорту Ейфорія ($F = 4,51$; $F_{0,05} = 4,34$; $P = 0,05$), після чого за дії 0,04 % відчувався значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 3 – 4,0 %, що було статистично достовірним). Концентрація показала суттєву токсичність у дії на зерно.

Лабораторна схожість зростала до концентрації 0,02 % за дії СА-64, крім сортів Белінда та Ейфорія ($F = 5,01$; $F_{0,05} = 4,34$; $P = 0,04$), у котрих при попарному порівнянні більш складна картина – різниця між контролем та СА-64 0,01 % достовірною, між контролем та СА-64 0,02 % достовірною, але між СА-64 0,01 % та СА-64 0,02 % недостовірною, після чого за дії 0,04 % відчувався значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 3,0 – 4,0 %, що було статистично достовірним). Таким чином, ця концентрація має суттєвий негативний ефект у дії.

Таким чином, в усіх випадках до максимального позитивного ефекту призвела дія СА-64 0,02 %, хоча дія препарату може бути не така успішна в залежності від сорту (сорти Белінда та Ейфорія). Більш чітко виражено диференціація для схожості.

Таблиця 1

Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для СА-64

Сорт	Вода	0,01 %	0,02 %	0,04 %
Енергія проростання				
Вагома	84,0±0,3 ^a	86,5±0,3 ^b	88,5±0,3 ^c	80,5±0,3 ^d
Балагура	84,0±0,2 ^a	87,0±0,4 ^b	88,5±0,2 ^c	80,0±0,3 ^d
Белінда	84,5±0,3 ^a	87,5±0,4 ^b	89,5±0,2 ^c	81,0±0,3 ^d
Ейфорія	85,0±0,3 ^a	87,0±0,4 ^b	88,0±0,4 ^b	81,5±0,3 ^c
ЗУ Траско	83,0±0,3 ^a	85,0±0,3 ^b	89,5±0,3 ^c	80,0±0,4 ^d
Лабораторна схожість				
Вагома	92,0±0,3 ^a	94,5±0,3 ^b	96,0±0,3 ^c	88,5±0,3 ^d
Балагура	91,5±0,2 ^a	94,0±0,3 ^b	96,5±0,4 ^c	88,0±0,3 ^d
Белінда	92,0±0,3 ^a	94,0±0,3 ^b	95,0±0,4 ^b	88,0±0,4 ^c
Ейфорія	92,0±0,2 ^a	94,5±0,3 ^b	95,0±0,4 ^b	88,5±0,4 ^c
ЗУ Траско	91,0±0,2 ^a	94,5±0,3 ^b	96,5±0,2 ^c	88,0±0,4 ^d

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

Таблиця 2

Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для СА-79

Сорт	Вода	0,01 %	0,02 %	0,04 %
Енергія проростання				
Вагома	84,0±0,3 ^a	86,5±0,3 ^b	88,0±0,3 ^c	81,0±0,4 ^d
Балагура	84,0±0,2 ^a	86,5±0,3 ^b	88,0±0,4 ^c	80,5±0,3 ^d
Белінда	84,5±0,3 ^a	86,0±0,3 ^b	88,0±0,3 ^c	81,0±0,4 ^d
Ейфорія	85,0±0,3 ^a	87,0±0,3 ^b	87,5±0,3 ^b	81,0±0,3 ^c
ЗУ Траско	83,0±0,3 ^a	86,0±0,3 ^b	87,5±0,4 ^c	80,0±0,4 ^d
Лабораторна схожість				
Вагома	92,0±0,3 ^a	93,5±0,3 ^b	96,0±0,3 ^c	85,5±0,3 ^d
Балагура	91,5±0,2 ^a	93,5±0,3 ^b	96,5±0,3 ^c	86,0±0,3 ^d
Белінда	92,0±0,3 ^a	93,5±0,3 ^b	95,0±0,3 ^c	86,0±0,4 ^d
Ейфорія	92,0±0,2 ^a	93,0±0,4 ^a	95,5±0,3 ^b	86,5±0,3 ^c
ЗУ Траско	91,0±0,2 ^a	94,5±0,3 ^b	96,5±0,3 ^c	86,0±0,4 ^d

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

По параметру енергії проростання та лабораторної схожості за дії СА-79 (ярко-виражена гідрофільна сполука) (Таблиця 2) показано, що енергія проростання та схожість не залежали від сорту ($F = 5,97$; $F_{0,05} = 6,59$; $P = 0,06$), але на них впливала концентрація СА-79 ($F = 20,14$; $F_{0,05} = 5,19$; $P < 0,01$), дія на обидва параметри приблизно рівнозначна.

При попарному порівнянні за сортами виділилися знов сорт Ейфорія ($F = 5,67$; $F_{0,05} = 4,11$; $P = 0,03$) та дія призвела до зростання схожості до 3,0-5,0 % у кращої концентрації СА-64 0,02%, особливо успішно для сорту Балагура.

Енергія проростання зростала до концентрації 0,02 % за дії СА-79, крім знов сорту Ейфорія ($F = 4,99$; $F_{0,05} = 4,34$; $P = 0,04$), після чого за дії 0,04 % відчувався значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 3 – 4,0 %, що було статистично достовірним). Концентрація показала суттєву токсичність у дії на зерно.

Лабораторна схожість зростала до концентрації 0,02 % за дії СА-64, крім сорту Ейфорія ($F = 4,49$; $F_{0,05} = 4,34$; $P = 0,05$), у котрого при попарному порівнянні

більш складна картина – різниця між контролем та СА-64 0,01 % недостовірна, між контролем та СА-64 0,02 % достовірна, між СА-64 0,01 % та СА-64 0,02 % достовірна, після чого за дії 0,04 % відчувався значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 5,0 – 6,0 %, що було статистично достовірним)). Таким чином, ця концентрація має суттєвий негативний ефект у дії. Таким чином, в усіх випадках до значимого позитивного ефекту призвела дія СА-79 0,02 %, дія препарату менш залежить від сорту та якості вихідного матеріалу та є більш вирівняною. Разом з тим різниця статистично недостовірна ($F = 3,43$; $F_{0,05} = 3,49$; $P = 0,06$).

Результати за дії СА-67 (слабо-виражена гідрофільна сполука) представлені у таблиці 3 показали, що енергії проростання та схожість не залежали від фактору сорту ($F = 4,17$; $F_{0,05} = 6,59$; $P = 0,08$), а лише від концентрації чинника ($F = 11,87$; $F_{0,05} = 5,19$; $P < 0,01$), причому дія на порядок менш чітко диференційована за концентраціями. При попарному порівнянні за сортами виділилися сорт ЗУ Траско.

Загалом енергія проростання зростала у концентрації 0,01 % за дії СА-67, потім знижувалася до контролю

Таблиця 3

Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для СА-67

Сорт	Вода	0,01 %	0,02 %	0,04 %
Енергія проростання				
Вагома	84,0±0,3 ^a	85,5±0,3 ^b	83,5±0,3 ^a	78,0±0,3 ^c
Балагура	84,0±0,2 ^a	85,0±0,3 ^b	83,0±0,2 ^a	77,5±0,2 ^c
Белінда	84,5±0,3 ^a	86,0±0,3 ^b	83,5±0,2 ^a	77,5±0,3 ^c
Ейфорія	85,0±0,3 ^a	86,5±0,2 ^b	84,5±0,3 ^a	78,5±0,3 ^c
ЗУ Траско	83,0±0,3 ^a	84,5±0,3 ^b	84,5±0,3 ^b	75,0±0,3 ^c
Лабораторна схожість				
Вагома	92,0±0,3 ^a	92,5±0,3 ^a	89,5±0,3 ^b	86,0±0,4 ^c
Балагура	91,5±0,2 ^a	92,0±0,2 ^a	89,5±0,3 ^b	85,5±0,3 ^c
Белінда	92,0±0,3 ^a	92,0±0,2 ^a	91,0±0,2 ^a	84,5±0,4 ^b
Ейфорія	92,0±0,2 ^a	92,5±0,3 ^a	91,5±0,3 ^a	85,0±0,3 ^c
ЗУ Траско	91,0±0,2 ^a	92,5±0,2 ^b	90,5±0,2 ^a	85,0±0,4 ^c

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

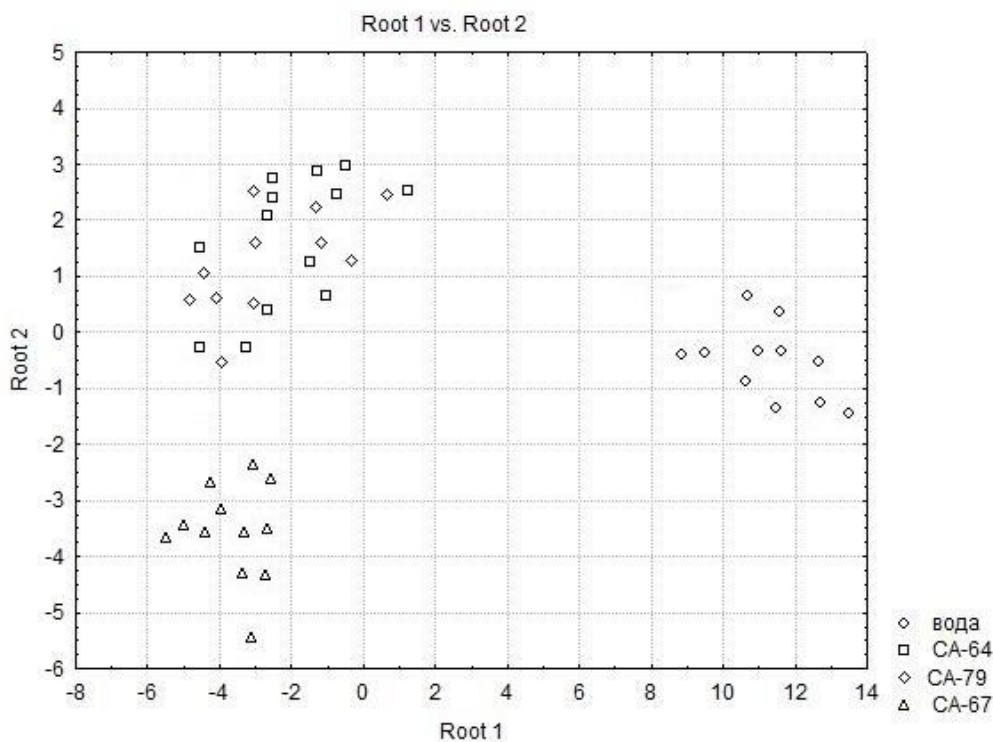


Рис. 1. Результати кластерного аналізу за типом речовини

за дії 0,02 % крім сорту ЗУ Траско ($F = 4,41$; $F_{0,05} = 4,34$; $P = 0,05$), де була на рівні контролю, після чого за дії 0,04 % відчувався дуже значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 6 – 8 %, що було статистично достовірним). Тобто ця речовина має суттєвий більш токсичний ефект. Позитивний вплив 0,01% доволі слабкий (1,0 – 1,5 %). Лабораторна схожість не зростала за дії СА-67 (крім знову ЗУ Траско), різниця була недостовірна за дії 0,01%, за дії 0,02 % переважно достовірна гірша за рівня першої але на рівні контролю, або вже гіршою за контроль (сорт Вагома та Балагура), після чого за дії 0,04 % відчувався значимий негативний ефект в усіх випадках(в порівнянні

з контролем показник знижувався на 4,5 – 7,5 %, що було статистично достовірним). Ефект був максимум незначно-позитивним.

Застосування вивчених концентрацій СА-67 недоцільне та мало достовірно-негативний характер при підвищенні концентрації. Різниця статистично достовірна з попередніми препаратами ($F = 7,45$; $F_{0,05} = 3,49$; $P = 0,009$).

За результатами дискримінантного аналізу (Рисунок 1) СА-64 та СА-79 утворюють одну групу за характеристиками дії на насіннєвий матеріал, тобто різниця у їх дії знов недостовірна.

За результатами дослідження, за стимулюючою дією на насіння виділилися речовини СА-64 та СА-79 у кон-

центрації 0,02 %, котрі здатні статистично достовірно покращити показники схожості пшениці озимої.

Висновки. За результатами аналізу досліджених речовин встановлено, що оптимальним серед досліджених речовин є застосування СА-64 та СА-79 у концентрації 0,02 %, причому СА-79 в деяких випадках є більш ефективним у стимулюючій дії але встановленні можливості отримання статистично достовірної різниці серед даних речовин потребує суттєвого розширення масштабів дослідів. 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. До того сортова компонента варіації слабка та ефект повинен бути максимально широким (Ейфорія).

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 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.
- Cann D., Hunt J., Rattey A., Porker K. (2022). Indirect early generation selection for yield in winter wheat. *Field Crops Research*, 282. 108505.
- 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.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- 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 vegetation and 1st phase of growth of creeping clover seeds white (*Trifolium repens* L.). *Ecology and Noospherology*, 35. P. 78–83.
- 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.

Хорошун І.В., Назаренко М.М. Можливості нових триазольних речовин для покращення онтогенезу пшениці озимої

Похідні триазолу мають великий потенціал для оптимізації агротехнологій, забезпечуючи кращий контроль за процесами росту та розвитку рослин. Їх застосування сприяє адаптації до змін клімату, покращенню врожайності та ефективності використання ресурсів. **Мета.** Метою було показати межі мінливості за лабораторними параметрами схожості та енергії проростання в залежності від сорту, застосованої речовини та її концентрації. **Методи:** Для сортів Вагома, Балагура, Белінда, Ейфорія, ЗУ Траско був проведений аналіз з визначення характеристик енергії проростання (4 доби) та лабораторної схожості (7 діб) для обробки водним розчином перспективних ріст-регулюючих речовин СА-64 (калій [1,2,4]триазоло[1,5-с]хіназолін-2-тіолат), СА-79 (калій тетразола[1,5-с]хіназолін-5-тіолат), СА-67 (5-(2-амінофеніл)-1Н-1,2,4-триазол-3-тіол). Контролем була дистильована вода. Робочі розчини застосовували у концентраціях 0,01%, 0,02% та 0,04%. Пророщування проводили в рулонах фільтрувального паперу. **Результати.** Встановлено, що загалом енергії проростання та схожість не залежали від фактору сорту, а лише від концентрації чинника. Для СА-64 та СА-79 енергія проростання зростала до концентрації 0,02 %, крім сорту Ейфорія, після чого за дії 0,04 % відчувався значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 3 – 4,0 %, що було статистично достовірним). Концентрація показала суттєву токсичність у дії на зерно. Лабораторна схожість теж зростала до концентрації 0,02 % за дії СА-64 та СА-79, крім сорту Ейфорія, після чого за дії 0,04 % відчувався значимий

REFERENCES:

- Bordes J., Ravel C., Le Gouis J., Lapiere 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.

негативний ефект. Дія СА-67 була незначимо позитивною або значимо негативною починаючи з 0,02 %. До значимого позитивного ефекту призвела дія СА-64 та СА-79 0,02 %, хоча дія препаратів може бути не така успішна в залежності від сорту (переважно сорт Ейфорія). За результатами дискримінантного аналізу СА-64 та СА-79 утворюють одну групу за характеристиками дії на насінний матеріал, тобто різниця у їх дії знов недостовірна. **Висновки.** За результатами аналізу досліджених речовин встановлено, що оптимальним серед досліджених речовин є застосування СА-64 та СА-79 у концентрації 0,02 %, причому СА-79 в деяких випадках є більш ефективним у стимулюючій дії але встановленні можливості отримання статистично достовірної різниці серед даних речовин потребує суттєвого розширення масштабів дослідів. Попередні результати показують суттєві можливості використання застосованих препаратів. Сортова компонента варіації слабка та ефект повинен бути максимально широким (Ейфорія).

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

Khoroshun I.V., Nazarenko M.M. Possibilities of new triazole substances for improving the ontogenesis of winter wheat

Triazole derivatives have great potential for optimizing agrotechnology, providing better control over the processes of plant growth and development. Their use contributes to adaptation to climate change, improving yields and resource efficiency. **Purpose.** The aim was to show the limits of variability in laboratory parameters of germination and germination energy depending on the variety, the substance used and its concentration. **Methods:** For the varieties Vagoma, Balagura, Belinda, Euphoria, ZU Trasko, 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 CA-64 (potassium [1,2,4]tri-

azol[1,5-c]quinazoline-2-thiolate), CA-79 (potassium tetrazolo[1,5-c]quinazoline-5-thiolate), CA-67 (5-(2-aminophenyl)-1H-1,2,4-triazole-3-thiol). 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.** It was found that in general, germination energy and germination did not depend on the variety factor, but only on the concentration of the factor. For CA-64 and CA-79, germination energy increased to a concentration of 0.02%, except for the Euphoria variety, after which a significant negative effect was felt at the action of 0.04% (compared to the control, the indicator decreased by 3-4.0%, which was statistically significant). The concentration showed significant toxicity in the effect on grain. Laboratory germination also increased to a concentration of 0.02% under the action of CA-64 and CA-79, except for the Euphoria variety, after which a significant negative effect was felt at the action of 0.04%. The action of CA-67 was insignificantly positive or significantly negative starting from 0.02%. The action of CA-64 CA-64 and CA-79 0.02% led to a significant positive effect, although the effect of the drugs may not be as successful depending on the variety (mainly the Euphoria variety). According to the results of discriminant analysis, CA-64 and CA-79 form one group according to the characteristics of the action on the seed material, that is, the difference in their action is again unreliable. **Findings.** According to the results of the analysis of the studied substances, it was found that the optimal among the studied substances is the use of CA-64 and CA-79 at a concentration of 0.02%, and CA-79 in some cases is more effective in stimulating action, but establishing the possibility of obtaining a statistically significant difference among these substances requires a significant expansion of the scale of the experiments. Preliminary results show significant possibilities for using the drugs used. The varietal component of variation is weak and the effect should be as broad as possible (Euphoria).

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