

УДК 633.11:631.95: 631.81

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.39>

## НОВІ ТРИАЗОЛЬНІ СПОЛУКИ ЯК СТИМУЛЯТОРИ ДЛЯ ОНТОГЕНЕЗУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

**Хорошун І.В.** – к.с.-г.н.,

докторант кафедри селекції і насінництва,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

**Назаренко М.М.** – д.с.-г.н.,

професор кафедри селекції і насінництва,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

**Коваленко С.І.** – д.фарм.н., професор,

п.н.с.,

Науково-дослідний інститут хімії та геології

Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Похідні триазолу мають значний потенціал для оптимізації агротехнологій, забезпечуючи ефективний контроль за процесами росту та розвитку рослин. Їх використання сприяє адаптації сільськогосподарських культур до змін клімату, підвищує врожайність і ефективність використання води, добрив та інших ресурсів. Для сортів Епітет, Епос, МІП Дарунок, Атрибут, Джубіло 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. Встановлено, що загалом енергії проростання та схожість не залежали від фактору сорту, а лише від концентрації чинника, причому дія на другий параметр відносно менш чітко диференційована за концентраціями, ніж для енергії. В усіх випадках до максимального позитивного ефекту призвела дія СА-64 0,02%, хоча дія препарату може бути не така виражена в залежності від сорту (сорти Атрибут та Джубіло). Більш чітко виражена диференціація для схожості, 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. Різниця з СА-64 статистично достовірна. Застосування вивчених концентрацій СА-67 недоцільне та мало достовірно-негативний характер при підвищенні концентрації. Різниця статистично достовірна з попередніми препаратами. За результатами дискримінантного аналізу СА-64 та СА-79 за характеристиками дії на насіннєвий матеріал відрізняються значимо, тобто різниця у їх дії достовірна. Дослідження представлених речовин показало, що доцільним є використання для покращення схожості та регулярності проростання СА-64 та СА-79 у концентрації 0,02%, причому СА-79 більш ефективно, але його дію більш залежить від різниці по сортах та якості насіннєвого матеріалу, тому необхідний попередній моніторинг сортового матеріалу. Застосування СА-67 не призводить до суттєвого позитивного ефекту. Використання СА-79 речовин особливо ефективно на насіннєвому матеріалі з більш низькими показниками енергії проростання та схожості. Фактично дія призводить до того, що дані параметри підтягуються до рівня кращих зразків.

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

**Khoroshun I.V., Nazarenko M.M., Kovalenko S.I. New triazole compounds as stimulants for winter wheat ontogenesis**

Triazole derivatives have significant potential for optimizing agricultural technologies, providing effective control over the processes of plant growth and development. Their use contributes to the adaptation of crops to climate change, increases yield and efficiency of water, fertilizer and other resources use. For the varieties Epitet, Epos, MIP Darunok, Atribut, Dzhubilo,

*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]triazolo[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. 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, and the effect on the second parameter was relatively less clearly differentiated by concentrations than for energy. In all cases, the maximum positive effect was caused by the action of CA-64 0.02%, although the effect of the drug may not be as pronounced depending on the variety (varieties Attribute and Jubilo). More clearly expressed differentiation for germination. In all cases, a significant positive effect was caused by the action of CA-79 0.02%, the effect of the drug depends less on the variety and quality of the starting material and is more even. The difference with CA-64 is statistically significant. The use of the studied concentrations of CA-67 is inappropriate and has a significant negative character at increased concentrations. The difference is statistically significant with the previous preparations. According to the results of discriminant analysis, CA-64 and CA-79 differ significantly in the characteristics of their action on seed material, that is, the difference in their action is significant. The study of the presented substances showed that it is advisable to use CA-64 and CA-79 at a concentration of 0.02% to improve germination and regularity of germination, with CA-79 being more effective, but its effect depends more on the difference in varieties and the quality of seed material, therefore preliminary monitoring of varietal material is necessary. The use of CA-67 does not lead to a significant positive effect. The use of CA-79 substances is especially effective on seed material with lower germination energy and germination. In fact, the action leads to the fact that these parameters are brought up to the level of the best samples.*

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

**Постановка проблеми.** Похідні триазолу мають значний потенціал для оптимізації агротехнологій, забезпечуючи ефективний контроль за процесами росту та розвитку рослин. Їх використання сприяє адаптації сільськогосподарських культур до змін клімату, підвищує врожайність і ефективність використання води, добрив та інших 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].

Механізм дії похідних триазолу базується на кількох ключових аспектах: вони пригнічують біосинтез гібереліну, перешкоджають транслокації гормонів, активують спіролактон і блокують гормональні рецептори. Крім того, деякі сполуки на основі триазолу проявляють потужну фунгіцидну активність проти широкого спектра фітопатогенних грибів і бактерій [2, 4].

Це поєднання захисних і регуляторних властивостей дозволяє триазолам ефективно контролювати ріст і розвиток рослин, водночас забезпечуючи захист від хвороб, що робить їх універсальними засобами для підвищення врожайності та стабільності агросистем [7, 8].

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

**Постановка завдання.** В умовах науково-дослідного поля науково-освітнього центру практичної підготовки Дніпровського державного аграрно-економічного університету виявили в результаті попереднього випробування як більш

перспективні сорти Епітет, Епос, МПП Дарунок (Україна), Атрибут (Німеччина), Джубіло (Франція) 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 тетразол[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.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** 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).

Таблиця 1

**Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для СА-64**

Сорт	Вода	0,01%	0,02%	0,04%
Енергія проростання				
Епітет	82,5±0,2 <sup>a</sup>	84,5±0,3 <sup>b</sup>	87,5±0,3 <sup>c</sup>	80,0±0,3 <sup>d</sup>
Епос	81,5±0,2 <sup>a</sup>	84,0±0,3 <sup>b</sup>	87,5±0,4 <sup>c</sup>	80,0±0,3 <sup>d</sup>
МПП Дарунок	82,0±0,2 <sup>a</sup>	84,5±0,3 <sup>b</sup>	87,0±0,4 <sup>c</sup>	78,0±0,3 <sup>d</sup>
Атрибут	77,5±0,2 <sup>a</sup>	82,0±0,2 <sup>b</sup>	85,0±0,4 <sup>c</sup>	76,5±0,3 <sup>a</sup>
Джубіло	78,5±0,2 <sup>a</sup>	82,5±0,3 <sup>b</sup>	85,0±0,3 <sup>c</sup>	76,0±0,4 <sup>d</sup>
Лабораторна схожість				
Епітет	92,0±0,2 <sup>a</sup>	94,0±0,3 <sup>b</sup>	95,0±0,3 <sup>b</sup>	89,5±0,4 <sup>c</sup>
Епос	92,5±0,2 <sup>a</sup>	93,5±0,2 <sup>b</sup>	95,5±0,4 <sup>c</sup>	89,5±0,5 <sup>d</sup>
МПП Дарунок	92,0±0,2 <sup>a</sup>	93,5±0,3 <sup>b</sup>	95,5±0,4 <sup>c</sup>	90,0±0,4 <sup>d</sup>
Атрибут	87,5±0,3 <sup>a</sup>	93,0±0,2 <sup>b</sup>	95,0±0,3 <sup>c</sup>	87,0±0,5 <sup>a</sup>
Джубіло	87,0±0,2 <sup>a</sup>	93,0±0,3 <sup>b</sup>	96,0±0,4 <sup>c</sup>	87,5±0,4 <sup>a</sup>

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

Встановлено, що загалом енергії проростання та схожість не залежали від генотипу суб'єкту дії ( $F = 5,81$ ;  $F_{0,05} = 6,59$ ;  $P = 0,06$ ), а тільки від концентрації ( $F = 22,11$ ;  $F_{0,05} = 5,19$ ;  $P < 0,01$ ), причому дія на лабораторну схожість відносно більш згладжена за концентраціями, ніж для енергії. Але при попарному порівнянні за сортами виділився сорт Атрибут ( $F = 6,01$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,02$ ), насіння котрого мало нижчу якість в контролі, але ефект дії даної речовини був менш вираженим та призвів до незначного зниження схожості при 0,04%, в той час як у інших тенденція за дії СА-64 0,04% виражена явно.

Загалом енергія проростання зростала до концентрації 0,02% за дії СА-64, після чого за дії 0,04% відчувався значимий негативний ефект (крім сорту Атрибут ( $F = 4,48$ ;  $F_{0,05} = 4,34$ ;  $P = 0,05$ ), в порівнянні з контролем для інших сортів показник знижувався на 1,5–2,5%, що було статистично достовірним). Концентрація показала суттєву токсичність у дії на зерно.

Лабораторна схожість зростала до концентрації 0,02% за дії СА-64, потім знижувалася, крім сортів Атрибут та Джубіло ( $F = 4,51$ ;  $F_{0,05} = 4,34$ ;  $P = 0,05$ ), у котрих при попарному порівнянні більш складна картина – різниця між контролем та СА-64 0,01% достовірна, 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% не відчувався значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем у інших сортів показник знижувався на 2,0–3,0%, що було статистично достовірним). Таким чином, ця концентрація має негативний ефект, але його прояв залежав від сорту (якості насінневого матеріалу).

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

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 ( $F = 6,17$ ;  $F_{0,05} = 6,59$ ;  $P = 0,06$ ), але на них впливала концентрація СА-79 ( $F = 24,10$ ;  $F_{0,05} = 5,19$ ;  $P < 0,01$ ), дія на обидва параметри приблизно рівнозначна.

При попарному порівнянні за сортами виділився знов сорт Атрибут ( $F = 6,22$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,03$ ) та дія призвела до зростання схожості до 4,5-10,5% у кращої концентрації СА-64 0,02%, особливо успішно для сортів Атрибут та Джубіло.

Таблиця 2

**Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для СА-79**

Сорт	Вода	0,01%	0,02%	0,04%
Енергія проростання				
Епітет	82,5±0,2 <sup>a</sup>	85,0±0,3 <sup>b</sup>	88,0±0,4 <sup>c</sup>	80,5±0,2 <sup>d</sup>
Епос	81,5±0,2 <sup>a</sup>	86,5±0,4 <sup>b</sup>	87,0±0,4 <sup>b</sup>	80,0±0,3 <sup>c</sup>
МПП Дарунок	82,0±0,2 <sup>a</sup>	86,5±0,4 <sup>b</sup>	88,0±0,4 <sup>c</sup>	77,0±0,3 <sup>d</sup>
Атрибут	77,5±0,2 <sup>a</sup>	85,5±0,4 <sup>b</sup>	87,5±0,4 <sup>c</sup>	76,5±0,2 <sup>a</sup>
Джубіло	78,5±0,2 <sup>a</sup>	85,5±0,4 <sup>b</sup>	87,5±0,4 <sup>c</sup>	77,0±0,2 <sup>d</sup>
Лабораторна схожість				
Епітет	92,0±0,2 <sup>a</sup>	95,0±0,3 <sup>b</sup>	97,5±0,4 <sup>c</sup>	87,5±0,4 <sup>d</sup>
Епос	92,5±0,2 <sup>a</sup>	95,0±0,3 <sup>b</sup>	97,0±0,3 <sup>c</sup>	87,5±0,5 <sup>d</sup>
МПП Дарунок	92,0±0,2 <sup>a</sup>	95,5±0,3 <sup>b</sup>	96,5±0,4 <sup>c</sup>	87,0±0,4 <sup>d</sup>
Атрибут	87,5±0,3 <sup>a</sup>	94,0±0,3 <sup>b</sup>	97,5±0,3 <sup>c</sup>	87,5±0,4 <sup>a</sup>
Джубіло	87,0±0,2 <sup>a</sup>	94,5±0,3 <sup>b</sup>	97,5±0,4 <sup>c</sup>	88,0±0,4 <sup>a</sup>

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

Енергія проростання зростала до концентрації 0,02% за дії СА-79, крім сорту Епос ( $F = 4,43$ ;  $F_{0,05} = 4,34$ ;  $P = 0,05$ ), після чого за дії 0,04% відчувався значимий негативний ефект (крім сорту Атрибут ( $F = 4,76$ ;  $F_{0,05} = 4,34$ ;  $P = 0,04$ , в порівнянні з контролем показник знижувався на 1,0–5,0%, що було статистично достовірним). Концентрація показала суттєву токсичність у дії на зерно.

Лабораторна схожість зростала до концентрації 0,02% за дії СА-64, після чого за дії 0,04% відчувався значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 4,0–5,0%, що було статистично достовірним) крім

сортів Атрибут та Джубіло ( $F = 5,11$ ;  $F_{0,05} = 4,34$ ;  $P = 0,04$ ), у котрих при попарному порівнянні більш складна картина – різниця між контролем та СА-64 0,01% достовірна, між контролем та СА-64 0,02% достовірна, між СА-64 0,01% та СА-64 0,02% достовірна, а от зниження при дії 0,04% на рівні контролю. 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. Різниця статистично достовірна ( $F = 4,12$ ;  $F_{0,05} = 3,49$ ;  $P = 0,04$ ).

Результати за дії СА-67 (слабо-виражена гідрофільна сполука) представлені у таблиці 3 показали, що енергії проростання та схожість не залежали від фактору сорту ( $F = 4,10$ ;  $F_{0,05} = 6,59$ ;  $P = 0,08$ ), а лише від концентрації чинника ( $F = 10,19$ ;  $F_{0,05} = 5,19$ ;  $P < 0,01$ ), причому дія на порядок менш чітко диференційована за концентраціями. При попарному порівнянні за сортами виділилися сорти Атрибут та Джубіло.

Таблиця 3

**Аналіз впливу на енергію проростання та схожість для СА-67**

Сорт	Вода	0,01%	0,02%	0,04%
Енергія проростання				
Епітет	82,5±0,2 <sup>a</sup>	83,5±0,3 <sup>b</sup>	81,0±0,4 <sup>c</sup>	76,5±0,4 <sup>d</sup>
Епос	81,5±0,2 <sup>a</sup>	83,0±0,3 <sup>b</sup>	80,0±0,5 <sup>c</sup>	76,5±0,5 <sup>d</sup>
МІП Дарунок	82,0±0,2 <sup>a</sup>	84,5±0,3 <sup>b</sup>	79,5±0,5 <sup>c</sup>	74,5±0,5 <sup>d</sup>
Атрибут	77,5±0,2 <sup>a</sup>	81,0±0,3 <sup>b</sup>	77,0±0,5 <sup>a</sup>	74,5±0,5 <sup>c</sup>
Джубіло	78,5±0,2 <sup>a</sup>	81,0±0,3 <sup>b</sup>	77,5±0,3 <sup>a</sup>	74,0±0,5 <sup>c</sup>
Лабораторна схожість				
Епітет	92,0±0,2 <sup>a</sup>	92,5±0,3 <sup>a</sup>	88,5±0,3 <sup>b</sup>	83,5±0,4 <sup>c</sup>
Епос	92,5±0,2 <sup>a</sup>	93,0±0,4 <sup>a</sup>	88,5±0,3 <sup>b</sup>	83,0±0,5 <sup>c</sup>
МІП Дарунок	92,0±0,2 <sup>a</sup>	92,5±0,4 <sup>a</sup>	88,0±0,3 <sup>b</sup>	83,0±0,4 <sup>c</sup>
Атрибут	87,5±0,3 <sup>a</sup>	90,5±0,3 <sup>b</sup>	85,0±0,3 <sup>c</sup>	82,5±0,5 <sup>d</sup>
Джубіло	87,0±0,2 <sup>a</sup>	90,0±0,2 <sup>b</sup>	85,0±0,3 <sup>c</sup>	82,0±0,5 <sup>d</sup>

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

Загалом енергія проростання зростала у концентрації 0,01% за дії СА-67, потім знижувалася до контролю за дії 0,02% у сортів Атрибут та Джубіло, нижче від рівню контролю у сортів Епітет, Епос, МІП Дарунок, після чого за дії 0,04% відчувався дуже значимий негативний ефект (в порівнянні з контролем показник знижувався на 3,0–7,5%, що було статистично достовірним). Тобто ця речовина має суттєвий більш токсичний ефект. Позитивний вплив 0,01% доволі слабкий (1,0–3,5%).

Лабораторна схожість не зростала за дії СА-67 (крім сортів Атрибут та Джубіло), різниця була недостовірна за дії 0,01%, за дії 0,02% виключно достовірна гірша за рівня першої та контролю, після чого за дії 0,04% відчувався сильний негативний ефект в усіх випадках (в порівнянні з контролем показник знижувався на 5,0–9,5%, 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 ( $F = 7,19$ ;  $F_{0,05} = 3,49$ ;  $P = 0,009$ ).

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

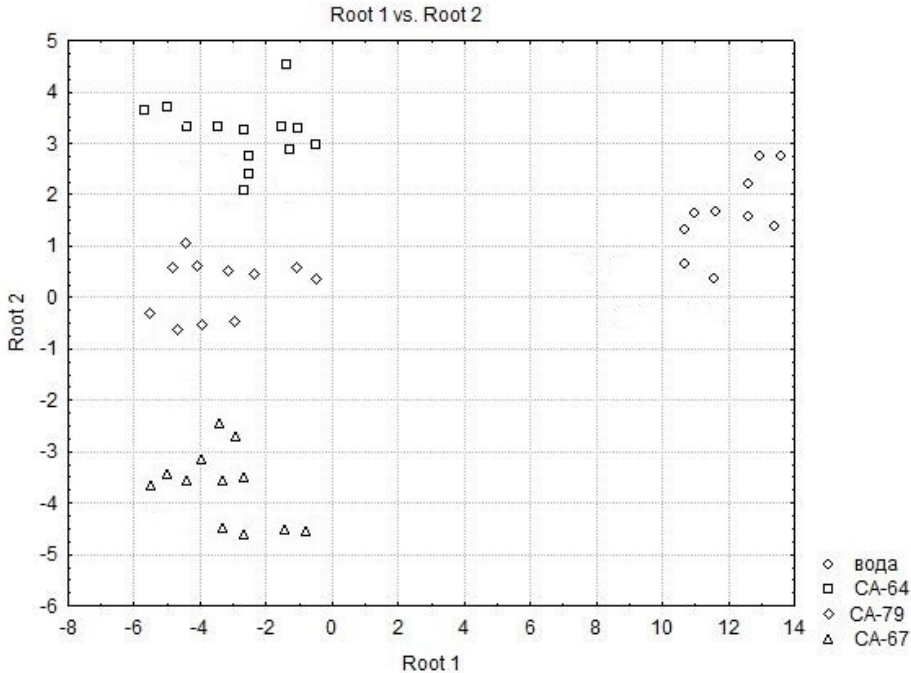


Рис. 1. Результати дискримінантного аналізу за типом речовини

За результатами дослідження, за стимулюючою дією на насіння виділилися речовини СА-64 та СА-79 у концентрації 0,02%, котрі здатні статистично достовірно покращити показники схожості пшениці озимої, але однозначно більш позитивна дія була у СА-79 у концентрації 0,02%

**Висновки і пропозиції.** Дослідження представлених речовин показало, що доцільним є використання для покращення схожості та регулярності проростання СА-64 та СА-79 у концентрації 0,02%, причому СА-79 більш більш ефективно, але його дію більш залежить від різниці по сортах та якістю насіннєвого матеріалу, тому необхідний попередній моніторинг сортового матеріалу. Застосування СА-67 не призводить до суттєвого позитивного ефекту. Використання СА-79 речовин особливо ефективно на насіннєвому матеріалі з більш низькими показниками енергії проростання та схожості. Фактично дія призводить до того, що дані параметри підтягуються до рівня кращих зразків.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Bordes J., Ravel C., Le Gouis J., Lapierre 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.
-