

УДК 577.152.1:633.16"321":631.86/87

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.11>

АКТИВНІСТЬ ОКРЕМИХ ФЕРМЕНТІВ КЛАСУ ОКСИДОРЕДУКТАЗ В РОСЛИНАХ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ГОЛОЗЕРНОГО НА ФОНІ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

Березовський А.А. – аспірант кафедри біології,
Уманський національний університет
orcid.org/0009-0003-5691-4311

Рослини упродовж онтогенезу виробляють захисні механізми до впливу несприятливих чинників зовнішнього середовища, у тому числі пестицидів, синтетичних добрив, які здатні викликати стрес. Серед реакцій рослини на стрес є активація ферментативної активності окисно-відновного характеру дії (каталази, пероксидази, поліфенолоксидази), за якої підвищується антиоксидантний статус рослин.

Біологічні препарати виявляють комплексний вплив на фізіолого-біохімічні процеси в рослинах, що супроводжуються змінами в роботі антиоксидантної ферментативної системи.

Дослідження виконували у суворо контрольованих лабораторних умовах кафедри біології Уманського національного університету у 2025 році. Дію біологічних препаратів Біозлак та Бактивна вивчали на рослинах ячменю ярого голозерного сорту Натаір, що вирощувалися в пластикових посудинах з чорноземом опідзоленим важкосуглинковим з дотриманням вимог вегетаційного методу. Схема досліджу включала варіанти з обробкою насіння перед сівбою біологічним препаратом Біозлак у нормах, розрахованих як еквівалент виробничим 1,0; 1,25; 1,5 л/т та застосуванням на їх фоні біопрепарату Бактивна з розрахунку та переведенням на гектарну норму 250 г. Насіння ячменю голозерного за добу до сівби обробляли біопрепаратом Біозлак. На фоні обробки насіння ячменю голозерного Біозлаком рослини у фазі трьох листків обприскували біологічним препаратом Бактивна в нормі 250 г/га. Повторність досліджу – чотирирозразова.

Встановлено, що за комплексного застосування різних норм біологічного препарату Біозлак з Бактивною активність окисно-відновних ферментів у рослинах ячменю ярого голозерного зростає та досягає найвищого рівня за сумісного використання для обробки насіння перед сівбою Біозлаком у нормі 1,5 л/т з наступним обприскуванням по даному фоні рослин Бактивною у нормі 250 г/га, що відповідає активності каталази на п'яту й десяту добу визначення 7,4–8,3 мкМоль розкладеного H_2O_2 , пероксидази – 19,5–20,7 мкМоль окисненого гваяколу, поліфенолоксидази – 7,7–9,8 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової маси за 1 хв. відповідно до контролю та може свідчити про інтенсифікацію проходження в рослинах обмінних процесів, активними та безпосередніми учасниками яких у рослинному організмі є оксидативні ферменти.

Ключові слова: ячміль ярий голозерний, біологічні препарати, каталаза, пероксидаза, поліфенолоксидаза.

Berezovskyi A. A., The activity of selected enzymes of the oxidoreductase class in spring naked-grain barley plants following the application of biological agents

Throughout their ontogenesis, plants develop defence mechanisms against the effects of adverse environmental factors including pesticides and synthetic fertilisers which are capable of inducing stress. Among the plant's responses to stress is the activation of enzymatic activity of a redox nature (catalase, peroxidase, polyphenol oxidase) which increases the plants' antioxidant status.

Biological preparations exert a complex effect on physiological and biochemical processes in plants, accompanied by changes in the functioning of the antioxidant enzyme system.

The research was conducted under strictly controlled laboratory conditions at the Department of Biology of Uman National University in 2025. The effect of the biological preparations Biozлак



© Березовський А.А., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

and *Baktiva* was studied on plants of the spring naked-grain barley variety *Natair*, grown in plastic pots containing podzolized heavy loam black soil in accordance with the requirements of the vegetative method. The experimental design included treatments involving pre-sowing seed treatment with the biological preparation *Biozlak* at rates calculated as the equivalent of 1.0, 1.25 and 1.5 l/t, and the application of the biological preparation *Baktiva* at a rate of 250 g per hectare. Naked barley seeds were treated with the biological preparation *Biozlak* one day before sowing. Against the background of treating the naked barley seeds with *Biozlak* the plants in the three-leaf stage were sprayed with the biological preparation *Baktiva* at a rate of 250 g/ha. The experiment was repeated four times.

It has been established that, when various application rates of the biological preparation *Biozlak* are used in combination with *Baktiva*, the activity of redox enzymes in spring naked barley plants increases and reaches its highest level when *Biozlak* is used at a rate of 1.5 l/ha, followed by spraying the treated plants with *Baktiva* at a rate of 250 g/ha, corresponding to catalase activity on the fifth and tenth days of measurement of 7.4–8.3 μmol of decomposed H_2O_2 , peroxidase – 19.5–20.7 μmol of oxidised guaiacol, and polyphenol oxidase – 7.7–9.8 μmol of oxidised ascorbic acid in line with the control, which may indicate an intensification of metabolic processes in plants, in which oxidative enzymes are the active and direct participants within the plant organism.

Key words: spring naked barley, biological agents, catalase, peroxidase, polyphenol oxidase.

Постановка проблеми. Рослини упродовж онтогенезу виробляють захисні механізми до впливу несприятливих чинників зовнішнього середовища, у тому числі пестицидів, синтетичних добрив, які здатні викликати стрес. Пристосування рослин до негативної дії чинників відбуваються через адаптаційні механізми, що сформувалися в процесі еволюційного розвитку. Чим більше механізмів адаптації використовується рослиною одночасно на самих різних рівнях онтогенезу, тим організм набуває потужнішої стійкості [1, с. 36–38; 2, с. 16]. Серед реакцій рослини на стрес є активація ферментативної активності окисно-відновного характеру дії (каталази, пероксидази, поліфенолоксидази), за якої підвищується антиоксидантний статус рослин [3, с. 34–34; 4, с. 28–34]. Тому, нині широкого значення набуває питання вивчення механізмів підвищення ферментативної активності рослин, задля чого пропонується використання біологічних препаратів з рістстимулювальними властивостями [5, с. 3]. Зважаючи на це, ферментативні процеси в рослинах за розрізної і комплексної дії біологічних препаратів знаходяться на етапі вивчення, а у рослинах ячменю ярого голозерного практично не досліджувалися, що є нині досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біологічні препарати виявляють комплексний вплив на фізіолого-біохімічні процеси в рослинах, що супроводжуються змінами в роботі антиоксидантної ферментативної системи [6, с. 163–165; 7, с. 25].

Встановлено [8, с. 35–37], що за обробки насіння чини посівної перед сівбою сумішню біологічних препаратів Біонеостим та Вермистим Д з наступною обробкою вегетуючих рослин Вермистимом Д активність каталази в листках зростає на 28–36%, пероксидази – 34–40%, поліфенолоксидази – 47–77%. Також ряд науковців [9, с. 354–356; 10, с. 21–23; 11, с. 23] констатують, що біологічні препарати впливають на перебіг ферментативних, ростових і продукційних процесів у культурних рослинах у різні фази їх розвитку, але в більшості випадків стимулюють проходження фотосинтетичних процесів.

Дослідженнями К. Ю. Марченко [12, с. 46–48] встановлено, що за дії мікробного препарату Меланоріз і регулятора росту рослин Агролайт у рослинах вівса голозерного активність ферменту каталази підвищувалася на 31–48%, пероксидази – 32–46%, поліфенолоксидази – 28–41%.

Науковці [13, с. 9–11; 14, с. 88–91; 15, с. 98–100] стверджують, що більшість біологічних препаратів стимулюють ферментативну активність сільськогосподарських культур, що супроводжується збільшенням площі їх листового апарату, вмісту хлорофілу та показників чистої продуктивності фотосинтезу.

Зважаючи на важливість питання розрізненого та комплексного використання біологічних препаратів у посівах сільськогосподарських культур, доцільним було встановити як вони впливають на функціонування окремих ферментів класу оксидоредуктаз (каталази, пероксидази і поліфенолоксидази) у рослинах ячменю ярого голозерного.

Постановка завдання. Дослідження виконували у суворо контрольованих лабораторних умовах кафедри біології Уманського національного університету у 2025 році. Дію біологічних препаратів Біозлак (*Pseudomonas aureofaciens* BS1393, титр $2,0 \times 10^9$ КУО/мл, виробник – ТОВ «БІОНАСЕРВІС ПЛЮС», Україна) та Бактива (*Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus Polymyxa*, *Bacillus lincheniformis*, *Pseudomonas fluorescens* – 1×10^8 КУО/г препарату, корисні гриби *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma reesei*, *Trichoderma viride*, *Gliocladium virens* – 1×10^8 спор/г препарату; *Ascophyllum nodosum* – 5,1%, ТОВ «Хімагромаркетинг», Україна, виробник – ТОВ «Бактива», Німеччина) вивчали на рослинах ячменю ярого голозерного сорту Натаір, що вирощувалися в пластикових посудинах з чорноземом опідзоленим важкосуглинковим з дотриманням вимог вегетаційного методу [16, с. 17–24]. Схема досліду включала варіанти з обробкою насіння перед сівбою біологічним препаратом Біозлак у нормах, розрахованих як еквівалент виробничим 1,0; 1,25; 1,5 л/т та застосуванням на їх фоні біопрепарату Бактива з розрахунку та переведенням на гектарну норму 250 г. Насіння ячменю голозерного за добу до сівби обробляли біопрепаратом Біозлак. На фоні обробки насіння ячменю голозерного Біозлаком рослини у фазі трьох листків обприскували біологічним препаратом Бактива в нормі 250 г/га. Деталізацію схеми досліду приведено у таблицях. Повторність досліду – чотирихразова.

Активність ферментів класу оксидоредуктаз – каталази (КФ 1.11.1.6), пероксидази (КФ 1.11.1.7) і поліфенолоксидази (КФ 1.14.18.1) у листках ячменю ярого голозерного визначали в зразках листків, відібраних на п'яту та десятю добу після обприскування рослин біологічним препаратом Бактива за методиками, описаними Х. М. Починком [17, с. 34–42]. Статистичну обробку даних виконували в програмі Microsoft Office Excel за методом дисперсійного аналізу [16, с. 75–81].

Виклад основного матеріалу дослідження. Результати досліджень засвідчили зміну ферментативної активності рослин залежно від норм та способів застосування біологічних препаратів Біозлак і Бактива. Так, на п'яту добу досліджень, за використання для передпосівної обробки насіння ячменю ярого голозерного Біозлаку у нормах 1,0; 1,25; 1,5 л/т активність каталази у порівнянні з контролем зростала зі збільшенням норми препарату на 3,3; 4,0; 4,6 мкМоль розкладеного H_2O_2 /г сирової речовини за 1 хв. відповідно (табл. 1).

За посходового використання біологічного препарату Бактива (250 г/га) активність каталази зростала відносно контрольованого варіанту на 2,1 мкМоль розкладеного H_2O_2 . Найвищу активність каталази у листках ячменю ярого голозерного було відмічено за використання для передпосівної обробки насіння Біозлаку (1,0; 1,25; 1,5 л/т) з наступним обприскуванням рослин Бактивою (250 г/га), де у порівнянні до варіантів лише з передпосівною обробкою насіння Біозлаком було відмічено зростання активності каталази на 2,2–2,8 мкМоль окисненого H_2O_2 /г сирової речовини за 1 хв. Ці ж варіанти досліду у порівнянні до контролю забезпечили

зростання активності каталази відповідно на 5,1–7,4 мкМоль окисненого H_2O_2 /г сирі речовини за 1 хв.

Подібна активність ферменту каталази спостерігалась і на десяту добу досліджень (табл. 2), найвищою вона була у варіантах, де біологічний препарат Біозлак застосовували у нормах 1,0; 1,25; 1,5 л/т з наступним обприскуванням по даному фону рослин Бактивою у норм 250 г/га, що перевищувало контрольний варіант на 5,8; 6,9; 8,3 мкМоль окисненого H_2O_2 /г сирі речовини за 1 хв. відповідно до норм біологічного препарату Бактива за НІР₀₁ 1,1.

Таблиця 1

Активність ферментів у листках ячменю ярого голозерного за дії біологічних препаратів Біозлак і Бактива (п'ята доба)

| Варіант досліду | Каталаза, мкМоль розкладеного H_2O_2 /г сирі речовини за 1 хв. | Пероксидаза, мкМоль окисненого гваяколу/г сирі маси за 1 хв. | Поліфенол-оксидаза, мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирі маси за 1 хв. |
|--|--|--|--|
| Без застосування препаратів (контроль) | 11,3 | 51,4 | 17,5 |
| Біозлак 1,0 л/т | 14,6 | 56,5 | 19,8 |
| Біозлак 1,25 л/т | 15,3 | 59,6 | 21,0 |
| Біозлак 1,5 л/т | 15,9 | 61,7 | 22,1 |
| Бактива 250 г/га | 13,4 | 54,5 | 19,3 |
| Біозлак 1,0 л/т + Бактива 250 г/га | 16,4 | 62,7 | 22,8 |
| Біозлак 1,25 л/т + Бактива 250 г/га | 17,3 | 64,3 | 24,3 |
| Біозлак 1,5 л/т + Бактива 250 г/га | 18,7 | 70,9 | 25,2 |
| НІР ₀₁ | 1,3 | 2,7 | 1,0 |

Щодо активності інших ферментів – пероксидази й поліфенолоксидази, то в умовах вегетаційного дослідження вона також перевищувала контрольні показники (табл. 1, 2). Зокрема, на п'яту добу досліджень за використання Біозлаку в нормах 1,0; 1,25; 1,5 л/т для обробки насіння перед сівбою активність пероксидази зростала відповідно від 5,1 до 10,3 мкМоль окисненого гваяколу, поліфенолоксидази – від 2,3 до 4,6 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти при показниках у контролі – 51,4 і 17,5 відповідно. За використання для передпосівної обробки насіння ячменю ярого голозерного Біозлаку у досліджуваних нормах із посходовим застосуванням Бактиви активність пероксидази була у межах від 62,7 до 70,9 мкМоль окисненого гваяколу, поліфенолоксидази – від 22,8 до 25,2 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти, що перевищувало контроль на 22–38% і 30–44% відповідно.

Застосування біологічного препарату Бактива у нормі 250 г/га забезпечувало підвищення активності пероксидази, на п'яту добу досліджень, у порівнянні із контролем на 3,1 мкМоль окисненого гваяколу, поліфенолоксидази – на 1,8 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти відповідно.

Подібна залежність в активності пероксидази і поліфенолоксидази була відмічена і на десяту добу досліджень (табл. 2), проте найвищою вона була у варіантах із передпосівною обробкою насіння біологічним препаратом Біозлак (1,0; 1,25; 1,5 л/т) з наступною обробкою рослин Бактивою у нормі 250 г/га, де перевищення

контролю за активністю пероксидази складало 13,1; 18,4 і 20,7 мкМоль окисненого гваяколу за HP_{01} 3,0; поліфенолоксидази – 7,3; 8,4 і 9,8 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової маси за 1 хв. відповідно за HP_{01} 1,3. Достовірність одержаних даних узгоджується з даними статистичної обробки та рівнем зростання в рослинах обмінних процесів, у результаті яких нагромаджуються фенольні сполуки, пероксид водню, що є субстратами для оксидативних ферментів. Подібного твердження припускаються й інші автори [8, с. 35–37; 12, с. 46–48; 18, с. 63–64].

Таблиця 2

Активність ферментів у листках ячменю ярого голозерного за дії біологічних препаратів Біозлак і Бактива (десята доба)

| Варіант дослідження | Каталаза, мкМоль розкладеного H_2O_2 /г сирової речовини за 1 хв. | Пероксидаза, мкМоль окисненого гваяколу/г сирової маси за 1 хв. | Поліфенолоксидаза, мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової маси за 1 хв. |
|--|---|---|--|
| Без застосування препаратів (контроль) | 15,1 | 65,7 | 20,9 |
| Біозлак 1,0 л/т | 19,0 | 70,3 | 24,9 |
| Біозлак 1,25 л/т | 19,8 | 73,6 | 26,1 |
| Біозлак 1,5 л/т | 20,5 | 77,5 | 27,4 |
| Бактива 250 г/га | 17,7 | 67,7 | 23,6 |
| Біозлак 1,0 л/т + Бактива 250 г/га | 20,9 | 78,8 | 28,2 |
| Біозлак 1,25 л/т + Бактива 250 г/га | 22,0 | 84,1 | 29,3 |
| Біозлак 1,5 л/т + Бактива 250 г/га | 23,4 | 86,4 | 30,7 |
| HP_{01} | 1,1 | 3,0 | 1,3 |

Висновки. За комплексного застосування різних норм біологічних препаратів Біозлак з Бактивою активність окисно-відновних ферментів у рослинах ячменю ярого голозерного зростає і досягає найвищого рівня за сумісного використання для обробки насіння перед сівбою Біозлаку в нормі 1,5 л/т з наступним обприскуванням по даному фону рослин Бактивою у нормі 250 г/га, що відповідає активності каталази на п'яту й десятю добу визначення 7,4–8,3 мкМоль розкладеного H_2O_2 , пероксидази – 19,5–20,7 мкМоль окисненого гваяколу, поліфенолоксидази – 7,7–9,8 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової маси за 1 хв. відповідно до контролю та може свідчити про інтенсифікацію проходження в рослинах обмінних процесів, активними та безпосередніми учасниками яких у рослинному організмі є оксидативні ферменти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Krasnoshtan V., Karpenko V., Prytuliak R., Leontiuk I., Datsenko A. Lipoperoxidation Processes in Grain Sorghum under the Effect of a Herbicide, Plant Growth Regulator, and a Biopreparation. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24, № 9. P. 36–43. DOI: 10.48077/scihor.24(9).
2. Пономаренко С. П. Створення та впровадження нових регуляторів росту рослин в агропромисловому комплексі України. Ефективність хімічних засобів у підвищенні продуктивності сільськогосподарських культур: зб. наук. праць. Уманської державної аграрної академії. Умань, 2001. С. 15–23.

3. Noctor, G., Lelarge-Trouverie C., Mhamdi A. The metabolomics of oxidative stress. *Phytochem.* 2015. Vol. 112. P. 33–53.
4. Карпенко В. П., Притуляк Р. М., Чернега А. О. Розробка елементів біологізованих технологій вирощування сільськогосподарських культур з використанням регуляторів росту рослин і гербіцидів; за ред. В. П. Карпенка. Умань : Видавець „Сочінський”, 2016. 357 с.
5. Карпенко В. П., Марченко К. Ю. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах вівса голозерного за дії мікробного препарату і регулятора росту рослин. Зб. наук. праць Уманського НУС. Умань. 2020. Випуск 96. Ч.1. С. 9–23. DOI: 10.31395/2415-8240-2020-96-1-9-23.
6. Foyer C., Noctor G. Redox regulation in photosynthetic organisms: Signaling, acclimation and practical implications. *Antioxidants and Redox Signaling.* 2009. № 11. P. 862–905.
7. Грицаєнко З. М., Притуляк Р. М. Вплив Пріми, Пуми супер і Біолану на активність антиоксидантних ферментних систем в рослинах тритикале озимого. Тези наукової конференції. Умань. 2009. Ч. 1. С. 25.
8. Біологізована технологія вирощування чини посівної : монографія / В. П. Карпенко, Р. М. Притуляк, О. В. Тодосійчук, А. П. Березовський, А. О. Чернега. Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2025. 104 с.
9. Sateesh Kagale., Divi Uday K., Krochko Joan E. [et al.]. Brassinosteroid confers tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica napus* to a range of abiotic stresses. *Planta.* 2007. 225. № 2. P. 353–364.
10. Карпенко В. П., Притуляк Р. М., Березовський А. П. Активність ферментів чини посівної за обробки Біонеостимом та Вермистимом Д. Збірник наукових праць Уманського НУ. 2025. Випуск 107. Частина 1. С. 20–26. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-107-1-20-26
11. Даценко А. А. Активність окремих ферментів антиоксидантної системи гречки за дії біологічних препаратів. Матеріали Міжнар. наук.–практ. конференції [Актуальні питання сучасної аграрної науки], (Умань, 19–20 листопада 2014 р.). Умань, 2014. С. 22–24.
12. Марченко К. Ю. Активність окремих ферментів класу оксидоредуктаз у рослинах вівса голозерного за використання біологічних препаратів. The 5th International scientific and practical conference “European scientific discussions” (March 28–30, 2021) Potere della ragione Editore, Rome. Italy. 2021. P. 45–48.
13. Тодосійчук О. В. Вміст хлорофілу й чиста продуктивність фотосинтезу чини посівної за дії біологічних препаратів. Вісник Уманського НУС. 2024. № 2. С. 7–12. DOI: 10.32782/2310-0478-2024-2-7-12
14. Rebetzke G. J., Ellis M. H., Bonnett D. G. [et al.]. Height reduction and agronomic performance for selected gibberellin-responsive dwarfing genes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research.* 2012. Vol. 126. № 14. P. 87–96.
15. Карпенко В. П., Даценко А. А., Притуляк Р. М. та ін. Біологізована технологія вирощування гречки: монографія; за ред. В. П. Карпенка. Умань: Видавець «Сочінський М. М.». 2020. 132 с.
16. Методика наукових досліджень в агрономії. / Ю. Г. Міщенко, В. І. Прасол, Г. А. Давиденко, І. М. Масик, Е. Р. Ермантраут, В. П. Гудзь, Суми: СНАУ. 2024. 103 с.
17. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: Нічлава. 2003. 320 с.
18. Карпенко В. П., Павлишин С. В. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах пшениці полби звичайної за дії гербіциду Пріма Форте 195 і регулятора росту рослин Вуксал БІО Vita. Вісник аграрної науки Причорномор’я. 2018. № 3 (99). С.61–65. DOI: 10.31521/2313-092X/2018-3(99)-10.

Дата першого надходження статті до видання: 01.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026