

**Conclusions.** *The effectiveness of fertilizer application for winter barley varies depending on the weather conditions of the research year and the lodging resistance of the plants. The highest plant resistance and grain yield were achieved with the application of N<sub>75</sub>, yielding 7.20–8.32 t/ha depending on the year. Winter barley shows a strong response to the application of complete mineral fertilizer, which leads to the formation of a large vegetative mass and increases the risk of lodging. Therefore, under such a fertilization scenario, the use of growth regulators is necessary. It was found that the application of growth regulators resulted in an additional grain yield of 0.79–2.41 t/ha, depending on the lodging resistance of the plants. However, the use of growth regulators on non-lodging plants led to a slight decrease in grain yield. The protein content under this cultivation scenario remained unchanged.*

**Key words:** winter barley, yield, protein content, protein harvest, fertilization system.

УДК: 612.015.1:[633.11+633.14]:632.93

DOI: 10.32782/2415-8240-2025-106-1-602-608

## ФЕРМЕНТНА АКТИВНІСТЬ ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОГО ЗА ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

**В. В. КАРПЕНКО<sup>1</sup>**, доктор філософії

**А. В. ЗАБОЛОТНА<sup>2</sup>**, кандидат сільськогосподарських наук

<sup>1</sup>Уманський національний університет

<sup>2</sup>Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

*Наведено результати досліджень з впливу біологічних препаратів мікробного походження на ферментну активність тритикале озимого. Встановлено, що досліджувані препарати позитивно впливали на ферментну активність культури та її антиоксидантний стан. Високі показники ферментної активності було відмічено у фазі цвітіння за обприскування посівів Біозлаком 3,0 л/га на фоні передпосівної бактеризації насіння Меланорізом (1,0 л/т), де активність каталази перевищувала показники контрольного варіанту на 12,5 мкМоль розкладеного H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/г сирової речовини за 1 хв., пероксидази – 17,3 мкМоль окисненого гваяколу/г сирової маси за 1 хв. та поліфенолоксидази – 15,3 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової маси за 1 хв.*

**Ключові слова:** ферментна активність, каталаза, пероксидаза, поліфенолоксидаза, біологічні препарати, тритикале озиме.

**Вступ.** Ключовим механізмом дії біологічних препаратів на рослину є їх вплив на ферментну активність, якою визначається спрямованість метаболічних процесів, стійкість до стресів та здатність засвоювати поживні речовини. Однією з реакцій рослин на стрес є утворення активних форм кисню, які рослинний організм інактивує за участі ферментів [1]. Біологічні препарати здатні стимулювати ферментну активність, зокрема супероксиддисмутази, каталази,

пероксидази, поліфенолоксидази. Зростання активності даних ферментів сприяє зниженню оксидативного стресу у рослинах, що виникає як за дії природних несприятливих чинників (засуха, забруднення), так і за використання агрохімікатів [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Всі рослини зазнають впливу окислювального стресу, викликаного вільними радикалами. Проте для свого захисту вони розвинули складні антиоксидантні системи, що здатні підвищувати у тканинах вміст антиоксидантів – вітаміну Е, аскорбату, глутатіону та ферментів класу оксидоредуктаз [3, 4]. Такі ферменти як каталаза, аскорбатпероксидаза та гваяколпероксидаза беруть участь у метаболізмі активних форм кисню за стресових умов [5].

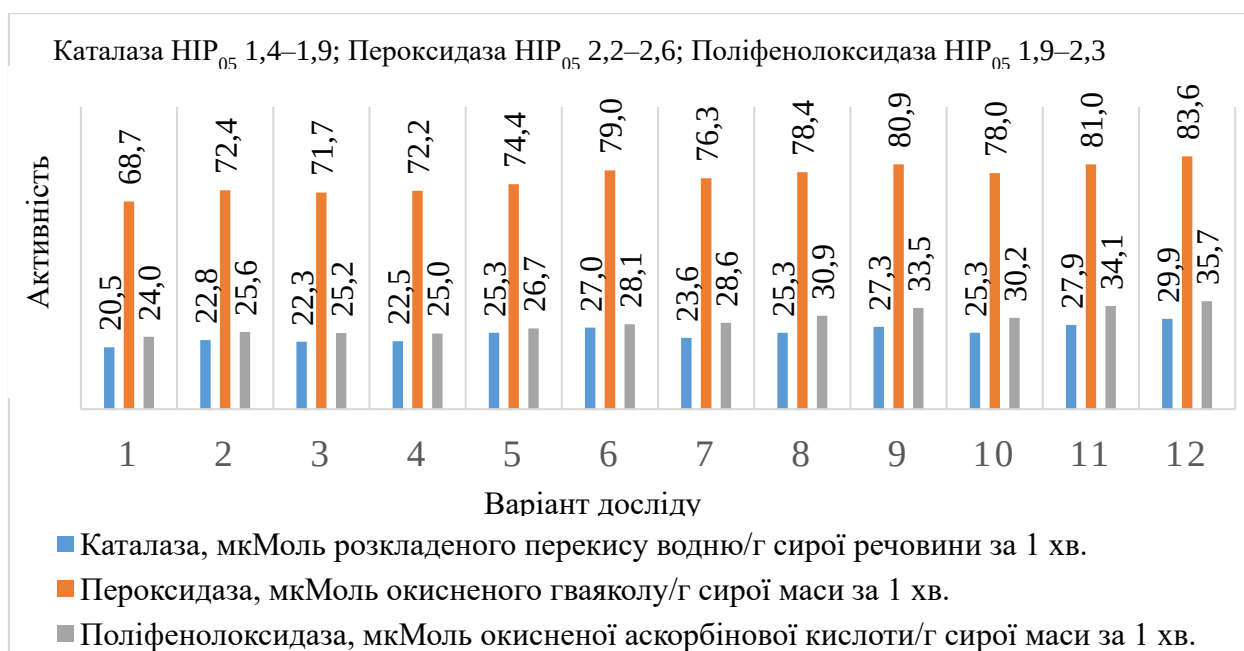
Здатність біологічних препаратів стимулювати ферментну активність рослин доведено низкою експериментальних досліджень як вітчизняних, так і закордонних вчених на різних сільськогосподарських культурах, що свідчить про індукцію ферментного захисту, особливо на фоні дії ксенобіотиків [6–10]. Такі дані вказують на значний потенціал біопрепаратів як екологічно безпечних регуляторів окисно-відновного балансу в агроecosистемах. Водночас зміна активності окисно-відновних ферментів за впливу біологічних препаратів мікробного походження є маловивченою.

**Методика досліджень.** Вивчення ферментної активності тритикале озимого виконували в лабораторних умовах кафедри біології Уманського національного університету у 2021–2023 роках на сорті Єлань (Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН та Волинська державна сільськогосподарська дослідна станція). Насіння культури для польового досліду за добу до висіву інокулювали суспензіями мікробних препаратів Меланоріз 1,0 л/т та Біозлак 1,5 л/т. По даному фону у фазі повного кущіння посіви культури обприскували біофунгіцидом Бактофіт (2,0; 2,5 і 3,0 л/га).

Активність ферментів класу оксидоредуктаз (каталази (КФ 1.11.1.6), пероксидази (КФ 1.11.1.7), поліфенолоксидази (КФ 1.10.3.1)) визначали в зразках листків тритикале озимого, відібраних у польових умовах, у відповідні фази розвитку рослин, за методиками, описаними Х. М. Починком [11]. Статистичну обробку отриманих результатів виконували в програмі Microsoft Office Excel.

**Результати досліджень.** У процесі експерименту виявлено зміни в активності ферментів класу оксидоредуктаз рослин тритикале озимого залежно від виду й способу використання препаратів. Так, у середньому за роки досліджень у фазі виходу в трубку за бактеризації насіння Меланорізом активність каталази порівняно з контролем зростала на 11 %, пероксидази – 5 %, поліфенолоксидази – 7 %, тоді як за передпосівної обробки насіння Біозлаком активність досліджуваних ферментів перевищувала показники контрольного варіанту відповідно на 9, 4 і 5 % відповідно (рис. 1).

Посходове обприскування посівів культури Бактофітом у нормах 2,0; 2,5 і 3,0 л/га сприяло зростанню активності каталази порівняно з контролем на 10, 23 і 32 %, пероксидази – 5, 8 і 15 %, поліфенолоксидази – 4, 11 і 17 % відповідно до норм біофунгіциду.



**Рис. 1. Активність ферментів класу оксидоредуктаз у листках тритикале озимого (фаза виходу в трубку, 2021–2023 рр.)**

1. Без застосування біологічних препаратів (контроль); 2. Меланоріз 1,0 л/т;
3. Біозлак 1,5 л/т; 4. Бактофіт 2,0 л/га; 5. Бактофіт 2,5 л/га;
6. Бактофіт 3,0 л/га; 7. Біозлак 1,5 л/т + Бактофіт 2,0 л/га; 8. Біозлак 1,5 л/т + Бактофіт 2,5 л/га; 9. Біозлак 1,5 л/т + Бактофіт 3,0 л/га;
10. Меланоріз 1,0 л/т + Бактофіт 2,0 л/га. 11. Меланоріз 1,0 л/т + Бактофіт 2,5 л/га; 12. Меланоріз 1,0 л/т + Бактофіт 3,0 л/га

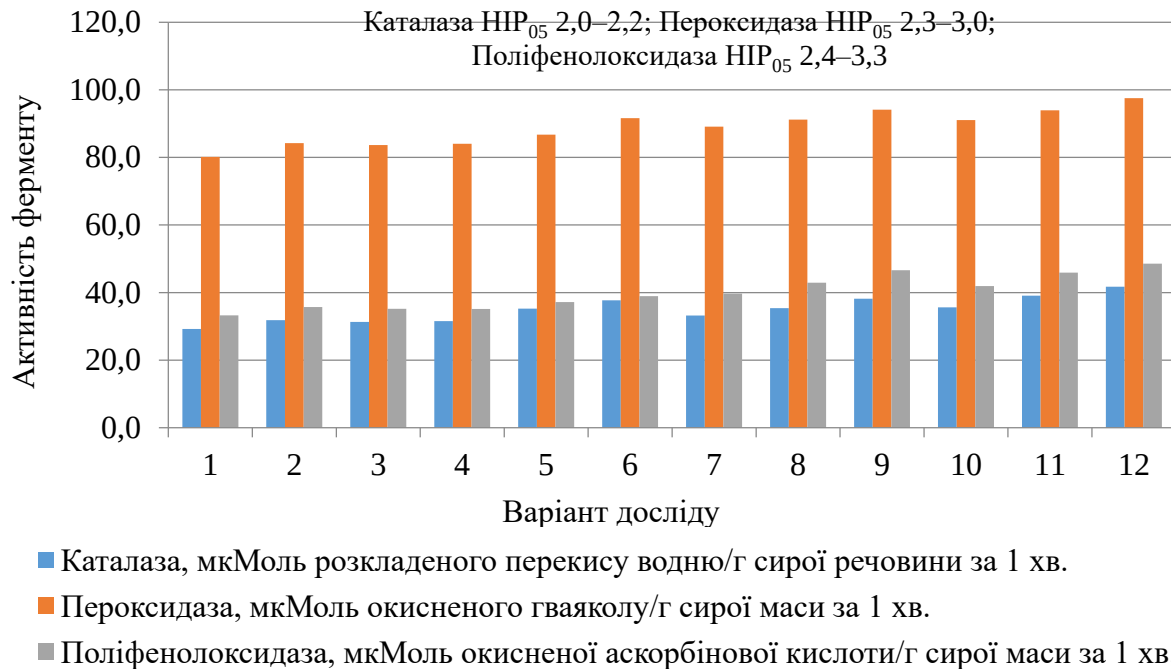
Застосування вказаних норм Бактофіту на фоні передпосівної бактеризації насіння Біозлаком сприяло підвищенню активності каталази проти контрольного варіанту на 15–33 %, пероксидази – 11–18 % та поліфенолоксидази – 19–40 % залежно від норми застосування біофунгіциду. Також у цих варіантах дослідю активність ферментів на 6–10 % перевищувала дані, отримані у варіантах із застосуванням Біозлаку на фоні необробленого насіння.

Серед усіх варіантів дослідю найвищу ферментативну активність забезпечувало застосування Бактофіту (2,0; 2,5 і 3,0 л/га) на фоні передпосівної бактеризації насіння Меланорізом. У цих варіантах дослідю активність каталази зростала проти контрольного варіанту на 23, 36 та 46 %, пероксидази – 14, 18 і 22 %, поліфенолоксидази – 26, 42 і 49 %.

Результати виконаних досліджень свідчать, що за використання біологічних препаратів як окремо, так і у комплексі, спостерігається підвищення активності провідних ензимів антиоксидантного статусу рослинного організму – каталази, пероксидази і поліфенолоксидази, що може вказувати на інтенсифікацію в рослинах процесів фотосинтезу та дихання, за яких зростає продукування перекису водню та фенольних сполук, що є субстратами для досліджуваних ферментів.

У фазі цвітіння тритикале озимого виявлено максимум активності ферментів у порівнянні до фази виходу в трубку. Зокрема, за обробки насіння тритикале озимого перед сівбою мікробними препаратами Меланоріз і Біозлак

перевищення активності каталази, порівняно з контрольним варіантом, складало 2,6 і 2,1 мкМоль розкладеного  $\text{H}_2\text{O}_2$ /г сирової речовини за 1 хв., пероксидази – 4,0 і 3,4 мкМоль окисненого гваяколу/г сирової маси за 1 хв. та поліфенолоксидази – 2,4 і 1,9 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової маси за 1 хв. відповідно (рис. 2).



**Рис. 2. Активність ферментів класу оксидоредуктаз у листках тритикале озимого (фаза цвітіння, 2021–2023 рр.)**

1. Без застосування біологічних препаратів (контроль);
2. Меланоріз 1,0 л/т;
3. Біозлак 1,5 л/т;
4. Бактофіт 2,0 л/га;
5. Бактофіт 2,5 л/га;
6. Бактофіт 3,0 л/га;
7. Біозлак 1,5 л/т + Бактофіт 2,0 л/га;
8. Біозлак 1,5 л/т + Бактофіт 2,5 л/га;
9. Біозлак 1,5 л/т + Бактофіт 3,0 л/га;
10. Меланоріз 1,0 л/т + Бактофіт 2,0 л/га.
11. Меланоріз 1,0 л/т + Бактофіт 2,5 л/га;
12. Меланоріз 1,0 л/т + Бактофіт 3,0 л/га

За використання Бактофіту в нормах 2,0; 2,5 і 3,0 л/га простежувалось зростання активності каталази проти контролю на 2,3; 6,1 і 8,5 мкМоль розкладеного  $\text{H}_2\text{O}_2$ /г сирової речовини за 1 хв., тоді як пероксидази – 3,8; 6,5 і 11,4 мкМоль окисненого гваяколу/г сирової маси за 1 хв., активність поліфенолоксидази зростала 1,8; 3,9 і 5,6 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової маси за 1 хв. відповідно до норм препарату.

Обприскування посівів культури цими ж нормами біофунгіциду на фоні бактеризації насіння Біозлаком сприяло зростанню активності каталази на 4,0–9,0 мкМоль розкладеного  $\text{H}_2\text{O}_2$ /г сирової речовини за 1 хв., пероксидази – на 8,9–13,9 мкМоль окисненого гваяколу/г сирової маси за 1 хв. та поліфенолоксидази – на 6,4–13,3 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової маси за 1 хв. відповідно до норм Бактофіту. Як і в попередню фазу, найвища активність ферментів простежувалася за обприскування посівів Біозлаком на фоні передпосівної бактеризації насіння Меланорізом, де за норми біофунгіциду 3,0

л/га активність каталази перевищувала показники контрольного варіанту на 12,5 мкМоль розкладеного  $\text{H}_2\text{O}_2$ /г сирової речовини за 1 хв., пероксидази – 17,3 мкМоль окисненого гваяколу/г сирової маси за 1 хв. та поліфенолоксидази – 15,3 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової маси за 1 хв.

**Висновки.** Таким чином, найвищу активність ферментів класу оксидоредуктаз встановлено за комплексного застосування препаратів – бактеризація насіння Меланорізом (1,0 л/т) з наступним застосуванням по даному фону біофунгіциду Бактофіт (3,0 л/га), що, очевидно, обумовлено значною активізацією рослинно-мікробних взаємодій, завдяки яким покращується живлення рослин, перебіг у них обмінних процесів, основою яких є ферментативна активність.

### Література:

1. 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.
2. Khan A. L. Plant growth promotion and induced systemic resistance in maize by endophytic fungus *Penicillium minioluteum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2012. №28(2). Р. 719–728.
3. Нижник Т. П., Григорюк І. П. Вплив Івіну і Потейтіну на пероксидне окиснення ліпідів, проникність мембран, активність антиоксидантних ферментів та продуктивність сортів картоплі в умовах посухи. *Фізіологія та біохімія культурних рослин*. 2006. Т. 38. №3. С. 248–254.
4. Гришко В. М., Демура Т. А. Вплив регуляторів росту на стійкість проростків кукурудзи, розвиток процесів пероксидного окиснення ліпідів і вміст аскорбінової кислоти за сумісної дії кадмію і нікелю. *Фізіологія та біохімія культурних рослин*. 2009. Т. 41. № 4. С. 335–343.
5. Zehra A., Meena M., Dubey M. K., Aamir M., Upadhyay R. S. Synergistic effects of plant defense elicitors and *Trichoderma harzianum* on enhanced induction of antioxidant defense system in tomato against *Fusarium* wilt disease. *Botanical Studies*. 2017. DOI 10.1186/s40529-017-0198-2
6. Карпенко В. П., Притуляк Р. М., Коробко О. О. Елементи біологізованої технології вирощування нуту. Рекомендації виробництву. Черкаси: «Брама-Україна». 2019. 24 с.
7. Карпенко В. П., Шутко С. С. Ліпопероксидаційні та ферментативні процеси в рослинах соризу за використання гербіциду і регулятора росту рослин. *Наукові доповіді НУБіП України*, 2018. № 6 (76). Режим доступу: <file:///C:/Users/diord/Downloads/Vol.%2076,%20No.%206,%202018.pdf>
8. Карпенко В. П., Шутко С. С. Ферментативна активність рослин соризу за використання гербіциду і регулятора росту рослин. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2018. №2. С. 68–72.
9. Карпенко В. П., Марченко К. Ю. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах вівса голозерного за дії мікробного препарату і регулятора росту рослин. *Збірник Уманського національного університету садівництва*. 2020. Вип. 96. Ч. 1. С. 9–23.

10. Мельничук М. Л., Дьячкова О. О., Смирнова С. О. Зміни активності пероксидази рослин перцю та тютюну, інфікованих вірусом тютюнової мозаїки. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2003. Т. 35. № 1. С. 43–47.
11. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: ЗАТ «Нічлава». 2003. 320 с.

### References:

1. Karpenko, V., Pavlyshyn, S. (2018). Activity of antioxidant enzymes in plants of amelcorn under the influence of Prima Aorte 195 herbicide and Wuxal BIO Vita plant growth regulator. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, no. 11–12, pp. 62–67. [in Ukrainian].
2. Khan, A. L. (2012). Plant growth promotion and induced systemic resistance in maize by endophytic fungus *Penicillium minioluteum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, no. 28(2), pp. 719–728.
3. Nyzhnyk, T. P., Hryhoryuk, I. P. (2006). The effect of Ivin and Poteitin on lipid peroxidation, membrane permeability, antioxidant enzyme activity and productivity of potato varieties under drought conditions. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, no. 3, pp. 248–254. [in Ukrainian].
4. Grishko, V. M., Demura, T. A. (2009). The influence of growth regulators on the stability of corn seedlings, the development of lipid peroxidation processes and the content of ascorbic acid under the combined action of cadmium and nickel. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, no. 4, pp. 335–343. [in Ukrainian].
5. Zehra, A., Meena, M., Dubey, M. K., Aamir, M., Upadhyay, R. S. (2017). Synergistic effects of plant defense elicitors and *Trichoderma harzianum* on enhanced induction of antioxidant defense system in tomato against *Fusarium* wilt disease. *Botanical Studies*, no. 58(1). DOI 10.1186/s40529-017-0198-2
6. Karpenko, V. P., Prytulyak, R. M., Korobko, O. O. (2019). *Elements of biologized chickpea growing technology. Recommendations for production*. Cherkasy: «Brama-Ukraine». 24 p. [in Ukrainian].
7. Karpenko, V. P., Shutko, S. S. (2018). Lipoperoxidation and enzymative processes in sorghum plants under using of herbicide and plant growth regulator. *Наукові доповіді НУБіП України*, no. 6 (76), Available at file:///C:/Users/diord/Downloads/Vol.%2076,%20No.%206,%202018.pdf. [in Ukrainian].
8. Karpenko, V. P., Shutko, S. S. (2018). Fermentative activity of sorghum plants under application of herbicide and plant growth regulator. *Bulletin of the Uman State University*, no. 2, pp. 68–72. [in Ukrainian].
9. Karpenko, V. P., Marchenko, E. Yu. (2020). The activity of antioxidant enzymes in the plants of hulless oat under the use of a microbial preparation and plant growth regulator. *Collected Works of Uman National University*, no. 96(1), pp. 9–23. [in Ukrainian].
10. Melnychuk, M. L., Dyachkova, O. O., Smirnova, S. O. (2003). Changes in peroxidase activity of pepper and tobacco plants infected with tobacco mosaic virus. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, no. 35(1), pp. 43–47. [in Ukrainian].

11. Hrytsaenko, Z. M., Hrytsaenko, A. O., Karpenko, V. P. (2003). *Methods of biological and agrochemical research of plants and soils*. K.: Nichlava CJSC. 2003. 320 p. [in Ukrainian].

### **Annotation**

**Karpenko V. V., Zabolotna A. V.**

#### **Enzyme activity of winter triticale under the using of biological preparations**

**Introduction.** The key mechanism of action of biological preparations on plants is their effect on enzyme activity, which determines the direction of metabolic processes, resistance to stress and the ability to absorb nutrients. One of the reactions of plants to stress is the formation of reactive oxygen species, which the plant organism inactivates with the participation of enzymes.

**Research methods.** The activity of enzymes of the oxidoreductase class (catalase (CAT, EC 1.11.1.6), peroxidase (PX, EC 1.11.1.7), polyphenol oxidase (PPO, EC 1.10.3.1)) was determined in samples of winter triticale leaves, selected in the field, in the corresponding phases of plant development, according to generally accepted methods.

**Results.** During the experiment, changes in the activity of enzymes of the oxidoreductase class of winter triticale plants were detected depending on the type and method of use of the preparations. Thus, on average over the years of research in the phase of exit into the tube under the seed bacterization with Melanorhiz, the activity of catalase increased by 11%, peroxidase by 5%, and polyphenoloxidase by 7% compared to the control, under the pre-sowing treatment of seeds with Biozlak, the activity of the studied enzymes exceeded the indicators of the control variant by 9, 4, and 5%, respectively. A spraying of vegetative plants with Bactofit at the norms of 2,0; 2,5, and 3,0 l/ha contributed to an increase in the activity of catalase compared to the control by 10, 23, and 32%, peroxidase by 5, 8, and 15%, and polyphenoloxidase by 4, 11, and 17%, according to the norms of the biofungicide.

The use of the specified norms of Bactofit against on the background of pre-sowing seed bacterization with Biozlak contributed to the increase in catalase activity compared to the control variant. Among all the variants of the experiment, the highest enzymatic activity was provided by the use of Bactofit (2,0; 2,5 and 3,0 l/ha) on the background of pre-sowing seed bacterization with Melanoriz. In these variants of the experiment, catalase activity increased against the control variant by 23, 36 and 46%, peroxidase – by 14, 18 and 22%, polyphenoloxidase – by 26, 42 and 49%. In the flowering phase of winter triticale, the maximum enzyme activity was detected compared to the tube exit phase. However, as in the previous phase, the highest enzyme activity was also observed after spraying crops with Biozlak on the background of pre-sowing seed bacterization with Melanoriz.

**Conclusions.** Thus, the highest activity of enzymes of the oxidoreductase class was established with the complex use of preparations – the bacterization of seeds with Melanorhiz (1,0 l/t) followed by the use of the biofungicide Baktofit (3,0 l/ha) on this background, which is obviously due to the significant activation of plant-microbial interactions, due to which plant nutrition and the course of metabolic processes in them improve, the basis of which is enzymatic activity.

**Key words:** enzyme activity, catalase, peroxidase, polyphenol oxidase, biological preparations, winter triticale.