

УДК 633.16:631.8 (470.56)

DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-229

**Влияние биопрепаратов на активность стрессовых ферментов и продуктивность ярового ячменя**

*Н.И. Воскобулова, А.С. Верещагина, Р.Ш. Ураскулов*

*Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)*

**Аннотация.** Для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в современных технологиях возделывания используются биопрепараты, принимающие участие в регуляции физиологических и биохимических процессов в растениях. Цель работы состояла в изучении влияния предпосевной обработки семян биологическими препаратами на основе гуминовых кислот на активность антиоксидантных ферментов в растениях ячменя ярового и его продуктивность. Объектом исследования служили яровой ячмень сорт Натали и препараты Биогумус и Борогум М молибденовый. Полевые исследования проводились по методике Б.А. Доспехова. В фазы кущения, выхода в трубку и начала колошения в растениях определяли активность антиоксидантных ферментов. Общую активность супероксиддисмутазы определяли по Гианнополитису и Райсу, каталазы – спектрофотометрическим методом. Изучаемые препараты не оказывали положительного влияния на активность супероксиддисмутазы в растениях. Каталазная активность при обработке семян ячменя препаратом Биогумус повышалась в растениях в фазу кущения на 3,2 %, выхода в трубку – 15,3 %, начала колошения – 227,5 %. Биогумус увеличивал количество растений на единице площади, продуктивных стеблей и урожайность зерна. Сделано заключение, что применение Биогумуса для предпосевной обработки семян может стать новым способом биологической защиты растений.

**Ключевые слова:** ячмень яровой, биопрепараты, Биогумус, Борогум М молибденовый, супероксиддисмутазы, каталазы, семена, урожайность, Оренбургская область.

UDC 633.16:631.8 (470.56)

**The influence of biological preparations on the activity of stress enzymes and productivity of spring barley**

*Nadezhda I Voskobulova, Antonina S Vereshchagina, Ruslan Sh Uraskulov*

*Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)*

**Summary.** To increase crop productivity biological preparations are used in modern cultivation technologies that take part in the regulation of physiological and biochemical processes in plants. Work objective was to study the effect of presowing seed treatment with biological preparations based on humic acids on the activity of antioxidant enzymes in spring barley plants and its productivity. The object of the study was spring barley of Natalie variety and the preparations Biohumus and Borogum M molybdenum. Field studies were carried out according to the method of Dospekhov BA. The antioxidant enzyme activity was determined in the phases of tillering, entering the tube, and the beginning of ear formation in plants. The total activity of superoxide dismutase was determined according to Giannopolitis, Ries, and catalase was determined spectrophotometrically. The studied preparations did not have a positive effect on the activity of superoxide dismutase in plants. The catalase activity in the treatment of barley seeds with Biohumus increased in plants in the tillering phase by 3.2%, in the tube -15.3%, the beginning of heading - 227.5%. Biohumus increased the number of plants per unit area, productive stems and grain yield. It is concluded that the use of Biohumus for presowing seed treatment can be a new way of biological plant protection.

**Key words:** spring barley, biological preparations, Biohumus, Borogum M molybdenum, superoxide dismutase, catalase, seeds, productivity, Orenburg region.

**Введение.**

Устойчивое растениеводство остаётся основной глобальной проблемой, привлекающей внимание политиков, бизнеса и научного сообщества (Seufert V et al., 2012; Wezel A et al., 2014). Ведётся поиск технологий, безопасных для здоровья человека, животных и окружающей среды.

Во многих экономически развитых странах переходят к биологическому земледелию, которое предусматривает минимальное внешнее антропогенное воздействие на агроэкосистему и максимальное использование её собственного потенциала.

Особый интерес для сохранения плодородия почв, повышения урожайности культур и охраны биосферы представляют биоудобрения. Они способствуют связыванию атмосферного азота, улучшают усвоение фосфора и азота из органических удобрений и почвенных запасов, повышают устойчивость к засухе и засолённости почв (Vessey JK, 2003; Aroga NK, 2013).

Используются они путём внесения в почву или предпосевной обработки ими семян культурных растений.

Использование биопрепаратов на основе гуминовых кислот в составе биостимуляторов улучшает антиоксидантную систему растений, подверженных стрессам окружающей среды (O'Donnell RW, 1973; Canellas LP et al., 2008; Zhang X and Schmidt RE, 2000; Eyheraguibel B et al., 2008).

В условиях нехватки воды обработка гуминовыми кислотами увеличивает задержку влаги в листьях и метаболизм антиоксидантов (Delfine S et al., 2005).

**Цель исследования.**

Изучение влияния предпосевной обработки семян биологическими препаратами на основе гуминовых кислот на активность антиоксидантных ферментов в растениях ячменя ярового и его продуктивность.

**Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Яровой ячмень сорт Натали.

**Характеристика территорий, природно-климатические условия.** Полевое испытание препаратов проводили на опытном участке ФНЦ БСТ РАН, расположенном в степной зоне Оренбургской области.

Почва участка – чернозём южный карбонатный среднесуглинистый, среднемощный с низким содержанием нитратного азота в пахотном слое почвы на начало эксперимента и средним содержанием подвижного фосфора и обменного калия.

В период с мая по июнь наблюдалась воздушно-почвенная засуха, которая усилилась к началу 3-й декады июня. Погода этого периода характеризовалась сильными ветрами, иссушающими верхний слой почвы, что создало неблагоприятные условия для роста и развития растений ячменя.

В период колошения среднесуточная температура воздуха превышала среднесуточные показатели на 2,5 °С, а днём достигала +35...+36 °С. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы составляли 25 мм, что является 30 % от наименьшей полевой влагоёмкости. Во время формирования зерна среднесуточная температура воздуха снизилась до +21,5 °С, но дневная продолжала достигать +35 °С. В течение 2-х первых декад июля выпали обильные осадки в количестве 74,5 мм, что вдвое превысило месячную норму, равную 39 мм. Снижение среднесуточных температур и обильные осадки способствовали формированию выполненного зерна, но на его количество и продуктивную кустистость растений повлиять уже не могли, так как эти составляющие структуры урожайности закладывались в отличавшийся неблагоприятными условиями начальный период вегетации.

Обеспеченность посевов ячменя водой в течение всего периода вегетации была на уровне 30 % от потребности.

**Схема эксперимента.** Посев ячменя был проведён в селе Нежинка Оренбургского района Оренбургской области.

Яровой ячмень сорт Натали – среднеспелый с длиной вегетационного периода 70-84 дня. Засухоустойчивость – на уровне стандартного сорта Донецкий 8. По качеству относится к ценным сортам. Белка содержится от 12,0 до 17,7 %. Умеренно устойчив к пыльной и твёрдой головне, восприимчив к гельминтоспориозу и корневым гнилям.

Семена ячменя перед посевом обрабатывали растворами препаратов. Варианты опыта: 1 – вода (контроль), 2 – экстракт Биогумуса 1:100, 3 – Борогум М молибденовый дозой 0,3 л на 10 л воды.

Биогумус – биологическое удобрение, продукт переработки различных органических отходов дождевыми червями. Питательные вещества, содержащиеся в нём, представляют собой соединения гуминовых кислот со всеми необходимыми для растений макро- и микроэлементами.

Борогум-М молибденовый содержит Фитоспорин-М, представляющий собой титр живых спор и клеток, обогащённый гуминовыми веществами и микроэлементами. Препарат повышает устойчивость растений к биотическим и абиотическим стрессам.

Ячмень яровой размещён в последнем поле четырёхпольного севооборота после яровой мягкой пшеницы.

Способ посева – рядовой с междурядьем 15 см, нормой высева 3,0 млн всхожих семян на 1 га.

Для определения активности ферментов в растениях отбор зелёной массы осуществляли в фазы кушения, выхода в трубку и начала колошения. Общую активность супероксиддисмутазы (СОД) определяли по способности фермента ингибировать фотохимическое восстановление нитросинеготетразолия (Giannopolitis CN and Ries SK, 1972) с некоторыми модификациями Полеской О.Г. с соавторами (2004). Для определения активности каталазы (КАТ) использовали спектрофотометрический метод (Aebi H, 1984).

**Оборудование и технические средства.** Полевые работы выполнялись с помощью российской сельскохозяйственной техники: трактор Т-25, плуг ПН-4-35, культиватор КПС-4, сеялка СН-16, кольчатые катки и бороны зубовые и трактора МТЗ 1221 (Республика Беларусь). Уборку урожая зерна ячменя производили зерноуборочным комбайном TERRION–SAMPO SR 2010 (ЗАО "Агротехмаш", Россия).

Для лабораторных исследований использовались: шкаф сушильный CHIRANA HS 62/1 (Чехословакия), мельница растительных проб МРП-2 (Россия), весы ВЛКТ-500г-М (Россия), влагомер зерновой «Фаина-М» (Россия).

**Статистическая обработка.** Полученные экспериментальные данные обрабатывались методом дисперсионного анализа с помощью офисного программного обеспечения «Microsoft Office» в программе «Statistica 6.0» («Stat Soft inc.», США).

### **Результаты исследований.**

Динамика активности ферментов отражает процессы, связанные с накоплением активных форм кислорода, и характеризует устойчивость растений к биотическим и абиотическим стрессам.

Изучаемые нами препараты не оказывали положительного влияния на активность супероксиддисмутазы (СОД) в растениях (рис. 1).

Во все фазы развития растений показатели СОД в вариантах обработки Биогумусом и Борогумом М молибденовым были ниже, чем в контрольном варианте.

Исследование каталазной активности в растениях ячменя показало, что в образцах, обработанных препаратом Биогумус, она повышается в фазу кушения на 3,2 %, выхода в трубку – 15,3 %, начала колошения – 227,5 % (рис. 2).

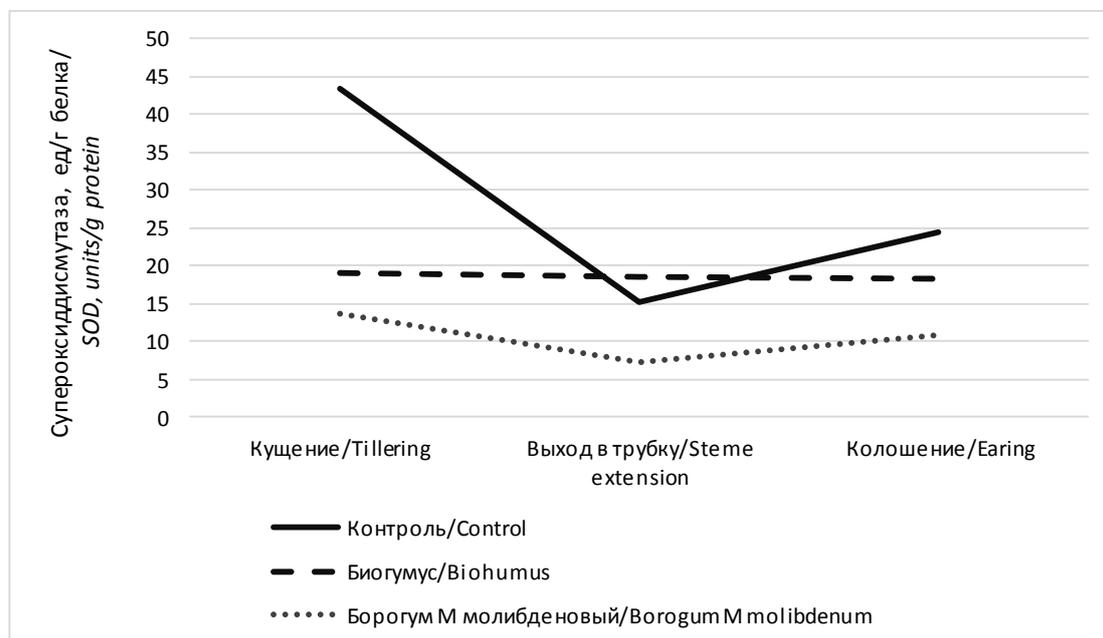


Рис. 1 – Активность супероксиддисмутазы в растениях *Hordeum vulgare L.* в зависимости от препаратов

Figure 1 – Superoxide dismutase activity in *Hordeum vulgare L.* plants depending on preparations

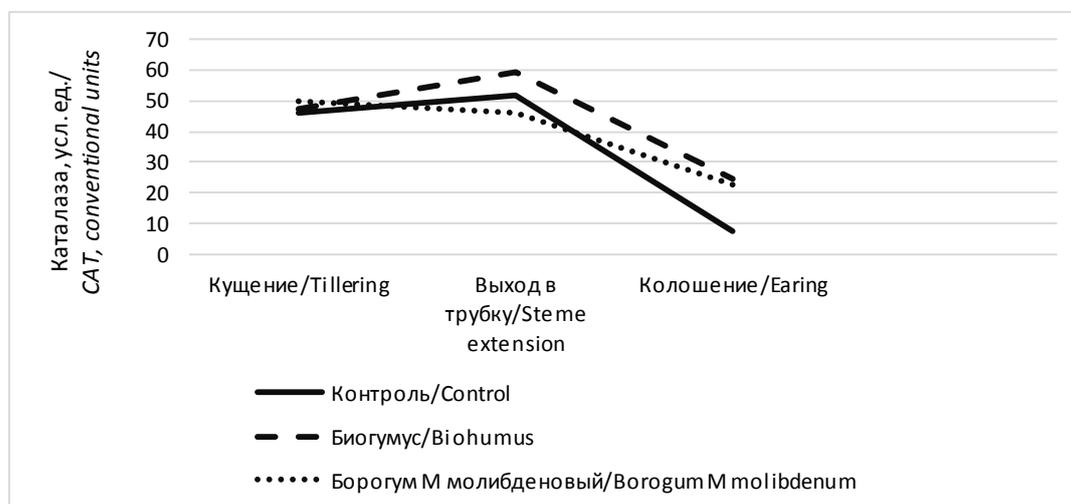


Рис. 2 – Активность каталазы в растениях *Hordeum vulgare L.* в зависимости от препаратов

Figure 2 – Catalase activity in *Hordeum vulgare L.* plants depending on preparations

В варианте с препаратом Борогум М молибденовый активность каталазы (КАТ) повышалась в фазу кущения и колошения по сравнению с контрольным вариантом на 8,2 и 209,4 % соответственно.

В полевых исследованиях изучалось влияние препаратов на формирование продуктивности ячменя. Предпосевная обработка семян ячменя препаратом Биогумус достоверно увеличивала количество растений, общее количество стеблей и продуктивных (с колосом) на единице площади (табл. 1).

Таблица 1. Влияние биопрепаратов на элементы структуры урожая зерна ячменя  
Table 1. The effect of biological products on barley grain structural elements

Вариант / Variant	Количество растений перед уборкой, шт./м <sup>2</sup> / Number of plants before harvest, pc/m <sup>2</sup>	Количество стеблей, шт./м <sup>2</sup> / Number of stems, pc/m <sup>2</sup>		Урожайность зерна, г/м <sup>2</sup> / Grain yield, g/m <sup>2</sup>
		всего / total	с колосом / with ear	
Контроль / Control	174	602	418	181
Биогумус / Biohumus	183	736	532	224
Борогум М молибденовый / Borogum-M molibdenum	175	521	368	151
НСР <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	22	87	107	26

Урожайность зерна в этом варианте составила 224 г с 1 м<sup>2</sup>, в контрольном варианте – 181 г (НСР<sub>05</sub>=26 г).

В варианте с Борогумом М молибденовым наблюдалась тенденция снижения количества стеблей и колосьев по сравнению с контролем и, как следствие, снижение урожайности зерна.

#### Обсуждение полученных результатов.

Предпосевная обработка семян вызывает биохимические изменения в тканях растений. В организме растений усиливаются процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ), приводящие к перестройке метаболизма клеток и всего организма. Ведущую роль в элиминации кислородных радикалов и прерывании свободнорадикальных реакций играет супероксиддисмутаза (Россихина-Галыча А.С. и др., 2014). Уровень активности СОД характеризует стрессоустойчивость растений к таким явлениям, как засуха и высокие температуры (Zhang X et al., 2005; Gratão PL et al., 2005; Foyer CH and Noctor G, 2000).

Засуха является основным абиотическим фактором, ограничивающим производство сельскохозяйственных культур. Реакция растений на нехватку воды зависит от фазы развития, тяжести и продолжительности стресса (Reddy AR et al., 2004). Экологический стресс вызывает избыток АФК, который может повредить клетки растений путём окисления клеточных компонентов (Artlip TS and Wisniewski ME, 2002; Castrillo M et al., 2001).

Снижение уровня СОД в вариантах с Биогумусом и Борогумом М молибденовым по отношению к контролю может свидетельствовать об усилении иммунитета у растений под влиянием этих препаратов и уменьшении ПОЛ (Wang Z and Huang B, 2004).

Каталаза играет основную роль в уменьшении последствий окислительного стресса, катализируя окисление H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. В первую половину вегетации ячменя, до формирования зерна растения подверглись окислительному стрессу от высоких дневных температур и засухи. Каталазная активность в вариантах с биопрепаратами усиливалась, начиная с фазы кущения, достигала максимума в фазу колошения, когда растения особо страдали от недостатка влаги в почве. К этому моменту в пахотном слое (0-30 см) почвы оставалось 5,6 мм воды, метровом – 25 мм.

Литературные данные подтверждают увеличение активности каталазы при применении гуминовых веществ (Гютерев С.Л., 2002).

Усиление активности КАТ при одновременном снижении активности СОД указывает на существование функциональной связи и конкуренции между изучаемыми ферментами (Гусейнова И.М. и др., 2011).

Предпосевная обработка семян Биогумусом улучшала показатели элементов структуры урожайности ячменя, увеличивая количество растений, продуктивных стеблей и, в конечном итоге, урожайность зерна. Аналогичные результаты получены в исследованиях Соколова А.А. с коллегами (2015).

#### **Выводы.**

Обработка семян ярового ячменя перед посевом Биогумусом и Борогумом М молибденовым повышает уровень каталазы, что позволяет растению в критические фазы развития защититься от стресса, вызванного засухой.

Использование экстракта Биогумуса в разведении 1:100 для обработки семян увеличивает количество растений, продуктивных стеблей и урожайность зерна.

Применение Биогумуса для предпосевной обработки семян может стать новым способом биологической защиты растений.

**Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0004)**

#### Литература

1. Гусейнова И.М., Мамедов А.Ч., Султанова Н.Ф. Антиоксидантная система у инфицированных нановирусами бобовых растений // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 6. С. 239. [Huseynova IM, Mamedov ACh, Sultanova NF. Antioxidant system of nanovirus-infected legumes. *Modern Problems of Science and Education*. 2011;6:239. (In Russ)].
2. Полесская О.Г., Каширина Е.И., Алехина Н.Д. Изменение активности антиоксидантных ферментов в листьях и корнях пшеницы в зависимости от формы и дозы азота в среде // *Физиология растений*. 2004. Т. 51. № 5. С. 686-691. [Polesskaya OG, Kashirina EI, Alekhina ND. Changes in the activity of antioxidant enzymes in wheat leaves and roots as a function of nitrogen source and supply. *Fiziologiya rastenii*. 2004;51(5):686-691. (In Russ)].
3. Россихина-Галыча А.С., Лихолат Ю.В., Винниченко А.Н. Активность ферментов антиоксидантной защиты растений кукурузы при гербицидной обработке // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2014. Т. 10. № 4. С. 30-34. [Rossikhina-Galycha AS, Likholat YV, Vynnychenka AN. Activity of antioxidant enzymes of maize plants growing under the herbicide treatment. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2014;10(4):30-34. (In Russ)].
4. Соколов А.А., Виноградов Д.В., Крючков М.М. Влияние предпосевной обработки семян ячменя биопрепаратами на продуктивность растений // *Международный технико-экономический журнал*. 2015. № 5. С. 93-99. [Sokolov AA, Vinogradov DV, Kryuchkov MM. Influence of preseeding processing of seeds of barley biological products on efficiency of plants. *International Technical-Economic Journal*. 2015;5:93-99. (In Russ)].
5. Тютюрев С.Л. Научные основы индуцированной болезнестойчивости растений: монография. СПб.: ВИЗР, 2002. 328 с. [Tyuterev SL. Nauchnye osnovy indutsirovannoi boleznestoiichivosti rastenii: monografiya. SPb.: VIZR; 2002:328 p. (In Russ)].
6. Aebi H. Catalase in vitro. *Methods Enzymol*. 1984;105:121-126. doi: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
7. Arora NK, editor. *Plant microbe symbiosis: fundamentals and advances*. Springer India; 2013:459 p. doi: 10.1007/978-81-322-1287-4
8. Artlip TS, Wisniewski ME. Induction of proteins in response to biotic and abiotic stresses. *Handbook of plant and crop physiology*. Pessaraki M, editor. New York: Marcel Dekker Inc; 2001:657-680.
9. Canellas LP, Teixeira Junior LRL, Dobbss LB, Silva SA, Medici LO, Zandonadi DB, Fancha AR. Humic acids crossinteractions with root and organic acids. *Annals of Applied Biology*. 2008;153(2):157-166. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00249.x>

10. Castrillo M, Fernandez D, Calcagno AM, Trujillo I, Guenni L. Responses of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase, protein content, and stomatal conductance to water deficit in maize, tomato, and bean. *Photosynthetica*. 2001;39:221-226. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1013731210309>
11. Delfine S, Tognetti R, Desiderio E, Alvino A. Effects of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*. 2005;25(2):183-191. doi: <https://doi.org/10.1051/agro:2005017>
12. Eyheraguibel B, Silvestre J, Morard P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology*. 2008;99(10):4206-4212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.082>
13. Foyer CH, Noctor G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. *New Phytologist*. 2000;146(3):359-388. doi: 10.1046/j.1469-8137.2000.00667.x
14. Giannopolitis CN, Ries SK. Superoxide dismutase: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*. 1977;59(2):309-314. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
15. Gratao PL, Polle A, Lea PJ, Azevedo RA. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*. 2005;32(6):481-494.
16. O'Donnell RW. The auxin-like effects of humic preparations from leonardite. *Soil Science*. 1973;116(2):106-112.
17. Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 2004;161(11):1189-1202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013>
18. Seufert V, Ramankutty N, Foley JA. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*. 2012;485:229-232. doi:10.1038/nature11069
19. Vessey JK. Plant growth promoting Rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*. 2003;255:571-586. doi: 10.1023/A:1026037216893
20. Wang Z, Huang B. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. *Crop Science*. 2004;44(5):1729-1736. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1729>
21. Wezel A, Casagrande M, Celette F, Vian JF, Ferrer A, Peigné J. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sust. Dev*. 2014;34:1-20. doi: 10.1007/s13593-013-0180-7
22. Zhang X, Ervin E, Evanylo G, Sherony C, Peot C. Biosolids impact on tall fescue drought resistance. *Journal of Residuals Science and Technology*. 2005;2(3):174-180.
23. Zhang X, Schmidt RE. Hormone-containing products' impact on antioxidant status of tall fescue and creeping bentgrass subjected to drought. *Crop Science*. 2000;40(5):1344-1349. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4051344x>

#### References

1. Huseynova IM, Mamedov ACh, Sultanova NF. Antioxidant system of nanovirus-infected legumes. *Modern Problems of Science and Education*. 2011;6:239.
2. Poleskaya OG, Kashirina EI, Alekhina ND. Changes in the activity of antioxidant enzymes in wheat leaves and roots as a function of nitrogen source and supply. *Plant Physiology*. 2004;51(5):686-691.
3. Rossikhina-Galycha AS, Likholat YV, Vynnychenka AN. Activity of antioxidant enzymes of maize plants growing under the herbicide treatment. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2014;10(4):30-34.
4. Sokolov AA, Vinogradov DV, Kryuchkov MM. Influence of preseeding processing of seeds of barley biological products on efficiency of plants. *International Technical-Economic Journal*. 2015;5:93-99.
5. Tyuterev SL. Scientific bases of induced plant disease resistance: monograph. SPb.: VIZR; 2002:328 p. [*In Russ*].
6. Aebi H. Catalase in vitro. *Methods Enzymol*. 1984;105:121-126. doi: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
7. Arora NK, editor. *Plant microbe symbiosis: fundamentals and advances*. Springer India; 2013:459 p. doi: 10.1007/978-81-322-1287-4
8. Artlip TS, Wisniewski ME. Induction of proteins in response to biotic and abiotic stresses. *Handbook of plant and crop physiology*. Pessarakli M, editor. New York: Marcel Dekker Inc; 2001:657-680.

9. Canellas LP, Teixeira Junior LRL, Dobbss LB, Silva SA, Medici LO, Zandonadi DB, Facanha AR. Humic acids crossinteractions with root and organic acids. *Annals of Applied Biology*. 2008;153(2):157-166. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00249.x>
10. Castrillo M, Fernandez D, Calcagno AM, Trujillo I, Guenni L. Responses of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase, protein content, and stomatal condcutance to water deficit in maize, tomato, and bean. *Photosynthetica*. 2001;39:221-226. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1013731210309>
11. Delfine S, Tognetti R, Desiderio E, Alvino A. Effects of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*. 2005;25(2):183-191. doi: <https://doi.org/10.1051/agro:2005017>
12. Eyheraguibel B, Silvestre J, Morard P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Biore-source Technology*. 2008;99(10):4206-4212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.082>
13. Foyer CH, Noctor G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. *New Phytologist*. 2000;146(3):359-388. doi: [10.1046/j.1469-8137.2000.00667.x](https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00667.x)
14. Giannopolitis CN, Ries SK. Superoxide dismutase: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiol*. 1977;59(2):309-314. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
15. Gratao PL, Polle A, Lea PJ, Azevedo RA. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*. 2005;32(6):481-494.
16. O'Donnell RW. The auxin-like effects of humic preparations from leonardite. *Soil Science*. 1973;116(2):106-112.
17. Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 2004;161(11):1189-1202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013>
18. Seufert V, Ramankutty N, Foley JA. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*. 2012;485:229-232. doi: [10.1038/nature11069](https://doi.org/10.1038/nature11069)
19. Vessey JK. Plant growth promoting Rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*. 2003;255:571-586. doi: [10.1023/A:1026037216893](https://doi.org/10.1023/A:1026037216893)
20. Wang Z, Huang B. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. *Crop Science*. 2004;44(5):1729-1736. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1729>
21. Wezel A, Casagrande M, Celette F, Vian JF, Ferrer A, Peigné J. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sust. Dev*. 2014;34:1-20. doi: [10.1007/s13593-013-0180-7](https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7)
22. Zhang X, Ervin E, Evanylo G, Sherony C, Peot C. Biosolids impact on tall fescue drought resistance. *Journal of Residuals Science and Technology*. 2005;2(3):174-180.
23. Zhang X, Schmidt RE. Hormone-containing products' impact on antioxidant status of tall fescue and creeping bentgrass subjected to drought. *Crop Science*. 2000;40(5):1344-1349. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4051344x>

**Воскобулова Надежда Ивановна**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом технологий кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8(3532)30-83-48, сот.: 8-919-864-34-40, e-mail: [voskobulova1952@yandex.ru](mailto:voskobulova1952@yandex.ru)

**Верещагина Антонина Сергеевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологий кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8(3532)30-83-48, сот.: 8-919-853-17-26

**Ураскулов Руслан Шамильевич**, старший научный сотрудник отдела технологий кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8(3532)30-83-48

Поступила в редакцию 20 июля 2020 г.; принята после решения редколлегии 14 сентября 2020 г.; опубликована 30 сентября 2020 г. / Received: 20 July 2020; Accepted: 14 September 2020; Published: 30 September 2020