ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК: 634.737:631.452:631.811.98
https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-4-271-281

Поступила в редакцию 18.05.2026
Received 18.05.2026

Ж. А. Рупасова[1], Э. И. Коломиец[2], Н. Б. Павловский[3], С. Н. Авраменко[3], З. М. Алещенкова[4]

[1]Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук, Минск, Республика Беларусь
[2]Государственное научно-производственное объединение «Химический синтез и биотехнологии», Минск, Республика Беларусь
[3]Центральный ботанический сад Национальной академии наук, Минск, Республика Беларусь
[4]Институт микробиологии Национальной академии наук, Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА АНТИОКСИДАНТНЫЙ КОМПЛЕКС ПЛОДОВ *VACCINIUM CORYMBOSUM* L.

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования влияния биологических препаратов ростостимулирующего действия – Оксидата торфа «Голубика» с микроэлементами в концентрации 0,4 % и нового микробного препарата Экоберит в концентрациях 2, 4 и 8 % на антиоксидантную и ферментативную активность плодов голубики высокорослой, полученные в рамках двух полевых опытов с низким и высоким уровнем плодородия почвы в Южной агроклиматической зоне республики (Ганцевичский р-н Брестской обл.).

Установлено, что, независимо от состояния агрохимического фона, наиболее эффективным агроприемом, обеспечившим максимальную защиту клеточных структур от окислительного стресса, следовало признать внесение в приствольную зону посадок голубики 0,4%-го раствора Оксидата торфа. Показано, что на почве с низким уровнем плодородия использование 4%-го раствора Экоберита уступало лидирующему агроприему по эффективности в 1,5 раза, а при использовании 8%-го – в 5 раз при абсолютной неэффективности его 2%-го раствора. На почве с высоким уровнем плодородия общий уровень антиоксидантной защиты при применении Оксидата торфа почти вдвое уступал таковому на менее плодородной почве при абсолютном доминировании негативного влияния Экоберита на комплекс антирадикальных свойств плодов, наиболее выраженного при применении его 8%-го и уступавшего ему в 1,3 раза по данному признаку 4%-го раствора.

Ключевые слова: уровень плодородия почвы, регуляторы роста Экоберит, Оксидат торфа, голубика высокорослая, плоды, антиоксидантная активность, окислительно–восстановительные ферменты каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза, супероксиддисмутаза

Для цитирования: Влияние плодородия почвы и биологических стимуляторов роста на антиоксидантный комплекс плодов *Vaccinium corymbosum* L. / Ж. А. Рупасова, Э. И. Коломиец, Н. Б. Павловский [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2026. – Т. 71, № 4. – С. 271–281. https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-4-271-281

Zhanna A. Rupasova[1], Emilia I. Kolomiets[2], Nikolay B. Pavlovsky[3], Stanislav N. Avramenko[3], Zinaida M. Aleschenkova[4]

[1]V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences, Minsk, Republic of Belarus
[2]State Research and Production Association "Chemical Synthesis and Biotechnology", Minsk, Republic of Belarus
[3]Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences, Minsk, Republic of Belarus
[4]Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Btlarus

THE INFLUENCE OF SOIL FERTILITY AND BIOLOGICAL GROWTH STIMULANTS ON THE ANTIOXIDANT COMPLEX OF *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. FRUITS

Abstract. The article presents the results of a comparative study conducted in the southern agroclimatic zone of the republic (Gantsevichi District, Brest Region) within two field trials with low and high soil fertility. The study examined the effects of growth-promoting biological preparations – Golubika Peat Oxidate with microelements at a concentration of 0.4 % and the new microbial preparation Ecoberit at concentrations of 2, 4, and 8 % – on the antioxidant and enzymatic activity of highbush blueberry fruits. It was established that, regardless of the agrochemical background, the most effective agricultural practice, providing maximum protection of cellular structures from oxidative stress, was the application of a 0.4 % solution of Peat Oxidate to the near-trunk zone of blueberry plantings. It was shown that on low-fertility soil, the use of a 4 % Ecoberit solution was 1.5 times less effective than the leading agricultural practice; while the 8 % solution was 5 times less effective; and while the 2 % solution was completely ineffective. On high-fertility soil, the overall antioxidant protection level with Peat Oxidate was almost half that of less fertile soil, while the negative impact of Ecoberit on the antiradical properties of fruits was absolutely dominant. This was most pronounced with the 8 % solution, while the 4 % solution was 1.3 times less effective.

Keywords: soil fertility, growth stimulants Ecoberit, Peat Oxidate, highbush blueberry, fruits, antioxidant activity, redox enzymes, catalase, peroxidase, polyphenol oxidase, superoxide dismutase

For citation: Rupasova Zh. A., Kolomiets E. I., Pavlovsky N. B., Avramenko S. N., Aleschenkova Z. M. The influence of soil fertility and biological growth stimulants on the antioxidant complex of *Vaccinium corymbosum* L. fruits. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2026, vol. 71, no. 4, pp. 271–281 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-4-271-281

Введение. В связи с совершенствованием технологии возделывания голубики высокорослой с соблюдением принципов органического земледелия, способствующих получению экологически чистой ягодной продукции, в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021–2025 гг., подпрограммы «Промышленные биотехнологии–2025», проведена комплексная оценка эффективности разработанного в ГНПО «Химический синтез и биотехнологии» микробного ростостимулирующего препарата Экоберит. Уже доказано его позитивное влияние на ростовые и биопродукционные характеристики, а также на биохимический состав плодов голубики [1, 2]. Вместе с тем на фоне применения данного препарата установлена существенная зависимость данных показателей, как и содержания широкого спектра биологически активных соединений, в том числе биофлавоноидов, от уровня плодородия почвы [3–5], что явилось основой для предположения о наличии подобной зависимости и для антиоксидантных свойств плодов, являющихся важнейшей характеристикой ягодной продукции этой культуры. Для решения данной задачи было проведено сравнительное исследование в рамках полевых экспериментов на почвах с разным уровнем плодородия антиоксидантной активности (АОА) плодов опытных растений, а также активности основных ферментов окислительно-восстановительного цикла – каталазы (КАТ), пероксидазы (ПО), полифенолоксидазы (ПФО), а также супероксиддисмутазы (СОД).

В основу этой работы положены результаты сравнительного исследования влияния биологических препаратов ростостимулирующего действия – Оксидата торфа «Голубика» с микроэлементами и трех концентраций нового испытываемого микробного препарата Экоберит на обозначенные компоненты антиоксидантного комплекса плодов голубики в зависимости от состояния агрохимического фона. Первый препарат представляет собой водный концентрат биологически активных веществ, содержащихся в природном продукте – торфе. В его состав входят гуминовые и фульвовые кислоты (до 80 %), 16 аминокислот, из которых 9 незаменимых, моно- и полисахариды, фенолы, гемицеллюлоза, макро- и микроэлементы (Ca, Mg, N, P, K, Na, S, Fe, J, Co, Mn, Zn и др.), а также производные витаминов группы B, витамины D, D_3, PP, нафтеновая кислота и хиноны. Микробный препарат Экоберит представляет собой консорциум из штаммов бактерий рода *Bacillus*, обладающий ростостимулирующей, антимикробной, азотфиксирующей и фосфатмобилизующей активностями.

Материалы и методы исследования. Исследования выполнены в Ганцевичском р-не Брестской обл. на примере модельного сорта Bluecrop в рамках двух полевых опытов, один из которых был заложен в посадках голубики на экспериментальном участке отраслевой лаборатории интродукции и технологии ягодных растений Центрального ботанического сада (ЦБС) НАН Беларуси (ЭБ), а второй – в производственных насаждениях данной культуры на территории расположенного в 10 км севернее Крестьянско-фермерского хозяйства (КФХ) «Ягодное лукошко». В первом эксперименте почва под опытными растениями – торфяно-глеевая, мелиорированная, развитая на слое пушицево-сфагнового верхового торфа, подстилаемом с глубины 50 см рыхлым разнозернистым песком. Торф – среднеразложившийся, с зольностью 15 % и содержанием P_2O_5 – 131 мг/кг, K_2O – 180 мг/кг, Ca – 246 мг/кг, Mg – 32 мг/кг. Реакция почвенного раствора (pH_{H_2O}) в приствольной зоне посадок голубики варьировалась в диапазоне 4,9–6,2, тогда как у мульчирующего слоя (древесные опилки) она составляла 4,9–5,3, а в междурядьях – 4,7–5,1.

Почва на участке КФХ «Ягодное лукошко» – дерново-подзолистая, супесчаная, с содержанием гумуса 3,5 %, P_2O_5 – 285 мг/кг, K_2O – 74 мг/кг, Ca – 982 мг/кг, Mg – 124 мг/кг. Реакция почвенного раствора (pH_{H_2O}) в приствольной зоне посадок голубики соответствовала области более низких и более благоприятных для данной культуры, нежели на предыдущем участке, значений: от 3,8 до 4,9 при pH мульчирующего слоя (древесные опилки) в пределах 4,7–4,8, а в междурядьях – 5,0–5,7. В данном эксперименте были созданы посадки сходных по габитусу одновоз-

растных генеративных растений модельного сорта голубики, приствольная полоса которых замульчирована отходами деревообработки (опилки, щепа, кора) слоем толщиной 10 см и шириной 1,2 м, а сами посадки оборудованы капельным орошением, обеспечивающим также подкисление субстрата и дополнительное поступление основных питательных элементов в виде растворов аммиачной селитры, солей калия и фосфора. Это способствовало улучшению агрохимических свойств почвы, обусловившему более высокий уровень ее плодородия в опытных посадках голубики на территории КФХ, нежели на экспериментальном участке отраслевой лаборатории ЦБС, что, на наш взгляд, не могло не отразиться на состоянии энзимо-антиоксидантного комплекса плодов на фоне применения испытываемых регуляторов роста.

Схема опыта на ЭБ включала 5 вариантов: 1 – контроль (обработка приствольной зоны растений водой); 2 – внесение 0,4%-го водного раствора Оксидата торфа; 3–5 – внесение водных растворов микробного препарата Экоберит в концентрациях 2, 4 и 8 %. На территории КФХ «Ягодное лукошко» схема опыта включала 4 варианта: 1 – контроль (обработка водой); 2 – внесение 0,4%-го водного раствора Оксидата торфа; 3, 4 – внесение водных растворов препарата Экоберит в концентрациях 4 и 8 %. В обоих экспериментах использование обозначенных препаратов осуществляли путем внесения 1 л приготовленного раствора под каждый куст голубики в начале фазы бутонизации и далее 4 раза с интервалом 15–20 дней до начала созревания плодов. Последнее внесение препаратов проводили за 2 недели до сбора ягод.

В обоих экспериментах в период созревания плодов проводили повариантное определение АОА этанольных экстрактов из свежих плодов с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила [6, 7], активность ПО – по методу А. Н. Бояркина [8]; ПФО – с пирокатехином [9]; КАТ – по методу А. Н. Баха и А. И. Опарина [10]; СОД – по методу Y. P. Misra, I. Fridovich [11]. Для пересчета обозначенных показателей на сухую массу плодов определяли содержание в них сухих веществ по ГОСТ 28561-90[1]. Все аналитические определения выполнены в двукратной биологической и трехкратной аналитической повторностях. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel [12].

Результаты и их обсуждение. По нашим оценкам, приведенным в табл. 1, в сравниваемых полевых экспериментах, проведенных на менее и более плодородной почве (ЭБ и КФХ), общий уровень АОА этанольных экстрактов из плодов голубики при 30-минутной экспозиции варьировался в весьма широких, но вместе с тем довольно близких диапазонах, составлявших в мкмоль экв. тролокса / г сухого вещества 52,7–102,6 и 72,1–108,1 при расхождении крайних значений соответственно в 1,9 и 1,5 раза.

Таблица 1. **Уровень АОА этанольных экстрактов из плодов *V. corymbosum* в вариантах полевых опытов с применением ростостимулирующих препаратов, мкмоль экв. тролокса / г сухого вещества**

Table 1. **The level of antioxidant activity of ethanol extracts from *V. corymbosum* fruits in field experiments using growth-stimulating preparations, μmol equiv trolox / g dry matter**

Вариант опыта	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*
	Эксперимент на территории ЭБ	
Контроль	**88,8 ± 0,7**	–
Оксидат торфа 0,4 %	102,6 ± 0,5	15,7*
Экоберит 2 %	52,7 ± 0,4	–44,0*
Экоберит 4 %	67,9 ± 0,3	–26,4*
Экоберит 8 %	80,4 ± 0,3	–10,4*
	Эксперимент на территории КФХ	
Контроль	**108,1 ± 0,8**	–
Оксидат торфа 0,4 %	96,1 ± 1,2	–8,3*
Экоберит 4 %	72,1 ± 0,6	–35,6*
Экоберит 8 %	74,2 ± 0,7	–31,0*

Примечание. Здесь и в табл. 2 * отмечены статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$.

[1] Продукты пищевые консервированные. Методы определения сухих веществ: ГОСТ 8756.2-82. – Введен 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов,1982. – 5 с.

Значительная ширина приведенных диапазонов косвенно свидетельствовала о существенной зависимости уровня АОА плодов не только от воздействия испытываемых агроприемов, но и от состояния агрохимического фона, причем заметное их сужение в опыте на более плодородной почве указывало на ослабление данной зависимости по сравнению с опытом на менее плодородной. При этом в контрольном варианте эксперимента на территории КФХ величина АОА превышала таковую в опыте на ЭБ в 1,2 раза, тогда как на фоне применения стимуляторов роста в обоих случаях были получены практически сопоставимые результаты, свидетельствовавшие также о наибольшем ее значении при использовании Оксидата торфа. Вместе с тем на фоне внесения Экоберита в общих для обоих экспериментов вариантах уровень АОА оказался ниже, чем в данном случае, в 1,3–1,5 раза (на ЭБ) и в 1,3 раза (в КФХ) при наименьшем отставании при использовании максимальной концентрации микробного препарата.

Результаты определения активности основных ферментов окислительно-восстановительного цикла в пересчете на сухое вещество плодов голубики, приведенные в табл. 2, показали, что ее значения варьировались в рамках полевых экспериментов на ЭБ и в КФХ в следующих диапазонах: для КАТ – 12,97–27,85 и 5,17–18,18 мкмоль H_2O_2 / (г · мин); ПО – 7,05–14,17 и 7,41–11,58 ед. опт. плотн. / (г · мин); ПФО – 383,5–1 313,7 и 485,1–935,9 ед. опт. плотн. / (г · мин); СОД – 4,36–9,93 и 4,08–12,11 отн. ед. / мг белка. Как видим, приведенные диапазоны варьирования активности большинства оксидаз в рамках эксперимента на менее плодородной почве соответствовали области более высоких значений, нежели на более плодородной, и лишь для активности СОД, как и для АОА, показана слабо выраженная противоположная закономерность. При этом в опыте на ЭБ максимальный уровень активности КАТ установлен на фоне внесения 4%-го и 8%-го раствора Экоберита, а минимальный – в контроле, тогда как в опыте на территории КФХ наибольшая активность данного фермента выявлена, напротив, в контроле, а наименьшая – при использовании 8%-го Экоберита и Оксидата торфа, при применении которого на менее плодородной почве установлен минимальный уровень активности ПО, тогда как максимальный – при внесении 4%-го раствора микробного препарата. В эксперименте на почве с более высоким уровнем плодородия при использовании Оксидата торфа был получен противоположный эффект, свидетельствовавший, напротив, о наибольшей активности ПО, сопоставимой с таковой при внесении 8%-го Экоберита, при чрезвычайно слабом ее проявлении в контрольном варианте опыта (табл. 2).

Обращает на себя внимание то, что, независимо от уровня плодородия почвы, минимальным в рамках экспериментов показателям активности ПО соответствовали максимальные значения активности ПФО, что обусловлено взаимозаменяемостью данных ферментов в метаболических процессах. Общеизвестно, что, несмотря на разные механизмы действия (ПФО использует кислород, а ПО – пероксид водорода), их функции могут частично перекрываться или дополнять друг друга, играя ключевую, часто синергетическую роль в фенольном метаболизме растений, особенно в стрессовых условиях [13, 14], что особенно важно для плодов голубики, чрезвычайно богатых полифенолами.

По нашим данным, в эксперименте на территории ЭБ наибольшую активность ПФО в плодах голубики обеспечивало использование Оксидата торфа, а наименьшую – внесение Экоберита, особенно в 2%-й концентрации (табл. 2). В опыте на территории КФХ максимальной активностью данного фермента, как и КАТ, характеризовалась продукция контрольного варианта, а минимальной, как и в эксперименте на ЭБ, продукция, полученная в вариантах с использованием микробного препарата, особенно внесенного в наибольшей концентрации, при наличии четко выраженной обратной взаимозависимости между активностью ПФО и ПО. Что касается СОД, то в отличие от предыдущих энзимов, в обоих полевых экспериментах обнаружены сходные тенденции в изменении ее активности при отсутствии существенных различий данного показателя на фоне испытываемых агроприемов. При этом в обоих случаях максимальный уровень активности СОД выявлен при использовании Оксидата торфа, а минимальный – при внесении 4%-го Экоберита.

Как видим, показатели активности большинства окислительно-восстановительных ферментов, как и АОА, определялись не только воздействием на растения стимуляторов роста, но и уровнем

плодородия почвы, и лишь для СОД ключевое значение в этом плане принадлежало первому фактору. С целью установления степени трансформации энзимо-антиоксидантного комплекса плодов голубики при использовании стимуляторов роста в зависимости от эдафического фактора в тестируемых вариантах полевых опытов определены относительные различия с контролем активности его основных компонентов, приведенные в табл. 3. Как видим, в обоих полевых экспериментах применение испытываемых препаратов способствовало снижению общего уровня АОА этанольных экстрактов из плодов голубики, особенно при более высоком плодородии почвы. Это могло свидетельствовать, с одной стороны, об ослаблении воздействия на них окислительного стресса и связанного с ним уменьшения в клетках содержания активных форм кислорода (АФК), сопровождавшегося ограничением накопления антиоксидантов вторичной природы [15]. С другой стороны, показанное в работе Ж. А. Рупасовой с соавт. [16] увеличение урожайности плодов на фоне внесения Экоберита могло привести к снижению концентрации антиоксидантов на единицу их массы даже при достаточно высоком общем количестве активных соединений. При этом лишь в единичном случае (при использовании Оксидата торфа на почве с низким уровнем плодородия) наблюдалось усиление антиоксидантной защиты клеток плодов на 16 % относительно контроля, тогда как внесение микробного стимулятора роста приводило, напротив, к ее ослаблению на 10–41 %, последовательно нараставшему по мере уменьшения его концентрации (табл. 3).

Таблица 2. **Активность окислительно-восстановительных ферментов в плодах *V. corymbosum* в вариантах полевых опытов с применением ростостимулирующих препаратов (в сухом веществе)**

Table 2. **Activity of redox enzymes in *V. corymbosum* fruits in field experiments using growth-promoting agents (in dry matter)**

Вариант опыта	Активность КАТ, мкмоль H_2O_2 / (г · мин)		Активность ПО, ед. опт. плотн. / (г · мин)		Активность ПФО, ед. опт. плотн. / (г · мин)		Активность СОД, отн. ед. / мг белка	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t
Эксперимент на территории ЭБ								
Контроль	**12,97 ± 0,43**	–	**9,51 ± 0,41**	–	**985,9 ± 24,3**	–	**7,94 ± 0,02**	–
Оксидат торфа 0,4 %	15,65 ± 0,15	6,8*	7,05 ± 0,28	–5,4*	1 313,7 ± 7,5	12,9*	9,93 ± 0,01	82,7*
Экоберит 2 %	14,76 ± 0,11	4,9*	11,82 ± 0,13	6,1*	383,5 ± 5,8	–24,1*	4,39 ± 0,03	–91,4*
Экоберит 4 %	27,85 ± 0,82	16,5*	14,17 ± 0,28	10,1*	492,7 ± 29,2	–13,0*	4,36 ± 0,05	–63,8*
Экоберит 8 %	26,31 ± 1,03	12,2*	9,91 ± 0,28	0,9	585,4 ± 26,8	–11,1*	4,83 ± 0,01	–121,7*
Эксперимент на территории КФХ								
Контроль	**18,18 ± 0,52**	–	**5,41 ± 0,05**	–	**935,9 ± 13,8**	–	**9,85 ± 0,04**	–
Оксидат торфа 0,4 %	5,17 ± 1,53	–8,1*	11,58 ± 0,38	6,8*	767,1 ± 2,7	–12,0*	12,11 ± 0,15	14,7*
Экоберит 4 %	13,47 ± 0,39	–6,8*	9,71 ± 0,13	7,3*	582,3 ± 6,6	–23,1*	4,08 ± 0,04	–103,8*
Экоберит 8 %	5,62 ± 0,09	–23,5*	11,32 ± 0,12	7,8*	485,1 ± 6,9	–29,3*	4,27 ± 0,04	–103,7*

Таблица 3. **Относительные различия с контролем вариантов полевых опытов с применением ростостимулирующих препаратов по уровню энзимо-антиоксидантной активности плодов *V. corymbosum***

Table 3. **Relative differences from the control variants of field experiments using growth-stimulating drugs in the level of enzymatic-antioxidant activity of *V. corymbosum* fruits**

Показатель	Оксидат торфа, 0,4 %	Экоберит, 2 %	Экоберит, 4 %	Экоберит, 8 %
Эксперимент на территории ЭБ				
АОА (ДФПГ)	**+15,5**	-40,7	–23,5	–9,5
Активность КАТ	**+20,7**	**+13,8**	**+114,7**	**+102,9**
Активность ПО	**–25,9**	**+24,3**	**+49,0**	–
Активность ПФО	**+33,2**	–61,1	–50,0	–40,6
Активность СОД	**+25,1**	–44,7	–45,1	–39,2
Совокупный эффект	**+68,6**	–108,4	+45,1	+13,6
Эксперимент на территории КФХ				
АОА (ДФПГ)	–11,1	Не опр.	–33,3	–31,4
Активность КАТ	–71,6	–	–25,9	–69,1

Окончание табл. 2

Показатель	Оксидат торфа, 0,4 %	Экоберит, 2 %	Экоберит, 4 %	Экоберит, 8 %
Активность ПО	**+114,0**	–	**+79,5**	**+109,2**
Активность ПФО	–18,0	–	–37,8	–48,2
Активность СОД	**+22,9**	–	–58,6	–56,7
Совокупный эффект	**+36,2**	–	–76,1	–96,2

Примечание. Прочерк (–) означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$.

В полевом опыте на более плодородной почве в КФХ в общих с предыдущим экспериментом вариантах с применением Экоберита отмечено более выраженное, чем в предыдущем случае, отставание от контроля по общему уровню АОА в пределах 31–33 % при отсутствии заметного влияния концентрации препарата на величину данного показателя. При этом, в отличие от эксперимента на менее плодородной почве, здесь выявлено также отставание от контроля по уровню АОА при использовании Оксидата торфа.

Что касается изменений активности отдельных защитных ферментов на фоне применения стимуляторов роста, то в их направленности и степени проявления установлены как сходные, так и противоположные закономерности, обусловленные преимущественно состоянием агрохимического фона. Так, в опыте на ЭБ во всех без исключения вариантах с применением ростостимулирующих препаратов показано усиление активности КАТ на 14–115 % по сравнению с контролем: минимальное – при использовании Оксидата торфа, а также 2%-го Экоберита, а максимальное – при применении 4%-го и в меньшей степени 8%-го раствора микробного препарата (табл. 3).

Заметим, что при внесении последнего активизация работы КАТ сопровождалась усилением по сравнению с контролем активности ПО на 24–49 % при одновременном ослаблении таковой ПФО и СОД – на 41–61 и 39–45 % соответственно. В варианте же с использованием Оксидата торфа наблюдалась противоположная картина, указывавшая на снижение активности ПО на 26 % при увеличении таковой ПФО и СОД на 33 и 25 %. Как видим, в ответной реакции ферментного комплекса плодов на применение стимуляторов роста проявился отчетливый синергизм в изменении активности КАТ и ПО на фоне противоположных изменений таковой ПФО и СОД. В первом случае это свидетельствовало о совместном участии КАТ и ПО в утилизации H_2O_2 и предотвращении развития окислительного стресса, тогда как синхронное ослабление активности СОД и ПФО, находящихся между собой здесь в прямой взаимосвязи, могло указывать на переключение метаболизма с активного синтеза органических соединений на процессы созревания плодов, что, скорее всего, являлось генетически детерминированной особенностью растений голубики, отмеченной нами также в более ранних исследованиях с использованием стимуляторов роста, причем степень проявления синергизма варьировалась в зависимости от химической природы последних [17].

Наблюдаемое же в наших исследованиях сопряженное снижение активности СОД, переводящей супероксид-радикал в пероксид водорода, и ПФО, разлагающей последний, и проявляющих при этом прямое взаимодействие, могло указывать на ослабление противостояния клеточных структур окислительному стрессу с усилением накопления продуктов перекисного окисления липидов. На наш взгляд, применение Экоберита явилось своеобразным «триггером», запускавшим механизм синергического взаимодействия ПФО и СОД, что в определенной мере сдерживало биосинтез биофлавоноидов, в том числе антоциановых пигментов [18], действующих как универсальный биохимический щит, обеспечивающий защиту тканей плода от оксидативного стресса путем нейтрализации свободных радикалов. Заметим, что и в работе В. А. Кузнецовой с соавт., посвященной исследованию антиоксидантных свойств семян сои амурской селекции у скороспелых сортов, также выявлена положительная корреляция между активностью ПФО и СОД [19].

Что же касается варианта опыта с применением Оксидата торфа, то в нем, напротив, наблюдалось сходное по величине сопряженное усиление активности КАТ, ПФО и СОД (в пределах

21–33 %) относительно контроля, свидетельствовавшее о синергизме их взаимодействия в антиоксидантной защите и сопровождавшееся сходным по выразительности ослаблением активности ПО (табл. 3). На наш взгляд, в данном случае совместное действие СОД и КАТ обусловлено дисмутирующим влиянием первого на супероксидный анион-радикал до перекиси водорода и ее последующим расщеплением вторым ферментом на воду и кислород, тогда как синхронное усиление активности КАТ и ПФО обусловлено необходимостью снижения уровня H_2O_2, предотвращающего повреждение тканей [20, 21]. Что же касается проявления на фоне внесения Оксидата торфа антагонизма в изменении активности КАТ и ПО, то объяснение этому следует искать в наиболее высоком в рамках эксперимента накоплении биофлавоноидов в плодах голубики, в том числе антоциановых пигментов [18], способствующем ингибированию ПО, генерирующей свободные радикалы в результате участия в разрушении последних, при одновременном стимулировании КАТ, действующей исключительно как защитный фермент, разлагающий перекись водорода [22].

В аналогичном эксперименте на КФХ, в отличие от предыдущего, в изменении активности КАТ во всех общих с ним вариантах с применением стимуляторов роста установлено, напротив, отставание от контроля на 26–72 %, наименьшее при внесении 4%-го раствора микробного препарата и наибольшее (причем практически одинаковое) – при применении Оксидата торфа и Экоберита 8%-й концентрации. Столь выразительное подавление активности данного фермента сопровождалось ингибированием ее у ПФО на 18–48 %, а при использовании микробного препарата – также активности СОД на 57–59 %, что согласовывалось с показанным в табл. 3 ослаблением защитных функций антиоксидантной системы плодов в целом при выраженном синергизме его проявления у обозначенных ферментов. Но, как и в эксперименте на менее плодородной почве, в данном опыте при использовании Оксидата торфа наблюдалось сходное с ним по величине усиление активности СОД по сравнению с контролем, что, очевидно, связано со специфическим действием данного препарата в стимуляции дополнительной защиты тканей плодов от окислительного стресса.

Вместе с тем, в отличие от эксперимента на менее плодородной почве, здесь на фоне более значительного снижения энзимо-антиоксидантной активности плодов при использовании стимуляторов роста имело место существенное усиление активности ПО по сравнению с контролем на 80–114 % (табл. 3), прямо коррелировавшее с содержанием в плодах биофлавоноидов, в том числе антоциановых пигментов [18]. Скорее всего, в данном случае при более высоком уровне агрохимического обеспечения растений происходила определенная перестройка в работе антиоксидантного комплекса плодов, в результате которой приоритетная роль в защите клеточных структур от окислительного стресса отводилась ПО. Несмотря на возможное участие последней в деструкции биофлавоноидов, логично предположить наличие противодействия ей со стороны других менее активных энзимов, поскольку параметры накопления Р-витаминов в плодах опытных растений оказались даже несколько выше, чем в эксперименте на менее плодородной почве [18].

Нетрудно убедиться, что в обоих экспериментах весьма отчетливо проявились выраженные в разной степени различия с контролем по исследуемым характеристикам антиоксидантного комплекса плодов голубики, что указывало на специфичность их ответа на применение стимуляторов роста в зависимости от эдафического фактора. На наш взгляд, для оценки их влияния на общую величину выявленных различий представлялось целесообразным для каждого варианта опыта произвести суммирование расхождений с контролем по всем исследуемым характеристикам энзимо-антиоксидантного комплекса плодов с учетом их знака.

Как следует из табл. 3, независимо от уровня плодородия почвы, наиболее эффективным агроприемом, обеспечившим максимальную защиту клеточных структур от окислительного стресса, следовало признать внесение в приствольную зону посадок голубики 0,4%-го раствора Оксидата торфа. При этом на почве с менее высоким уровнем плодородия использование 4%-го раствора Экоберита уступало лидирующему агроприему по эффективности в 1,5 раза и в 5 раз – при использовании его 8%-го раствора, тогда как применение 2%-го раствора препарата оказалось вовсе неэффективным. На почве с более высоким уровнем плодородия общий уровень антиоксидантной защиты при применении Оксидата торфа почти в 2 раза уступал таковому

на менее плодородной почве при абсолютном доминировании негативного влияния Экоберита на комплекс антирадикальных свойств плодов, наиболее выраженного на фоне применения его 8%-го раствора, и в 1,3 раза меньшей степени – при использовании 4%-го раствора.

Заключение. В результате сравнительного исследования в Южной агроклиматической зоне республики (Ганцевичский р-н Брестской обл.) в рамках двух полевых опытов с низким и высоким уровнем плодородия почвы влияния биологических препаратов ростостимулирующего действия – Оксидата торфа «Голубика» с микроэлементами в концентрации 0,4 % и нового микробного препарата Экоберит в концентрациях 2, 4 и 8 % на формирование энзимо-антиоксидантного комплекса плодов голубики высокорослой установлено, что уровень АОА, а также большинства окислительно-восстановительных ферментов определялся не только воздействием испытываемых агроприемов, но и уровнем плодородия почвы, и лишь для СОД ключевое значение в этом плане принадлежало первому фактору.

Независимо от состояния агрохимического фона, использование стимуляторов роста способствовало снижению общего уровня АОА, особенно на более плодородной почве. Показано, что на почве с низким уровнем плодородия в ответной реакции ферментного комплекса плодов на испытываемые агроприемы проявился отчетливый синергизм в изменении активности КАТ и ПО на фоне противоположных изменений активности ПФО и СОД. На более плодородной почве при использовании стимуляторов роста наблюдалось более выраженное, чем на менее плодородной, снижение активности КАТ, СОД и ПФО при существенном усилении активности ПО, прямо коррелировавшее с содержанием в плодах биофлавоноидов, в том числе антоциановых пигментов.

Установлено, что независимо от уровня плодородия почвы, наиболее эффективным агроприемом, обеспечившим максимальную защиту клеточных структур плодов от окислительного стресса, следовало признать внесение в приствольную зону посадок голубики 0,4%-го раствора Оксидата торфа. При этом на почве с низким уровнем плодородия использование 4%-го раствора Экоберита уступало лидирующему агроприему по эффективности в 1,5 раза, а при использовании 8%-го – в 5 раз при абсолютной неэффективности 2%-го раствора. На почве с более высоким уровнем плодородия общий уровень антиоксидантной защиты при применении Оксидата торфа почти вдвое уступал таковому на менее плодородной почве при абсолютном доминировании негативного влияния Экоберита на комплекс антирадикальных свойств плодов, наиболее выраженного на фоне применения его 8%-го раствора и уступавшего ему в 1,3 раза по данному признаку 4%-го раствора.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Влияние биологических средств защиты и регуляции роста растений на питательную и витаминную ценность плодов голубики высокорослой / Ж. Рупасова, Ф. Привалов, Н. Павловский [и др.] // Наука и инновации. – 2025. – № 10. – С. 61–67.

2. Влияние биологических средств защиты и регуляции роста растений на биофлавоноидный комплекс плодов *Vaccinium corymbosum* L. (голубики высокорослой) в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова, Н. Б. Павловский, Ф. И. Привалов [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2025. – Т. 69, № 2. – С. 137–143.

3. Влияние биологических препаратов рострегулирующего действия на содержание органических кислот, углеводов и танинов в плодах голубики высокорослой в зависимости от уровня плодородия почвы / Ж. А. Рупасова, Э. И. Коломиец, М. Н. Мандрик-Литвинкович [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т микробиологии [и др.]; редкол.: А. И. Зинченко (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2025. – Т. 17. – С. 176–192.

4. Влияние эдафического фактора на биофлавоноидный комплекс плодов голубики высокорослой на фоне применения биологических препаратов фунгицидного и рострегулирующего действия / Ж. А. Рупасова, Ф. И. Привалов, Н. Б. Павловский [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т микробиологии [и др.]; редкол.: А. И. Зинченко (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2025. – Т. 17. – С. 193–210.

5. Влияние эдафического фактора на содержание органических кислот, углеводов и танинов в плодах *Vaccinium corymbosum* L. при применении биологических регуляторов роста / Ж. А. Рупасова, Э. И. Коломиец, Т. А. Пилипчук [и др.] // Ботанический сад. – 2025. – № 4 (8). – С. 26–30.

6. Антиоксидантная активность белков отдельных видов дикорастущих растений Беларуси и Монголии / В. И. Домаш, О. А. Иванов, Т. П. Шарпио [и др.] // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. ботаники НАН Беларуси. – Мн., 2017. – Вып. 46. – С. 190–199.

7. Dung, N. T. Chimical composition, antimicrobical and antioxidant activites of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalux operculatus* (Roxb.) Merr and Perry buds / N. T. Dung, J. M. Kim, S. C. Kang // Food and chemical toxicology. – 2008. – Vol. 46, N 12. – P. 3632–3639. https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.09.013

8. Чупахина, Г. Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений: практикум / авт.-сост. Г. Н. Чупахина. – Калининград: Калинингр. гос. ун-т, 2000. – 59 с.

9. Кинетические, биохимические и биологические методы анализа. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине специализации «Кинетические, биохимические и биологические методы анализа» для студентов специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» / Курган. гос. ун-т; сост. Л. В. Мосталыгина. – Курган: [б. и.], 2016. – 30 с.

10. Воскресенская, О. Л. Большой практикум по биоэкологии: учеб. пособие / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. – 2006. – Ч. 1. – 107 с.

11. Misra, Y. P. The univalent reduction of oxygen by reduced flevins and quinines / Y. P. Misra, I. Fridovich // Journal of Biological Chemistry. – 1972. – Vol. 247, N 1. – P. 188–192.

12. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / В. Д. Мятлев, Л. А. Панченко, Г. Ю. Ризниченко, А. Т. Терехин. – М.: Изд. центр «Академия», 2009. – 320 с.

13. Полифенолоксидазная и пероксидазная активность дерново-подзолистых почв в условиях воздействия выбросов предприятия по производству строительных материалов / Е. А. Самусик, Т. П. Марчик, С. Е. Головатый // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2019. – № 3. – С. 65–79.

14. Дырин, В. А. Активность пероксидазы и полифенолоксидазы в торфе целинного и рекультивируемого участков болотной экосистемы низинного типа / В. А. Дырин // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2015. – Вып. 2. – С. 164–170.

15. Курамшина, З. М. Повышение толерантности *Triticum aestivum* к кадмий-стрессу с помощью эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* / З. М. Курамшина, Ю. В. Смирнова, Р. М. Хайруллин // Физиология растений. – 2016. – Т. 63, № 5. – С. 679–687.

16. Генотипические особенности биохимического состава и антиоксидантного комплекса плодов сортов голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова, С. Н. Авраменко, К. А. Добрянская [и др.] // Природопользование. – 2024. – № 1. – С. 185–196.

17. Генотипические особенности ответной реакции антиоксидантного комплекса плодов голубики (*Vaccinium corymbosum* L.) на применение минеральных и органических удобрений на выработанном торфянике низинного типа / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, И. В. Савосько [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2022. – Т. 67, № 1. – С. 24–32.

18. Влияние плодородия почвы на биофлавоноидный комплекс плодов *Vaccinium corymbosum* L. при применении биологических регуляторов роста / Ж. А. Рупасова, Ф. И. Привалов, Э. И. Коломиец [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2026. – Т. 71, № 2. – С. 95–103.

19. Активность супероксиддисмутазы и полифенолоксидазы семян районированных сортов сои амурской селекции / В. А. Кузнецова, А. А. Блинова, Л. Е. Иваченко [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. – 2019. – № 3. – С. 86–93.

20. The effects of ultrasonication on the phytochemicals, antioxidant, and polyphenol oxidase and peroxidase activities in coffee leaves / D. Ji, Q. Wang, T. Lu [et al.] // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 373, Pt. B. – Art. 131480. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131480

21. Flat dual-frequency sweeping ultrasound enhances the inactivation of polyphenol oxidase in strawberry juice / B. Xu, J. Chen, S. M. R. Azam [et al.] // Journal of Food Measurement and Characterization. – 2021. – Vol. 16, N 1. – P. 762–771. https://doi.org/10.1007/s11694-021-01202-3

22. Колупаев, Ю. Е. Активные формы кислорода, антиоксиданты и устойчивость растений к действию стрессоров / Ю. Е. Колупаев, Ю. В. Карпец. – Киев: Логос, 2019. – 277 с.

References

1. Rupasova Zh., Privalov F., Pavlovskii N., Kolomiets E., Pilipchuk T. The influence of biological plant protection and growth regulation on the nutritional and vitamin value of highbush blueberry fruits. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovations], 2025, no. 10, pp. 61–67 (in Russian).

2. Rupasova Zh. A., Pavlovskii N. B., Privalov F. I., Mandrik-Litvinkovich M. N., Kolomiets E. I. The effect of biopreparation for plant protection and growth regulation on bioflavonoid complex of *Vaccinium corymbosum* L. (highbush blueberry) in the conditions of Belarus. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2025, vol. 69, no. 2, pp. 137–143 (in Russian).

3. Rupasova Zh. A., Kolomiets E. I., Mandrik-Litvinkovich M. N., Pavlovskii N. B., Aleshchenkova Z. M., Sayan A. A., Ushakova A. V., Avramenko S. N., Belyi P. N., Drozd O. V. The effect of biological growth-regulating drugs on the content of organic acids, carbohydrates and tannins in the fruits of tall blueberries, depending on the level of soil fertility. *Mikrobnye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty: sbornik nauchnykh trudov* [Microbial biotechnology: fundamental and applied aspects: a collection of scientific papers]. Minsk, 2025, vol. 17, pp. 176–192 (in Russian).

4. Rupasova Zh. A., Privalov F. I., Pavlovskii N. B., Sayan A. A., Avramenko S. N., Ushakova A. V., Shpital'naya T. V., Kolomiets E. I., Mandrik-Litvinkovich M. N., Aleshchenkova Z. M. The effect of the edaphic factor on the bioflavonoid complex of tall blueberry fruits against the background of the use of biological preparations with fungicidal and growth-

regulating effects. *Mikrobnye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty: sbornik nauchnykh trudov* [Microbial biotechnology: fundamental and applied aspects: a collection of scientific papers]. Minsk, 2025, vol. 17, pp. 193–210 (in Russian).

5. Rupasova Zh. A., Kolomiets E. I., Pilipchuk T. A., Aleshchenkova Z. M., Ushakova A. V., Sayan A. S., Pavlovskii N. B., Drozd O. V., Vashkevich M. N., Belyi P. N., Vecher N. N. Influence of the edaphic factor on the content of organic acids, carbohydrates and tannins in the fruits of *Vaccinium corymbosum* L. with the use of biological growth regulators. *Botanicheskii sad* [Botanical Garden], 2025, no. 4 (8), pp. 26–30 (in Russian).

6. Domash V. I., Ivanov O. A., Sharpio T. P., Zabreiko S. A., Batkhuu G. Zh., Batsuren T. D., Tuul B. B. Antioxidant activity of proteins of some species of wild plants of Belarus and Mongolia. *Botanika (issledovaniya): sbornik nauchnykh trudov* [Botany (research): collection of scientific papers]. Minsk, 2017, iss. 46, pp. 190–200 (in Russian).

7. Dung N. T., Kim J. M., Kang S. C. Chimical composition, antimicrobical and antioxidant activites of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalux operculatus* (Roxb.) Merr and Perry buds. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, vol. 46, no. 12, pp. 3632–3639. https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.09.013

8. Chupakhina G. N. *Physiological and biochemical methods of plant analysis.* Kaliningrad: Kaliningrad state University, 2000. 59 p. (in Russian).

9. Mostalygina L. V. (comp). *Kinetic, biochemical and biological methods of analysis. Methodological guidelines for performing laboratory work in the discipline of the specialization "Kinetic, biochemical and biological methods of analysis" for students of the specialty 04.05.01 "Fundamental and Applied Chemistry"*. Kurgan, s. n., 2016. 30 p. (in Russian).

10. Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A., Polovnikova M. G. *Large practical course on bioecology.* Yoshkar-Ola, Mari State University, 2006, pt. 1. 107 p. (in Russian).

11. Misra Y. P., Fridovich, I. The univalent reduction of oxygen by reduced flevins and quinines. Journal of Biological Chemistry, 1972, vol. 247, no. 1, pp. 188–192.

12. Myatlev V. D., Panchenko L. A., Riznichenko G. Yu., Terekhin A. T. *Probability Theory and Mathematical Statistics. Mathematical Models*. Moscow, Publishing Center "Academy", 2009. 320 p. (in Russian).

13. Samusik E. A., Marchik T. P., Golovatyi S. E. Polyphenol oxidase and peroxidase activity of sod-podzolic soils under the impact of the emissions of a plant producing construction materials. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya = Journal of the Belarusian State University. Ecology*, 2019, no. 3, pp. 65–79 (in Russian).

14. Dyrin V. A. Peroxidase and polyphenoloxidase activity in peat of virgin and reclaimed areas of a lowland bog. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta = Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2015, iss. 2, pp. 164–170 (in Russian).

15. Kuramshina Z. M., Smirnova Y. V., Khairullin R. M. Increasing Triticum aestivum tolerance to cadmium stress through endophytic strains of Bacillus subtilis. *Russian Journal of Plant Physiology,* vol. 63, no. 5, pp. 636–644. https://doi.org/10.1134/S1021443716050083

16. Rupasova Zh. A., Avramenko S. N., Dobryanskaya K. A., Sulim D. O., Pavlovskii N. B., Drozd O. V. Genotypic features of the biochemical composition and antioxidant complex of fruits of highbush blueberry varieties (*Vaccinium corymbosum* L.) in the conditions of Belarus. *Prirodopol'zovanie* [Nature Management], 2024, no. 1, pp. 185–196 (in Russian).

17. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Savos'ko I. V., Belyi P. N., Domash V. I., Azizbekyan S. G., Lishtvan I. I., Goncharova L. V. Genotypic features of the response of the antioxidant complex of blueberry fruits to the use of mineral and organic fertilizers on an exhausted lowland peatland. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series*, 2022, vol. 67, no. 1, pp. 24–32 (in Russian).

18. Rupasova Zh. A., Privalov F. I., Kolomiets E. I., Avramenko S. N., Pavlovskii N. B. The influence of soil fertility on the bioflavonoid complex of *Vaccinium corymbosum* L. fruits with the use of biological growth regulators. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series*, 2026, vol. 71, no. 2, pp. 95–103 (in Russian).

19. Kuznetsova V. A., Blinova A. A., Ivachenko L. E., Fesenko E. M., Fokina Yu. V. Superoxide dismutases and polyphenoloxidases activity in the seeds of zoned varieties of soybean of the amur breeding. *Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki* [Tavricheskiy Bulletin of Agrarian Science], 2019, no. 3, pp. 86–93 (in Russian).

20. Ji D., Wang Q., Lu T., Ma H., Chen X. The effects of ultrasonication on the phytochemicals, antioxidant, and polyphenol oxidase and peroxidase activities in coffee leaves. *Food Chemistry*, 2021, vol. 373, pt. B, art. 131480. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131480

21. Xu B., Chen J., Azam S. M. R., Feng M., Wei B., Yan W., Zhou C., Ma H., Bhandari B., Ren G., Duan X. Flat dual-frequency sweeping ultrasound enhances the inactivation of polyphenol oxidase in strawberry juice. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 762–771. https://doi.org/10.1007/s11694-021-01202-3

22. Kolupaev Yu. E., Karpets Yu. V. *Reactive oxygen species, antioxidants and plant resistance to stressors*. Kyiv, Logos Publ., 2019. 277 p. (in Russian).

Информация об авторах

Рупасова Жанна Александровна – член-корреспондент, д-р биол. наук, профессор, гл. науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Коломиец Эмилия Ивановна – академик, д-р биол. наук, профессор, генеральный директор. ГНПО «Химический синтез и биотехнологии» (ул. Академика Купревича, 2, пом. 7, 220084, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kolomiets@biotech.bas-net.by

Павловский Николай Болеславович – канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь) E-mail: pavlovskiyn62@gmail.com

Авраменко Станислав Николаевич – мл. науч. сотрудник, магистрант. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: auramenkastas@gmail.com

Алещенкова Зинаида Михайловна – д-р биол. наук, профессор, гл. науч. сотрудник. Институт микробиологии НАН Беларуси (ул. Академика Купревича, 2, 220084, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: zaleschenkova@gmail.com. https://orcid.org/0009-0006-8620-4427

Information about the authors

Zhanna A. Rupasova – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), Professor, Chief Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Emilia I. Kolomiets – Academician, D. Sc. (Biol.), Professor, State Research and Production Association “Chemical Synthesis and Biotechnology” (2, office 7, Akademika Kuprevicha Str., 220084, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kolomiets@biotech.bas-net.by

Nikolai B. Pavlovsky – Ph. D. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pavlovskiyn62@gmail.com

Stanislav N. Avramenko – Junior Researcher, Master’s Student. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: auramenkastas@gmail.com

Zinaida M. Aleschenkova – D. Sc. (Biol.), Professor, Chief Researcher. Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Akademika Kuprevicha Str., 220084, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zaleschenkova@gmail.com. https://orcid.org/0009-0006-8620-4427