

**АКТИВНОСТЬ АСКОРБАТПЕРОКСИДАЗЫ В  
ПРОРОСТКАХ ТВЕРДЫХ И МЯГКИХ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА  
ТРЕХВАЛЕНТНОГО ЖЕЛЕЗА**

Г. Г. Мамедли

*Бакинский Государственный Университет*

Поступила в редакцию 8.07.2021 г.

**Аннотация.** Как известно, при стрессовых воздействиях содержание активных форм кислорода (АФК) в растительных клетках увеличивается, следовательно, повышается интенсивность свободнорадикальных окислительных процессов. В ответ на увеличение АФК, как правило, происходит активация компонентов антиоксидантной системы (АОС) защиты растений. В связи с этим, в статье рассмотрено изменение скорости окисления аскорбиновой кислоты, следовательно, активности одного из высокомолекулярных компонентов антиоксидантной системы защиты растений – аскорбатпероксидазы в двухнедельных проростках твердых и мягких сортов пшеницы под действием наночастиц (НЧ) оксида трехвалентного железа. В ходе проведенных исследований установлено, что активность аскорбатпероксидазы под воздействием НЧ оксида трехвалентного железа в проростках пшеницы зависит от сортовых характеристик. В проростках протестированных сортов твердой пшеницы НЧ оксида трехвалентного железа приводили либо к незначительному или резкому повышению скорости окисления аскорбиновой кислоты (Гырмызы бугда и Гарагылчыг-2) соответственно, либо к понижению активности аскорбатпероксидазы (Ягут), либо практически не вызывали каких-либо изменений (Гарабаг) в интенсивности окисления аскорбата. В случае мягких сортов пшеницы под воздействием НЧ оксида трехвалентного железа наблюдалось резкое повышение активности аскорбатпероксидазы в проростках сорта (Дагдаш), тогда как в проростках сортов (Шеки-1 и Мирбашир-128) наблюдалось понижение скорости окисления аскорбиновой кислоты. В проростках сорта (Гобустан) также наблюдалось повышение активности фермента. Таким образом, полученные результаты могут служить основанием для отбора сортов пшеницы, более устойчивых к абиотическим стрессорам.

**Ключевые слова:** антиоксиданты, аскорбатпероксидаза, аскорбиновая кислота, наночастицы оксида трехвалентного железа, твердые и мягкие сорта пшеницы

В течение жизни растения постоянно или периодически подвергаются действию неблагоприятных факторов окружающей среды, что приводит к усилению генерации активных форм кислорода (АФК), уровень которых в клетках растений контролируется антиоксидантной системой (АОС) защиты [1, 2]. АОС – многокомпонентная многоуровневая саморегулирующаяся система, представленная в клетках растений высокомолекулярными ферментами и рядом низкомолекулярных компонентов. Для обеспечения наиболее эффективной защиты все элементы системы находятся в постоянном взаимодействии и поддержание их баланса важно для сохранения жизнеспособности растений в стрессовых условиях [3, 4].

Одним из антиоксидантных ферментов растительной клетки является аскорбатпероксидаза (АПО; КФ 1.11.1.11) – гемсодержащий фермент, локализованный, главным образом, в хлоропластах и обладающий высоким сродством к пероксиду водорода, восстанавливая его до воды, используя при этом в качестве доноров электронов аскорбиновую кислоту, регулируя тем самым скорость окисления последней в клетке [5, 6].

Сегодня изучение проблемы устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды является одной из центральных задач современной биологии. С другой стороны, с повышением темпов потребления сельскохозяйственной продукции и с целью обеспечения продовольственной безопасности населения, аграрное производство нуждается в постоянной

интеграции достижений науки в агротехнологический процесс [7]. В связи с этим, в последние годы возрос интерес к исследованию влияния НЧ различных металлов, поступающих в окружающую среду, как в результате естественных природных процессов, так и под влиянием антропогенного фактора [8, 9].

Так, загрязнение окружающей среды высокими концентрациями НЧ неорганических материалов, обладающих измененными структурными и физико-химическими свойствами, оказывает негативное влияние на физиолого-биохимические характеристики клеток живых организмов. Например, одним из наиболее часто сообщаемых исследователями токсических эффектов наночастиц является генерация АФК в клетках, приводящая к оксидативному стрессу [10, 11]. Высокая реакционная способность АФК и свободных радикалов приводит к ускорению реакций окисления, дезинтегрирующих молекулярную основу клетки, что, в свою очередь, вызывает повреждения клеточных структур. В случае использования наночастиц в низких концентрациях, наоборот, наблюдается положительный эффект их воздействия на биологические объекты. Таким образом, результаты действия НЧ на живые организмы зависят от их концентрации [12].

Изучая накопленный экспериментальный материал, приходим к выводу, что существуют различные теории воздействия НЧ на живые системы, в то же время механизмы их биологической активности исследованы недостаточно, что требует их дальнейшего более полного изучения [13].

Данные об изменении состояния антиоксидантной системы под влиянием различных абiotических стресс-факторов получены для ряда сельскохозяйственных культур [14, 15]. В последние годы установлено, что окислительный стресс могут вызвать наночастицы на основе железа, меди и никеля, которые входят в пятерку наиболее используемых промышленными предприятиями во всём мире [16]. Предполагается, что интенсивность развития биологических эффектов высокодисперсных металлов отличается от эффектов их оксидных форм, и во многом зависит от наличия в составе металлов переменной валентности. Последние способны высвобождать токсичные ионы из своего коллоидного матрикса и стимулировать выработку активных форм кислорода [17]. Нанопорошки достаточно легко проникают в клетки семян, подготовленных к посеву, и активно влияют на ферментативную систему физиолого-биохимических реакций [18].

В целом, изучению влияния нанометаллов на растительные организмы посвящены многочисленные экспериментальные и обзорные статьи [19, 20]. Однако до настоящего времени не проводилось исследований, касающихся изучения влияния различных концентраций оксидов НЧ трехвалентного железа на функционирование компонентов АОС в проростках пшеницы. Поэтому целью нашей работы было изучить влияние НЧ оксида трехвалентного железа на активность аскорбатпероксидазы в двухнедельных проростках твердых и мягких сортов пшеницы для оценки их толерантности к действию наночастиц.

### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили по четыре сорта твердой (*Triticum durum*. Desf.) – (Гарабаг, Ягут, Гырмызы бугда и Гарагылчыг-2) и мягкой (*Triticum aestivum* L.) – (Гобустан, Дагдаш, Мирбашир-128 и Шеки-1) пшеницы, приобретенные из Научно-исследовательского института земледелия при Министерстве сельского хозяйства Азербайджана. Сначала все семена дезинфицировали 0.01% раствором  $KMnO_4$  в течение 5 минут и после трехкратного промывания дистиллированной водой контрольные и опытные семена проращивали в горшках с почвой в течение 14-ти дней при 12-часовом освещении, температуре  $24 \pm 1^\circ C$  и влажности  $80 \pm 5\%$ , не допуская высыхания в климатической камере (Taisite GZX-300E, Китай) [21].

Растения были разделены на три группы:

1. Контрольная серия (без обработки почвы НЧ железа)
2. 1-я серия (обработка почвы  $Fe_2O_3$  в концентрации 15 мг на 1 кг)
3. 2-я серия (обработка почвы  $Fe_2O_3$  в концентрации 30 мг на 1 кг)

Обработку почвы НЧ железа размером 20 на 40 нм (Skyspring Nanomaterials Inc, США) проводили однократно с учетом их предельно допустимой концентрации (ПДК): вносимое количество превышало ПДК в (2-4 раза) соответственно. Каждая серия включала по 30 семян исследованных сортов пшеницы.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Активность аскорбатпероксидазы (АПО, КФ 1.11.1.11) определяли по методике [22] с некоторыми модификациями. Метод основан на определении скорости разложения пероксида водорода аскорбатпероксидазой исследуемого образца с образованием воды и дегидроаскорбата.

Оптическую плотность регистрировали на спектрофотометре (MRC, model UV-200-RS, Израиль) при 265 нм. Для этого навеску растительного материала (3 г) гомогенизировали в охлажденной ступке с 30 мл 0.06 М фосфатного буфера, рН 7.3, с добавлением 0.9 г поливинилпирролидона. Раствёртую массу переносили в мерную колбу объемом 50 мл, доводили до метки тем же буфером, хорошо перемешивали и оставляли на 15 мин. Полученный гомогенат центрифугировали при 7000g в течение 10 мин при 4°C. Супернатант использовали для определения активности фермента.

Реакционную смесь составляли 50 мкл 0.1 мМ ЭДТА (Biochemica), 50 мкл 0.05 мМ аскорбиновой кислоты (Sigma-Ultra), 50 мкл 0.1 мМ пероксида водорода, 2.25 мл фосфатного буфера и 300 мкл растительного экстракта, полученного после центрифугирования гомогената. Активность выражали в нмолях на грамм сырой массы за единицу времени [нмоль·г<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>]. Расчет активности аскорбатпероксидазы осуществляли на основе коэффициента молярной экстинкции (E=2.8 мМ<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>) по формуле:

$$A = \frac{\Delta DV \cdot V_2}{\Delta t \cdot m \cdot V_1} = \frac{(D_1 - D_2) \cdot V_2}{(t_2 - t_1) \cdot V_1 \cdot m} \times \frac{1}{2.8}$$

где, *D1* – оптическая плотность раствора в начале определения; *D2* – оптическая плотность раствора через определённый промежуток времени; *V* – общий объём экстракта, см<sup>3</sup>; *V1* – объём фильтра в кювете, см<sup>3</sup>; *V2* – общий объём жидкости в кювете, см<sup>3</sup>; *t* – время, мин; *m* – масса навески, г. E = 2.8 мМ<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup> – молярный коэффициент экстинкции.

Опыты проводили в трехкратной биологической повторности и каждый воспроизводили независимо 3 раза. Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью лицензионного пакета программ IBM SPSS Statistics. Оценку достоверности различий средних арифметических проводили на основании коэффициента Стьюдента. Различия между группами считали достоверными при двустороннем уровне значимости *p* ≤ 0.05.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно полученным в ходе проведенных исследований результатам активность аскорбатпероксидазы в контрольных и опытных образцах исследуемых сортов пшеницы отличалась друг от друга (табл. 1, 2).

Анализ данных, представленных в табл. 1 и табл. 2, показал, что в двух из протестированных сортов твердой пшеницы Гырмызы бугда и Гарагылчыг-2 активность аскорбатпероксидазы в первой и во второй серии образцов по сравнению с контролем увеличилась на (17%, 30%) и (69%, 100%) соответственно. В проростках сорта Гарабаг, НЧ оксидов трехвалентного железа привели к незначительному увеличению активности фермента, тогда как в проростках сорта Ягут они привели к повышению активности АПО по сравнению с контролем в первой серии образцов на 11%; во второй серии, наоборот, активность аскорбатпероксидазы уменьшилась по сравнению с контролем на 19%.

Что касается мягких сортов пшеницы, наибольшая активность фермента наблюдалась в

Таблица 1

Активность аскорбатпероксидазы в контрольных и опытных образцах твердых сортов пшеницы (нмоль·г<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>)

Сорта	Контрольная серия	Опытные серии	
		1-я серия (Обработка почвы Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в концентрации 15 мг на кг)	2-я серия (Обработка почвы Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в концентрации 30 мг на кг)
Гырмызы бугда	23.17±0.21*	27.06±0.35*	30.16±0.56*
Гарабаг	26.48±0.18*	28.18±0.23*	28.53±0.20*
Ягут	48.50±0.82*	53.65±0.51*	39.15±0.43*
Гарагылчыг-2	34.70±0.33*	58.54±1.05*	69.31±1.44*

\* Различия между контрольной и опытными сериями достоверны при уровне значимости *p* ≤ 0.05

Таблица 2

Активность аскорбатпероксидазы в контрольных и опытных образцах мягких сортов пшеницы (нмоль·г<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>)

Сорта	Контрольная серия	Опытная серия	
		1-я серия (Обработка почвы Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в концентрации 15 мг на кг)	2-я серия (Обработка почвы Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в концентрации 30 мг на кг)
Мирбашир-128	27.49±0.26*	34.21±0.24*	25.18±0.17*
Гобустан	26.90±0.19*	30.86±0.22*	36.92±0.27*
Дагдаш	22.49±0.29*	69.44±1.11*	76.24±0.99*
Шеки-1	26.00±0.33*	28.46±0.16*	23.31±0.14*

\* Различия между контрольной и опытными сериями достоверны при уровне значимости *p* ≤ 0.05

обработанных проростках сорта Дагдаш, наименьшая – в контрольных образцах того же сорта. У образцов сорта Гобустан обработка семян НЧ трехвалентного железа, как в первой, так и во второй серии образцов привела к усилению активности аскорбатпероксидазы, что составило по сравнению с контролем (15%, 37%) соответственно. Для проростков сортов Шеки-1 и Мирбашир-128 в первой серии образцов наблюдалось повышение активности фермента, тогда как во второй серии образцов под действием НЧ оксидов трехвалентного железа происходило уменьшение активности аскорбатпероксидазы по сравнению с контролем на 10% и 8% соответственно.

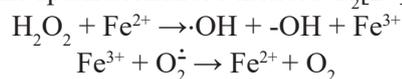
Таким образом, рассматривая полученные данные, обнаруживаем, что в первой серии образцов образуется меньше АФК, следовательно, они имеют более низкую интенсивность свободно-радикальных окислительных процессов, чем вторая серия образцов, за исключением трех сортов Мирбашир-128, Шеки-1 и Ягут. Проведенные исследования демонстрируют положительное или отрицательное воздействие оксидов НЧ трехвалентного железа на активность аскорбатпероксидазы в двухнедельных проростках различных твердых и мягких сортов пшеницы, что имеет, важное, значение для многих отраслей сельского хозяйства.

Поскольку в литературе отсутствуют данные относительно влияния наночастиц железа и его оксидов на активность аскорбатпероксидазы в проростках пшеницы, мы провели сравнительный анализ полученных результатов с литературными источниками, отражающими в себе данные об особенностях влияния хлоридного засоления на ряд использованных нами сортов пшеницы. Согласно результатам этих работ было выявлено, что засоление почвы оказывает однонаправленное действие: снижается рост, уменьшается содержание зеленых пигментов, в конечном счете, все это сказывается на урожайности растений [23]. Среди испытанных сортов были выявлены устойчивые к засолению сорта (Гырмызы бугда, Гарагылчыг-2, Гобустан и Дагдаш). Таким образом, сорта устойчивые к действию различных концентраций НЧ оксидов железа оказались устойчивыми и к засолению. Анализ представленных данных может быть использован как исходный материал для получения более устойчивых форм пшеницы.

Как известно, НЧ отличаются необычными физико-химическими свойствами, особенностями воздействия на живые организмы [24]. Последние

исследования по использованию нанотехнологий при выращивании сельскохозяйственных культур свидетельствуют об активном влиянии НЧ на процесс прорастания семян. Естественный процесс прорастания занимает много времени, но в случае обработки семян НЧ достигаются высокие показатели всхожести, что делает использование нанотехнологий мощным методом для повышения всхожести семян [25].

В литературе имеются данные относительно влияния НЧ железа и его оксидов на физиолого-биохимические процессы, протекающие в растениях [26]. Показано, что в условиях *in vivo* ·ОН образуется, главным образом, в результате катализируемой железом реакции Хабера-Вейса, которая представляет собой совокупность двух элементарных процессов: реакции Фентона и восстановления трехвалентного железа  $O_2^{\cdot-}$  [27].



Таким образом, возрастание активности аскорбатпероксидазы в наших опытах служит доказательством защитной функции растений, направленной на восстановление гидроксильных радикалов.

В работе [28] выявлено положительное влияние нанопрепаратов микроэлементов на содержание хлорофилла, активность антиоксидантных ферментов хлоропластов и урожайность пшеницы.

По мнению некоторых авторов, НЧ серебра в низких концентрациях повышали энергию прорастания и способность к прорастанию семян, их рост и развитие, интенсивность дыхания и активность ферментных систем [29]. В работе [30] нанопорошки железа увеличивали урожайность и качество зерна зерновых культур.

Таким образом, результаты исследований, проведенных с НЧ, противоречивы, и дальнейшие исследования в этом направлении целесообразны. По-видимому, подавляющее действие оксидов НЧ трехвалентного железа на активность аскорбатпероксидазы во второй серии образцов сортов Ягут, Мирбашир-128 и Шеки-1 связано с высокой концентрацией НЧ. Различия в уровнях активности фермента в исследуемых мягких и твердых сортах пшеницы могут быть связаны с их разной устойчивостью к высоким концентрациям оксидов НЧ трехвалентного железа.

Итак, в результате проведенных экспериментов выявлено, что активность аскорбатпероксидазы в проростках пшеницы под действием НЧ оксида трехвалентного железа зависит от сорто-

вых характеристик. В связи с этим, изучение механизмов воздействия НЧ оксидов металлов на скорость окисления аскорбиновой кислоты в различных сортах пшеницы заслуживает продолжения работ в данном направлении.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных данных приходим к выводу о том, что в проростках первой серии протестированных сортов твердой и мягкой пшеницы НЧ оксида трехвалентного железа приводили к повышению активности аскорбатпероксидазы, тогда как во второй серии проростков твердых сортов наблюдалось либо незначительное повышение (Гырмызы бугда), либо понижение активности аскорбатпероксидазы (Ягут, Гарабаг), тогда как в проростках сорта Гарагылчыг-2 активность фермента под действием НЧ железа была в 2 раза выше по сравнению с контролем. В случае второй серии мягких сортов пшеницы наблюдалось резкое повышение активности аскорбатпероксидазы в проростках сорта Дагдаш, тогда как в проростках сортов Шеки-1 и Мирбашир-128 наблюдалось понижение активности фермента под действием НЧ оксида трехвалентного железа. В проростках сорта Гобустан также наблюдалось повышение активности АПО.

Таким образом, полученные данные позволяют выделить сорта Гарагылчыг-2, Гырмызы бугда, Дагдаш и Гобустан как устойчивые к действию НЧ оксидов трехвалентного железа, что имеет важное значение в селекционной работе для получения устойчивых сортов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Креславский В.Д., Лось Д.А., Аллахвердиев С.И., Кузнецов Вл. В. // Физиология растений. 2012. Т. 59 (2). С. 163-178.
2. Theocharis A., Clement Ch., Varka E.A. // *Planta*. 2012. Vol. 235. P. 1091-1105.
3. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В., Обозный А.И. // Вестник Харьковского национального аграрного университета. 2011. Вып. 1. № 22. С. 6-34
4. Фролова С.А., Титов А.Ф., Таланова В.В. // Физиология растений. 2011. Т.58, №2, С. 208-212.
5. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода Москва, КДУ, 2007, 140 с.
6. Прадедова Е.В., Нимаева О.Д., Саляев Р.К. // Физиология растений. 2017. Т.64, № 6. С. 433-445. DOI: 10.7868/S0015330317050104

7. Куцкир М.В. Дисс. кан. биол. наук. Рязань, 2014, 133 с.
8. Моргалев Ю.Н., Хоч Н.С., Моргалева Т.Г., Гулик Е.С., Борило Г.А., Булатова У.А., Понявина Е.В. // Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5. № 11-12. С. 131–135.
9. Siddiqui M.H., Al-Wahaibi M.H., Mohammad F. (eds.). *Nanotechnology and plant sciences: nanoparticles and their impact on plants*. 2015. №1. P. 1-17.
10. Anjum N.A. // *Environ Res*. 2015. V. 138. P. 306-325.
11. Manke A., Wang L., Rojanasakul Y. // *BioMed. Research International*. 2013. V. 2013. P.1-15.
12. Chichirico G., Poma A. // *Nanomaterials*. 2015. V. 5. P. 851-879.
13. Ковалева Н.Ю., Раевская Е.Г., Роцин А.В. // Химическая безопасность. 2017. Т. 1, №2. С. 44-87
14. Bhagat Y., Gangadhara K., Rabinal C., Chaudhari G., Ugale P. // *J Pure App Microbiol*. 2015. V. 9. P. 737-747.
15. Jampilek J., Kral'ova K. // *Ecol. Chem. Eng. S*. 2015. V. 22. P. 321-361.
16. Buzea C., Pacheco I., Robbie K. // *Biointerphases*. 2007. V. 2, № 4. P. MR17–MR71.
17. Mirshra V. // *Emerging technologies and management of crop stress tolerance: biological techniques*. 2014. V. 1. P. 159-180.
18. Назарова А.А., Куцкир М.В. // Сборник тезисов XXIV конференции «Современная химическая физика». 2012. С. 93-94.
19. Sharma P. // *Appl Biochem Biotechnol*. 2012. V. 167. P. 2225-2233.
20. Riahi-Madvar A., Rezaee F., Jalili V. // *Iranian Journal of Plant Physiology*. 2012. V. 3 (1). P. 595-603
21. Lebedev S.V., Korotkova A.M., Osipova E.A. // *Russ. J. Plant Physiol*. 2014. 61(4). P. 564-569
22. Nakano Y., Asada K. // *Plant Cell Physiol*. 1981.V. 22. P. 867-880.
23. Ханышева М.А., Гасымова Ф.И., Азизов И.В. // Фактори експериментальної еволюції організмів. 2016. Т. 18. С. 162-164.
24. Юрин В.М., Молчан О.В. // Труды БГУ. 2015. Т.10. Ч.1. С.9-21.
25. Ma C., White J.C., Zhao J. // *Annu Rev Food Sci Technol*. 2018. V.9. P. 129.
26. Ahmad P, Sarwat M, Sharma S. // *Journal of Plant Biology*. 2008. V. 51(3). P. 167–173. DOI: 10.1007/BF03030694

27. Halliwell B., Gutteridge J.M. // Arch Biochem Biophys. 1986. V.246. P. 501-514.

28. Соколовская-Сергиенко О.Г. // Труды БГУ. 2013. Т.8. Ч.2. С. 115-120.

29. Федоренко В.Ф., Ерохин М.Н., Балабанов В.И., Буклагин Д.С., Голубев И.Г., Ищенко С.А.

Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе. Москва, ФГБНУ «Росинформротех». 2011, 312 с.

30. Егоров Н.И., Шафронов О.Д., Егоров Д.Н., Сулейманов Е.В. // Вестник Нижегородского университета. 2008. № 6. С. 94-99.

*Бакинский Государственный Университет  
Мамедли Г. Г., докторант кафедры «Биохимия и биотехнология»  
E-mail: mamedligunel92@gmail.com*

*Baku State University  
Mammadli G. H., post-graduated student of the department "Biochemistry and biotechnology"  
E-mail: mamedligunel92@gmail.com*

## THE ACTIVITY OF ASCORBATE PEROXIDASE IN SEEDLINGS OF HARD AND SOFT WHEAT VARIETIES UNDER THE INFLUENCE OF TRIVALENT FERRIC OXIDE NANOPARTICLES

G.H. Mammadli

*Baku State University*

**Abstract.** As, it is known, the content of reactive oxygen species (ROS) in plant cells increases under stressful influences, therefore, the intensity of free radical oxidative processes also increases. In response to an increase of ROS, as a rule, activation of the components of the antioxidant plant protection system (AOS) occurs. In this regard, the article considers the change in the oxidation rate of ascorbic acid, therefore, the activity of one of the high molecular weight components of the antioxidant plant protection system ascorbate peroxidase, in two-week-old seedlings of hard and soft wheat varieties under the influence of trivalent ferric oxide nanoparticles (NP). In the course of studies found that ascorbate activity under the influence of trivalent ferric oxide NPs in wheat seedlings depends on the varietal characteristics. In seedlings of tested durum wheat, ferric oxide NPs led either to an insignificant or a sharp increase in the rate of ascorbic acid oxidation (Gyrmizy bugda and Garagylchyg-2), respectively, or to a decrease in the activity of ascorbate peroxidase (Yagut), or practically did not cause any changes (Garabagh) in the rate of oxidation of ascorbate. In the case of soft wheat varieties, under the influence of NPs of ferric oxide, there was a sharp increase in the activity of ascorbate peroxidase in the seedlings of the variety (Dagdash), while in the seedlings of the varieties (Sheki-1 and Mirbashir-128), a decrease in the oxidation rate of ascorbic acid was observed. An increase in the activity of the enzyme was also observed in the seedlings of the variety (Gobustan). Thus, the obtained results can serve as the basis for the selection of wheat varieties, in order, to obtain varieties more resistant to abiotic stressors.

**Keywords:** antioxidants, ascorbate peroxidase, ascorbic acid, nanoparticles of ferric oxide, durum and soft varieties of wheat

### REFERENCES

1. Kreslavskij V.D., Los' D.A., Allahverdiev S.I., Kuznecov V.I., Fiziologija rastenij, 2012, Vol. 59 (2), pp. 163-178.

2. Theocharis A., Clement Ch., Barka E.A., Planta, 2012, Vol. 235, pp. 1091-1105.

3. Kolupaev Ju. E., Карпец Ju.V., Oboznyj A.I., Vestnik Harkovskogo nacionalnogo agrarnogo universiteta, 2011, Vol. 1, № 22, pp. 6-34.

4. Frolova S.A., Titov A.F., Talanova V.V., Fiziologija rastenij, 2011, Vol. 58, №2, pp. 208-212.

5. Poleskaja O.G. Rastitelnaja kletka i aktivnye formy kisloroda Moscow, KDU, 2007, 140 p.

6. Pradedova E.V., Nimaeva O.D., Saljaev R.K. Redox-processy biologicheskikh sistem (Obzor), Fiziologija rastenij, 2017, Vol. 64, № 6, pp. 433-445.

7. Kuckir M.V. Diss. Of PhD. Rjazan, 2014, 133 s.

8. Morgalev Ju.N., Hoch N.S., Morgaleva T.G., Gulik E.S., Borilo G.A., Bulatova U.A., Ponjavina E.V., Russian nanotechnology, 2010, Vol. 5, № 11-12, pp. 131–135.
9. Siddiqui M.H., Al-Whaibi M.H., Mohammad F. (eds.), Nanotechnology and plant sciences: nanoparticles and their impact on plants, 2015, №1, pp. 1-17.
10. Anjum N.A., Environ Res., 2015, V. 138, pp. 306-325.
11. Manke A., Wang L., Rojanasakul Y., BioMed. Research International., 2013, V. 2013, pp. 1-15.
12. Chichiricco G., Poma A., Nanomaterials, 2015, V. 5, pp. 851-879.
13. Kovaleva N.Ju., Raevskaja E.G., Roshhin A.V., Himicheskaja bezopasnost, 2017, Vol. 1, №2, pp. 44-87.
14. Bhagat Y., Gangadhara K., Rabinal C., Chaudhari G., Ugale P., J. Pure App. Microbiol., 2015, V. 9, pp. 737-747.
15. Jampilek J., Kral'ova K., Ecol. Chem. Eng. S., 2015, V. 22, pp. 321-361.
16. Buzea C., Pacheco I., Robbie K., Biointerphases, 2007, V. 2, № 4, pp. MR17–MR71.
17. Mirshra V., Emerging technologies and management of crop stress tolerance: biological techniques, 2014, V. 1, pp. 159-180.
18. Nazarova A.A., Kutskir M.V., Sbornik tezisov XXIV konferentsii "Sovremennaya khimicheskaya fizika", 2012, pp. 93-94.
19. Sharma P., Appl Biochem Biotechnol., 2012, V. 167, P. 2225-2233.
20. Riahi-Madvar A., Rezaee F., Jalili V., Iranian Journal of Plant Physiology, 2012, V. 3(1), pp. 595-603.
21. Lebedev S.V., Korotkova A.M., Osipova E.A., Russ. J. Plant Physiol., 2014, 61(4), pp. 564-569.
22. Nakano Y., Asada K., Plant Cell Physiol., 1981, V. 22, pp 867-880.
23. Hanysheva M.A., Gasyмова F.I., Azizov I.V., Faktori eksperimental'noi evoljucii organizmiv, 2016, Vol. 18, pp. 162-164.
24. Jurin V.M., Molchan O.V., Trudy BGU, 2015, Vol. 10, Ch.1, pp. 9-21.
25. Ma C., White J.C., Zhao J., Annu Rev Food Sci Technol., 2018, V. 9, pp. 129.
26. Ahmad P, Sarwat M, Sharma S., Journal of Plant Biology, 2008, V. 51(3), pp. 167–173. DOI: 10.1007/BF03030694
27. Halliwell B., Gutteridge J.M., Arch Bioch Bioph., 1986, V. 246, pp. 501-514.
28. Sokolovskaja-Sergienko O.G., Trudy BGU, 2013, Vol. 8, Ch. 2, pp. 115-120.
29. Fedorenko V.F. Erohin M.N., Balabanov V.I., Buklagin D.S., Golubev I.G., Ishhenko S.A., Nanotehnologii i nanomaterialy v agropromyshlennom komplekse, Moskva, FGBNU «Rosinformagroteh», 2011, 312 p.
30. Egorov N.I. Shafronov O.D., Egorov D.N., Sulejmanov E.V., Vestnik Nizhegorodskogo universiteta, 2008, № 6, pp. 94-99.