

УДК 633.162.631.559.2
doi:10.21685/2307-9150-2022-4-4

Сравнение активности амилаз и антиоксидантных ферментов (каталаз и пероксидаз) при солодоращении зерна различных сортов ячменя

Н. Н. Новиков¹, Р. Р. Исламгулова²

^{1,2}Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

¹tshanovikov@gmail.com, ²17regin@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В результате солодоращения в зерне активизируется ряд ферментов, среди которых большое значение имеют гидролитические и антиоксидантные ферменты. Активность ферментов и качество солода зависят не только от условий произрастания, условий хранения и проращивания, но в определенной степени от генетически обусловленных сортовых особенностей зерна. В связи с этим целью наших исследований являлось сравнение активности амилаз, каталаз и пероксидаз в процессе солодоращения семян ярового ячменя в зависимости от генотипических особенностей сортов. *Материалы и методы.* В лабораторных исследованиях использовали семена 15 сортов и сортообразцов ярового ячменя (*Hordeum vulgare*), выведенных селекционерами разных стран. Зерновки ячменя проращивали на воде в течение 7 сут при температуре 12–14 °С. В проросшем зерне определяли активность амилолитических ферментов методом йод-крахмальной пробы, каталаз – по Баху и Опарину, пероксидаз – методом пероксидного окисления тирозина. Каталитическую активность изоформ указанных ферментов при pH = 5,5, 7,0, 8,0 оценивали с использованием фосфатной буферной системы (1/15 М фосфатный буфер). *Результаты и выводы.* В зерне 7-суточных проростков наиболее высокую активность всех изоферментов амилаз (кислых, нейтральных, щелочных) имели сорта Раушан, Ксанаду и Черио, что повышало у них растворимость эндосперма при солодоращении. У сортов ячменя Надежный и Ксанаду в проросшем зерне была повышена активность всех изоферментов каталаз, а у сортов Владимир, Ксанаду и Пионер – всех изоформ пероксидаз. Высокий уровень активности указанных ферментов стабилизировал биохимические процессы в проросшем зерне и таким образом повышал способность зерновок к солодоращению.

Ключевые слова: солодоращение зерна ярового ячменя, активность амилаз, каталаз, пероксидаз при солодоращении, сорта ярового ячменя

Благодарности: авторы статьи выражают огромную благодарность ректору РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, академику РАН, д.с.-х.н., профессору Трухачеву В. И., д.с.-х.н., профессору Белопухову С. Л. за помощь и поддержку проведенных исследований.

Для цитирования: Новиков Н. Н., Исламгулова Р. Р. Сравнение активности амилаз и антиоксидантных ферментов (каталаз и пероксидаз) при солодоращении зерна различных сортов ячменя // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 36–45. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-4

Comparison of amylases and antioxidant enzymes (catalases and peroxidases) activity in the grain malting of various barley varieties

N.N. Novikov¹, R.R. Islamgulova²

^{1,2}Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev
Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹tshanovikov@gmail.com, ²17regin@mail.ru

Abstract. *Background.* As a result of malting, a number of enzymes are activated in the grain, among which hydrolytic and antioxidant enzymes are of great importance. The activity of enzymes and the quality of malt depends not only on the conditions of growth, storage and germination conditions, but also largely on the genetically determined varietal characteristics of the grain. In this regard, the purpose of our research was to evaluate the activity of amylases, catalases, and peroxidases in the process of malting spring barley seeds, depending on the genotypic characteristics of varieties of different origin. *Materials and methods.* In laboratory studies, seeds of 15 varieties of spring barley (*Hordeum vulgare*) were used, which differed in origin. Barley grains were germinated on water for 7 days at a temperature of 12-14 °C. In sprouted grain, the activity of amylolytic enzymes was determined by the method of iodine-starch test, catalases - according to Bach and Oparin, peroxidases - by the method of tyrosine peroxidation. The catalytic activity of the isoforms of these enzymes at pH=5.5, 7.0, 8.0 was evaluated using a phosphate buffer system (1/15 M phosphate buffer). *Results.* In the grain of 7-day-old seedlings, the Raushan, Xanadu and Cherio varieties had the highest activity of all amylase isoenzymes (acidic, neutral, alkaline), which increased their endosperm solubility during malting. In the barley varieties Nadezhny and Xanadu, the activity of all catalase isoenzymes was increased in the germinated grain, and in the Vladimir, Xanadu and Pioneer varieties, all isoforms of peroxidases were increased. The high level of activity of these enzymes stabilized the biochemical processes in the germinated grain and thus increased the ability of the grains to malt.

Keywords: spring barley grain malting, amylase, catalase, peroxidase activity during malting, spring barley varieties

Acknowledgments: The author extends gratitude to rector of Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy, academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of agricultural sciences, professor V.I. Trukhachev, professor S.L. Belopukhov for helping and supporting the research.

For citation: Novikov N.N., Islamgulova R.R. Comparison of amylases and antioxidant enzymes (catalases and peroxidases) activity in the grain malting of various barley varieties. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):36–45. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-4

Введение

В настоящее время возникает потребность получения необходимого количества сырья для производства пива. В этом отношении важным вопросом является создание современных сортов ячменя, способных обеспечить высококачественные, устойчивые урожаи зерна, отвечающего требованиям солодоращения, в условиях экстремального земледелия, характерного для многих регионов России и стран СНГ. С учетом специфики таких сортов и природно-климатических условий регионов разрабатываются технологические процессы выращивания пивоваренного ячменя, включающие применение

ние новых сортов для формирования высокой продуктивности растений и улучшения технологических свойств зерна [1–4].

В солодоращении важные функции выполняют амилазы и ферменты, относящиеся к классу оксидоредуктаз – каталазы и пероксидазы.

Амилазы катализируют гидролитическое расщепление крахмала в прорастающих зерновках и играют важную роль в пивоварении. Количество экстракта, интенсивность брожения, фильтрация пива и его стабильность зависят от степени гидролиза крахмала, которая зависит от активности амилолитических ферментов [5–7].

Важную антиоксидантную роль в растительном организме выполняют каталазы и пероксидазы. Каталазы катализируют разложение пероксида водорода на воду и кислород и таким образом предотвращают его накопление в клетках растений и пероксидное окисление различных органических веществ, а также компонентов клеточных мембран. Пероксидазы также снижают концентрацию пероксида водорода, так как катализируют многие реакции окисления и синтеза различных органических веществ с его участием в ходе метаболизма растений [8–10]. В ряде исследований выяснено, что активность каталаз при солодоращении увеличивается меньше, чем активность пероксидаз, так как чувствительность этих ферментов к низкой концентрации пероксида водорода ниже, чем у пероксидаз [10–13].

В связи с тем, что качество солода зависит от активности ферментов гидролитического и антиоксидантного действия в процессе прорастания зерновок, целью наших исследований являлось сравнение активности амилаз, каталаз и пероксидаз в процессе солодоращения зерна пивоваренного ячменя в зависимости от генотипических особенностей сортов различного селекционного происхождения.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели была проведена серия лабораторных исследований с различными сортами и сортообразцами ярового ячменя (*Hordeum vulgare*). В исследованиях использовали следующие сорта и сортообразцы ярового ячменя из селекционных центров разных европейских стран: Россия (Надежный, Владимир, Знатный, Раушан, Яромир, Рафаэль), Беларусь (Куфаль), Германия (Квс Харрис, Ксанаду, Квс Бекки), Франция (Пионер, Эйфель, Овертюр), Дания (Черио), Шотландия (Collie). Зерновки ячменя проращивали на воде в течение 7 сут при температуре 12–14 °С. Активность ферментов оценивали в проросшем зерне после удаления ростков и корешков. Активность амилолитических ферментов определяли методом йод-крахмальной пробы, каталаз – по Баху и Опарину [9], пероксидаз – методом пероксидного окисления тирозина (Новиков, 2016). Каталитическую активность изоформ указанных ферментов при pH = 5,5, 7,0, 8,0 оценивали с использованием фосфатной буферной системы (1/15 М фосфатный буфер).

Статистическую обработку полученного экспериментального материала проводили дисперсионным методом при использовании компьютерной программы «Straz» (Версия 2.1 информационно-вычислительного центра РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, 1991).

Результаты и обсуждение

В зерне 7-суточных проростков наиболее высокую амилазную активность имели кислые изоформы этих ферментов (табл. 1–3).

Изученные сорта по активности кислых изоформ амилаз можно разделить на две группы. Первая группа сортов обладает наиболее высокой общей амилазной активностью кислых изоформ этих ферментов (табл. 1). По мере возрастания ее величины сорта можно перечислить следующим образом: Collie, Квс Бекки, Черио, Знатный, Пионер, Раушан, Ксанаду, Надежный. Общая амилазная активность сортов первой группы составила 1080–1449 мг гидролизованного крахмала за 1 мин (в расчете на 1 г сухой массы зерна), а у второй группы сортов ярового ячменя амилазная активность была меньше в 1,5–2 раза по сравнению с сортами из первой группы и составила от 624 до 934 мг.

Таблица 1

Активность амилаз в зерне 7-суточных проростков ячменя
(мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы)

Сорт ячменя	Активность кислых изоформ амилаз (pH 5,5)	Активность нейтральных изоформ амилаз (pH 7,0)	Активность щелочных изоформ амилаз (pH 8,0)
I группа			
Надежный	1449	535	395
Ксанаду	1445	887	609
Раушан	1363	741	463
Пионер	1250	667	421
Черио	1180	692	479
КВС Бекки	1173	671	442
Знатный	1145	642	423
Collie	1080	639	496
II группа			
Ейфель	1017	610	254
КВС Харрис	934	708	472
Куфаль	878	616	361
Яромир	789	516	516
Овертюр	734	480	348
Владимир	696	406	280
Рафаэль	624	535	418
НСР ₀₅	53	31	21

Общая амилазная активность в проросшем зерне нейтральных изоформ этих ферментов у всех генотипов была существенно ниже, чем у кислых изоферментов. Наибольший уровень амилазной активности нейтральных изоформ выявлен у следующих сортов по мере возрастания ее величины: Collie, Знатный, Квс Бекки, Пионер, Черио, Квс Харрис, Раушан, Ксанаду. Активность нейтральных изоформ амилаз составила 639–887 мг гидролизованного крахмала за 1 мин (в расчете на 1 г сухой массы), что почти в 1,7 раза меньше, чем величины активности кислых изоформ амилаз.

Активность щелочных изоферментов амилаз в зерне 7-суточных проростков оказалась на более низком уровне по сравнению с активностью кислых и нейтральных амилаз. У ряда сортов была выявлена наибольшая амилазная активность щелочных изоформ этих ферментов, по мере возрастания ее величины они могут быть представлены в следующей последовательности: Рафаэль, Знатный, Квс Бекки, Раушан, Квс Харрис, Черио, Collie, Яромир, Ксанаду. Их активность составила 418–609 мг гидролизованного крахмала за 1 мин (в расчете на 1 г сухой массы), что примерно в 2,5 раза меньше, чем величины активности кислых изоформ и в 1,5 раза меньше, чем нейтральных изоформ амилаз.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о существовании сортовой специфики в отношении амилазной активности пророщенного зерна, что обусловлено генетическими особенностями изучаемых сортов и сортообразцов. Вероятно, зерно изученных групп ярового ячменя обладает и разной степенью активизации процессов солодоращения. Следует отметить, что в проросшем зерне наиболее активными оказались кислые изоформы этих ферментов. Установлено, что при проращивании зерна ячменя наибольшей активностью всех изоферментов амилаз (кислых, нейтральных, щелочных) характеризовались сорта Раушан, Ксанаду и Черио, что определяет у них высокий уровень растворимости эндосперма при солодоращении.

Проведенные исследования показали наибольшую активность каталаз и пероксидаз у щелочных изоформ этих ферментов. Однако по каждой группе изоферментов (кислых, нейтральных и щелочных) выявлены сорта с повышенным уровнем активности антиоксидантных ферментов (каталаз и пероксидаз). В группе кислых изоформ была выявлена повышенная активность каталаз в зерне 7-суточных проростков сорта Надежный, которая составила 1390 нкат (в расчете на 1 г сухой массы) (табл. 2). У остальных сортов активность кислых изоформ каталаз варьировала от 370 до 760 нкат (в расчете на 1 г сухой массы). Активность нейтральных изоформ каталаз была выше у всех изучаемых сортов по сравнению с активностью кислых изоформ этих ферментов. У сортов Раушан, Эйфель, Collie, Владимир выявлена наибольшая активность нейтральных изоформ каталаз, величина которой составила от 2000 до 2100 нкат (в расчете на 1 г сухой массы). Наименьшая активность нейтральных изоформ каталаз выявлена у сорта Пионер (1030 нкат). Остальные сорта характеризовались активностью нейтральных изоформ каталаз в пределах от 1410 до 1950 нкат.

Активность щелочных изоформ каталаз отличалась наибольшими величинами по сравнению с нейтральными и кислыми изоформами каталаз. Сорта ярового ячменя Владимир, Ксанаду, Эйфель, Collie, Надежный, Яромир характеризовались наибольшей активностью щелочных изоформ каталаз от 2100 до 2900 нкат (в расчете на 1 г сухой массы). Таким образом, была выделена группа сортов, которая отличается максимальной активностью нейтральных и щелочных каталаз: Владимир, Эйфель, Collie. Отличительной особенностью сорта Надежный является высокая активность всех изучаемых изоформ каталаз, что свидетельствует о наибольшей каталитической способности в прорастающих зерновках и стимулировании защитных реакций в условиях пероксидного окисления липидов мембранных структур. Это позволяет сохранять стабильность биохимических процессов при солодоращении.

Таблица 2

Активность каталаз в зерне 7-суточных
проростков ячменя (нкат в расчете на 1 г сухой массы)

Сорт ячменя	Активность кислых изоформ каталаз (pH 5,5)	Активность нейтральных изоформ каталаз (pH 7,0)	Активность щелочных изоформ каталаз (pH 8,0)
Надежный	1390	1950	2110
Владимир	490	2100	2900
Знатный	370	1530	1800
Раушан	550	2000	2160
Яромир	570	1770	2100
Ксанаду	640	1880	2700
Ейфель	530	2060	2540
Collie	430	2100	2160
Рафаэль	470	1780	1960
КвсБекки	620	1660	1870
Куфаль	520	1410	1670
КвсХаррис	530	1580	1630
Овертюр	760	1450	1730
Пионер	470	1030	1900
Черио	520	1610	1760
НСР ₀₅	30	100	100

Изучение активности пероксидаз в прорастающем зерне различных сортов показало наибольшие величины щелочных изоформ этих ферментов почти у всех изучаемых сортов (табл. 3). Наибольшая активность кислых изоформ пероксидаз проявилась при проращивании сортов Ксанаду, Владимир, Куфаль, Пионер и составила 10,9–12,7 мккат в расчете на 1 г сухой массы (соответственно). У остальных сортов была выявлена в 1,5–2,0 раза меньшая активность кислых изоформ пероксидаз.

При использовании нейтрального буфера было показано увеличение почти в 2 раза активности пероксидаз в зерне ячменя почти всех изученных сортов. Наибольшая активность нейтральных изоформ пероксидаз выявлена у сортов: Надежный, Ксанаду, Знатный, Пионер, Владимир, Раушан, Черио и составила 19,2–24,8 мккат (в расчете на 1 г сухой массы). При использовании щелочного буфера (pH 8,0) проявилась наибольшая активность пероксидаз всех сортов за исключением сорта Раушан. Следует отметить сорта, которые характеризовались наибольшей активностью всех изучаемых изоформ пероксидаз: Пионер, Ксанаду, Владимир, Черио, что обусловлено сортовой спецификой, которая, вероятно, определяется их селекционным происхождением.

Таким образом, изучение активности ферментов в зерне 7-суточных проростков показало, что наибольшую активность в ходе солодоращения проявляли кислые изоферменты амилаз, значительно меньшую – нейтральные и еще меньшую – щелочные изоформы указанных ферментов. Наиболее высокую активность всех форм амилаз (кислые, нейтральные, щелочные) имели сорта Раушан, Ксанаду и Черио, что свидетельствовало об их повы-

шенной способности к солодоращению. Из антиоксидантных ферментов каталаз и пероксидаз более высокую активность в проросшем зерне имели их щелочные изоферменты, меньшую – нейтральные и еще меньшую кислые изоформы. У сортов ячменя Надежный и Ксанаду в проросшем зерне была повышена активность всех изоформ каталаз (щелочные, нейтральные, кислые), а у сортов Черио, Владимир, Ксанаду и Пионер – всех изоформ пероксидаз. Высокий уровень активности этих ферментов обуславливает стабильное прохождение биохимических процессов в проросшем зерне и таким образом определяет высокую способность зерна к солодоращению.

Таблица 3

Активность пероксидаз в зерне 7-суточных
проростков ячменя (мккат в расчете на 1 г сухой массы)

Сорт ячменя	Активность кислых изоформ пероксидаз (pH 5,5)	Активность нейтральных изоформ пероксидаз (pH 7,0)	Активность щелочных изоформ пероксидаз (pH 8,0)
Надежный	7,2	19,2	25,6
Владимир	11,2	24,0	29,6
Знатный	8,0	22,4	30,5
Раушан	6,4	24,8	21,6
Яромир	5,6	15,9	24,0
Ксанаду	10,9	20,4	28,9
Ейфель	7,3	12,8	20,8
Collie	8,0	14,9	22,4
Рафаэль	6,1	12,8	17,6
КвсБекки	4,8	12,0	17,6
Куфаль	11,2	14,4	19,2
КвсХаррис	7,2	12,8	21,6
Овертюр	7,3	10,4	16,0
Пионер	12,7	23,2	28,8
Черио	8,0	24,8	35,3
НСР ₀₅	0,1	0,9	1,2

Заключение

1. Изучение действия ферментов в условиях кислой (pH = 5,5), нейтральной (pH = 7) и щелочной (pH = 8) среды показало, что в проросшем зерне у всех изученных генотипов ячменя наиболее высокую активность имели кислые изоферменты амилаз, а также щелочные изоферменты каталаз и пероксидаз.

2. В зерне 7-суточных проростков наиболее высокую активность всех изоферментов амилаз (кислых, нейтральных, щелочных) имели сорта Раушан, Ксанаду и Черио. Высокий уровень активности амилаз в зерне указанных сортов повышал у них растворимость эндосперма при солодоращении.

3. У сортов ячменя Надежный и Ксанаду в проросшем зерне была повышена активность всех изоферментов каталаз, а у сортов Владимир, Ксанаду и Пионер – всех изоформ пероксидаз. Высокий уровень активности указанных ферментов стабилизировал биохимические процессы в проросшем зерне и таким образом повышал способность зерновок к солодоращению.

Список литературы

1. Витол И. С., Карпиленко Г. П. Белково-протеиназный комплекс ячменя, выращенного на разном агрофоне с применением препаратов регуляторного действия // Прикладная биохимия и микробиология. 2007. Т. 43, № 3. С. 356–364.
2. Гайда В. К., Верхотуров В. В. Применение способов интенсификации солодоращения для повышения качества солода // Известия Иркутского государственного университета. 2008. № 2. С. 78–80.
3. Гамзаева Р. С. Динамика активности амилолитических ферментов в прорастающих зерновках ярового ячменя, выращенного на возрастающих дозах азотных удобрений // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сб. тр. науч. конф. СПб., 2018. С. 9–11.
4. Новиков Н. Н., Соловьева Н. Е. Формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 5–19.
5. Верхотуров В. В., Топорищева В. К. Активность некоторых оксидоредуктаз при хранении и солодоращении ячменя // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2004. № 2. С. 82–84.
6. Шапкарин В. В., Королев А. П., Гридина С. Б. [и др.]. Биохимия : сб. лаб. работ для студентов вузов. Кемерово : Кемеров. технол. ин-т пищевой пром., 2005. С. 83.
7. Гамзаева Р. С. Влияние фиторегуляторов эпин и циркон на амилолитическую активность и содержание редуцирующих сахаров в прорастающих зернах пивоваренного ячменя // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 44. С. 27–32.
8. Белозерская Т. А., Гесслер Н. Н. Иницирование и ингибирование свободнорадикальных процессов в биохимических пероксидазных системах // Прикладная биохимия и микробиология. 2007. Т. 43, № 5. С. 565–575.
9. Новиков Н. Н., Таразанова Т. В. Лабораторный практикум по биохимии растений. М. : Изд. РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2012. 97 с.
10. Андреева В. А. Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений. М. : Наука, 1988. 128 с.
11. Новиков Н. Н., Исламгулова Р. Р., Серегина И. И. Активность каталаз в зерне пивоваренных сортов ячменя // Актуальные вопросы агроинженерных и агрономических наук : материалы Нац. (Всерос.) науч. конф. Института агроинженерии, Института агроэкологии. Челябинск, 2021. С. 204–209.
12. Кения М. В., Лукаш А. И., Гуськов Е. П. Роль низкомолекулярных антиоксидантов при окислительном стрессе // Успехи современной биологии. 1993. № 4. С. 113.
13. Мерзляк М. Н. Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительной клетки // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер.: Физиология растений. 1989. С. 6.

References

1. Vitol I.S., Karpilenko G.P. Protein-proteinase complex of barley grown on different agricultural background with the use of drugs of regulatory action. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied biochemistry and microbiology*. 2007;43(3):356–364. (In Russ.)
2. Gayda V.K., Verkhotur V.V. Application of methods of intensification of malting to improve the quality of malt. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State University*. 2008;(2):78–80. (In Russ.)
3. Gamzaeva R.S. The dynamics of the activity of amylolytic enzymes in the germinating grains of spring barley, grown on increasing doses of nitrogen fertilizers. *Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya: sb. tr. nauch. konf.* =

- Scientific support for the development of the agro-industrial complex in the context of import substitution: collected papers.* Saint Petersburg, 2018:9–11. (In Russ.)
4. Novikov N.N., Solov'eva N.E. Formation of the brewing properties of barley grain depending on the diet and the use of phyto regulators when grown on soddy-podzolic soil. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Proceedings of Timiryazev Agricultural Academy.* 2020;(2):5–19. (In Russ.)
 5. Verkhoturov V.V., Toporishcheva V.K. Activity of some oxidoreductases during storage and malting of barley. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokho-zyaystvennykh nauk = Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences.* 2004;(2):82–84. (In Russ.)
 6. Shapkarin V.V., Korolev A.P., Gridina S.B. et al. *Biokhimiya: sb. lab. rabot dlya studentov vuzov = Biochemistry: collected laboratory works for university students.* Kemerovo: Kemerov. tekhnol. in-t pishchevoy prom., 2005:83. (In Russ.)
 7. Gamzaeva R.S. Influence of phyto regulators epin and zircon on amylolytic activity and the content of reducing sugars in germinating grains of malting barley. *Izvestiya Sankt Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of Saint Petersburg State Agrarian University.* 2016;(44):27–32. (In Russ.)
 8. Belozerskaya T.A., Gessler N.N. Initiation and inhibiting of free radical processes in biochemical per-oxidate systems. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied biochemistry and microbiology.* 2007;43(5):565–575. (In Russ.)
 9. Novikov N.N., Tarazanova T.V. *Laboratorynyy praktikum po biokhimii rasteniy = Laboratory workshop on plant biochemistry.* Moscow: Izd. RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2012:97. (In Russ.)
 10. Andreeva V.A. *Ferment peroksidaza: uchastie v zashchitnom mekhanizme rasteniy = Peroxidase enzyme: participation in the defense mechanism of plants.* Moscow: Nauka, 1988:128. (In Russ.)
 11. Novikov N.N., Islamgulova R.R., Seregina I.I. Catalase activity in malting barley grains. *Aktual'nye voprosy agroinzhenernykh i agronomi-cheskikh nauk: materialy Nats. (Vseros.) nauch. konf. Instituta agroinzhenerii, Instituta agroekologii = Topical issues of agroengineering and agronomic sciences: proceedings of the National (All-Russian) scientific conference of Institute of agricultural engineering, Institute of agroecology.* Chelyabinsk, 2021:204–209. (In Russ.)
 12. Keniya M.V., Lukash A.I., Gus'kov E.P. The role of low molecular weight antioxidants in oxidative stress. *Uspekhi sovremennoy biologii = Advances in modern biology.* 1993;(4):113. (In Russ.)
 13. Merzlyak M.N. Activated oxygen and oxidative processes in the membranes of the plant cell. *Itogi nauki i tekhniki. VINITI. Ser.: Fiziologiya rasteniy = Results of science and technology. All-Russian Institute of Scientific and Engineering Information of the Russian Academy of Sciences. Series: Plant physiology.* 1989:6. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Николай Николаевич Новиков

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: tshanovikov@gmail.com

Nikolay N. Novikov

Doctor of biological sciences, professor, professor of the sub-department of agronomic, biological chemistry and radiology, Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

Регина Рафиковна Исламгулова

аспирант, Российский государственный
аграрный университет – МСХА имени
К. А. Тимирязева (Россия,
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: 17regin@mail.ru

Regina R. Islamgulova

Postgraduate student, Russian State
Agrarian University–Moscow Timiryazev
Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya
street, Moscow, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 10.08.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 11.11.2022

Принята к публикации / Accepted 05.12.2022