

УДК 633.11.004.12 321:631.811.1  
doi:10.21685/2307-9150-2022-1-2

**Активность амилолитических и антиоксидантных ферментов  
(каталаз, пероксидаз) при солодоращении зерна ячменя  
в зависимости от размера зерновок  
и применяемых фиторегуляторов**

**Р. Р. Исламгулова<sup>1</sup>, Н. Н. Новиков<sup>2</sup>, И. И. Серегина<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Российский государственный аграрный университет – Московская  
сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>1</sup>17regin@mail.ru, <sup>2</sup>tshanovikov@gmail.com, <sup>3</sup>seregina.i@inbox.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Солодоращение, в процессе которого в прорастающем зерне ячменя существенно возрастает активность различных ферментов, имеет важное значение в пивоваренном производстве. При прорастании семян ячменя в стандартных условиях происходит образование активного комплекса ферментов амилаз, протеаз, цитаз, оксидоредуктаз, осуществляющих растворение клеток эндосперма и превращение запасных веществ в растворимые соединения. Было выявлено, что фиторегуляторы активизируют процессы прорастания и активность ферментов. Показано, что активность ферментов в процессе солодоращения также зависит от размеров зерновок и может быть повышена при использовании фиторегуляторов. В связи с этим целью наших исследований являлось изучение активности ферментного комплекса зерна ячменя при солодоращении в зависимости от размера зерновок и применяемых фиторегуляторов эпин-экстра, циркона и силипланта. *Материалы и методы.* Объектом исследований являлось зерно пивоваренного ячменя сорта «Надежный» урожая 2017 г., выращенное на выровненном агрофоне полевой экспериментальной базы Московского НИИСХ «Немчиновка». Почва экспериментального участка дерново-подзолистая среднесуглинистая. В исследованиях проводили фракционирование зерна по толщине зерновок с помощью набора сит. Оценивали химический состав зерна методом БИК-анализа. Проводили определение активности амилолитических ферментов, каталаз и пероксидаз. Каталитическую активность изоформ указанных ферментов при pH = 5,5, 7,0, 8,0 выявляли с использованием фосфатной буферной системы (1/15 М фосфатный буфер). Активность ферментов в проросшем зерне определяли после удаления ростков и корешков. Действие фиторегуляторов на процесс солодоращения зерна ячменя оценивали после 1-часового замачивания зерновок в растворах регуляторных препаратов производства АНО «НЭСТ М» силипланта, эпин-экстра и циркона. Норма расхода препаратов – 0,1 мл на 1 л обессоленной воды. *Результаты и выводы.* В опытах по фракционированию зерна пивоваренного ячменя в зависимости от толщины зерен установлено, что в покоящихся зерновках более мелкой по толщине зерен фракции (2,2–2,5 мм) повышено содержание водорастворимых белков, а в зерне проростков этой фракции выявлена высокая активность кислых, нейтральных и щелочных  $\alpha$ -амилаз. Вместе с тем в проросших зерновках наиболее крупной по толщине зерен фракции (>3 мм) отмечалась высокая активность кислых  $\beta$ -амилаз и каталаз, а также кислых, нейтральных и щелочных пероксидаз. Выявленные особенности указанных зерновых фракций улучшали пивоваренные свойства зерна. При изучении действия ферментов в условиях кислот (pH = 5,5), нейтральной (pH = 7) и щелочной (pH = 8) среды выяснено, что как в покоящемся, так и проросшем зерне ячменя наиболее высокую активность имели кислые изоферменты  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз, а также нейтральные и щелочные изоферменты

каталаз и пероксидаз. Под влиянием фиторегулятора циркона активность кислых, нейтральных и щелочных форм пероксидаз в зерне 7-суточных проростков ячменя повышалась на 43–81 %, а под действием эпин-экстра – на 28–60 %.

**Ключевые слова:** пивоваренный ячмень, фракционирование зерна по толщине зерновок, химический состав зерна, активность амилаз, каталаз, пероксидаз в прорастающем зерне

**Благодарности:** исследования проводились с участием сотрудников и оборудования Учебно-научного Центра коллективного пользования «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, авторы статьи выражают огромную благодарность ректору РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева академику РАН, доктору сельскохозяйственных наук, профессору В. И. Трухачеву, исполняющему обязанности директора Института агробιοтехнологии, доктору сельскохозяйственных наук, профессору С. Л. Белоухову, заведующему кафедрой химии, доктору сельскохозяйственных наук, доценту И. И. Дмитриевской, заведующему кафедрой агрономической, биологической химии и радиологии, доктору биологических наук, профессору С. П. Торшину, кандидату химических наук, доценту А. В. Жевнерову за помощь и поддержку проведенных исследований.

**Для цитирования:** Исламгулова Р. Р., Новиков Н. Н., Серегина И. И. Активность амилотических и антиоксидантных ферментов (каталаз, пероксидаз) при солодоращении зерна ячменя в зависимости от размера зерновок и применяемых фиторегуляторов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 1. С. 13–28. doi:10.21685/2307-9150-2022-1-2

## The activity of amyolytic and antioxidant enzymes (catalases, peroxidases) during malting of barley grain depending on the grains' size and the applied phyto regulators

R.R. Islamgulova<sup>1</sup>, N.N. Novikov<sup>2</sup>, I.I. Seregina<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev  
Agricultural Academy, Moscow, Russia

<sup>1</sup>17regin@mail.ru, <sup>2</sup>tshanovikov@gmail.com, <sup>3</sup>seregina.i@inbox.ru

**Abstract. Background.** Malting, during which the activity of various enzymes significantly increases in the germinating barley grain, is of great importance in the brewing industry. During the germination of barley seeds under standard conditions, the formation of an active complex of enzymes amylases, proteases, cytases, oxidoreductases, dissolving endosperm cells and converting reserve substances into soluble compounds. It was found that phyto regulators activate germination processes and enzyme activity. It has been shown that the activity of enzymes in the process of malting also depends on the grains' size and can be increased with the use of phyto regulators. The purpose of the research is to study the activity of the enzyme complex of barley grain during malting, depending on the size of the grains and the applied phyto regulators epin-extra, zircon and siliplant. *Materials and methods.* The object of the research is the grain of “Nadezhniy” malting barley harvested in 2017, grown on a leveled agrobacground of the field experimental base of Moscow Research Institute of Agriculture “Nemchinovka”. The soil of the experimental plot is soddy-podzolic medium loamy. In the studies, the grain was fractionated according to the thickness of the grains using a set of sieves. The chemical composition of the grain was evaluated by NIR analysis. The activity of amyolytic enzymes, catalases and peroxidases was determined. The catalytic activity of the isoforms of these enzymes at pH = 5.5, 7.0, 8.0 was detected using a phosphate buffer system (1/15 M phosphate buffer). The activity of

enzymes in the germinated grain was determined after the removal of sprouts and roots. The effect of phyto regulators on the process of malting barley grain was evaluated after 1-hour soaking of grains in solutions of regulatory preparations produced by ANO "NEST-M" siliplant, epin-extra and zircon. The consumption rate of drugs is 0.1 ml per 1 liter of demineralized water. *Results and conclusions.* In experiments on grain fractionation of brewing barley, depending on the thickness of the grains, it was found that in the dormant grains of a fraction that is finer in grain thickness (2.2–2.5 mm), the content of water-soluble proteins is increased, and in the seedling grain of this fraction, a high activity of acidic, neutral and alkaline  $\alpha$ -amylases. At the same time, in the germinated caryopses of the fraction with the largest grain thickness (>3 mm), a high activity of acid  $\beta$ -amylases and catalases, as well as acidic, neutral, and alkaline peroxidases, was noted. The identified features of these grain fractions improved the brewing properties of the grain. When studying the action of enzymes in acidic (pH = 5.5), neutral (pH = 7) and alkaline (pH = 8) environments, it was found that both in resting and germinated barley grains, acid isoenzymes  $\alpha$ - and  $\beta$ -amylases, as well as neutral and alkaline isoenzymes of catalase and peroxidase. Under the effect of the phyto regulator zircon, the activity of acidic, neutral and alkaline forms of peroxidases in the grain of 7-day-old barley seedlings increased by 43–81 %, and under the action of epin-extra, by 28–60 %.

**Keywords:** malting barley, grains fractionation by their thickness, chemical composition of grain, activity of amylases, catalases, peroxidases in germinating grain

**Acknowledgments:** the research was carried out with the participation of employees and equipment of the Educational and Scientific Center for Collective Use "Service Laboratory for the Comprehensive Analysis of Chemical Compounds" of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, the authors extend gratitude to the rector of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of agricultural sciences, professor V.I. Trukhachev, to the acting director of Institute of Agrobiotechnologies, doctor of agricultural sciences, professor S.L. Belopukhov, to the head of the sub-department of chemistry, doctor of agricultural sciences, associate professor I.I. Dmitriyevskaya, to the head of the sub-department of agronomic, biological chemistry and radiology, doctor of biological sciences, professor S.P. Norshin, to the candidate of chemical sciences, associate professor A.V. Zhevnerov for helping and supporting the research.

**For citation:** Islamgulova R.R., Novikov N.N., Seregina I.I. The activity of amylolytic and antioxidant enzymes (catalases, peroxidases) during malting of barley grain depending on the grains' size and the applied phyto regulators. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(1):13–28. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-1-2

## Введение

В пивоваренном производстве важное значение имеет процесс солодоращения, в ходе которого при стандартных условиях проводится проращивание зерна ячменя с целью образования активного комплекса ферментов амилаз, протеаз, цитаз, оксидоредуктаз, осуществляющих растворение клеток эндосперма и превращение запасных веществ в растворимые соединения.

При увеличении влажности прорастающего зерна вначале происходит активация гидролитических ферментов в щитке зародыша и затем в клетках алейронового слоя, в результате чего инициируется их проникновение в эндосперм, в котором под действием амилаз крахмал превращается в растворимые углеводы, а с участием протеолитических ферментов запасные белки

гидролизуются до аминокислот. Цитазы осуществляют гидролиз структурных полисахаридов клеточных стенок и таким образом усиливают проникновение в клетки эндосперма амилаз и протеаз [1–4].

Из амилолитических ферментов наиболее сильным действием на крахмал в прорастающих зерновках обладают  $\alpha$ -амилазы, которые синтезируются в алейроновых клетках и представлены несколькими изоферментами.  $\beta$ -амилазы локализованы главным образом в эндосперме, где они связаны с молекулами запасных белков. В непроросшем зерне эти ферменты составляют 70–90 % общей амилазной активности, а в прорастающем зерне возрастает доля  $\alpha$ -амилаз (до 70–90 % общей активности амилаз). При засушливых условиях и усилении режимов азотного, фосфорного и калийного питания растений в непроросшем и прорастающем зерне ячменя активность  $\alpha$ -амилаз повышается, а  $\beta$ -амилаз – несколько снижается [5–9].

В ходе солодоращения в прорастающем зерне ячменя существенно возрастает активность протеолитических ферментов, которые расщепляют запасные белки до аминокислот, необходимых для питания дрожжей в процессе брожения. Наиболее высокая активность этих ферментов отмечается на 5–7 сут прорастания зерна [10–14].

В процессе солодоращения важные функции выполняют ферменты антиоксидантного действия – пероксидазы и каталазы. Пероксидазы катализируют окисление пероксидом водорода в прорастающем зерне большого набора органических веществ, участвуя таким образом в активации процесса прорастания и снижении окислительного воздействия пероксида водорода на липидные группировки клеточных мембран. Защитная функция каталазы осуществляется в ходе реакции разложения пероксида водорода на воду и кислород. В зерновках, сформировавшихся во влажных условиях, повышена активность каталаз, но в определенной степени понижена пероксидазная активность. При усилении азотного, фосфорного, калийного питания растений ячменя формируется зерно, в котором в ходе солодоращения возрастает активность пероксидаз [15–18].

В ходе исследований показано, что активность ферментов в процессе солодоращения зависит от размеров зерновок и может быть повышена при использовании фиторегуляторов. Активизация прорастания и повышение активности амилаз, протеаз, антиоксидантных ферментов в прорастающем зерне наблюдались при замачивании зерновок ячменя в растворах эпинэкстра, новосила, кварцетина, крезацина, АП Субтилина А и др. [19–22].

Целью наших исследований было выяснение влияния размеров зерновок на химический состав и способность к солодоращению зерна ячменя сорта «Надежный», которая оценивалась по активности амилаз и ферментов антиоксидантного действия – каталаз и пероксидаз. В связи с важной ролью пероксидаз зерна в активации солодоращения и защите от пероксидного окисления клеточных мембран изучалась также возможность усиления действия этих ферментов при применении фиторегуляторов.

### Материалы и методы

В качестве объекта исследования было использовано зерно пивоваренного ячменя сорта «Надежный» урожая 2017 г., выращенное на выровненном

агрофоне полевой экспериментальной базы Московского НИИСХ «Немчиновка». Почва экспериментального участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание гумуса – 2 %,  $pH_{KCl}$  – 5,9;  $N_T$  – 1,9,  $S$  – 13 мг-экв./100 г;  $P_2O_5$  – 270,  $K_2O$  – 110 мг/кг почвы (по Кирсанову).

Фракционирование зерна по толщине зерновок проводили с помощью набора сит, химический состав оценивали методом БИК-анализа. Активность амилолитических ферментов определяли методом йод-крахмальной пробы, каталаз – по Баху и Опарину [15], пероксидаз – методом пероксидного окисления тирозина [9]. Каталитическую активность изоформ указанных ферментов при  $pH = 5,5, 7,0, 8,0$  выявляли с использованием фосфатной буферной системы (1/15 М фосфатный буфер).

Зерновки ячменя проращивали на воде в течение 3, 5, 7 сут при температуре 12–14 °С. Активность ферментов в проросшем зерне определяли после удаления ростков и корешков. Действие фиторегуляторов на процесс солодоращения зерна ячменя оценивали после 1-часового замачивания зерновок в растворах регуляторных препаратов производства АНО «НЭСТ М» силипланта, эпин-экстра и циркона. Норма расхода препаратов – 0,1 мл на 1 л обессоленной воды.

Статистическую оценку экспериментальных данных выполняли методом дисперсионного анализа с применением компьютерной программы “Straz” (версия 2.1 информационно-вычислительного центра РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 1989–1991).

### Результаты и обсуждение

Зерно урожая 2017 г. разделяли на фракции по толщине зерновок. Оно характеризовалось хорошими показателями пивоваренных свойств: пленчатость – 8,3 %, натура – 735 г/л, масса 1000 зерен – 50 г, способность прорастания – 98,4 %, экстрактивность – 81,5 %, количество мелких зерен – 0,4 %. Наибольшую долю составляли фракции с толщиной зерновок 2,8–3 мм (54,3 %) и 2,5–2,8 мм (34,8 %), тогда как зерновки толщиной 2,2–2,5 мм – 4,9 % и наиболее крупные зерновки толщиной более 3 мм – 5,6 % (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав фракций зерна ячменя сорта «Надежный», различающихся по толщине зерновок (% сухой массы)

Толщина зерновок, мм	Доля фракции, %	Содержание белков	Крахмал	Клетчатка	Сырой жир
2,2–2,5	4,9	9,7	56,8	2,7	2,4
2,5–2,8	34,8	9,4	56,7	2,9	2,3
2,8–3	54,3	9,1	56,1	2,4	1,7
>3	5,6	10,2	56,0	2,4	1,9
НСР <sub>05</sub>	1,2	0,5	0,5	0,2	0,3

Самые крупные зерновки ячменя толщиной >3 мм имели наибольшее содержание белков 10,2 %, по сравнению с более мелкими фракциями зерна

увеличение произошло в 1,05–1,12 раза при  $НСР_{05} = 0,5$ . При этом в самой крупной фракции зерна получено меньшее содержание крахмала 56,0 %, которое возросло на 0,8 % при  $НСР_{05} = 0,5$  по сравнению с самой маленькой фракцией зерна (2,2–2,5 мм). Содержание сырого жира составило 1,9 %, против 2,4 % в самой мелкой фракции зерна (при  $НСР_{05} = 0,3$ ). Содержание клетчатки с самой крупной фракцией зерна составило 2,4 %, против 2,7 % во фракции 2,2–2,5 мм (при  $НСР_{05} = 0,2$ ). Было выявлено, что наибольшая по массе фракция зерна с толщиной зерновок 2,8–3 мм имела пониженное содержание всех указанных химических компонентов. Показано, что в этой фракции зерновок содержание белка составило 9,1 %, содержание крахмала – 56,1 %, содержание клетчатки – 2,4 %, содержание сырого жира – 1,7 %. Достоверные различия были получены только по содержанию белка. В целом можно отметить, что основные фракции зерна с толщиной зерновок 2,5–3 мм имели содержание белков и крахмала не ниже нормативных требований к пивоваренному ячменю.

В более мелком зерне с толщиной зерновок 2,2–2,5 мм было достоверное повышение содержания легкорастворимых (водорастворимых 10,5 % при  $НСР_{05} = 0,5$  и глобулинов 12,5 % при  $НСР_{05} = 0,6$ ) и неэкстрагируемых белков 15,4 % при  $НСР_{05} = 0,6$  по сравнению с более крупными фракциями зерна. При этом показано достоверное понижение количества глютелинов до 28,5 % при  $НСР_{05} = 1,5$  (табл. 2). Во всех других зерновых фракциях состав белков изменялся в сторону понижения концентрации легкорастворимых и неэкстрагируемых белков и повышения содержания глютелинов, что снижало пивоваренные свойства зерна, так как уменьшение концентрации легкорастворимых белков ухудшает свойства солода, а увеличение количества глютелинов замедляет растворение эндосперма при солодоращении. Так, в самых крупных фракциях зерна более 3 мм получено наименьшее количество водорастворимых белков 9,4 и 9,2 % соответственно при  $НСР_{05} = 0,5$ , неэкстрагируемых белков 13,5 и 13,4 % соответственно при  $НСР_{05} = 0,6$ . При этом содержание глютелинов получено наиболее среди всех фракций зерновок и составило 31,8 и 32,0 % при  $НСР_{05} = 1,5$ . Таким образом, между указанными самыми крупными фракциями достоверных различий не получено. Содержание гордеинов белка изменялось недостоверно, так как их количество не зависит ни от условий выращивания, ни от условий хранения зерна.

Таблица 2

Содержание белковых фракций в зерновках ячменя, различающихся по толщине (азот фракций в % от общего белкового азота)

Толщина зерновок, мм	Водорастворимые белки	Глобулины	Гордеины	Глютелины	Неэкстрагируемые белки
2,2–2,5	10,5	12,5	33,1	28,5	15,4
2,5–2,8	9,7	11,3	34,6	31,6	12,8
2,8–3	9,4	11,1	34,2	31,8	13,5
>3	9,2	11,5	33,9	32,0	13,4
$НСР_{05}$	0,5	0,6	1,7	1,5	0,6

В покое и проросшем зерне ячменя выявлена высокая активность кислых  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз и более низкая активность нейтральных и щелочных форм этих ферментов (табл. 3, 4). В покое зерне активность кислых  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз была получена 3,8–4,7 и 31,1–48,4 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы соответственно. В то время как активность нейтральных и щелочных  $\alpha$ -амилаз снижалась в среднем на 20–30 % по сравнению с активностью кислых  $\alpha$ -амилаз, а активность нейтральных и щелочных  $\beta$ -амилаз снижалась в 2–2,6 раз по сравнению с активностью кислых  $\beta$ -амилаз. Было установлено, что по мере возрастания крупности зерновок в покое зерне активность кислых и нейтральных  $\alpha$ -амилаз повышалась, а в проросшем зерне снижалась. Активность щелочных  $\alpha$ -амилаз в покое зерне повышалась во фракциях мелких (толщиной 2,2–2,5 мм) и крупных (толщиной >3 мм) зерновок и составила 3,4 и 3,9 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы соответственно, тогда как в проросшем зерне была повышена в наиболее мелких зерновках от 36 до 251 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы по сравнению с наиболее крупными зерновками с 66,1 до 125 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы в зависимости от продолжительности проращивания.

Таблица 3

Активность  $\alpha$ -амилаз в зерне ячменя (мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы) в различных фракциях зерновок

Толщина зерновок, мм	Покоящееся зерно	Продолжительность проращивания зерна		
		3 сут	5 сут	7 сут
Кислые $\alpha$ -амилазы (pH = 5,5)				
2,2–2,5	3,8	91,0	322	612
2,5–2,8	4,1	95,2	172	561
2,8–3	4,2	91,3	207	512
>3	4,7	92,5	317	326
НСР <sub>05</sub>	0,2	4,6	13	25
Нейтральные $\alpha$ -амилазы (pH = 7,0)				
2,2–2,5	2,9	105,6	156	313
2,5–2,8	3,2	89,5	142	220
2,8–3	3,3	96,1	148	226
>3	3,5	107,4	139	196
НСР <sub>05</sub>	0,2	4,9	7	12
Щелочные $\alpha$ -амилазы (pH = 8,0)				
2,2–2,5	3,4	36,0	90	251
2,5–2,8	2,9	57,2	103	122
2,8–3	3,1	70,7	105	145
>3	3,9	66,1	92	125
НСР <sub>05</sub>	0,1	2,9	5	8

Таблица 4

Активность  $\beta$ -амилаз в зерне ячменя (мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы) в различных фракциях зерновок

Толщина зерновок, мм	Покоящееся зерно	Продолжительность проращивания зерна		
		3 сут	5 сут	7 сут
Кислые $\beta$ -амилазы (pH = 5,5)				
2,2–2,5	31,1	69,5	72,7	81,6
2,5–2,8	28,9	54,9	69,4	104,6
2,8–3	29,5	58,9	71,0	146,3
>3	48,4	70,3	78,0	154,6
НСР <sub>05</sub>	1,7	3,2	3,6	6,1
Нейтральные $\beta$ -амилазы (pH = 7,0)				
2,2–2,5	17,8	43,0	52,3	62,9
2,5–2,8	16,1	35,5	45,4	76,9
2,8–3	16,6	30,3	43,0	65,4
>3	18,9	40,8	49,1	64,1
НСР <sub>05</sub>	0,9	1,9	2,2	3,4
Щелочные $\beta$ -амилазы (pH = 8,0)				
2,2–2,5	18,2	34,2	38,1	42,7
2,5–2,8	15,9	25,9	34,5	51,0
2,8–3	16,5	26,9	39,8	54,9
>3	19,7	29,1	33,9	41,7
НСР <sub>05</sub>	0,8	1,5	1,8	2,4

Сопоставляя амилазную активность в зерновках ячменя разных размеров, можно отметить, что во фракции проросшего мелкого зерна с толщиной зерновок 2,2–2,5 мм (зерно 7-суточных проростков) была получена повышенная активность  $\alpha$ -амилаз, которая составила от 612 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы для кислых  $\alpha$ -амилаз до 251 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы для щелочных  $\alpha$ -амилаз, но сниженная  $\beta$ -амилазная активность (от 81,6 до 42,2 мг) гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы, что в целом не улучшало пивоваренные свойства зерна. С другой стороны, проросшие зерновки самой крупной зерновой фракции (с толщиной зерновок более 3 мм) характеризовались более низкой активностью всех форм  $\alpha$ -амилаз от 25,0 до 125,0 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы и щелочных  $\beta$ -амилаз (41,7 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы), что явно ухудшало их пивоваренные показатели. Вместе с тем основные по массе фракции зерна с толщиной зерновок 2,5–3 мм при проращивании в течение 7 сут имели достаточно высокую активность как  $\alpha$ -амилаз от 145 до 512 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы, так и  $\beta$ -амилаз от 54,9 до 146,3 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы.

Активность всех форм  $\beta$ -амилаз в покоящемся зерне была повышена в мелких и крупных зерновках от 0,34–0,49 мг гидролизованного крахмала за

1 мин в расчете на 1 г сухой массы (активность кислых форм  $\beta$ -амилаз) до 1,15–1,16 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы (активность щелочных  $\beta$ -амилаз). В проросшем зерне 7-суточных проростков для кислых, нейтральных и щелочных амилаз получены разные результаты. Активность кислых  $\beta$ -амилаз возрастала по мере увеличения размеров зерновок с 81,6 до 154,6 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы (почти в 2 раза при  $\text{НСР}_{05} = 6,1$ ). Активность нейтральных форм этих ферментов была повышена в зерновой фракции с толщиной зерновок 2,5–2,8 мм, щелочных форм – понижена в мелких и крупных зерновках, однако данные изменения недостоверны.

В отличие от амилаз в покоем зерне была понижена активность кислых и повышена активность нейтральных и щелочных каталаз (табл. 5). Активность кислых каталаз составила 0,34–0,43 мккат в расчете на 1 г сухой массы, нейтральных каталаз – 1,05–1,12 мккат в расчете на 1 г сухой массы, щелочных каталаз – 1,09–1,12 мккат в расчете на 1 г сухой массы. Причем более высокая активность кислых каталаз была характерна для фракций наиболее крупных и мелких зерен 0,34 и 0,43 мккат в расчете на 1 г сухой массы соответственно при  $\text{НСР}_{05}$  0,03, в то время как активность нейтральных и щелочных каталаз не зависела от размера зерновок. Такая же закономерность отмечалась и в проросшем зерне. По активности нейтральных и щелочных каталаз в покоем и прорастающем зерне фракции с разной толщиной зерновок существенно не различались. В зерне 7-суточных проростков активность кислых каталаз возрастала в 4–7 раз, а нейтральных и щелочных каталаз – в среднем в 2 раза.

Таблица 5

Активность каталаз в зерне ячменя в разных фракциях зерновок  
(мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы)  
в разных фракциях зерновок

Толщина зерновок, мм	Покоящееся зерно	Продолжительность проращивания зерна		
		3 сут	5 сут	7 сут
1	2	3	4	5
Кислые каталазы (pH = 5,5)				
2,2–2,5	0,34	0,79	0,93	1,55
2,5–2,8	0,19	0,57	0,87	1,37
2,8–3	0,21	0,76	0,89	1,41
>3	0,43	0,89	1,05	1,78
$\text{НСР}_{05}$	0,03	0,08	0,09	0,15
Нейтральные каталазы (pH = 7,0)				
2,2–2,5	1,09	1,72	2,05	2,19
2,5–2,8	1,05	1,69	1,96	2,16
2,8–3	1,08	1,71	1,99	2,17
>3	1,12	1,76	2,06	2,29
$\text{НСР}_{05}$	0,11	0,17	0,20	0,22

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5
Щелочные каталазы (pH = 8,0)				
2,2–2,5	1,15	1,83	2,12	2,26
2,5–2,8	1,09	1,76	2,03	1,98
2,8–3	1,11	1,78	2,06	2,19
>3	1,16	1,85	2,16	2,31
НСР <sub>05</sub>	0,11	0,18	0,21	0,22

В покоящемся и прорастающем зерне ячменя относительно меньше была активность кислых пероксидаз с 0,8 до 1,7 мккат в расчете на 1 г сухой массы и значительно выше нейтральных пероксидаз с 2,6 до 3,4 мккат в расчете на 1 г сухой массы и щелочных пероксидаз с 3,4 до 5,1 мккат в расчете на 1 г сухой массы (табл. 6). К седьмым суткам прорастания активность всех пероксидаз увеличивалась в 5–7 раз. Повышенная активность кислых пероксидаз выявлена в наиболее крупных зерновках и составила 25,1 мккат в расчете на 1 г сухой массы при НСР<sub>05</sub> 1, тогда как в других зерновых фракциях она была примерно на одном уровне. При прорастании активность нейтральных и щелочных пероксидаз была минимальной в мелком зерне и достоверно возрастала по мере увеличения размеров зерновок. Максимальная активность нейтральных и щелочных пероксидаз была получена в самой большой фракции зерновок. Она составила 26,1 и 30,4 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы соответственно.

Таким образом, можно отметить, что в зерне 7-суточных проростков фракции мелких зерновок была повышена активность кислых и щелочных каталаз, но понижена активность нейтральных и щелочных пероксидаз, поэтому данная зерновая фракция имела средние показатели антиоксидантной защиты. Лучшие показатели имела фракция самых крупных зерновок, в которых при прорастании была повышена активность кислых и щелочных каталаз, а также кислых, нейтральных и щелочных пероксидаз. Однако эта фракция составляла лишь 5,6 % от общей массы зерна, тогда как основная масса зерна была представлена фракциями с толщиной зерновок 2,5–3 мм, которые характеризовались средними, но достаточно высокими показателями активности каталаз и пероксидаз.

Учитывая важную роль пероксидаз в активации процесса прорастания зерна и антиоксидантной защите клеточных мембран, нами выяснялась возможность усиления активности этих ферментов под действием фиторегуляторов – эпин-экстра, циркона и силипланта. Зерновки ячменя в течение 1 ч замачивали в водных растворах указанных фиторегуляторов и затем проращивали в течение 3, 5 и 7 сут при температуре 12–14 °.

Наиболее сильное действие на пероксидазы прорастающего зерна ячменя оказывал циркон, который на 7 сут проращивания повышал в зерновках активность кислых форм этих ферментов по сравнению с контролем (вариант без фиторегуляторов) на 70,2 %, нейтральных пероксидаз – на 81,3 %, щелочных – на 43,8 % (табл. 7). Под воздействием эпин-экстра усиление пероксидазной активности в прорастающем зерне было существенно ниже: кислых

пероксидаз – на 36,2 %, нейтральных – на 60 %, щелочных – на 28,6 %. Силиплант существенно не влиял на активность пероксидаз в зерне 7-суточных проростков ячменя.

Таблица 6

Влияние размера зерновок на активность пероксидаз в зерне ячменя  
(мккат в расчете на 1 г сухой массы)

Толщина зерновок, мм	Покоящееся зерно	Продолжительность проращивания зерна		
		3 сут	5 сут	7 сут
Кислые пероксидазы (pH = 5,5)				
2,2–2,5	0,8	1,8	3,0	4,8
2,5–2,8	0,9	1,9	2,2	4,7
2,8–3	0,9	2,0	3,0	4,7
>3	1,7	3,7	5,9	25,1
НСР <sub>05</sub>	0,1	0,2	0,4	1,0
Нейтральные пероксидазы (pH = 7,0)				
2,2–2,5	2,6	6,6	9,4	15,8
2,5–2,8	3,4	8,2	11,4	17,7
2,8–3	3,4	9,0	19,6	24,0
>3	3,4	10,7	18,3	26,1
НСР <sub>05</sub>	0,3	0,9	1,5	1,7
Щелочные пероксидазы (pH = 8,0)				
2,2–2,5	3,4	9,3	15,1	20,8
2,5–2,8	4,3	9,3	14,4	21,8
2,8–3	4,3	10,5	21,1	27,3
>3	5,1	11,9	26,9	30,4
НСР <sub>05</sub>	0,4	1,0	1,9	0,9

Таким образом, по показателям химического состава и активности амилаз, каталаз, пероксидаз в покоящемся и проросшем зерне ячменя от основной массы зерна существенно отличались фракции более мелких (толщиной 2,2–2,5 мм) и крупных (толщиной >3 мм) зерновок. В более мелкой фракции зерна отмечалось повышенное содержание водорастворимых и неэкстрагируемых белков, глобулинов, но была понижена концентрация глютелинов, что положительно влияло на пивоваренные свойства зерна. Кроме того, в покоящемся зерне этой фракции была повышена активность щелочных  $\alpha$ -амилаз, нейтральных и щелочных  $\beta$ -амилаз, кислых каталаз, но снижена активность кислых и нейтральных  $\alpha$ -амилаз, нейтральных и щелочных пероксидаз. В проросшем зерне указанной фракции выявлена высокая активность кислых, нейтральных и щелочных  $\alpha$ -амилаз и пониженная активность нейтральных пероксидаз, кислых и щелочных  $\beta$ -амилаз. Повышение активности рассматриваемых ферментов в проросшем зерне ускоряло солодоращение, а снижение их активности замедляло этот процесс.

Таблица 7

Влияние фиторегуляторов на активность пероксидаз в прорастающем зерне ячменя (мккат в расчете на 1 г сухой массы)

Фиторегуляторы	Продолжительность проращивания зерна		
	3 сут	5 сут	7 сут
Кислые пероксидазы (pH = 5,5)			
Без фиторегуляторов	1,9	3,0	4,7
Эпин-экстра	2,3	4,3	6,4
Циркон	2,6	4,5	8,0
Силиплант	2,1	3,0	4,8
НСР <sub>05</sub>	0,1	0,2	0,3
Нейтральные пероксидазы (pH = 7,0)			
Без фиторегулятора	2,6	4,9	8,0
Эпин-экстра	4,0	6,1	12,8
Циркон	5,2	6,3	14,5
Силиплант	2,6	5,9	8,0
НСР <sub>05</sub>	0,2	0,3	0,5
Щелочные пероксидазы (pH = 8,0)			
Без фиторегулятора	4,3	6,1	11,2
Эпин-экстра	5,3	8,3	14,4
Циркон	6,6	10,6	16,1
Силиплант	4,4	7,6	11,3
НСР <sub>05</sub>	0,3	0,4	0,7

В наиболее крупных зерновках по сравнению с основными по массе фракциями зерна ячменя содержалось больше белков и была повышена активность кислых, нейтральных и щелочных форм  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз, кислых каталаз, кислых и щелочных пероксидаз. В проросших зерновках данной фракции отмечалась высокая активность кислых  $\beta$ -амилаз и каталаз, а также кислых, нейтральных и щелочных пероксидаз, но пониженная активность кислых и нейтральных  $\alpha$ -амилаз и щелочных  $\beta$ -амилаз.

Оценивая в целом уровень активности амилаз, каталаз и пероксидаз в условиях кислой (pH = 5,5), нейтральной (pH = 7) и щелочной (pH = 8) среды, можно отметить, что как в покое, так и проросшем зерне ячменя наиболее высокую активность имели кислые изоферменты  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз, а также нейтральные и щелочные изоферменты каталаз и пероксидаз.

В опытах с проростками пивоваренного ячменя было установлено заметное действие на активность пероксидаз в зерне проростков фиторегулятора циркона, который повышал активность кислых, нейтральных и щелочных пероксидаз (на 43–81 %). Отмечено также высокое действие на указанные ферменты фиторегулятора эпин-экстра, который повышал активность всех форм пероксидаз на 28–60 %. Полученные данные свидетельствуют о том, что указанные фиторегуляторы активизируют процесс прорастания зерна и таким образом могут ускорять его солодоращение, а также развитие проростков при выращивании ячменя на семена.

### Заключение

1. В опытах с фракционированием зерна пивоваренного ячменя в зависимости от толщины зерен установлено, что по показателям химического состава и активности амилаз, каталаз, пероксидаз в покоящихся и проросших зерновках существенно отличались фракции более мелких (толщиной 2,2–2,5 мм) и крупных (толщиной >3 мм) зерен, которые составляли сравнительно небольшую долю в общей зерновой массе (10,5 %).

2. В ходе исследований было выяснено, что в покоящихся зерновках более мелкой по толщине зерен фракции повышено содержание водорастворимых белков, а в зерне проростков выявлена высокая активность кислых, нейтральных и щелочных  $\alpha$ -амилаз. В проросших зерновках наиболее крупной по толщине зерен фракции отмечалась высокая активность кислых  $\beta$ -амилаз и каталаз, а также кислых, нейтральных и щелочных пероксидаз. Выявленные особенности указанных зерновых фракций улучшали пивоваренные свойства зерна ячменя.

3. Изучение действия ферментов в условиях кислой (pH = 5,5), нейтральной (pH = 7) и щелочной (pH = 8) среды показало, что как в покоящемся, так и проросшем зерне ячменя наиболее высокую активность имели кислые изоферменты  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз, а также нейтральные и щелочные изоферменты каталаз и пероксидаз.

4. В опытах с проростками пивоваренного ячменя установлено заметное влияние на активность пероксидаз фиторегулятора циркона, под действием которого активность кислых, нейтральных и щелочных форм этих ферментов в зерне 7-суточных проростков возрастала на 43–81 %, и фиторегулятора эпин-экстра, повышавшего активность всех форм пероксидаз на 28–60 %.

### Список литературы

1. Гамзаева Р. С. Динамика активности амилотических 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.
2. Кисилева Т. Ф., Миллер Ю. Ю., Гребенникова Ю. В. [и др.]. Техника и технология пищевых производств // Техника и технология пищевых производств. 2016. № 1. С. 11–17.
3. Кунце В., Мит Г. О. Технология солода и пива. СПб. : Профессия, 2003. 911 с.
4. Нарцисс Л., Куреленкова А. А. Краткий курс пивоварения. СПб. : Профессия, 2007. 640 с.
5. Новиков Н. Н. Биохимия растений. М. : ЛЕНАНД, 2021. 680 с.
6. 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. Вып. 2. С. 5–19.
7. Хозиев О. А., Хозиев А. М., Цугкиева В. Б. Технология пивоварения. СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2016. 560 с.
8. Delcour J. A., Verschaeve S. G. Malt diastatic power. Part 1. A modified EBC diastatic power assay for the selective estimation of  $\alpha$ -amylase activity. Time and temperature dependence of the release of reducing sugars // J. Inst. Brew. 1987. № 93. P. 296–301.
9. Sopanen T., Lauriere C. Release and activity of bound beta-amylase in a germinating barley grain // Plant Physiology. 1989. Vol. 89. P. 244–249.

10. Новиков Н. Н., Соловьева Н. Е. Влияние режима питания и фиторегуляторов (новосил, эпин) на качество зерна и состав белков пивоваренного ячменя при выращивании на дерново-подзолистой почве // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2019. Вып. 3. С. 5–18.
11. Новиков Н. Н., Соловьева Н. Е. Формирование качества зерна пивоваренного ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 2019. № 2. С. 43–51.
12. Новиков Н. Н., Соловьева Н. Е. Формирование качества зерна пивоваренного ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. М. : ЭЙПИСИПАБЛИШИНГ, 2020. С. 53–57.
13. Полевой В. В., Саламатова Т. С. Физиология роста и развития растений. Л. : ЛГУ, 1991. 240 с.
14. Worbel R., Jones V. L. Appearance of endoproteolytic enzymes during the germination of barley // Plant Physiol. 1992. № 100. P. 1508–1516.
15. Новиков Н. Н., Таразанова Т. В. Лабораторный практикум по биохимии растений. М. : Изд-во РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2012. 97 с.
16. Новиков Н. Н. Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства : учеб. пособие. М. : Изд-во РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2014. 194 с.
17. Рожанская О. А., Королев К. Г., Шилова Т. В. [и др.]. Регуляция солодоращения с помощью нанобиокмполитов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. № 6. С. 103–109.
18. Mahmoudi T., Oveisi M. R., Jannat B. [et al.]. Antioxidant activity of Iranian barley grain cultivars and their malts // African Journal of Food Science. 2015. Vol. 9. P. 534–539.
19. Витол И. С., Карпиленко Г. П. Белково-протеиназный комплекс ячменя, выращенного на разном агрофоне с применением препаратов регуляторного действия // Прикладная биохимия и микробиология. 2007. № 3. С. 356–364.
20. Гайда В. К., Верхотуров В. В. Применение способов интенсификации солодоращения для повышения качества солода // Известия Иркутского государственного университета. 2008. № 2. С. 78–80.
21. Ермолаева Г. А., Будакова Э. Д. Получение пивоваренного солода с применением биокатализаторов из ячменя Республики Башкортостан // Пиво и напитки. 2008. № 5. С. 34–36.
22. Соловьева Н. Е., Новиков Н. Н. Формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 59, № 8. С. 124–131.
23. Новиков Н. Н. Новый метод определения активности пероксидаз в растениях // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2016. Вып. 3. С. 36–46.

## References

1. Gamzaeva R.S. Dynamics of activity of amylolytic enzymes in 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: proceedings*. Saint-Petersburg, 2018:9–11. (In Russ.)
2. Kisileva T.F., Miller Yu.Yu., Grebennikova Yu.V. [et al.]. Technique and technology of food production. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Technique and technology of food production*. 2016;(1):11–17. (In Russ.)

3. Kuntse V., Mit G.O. *Tekhnologiya soloda i piva = Malt and beer technology*. Saint-Petersburg: Professiya, 2003:911. (In Russ.)
4. Nartsiss L., Kurelenkova A.A. *Kratkiy kurs pivovareniya = A short course in brewing*. Saint-Petersburg: Professiya, 2007:640. (In Russ.)
5. Novikov N.N. *Biokhimiya rasteniy = Plant biochemistry*. Moscow: LENAND, 2021: 680. (In Russ.)
6. 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.)
7. Khoziev O.A., Khoziev A.M., Tsugkueva V.B. *Tekhnologiya pivovareniya = Brewing technology*. Saint-Petersburg; Moscow; Krasnodar: Lan', 2016:560. (In Russ.)
8. Delcour J.A., Verschaeve S.G. Malt diastatic power. Part 1. A modified EBC diastatic power assay for the selective estimation of p-amylase activity. Time and temperature dependence of the release of reducing sugars. *J. Inst. Brew.* 1987;(93):296–301.
9. Sopanen T., Lauriere S. Release and activity of bound beta-amylase in a germinating barley grain. *Plant Physiology*. 1989;89:244–249.
10. Novikov N.N., Solov'eva N.E. The effect of diet and phyto regulators (Novosil, Epin) on grain quality and protein composition of malting barley when grown on soddy-podzolic soil. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Proceedings of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019;(3):5–18. (In Russ.)
11. 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. *Agrokhimiya = Agrochemistry*. 2019;(2):43–51. (In Russ.)
12. 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. *Bezopasnost' i kachestvo sel'skokhozyaystvennogo syr'ya i prodovol'stviya: sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf. = Safety and quality of agricultural raw materials and food: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Moscow: EyPiSi-Publishing, 2020:53–57. (In Russ.)
13. Polevoy V.V., Salamatova T.S. *Fiziologiya rosta i razvitiya rasteniy = Physiology of plant growth and development*. Leningrad: LGU, 1991:240. (In Russ.)
14. Worbel R., Jones B.L. Appearance of endoproteolytic enzymes during the germination of barley. *Plant Physiol.* 1992;(100):1508–1516.
15. Novikov N.N., Tarazanova T.V. *Laboratornyy praktikum po biokhimiya rasteniy = Laboratory workshop on plant biochemistry*. Moscow: Izd-vo RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2012:97. (In Russ.)
16. Novikov N.N. *Biokhimicheskie osnovy formirovaniya kachestva produktsii rasteniyevodstva: ucheb. posobie = Biochemical bases for the formation of the quality of crop production: textbook*. Moscow: Izd-vo RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2014: 194. (In Russ.)
17. Rozhanskaya O.A., Korolev K.G., Shilova T.V. [et al.]. Malting regulation with nanobiocomposites. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki = Siberian bulletin of agricultural sciences*. 2014;(6):103–109. (In Russ.)
18. Mahmoudi T., Oveisi M.R., Jannat B. [et al.]. Antioxidant activity of Iranian barley grain cultivars and their malts. *African Journal of Food Science*. 2015;9:534–539.
19. 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;(3):356–364. (In Russ.)
20. Gayda V.K., Verkhoturov 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.)

21. Ermolaeva G.A., Budakova E.D. Obtaining brewing malt using biocatalysts from barley of the Republic of Bashkortostan. *Pivo i napitki = Beer and drinks*. 2008;(5):34–36. (In Russ.)
22. Solov'eva N.E., Novikov N.N. Formation of the brewing properties of barley grain depending on the diet and the use of phyto regulators when grown on soddy-podzolic soil. *Butlerovskie soobshcheniya = Butlerov bulletin*. 2019;59(8):124–131. (In Russ.)
23. Novikov N.N. A new method for determining the activity of peroxidases in plants. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Proceedings of Timiryazev Agricultural Academy*. 2016;(3):36–46. (In Russ.)

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

##### ***Регина Рафиковна Исламгулова***

аспирант, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия 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)

##### ***Николай Николаевич Новиков***

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

E-mail: tshanovikov@gmail.com

##### ***Nikolai 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)

##### ***Инга Ивановна Серегина***

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

E-mail: seregina.i@inbox.ru

##### ***Inga I. Seregina***

Doctor of biological sciences, associate 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)

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

**Поступила в редакцию / Received 19.01.2022**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 14.02.2022**

**Принята к публикации / Accepted 09.03.2022**