

УДК 661.162.66: 577.151.63:633.111.1  
doi:10.21685/2307-9150-2022-4-3

## Влияние регуляторов роста на активность амилолитических ферментов в зерне яровой пшеницы

И. И. Серегина<sup>1</sup>, М. Анка<sup>2</sup>, Н. Н. Новиков<sup>3</sup>,  
С. Л. Белопухов<sup>4</sup>, И. И. Дмитриевская<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Российский государственный аграрный университет –  
МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>1</sup>seregina.i@inbox.ru, <sup>2</sup>maya5anka.93m@gmail.com, <sup>3</sup>tshanovikov@gmail.com,  
<sup>4</sup>sbelopuhov@rgau-msha.ru, <sup>5</sup>i.dmitrevskaya@rgau-msha.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Известно, что одним из основных показателей биохимических изменений, происходящих при прорастании семян, является усиление ферментативной активности амилолитического комплекса. В связи с этим целью проведенных исследований явилось изучение ферментативной активности различных изоформ амилазного комплекса зерна яровой мягкой пшеницы сорта Дарья в состоянии покоя и при прорастании в зависимости от применения регуляторов роста. В результате исследований были изучены следующие вопросы: влияние биорегуляторов роста растений на активность изоформ  $\alpha$ -амилаз и  $\beta$ -амилаз в покоящемся и пророщенном зерне. *Материалы и методы.* В условиях полевых опытов выращивали яровую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Дарья при использовании foliarной обработки растений различными регуляторами роста в течение вегетационного периода. После уборки урожая в полученном зерне пшеницы для оценки качества семенного материала определяли активность кислых, нейтральных и щелочных изоформ амилолитического комплекса в покоящемся и пророщенном зерне. *Результаты.* Установлено, что активность изоформ амилазных ферментов зависела от применяемых в течение вегетационного периода регуляторов роста. Установлено, что в покоящемся зерне наибольшую эффективность на активность изоформ  $\alpha$ -амилаз проявили биопрепарат Харди, а также смесь препаратов Харди и Феровит, что определяет хорошие семенные качества зерна яровой пшеницы. Использование защитно-стимулирующего комплексного биопрепарата и регулятора роста Феровит при выращивании яровой пшеницы оказало существенное действие на активность изоформ  $\alpha$ -амилаз при проращивании полученного зерна, что определяет высокий уровень растворимости эндосперма и способствует улучшению ростовых функций проростков. Выявлено, что изменения, происходящие в ферментативной активности амилолитического комплекса зерна пшеницы, определялись разной эффективностью действующего вещества используемых препаратов.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, изоформы  $\alpha$ -амилаз, изоформы  $\beta$ -амилаз, биорегуляторы роста растений

**Финансирование:** исследование осуществлялось в РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева в рамках гранта Фонда содействия инновациям (Фонд Бортника) «Новые органоминеральные удобрения, корректоры роста и развития зерновых и зернобобовых культур».

**Благодарности:** авторы статьи выражают огромную благодарность ректору РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, академику РАН, д.с.-х.н., профессору Трухачеву В. И., заведующему лабораторией кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Исламгуловой Р. Р., заведующему кафедрой агрономической, биологиче-

ской химии и радиологии, д.б.н., профессору Торшину С. П., д.б.н., профессору Дорожкиной Л. А. за помощь и поддержку проведенных исследований.

**Для цитирования:** Серегина И. И., Анка М., Новиков Н. Н., Белопухов С. Л., Дмитриевская И. И. Влияние регуляторов роста на активность амилолитических ферментов в зерне яровой пшеницы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 24–35. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-3

## Influence of growth regulators on the activity of amylolytic enzymes in spring wheat grain

I.I. Seregina<sup>1</sup>, M. Anka<sup>2</sup>, N.N. Novikov<sup>3</sup>, S.L. Belopukhov<sup>4</sup>, I.I. Dmitrevskaya<sup>5</sup>

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

<sup>1</sup>seregina.i@inbox.ru, <sup>2</sup>maya5anka.93m@gmail.com, <sup>3</sup>tshanovikov@gmail.com,  
<sup>4</sup>sbelopuhov@rgau-msha.ru, <sup>5</sup>i.dmitrevskaya@rgau-msha.ru

**Abstract.** *Background.* It is known that one of the main indicators of biochemical changes occurring during seed germination is an increase in the enzymatic activity of the amylolytic complex. In this regard, the purpose of the studies was to study the enzymatic activity of various isoforms of the amylase complex of grains of spring soft wheat variety Darya at rest and during germination, depending on the use of growth regulators. As a result of the research, the following issues were studied: the effect of plant growth bioregulators on the activity of  $\alpha$ -amylase and  $\beta$ -amylase isoforms in dormant and germinated grain. *Materials and methods.* Under the conditions of field experiments, spring wheat (*Triticum aestivum* L.) of the Darya variety was grown using foliar treatment of plants with various growth regulators during the growing season. After harvesting, the activity of acidic, neutral and alkaline isoforms of the amylolytic complex in dormant and germinated grain was determined in the resulting wheat grain to assess the quality of the seed material. *Results.* It was found that the activity of isoforms of amylase enzymes depended on the growth regulators used during the growing season. It was found that in the dormant grain, the biological preparation Hardy and, as well as a mixture of Hardy and Ferovit preparations, showed the highest efficiency on the activity of  $\alpha$ -amylase isoforms, which determines the good seed quality of spring wheat grain. The use of a protective-stimulating complex biological product and growth regulator Ferovit in the cultivation of spring wheat had a significant effect on the activity of  $\alpha$ -amylase isoforms during the germination of the resulting grain, which determines the high level of endosperm solubility and improves the growth functions of seedlings. It was revealed that the changes occurring in the enzymatic activity of the amylolytic complex of wheat grain were determined by the different effectiveness of the active substance of the drugs used.

**Keywords:** spring wheat,  $\alpha$ -amylase isoforms,  $\beta$ -amylase isoforms, plant growthbioregulators

**Acknowledgments:** the research was taken in Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev within the Innovation Promotion Foundation (Bortnik Foundation) grant “New organomineral fertilizers, correctors for the growth and development of grain and leguminous crops”. The authors extends gratitude to V.I. Trukhachev (rector of Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, academician of the Russian Academy of Sciences), to R.R. Islamgullova (head of the labarotary of the sub-departmnet of agronomic, biological chemistry and radiology), to S.P. Torshin (doctor of biological sciences, professor, head of the sub-department of agronomic, biological chemistry and radiology), to L.A. Dorozhkina (doctor of biological sciences, professor) for help and support of the research.

**For citation:** Seregina I.I., Anka M., Novikov N.N., Belopukhov S.L., Dmitrevskaya I.I. Influence of growth regulators on the activity of amylolytic enzymes in spring wheat grain. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2022;(4):24–35. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-3

### Введение

Известно, что интенсивность процессов перехода семян из состояния покоя в активное состояние зависит от внешних условий и характеристик, обусловленных сортовыми особенностями выращиваемой культуры. Активность протекания процессов набухания семян определяется физиолого-биохимическими реакциями, связанными с прорастанием, а также внешними воздействиями, которым они подвергаются перед посевом. При прорастании семян происходит распад сложных запасных высокомолекулярных материалов в эндосперме на более простые растворимые низкомолекулярные вещества. Под влиянием соответствующих ферментов осуществляется синтез высокомолекулярных соединений, характерных для конкретного растения и необходимых для прорастания и формирования новых тканей и органов нового растения [1–5]. При прорастании семян содержание ферментов существенно возрастает, что связано с усилением интенсивности дыхания. При дыхании зерна происходит полное и частичное окисление углеводов, что способствует разрушению структуры эндосперма семени. Таким образом, в процессе прорастания происходит перестройка ферментного комплекса цельного зерна и изменение активности гидролитических и амилолитических ферментных комплексов. В связи с этим одним из основных показателей биохимических изменений, сопровождающих прорастание семян, является усиление ферментативной активности амилолитического комплекса и в первую очередь  $\alpha$ -амилазы [1–4, 6].

На активность  $\alpha$ -амилаз зерна при прорастании существенное влияние оказывают фитогормоны растений, минеральные удобрения, синтетические регуляторы роста, микроэлементы [6–8]. Показано, что применение минеральных удобрений, микроэлементов и регуляторов роста способствует активизации биохимических процессов в созревающем зерне, влияя на процессы формирования его качества и в прорастающем зерне, стимулируя процессы прорастания [8–11].

Обработку яровых культур проводят различными биопрепаратами с целью стимуляции роста растений, особенно в его ранние сроки, а также с целью создания соответствующих условий для повышения устойчивости к засухе, фитопатогенам и другим стрессовым состояниям [12–15]. Была выявлена высокая эффективность действия регуляторов роста на физиолого-биохимические показатели и фотосинтетический потенциал растений в онтогенезе, что способствовало увеличению урожайности сельскохозяйственных культур [16–18].

В связи с этим целью проведенных исследований явилось изучение ферментативной активности различных изоформ амилазного комплекса зерна яровой мягкой пшеницы сорта Дарья в состоянии покоя и при прорастании в зависимости от применения регуляторов роста. В результате исследований были изучены следующие вопросы: влияние биорегуляторов роста растений

на активность изоформ  $\alpha$ -амилаз и  $\beta$ -амилаз в покое и пророщенном зерне.

### Материал и методы

Для решения поставленных вопросов был проведен микрополевой опыт на учебном опытном поле РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева. Объектом исследований была яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Дарья. Сорт Дарья является среднеспелым, устойчивым к полеганию, по хлебопекарным качествам относится к ценным сортам пшеницы. Оригинатор сорта – РНИУП «Институт земледелия и селекции НАН Беларуси». Для проведения исследований семена пшеницы сорта Дарья были предоставлены ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка». Почва опытного участка – урбанозем типичный с агрохимической характеристикой:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,2$  (ГОСТ 26483-85),  $\text{Hг} 0,9$  мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 26212-91),  $\text{S} - 24,3$  (ГОСТ 27821-88),  $\text{N}_{\text{ш.г.}} - 90$  мг/кг почвы (по Корнфилду). Обеспеченность подвижными формами фосфора – 155 мг/кг почвы (V класс), калия – 182 мг/кг почвы (V класс) (по Кирсанову) (ГОСТ Р 54650-2011).

Проведение полевых исследований осуществляли по общепринятым методикам [19]. Общая площадь опытной делянки – 1 м<sup>2</sup>. Посев семян проводили из расчета 5 млн всхожих семян на 1 га. Делянки размещали путем организованных повторений. Повторность опыта – 4-кратная. Биорегуляторы роста применяли путем foliarной обработки вегетирующих растений в начале V и VI этапов органогенеза. При обработке исследуемых растений пшеницы использовали растворы регуляторов роста: защитно-стимулирующий комплексный биорегулятор (ЗСК), Феровит, Харди, смесь препаратов Харди – Феровит (1:1). В качестве контроля растения обрабатывали дистиллированной водой, той же, что и для приготовления растворов регуляторов роста. После уборки урожая и после уборочного дозревания полученное зерно использовали для лабораторных исследований.

Активность исследуемых ферментов определяли в сухом (покоящемся) зерне и при его проращивании [20]. Изоформы амилаз определяли с использованием 1/15 М фосфатного буфера при pH 5,5, pH 7,0, pH 8,0. Процесс проращивания семян проводили в лабораторных условиях в чашках Петри в течение 7 сут и определяли изоформы амилаз посуточно на 3, 5 и 7-е сут. Статистическую обработку полученных результатов исследований проводили с использованием программного комплекса статистического обслуживания «STPAZ» [19].

### Результаты и обсуждение

Полученные результаты исследований показали, что под влиянием изучаемых биорегуляторов роста изменяется активность амилалитических ферментов в зерне яровой пшеницы (табл. 1, 2). Было установлено, что в покоящихся семенах пшеницы, не подвергшихся проращиванию, наблюдается очень низкая активность всех изоформ ферментов  $\alpha$ -амилаз. Следует отметить, что на этом этапе, во время послеуборочного дозревания, вероятно, преобладают процессы синтеза некоторых запасных веществ в эндосперме семени. Это обуславливает стабильное состояние зерна, что имеет большое значение при его хранении. Выявлено, что применение биорегуляторов роста при выращивании яровой пшеницы способствовало увеличению общей ами-

политической активности покоящегося зерна, что определяет интенсификацию процессов гидролиза по мере его прорастания и усиление ростовых процессов.

Таблица 1

Влияние биорегуляторов роста на активность изоформ  $\alpha$ -амилаз (мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы) в зерне яровой пшеницы

| Применение биорегулятора                         | Покоящееся зерно | Продолжительность проращивания зерна, сут |       |       |
|--------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|-------|-------|
|                                                  |                  | 3                                         | 5     | 7     |
| Активность кислых изоформ α-амилаз (pH 5,5)      |                  |                                           |       |       |
| Контроль                                         | 2,6              | 72,3                                      | 95,3  | 119,6 |
| ЗСК                                              | 2,8              | 87,9                                      | 115,0 | 158,7 |
| Феровит                                          | 3,5              | 171,2                                     | 177,8 | 224,9 |
| Харди                                            | 8,1              | 100,7                                     | 113,8 | 125,0 |
| Феровит+Харди                                    | 4,3              | 76,0                                      | 80,4  | 136,7 |
| НСР <sub>05</sub>                                | 0,2              | 7,3                                       | 6,2   | 8,0   |
| Активность нейтральных изоформ α-амилаз (pH 7,0) |                  |                                           |       |       |
| Контроль                                         | 2,6              | 84,0                                      | 97,8  | 106,4 |
| ЗСК                                              | 3,0              | 89,4                                      | 134,8 | 182,3 |
| Феровит                                          | 2,7              | 149,9                                     | 173,9 | 175,9 |
| Харди                                            | 4,4              | 74,5                                      | 125,9 | 116,8 |
| Феровит+Харди                                    | 3,8              | 77,6                                      | 85,4  | 161,7 |
| НСР <sub>05</sub>                                | 0,2              | 6,8                                       | 5,5   | 6,9   |
| Активность щелочных изоформ α-амилаз (pH 8,0)    |                  |                                           |       |       |
| Контроль                                         | 3,1              | 89,9                                      | 93,4  | 99,8  |
| ЗСК                                              | 3,3              | 98,6                                      | 136,3 | 116,8 |
| Феровит                                          | 2,6              | 146,0                                     | 130,1 | 109,3 |
| Харди                                            | 4,2              | 69,9                                      | 136,2 | 81,3  |
| Феровит+Харди                                    | 3,6              | 89,1                                      | 118,4 | 139,2 |
| НСР <sub>05</sub>                                | 0,2              | 6,9                                       | 5,9   | 6,1   |

Установлено, что биопрепараты, используемые в период выращивания яровой пшеницы, оказали неодинаковое действие на активность изоформ амилазного комплекса зерна. Максимальная активность кислых изоформ  $\alpha$ -амилаз получена при применении биопрепарата Харди (табл. 1). Активность кислых изоформ  $\alpha$ -амилаз в данном варианте составила 8,1 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы против 2,6 мг в контрольном варианте (возрастание произошло в 3,1 раза по отношению к контрольному варианту). Использование при выращивании и других регуляторов роста способствовало увеличению активности кислых  $\alpha$ -амилаз. Так, возрастание активности кислых  $\alpha$ -амилаз по отношению к контрольным вариантам варьировало от 7 % при использовании защитно-стимулирующего комплексного биостимулятора до 65 % при использовании смеси Харди+Феровит. Следует отметить, что применение регулятора роста Феровит привело к увеличению активности только кислых изоформ  $\alpha$ -амилаз на 35 % по отношению к контролю. Биопрепараты Харди и смесь Харди и Феровита повышали активность нейтральных и щелочных изоформ  $\alpha$ -амилаз, хотя в меньшей степени по сравнению с кислыми изоформами. По отношению

к контрольным вариантам выявлено увеличение активности нейтральных изоформ  $\alpha$ -амилаз на 69 и 46 % соответственно и щелочных изоформ  $\alpha$ -амилаз – на 35 и 16 % соответственно. Отмечено, что использование защитно-стимулирующего биопрепарата способствовало увеличению активности нейтральных изоформ  $\alpha$ -амилаз покоящегося зерна на 15 % и щелочных изоформ  $\alpha$ -амилаз на 6 % по отношению к контрольным вариантам. Выявлено, что активность изоформ  $\beta$ -амилаз под действием биопрепаратов в покоящемся зерне пшеницы снижалась или не изменялась по сравнению с контрольными вариантами (табл. 2). Таким образом, можно сделать вывод, что общая амилазная активность покоящегося зерна возрастала в основном в результате роста активности  $\alpha$ -амилаз.

Таблица 2

Влияние регуляторов роста на активность изоформ  $\beta$ -амилаз (мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы) в зерне яровой пшеницы

| Применение биорегулятора                         | Покоящееся зерно | Продолжительность проращивания зерна, сут |       |       |
|--------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|-------|-------|
|                                                  |                  | 3                                         | 5     | 7     |
| Активность кислых изоформ β-амилаз (pH 5,5)      |                  |                                           |       |       |
| Контроль                                         | 72,0             | 131,4                                     | 193,8 | 261,5 |
| ЗСК                                              | 71,4             | 257,8                                     | 275,0 | 361,2 |
| Феровит                                          | 66,5             | 269,4                                     | 127,3 | 330,7 |
| Харди                                            | 64,9             | 218,5                                     | 227,8 | 193,9 |
| Феровит+Харди                                    | 64,5             | 212,1                                     | 196,3 | 231,1 |
| НСР <sub>05</sub>                                | 3,5              | 9,2                                       | 11,2  | 13,9  |
| Активность нейтральных изоформ β-амилаз (pH 7,0) |                  |                                           |       |       |
| Контроль                                         | 71,1             | 138,2                                     | 223,8 | 196,3 |
| ЗСК                                              | 67,6             | 192,4                                     | 163,6 | 102,9 |
| Феровит                                          | 69,4             | 220,2                                     | 149,0 | 163,9 |
| Харди                                            | 67,4             | 175,1                                     | 220,4 | 95,3  |
| Феровит+Харди                                    | 64,1             | 124,4                                     | 175,4 | 132,6 |
| НСР <sub>05</sub>                                | 3,4              | 7,4                                       | 8,1   | 7,6   |
| Активность щелочных изоформ β-амилаз (pH 8,0)    |                  |                                           |       |       |
| Контроль                                         | 69,8             | 120,0                                     | 239,6 | 196,8 |
| ЗСК                                              | 67,6             | 182,2                                     | 130,1 | 71,8  |
| Феровит                                          | 67,9             | 172,7                                     | 121,0 | 124,4 |
| Харди                                            | 67,2             | 126,3                                     | 184,0 | 112,3 |
| Феровит+Харди                                    | 64,3             | 106,3                                     | 122,9 | 105,6 |
| НСР <sub>05</sub>                                | 3,7              | 6,2                                       | 6,6   | 6,8   |

Было установлено, что при прорастании зерна происходит резкое возрастание активности ферментов амилолитического комплекса (табл. 1, 2). Результаты исследований показали, что на третьи сутки проращивания увеличение активности как изоформ  $\alpha$ -амилаз (в 16–55 раз), так и изоформ  $\beta$ -амилаз (в 1,6–4,1 раз) по сравнению с активностью изоформ амилаз покоящегося зерна. В дальнейшем по мере прохождения процессов прорастания увеличение активности амилазного комплекса семян пшеницы снижалось. Наибольшая активность кислых, нейтральных и щелочных  $\alpha$ -амилаз получена на седьмые сутки проращивания семян пшеницы. Биорегуляторы в большин-

стве вариантов опыта увеличивали активность  $\alpha$ -амилаз при прорастании семян, активизируя разные изоформы ферментного комплекса.

При прорастании семян защитно-стимулирующий биостимулятор способствовал увеличению активности кислых, нейтральных и щелочных изоформ  $\alpha$ -амилаз, которое на седьмые сутки проращивания зерна по отношению к контрольным вариантам составило 33, 71 и 17 % соответственно (см. табл. 1). При этом активность  $\beta$ -амилаз возрастала только для кислых изоформ ферментов и на седьмые сутки на 38 % по отношению к контролю (см. табл. 2). Активность нейтральных и щелочных изоформ  $\beta$ -амилаз снижалась в 1,9 раз и в 2,7 раз соответственно по отношению к контролю.

Применение биопрепарата Феровит способствовало увеличению активности кислых, нейтральных и щелочных  $\alpha$ -амилаз пророщенного зерна (см. табл. 2). Выявлено, что активность изоформ  $\alpha$ -амилаз возрастала в течение семи суток. Однако интенсивность нарастания активности  $\alpha$ -амилаз к седьмым суткам снижалась. Так, увеличение активности кислых изоформ  $\alpha$ -амилаз на третьи сутки при использовании Феровита произошло в 2,4 раза, на седьмые сутки – в 1,9 раз. Активность нейтральных изоформ  $\alpha$ -амилаз увеличилась в 1,8 и 1,7 раз, щелочных изоформ  $\alpha$ -амилаз – в 1,6 и 1,1 раз соответственно по отношению к контрольному варианту. Действие препарата Феровит на активность изоформ  $\beta$ -амилаз было похожем на действие органоминерального биостимулятора (см. табл. 2). Так, активность кислых изоформ  $\beta$ -амилаз возрастала на 26 %, нейтральных и щелочных изоформ  $\beta$ -амилаз снижалась на 26 и 58 % соответственно по отношению к контрольным вариантам.

Применение препарата Харди при прорастании зерна не оказало значительного влияния на активность изоформ  $\alpha$ -амилаз (см. табл. 1). Активность кислых изоформ  $\alpha$ -амилаз возрастала достоверно на третьи и пятые сутки, но к седьмым суткам активность изоформ не изменяется достоверно, хотя ее величина выше, чем в контрольном варианте. Активность нейтральных  $\alpha$ -амилаз возрастала достоверно начиная только с третьих суток. Активность щелочных изоформ  $\alpha$ -амилаз проявляется положительно только на третьи сутки и затем опять снижается (см. табл. 1). Активность всех изоформ  $\beta$ -амилаз при использовании регулятора роста Харди снижалась к седьмым суткам проращивания семян (см. табл. 2). Вероятно, что такое действие данного биопрепарата обусловлено недостаточным количеством действующего вещества при его применении. В данном случае рекомендуется использовать большую дозу для опрыскивания вегетирующих растений, а также большее количество обработок при выращивании яровой пшеницы.

Применение смеси двух препаратов Харди+Феровит способствовало увеличению активности изоформ  $\alpha$ -амилаз, которое было ниже, чем эффективность отдельно препарата Феровит и выше, чем действие препарата Харди (см. табл. 1). При этом активность ферментного комплекса  $\beta$ -амилаз снижалась для кислых, нейтральных и щелочных изоформ (см. табл. 2).

Таким образом, проведенные исследования позволили изучить эффективность последствий регуляторов роста различной природы на активность амилиотического комплекса зерна яровой пшеницы покоящегося зерна, а также при его прорастании. Было выявлено, что эффективность действия препаратов на активность ферментного комплекса амилаз отличалась в покоящемся зерне и при прорастании и зависела от активного компонента, вхо-

дящего в состав изучаемого регулятора роста. В покое зерне наибольшую эффективность влияния на активность изоформ  $\alpha$ -амилаз проявил биопрепарат Харди, а также смесь препаратов Харди и Феровит. Однако при проращивании эффективность препарата Харди оказалась самая низкая. Использование органоминерального биостимулятора и регулятора Феровит оказало существенное действие на активность изоформ  $\alpha$ -амилаз при проращивании зерна, что определяет высокий уровень растворимости эндосперма и способствует улучшению ростовых функций проростков и энергии их роста.

### Заключение

1. Установлено, что биорегуляторы роста оказывают существенное влияние на активность амилолитического комплекса зерна яровой пшеницы. Активность различных изоформ ферментного комплекса амилаз зависела от используемого препарата.

2. Выявлено, что применение биорегулятора Харди способствовало увеличению активности кислых, нейтральных и щелочных изоформ  $\alpha$ -амилаз покоящегося зерна. При этом активность изоформ  $\beta$ -амилаз уменьшалась.

3. Использование защитно-стимулирующего комплексного биостимулятора оказало наибольшее действие на активность амилазного комплекса по сравнению с другими регуляторами роста. Выявлено возрастание кислых, нейтральных и щелочных изоформ  $\alpha$ -амилаз. При этом общая активность амилазного комплекса нейтральных и щелочных амилаз возрастала за счет роста активности  $\alpha$ -амилаз и снижения активности  $\beta$ -амилаз.

4. Регулятор роста Феровит оказывал положительное действие на активность амилазного комплекса как покоящегося зерна, так и при его проращивании. При его использовании проявилась наибольшая активность кислых  $\alpha$ -амилаз. Хотя активность нейтральных и щелочных изоформ  $\alpha$ -амилаз к седьмым суткам проращивания также была на высоком уровне. Показано, что общая амилазная активность зерна возрастала за счет роста активности изоформ  $\alpha$ -амилаз и снижения активности  $\beta$ -амилаз.

5. Использование смеси препаратов Харди и Феровита оказало положительное действие на активность изоформ  $\alpha$ -амилаз покоящегося зерна. При проращивании зерна активность изоформ  $\alpha$ -амилаз до 5-х сут была снижена и только к 7-м сут превысила контрольные величины.

### Список литературы

1. Бастриков Д., Панкратов Г. Изменение биохимических свойств зерна при замачивании // Хлебопродукты. 2006. № 1. С. 40–41.
2. Казаков Е. Д., Карпиленко Г. П. Биохимия зерна и хлебопродуктов. 3-е изд., перераб. и доп. СПб. : ГИОРД, 2005. 512 с.
3. Игнатенко И. С. Влияние экологических условий года репродукции семян на развитие амилолитической активности в прорастающих семенах ярового ячменя // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 70. С. 617–626.
4. Карпова Г. А., Карпова Л. В., Фролова Е. Ю. Активация ранних ростовых процессов семян под действием регуляторов роста как фактор повышения полевой всхожести и урожайности яровой пшеницы // Нива Поволжья. 2016. № 1. С. 29–35.
5. Науменко Н. В., Потороко И. Ю., Малинин А. В., Цатуров А. В. Оптимизация условий процесса проращивания зерна пшеницы // Политематический сетевой

- электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 151. С. 1–11.
6. Бережная О. В. Разработка технологии получения проростков зерна пшеницы для производства хлебопекарной и кулинарной продукции : автореф. дис. ... к.т.н. М. : МГУПП, 2015. 25 с.
  7. Овсиенко С. М. Биостимуляторы – резерв повышения продуктивности яровой пшеницы // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2010. № 2. С. 59–62.
  8. Кацурба Т. В., Евстафьев С. Н., Франтенко В. К., Демина А. И. Селенит натрия как интенсификатор солодоращения для пивоваренного ячменя // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. № 1. С. 67–73.
  9. Серегина И. И., Ниловская Н. Т., Обуховская Л. В., Осипова Л. В. Влияние предпосевной обработки семян цинком на проростки яровой пшеницы в условиях водного стресса // Агрохимия. 2005. № 8. С. 34–38.
  10. Новиков Н. Н., Жарихина А. А. Состав белков и качество зерна яровой пшеницы (*T.aestivum*) в зависимости от уровня азотного питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 5. С. 73–82.
  11. Шумилин А. О., Серегина И. И., Хрунов А. А. [и др.]. Эффективность действия селенсодержащих соединений на урожайность и показатели качества зерна яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Злата // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. № 1. С. 24–28.
  12. Серегина И. И. Влияние циркона на продуктивность пшеницы // Агрохимический вестник. 2007. № 3. С. 18–19.
  13. Шатилова Т. И., Витол И. С., Герчиу Я. П., Белопухов С. Л., Семко В. Т. Действие препаратов – фиторегуляторов на формирование качества зерновых // Достижения науки и техники в АПК. 2010. № 12. С. 47–48.
  14. Вакуленко В. В. Регуляторы роста растений повышают стрессоустойчивость культур // Защита и карантин растений. 2015. № 2. С. 13–15.
  15. 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.
  16. Волобуева О. Г., Скоробогатова И. В., Шильникова В. К. Взаимодействие биологически активных веществ ризобий и ризобактерий с эндогенными фитогормонами растений гороха разных сортов // Агрохимия. 2008. № 8. С. 42–45.
  17. Волобуева О. Г. Влияние эпина на содержание фитогормонов и симбиотическую активность растений сои разных сортов // Ученые записки Орловского государственного университета. Сер.: Естественные, технические и медицинские науки. 2010. № 2. С. 98–104.
  18. Карпова Г. А., Теплицкая Д. Г. Влияние регуляторов роста на формообразовательные, ростовые и физиологические процессы в онтогенезе растений пшеницы и ячменя // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2019. № 4. С. 16–25.
  19. Кобзаренко В. И., Волобуева В. Ф., Серегина И. И., Ромодина Л. В. Агрохимические методы исследований. М. : Изд-во РГАУ–МСХА. 2015, 309 с.
  20. Новиков Н. Н., Таразанова Т. В. Лабораторный практикум по биохимии растений. М. : Изд. РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2012. 97 с.

## References

1. Batrikov D., Pankratov G. Changes in the biochemical properties of grain during soaking. *Khleboprodukty = Bakery products*. 2006;(1):40–41. (In Russ.)
2. Kazakov E.D., Karpilenko G.P. *Biokhimiya zerna i khleboproduktov. 3-e izd., pererab. i dop. = Biochemistry of grain and bakery products. The 3<sup>rd</sup> edition, edited and supplemented*. Saint Petersburg: GIOR, 2005:512. (In Russ.)

3. Ignatenko I.S. Influence of ecological conditions of the year of seed reproduction on the development of amylolytic activity in germinating spring barley seeds. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2011;(70):617–626. (In Russ.)
4. Karpova G.A., Karpova L.V., Frolova E.Yu. Activation of early seed growth processes under the action of growth regulators as a factor in increasing field germination and yield of spring wheat. *Niva Povolzh'ya* = *Niva of Volga region*. 2016;(1):29–35. (In Russ.)
5. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V. Optimization of the conditions of the wheat grain germination process. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2019;(151):1–11. (In Russ.)
6. Berezhnaya O.V. *Development of technology for obtaining wheat seedlings for the production of bakery and culinary products*. PhD abstract. Moscow: MGUPP, 2015:25. (In Russ.)
7. Ovsienko S.M. Biostimulators - a reserve for increasing the productivity of spring wheat. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Bulletin Orel State Agrarian University*. 2010;(2):59–62. (In Russ.)
8. Katsurba T.V., Evstafev S.N., Frantenko V.K., Demina A.I. Sodium Selenite as a malting intensifier for malting barley. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* = *University proceedings. Applied chemistry and biotechnology*. 2018;(1):67–73. (In Russ.)
9. Seregina I.I., Nilovskaya N.T., Obukhovskaya L.V., Osipova L.V. Effect of pre-sowing treatment of seeds with zinc on seedlings of spring wheat under conditions of water stress. *Agrokimiya* = *Agrichemistry*. 2005;(8):34–38. (In Russ.)
10. Novikov N.N., Zharikhina A.A. The composition of proteins and grain quality of spring wheat (*T.aestivum*) depending on the level of nitrogen nutrition and the use of phyto-regulators when grown on soddy-podzolic medium loamy soil. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Proceedings of Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy*. 2012;(5):73–82. (In Russ.)
11. Shumilin A.O., Seregina I.I., Khrunov A.A. et al. Efficiency of action of selenium-containing compounds on the yield and quality indicators of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) variety Zlata. *Problemy agrokhimii i ekologii* = *Issues of agrochemistry and ecology*. 2016;(1):24–28. (In Russ.)
12. Seregina I.I. Effect of zircon on wheat productivity. *Agrokhimicheskiy vestnik* = *Agrochemical Bulletin*. 2007;(3):18–19. (In Russ.)
13. Shatilova T.I., Vitol I.S., Gerchiu Ya.P., Belopukhov S.L., Semko V.T. The effect of drugs - phyto-regulators on the formation of the quality of cereals. *Dostizheniya nauki i tekhniki v APK* = *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*. 2010;(12):47–48. (In Russ.)
14. Vakulenko V.V. Plant growth regulators increase crop stress tolerance. *Zashchita i karantin rasteniy* = *Plant protection and quarantine*. 2015;(2):13–15. (In Russ.)
15. Novikov N.N., Solov'eva N.E. Formation of the grain quality of malting barley depending on the diet and the use of phyto-regulators when grown on soddy-podzolic soil. *Agrokimiya* = *Agrochemistry*. 2019;(2):43–51. (In Russ.)
16. Volobueva O.G., Skorobogatova I.V., Shil'nikova V.K. Interaction of biologically active substances of rhizobia and rhizobacteria with endogenous phytohormones of pea plants of different varieties. *Agrokimiya* = *Agrochemistry*. 2008;(8):42–45. (In Russ.)
17. Volobueva O.G. Effect of epin on the content of phytohormones and symbiotic activity of soybean plants of different varieties. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo*

- universiteta. Ser.: Estestvennye, tekhnicheskie i meditsinskie nauki = Proceedings of Orel State University. Series: natural, engineering and medical sciences.* 2010;(2):98–104. (In Russ.)
18. Karpova G.A., Teplitskaya D.G. The effect of growth regulators on shaping, growth and physiological processes in the ontogeny of wheat and barley plants. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2019;(4):16–25. (In Russ.)
19. Kobzarenko V.I., Volobueva V.F., Seregina I.I., Romodina L.V. *Agrokhimicheskie metody issledovaniy = Agrochemical research methods.* Moscow: Izd-vo RGAU–MSKhA. 2015:309. (In Russ.)
20. Novikov N.N., Tarazanova T.V. *Laboratornyy praktikum po biokhimii rasteniy = Laboratory practical textbook on plant biochemistry.* Moscow: Izd. RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2012:97. (In Russ.)

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

##### **Инга Ивановна Серегина**

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

E-mail: seregina.i@inbox.ru

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

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

##### **Майя Анка**

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

E-mail: maya5anka.93m@gmail.com

##### **Mayya Anka**

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 – 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)

##### **Сергей Леонидович Белопухов**

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

E-mail: sbelopuhov@rgau-msha.ru

##### **Sergey L. Belopukhov**

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

***Инна Ивановна Дмитриевская***

доктор сельскохозяйственных наук,  
доцент, заведующий кафедрой химии,  
Российский государственный аграрный  
университет – МСХА имени  
К. А. Тимирязева (Россия,  
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: i.dmitrevskaya@rgau-msha.ru

***Inna I. Dmitrevskaya***

Doctor of agricultural sciences, associate  
professor, head of the sub-department  
of chemistry, 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 16.11.2022**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 08.12.2022**

**Принята к публикации / Accepted 16.12.2022**