

# ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

---

## PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

УДК 581.14

doi:10.21685/2307-9150-2022-1-1

### Влияние регуляторов роста на метаболическую активность семян *Triticum aestivum* L. и *Hordeum sativum* L. при прорастании

Д. Г. Теплицкая<sup>1</sup>, Г. А. Карпова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup>Darya1991@yandex.ru, <sup>2</sup>pollylina@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Переход ортодоксальных семян от состояния вынужденного покоя к прорастанию определяется их метаболическим статусом, при котором стимулирующий фактор способен оказать влияние, а семя способно на него ответить. Первые ответные реакции растительного организма при экзогенном воздействии на семена регистрируются при их прорастании. Анализ физиолого-биохимических процессов, наблюдаемых на данном этапе онтогенеза, способен дать оценку эффективности используемого регулятора роста. Цель исследований – изучение влияния регуляторов роста Рибав-Экстра, Эпин-Экстра, Мивал-Агро и Крезацин на метаболическую активность семян *Triticum aestivum* L. и *Hordeum sativum* L. *Материалы и методы.* Исследования проведены с использованием семян яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), сорт Экада 113 и ярового ячменя (*Hordeum sativum* L.), сорт Сурский фаворит. Обработку семян проводили путем намачивания в чашках Петри (50–100 шт.) на фильтровальной бумаге в растворах регуляторов роста следующих концентраций:  $3 \cdot 10^{-4}$  л/л (Рибав-Экстра),  $5 \cdot 10^{-4}$  л/л (Эпин-Экстра), 0,5 г/л (Мивал-Агро),  $1 \cdot 10^{-3}$  л/л (Крезацин). Темпы поступления воды определяли по степени набухания семян по У. Руге в изложении О. А. Вальтера и других в интервале до 48 ч. Активность пероксидазы (ПО) – спектрофотометрическим методом (Verian Cary 50) с экстракцией фермента из растительного материала фосфатным буфером. Регистрацию значений проводили в сухих зерновках и через 4, 8, 12 и 24 ч от начала набухания. *Результаты.* При набухании зерновок пшеницы и ячменя, как в контрольном варианте, так и в вариантах с регуляторами роста, сохраняется классическая тенденция поступления воды, имеющая трехфазный характер. Окончание первого этапа набухания, соответствующего 60 % влажности зерновок пшеницы и влажности зерновок ячменя, отмечено в контрольных вариантах через 10 и 14 ч от начала эксперимента. Переход к прорастанию, обусловленный достижением порогового значения 74 % (пшеница) зафиксирован через 36 ч набухания. Обработка зерновок препаратами Крезацин и Рибав-Экстра приводит к сокращению временного промежутка прохождения основных этапов набухания семян на 2–24 ч. Активность пероксидазы

в зерновках ячменя и пшеницы через 4 ч набухания в контрольных вариантах возрастает в 1,6 и 1,9 раза и поступательно увеличивается в изучаемом интервале времени (24 ч). Под действием регуляторов роста показатели активности ПО в зерновках пшеницы превышают контрольные значения в 2,0–3,2 раза (4 ч), 1,9–3,1 раза (8–24 ч); в зерновках ячменя – в 2,7–4,3 раза (4 ч), 2,2–3,3 раза (8 ч), 1,9–3,1 раза (12 ч), 1,9–2,0 раза (24 ч). **Выводы.** Обработка семян регуляторами роста приводит к сокращению временного промежутка прохождения основных этапов прорастания, что вызывает активацию метаболических процессов. Повышение содержания пероксидазы может послужить критерием оценки эффективности препаратов в процессе набухания семян.

**Ключевые слова:** регуляторы роста, набухаемость семян при прорастании, активность пероксидазы

**Для цитирования:** Теплицкая Д. Г., Карпова Г. А. Влияние регуляторов роста на метаболическую активность семян *Triticum aestivum* L. и *Hordeum sativum* L. при прорастании // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 1. С. 3–12. doi:10.21685/2307-9150-2022-1-1

### **Effects of growth regulators on metabolic activity of *Triticum aestivum* L. and *Hordeum sativum* L. seeds during germination**

**D.G. Teplitskaya<sup>1</sup>, G.A. Karpova<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Penza State University, Penza, Russia

<sup>1</sup>Darya1991@yandex.ru, <sup>2</sup>pollylina@mail.ru

**Abstract. Background.** The transition of orthodox seeds from the state of induced dormancy to germination is determined by their metabolic status, when a stimulant is able to exert influence and a seed is able to respond to it. The first responses of the plant under exogenous influence on seeds are registered during germination. The analysis of physiological and biochemical processes observed at this stage of ontogenesis can help evaluate the effectiveness of the growth regulator used. The purpose of the study is to investigate the effect of Ribav-Extra, Epin-Extra, Mival-Agro and Cresacin on the metabolic activity *Triticum aestivum* L. and *Hordeum sativum* L. seeds. **Materials and methods.** The study was conducted with the use of spring wheat (*Triticum aestivum* L.), variety Ekada 113 and spring barley (*Hordeum sativum* L.), variety Sura Favorite. Seeds were treated by soaking in Petri dish (50–100 pieces) on filter paper in growth regulator, the concentration was as follows:  $3 \cdot 10^{-4}$  l/l (Ribav-Extra),  $5 \cdot 10^{-4}$  l/l (Epin-Extra), 0.5 g/l (Mival-Agro),  $1 \cdot 10^{-3}$  l/l (Cresacin). Water entry rate was determined by the degree of seed swelling according to W. Ruge as described by O. Walter in the interval of up to 48 hours. Peroxidase (PO) activity was determined by a spectrophotometric method (Verian Cary 50) with enzyme extraction from plant material with phosphate buffer. The results were recorded and after 4, 8, 12 and 24 hours from the beginning of swelling in dry grains. **Results.** Swelling of wheat and barley grains both in check variation and in variants with growth regulators follows the classical tendency of a three-phase water inflow. The end of the first swelling stage corresponding to 60 % moisture rate of wheat grains and moisture rate of barley grains was observed in check variants after 10 and 14 hours from the beginning of the experiment, respectively. The transition to germination, due to the threshold value of 74 % (wheat) was recorded after 36 hours of swelling. Krezacin and Ribav-Extra grain treatment shortens the time span of the main seed swelling stages by 2–24 hours. Peroxidase activity in barley and wheat grains after 4 hours of swelling in the check variations increased 1.6 and 1.9 times and

increased progressively in the studied time interval of 24 hours. With the use of growth regulators the indices of PO activity in wheat grains exceed the control values by 2.0–3.2 times (4 hours), 1.9–3.1 times (8–24 hours); in barley grains by 2.7–4.3 times (4 hours), 2.2–3.3 times (8 hours), 1.9–3.1 times (12 hours), 1.9–2.0 times (24 hours). *Conclusions.* Growth regulators seed treatment shortens the time interval of the main stages of germination, which leads to the activation of metabolic processes. The increase in peroxidase rate may be a criterion to estimate the effectiveness of the preparations in the process of seed swelling.

**Keywords:** growth regulators, seed swelling during germination, peroxidase activity

**For citation:** Teplitskaya D.G., Karpova G.A. Effects of growth regulators on metabolic activity of *Triticum aestivum* L. and *Hordeum sativum* L. seeds during germination. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(1):3–12. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-1-1

## Введение

Процесс прорастания семян зависит от метаболического состояния, которое обусловлено возможностью семени реагировать на воздействие стимулирующего фактора. Начальным этапом выхода семени из состояния покоя и его прорастания является процесс набухания, заключающийся в поступлении воды в структуры семени. Каждый этап набухания характеризуется определенным уровнем гидратации, запускающим соответствующие метаболические процессы.

В процессе набухания происходит синтез активных форм кислорода в результате совокупности окислительно-восстановительных реакций в митохондриях. Это обуславливает активизацию антиоксидантной системы, ключевым звеном которой выступает пероксидаза, катализирующая реакции окисления свободных радикалов, что в результате приводит к стимуляции дыхательной функции митохондрий.

Согласно литературным данным внешние воздействия способствуют сокращению во времени этапов набухания и повышению активности пероксидазы [1].

Детальное изучение и анализ изменений показателей степени набухаемости и активности пероксидазы в прорастающих семенах при воздействии регуляторов роста позволит применять данные препараты для направленного влияния на метаболическую активность семян в процессе прорастания.

## Материалы и методы

Для решения поставленных задач проводились лабораторные опыты на базе кафедры «Общая биология и биохимия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» в 2017–2019 гг.

Исследования проведены с использованием семян яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), сорт Экада 113 и ярового ячменя (*Hordeum sativum* L.), сорт Сурский фаворит. Обработку семян проводили путем намачивания в чашках Петри (50–100 шт.) на фильтровальной бумаге в растворах регуляторов роста следующих концентраций:  $3 \cdot 10^{-4}$  л/л (Рибав-Экстра),  $5 \cdot 10^{-4}$  л/л (Эпин-Экстра), 0,5 г/л (Мивал-Агро),  $1 \cdot 10^{-3}$  л/л (Крезацин). Контрольную партию семян намачивали дистиллированной водой.

Темпы поступления воды определяли по степени набухания семян по У. Руге в изложении О. А. Вальтера с соавторами в интервале до 48 ч.

Активность пероксидазы определяли спектрофотометрическим методом (Verian Cary 50, США) по регистрации оптической плотности при длине волны 470 нм. Экстракцию фермента из растительного материала проводили фосфатным буфером. Активность пероксидазы (ПО) определяли по скорости окисления гваякола в присутствии  $H_2O_2$  и выражали в единицах на 1 г сырой массы в минуту. Регистрацию значений проводили в сухих зерновках и через 4, 8, 12 и 24 ч от начала набухания.

Эксперимент включал в себя проведение и анализ изучаемых параметров в 3-кратной повторности. Выборочная повторность в опытах составляла от 50 до 100 единиц прорастающих зерновок.

Достоверность полученных данных подтверждена результатами статистической обработки [2].

### Результаты и обсуждение

Семена зерновых культур относятся к типу ортодоксальных семян, способных долгое время сохранять жизнеспособность при влажности 6–10 %, так как при их созревании теряется значительная часть влаги [3].

Процесс водопоступления, обеспечивающий набухание семян, можно разделить на следующие этапы: 1) быстрое поступление воды; 2) медленное поступление воды (лаг-период); 3) начало прорастания и связанное с ним ускоренное поступление воды [4].

Каждый из этапов процесса характеризуется определенным уровнем гидратации, при котором запускаются соответствующие метаболические реакции и физиологические функции, как в зародыше семени, так и в эндосперме или щитке.

Установлено, что при достижении семенами оводненности 18–20 % активизируется синтез аминокислот, связанный, в свою очередь, с модификацией ферментных систем, в результате чего происходит индукция дыхания, определяемая на данном этапе анаэробными процессами гликолиза и цикла Кребса. Значительный рост интенсивности дыхания за счет окончательной структуризации митохондрий наблюдается при достижении семенами влажности 45 %. Дальнейшее увеличение уровня гидратации (45–55 %) запускает синтез белков, сопряженный с началом процессов транскрипции и активного функционирования рибосом. Далее наблюдается расщепление питательных веществ семени гидролитическими ферментами. Подготовка к процессу прорастания и общая активация метаболизма регистрируется при достижении уровня влажности семян, равного 60 % [5].

Непосредственно прорастание у зерновок пшеницы и ячменя наблюдается при степени оводненности 72–74 % [6].

В проведенных нами исследованиях установлено, что при набухании зерновок пшеницы и ячменя в контрольном и опытных вариантах прослеживается классическая тенденция поступления воды, имеющая трехфазный характер.

В первые 12 ч от момента намачивания измерения проводились с интервалом в 1 ч с регистрацией показателей в одно и то же время. Затем

определение веса зерновок шло через 14, 24, 27, 30, 36 и 48 ч от начала эксперимента, что было обусловлено переходом в стадию медленного поступления воды, когда разница массы зерновок изменялась менее значительно.

Через час после намачивания влажность зерновок пшеницы в контрольном варианте увеличилась на 14,8 %, и в дальнейшем наблюдалось быстрое ее повышение (рис. 1).

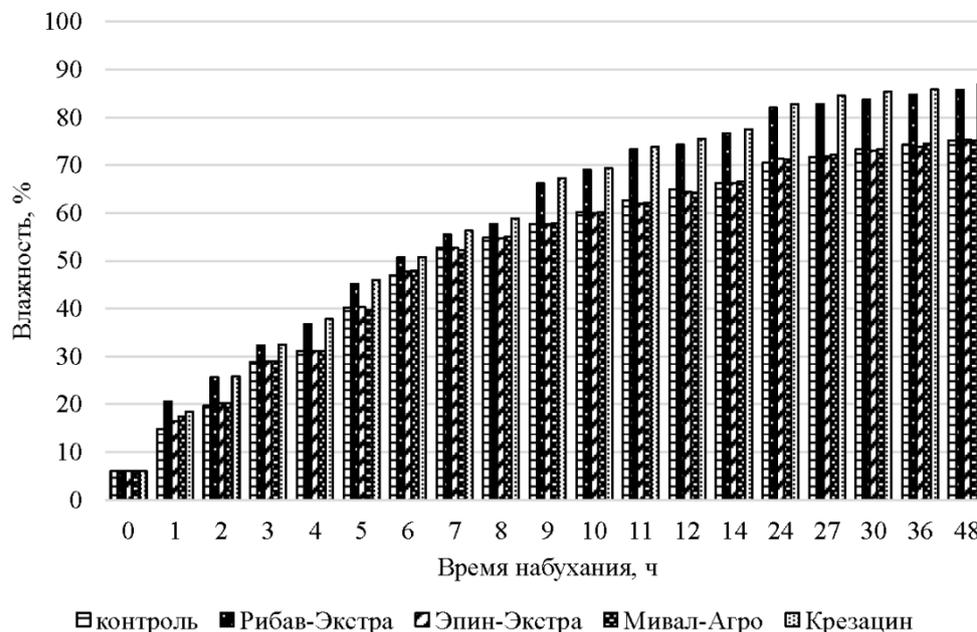


Рис. 1. Степень набухания (влажность) зерновок пшеницы, %

Через 5 ч изучаемый показатель достигал значений 40 %. Через 10 ч зарегистрировано окончание этапа быстрого поступления воды с фиксацией степени набухания 60 %. Лаг-период в контрольном варианте длился практически до завершения измерений: через 36 ч после начала эксперимента влажность зерновок достигла значений 74,5 %, через 48 ч – 75,2 %. Согласно литературным данным после достижения определенного уровня гидратации следует этап начала прорастания [5].

При анализе результатов в вариантах с регуляторами роста Эпин-Экстра и Мивал-Агро установлено, что данные препараты не оказывают влияния на скорость процесса набухания, за исключением первого часа измерений, где влажность зерновок была на 1,6–2,7 % выше контрольных значений ( $p < 0,05$ ).

Динамика степени набухания в вариантах с Крезацином и Рибавом-Экстра значительно отличалась от контроля. Так, через 1 ч от момента намачивания зерновок их влажность уже достигала значений 18,5–20,6 %, т.е. соответствовала первому пороговому уровню запуска метаболических процессов в семени. Быстрое поступление воды, характерное для первого этапа набухания, завершалось уже через 8 ч, где показатели влажности соответствовали 57,7 % (Рибав-Экстра) и 58,8 % (Крезацин), т.е. были близки 60 % уровню влажности. Второй этап или медленное поступление воды (лаг-период) сокращался до трех-четырех часов. Через 11 ч после намачивания

влажность зерновок в варианте с Крезацином составляла 73,8 %, в варианте с Рибавом-Экстра – 74,3 % через 12 ч. Таким образом, уже через 14 ч в зерновках, обработанных данными препаратами, могли быть сформированы все системы, определяющие начало прорастания семян.

Темпы поступления воды в зерновки ячменя были ниже, чем в зерновках пшеницы (рис. 2). Быстрое поступление воды в контрольном варианте завершалось через 14 ч после начала эксперимента, степень гидратации составляла 59,5 %. Далее темпы поступления воды в семена замедлялись, через 48 ч после намачивания оводненность составила 70,7 %.

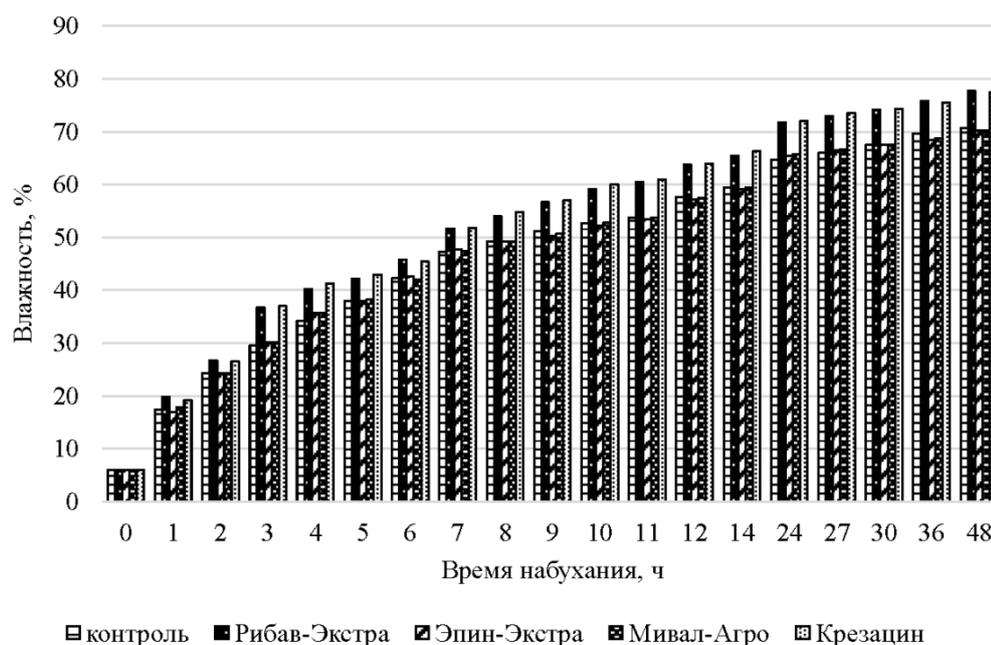


Рис. 2. Степень набухания (влажность) зерновок ячменя, %

Препараты Эпин-Экстра и Мивал-Агро не оказали влияния на темпы поступления воды в семена ячменя – значения влажности соответствовали ее значениям в контрольных образцах.

Обработка зерновок ячменя регуляторами Крезацин и Рибав-Экстра способствовала сокращению этапов прорастания аналогично эксперименту с зерновками пшеницы. Этап быстрого поступления воды в варианте с Крезацином завершался через 10 ч после намачивания (влажность составляла 60,0 %), в варианте с Рибавом-Экстра – через 11 ч (влажность 60,5 %).

Степень гидратации для перехода семян к прорастанию (74,2 % – Рибав-Экстра и 74,3 % – Крезацин) была достигнута через 30 ч после начала эксперимента. Через 48 ч оводненность семян ячменя, обработанных Крезацином, составила 77,5 %, Рибавом-Экстра – 77,7 %.

Полученные данные согласуются с данными, описанными в литературе. Отмечено, что сокращение этапов набухаемости во времени может свидетельствовать об активном гидролизе углеводов и возрастании сосущей силы семян [7].

В период покоя для семян пшеницы и ячменя характерно состояние гипоболизма вследствие низкого содержания воды. Это, в свою очередь, приводит к инактивации ферментных комплексов. Однако уже с первых часов набухания в семенах проявляется функциональная активность ферментов, в частности пероксидазы, которая катализирует реакции окисления свободных радикалов, что в результате приводит к стимуляции дыхательной функции митохондрий [1].

Активность ПО измеряли в сухих зерновках пшеницы и ячменя и в процессе набухания через 4, 8, 12 и 24 ч.

В зерновках пшеницы в контрольном варианте активность ПО через 4 ч после намачивания составляла 66,4 ед./г · мин, что превышало активность фермента в сухих семенах в 1,9 раза (34,1 ед./г · мин). В процессе повышения степени гидратации показатель активности ПО поступательно увеличивался в течение всего периода измерений. Так, через 8 ч после намачивания активность фермента составила 75,5 ед./г · мин, через 12 ч – 79,4 ед./г · мин и через 24 ч – 82,4 ед./г · мин (табл. 1).

Таблица 1

Активность пероксидазы в зерновках пшеницы  
(ед./1 г сырой массы · мин)

Вариант	Время набухания, ч				
	сухая зерновка	4	8	12	24
Контроль	34,12 ± 0,25	66,42 ± 0,36	75,54 ± 0,67	79,44 ± 0,24	82,38 ± 0,42
Рибав-Экстра	–	174,66 ± 1,03	188,28 ± 0,28	201,06 ± 0,55	210,84 ± 0,42
Эпин-Экстра	–	132,78 ± 0,79	141,54 ± 0,24	149,82 ± 0,61	157,98 ± 1,97
Мивал-Агро	–	144,54 ± 0,31	155,34 ± 0,55	165,96 ± 0,18	174,12 ± 0,12
Крезацин	–	215,46 ± 0,28	232,20 ± 1,43	246,42 ± 0,10	257,52 ± 0,12

На основании полученных результатов можно сделать вывод том, что наиболее интенсивно активность ПО возрастала в первые 8 ч после намачивания. В дальнейшем, несмотря на увеличение абсолютных значений, скорость синтеза снижалась.

В вариантах с регуляторами роста сохранялась линейная зависимость возрастания активности пероксидазы, но интенсивность процесса существенно увеличивалась.

Обработка регулятором роста Эпин-Экстра способствовала повышению активности пероксидазы в 3,9 раза через 4 ч (132,8 ед./г · мин) относительно сухих зерновок. Относительно контрольного варианта превышение значения составило 100 %. В последующие часы измерений активность пероксидазы в семенах после обработки препаратом Эпин-Экстра превышала значения контрольных зерновок на 87,0–91,7 %.

Обработка препаратом Мивал-Агро способствовала увеличению активности ПО через 4 ч после намачивания в 4,2 раза по сравнению с активностью данного фермента в сухих зерновках. Наблюдалось повышение изучаемого показателя на 105,6–117,6 % относительно контроля в интервале от 8 до 24 ч после начала набухания.

Регулятор роста Рибав-Экстра увеличивал активность изучаемого фермента на 149,2–163,0 % в течение периода измерений. Обработка препаратом Крезацин способствовала увеличению активности ПО на 207,4–224,4 % относительно контроля. Увеличение изучаемого показателя через 4 ч после намачивания относительно сухих зерновок составило в варианте с Рибавом-Экстра 5,2 раза и в варианте с Крезацином 6,3 раза.

Таким образом, все регуляторы роста способствовали статистически значимому ( $p < 0,05$ ) увеличению активности ПО относительно контрольного варианта.

Активность пероксидазы в сухих зерновках ячменя составляла 32,5 ед./г · мин. В контрольном варианте через 4 ч после намачивания наблюдалось увеличение показателя в 1,6 раза (50,5 ед./г · мин), через 8 ч активность фермента составляла 69,7 ед./г · мин, через 12 ч – 79,3 ед./г · мин и через 24 ч – 86,6 ед./г · мин (табл. 2). Таким образом, аналогично эксперименту с зерновками пшеницы, наибольшая скорость образования пероксидазы наблюдалась в течение 8 ч с момента начала набухания.

Таблица 2

Активность пероксидазы в зерновках ячменя  
(ед./1 г сырой массы · мин)

Вариант	Время набухания, ч				
	сухая зерновка	4	8	12	24
Контроль	32,46 ± 0,14	50,52 ± 0,24	69,72 ± 0,16	79,32 ± 0,06	86,58 ± 0,21
Рибав-Экстра	–	170,22 ± 0,16	187,20 ± 0,42	200,88 ± 0,75	210,30 ± 0,16
Эпин-Экстра	–	134,82 ± 0,42	147,06 ± 0,38	152,64 ± 0,10	163,92 ± 0,22
Мивал-Агро	–	145,50 ± 0,16	158,16 ± 0,24	169,06 ± 0,15	173,64 ± 0,21
Крезацин	–	216,90 ± 0,10	230,46 ± 0,16	249,06 ± 0,36	259,14 ± 0,15

При обработке Эпином-Экстра активность изучаемого фермента повышалась в семенах через 4 ч после намачивания в 4,2 раза по сравнению с сухими зерновками. Относительно контрольного варианта активность пероксидазы увеличивалась на 89,3–166,8 %.

Применение регулятора роста Мивал-Агро вызывало повышение изучаемого параметра в семенах через 4 ч после начала эксперимента в 4,5 раза относительно сухих зерновок. По сравнению с контрольным вариантом наблюдалось увеличение активности пероксидазы на 100,5–188,0 %.

Наибольшую эффективность продемонстрировали препараты Рибав-Экстра и Крезацин. Относительно контрольного варианта регулятор Рибав-Экстра вызывал повышение активности изучаемого фермента на 142,8–236,9 %, Крезацин – на 199,3–329,3 %. Через 4 ч с момента начала эксперимента активность пероксидазы в данных вариантах относительно сухих зерновок возрастала в 5,3 и 6,7 раза соответственно.

На обеих культурах максимальные превышения контрольных значений под действием регуляторов роста фиксировались через 4 ч набухания зерновок. Далее стимулирующее воздействие несколько снижалось на зерновках ячменя, а на зерновках пшеницы данная динамика была менее выраженной.

Полученные нами результаты согласуются с данными литературы. Установлено, что внешние воздействия способствуют увеличению активности фермента пероксидазы в зерновках пшеницы в 4–5 раз [1].

Результаты корреляционно-регрессионного анализа выявили прямую зависимость между активностью пероксидазы и энергией прорастания, которая является важным показателем, определяющим посевные качества семян и характеризующим в значительной степени плотность агроценозов. Получены следующие результаты анализа для пшеницы:

$r = 0,7738$ , уравнение регрессии:  $y = 0,0527x + 75,136$  (12 ч набухания);

$r = 0,7705$ , уравнение регрессии:  $y = 0,0501x + 75,181$  (24 ч набухания);

для ячменя:

$r = 0,7045$ , уравнение регрессии:  $y = 0,052x + 76,44$  (12 ч набухания);

$r = 0,7027$ , уравнение регрессии:  $y = 0,0512x + 76,156$  (24 ч набухания).

Таким образом, обработка семян регуляторами роста Рибав-Экстра и Крезацин способствует сокращению во времени этапов набухания, что в итоге может приводить к активизации метаболических процессов под действием данных препаратов. Повышение содержания пероксидазы под действием регуляторов роста может послужить критерием оценки эффективности препаратов в процессе набухания семян.

### Список литературы

1. Рогожин В. В., Курилюк Т. Т., Рогожина Т. В. Об участии оксидоредуктаз в механизмах покоя и прорастания зерновок у пшеницы // *Сельскохозяйственная биология*. 2012. № 1. С. 60–65.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985. 351 с.
3. Обручева Н. В., Антипова О. В. Физиология инициации прорастания семян // *Физиология растений*. 1997. Т. 44, № 3. С. 287–302.
4. Рогожин В. В., Рогожина Т. В. Физиолого-биохимические механизмы прорастания зерновок пшеницы // *Вестник Алтайского государственного университета*. 2011. № 8. С. 17–21.
5. Obroucheva N. V. Seed germination: a guide to the early stages. Leiden : Backhuys Publishers, 1999.
6. Обручева Н. В. Переход от гормональной к негормональной регуляции на примере выхода семян из покоя и запуска прорастания // *Физиология растений*. 2012. № 4. С. 591–600.
7. Казакова А. С., Куриленко Т. К. Обоснование режимов предпосевной обработки семян ячменя в электротехнологиях на основе регистрации микрофенологических фаз их прорастания // *Вестник аграрной науки Дона*. 2018. № 4. С. 50–56.

### References

1. Rogozhin V.V., Kurilyuk T.T., Rogozhina T.V. On the participation of oxidoreductases in the mechanisms of dormancy and germination of grains in wheat. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural biology*. 2012;(1):60–65. (In Russ.)
2. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta = Field experiment methodology*. Moscow, 1985:351. (In Russ.)
3. Obrucheva N.V., Antipova O.V. Physiology of seed germination initiation. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology*. 1997;44(3):287–302. (In Russ.)

4. Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. Physiological and biochemical mechanisms of germination of wheat grains. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Altay State University*. 2011;(8):17–21. (In Russ.)
5. Obroucheva N.V. *Seed germination: a guide to the early stages*. Leiden: Backhuys Publishers, 1999.
6. Obrucheveva N.V. Transition from hormonal to non-hormonal regulation on the example of the exit of seeds from dormancy and the start of germination. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology*. 2012;(4):591–600. (In Russ.)
7. Kazakova A.S., Kurilenko T.K. Substantiation of the modes of presowing treatment of barley seeds in electrical technologies based on the registration of microphenological phases of their germination. *Vestnik agrarnoy nauki Dona = Bulletin of Don Agrarian science*. 2018;(4):50–56. (In Russ.)

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

***Дарья Геннадьевна Теплицкая***

ассистент кафедры общей биологии и биохимии, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: Darya1991@yandex.ru

***Daria G. Teplitskaya***

Assistant of the sub-department of general biology and biochemistry, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

***Галина Алексеевна Карпова***

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой общей биологии и биохимии, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: pollylina@mail.ru

***Galina A. Karpova***

Doctor of agricultural sciences, associate professor, head of the sub-department of general biology and biochemistry, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

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

**Поступила в редакцию / Received 12.01.2022**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 26.01.2022**

**Принята к публикации / Accepted 07.02.2022**