ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОРАСТАЮЩИХ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

ТАРАСОВ Сергей Сергеевич, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

ВЕСЕЛОВ Александр Павлович, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского; Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

КРУТОВА Елена Константиновна, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Изучено влияние ультразвука на морфологические и физиолого-биохимические показатели прорастания семян пшеницы. На семена воздействовали ультразвуком в период раннего прорастания, в момент набухания (сразу после замачивания) и в период формирования проростка (в момент проклевывания корня, через 24 ч после добавления воды). Ультразвуковое воздействие проводили в течение 5, 10 и 20 мин; контролем служили замоченные, но не обработанные ультразвуком семена. В семенах и проростках определяли интенсивность дыхания, активность каталазы и пероксидазы, измеряли длину корней, количество корней, длину побегов, всхожесть и скорость прорастания. Показана частичная зависимость изучаемых показателей от воздействия ультразвуком. Ультразвуковая обработка оказывала или стимулирующий эффект, или ингибирующий. Зафиксировано статистически значимое уменьшение активности каталазы при 20-минутной обработке семян ультразвуком в момент набухания и усиление при 10-минутной обработке на стадии прорастания. Пятиминутное воздействие ингибировало активность пероксидазы. Интенсивность дыхания была выше в семенах, обработанных в течение 5 мин в момент набухания, и во всех вариантах при обработке в момент проклевывания корня. Снижение интенсивности дыхания наблюдалось в семенах, обработанных ультразвуком в течение 10 мин в момент проклевывания корня. Скорость прорастания усиливалась при 10-минутном воздействии ультразвуком в момент набухания. Анализ морфометрических показателей выявил положительное воздействие на семена, обработанные ультразвуком в течение 10 мин в момент набухания; отрицательные эффекты зафиксированы при обработке семян в течение 10 и 20 мин в момент прорастания. Установлена точка стимулирующего действия ультразвуком на семена пшеницы в районе 10 мин в начальной стадии набухания.

Введение. Исследования морфофизиологических показателей семян на ранних стадиях их развития считаются важными с точки зрения разработки мер по управлению процессами прорастания. В современной науке имеется много данных по управлению прорастанием путем воздействия физическими и химическими факторами [1, 5, 6, 7, 16]. Основное практическое значение таких действий состоит в стимуляции скорости прорастания семян, появления дружных всходов [12], активации хозяйственно-значимых процессов [4], уничтожении патогенной микрофлоры [10]. Одним из перспективных экологически чистых способов обработки семян можно считать ультразвук. С одной стороны, ультразвуковая обработка может стимулировать морфофизиологические процессы в семенах, с другой – ингибировать эти показатели. Неоднозначный эффект действия ультразвуковой

волны, по-видимому, обусловлен временем обработки и природой биообъекта.

Пшеница является ключевой культурой в современном сельском хозяйстве страны, усовершенствование технологии ее возделывания считается важной стратегической задачей. Предпосевная обработка – одна из главных стадий технологии выращивания растений, именно благодаря ей можно увеличить скорость прорастания, устойчивость растений к стресс-факторам и, как следствие, повысить качество и количество урожая.

Цель нашей работы – изучение влияния ультразвука на морфофизиологические показатели прорастания семян пшеницы в контроле и при разной продолжительности обработки.

Методика исследований. В качестве исследуемых объектов использовали семена пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*)

сорта Экада-70, элита в момент набухания (через 30 мин после замачивания) периода раннего прорастания и в момент проклевывания корня (через 24 ч после замачивания) периода формирования проростка. Исследуемые семена помещали в водную среду в ультразвуковой мойке. Обработку проводили в течение 5, 10 и 20 мин. Контролем служили одновременно замоченные, но не обработанные ультразвуком семена.

По окончании экспозиции семена растерли в фарфоровой ступке в фосфатном буфере pH 7,2 – для определения активности каталазы, в ацетатном буфере pH 5,4 – для определения активности пероксидазы. Полученные растворы использовали для изучения активности ферментов. Каталазу определяли газометрическим методом [13], пероксидазу – колориметрически (по Бояркину) [11]. Интенсивность дыхания определяли по количеству выделенного углекислого газа в закрытом сосуде (по Бойсен – Иенсену) [8].

В течение всего периода проращивания определяли всхожесть семян, в конце измеряли длину побегов и корней. Эксперимент проводили в 3 биологических и 3 биохимических повторностях. Результаты обрабатывали статистически, рассчитывали среднее арифметическое M и стандартные отклонения σ с использованием программы Microsoft Excel 2010 [9].

Результаты исследований. В ходе эксперимента была выявлена зависимость исследуемых показателей от действия ультразвуком. Установлено стимулирующее влияние его на показатели всхожести семян, обработанных в момент набухания в течение 5 и 10 мин. Напротив, наблюдалось ингибирующее действие ультразвука на семена,

подверженные 20-минутному воздействию в момент набухания и 5, 10 и 20-минутному воздействию в момент проклевывания корня (табл. 1).

Таблица 1

Динамика лабораторной всхожести семян пшеницы, обработанных ультразвуком в момент набухания (а) и в момент проклевывания корня (б)

Показатель	Вариант	Всхожесть, %	
		3-и сут.	7-е сут.
а	К	92,00±2,21	96,0±1,21
	O5	93,00±2,17	96,0±1,54
	O10	95,00±2,34	98,00±2,12
	O20	91,00±2,12	95,0±1,92
б	К	92,00±2,21	96,0±1,21
	O5	94,00±2,13	97,0±1,51
	O10	90,00±2,41	97,00±2,16
	O20	92,00±2,22	94,0±1,93

Примечание: К – контроль; O5, O10 и O20 – время воздействия ультразвуком на опытные образцы, мин (здесь и далее).

Исследования морфометрических параметров показали их зависимость от действия ультразвуком (табл. 2). Выявлено увеличение длины корня и побега у семян, обработанных ультразвуком в течение 10 мин в момент набухания. В остальных опытных образцах наблюдали ростподавляющий эффект ультразвука.

Ультразвук оказал существенное статистически значимое воздействие на активность исследуемых ферментов и интенсивность дыхания. На рис. 1 показано влияние ультразвука на активность каталазы в семенах пшеницы. Выявлен существенно статистически значимый ($P \leq 0,05$) эффект действия ультразвука во всех вариантах опыта. Показано снижение активности каталазы в семенах в момент набухания, наименьшая активность выявлена у рас-

Таблица 2

Показатели прорастания семян пшеницы после обработки ультразвуком в момент набухания (а) и в момент проклевывания корня (б)

Показатель	Вариант	Среднее время прорастания (скрытый период роста), сут.	Средняя масса одного проростка, мг	Средняя длина корня одного проростка L_k , мм	Средняя длина побега одного проростка L_n , мм
а	К	4,147±0,017	342,09±12,60	56,71±2,66	50,03±1,80
	O5	3,963±0,019	324,32±35,46	46,80±2,69	47,10±1,73
	O10	3,870±0,019	376,83±13,97	60,05±2,62	56,15±1,63
	O20	4,128±0,018	321,70±33,23	48,77±2,53	44,55±1,48
б	К	4,147±0,017	342,09±12,60	56,71±2,66	50,03±1,80
	O5	4,263±0,013	314,32±33,12	55,20±2,21	48,90±1,24
	O10	4,170±0,016	326,83±13,11	49,07±2,22	46,13±1,43
	O20	4,118±0,011	311,70±33,23	46,37±2,45	43,45±1,36

а

б

Рис. 1. Влияние ультразвуковой обработки на активность каталазы в семенах пшеницы в момент набухания (а) и прорастывания корня (б): 1, 2, 3 – время фиксации активности фермента (в минутах от момента запуска реакции)

тений, обработанных ультразвуком в течение 20 мин. В семенах в момент прорастывания корня наблюдалось повышение активности при 10-минутной экспозиции.

Анализ активности пероксидазы показал отчетливое ингибирующее действие ультразвука на активность фермента у семян, обработанных в течение 5 мин ($P \leq 0,05$), рис. 2. Зафиксировано частичное восстановление активности пероксидазы у семян, обработан-

ных в течение 10 мин как в момент набухания, так и в момент прорастывания корня. Активность фермента приближалась к контролю при увеличении времени обработки.

Исследования интенсивности дыхания выявили противоположное действие ультразвука у семян, обработанных на разных стадиях прорастания (рис. 3). Так, семена, подверженные ультразвуковому воздействию в момент прорастывания корня, показали увеличение интенсив-

а

б

Рис. 2. Влияние ультразвуковой обработки на активность пероксидазы в семенах пшеницы в момент набухания (а) и прорастывания корня (б)

а

б

Рис. 3. Влияние ультразвуковой обработки на интенсивность дыхания семян пшеницы в момент набухания (а) и в момент прорастывания корня (б)

ности дыхания в зависимости от времени действия, т.е. чем дольше было воздействие, тем выше интенсивность дыхания (см. рис. 3, б). У семян, обработанных в момент набухания, наблюдался неоднозначный эффект, т.е. с увеличением времени действия ультразвуком интенсивность либо возрастала, либо снижалась (см. рис. 3, а).

Морфометрические параметры – масса, длина корней и побега могут отражать накопление органического вещества, интенсивность клеточного деления и скорость роста растения. Исследуемые физиолого-биохимические параметры в определенной мере показывают уровень интенсивности распада органических веществ. Активность каталазы и пероксидазы косвенно может характеризовать состояние процессов биологического окисления в семенах и проростках [14].

Стимулирующее действие ультразвука связано, вероятно, с его влиянием на ферменты, активирующие прорастание семян, а также с механическим размягчением запасных питательных веществ, что способствует их лучшему расщеплению, ускоряя катаболизм, накопление химической энергии и, как следствие, стимулирует рост растения. Ингибирование изучаемых параметров связано, вероятно, с разрушающим действием ультразвука на мембраны клеток проростка, что приводит к нарушению целостности структур, изменению их гомеостаза и, как следствие, к снижению интенсивности энергетического обмена и накопления химической энергии, замедлению ростовых процессов.

Снижение активности пероксидазы и каталазы в опытных семенах, возможно, объясняется временным дестабилизирующим воздействием ультразвука на структуру молекул ферментов [2].

Повышение активности каталазы в семенах после 10-минутной обработки в момент проклеивания корня во взаимосвязи с усилением интенсивности дыхания, возможно, связано с нарушением функционирования электронно-транспортных цепей митохондрий, что приводит к утечке электронов и образованию активных форм кислорода, в том числе, перекиси водорода, которая является субстратом для каталазы [17–19].

Сильное подавляющее действие ультразвука на семена, обработанные на стадии прорастания, связано, возможно, с большим количеством клеточных структур, подверженных механическому воздействию ультразвуковой волны.

Заключение. Выявлено ростактивирующее действие ультразвука на семена пшени-

цы, обработанные в течение 10 мин в момент набухания. Так, масса семян в конце эксперимента составила $376,83 \pm 13,97$ мг, длина корня и побега – $60,05 \pm 2,62$ и $56,15 \pm 1,63$ мм соответственно, тогда как в контроле масса – $342,09 \pm 12,60$ мг, длина корня – $56,71 \pm 2,66$ мм, побега – $50,03 \pm 1,80$ мм.

Зафиксировано снижение активности каталазы в семенах, обработанных ультразвуком в момент набухания: контроль – $1,8 \pm 0,12$ см³ O₂/г семян, 5-минутная обработка – $1,2 \pm 0,07$ см³ O₂/г семян, 10-минутная – $0,6 \pm 0,08$ см³ O₂/г семян, а 20-минутная – $0,5 \pm 0,04$ см³ O₂/г семян.

Показано ингибирующее действие ультразвука на активность пероксидазы, семена, обработанные в течение 5 мин, – $16,6 \pm 1,3$ у.е., 10 мин – $22,6 \pm 1,7$ у.е. и 20 мин – $6,6 \pm 0,8$ у.е., активность фермента в контрольных образцах составила $50 \pm 1,9$ у.е.

Интенсивность дыхания семян, обработанных ультразвуком, в момент набухания увеличивается при 5-минутном действии – $66 \pm 7,2$ см³ CO₂/100 г семян и ингибируется при 10-минутной обработке – $28,8 \pm 4,5$ см³ CO₂/100 г семян, контроль – $79,2 \pm 9,1$ см³ CO₂/100 г семян.

Результаты ультразвукового воздействия на семена, обработанные в момент проклеивания корня, показали усиление процессов катаболизма, однако морфометрические показатели оказались ниже контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова И.Ф., Веселов А.П., Ефременко Ю.Р. Протеолитическая активность прорастающих семян пшеницы при тепловом стрессе // Физиология растений. – 1999. – Т. 46. – № 1. – С. 223.
2. Биссвангер Х. Практическая энзимология. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2014. – 331 с.
3. Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. – М.: Наука, 1966. – 168 с.
4. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на активность амилазы в проростках *Lupinus angustifolius* L. / Ж.Э. Мазец [и др.] // Труды БГУ. – 2013. – Т. 8. – Ч. 2. – С. 96–102.
5. Влияние продуцирующих индол-3-уксусную кислоту бактерий *Azotobacter chroococcum* 66 и *Pseudomonas putida* nbr9 на термостойкость проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Ю.А. Мацкова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7–4. – С. 682–686.
6. Влияние низкочастотного переменного магнитного поля и гипертермии на рост и фотосинтез проростков гороха / Ю.В. Синицына [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1374.

7. Влияние фитогормонов эпина и пирабактина на ростовые реакции гороха в условиях искусственной засухи / Ю.В. Сеницына [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 6. – С. 663.

8. Воскресенская О.Л., Грошева Н.П., Скопцова Е.А. Физиология растений: учеб. пособие. – Йошкар-Ола, 2008. – 148 с.

9. Гланц С. Медико-биологическая статистика. – М.: Практика, 1999. – 459 с.

10. Головина Т.А. Обработка зерна СВЧ-полем как способ борьбы с токсинообразующими грибами // Успехи медицинской микологии. – 2004. – Т. 3. – № 3. – С. 54–56.

11. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Колос, 1972. – 456 с.

12. Кубеев Е.И. Повышение эффективности технологического процесса предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур за счет совершенствования методов и технических средств нанесения искусственных оболочек: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2015. – 38 с.

13. Рубцова М.С. Практикум по физиологии растений. – М.: Изд-во НГСХА, 2003. – 7 с.

14. Скулачев В.П., Богачев А.В., Каспаринский Ф.О. Мембранная биоэнергетика. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. – 365 с.

15. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. – СПб., 2002. – 244 с.

16. Leveau J.H.J., Lindow S.E. Utilization of the plant hormone indole-3-acetic acid for growth by *Pseudomonas putida* strain 1290 //

Appl. Environ. Microbiol., 2005, Vol. 71, No. 5, P. 2365–2371.

17. Li-Juan Quan, Bo Zhang, Wei-Wei Shi and Hong-Yu Li. Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species // Network Journal of Integrative Plant Biology, 2008, Vol. 50 (1), P. 2–18.

18. Patterson B.D., Paune L.A., Chen Yi-Zhu, Graham P. An inhibitor of catalase induced by cold in chilling-sensitive plants // Plant Physiology, 1984, No. 4, Vol. 76, P. 1014–1018.

19. Veselin D.P., Frank Van Breusegem. Hydrogen peroxide a central hub for information flow in plant cells // AoB PLANTS, 2012, P. 1–13.

Тарасов Сергей Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Ботаника, физиология и защита растений», Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. Россия.

Веселов Александр Павлович, д-р биол. наук, проф. кафедры «Биохимия и биотехнология», Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского; Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. Россия.

Крутова Елена Константиновна, канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой «Ботаника, физиология и защита растений», Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. Россия.

603107, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, 97.
Тел.: (831) 462-78-17.

Ключевые слова: прорастание; пшеница; каталаза; пероксидаза; интенсивность дыхания; ультразвук.

CHANGES IN THE MORPHO-PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF SEED GERMINATION OF WHEAT UNDER THE INFLUENCE OF ULTRASONIC EXPOSURE

Tarasov Sergey Sergeevich, Senior Teacher of the chair "Botany, Physiology and Plant Protection", Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. Russia.

Veslov Alexander Pavlovich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the chair "Biochemistry and Biotechnology", Nizhny Novgorod State National Research University named after N.I. Lobachevsky; Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. Russia.

Krutova Elena Konstantinovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the chair "Botany, Physiology and Plant Protection", Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. Russia.

Keywords: germination; wheat; catalase; peroxidase; respiratory rate; ultrasound.

The work is devoted to the study of the influence of ultrasound on the morphological and physiological-biochemical indicators of seed germination in wheat. The seeds were sonicated at the swelling stage, immediately after soaking and at the germination stage, 24 hours after the addition of water. The treatment was carried out for 5, 10 and 20 minutes, the controls were soaked, but not sonicated seeds. In the seeds and sprouts, the intensity of respi-

ration, the activity of catalase and peroxidase, the length of the roots, the number of roots, the length of the shoots, the germination capacity, and the rate of germination were measured. A partial dependence on the effect of the investigated factor and the corresponding parameters studied is shown. Ultrasonic treatment had either a stimulating effect or an inhibitory effect. A statistically significant increase in the catalase activity was observed with 20 minutes of seed treatment at the swelling stage and at 10 and 20 minutes treatment at the germination stage. The five-minute action activated the activity of peroxidases. The intensity of respiration was higher in seeds treated during 10 and 20 minutes at the stage of swelling, and 5 minutes at the germination stage, a decrease in the intensity of respiration was observed in seeds treated with ultrasound for 20 minutes at the germination stage. The germination rate was enhanced by 10 minutes of action by ultrasound at the swelling stage. The analysis of morphometric indices revealed a positive dynamics for seeds treated with ultrasound for 10 minutes at the stage of swelling, negative values were recorded during seed treatment for 10 and 20 minutes at the germination stage. The point of stimulating action of ultrasound on wheat seeds in the region of 10 minutes at the initial stage of swelling was established.