

УДК 641.1/3

UDC 641.1/3

06.01.05 Селекция и семеноводство
сельскохозяйственных растений

Selection and seed farming (agricultural sciences)

**ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА
ПРОРАЩИВАНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ¹**

**OPTIMIZATION OF WHEAT GRAIN
PROCESS GERMINATION CONDITIONS**

Науменко Наталья Владимировна
к.т.н., доцент
SPIN-код: 5602-5520, Author ID: 624622
e-mail: Naumenko_natalya@mail.ru

Naumenko Natalia Vladimirovna
Cand.Tech.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 5602-5520, Author ID: 624622
e-mail: Naumenko_natalya@mail.ru

Потороко Ирина Юрьевна
д.т.н., профессор
SPIN-код: 2303-9070, Author ID: 646677
E-mail: irina_potoroko@mail.ru

Potoroko Irina Yurievna
Dr.Sci.Tech., professor
RSCI SPIN-code: 2303-9070, Author ID: 646677
E-mail: irina_potoroko@mail.ru

Малинин Артем Владимирович
магистр кафедры пищевые и биотехнологии
SPIN-код: 2468-5173, AuthorID: 1031401
E-mail: artemmalinin3@gmail.com

Malinin Artem Vladimirovich
master in Food and Biotechnology
RSCI SPIN-code: 2468-5173, AuthorID: 1031401
E-mail: artemmalinin3@gmail.com

Цатуров Арам Валерикович
магистр кафедры пищевые и биотехнологии
SPIN-код: 2109-6700, AuthorID: 1031398
E-mail: aram-chel@mail.ru
*ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный
университет (НИУ)», Россия*

Tsaturov Aram Valerikovich
master in Food and Biotechnology
RSCI SPIN-code: 2109-6700, AuthorID: 1031398
E-mail: aram-chel@mail.ru
*South Ural State University
National Research University, Russia*

В статье рассматривается необходимость контроля технологических параметров проращивания зерна пшеницы. Предлагается способ интенсификации данного процесса путем предварительной обработки зерна ультразвуковым воздействием с применением аппарата «ВОЛНА-Л» УЗТА-0,63/22-ОЛ, г. Бийск. Оцениваются различные режимы ультразвуковой обработки зерна и их влияние на энергию прорастания и суммарное количество наклюнувшихся и проросших зерен. Проводится оптимизация условий обработки зерна при проращивании. Исходя из технологических возможностей прибора и оптимальных режимов ультразвукового воздействия, были определены следующие параметры воздействия: 340 Вт и 5 минут воздействия (зерно мягкой пшеницы) и 397 Вт и 6 минут воздействия (зерно твердой пшеницы). Авторы отмечают, что интенсификация данного процесса значительно зависит от сорта и качества зерна пшеницы, поскольку процесс является сложным и зависит от множества параметров. Использование ультразвукового воздействия позволяет интенсифицировать процесс замачивания и сократить длительность данной технологической

The article discusses the need to control the technological parameters of wheat germination. A method of intensification of this process is proposed by pretreatment of grain with ultrasonic effect using the ULTA-0.63 / 22-OL apparatus UZTA-0.63 / 22-OL, Biysk. We have evaluated various modes of ultrasonic processing of the grain and their effect on the germination energy and the total number of nested and sprouted grains. We have also conducted optimization of grain processing conditions during germination. Based on the technological capabilities of the device and the optimal modes of ultrasonic exposure, the following exposure parameters were determined: 340 W and 5 minutes of exposure (soft wheat grain) and 397 W and 6 minutes of exposure (grain of durum wheat). The authors note that the intensification of this process significantly depends on varieties and qualities of wheat grain, since the process is complex and depends on many parameters. The use of ultrasonic treatment allows intensifying the soaking process and reducing the duration of this technological operation up to 6 hours for both samples of grain of soft and durum wheat. At the same time, for the necessary moistening of the grain, a ratio of water and grain for 1: 1 is sufficient, since there were no significant differences in the intensity

¹ Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011 и при финансовой поддержке государственных заданий № 40.8095.2017/БЧ и гранта РФФИ 18-53-45015.

операции до 6 часов как у образцов зерна мягких, of grain moistening так и твердых сортов пшеницы. При этом, для необходимого увлажнения зерна достаточно соотношения воды и зерна в количестве 1:1, т.к. значительных различий в интенсивности увлажнения зерна выявлено не было

Ключевые слова: ПРОРАЩЁННОЕ ЗЕРНО ПШЕНИЦЫ, КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРАЩИВАНИЕ ЗЕРНА, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОРАЩИВАНИЯ

Keywords: SPROUTED WHEAT GRAIN, CONTROLLED PARAMETERS GRAIN GERMINATION, INTENSIFICATION OF GERMINATION

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-151-017>

Процесс проращивания пшеницы, используемой для обогащения продуктов переработки зерна, требует четкого отслеживания и регулирования. Излишнее прораствание пшеницы приводит к чрезмерному осахариванию крахмала, гидролизу белка и активации α -амилазы, что делает тесто не пригодным для изготовления качественной продукции. Рядом исследователей описывается установленная корреляционная зависимость между уровнями активности α -амилазы и параметрами, связанными с прорастванием, такими как реологические характеристики теста [8].

Если зерно подвергается длительному увлажнению и бесконтрольному проращиванию, то активность α -амилазы настолько велика, что полученная мука становится неприемлемой для дальнейшего использования. Тогда как в контролируемых условиях исследователями отмечается лишь небольшая активность ферментов, что свидетельствует о возможности использования полученной муки для производства широкого спектра зерновых продуктов. Недавние исследования авторов [8, 9, 10] показали, что применение муки из цельной пшеницы, проросшей в контролируемых условиях, позволило улучшить объем хлеба и структуру мякиша, а также обогатить изделия витаминами группы В, минеральными веществами и незаменимыми аминокислотами.

Целью данной работы являлся поиск оптимальных условий интенсификации процесса проращивания зерна пшеницы.

Объекты и методы исследований. В качестве объектов исследования было выбрано зерно пшеницы сортов Любава, Эритроспериум 59, Безенчукская 205, Безенчукская степная, выращенные в степной зоне Челябинской области. Замачивание зерна проводили в дистиллированной воде. (Аналогичные опыты проведены с использованием водопроводной воды, при этом полученный эффект сохранялся во всех случаях).

Зерно пшеницы проращивали до величины ростка 1 – 1,5 мм [1, 3, 4], для интенсификации процесса использовали обработку зерна ультразвуковым аппаратом «ВОЛНА-Л» УЗТА-0,63/22-ОЛ, г. Бийск [1, 2, 6, 7].

Режимы ультразвуковой обработки зерна:

- частота $22 \pm 1,65$ кГц, интенсивность не менее 10 Вт/см^2 ,
- мощность (номинальная) 126 – 630 Вт (20 – 100 % мощности прибора),
- время воздействия 3, 5 и 7 мин;
- объем озвучиваемой зерновой массы 500 мл.

Обработка зерна проводилась при постоянном перемешивании.

В качестве контролируемых показателей были определены: энергия прорастания, суммарное количество наклюнувшихся и проросших зерен (определение согласно ГОСТ 10968-88) и изменение влажности зерна при замачивании (определение согласно ГОСТ 13586.5-93).

Все исследования проводились в трехкратной повторности. Достоверность экспериментальных данных оценивали методами математической статистики с помощью приложения Microsoft Excel для Windows 2007 и программного продукта Mathcad 2000. Полученные данные приведены с доверительной вероятностью 0,95.

Результаты и их обсуждение. Выбор интенсивности и длительности ультразвукового воздействия (УЗВ) на зерно мягкой и твердой пшеницы

является первостепенной задачей, т.к. эти характеристики основополагающие в обработке зерна перед проращиванием. Интенсификация процессов проращивания позволяет сократить длительность технологического процесса и стабилизировать протекание биохимических процессов внутри зерна. Ультразвуковое воздействие используется исследователями [7] для повышения всхожести и урожайности зерновых культур.

Использование УЗВ различной мощности и длительности воздействия приводит к различному результату. Так максимальный положительный эффект для интенсификации проращивания можно отметить при использовании напряжения мощностью 315 и 378 Вт (рис. 1), при этом суммарное количество наклюнувшихся и проросших зерен увеличивается в среднем на 10 и 11 %, а энергия прорастания на 15 и 11 %, для мягкой и твердой пшеницы соответственно.

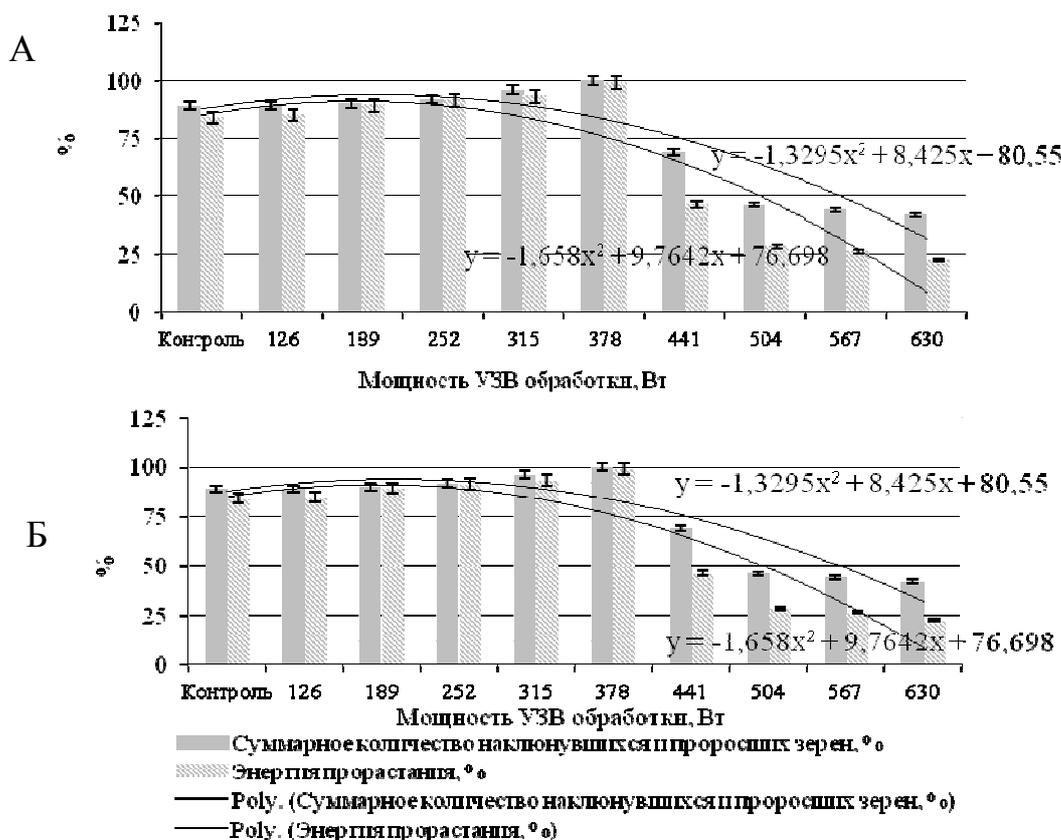


Рис. 1. Зависимость мощности УЗВ на суммарное количество наклюнувшихся и проросших зерен и энергию прорастания (А – зерно мягкой пшеницы, Б – зерно твердой пшеницы)

Использование более высокого напряжения приводит к резкому увеличению температуры зерна до 46 °С, что влечет за собой необратимые изменения в белковом, углеводном и липидном комплексах зерна, значительным потерям в качестве.

Для установления оптимальной мощности обработки зерна и длительности воздействия было проведено двухфакторное планирование эксперимента. В качестве контролируемого показателя была определена энергия прорастания зерна пшеницы (Y).

В результате планирования и решения задачи оптимизации были получены уравнения, которые позволили установить наиболее приближенное к оптимальному сочетание воздействующих факторов: мощность воздействия (X_1) и длительность озвучивания (X_2)

$$Y = -2,504 \cdot 10^{-4} \cdot X_1^2 + 0,145 \cdot X_2^2 + 4,318 \cdot 10^{-3} X_1 \cdot X_2 - 3,5 \cdot X_1 + 36,171 \cdot X_2 - 25,705 \quad (1)$$

$$Y = -3,579 \cdot 10^{-4} \cdot X_1^2 - 0,301 \cdot X_2^2 + 0,01 \cdot 10^{-3} X_1 \cdot X_2 - 1,886 \cdot X_1 + 20,426 \cdot X_2 - 16,697 \quad (2)$$

Исходя из технологических возможностей прибора и оптимальных режимов ультразвукового воздействия, были определены следующие параметры воздействия:

- зерно мягкой пшеницы – 340 Вт и 5 минут воздействия;
- зерно твердой пшеницы – 397 Вт и 6 минут воздействия.

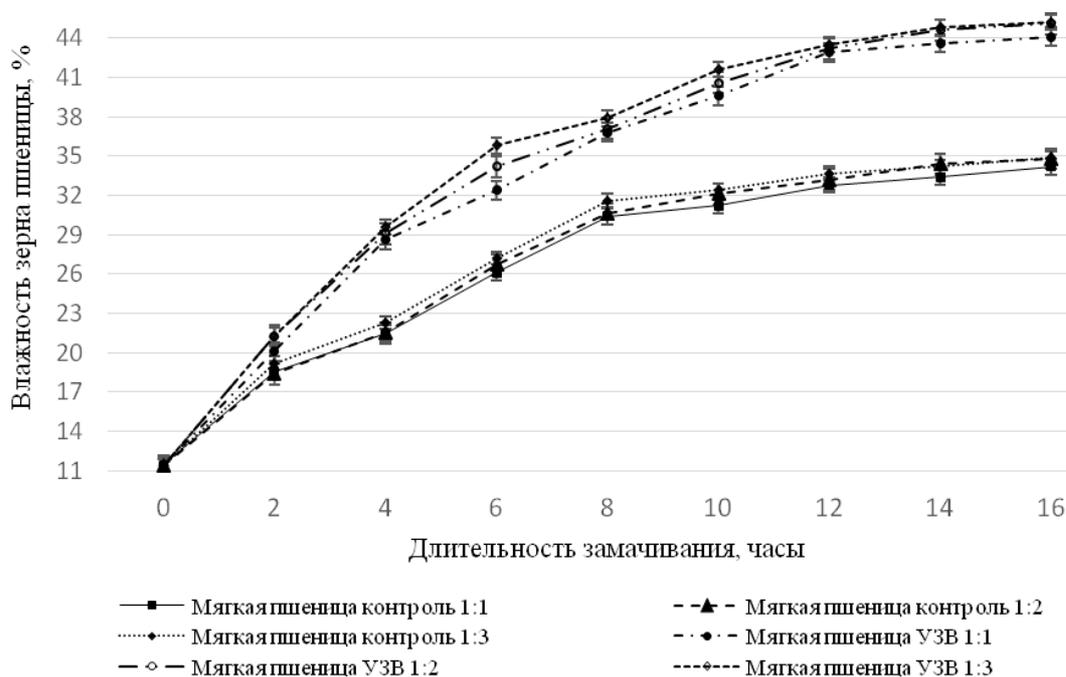
Замачивание зерна является основным способом воздействия на его компоненты и активатором процесса прорастивания. Зерно, как капиллярно-пористое коллоидное тело, отличающееся клеточной структурой и сетью макро- и микропор, обладает гигроскопичностью. В процессе замачивания сорбция как сложное явление включает адсорбцию (уплотнение молекул воды на поверхности зерна), абсорбцию (проникание воды путем диффузии в зерно), капиллярную конденсацию (поглощение воды с образованием конденсата в капиллярах зерна) и хемосорбцию (поглощение воды зерном, сопровождающееся реакцией, которая ведет к химическим изменениям составных частей зерна). Таким образом, в

результате адсорбции и абсорбции влага по указанным путям под влиянием диффузионно-осмотических сил проникает вглубь зерна и образует твердые растворы с коллоидами (белковые вещества, крахмал, клетчатка, пентозаны, слизи и другие высокомолекулярные углеводы). Часть веществ зерна растворяется в воде (сахара, свободные аминокислоты, фосфаты и др.) [4, 5]. Поэтому важно оптимизировать количество используемой воды для проращивания с целью минимизации потерь растворимых веществ, которые могут мигрировать из зерна и снижать его пищевые достоинства.

Основным контролируемым показателем при проращивании зерна является изменение его влажности. Скорость проникания влаги в зерно обусловлена рядом факторов, важнейшими из которых являются: стекловидность, качество белков, исходная влажность, выполненность и крупность зерна и сорт. Характерно, что зерно вначале интенсивно поглощает воду, а затем, по мере насыщения, скорость проникания влаги постепенно уменьшается. Эндосперм твердой пшеницы плотнее, чем эндосперм мягкой. Чем ниже стекловидность, тем плотность эндосперма меньше, что обуславливает увеличение скорости поглощения воды [4]. Выбор оптимального количества воды, используемой для проращивания, также является важным критерием контролируемого проращивания зерна пшеницы, т.к. излишнее количество влаги приводит к заплесневению зерна, а ее недостаток – значительно увеличивает длительность данного процесса.

Исследователями установлено, что для начала прорастания зерна пшеницы, его влажность должна находиться в диапазоне 35 – 45%, а температура быть 4 – 22 °С [9]. Другими авторами [3, 4, 10] установлено, что для начала прорастания зерна пшеницы необходима влажность зерна 30 – 32 % и температура 20 – 23 °С.

Нашими исследованиями предварительно установлено, что для начала прорастания зерна пшеницы исследуемых сортов необходима влажность 33 – 35 % и температура 20 – 22 °С. Для определения минимального количества используемой воды проводили предварительное замачивание зерна в дистиллированной воде в соотношении 1:1, 1:2 и 1:3. Результаты определения влажности зерна в процессе замачивания представлены на рис. 2.



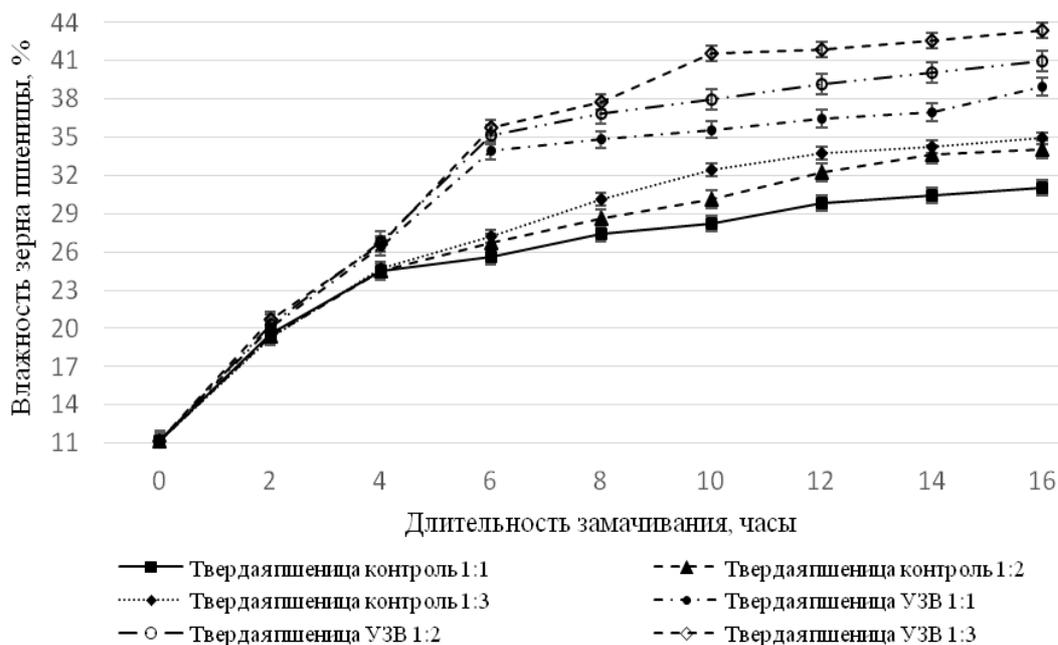


Рис. 2. Результаты определения влажности зерна пшеницы при замачивании

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование УЗВ обработки практически в 2 раза сокращает длительность замачивания зерна пшеницы как мягких, так и твердых сортов. Причем, влажность мягкой пшеницы повышается наиболее стремительно в первые четыре часа замачивания (24,7 – 29,9 %). Процесс абсорбции и капиллярной конденсации у мягкой пшеницы проходит значительно быстрее, чем у твердой пшеницы и влага распространяется по оболочкам стремительнее. Это объясняется структурой этих частей, в частности наличием в оболочках воздушных каналов, капилляров и пустот. В зерне твердой пшеницы процесс водопоглощения проходит менее интенсивно и только через шесть часов замачивания влажность зерна контрольных образцов составляет (22,3 – 23,6 %).

Необходимое значение влажности зерна для проращивания (минимум 33 %) достигается контрольными образцами мягкой и твердой пшеницы к 12 и 14 часам соответственно. Тогда как у образцов, замачиваемых после УЗВ, данная характеристика достигается уже через 6 часов. Данный

эффект [6, 7] можно объяснить тем, что ультразвуковое воздействие обеспечивает микрорастрескивание оболочечных частей зерна, это способствует более полному проникновению влаги в центральные части зерна и положительно сказывается на абсорбции и капиллярной конденсации влаги.

После достижения значения массовой доли влаги зерна 40 – 45 % резких изменений данной характеристики не наблюдается. Так как в это время происходит перераспределение влаги в зерне, она поступает к ядру пшеницы по микропорам, где проникает в зародыш и активизируется процесс прорастания, затем равномерно распределяется по всему зерну под его оболочкой [10]. Поэтому целесообразно через 6 часов после замачивания убирать избыток воды и переходить к этапу проращивания. Необходимо отметить, что для увлажнения зерна достаточно количество воды и зерна в соотношении 1:1, т.к. значительных различий в интенсивности увлажнения зерна не выявляется.

Оптимизация условий проращивания зерна пшеницы и интенсификация данного процесса значительно зависит от сорта и качества зерна пшеницы, поскольку процесс является сложным и зависит от множества параметров. Использование УЗВ позволяет интенсифицировать процесс замачивания и сократить длительность данной технологической операции до 6 часов как у образцов зерна мягких, так и твердых сортов пшеницы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Науменко, Н.В. К вопросу интенсификации процесса проращивания зерна // Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, Ю.И. Кретьева, И.В. Калинина, А.В. Паймулина, А.В. Цатуров // Дальневосточный аграрный вестник. – 2018. – № 4 (48). – С. 109 – 115.
2. Калинина, И.В. Применение эффектов ультразвукового кавитационного воздействия как фактора интенсификации извлечения функциональных ингредиентов // Калинина И.В., Фаткуллин Р.И. / Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: пищевые и биотехнологии. 2016. – № 1. – Т.4 – С. 64 – 70.

3. Конева, М.С. Разработка технологии и оценка потребительских свойств смузи, обогащенных продуктами из пророщенного зерна пшеницы: дис.... канд. техн. наук: 05.18.01. – Краснодар, 2017. – 175 с.

4. Сафронова, Т.Н. Новый вид функциональной добавки в пищевые продукты / Т.Н. Сафронова, О.М. Евтухова, И.В. Фаренкова // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 6 – С. 229 – 235.

5. Сафронова, Т.Н. Разработка технологических параметров проращивания зерна пшеницы / Т.Н. Сафронова, В.В. Казина, К.В. Сафронова // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 44. – № 1. – С. 37–43.

6. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богущ, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – С. 98 – 102.

7. Хмелев, В.Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: монография / В.Н. Хмелев, О.В. Попова. – Барнаул: Изд. АлтГТУ, 1997. – С. 112 – 126.

8. Dornez, E. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels / E. Dornez, K. Gebruers, I.J. Joye, B. De Ketelaere, J. Lenartz, C. Massaux, et al. // Journal of Cereal Science, 47 (2) – 2008. – PP. 180 – 189.

9. Gooding, M.J. The wheat crop Wheat Chemistry and Technology, Chapter 2 (fourth ed.) / M.J. Gooding // AACC International, Inc, St. Paul, MN, 2009.

10. Rathjen, J. Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grain J. / J. Rathjen, E. Strounina, D. Mares // Exp. Bot., №60 (6), 2009 – PP. 1619 – 1631.

References

1. Naumenko, N.V. K voprosu intensivizatsii processa prorashhivaniya zerna // N.V. Naumenko, I.Ju. Potoroko, Ju.I. Kretova, I.V. Kalinina, A.V. Pajmulina, A.V. Caturon // Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – 2018. – № 4 (48). – S. 109 – 115.

2. Kalinina, I.V. Primenenie jeffektov ul'trazvukovogo kavitatsionnogo vozdejstviya kak faktora intensivizatsii izvlecheniya funkcional'nyh ingredientov // Kalinina I.V., Fatkullin R.I. / Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: pishhevye i biotehnologii. 2016. – № 1. – T.4 – S. 64 – 70.

3. Koneva, M.S. Razrabotka tehnologii i ocenka potrebitel'skih svojstv smuzi, obogashhennyh produktami iz proroshhennogo zerna pshenicy: dis.... kand. tehn. nauk: 05.18.01. – Krasnodar, 2017. – 175 s.

4. Safronova, T.N. Novyj vid funkcional'noj dobavki v pishhevye produkty / T.N. Safronova, O.M. Evtuhova, I.V. Farenkova // Vestnik KrasGAU. – 2013. – № 6 – S. 229 – 235.

5. Safronova, T.N. Razrabotka tehnologicheskikh parametrov prorashhivaniya zerna pshenicy / T.N. Safronova, V.V. Kazina, K.V. Safronova // Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv. – 2017. – T. 44. – № 1. – S. 37–43.

6. Tehnologija i oborudovanie dlja obrabotki pishhevyh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoj dezintegratsii / S.D. Shestakov, O.N. Krasulja, V.I. Bogush, I.Ju. Potoroko. – M.: Izd-vo «GIORD», 2013. – S. 98 – 102.

7. Hmelev, V.N. *Mnogofunkcional'nye ul'trazvukovye apparaty i ih primeneniye v usloviyah malyh proizvodstv, sel'skom i domashnem hozjajstve: monografija* / V.N. Hmelev, O.V. Popova. – Barnaul: Izd. AltGTU, 1997. – S. 112 – 126.

8. Dornez, E. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels / E. Dornez, K. Gebruers, I.J. Joye, B. De Ketelaere, J. Lenartz, C. Massaux, et al. // *Journal of Cereal Science*, 47 (2) – 2008. – PP. 180 – 189.

9. Gooding, M.J. *The wheat crop Wheat Chemistry and Technology, Chapter 2* (fourth ed.) / M.J. Gooding // AACC International, Inc, St. Paul, MN, 2009.

10. Rathjen, J. Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grain J. / J. Rathjen, E. Strounina, D. Mares // *Exp. Bot.*, №60 (6), 2009 – PP. 1619 – 1631.