

ПРИМЕНЕНИЕ ШКАЛЫ МИКРОФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ФАЗ ДЛЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛИРУЕМОГО ПРОРАЩИВАНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, Е.Е. Науменко

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Актуальной задачей пищевой отрасли является внедрение в рацион питания россиян сбалансированных пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям качества и пищевой ценности. В качестве одного из путей реализации данного направления можно выделить такой технологический процесс, как проращивание зерновых культур с целью получения сырьевых ингредиентов, обладающих рядом положительных характеристик и технологических свойств. В статье авторами предлагается использование понятия «контролируемое проращивание», как естественный регулируемый способ улучшения пищевой ценности, технологических свойств и сенсорных характеристик зерновых культур, проводимый с использованием самых современных технологий, при условии соблюдения высоких требований безопасности конечного продукта. Целью настоящего исследования стала разработка и апробация универсальной методики контролирования процесса проращивания зерна пшеницы, возможности отслеживания основных этапов процесса и получение заданных свойств сырьевых ингредиентов на основе пророщенного зерна пшеницы. Для эффективного инструмента управления данным процессом была разработана и апробирована шкала микрофенологических фаз контролируемого проращивания зерна пшеницы. Шкала основана на использовании программного инструмента для фенотипирования, с помощью которого возможно определять размерные характеристики каждого зерна Seed Counter экземпляра зерна пшеницы из оцениваемой массы и получать массив данных для контроля процесса проращивания в полном объеме. Разработанная шкала предложена как идентификатор четырех микрофенологических фаз в технологии контролируемого проращивания зерна пшеницы и включает следующие фазы: фаза набухания (начало процесса гидролиза высокомолекулярных соединений эндосперма и их перевода в растворимое состояние); фаза точки роста (увеличение ширины зерна пшеницы, появление ростка из-под плодовых и семенных оболочек); фаза ростка (появление проклюнувшегося ростка, увеличение длины зерна пшеницы) и фаза формирования органов ростка (дифференциация зародышевых корешков длиной 1–2 мм, формирование органов ростка длиной более 1,5 мм).

Ключевые слова: зерно пшеницы, контролируемое проращивание, шкала микрофенологических фаз.

Введение

В технологиях переработки зерновых культур в настоящее время особое внимание уделяется полновесному использованию всех составных частей зерновки, что позволяет максимально сохранить продовольственные ресурсы и использовать биоактивные компоненты. Особую популярность на рынке приобрели продукты на основе пророщенного зерна, однако получение такого продукта – это сложный многофакторный процесс, который предполагает применение индивидуальных методов воздействия на зерно, использования технологических параметров и режимов, что в конечном итоге позволит получить новые сырьевые ингредиенты, обладающие рядом положительных характеристик и технологических свойств. Использование данно-

го процесса в переработке зерновых культур имеет большое практическое значение.

Многочисленные исследования [1, 2, 10, 11, 18, 21] показывают, что с применением процессов проращивания возможно разрабатывать современные зерновые продукты и провести диверсификацию ассортимента данной группы товаров. Получаемое в результате проращивания сырье имеет повышенное содержание биологически активных соединений и может использоваться в качестве профилактического элемента питания.

В процессе проращивания зерна пшеницы наиболее важно контролировать динамику изменения его линейных размеров, так как их увеличение косвенно свидетельствует о скорости проникновения влаги в зерно, набухании крахмальной и белковой фракций эндос-

перма и активации зародыша к росту (наклевание), что согласуется с данными исследований ряда авторов [1–5, 13, 21]. Происходящие в зерне пшеницы процессы насыщения и перераспределения влаги по его анатомическим частям определяют изменение ряда показателей, которые были положены в основу проведения контролируемого проращивания.

Для контролирования процесса проращивания в качестве критериев микрофенологических фаз прорастания (наклеывания и проклеывания) определены изменения линейных размеров (длина, ширина и площадь поверхности) и скорость появления ростка.

Анализ открытых источников научной информации, характеризующих критерии идентификации этапов проращивания зерна пшеницы, свидетельствуют, что в настоящее время нет высокообъективных и легко выявляемых визуально морфологических описаний отдельных фаз процесса проращивания, позволяющих установить точки роста, а также сопровождающие его изменения физиологических и биохимических показателей [1, 3–5, 8, 9].

Учитывая многообразие используемых подходов, методик и технологических способов воздействия на зерно пшеницы, применяемых исследователями как в российской, так и в международной практике по проращиванию зерновых культур, можно выделить общее необходимое требование – данный процесс необходимо проводить в четко контролируемых условиях (режимы, периодичность и продолжительность замачивания / увлажнения; температура процесса и используемой воды; циркуляция воздуха во время прорастания; используемый свет; параметры завершения процесса и другие характеристики). Необходимость проводить так называемое «контролируемое проращивание» подтверждается многочисленными патентами и международными публикациями [18, 21, 22].

Термин «контролируемое проращивание» практически не используется в работах российских исследователей. Так, в Elibrary данное понятие встречается всего девять раз, тогда как его английская версия «controlled germination» упоминается в 863 публикациях в базе данных и более 11 тыс. раз в мировых системах индексирования Scopus и Web of Science.

Понятие «контролируемое проращивание» сформулировано в ряде нормативных документов таких стран, как Германия, Швеция, Швейцария, и означает естественный регулируемый способ улучшения пищевой ценности, технологических свойств и сенсорных характеристик зерновых и бобовых культур, проводимый с использованием самых современных технологий, при соблюдении высоких требований безопасности пищевых продуктов [16–19].

Процесс «контролируемого проращивания» подразумевает управление процессом путем отслеживания температуры воздуха, количества воды, притока кислорода, интенсивности освещения, продолжительности процесса и ряда других характеристик. При этом в процессе проращивания активно используются новые формы физической энергии для повышения интенсивности протекания обмена веществ и максимального накопления полезных для здоровья ингредиентов.

Анализ научных источников позволяет заключить, что в настоящий момент исследований в области получения сырьевых ингредиентов из зерна пшеницы путем контролируемого проращивания недостаточно. Поэтому создание универсальной методики контроля данного процесса, возможности отслеживания его этапов и получения заданных свойств сырьевых ингредиентов на основе пророщенного зерна пшеницы необходимо прежде всего с практической точки зрения.

Целью научной работы является разработка шкалы микрофенологических фаз и установление возможности ее использования для прослеживания процесса контролируемого проращивания зерна пшеницы.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследований были определены:

– пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum L.*) сорта «Любава» (ЗПл), срок созревания – среднеранний, вегетационный период 70–84 дней, рекомендуемая зона возделывания – степная зона Южного Урала;

– пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum L.*) сорта «Эритроспериум 59» (ЗПэ), срок созревания – среднепоздний, вегетационный период – 80–108 дней, рекомендуемая зона возделывания – лесостепная и степная зона Южного Урала, Западно-Сибирский регион.

Годы проведения исследований (2014–2018 гг.) значительно отличались по метеорологическим условиям, что типично для данного региона. Отбор проб зерна проводили согласно ГОСТ 13586.3-2015.

Проращивание осуществлялось в контролируемых условиях, проводилось предварительное промывание, замачивание и проращивание зерна пшеницы. Длительность процесса составляла 16–20 часов. Температура воды – 20–22 °С. По окончании процесса (длина ростка 1–1,5 мм) зерна пшеницы высушивались до влажности 12–14 % при принудительной конвекции и температуре 30–40 °С.

Для точного фиксирования микрофенологических фаз контролируемого проращивания зерна пшеницы был использован программный инструмент для фенотипирования зерна SeedCounter [20], с помощью которого возможно определить размерные характеристики каждого экземпляра зерна пшеницы из оцениваемой массы и получать массив данных для контроля процесса проращивания в полном объеме. Данная программа автоматической оценки фенотипических параметров зерна пшеницы (рис. 1) использует библиотеку OpenCV для обработки изображений, позволяет оперативно и точно определить размерные характеристики исследуемых образцов, базируется на операционной платформе Android.

Измерения размерных характеристик зерна пшеницы проводились при ярком дневном свете для исключения грубых погрешностей эксперимента. Для проведения одного этапа сканирования зерно пшеницы на листе белой бумаги выкладывали в количестве не более 200 шт. При получении массива данных и расчете значений в каждом эксперименте учитывалось не менее 1 000 зерен пшеницы.

Все исследования проводили в пятикратной повторности. Коэффициенты корреляции между контрольными значениями показателя длины зерна пшеницы и ее оценкой программой SeedCounter во всех экспериментах были не ниже 0,79. Для показателя ширина зерна пшеницы этот параметр был меньше, но больше 0,76. Оба коэффициента корреляции были статистически значимыми при $p < 0,01$.

Результаты и их обсуждение

Процесс проращивания зерна пшеницы является технологически весьма ответственным этапом, так как от активности его протекания зависит качество и пищевая ценность конечного продукта.

Для контролируемого ведения процесса проращивания зерна пшеницы необходимо учитывать скорость протекания процесса: изменение линейных размеров зерна пшеницы, контроль времени появления ростка и его размерных характеристик.

Для осуществления процесса контролируемого проращивания зерна пшеницы была

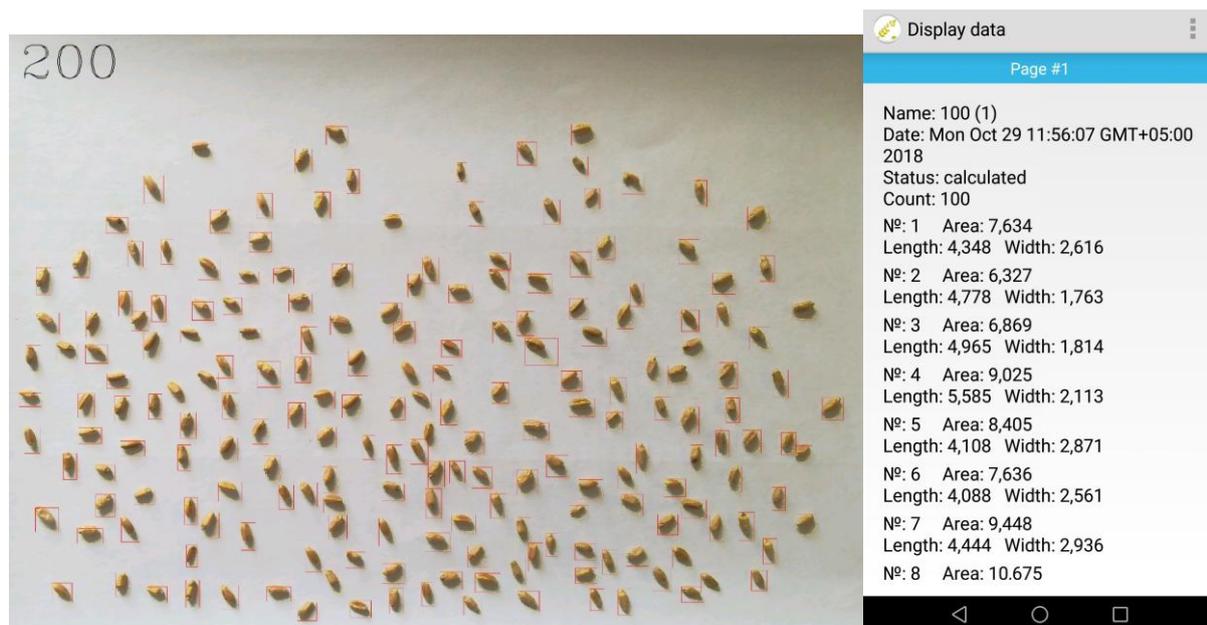


Рис. 1. Характерный вид графического изображения результатов определения размерных характеристик зерна пшеницы, полученных с использованием программы SeedCounter [20]

Проектирование и моделирование новых продуктов питания

разработана и апробирована шкала определения микрофенологических фаз контролируемого проращивания зерна пшеницы (далее – МФФ КПЗП), представленная в таблице, в основу которой положены результаты научных исследований российских и зарубежных ученых [7, 8, 10, 12, 18, 21]. Процесс проращивания проводили до оптимальной длины ростка при производстве хлебобулочных изделий ($1,2 \pm 0,2$ мм, при наличии не менее чем у 90 % зерен), что рекомендовано научным коллективом ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» под руководством профессора С.Я. Корячкиной.

Разработанная шкала является определителем следующих микрофенологических фаз в технологии КПЗП:

– *фаза набухания (ФН)* – необходимый физический процесс, происходящий в процессе замачивания зерна пшеницы, запускающий процессы гидролиза высокомолекулярных соединений эндосперма и перевода их в рас-

творимое состояние, доступное для транспортирования в развивающийся росток. Согласно современным научным представлениям [5, 8, 17], по мере достижения пороговых значений влажности (35 %) инициируются основные процессы метаболизма, происходит начало растяжения клеток, активация гликолиза, цикла Кребса, начало взаимопревращений аминокислот. Изменения в зерне не визуализируются, фиксируются по физико-химическим показателям [1, 5, 8–10, 14, 15];

– *фаза точки роста (ФТР)* – наклеывание ростка, свидетельствующее о накоплении осмотически активных веществ в осевых органах зерна пшеницы и начальном этапе их растяжения. Изменения в зерне визуализируются, фиксируется увеличение ширины зерна пшеницы, появление ростка из-под плодовых и семенных оболочек [6, 8, 16, 21];

– *фаза роста (ФР)*, наиболее благоприятная для завершения процесса проращивания. Изменения в зерне визуализируются, появляется проклюнувшийся росток размером

Разработанная шкала микрофенологических фаз (МФФ) контролируемого проращивания зерна пшеницы (КПЗП)

Номер фазы	Наименование (условное обозначение МФФ)	Этап технологии процесса КПЗП	Описание процесса КПЗП	Показатели для фиксации изменений при КПЗП
1	Набухание (ФН)	Замачивание ЗП. Проращивание ЗП	Набухание: осмотическое поступление воды по микрокапиллярам зерна пшеницы и ее взаимодействие с гидрофильными биополимерами, находящимися в структуре	Повышение влажности, степени набухания и прирост массы
2	Точка роста (ФТР)	Проращивание ЗП	Наклеывание органов ростка	Увеличение ширины ЗП
3	Росток (ФР)	Проращивание ЗП	Проклевывание органов ростка и достижение его размеров ($1,2 \pm 0,2$ мм)	Увеличение длины ЗП, визуализируемый проклюнувшийся росток, снижение величины числа падения
4	Формирование органов роста (ФФОР)	Проращивание ЗП	Появление зародышевых корешков длиной 1–2 мм, формирование органов роста длиной более 1,5 мм	Начальный рост корешков, их размер более длины зерна пшеницы

($1,2 \pm 0,2$) мм, увеличивается длина зерна пшеницы, накапливаются биологически активные вещества, происходит умеренная активация амилалитических и протеолитических ферментов [1–4, 6, 10, 13, 18];

– фаза формирования органов роста (ФФОР). В зерне пшеницы происходит начало пролиферативной активности биопроцессов, сопровождающееся активным делением клеток. Нарастающие процессы проращивания зерна пшеницы являются источником гормонального стимулирования, поступающего в эндосперм и индуцирующего там активность гидролитических ферментов [1, 3–5, 7, 8]. Изменения в зерне визуализируются, видима дифференциация зародышевых корешков длиной 1–2 мм, происходит формирование органов роста длиной более 1,5 мм, экспериментально определяется активация амилалитических и протеолитических ферментов [1, 2, 10, 22].

Результаты определения линейных размеров контрольных и опытных образцов зерна пшеницы при толщине насыпного слоя зерна пшеницы 10 мм представлены на рис. 2.

Результаты оценки размерных характеристик (длины, ширины и площади поверхности) при толщине насыпного слоя зерна пшеницы 10 мм позволили оценить отдельные микрофенологические фазы процесса. Так, для образцов ЗПэ через 4 ч проращивания за счет миграции влаги в центральные части зерна наблюдается увеличение длины и площади поверхности на ($8 \pm 0,9$) и ($21 \pm 1,3$) % соответственно, фиксируется ФН. Аналогичные изменения размерных характеристик в образцах ЗПл достигаются через 8 ч процесса проращивания.

При дальнейшем проращивании в образцах ЗПэ (через 12 ч) и ЗПл (через 16 ч) значительных изменений длины и площади поверхности не наблюдается. На стадии ФТР происходит перераспределение влаги во внутренних частях зерна пшеницы, активация ферментов, частичное осахаривание крахмала и гидролиз белка. Начинается процесс наклевывания ростка, что фиксируется приростом показателя ширины образцов ЗПэ и ЗПл.

По истечении 16 ч (начиная к (16 ± 1) ч) проращивания образцы ЗПэ значительно увеличиваются в размерах, по длине зерна пшеницы достигли номинального значения прироста данного показателя ($20,6 \pm 0,3$) %, наблюдаются характеристики, фиксирующие ФР. Образцы ЗПл вступали в данную фазу ме-

нее интенсивно, и к (20 ± 1) ч наблюдалось увеличение показателей длины (рис. 2а) и площади поверхности (рис. 2в) до заданной номинальной величины (прирост 20 %). При формировании массива данных по показателю ширины зерна пшеницы (рис. 2б) статистически значимых отличий на отдельных фазах для образцов ЗПл и ЗПэ обнаружено не было.

Контролирование изменений в состоянии зерна пшеницы в ФФОР показало естественное увеличение показателей длины и площади поверхности зерна пшеницы, обусловленное развитием корневой системы и размеров ростка.

Анализ полученного массива экспериментальных данных позволил выявить наиболее выраженную динамику изменения размерных характеристик зерна пшеницы, что фиксируется поэтапным переходом из одной микрофенологической фазы в другую.

Данный технологический подход, безусловно, может быть применен для получения технологически пригодных и биологически полноценных пищевых ингредиентов нового поколения, которые могут стать эффективным инструментом при обогащении пищевых продуктов. А разработанная и апробированная шкала микрофенологических фаз для контролируемого проращивания зерна пшеницы может использоваться как эффективный инструмент управления данным процессом.

Литература

1. Алехина, Н.Н. Хлеб повышенной пищевой ценности на основе закваски из биоактивированного зерна пшеницы: монография / Н.Н. Алехина, Е.И. Пономарева, И.А. Бакаева. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – 228 с.
2. Бастриков, Д. Изменение биохимических свойств зерна при замачивании / Д. Бастриков, Г. Панкратов // Хлебопродукты. – 2006. – № 1. – С. 40–41.
3. Верхотуров, В.В. Роль низкомолекулярных антиоксидантов и пероксидазы в механизме прорастания семян пшеницы / В.В. Верхотуров, Г.В. Пинигина // Научное сопровождение образовательного процесса агроуза: сб. материалов науч.-практ. конф. – Якутск: ЯГСХА, 2001. – С. 42–43.
4. Верхотуров, В.В. Состояние антиоксидантной системы ячменя при замачивании и солодоращении / В.В. Верхотуров, В.К. Топрищева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 9. – С. 26–30.

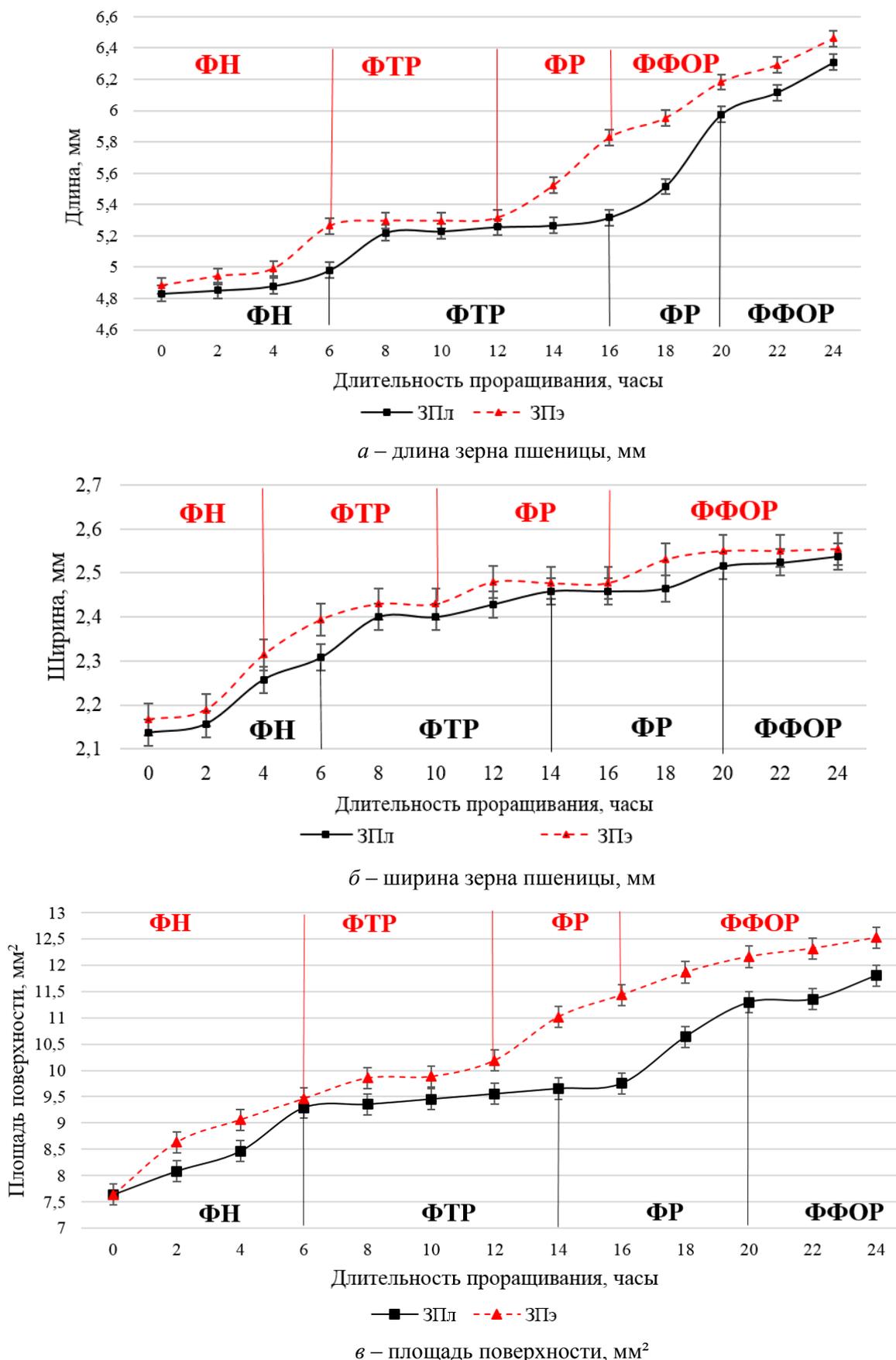


Рис. 2. Результаты изменения линейных размеров образцов зерна пшеницы при проращивании с учетом шкалы МФФ КПЗП для толщины слоя зерна пшеницы 10 мм

5. Галочкина, Н.А. Современные подходы и механизмы биоактивации растительных культур при проращивании / Н.А. Галочкина, М.А. Клиновья, Е.А. Лаптиёва // Студенческий научный форум: материалы V Междунар. студенч. электрон. науч. конф. – М.: Российская академия естествознания, 2014. – <http://www.scienceforum.ru/2014/601/4632> (дата обращения: 03.02.2014).
6. Глотова, И.А. Влияние источников селена на биохимические процессы при набухании и прорастании зерна пшеницы / И.А. Глотова, Н.А. Галочкина. – // Химия растительного сырья. – 2017. – № 4. – С. 211–216. DOI: 10.14258/jcrgm.2017041849
7. Гончаров, Ю.В. Совершенствование технологии хлеба из проросшего зерна пшеницы / Ю.В. Гончаров, С.Я. Корячкина, Е.А. Кузнецова // Аспекты и проблемы рациональной экономики: сб. матер. междунар. науч.-практ. конф.: в 4 кн. / под ред. Н.И. Лыгиной. – Орел: ГИЭТ, 2005. – Кн. 4. – С. 61–63.
8. Казакова, А.С. Физиологические основы особенностей прорастания семян различающихся по устойчивости к засухе сортов ярового ячменя / А.С. Казакова, М.В. Гайдаш, С.Ю. Козяева // Современная физиология растений: от молекул до экосистем: материалы докл. междунар. конф.: в 3 ч. – Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2007. – Ч. 1. – С. 165–166.
9. Казённова, Н.К. Изменение химического состава зерновых продуктов при проращивании / Н.К. Казённова, Д.В. Шнейдер, И.В. Казённов // Хлебопродукты. – 2013. – № 10. – С. 55–57.
10. Матвеева, Т.В. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий: монография / Т.В. Матвеева, С.Я. Корячкина. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2012. – 947 с.
11. Науменко, Н.В. Оптимизация условий процесса проращивания зерна пшеницы / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цатуров // Научный журнал КубГАУ. – 2019. – № 151 (07). DOI 10.21515/1990-4665-151-017.
12. Науменко, Н.В. Цельносмолотая мука из проросшего зерна пшеницы как пищевой ингредиент в технологии продуктов питания / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, М.Т. Велямов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 23–30. DOI 10.14529/food190303
13. Романова Х.С. Возрождение культуры питания – сохранение здоровья нации / Х.С. Романова, И.В. Симакова // Стратегия развития индустрии гостеприимства и туризма: материалы VI Междунар. интернет-конф. – Орел: ОГУ, 2016. – С. 100–104. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27221762> (дата обращения: 03.08.2018).
14. Цыганова, Т.Б. Рациональные подходы к обеспечению безопасности продукции хлебопекарных предприятий на основе принципов ХАССП / Т.Б. Цыганова, Н.Г. Семенкина // Хлебопечение России. – 2015. – № 3. – С. 14–17.
15. Шнейдер, Д. Макароны из цельносмолотого и проросшего зерна пшеницы / Д. Шнейдер // Хлебопродукты. – 2010. – № 8. – С. 46–47.
16. Ding, J. Enhancement of gamma-aminobutyric acid (GABA) and other health-related metabolites in germinated red rice (*Oryza sativa* L.) by ultrasonication / J. Ding, A. V. Ulanov, M. Dong [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.08.029 // Ultrasonics sonochemistry. – 2018. – Vol. 40. – P. 791–797.
17. Hellmann, H. Vitamin B6: a molecule for human health? / H. Hellmann, S. Mooney. – DOI: 10.3390/molecules15010442 // Molecules. – 2010. – Vol. 15, iss. 1. – P. 442–459.
18. Hoseney, R.C. Principles of cereal science and technology / R.C. Hoseney. – 2nd ed. – St. Paul, MN: American association of cereal chemists, 1994. – 378 p.
19. Hung, P.V. Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities / P.V. Hung, D.W. Hatcher, W. Barker // Food chemistry. – 2011. – Vol. 126, iss. 4. – P. 1896–1901. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.015
20. Komyshev, E. Evaluation of the SeedCounter, a mobile application for grain phenotyping / E. Komyshev, M. Genaev, D. Afonnikov // Frontiers in plant science. – 2017. – Vol. 7. DOI: 10.3389/fpls.2016.01990. – <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01990/full> (last access: 04.08.2019).
21. Price, T. V. Seed sprout production for human consumption – a review / T. V. Price // Canadian institute of food science and technology journal. – 1988. – Vol. 21, iss. 1. – P. 57–65. DOI: 10.1016/s0315-5463(88)70718-x

22. Rudolf, J.L. Optimization of trans-resveratrol concentration and sensory properties of peanut kernels by slicing and ultrasound treatment, using response surface methodology /

J.L. Rudolf, A.V.A. Resurreccion // Journal of food science. – 2007. – Vol. 72, iss. 7. – P. S450–S462. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00467.x

Науменко Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), Naumenko_natalya@mail.ru

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), potoroikoiy@susu.ru

Науменко Екатерина Евгеньевна, студент кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), 9193122375@mail.ru

Поступила в редакцию 8 февраля 2021 г.

DOI: 10.14529/food210205

APPLICATION OF THE MICROPHENOLOGICAL PHASE SCALE FOR THE PROCESS OF CONTROLLED GERMINATION OF WHEAT GRAIN

N.V. Naumenko, I.Yu. Potoroko, E.E. Naumenko

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The current task of the food industry is to introduce balanced food products into the diet of Russians that meet modern requirements of quality and nutritional value. As one of the ways to implement this direction, we can single out such a technological process as the germination of grain crops in order to obtain raw ingredients that have a number of positive characteristics and technological properties. In the article, the authors propose the use of the concept of "controlled germination" as a natural regulated way to improve the nutritional value, technological properties and sensory characteristics of grain crops, carried out using the most modern technologies, provided that high safety requirements of the final product are met. For an effective tool for managing this process, a scale of microphenological phases of controlled germination of wheat grain was developed and tested. The scale is based on the use of a software tool for grain phenotyping Seed Counter, with which it is possible to determine the size characteristics of each instance of wheat grain from the estimated mass and obtain an array of data to monitor the germination process in full. The developed scale is proposed as an identifier of four microphenological phases in the technology of controlled germination of wheat grain and includes the following phases: the swelling phase (the beginning of the process of hydrolysis of high-molecular endosperm compounds and their transfer to a soluble state); the growth point phase (an increase in the width of the wheat grain, the appearance of a sprout from under the fruit and seed shells); the germ phase (the appearance of a sprouted germ, an increase in the length of the wheat grain) and the germ organ formation phase (differentiation of germ roots 1–2 mm long, the formation of germ organs longer than 1.5 mm).

Keywords: wheat grain, controlled germination, microphenological phase scale.

References

1. Alekhina N.N., Ponomareva E.I., Bakaeva I.A. *Khleb povyshennoy pishchevoy tsennosti na osnove zakvaski iz bioaktivirovannogo zerna pshenitsy* [Bread of increased nutritional value based on sourdough from bioactivated wheat grain]. Voronezh, 2016, 228 p.

2. Bastrikov D., Pankratov G. Changes in the biochemical properties of grain during soaking. *Hleboprodukty* [Khlebobrodukty], 2006, no. 1, pp. 40–41. (in Russ.)
3. Verkhotur V.V., Pinigina G.V. The role of low-molecular antioxidants and peroxidase in the mechanism of germination of wheat seeds. *Nauchnoe soprovozhdenie obrazovatel'nogo processa agrovuza: sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferencii* [Scientific support of the educational process of the agricultural university: collection of materials of the scientific-practical conference] Yakutsk, 2001, pp. 42–43. (in Russ.)
4. Verkhotur V.V., Toporishcheva V.K. State of the antioxidant system of barley during soaking and malting. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2003, no. 9, pp. 26–30. (in Russ.)
5. Galochkina N.A., Klinovaya M.A., Laptiyeva E.A. Modern approaches and mechanisms of bioactivation of plant crops during germination. *Studencheskiy nauchnyy forum* [Student Scientific Forum: Proceedings of the V International Student Electronic Scientific Conference]. Moscow, 2014. – Available at: <http://www.scienceforum.ru/2014/601/4632>. (in Russ.)
6. Glotova I.A., Galochkina N.A. Influence of selenium sources on biochemical processes during swelling and germination of wheat grain. *Himiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2017, no. 4, pp. 211–216. (in Russ.)
7. Goncharov Yu.V., Koryachkina S.Ya., Kuznetsova E.A. Improving the technology of bread from sprouted wheat grain. *Sovremennye aspekty i problemy ratsional'noy ekonomiki* [Modern aspects and problems of rational economy: collection of materials of the international scientific and practical conference], in 4 books. Orel, 2005, vol. 4., pp. 61–63. (in Russ.)
8. Kazakova A.S., Gaidash M.V., Kozyayeva S.Yu. Physiological foundations of the peculiarities of seed germination of varieties of spring barley differing in resistance to drought. *Sovremennaya fiziologiya rasteniy: ot molekul do ekosistem* [Modern plant physiology: from molecules to ecosystems: materials of reports of the international conference]. Syktyvkar, 2007(1), pp. 165–166. (in Russ.)
9. Kazyonnova N.K., Shneider D.V., Kazyonov I.V. Changes in the chemical composition of grain products during germination. *Hleboprodukty* [Bread products], 2013, no 10, pp. 55–57. (in Russ.)
10. Matveeva T.V., Koryachkina S. Ya. *Fiziologicheski funktsional'nye pishchevye ingredienty dlya khlebobulochnykh i konditerskikh izdeliy* [Physiologically functional food ingredients for bakery and confectionery products]. Orel, 2012. 947 p.
11. Naumenko N.V., Potoroko I. Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V. Optimization of the conditions for the germination of wheat grain. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific journal KubSAU], 2019, no. 151 (07). (in Russ.)
12. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Velyamov M.T. Sprouted Whole Wheat Grain as a Food Constituent in Food Technology. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 23–30. (in Russ.) DOI 10.14529/food190303
13. Romanova Kh.S., Simakova I.V. Revival of food culture – preserving the health of the nation. *Strategiya razvitiya industrii gostepriimstva i turizma* [Strategy for the development of the hospitality and tourism industry: materials of the VI International Internet Conference]. Orel, 2016, pp. 100–104. (in Russ.)
14. Tsyganova T.B., Semenkina N.G. Rational approaches to ensuring the safety of products of bakery enterprises based on the principles of HACCP. *Hlebopechenie Rossii* [Bread baking of Russia], 2015, no. 3. pp. 14–17. (in Russ.)
15. Schneider D. Pasta from wholemeal and sprouted wheat grain. *Hleboprodukty* [Bread products] 2010, no. 8, pp. 46–47. (in Russ.)
16. Ding J., Ulanov A.V., Dong M. et al. Enhancement of gama-aminobutyric acid (GABA) and other health-related metabolites in germinated red rice (*Oryza sativa* L.) by ultrasonication. *Ultrasonics sonochemistry*, 2018, vol. 40, pp. 791–797. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.08.029
17. Hellmann H., Mooney S. Vitamin B6: a molecule for human health? *Molecules*, 2010, vol. 15, iss. 1, pp. 442–459. DOI: 10.3390/molecules15010442
18. Hosney R.C. *Principles of cereal science and technology*. 2nd ed. St. Paul, MN, American association of cereal chemists, 1994. 378 p.

19. Hung P.V., Hatcher D.W., Barker W. Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food chemistry*, 2011, vol. 126, iss. 4, pp. 1896–1901. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.015

20. Komyshev E., Genaev M., Afonnikov D. Evaluation of the SeedCounter, a mobile application for grain phenotyping. *Frontiers in plant science*, 2017, vol. 7. DOI: 10.3389/fpls.2016.01990. Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01990/full> (last access: 04.08.2019).

21. Price T.V. Seed sprout production for human consumption – a review. *Canadian institute of food science and technology journal*, 1988, vol. 21, iss. 1, pp. 57–65. DOI: 10.1016/s0315-5463(88)70718-x

22. Rudolf J.L., Resurreccion A.V.A. Optimization of trans-resveratrol concentration and sensory properties of peanut kernels by slicing and ultrasound treatment, using response surface methodology. *Journal of food science*, 2007, vol. 72, iss. 7, pp. S450–S462. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00467.x

Natalia V. Naumenko, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Naumenko_natalya@mail.ru

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, irina_potoroko@mail.ru

Ekaterina E. Naumenko, Bachelor's Degree student at the Department of Information and Communications Technologies, South Ural State University, Chelyabinsk, 9193122375@mail.ru

Received February 8, 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Науменко, Н.В. Применение шкалы микрофенологических фаз для процесса контролируемого проращивания зерна пшеницы / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, Е.Е. Науменко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 47–56. DOI: 10.14529/food210205

FOR CITATION

Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Naumenko E.E. Application of the Microphenological Phase Scale for the Process of Controlled Germination of Wheat Grain. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2021, vol. 9, no. 2, pp. 47–56. (in Russ.) DOI: 10.14529/food210205