

УДК 664.864

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОРАЩИВАНИЯ НА СОСТАВ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И ГРЕЧИХИ

М. Л. Зенькова

Белорусский государственный экономический университет, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение: актуальность исследования обусловлена возможностью использования пророщенного зерна в консервной промышленности. Научная задача исследования – обоснование применения интегрированного технологического показателя «степень проращивания» для классификации однородности пророщенного зерна и прогнозирования его пищевой ценности.

Материалы и методы: образцы зерна пшеницы (*Triticum aestivum L.*) для проращивания и обрушенного зерна гречихи (*Fagopyrum esculentum*) для проращивания. Для оценки влияния температуры и продолжительности проращивания на состав и пищевую ценность пророщенного зерна планировали эксперимент в диапазоне температур от 10 до 30 °С в течение 0...72 часов. Применялись стандартные физико-химические методы определения влажности, азота, жира, крахмала, клетчатки и сахаров.

Результаты: принято 7 степеней проращивания для пшеницы и 5 степеней проращивания для гречихи. Лучший эффект равномерного проращивания показан при 20 °С для пшеницы и при 25 °С для гречихи. Максимальный выход пророщенного зерна пшеницы (176–180 %) соответствует продолжительности проращивания 36–42 часа, пророщенного зерна гречихи (190–193 %) – 24–42 часа. В пророщенном зерне при фактической влажности пшеницы 48,4 % и гречихи 55,5 % среднее содержание белка составляет 6,5 %, среднее содержание жира 0,2 %, среднее содержание крахмала в пшенице 34,4 %, в гречихе – 31,8 %. Содержание сахаров в пророщенной пшенице до 3,34 %, клетчатки – до 10,5 %.

Выводы: обоснованный технологический показатель «степень проращивания» может стать качественной характеристикой пророщенного зерна и использоваться для прогнозирования пищевой ценности пророщенного зерна.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пророщенное зерно; критерии проращивания; степень проращивания; выход полуфабриката; макронутриенты; пищевые волокна.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зенькова, М. Л. Влияние условий проращивания на состав и качество зерна пшеницы и гречихи / М. Л. Зенькова // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2022. – № 2(33). – С. 14–26.

INFLUENCE OF SPROUTING CONDITIONS ON THE COMPOSITION AND QUALITY OF WHEAT AND BUCKWHEAT GRAINS

M. L. Zenkova

Belarus State Economic University, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction: the relevance of the study is due to the possibility of using sprouted grain in the canning industry. The scientific task of the study is to substantiate the application of the integrated technological indicator «sprouting degree» to classify the homogeneity of sprouted grain and predict its nutritional value.

Materials and methods: samples of wheat grain (*Triticum aestivum L.*) for sprouting and hulled buckwheat grain (*Fagopyrum esculentum*) for sprouting. To assess the effect of temperature and duration of sprouting on the composition and nutritional value of sprouted grains, an experiment was planned in the temperature range from 10 to 30 °C for 0...72 hours. Standard physico-chemical methods for determination of moisture, nitrogen, fat, starch, fiber and sugars were used.

Results: 7 degrees of sprouting for wheat and 5 degrees of sprouting for buckwheat are accepted. The best effect of homogeneous sprouting is shown at 20 °C for wheat and at 25 °C for buckwheat. The maximum yield of sprouted wheat grains (176–180 %) corresponds to the sprouting duration of 36–42 hours, of sprouted buckwheat grains (190–193 %) – 24–42 hours. With an actual humidity of 48,4 % in wheat and 55,5 % in buckwheat the average protein content was 6,5 %, the average fat content 0,2 %, the average starch content in wheat was 34,4 %, in buckwheat – 31,8 %. The content of sugars in sprouted wheat is up to 3,34 %, fiber content up to 10,5 %.

Conclusions: reasonable technological indicator «degree of sprouting» can become a qualitative characteristic of sprouted grain and be used to predict the nutritional value of sprouted grain.

KEY WORDS: *sprouted grain; sprouting criteria; degree of sprouting; semi-finished product yield; macronutrients; dietary fiber.*

FOR CITATION: Zenkova, M. L. Influence of sprouting conditions on the composition and quality of wheat and buckwheat grains / M. L. Zenkova // Vestnik of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. – 2022. – № 2(33). – P. 14–26 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Процесс проращивания зерна широко используется производителями пищевой продукции для улучшения пищевой ценности и вкуса продуктов. Учеными проводятся исследования по видовому отбору культур и оптимизации процесса проращивания, по изучению влияния технологических параметров на пищевую ценность пророщенного зерна и конечного продукта, на микрофлору пророщенного зерна, на способы добавления пророщенного зерна в пищевые продукты [1, 2]. Пророщенные зерна, в виде солода, из-за повышенной ферментативной активности, уже много лет используются в производстве пива. Технология производства солода положена в основу производства пророщенного зерна и бобовых культур многими учеными. Согласно различным исследованиям, пророщенные зерна содержат повышенное количество незаменимых аминокислот [3, 4], имеют повышенную биологическую доступность минеральных веществ для всасывания в кишечнике [5, 6], в них синтезируются и накапливаются витамины и γ -аминомасляная кислота, при проращивании увеличивается содержание растворимых пищевых волокон и уменьшается содержание нерастворимых пищевых волокон, увеличивается содержание полифенольных веществ [6, 7].

Благодаря таким преимуществам пророщенные зерна являются перспективным сырьем в производстве консервированных продуктов. С целью применения нового вида сырья в консервной промышленности были исследованы изменения нутриентного состава пророщенного зерна пшеницы и гречихи [8, 9]. Температура и продолжительность проращивания являются двумя основными факторами, влияющими на сохранение пищевой ценности пророщенного зерна в процессе подготовки к консервированию, на сокращение продолжительности проращивания и на минимизацию микрофлоры пророщенного зерна.

Определение оптимальной температуры проращивания для использования зерна в разных отраслях пищевой промышленности имеет большое значение и является частью исследований многих ученых, в том числе и наших. Так, температура проращивания 20–25 °C позволяет сократить время проращивания до 42 часов (зависит от требуемой длины ростка), а также снижает энергопотребление из-за отсутствия процесса охлаждения [10].

Известно, что процесс прорастания зерна протекает неравномерно, поэтому учеными вводятся разные критерии, характеризующие процесс прорастания и состав пророщенной массы: классификация групп ростков [11], уровень всхожести [12], показатель активности роста [13], темп роста и коэффициент роста, дружность или однородность прорастания семян

[14], содержание непроросших зерен¹. Все перечисленные критерии, характеризующие процесс проращивания, описаны в различных источниках информации для изучения роста семян и зерна. Однако в исследованиях по контролю проращивания зерна в пищевой промышленности используются не все. В нашей работе был введен такой показатель, как «средняя степень проращивания зерна», который является простой характеристикой состава пророщенной массы зерна. Быстрая визуальная оценка пророщенных зерен позволяет классифицировать их на различные степени проращивания и рассчитать среднюю степень, которая косвенно может характеризовать однородность пророщенного зерна. Изучение пищевой ценности пророщенного зерна пшеницы и гречихи позволило характеризовать среднюю степень проращивания при оптимальных температурах.

Целью исследований является изучение влияния температуры и продолжительности проращивания зерна пшеницы и гречихи на состав, выход и пищевую ценность пророщенного зерна для прогнозирования показателей качества нового сырья в консервной промышленности.

Научная задача исследований заключается в обосновании применимости интегрированного технологического показателя «степень проращивания» для классификации однородности и прогнозирования пищевой ценности пророщенного зерна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнялась в Белорусском государственном университете пищевых и химических технологий и в Белорусском государственном экономическом университете в весенние периоды 2019–2022 гг. Объектом исследований было зерно пшеницы (*Triticum aestivum L.*) для проращивания и обрубленное зерно гречихи (*Fagopyrum esculentum*) для проращивания.

Для исследования было отобрано выполненное, целое и чистое зерно пшеницы и гречихи, которое замачивали в дистиллированной воде в течение 12 часов при температурах 10, 15, 20, 25, 30 °С с последующим сливом воды и промыванием зерна, а затем в течение 60 часов проращивали на воздухе в контейнерах с перфорированным дном, установленных в хладотермостаты при фиксированных температурах 10, 15, 20, 25, 30 °С, периодически увлажняя зерно путем орошения дистиллированной водой и перемешивая каждые 3–4 часа. Количество зерновок в одном контейнере составляло 100 шт. Опыты проводили в двух повторностях. Каждые 24 часа определяли степень проращивания, сортируя зерновки в контейнере по описанным степеням проращивания корешка и/или корешков и ростка и путем подсчета определяли их количество в установленной степени проращивания, а среднюю степень проращивания зерна (S_{cp}) рассчитывали по формуле (1) как сумму различных фракций в установленной степени проращивания (S), умноженную на соответствующую (описанную) степень проращивания (x):

$$S_{cp} = \sum_{i=0}^n x_i \times \frac{S}{100}, \quad (1)$$

где x – описанная степень проращивания;

S – количество зерен в установленной степени проращивания, шт.;

100 – количество отобранных зерен для исследования, шт.

Образцы анализировали в одно и то же время суток и степень проращивания определяли путем визуальной классификации и прямого измерения длины корешков и ростка у пшеницы путем разделения 100 зерен на семь категорий и длины корешка у гречихи путем разделения 100 зерен на пять категорий.

¹ Косминский, Г. И. Технология солода, пива и безалкогольных напитков. Лабораторный практикум по технохимическому контролю производства / Г. И. Косминский. – Минск: Дизайн ПРО. 1998. – 352 с.

Выход пророщенного зерна пшеницы и гречихи определяли, взвешивая зерна до и после замачивания и проращивания.

Влажность зерна определяли по ГОСТ 28561-90, содержание азота определяли по ГОСТ 10846-91 на автоматической установке Turbotherm для разложения по методу Кьельдаля с дистиллятором Vapodest; содержание белка в пшенице рассчитывали путем умножения величины содержания азота на коэффициент $k=5,53$; содержание белка в гречихе рассчитывали путем умножения величины содержания азота на коэффициент $k=5,53$ [15]. Содержание жира определяли по ГОСТ 29033-91 на анализаторе жира Soxterm методом Сокслета, содержание крахмала определяли по ГОСТ 10845-98, содержание сырой клетчатки определяли по ГОСТ 13496.2-91 на анализаторе клетчатки Fibretherm FT 12, общее количество сахаров определяли по ГОСТ 8756.13-87 перманганатным методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С точки зрения физиологии растений прорастание зерна начинается с поглощения воды и завершается появлением ростка. Сложные физические и метаболические процессы во время проращивания можно разделить на 3 фазы, в основном связанные с поглощением воды зернами и изменением влажности (рис. 1). Проникновение воды внутрь клетки подчиняется законам диффузии и осмоса. Как только зерно погружается в воду, создается разность концентраций воды внутри и снаружи зерна, вследствие чего вода начинает проникать через оболочку. Сухие зерна впитывают влагу с силой до 1000 атм.¹ Роль воды в проращивании заключается не только в набухании коллоидов, но и активизации ферментов, растворении запасных питательных веществ [16].

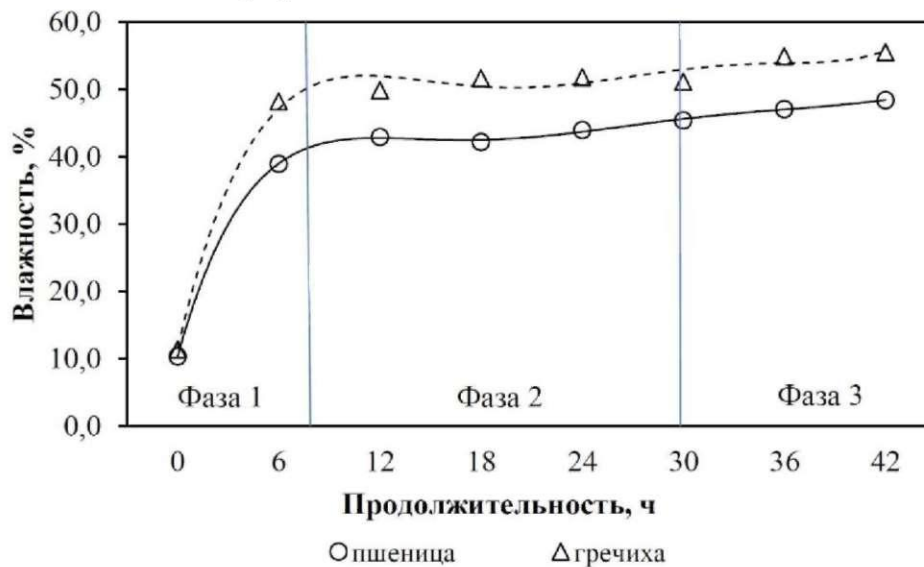


Рис. 1. Поглощение воды зерном во время замачивания и проращивания (фаза 1 и фаза 2) и во время роста корешков и ростка (фаза 3) при температуре 20 °C

Fig. 1. Water absorption by the grain during soaking and sprouting (phase 1 and phase 2) and during the growth of rootlets and sprout (phase 3) at a temperature of 20 °C

В фазе 1 зерно пшеницы и гречихи замачивают в воде и по мере того, как эндосперм и зародыш пропитываются водой, увеличивается диффузия воды от одной растительной клетки к другой. Распределение воды внутри зерна происходит неравномерно. Так, в части

¹ Гродзинский, А. М. Краткий справочник по физиологии растений / А. М. Гродзинский, Д. М. Гродзинский. – 2-е изд., испр. и доп. – Киев: Наукова Думка, 1973. – 590 с.

зерна, близко расположенной к зародышу, влаги содержится больше, чем в верхней и особенно в средней части зерна¹. Чем тоньше семенная оболочка, тем быстрее она впитывает воду и зерно достигает более высокой влажности, что мы и наблюдаем при замачивании зерна гречихи по сравнению с зерном пшеницы. В первые часы замачивания вещества зерна очень энергично впитывают воду, но по мере насыщения зерна водой процесс замедляется и достигает фазы 2. Вещества эндосперма и зародыша находятся в коллоидном состоянии. При этом зародыш и эндосперм имеют различный состав, этим создается разность во влажности и концентрации между растворенными веществами эндосперма и содержимым зародыша и происходит обмен веществами. При этом низкомолекулярные растворимые в воде вещества (аминокислоты, сахара) проникают в зародыш, где из них синтезируются высокомолекулярные вещества, используемые на построение корешков, которые появляются в конце фазы 2 и ростка. Под действием ферментов начинается распад сложных веществ, которые в этом случае находятся в благоприятных условиях повышенной влажности (пшеница 42,9–45,4 %; гречиха 49,9–51,1 %) (рис. 2).



Рис. 2. Потенциальные механизмы влияния проращивания на пищевую ценность зерна

Fig. 2. Potential mechanisms of influence of sprouting on the nutritional value of grain

В фазе 3 зерно впитывает дополнительно воду, так как увеличивается потребность в снабжении клеток низкомолекулярными соединениями, иначе рост корешков и ростка может прекратиться. Во время этой фазы питательные вещества эндосперма становятся доступными и рост корешков и ростка продолжается [17].

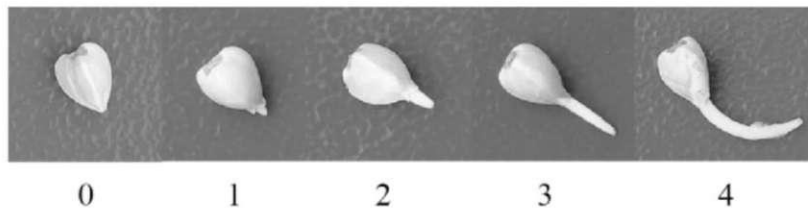
Потребление резервных компонентов эндосперма развивающимся ростком во время проращивания приводит к потерям на дыхание и, следовательно, к снижению сухого вещества зерна (крахмала и жира) в диапазоне от 3,5 до 6,0 % [6]. Эти потери в основном зависят от условий проращивания². Уменьшение сухих веществ в прорастающем зерне, происходящее вследствие аэробного дыхания, может достигать больших величин, сопоставимых с потерями на дыхание свежих фруктов и овощей при хранении. Поэтому изучение интенсивности дыхания зерна в процессе проращивания является предметом дальнейших исследований. По литературным данным большое влияние на интенсивность

¹ Булгаков, Н. И. Биохимия солода и пива / Н. И. Булгаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 361 с.

² Физиология сельскохозяйственных растений / Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова; отв. ред. тома: А. И. Опарин. – Т.1: Физиология растительной клетки. Фотосинтез. Дыхание. – М.: Издательство Московского университета, 1967. – 496 с.

дыхания оказывает смена температуры. Даже незначительные колебания ее в пределах условий, нормальных для растения, оказывают раздражающее влияние на дыхание, повышая его интенсивность¹.

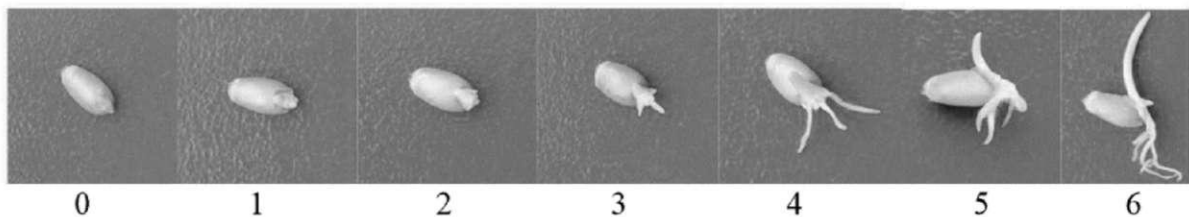
При проращивании зерен пшеницы и гречихи, используемых в качестве сырья в консервной промышленности, установлено, что процесс проращивания протекает неравномерно. В пророщенной зерновой массе присутствуют зерна, которые не проросли или имеют разный размер корешков и ростка. С целью определения оптимальной продолжительности проращивания, в зависимости от требуемой длины корешков и ростка, нами предприняты попытки классифицировать степени проращивания зерна пшеницы и гречихи и дать им соответствующие описания для дальнейшей характеристики пророщенной массы зерна. На рис. 3 представлены степени проращивания гречихи, на рис. 4 – степени проращивания пшеницы.



0 – отсутствие роста корешка; 1 – зерна с видимым корешком (белая точка размером до 1 мм); 2 – зерна с выходящим из семенной оболочки корешком, имеющим длину менее длины зерна; 3 – зерна с длиной корешка, равным длине зерна (3–5 мм); 4 – зерна с длиной корешка заметно больше длины зерна с заметными корневыми волосками (легкий пушок)

Рис. 3. Степени проращивания зерна гречихи в зависимости от длины корешка

Fig. 3. The degree of sprouting of buckwheat grain depending on the length of the rootlet



0 – отсутствие роста корешка; 1 – зерна с пробивающимся корешком (белая точка размером до 1 мм); 2 – зерна с выходящим из плодовой и семенной оболочек корешком; 3 – зерна, имеющие видимые корешки длиной менее половины длины зерна ($2 \pm 0,5$ мм) и видимый росток 1–2 мм; 4 – зерна с длиной корешка от половины до полной длины зерна (зерновки), с появляющимися корневыми волосками, росток хорошо различим; 5 – корешки длиннее, чем длина зерновки, покрытые корневыми волосками, росток белого цвета, имеет длину от половины до полной длины зерновки; 6 – зерна с ростком светло-салатового цвета больше длины зерновки

Рис. 4. Степени проращивания зерна пшеницы в зависимости от длины корешка и ростка

Fig. 4. The degree of sprouting of wheat grain depending on the length of the rootlets and sprout

Появляющиеся корневые волоски имеют вид легкого пушка и представляют собой короткие тонкие выросты наружной клетки кожицы корня (рис. 5). Корневые волоски часто путают с воздушным мицелием плесневых грибов.

¹ Физиология и биохимия покоя и прорастания семян / Пер. с англ. Н. А. Аскоческой, Н. А. Гумилевской, Е. П. Заверткиной и Э. Е. Хавкина; под ред. М. Г. Николаевой и Н. В. Обручевой, с предисл. М. Г. Николаевой. – М.: Колос, 1982. – 495 с.



Рис. 5. Вид корневых волосков

Fig. 5. Type of root hairs

С помощью визуального и прямого измерений пророщенных зерен пшеницы и гречихи была предпринята попытка найти простой метод количественной оценки процесса проращивания. На первом этапе было проверено влияние температуры на равномерность появления корешков и ростка после 48 часов проращивания зерна пшеницы и гречихи (рис. 6 и рис.7). На рис. 6 показано распределение зерен пшеницы в зависимости от степени проращивания через 48 часов после начала замачивания и проращивания. Кроме того, на рис. 8 показано изменение средней степени проращивания с течением времени для разных температур проращивания.

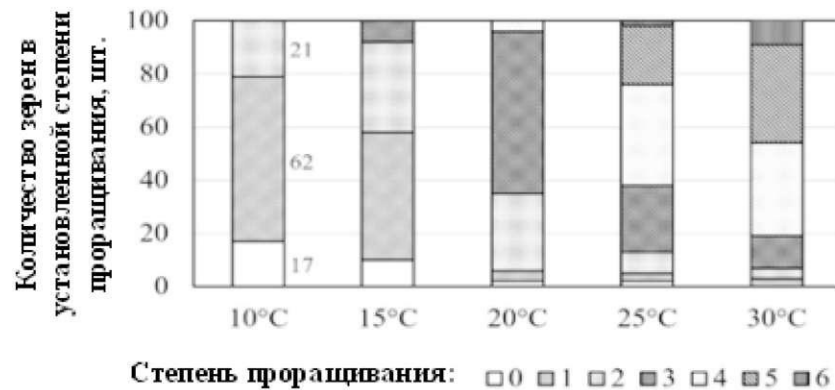


Рис. 6. Влияние температуры на степень проращивания пшеницы через 48 часов

Fig. 6. The influence of temperature on the degree of wheat sprouting after 48 hours

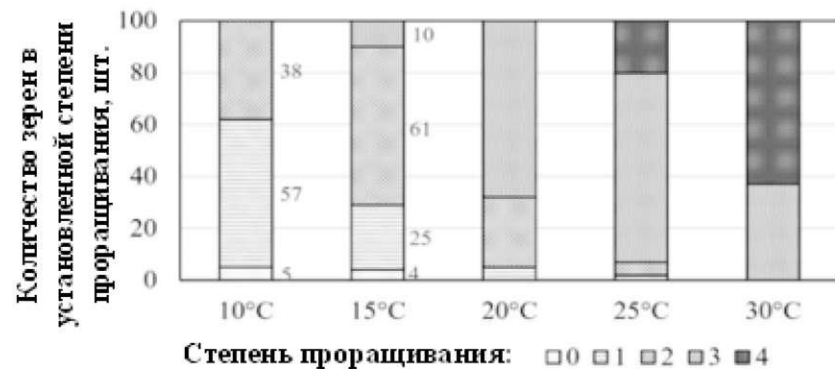


Рис. 7. Влияние температуры на степень проращивания гречихи через 48 часов

Fig. 7. The influence of temperature on the degree of buckwheat sprouting after 48 hours

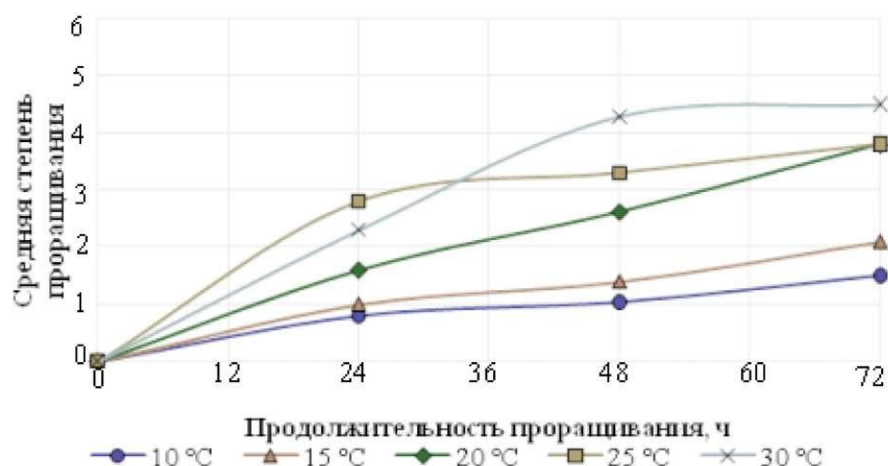


Рис. 8. Средняя степень проращивания пшеницы в зависимости от продолжительности проращивания при разных температурах

Fig. 8. The average degree of wheat sprouting depending on the duration of sprouting at different temperatures

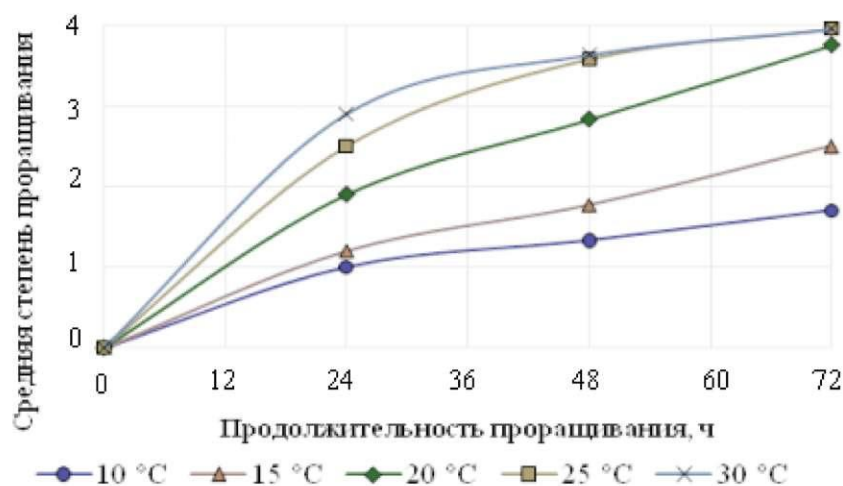


Рис. 9. Средняя степень проращивания гречихи в зависимости от продолжительности проращивания при разных температурах

Fig. 9. The average degree of buckwheat sprouting depending on the duration of sprouting at different temperatures

Анализируя рис. 8 и рис. 9 видно, что при проращивании, независимо от температуры и от вида зерна, с увеличением времени проращивания, увеличивается количество пророщенных зерен, однако зерна прорастают неравномерно, и чем выше температура, тем меньше количество непроросших зерен (степень 0). Уже через 24 часа становятся заметны различия в процессе проращивания пшеницы при разных температурах. Первоначально процесс проращивания при температуре 25 °C был наиболее заметным. Через 48 часов среднее значение степени проращивания было выше при температуре 30 °C. Однако более детальный анализ рис. 6 показал, что образец при 20 °C имеет более однородные пророщенные зерна, о чем свидетельствует более линейная средняя степень. Было обнаружено, что 90 % зерен пшеницы имеют степень проращивания 2 и 3 через 48 часов, что характеризует зерно с выходящими корешками длиной менее половины длины зерна и видимым ростком. Поэтому

однородность пророщенных зерен пшеницы при 20 °С была особенно высокой, а это может указывать на то, что крупномасштабное производство будет наиболее надежным при этой температуре. Гораздо более низкую однородность имеет состав пророщенного зерна при 30 °С после 48 часов проращивания, например, 12 % зерен имели степень проращивания 6; 37 % – степень проращивания 5; 35 % – степень проращивания 4; 12 % – степень проращивания 3.

В отличие от пшеницы, зерна гречихи более равномерно прорастали при 20, 25 и 30 °С (рис. 7). Самая высокая средняя степень проращивания была достигнута при 25 и 30°С после 72 часов проращивания (рис. 9), но и после 48 часов проращивания средняя степень проращивания зерна гречихи отличалась незначительно. После 72 часов проращивания средняя степень проращивания у пшеницы и гречихи была самой низкой (ниже степени 2) для проращивания при 10 °С. Полученные данные по оптимальной температуре проращивания зерна пшеницы и гречихи сопоставимы с результатами исследований в области оптимальных температур всхожести и прорастания семян¹.

При проращивании зерна в консервной промышленности имеет значение не только однородность пророщенного зерна, но и выход для расчета рецептурной закладки ингредиентов и норм расхода сырья. С этой целью было исследовано влияние продолжительности проращивания на выход полуфабрикатов: пророщенного зерна пшеницы и гречихи соответственно при температурах (20±0,5) °С и (25±0,5) °С (рис. 10).

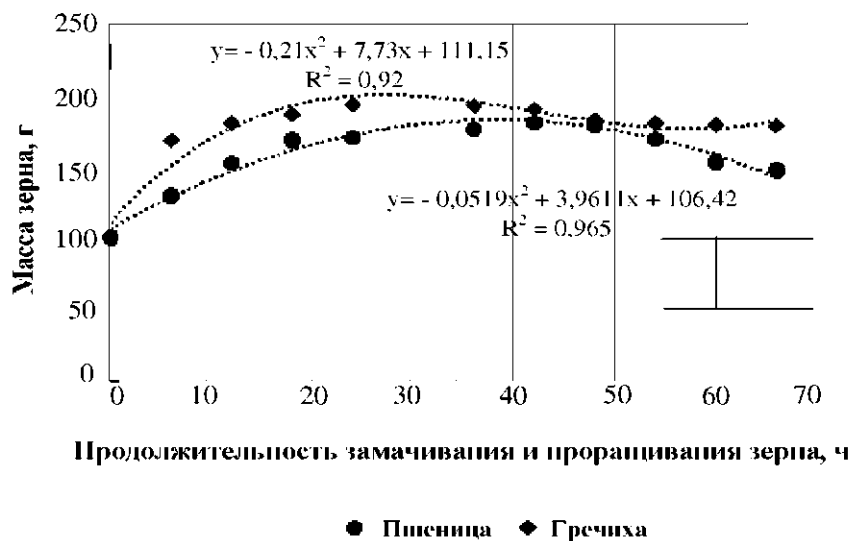


Рис. 10. Выход пророщенного зерна

Fig. 10. Yield of sprouted grain

Из рис. 10 видно, что максимальный выход пророщенного зерна пшеницы (176–180 %) соответствует продолжительности проращивания 36–42 часа, пророщенного зерна гречихи (190–193 %) – 24–42 часа. При более продолжительном проращивании выход пророщенного зерна снижается. Очевидно, это происходит в результате потерь при аэробном дыхании зерна, так как в нашем исследовании удаление корешков и ростка не проводилось.

Нами исследовано содержание белков, жиров и крахмала в зерне до и после проращивания. На рис. 11 представлены результаты исследований при фактической влажности зерна пшеницы в среднем 48,4 %, гречихи в среднем 55,5 %.

¹ Гродзинский, А. М. Краткий справочник по физиологии растений / А. М. Гродзинский, Д. М. Гродзинский. – 2-е изд., испр. и доп. – Киев: Наукова Думка, 1973. – 590 с.

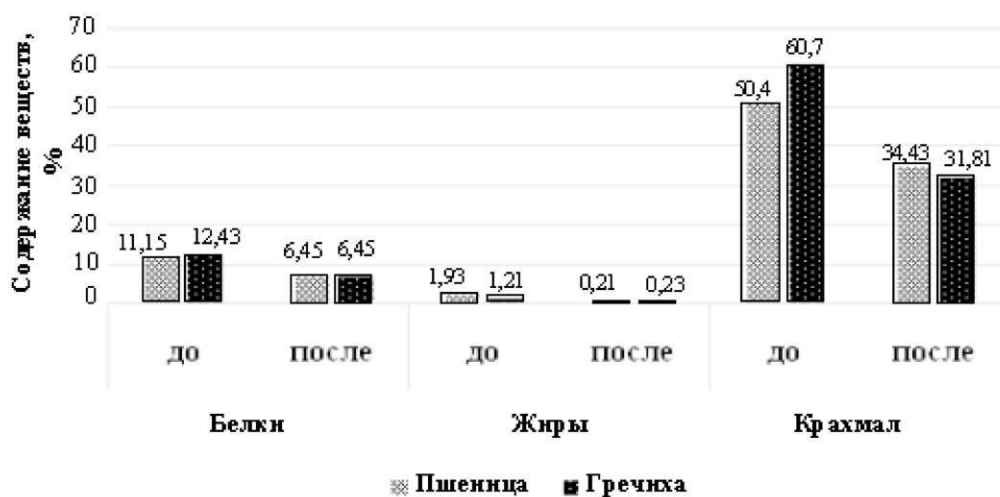


Рис. 11. Содержание белков, жиров и крахмала в зерне

Fig. 11. Content of proteins, fats and starch in grain

Анализируя результаты исследований установлено, что содержание белков, жиров и крахмала при проращивании уменьшается. Так, в исследованиях некоторых ученых сообщается о снижении содержания белка в пророщенной пшенице [18], однако, в других исследованиях описано увеличение содержания белка на 5 % [19]. В исследованиях китайских ученых [5] были сделаны выводы, что содержание белка в пророщенной гречихе при проращивании в течение 72 часов увеличилось на 7 %. Хотя проращивание приводит к гидролизу белка, и его снижение можно прогнозировать в пророщенном зерне при фактической влажности (рис. 12). В наших исследованиях при пересчете на сухое вещество оно не вызывает значимых изменений в общем содержании белка, что также установлено в работах [20, 21]. Относительное различие в содержании белка между пророщенными и непророщенными зернами пшеницы составляет около 2 %, а между пророщенными и непророщенными зернами гречихи менее 5 %. Возможно это связано с тем, что процесс гидролиза белка (протеолиз) после 48 часов проращивания только начинается.

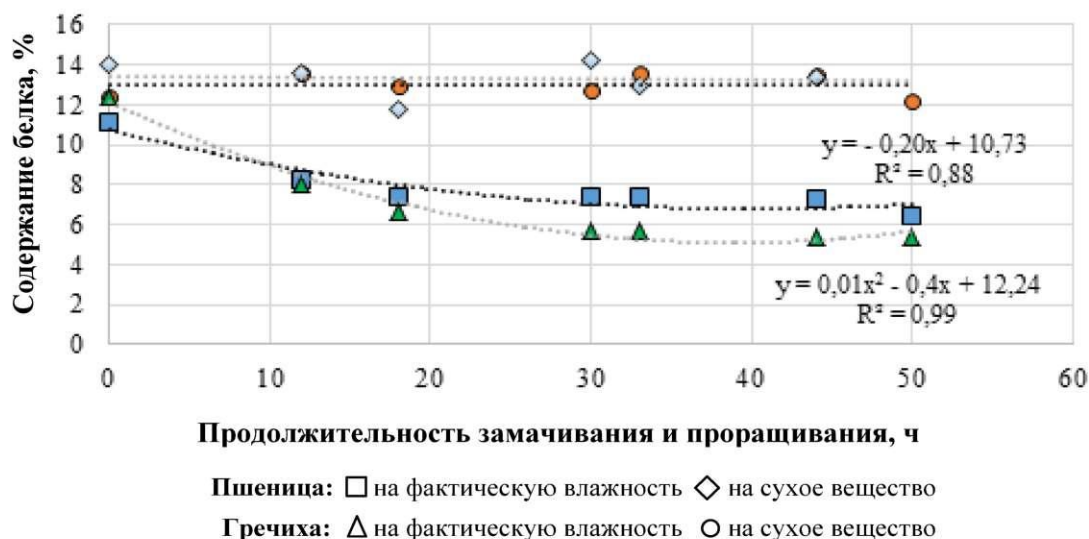


Рис. 12. Содержание белка в пророщенном зерне

Fig. 12. Content of protein in sprouted grain

Во время проращивания гидролиз жиров обеспечивает энергией биохимические и физико-химические процессы, связанные с синтезом корешка и ростка. Во время проращивания зерна пшеницы происходит повышение активности липазы и липоксигеназы в 1,2–2,3 раза [20, 22, 23]. Образовавшиеся продукты расщепления жирных кислот, такие как нонадиал, отвечают за появление в пророщенном зерне огуречного запаха¹. В наших исследованиях уменьшение общего содержания жиров в 9,5 раз наблюдалось в пророщенной пшенице и в 6 раз – в пророщенной гречихе.

Одним из наиболее изученных процессов при проращивании является изменение содержания углеводов в зерне пшеницы (рис. 13). В результате проращивания общее содержание крахмала снижается на 7–18 % в пшенице, пророщенной в течение 48–60 часов [24, 25], в гречихе, пророщенной в течение 72 часов [5]. Действия ферментов приводят к частичному гидролизу крахмала до глюкозы, мальтозы и мальтотриозы и декстринов (рис. 2) и, следовательно, к увеличению содержания сахара¹. Сахара, образующиеся во время проращивания зерна, служат источником энергии для развивающегося зародыша.

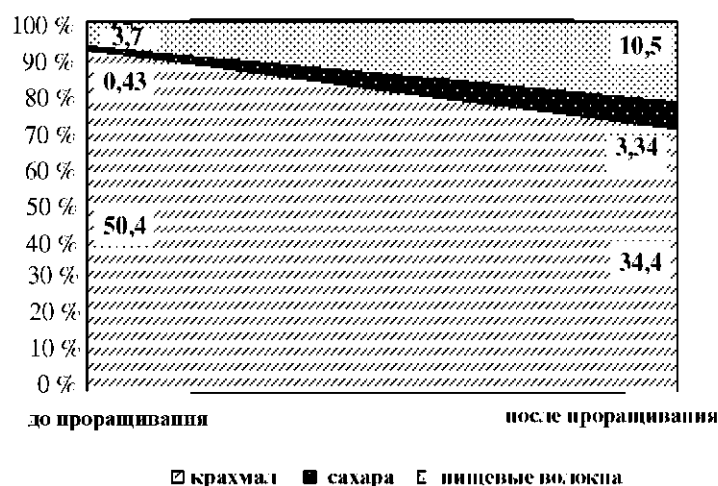


Рис. 13. Содержание углеводов в пшенице, пророщенной в течение 42 ч, при фактической влажности

Fig. 13. Content of carbohydrates in wheat sprouted for 42 hours at actual moisture

Как видно из рис. 13, содержание сахаров в пророщенном зерне пшеницы увеличивается примерно в 8 раз по сравнению с непророщенной пшеницей. В результате вкус пророщенного зерна становится сладковатым. Повышение содержания сахаров подтверждается и в предыдущих публикациях [4]. Очевидно, что процесс проращивания зерна вызывает изменения в составе и содержании нерастворимых и растворимых пищевых волокон. Ученые немецкого научно-исследовательского института пищевой химии (Мюнхен) [26] показали, что содержание пищевых волокон остается постоянным или снижается у пшеницы в течение первых 2 дней проращивания при 15 или 20 °С, и не изменяется при более высоких температурах (25 и 30 °С). Однако в наших исследованиях содержание пищевых волокон в пророщенном зерне пшеницы повышалось до 10,5 % по отношению к непророщенному зерну. Предположительно, повышение содержания пищевых волокон связано с деструкцией крахмала в процессе проращивания и с появлением корешков и ростка в результате синтеза структурных углеводов, таких как целлюлоза и гемицеллюлоза.

¹ Кунце. В. Технология солода и пива / В. Кунце, Г. Мит. – СПб.: Профессия, 2001. – 912 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучено влияние температуры от 10 до 30 °С и продолжительности на процесс проращивания зерна пшеницы и гречихи. Температура проращивания оказывает влияние на равномерность проращивания зерна. Для классификации однородности пророщенной массы зерна была предпринята попытка определения степени проращивания зерна на основе визуальной оценки длины корешков и роста по отношению к размеру зерна. Степень проращивания была оценена для образцов, которые проращивались при разных температурах, и обнаружено, что такой показатель, как «степень проращивания», может стать качественной характеристикой пророщенной массы зерна и использоваться для прогнозирования пищевой ценности пророщенного зерна пшеницы и гречихи.

Образцы пророщенного зерна пшеницы и гречихи были исследованы на содержание в них белка, жира и углеводов. Обнаружено, что температура проращивания 20 °С для пшеницы и 25 °С для гречихи приводит к активному и равномерному проращиванию зерна. При данных температурах проращивания были изучены изменения в содержании макронутриентов и пищевых волокон в процессе проращивания. Также изучено влияние продолжительности проращивания на выход полуфабрикатов и установлено, что наибольший выход пророщенного зерна пшеницы (176–180 %) соответствует продолжительности проращивания 36–42 часа, наибольший выход пророщенного зерна гречихи (190–193 %) – 24–42 часа. Данные исследования составили основу технологии получения и переработки пророщенного зерна на предприятиях консервной промышленности при производстве натуральных и других видов консервов. Результаты исследований представляют интерес при изучении состава пророщенной зерновой массы и качества пророщенного зерна из других культур, стимулирования проращивания зерна в осенне-зимний период, а также при изучении эффективности технологических приемов в проращивании зерна.

Исследования проводились при поддержке Министерства образования Республики Беларусь (источник финансирования – средства республиканского бюджета по договору от 22.02.2022 ГЗ 21-23/2022). Результаты работы внедрены в учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», г. Могилев.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность директору ИПКиПК БГУТ Урбанчик Е.Н. за помощь при проведении исследований на базе научной отраслевой лаборатории зерновых продуктов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Martínez-Villalueng, C. *Advances in Production, Properties and Applications of Sprouted Seeds* / C. Martínez-Villalueng, E. Penas Pozo. – Basel: MDPI, 2020. – 107 p. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03943-317-9>.
- 2 Feng, H. *Sprouted grains: nutritional value, production, and applications* / H. Feng, B. Nemzer, J. Devries. – Woodhead Publishing and AACC International Press, 2019. – 329 p. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01536-X>.
- 3 Van Hung, P. Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat / P. Van Hung [et al.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2012. – № 92(3). – P. 667–672. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4628>.
- 4 Huda, M. N. Treasure from garden: Bioactive compounds of buckwheat / M. N. Huda [et al.] // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol. 335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127653>.
- 5 Zhang, G. Effects of germination on the nutritional properties, phenolic profiles, and antioxidant activities of buckwheat / G. Zhang [et al.] // *Journal of Food Science*. – 2015. – Vol. 80, Iss. 5. – P. 1111–1119. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12830>.
- 6 Lemmens, E. Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review / E. Lemmens [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2019. – Vol. 18, Iss. 1. – P. 305–328. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>.
- 7 Зенькова, М. Л. Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую ценность / М. Л. Зенькова, А. В. Акулич // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2021. – № 3. – С. 26–53. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.207>.

- 8 Зенькова, М. Л. Исследование нутриентного профиля пророщенного зерна мягкой пшеницы, выращенной в Беларуси / М. Л. Зенькова [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2020. – № 3. – С. 58–66. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339>.
- 9 Zenkova, M. Bioactivated buckwheat in terms of its nutritional value / M. Zenkova // *Food Science and Technology*. – 2021. – Vol 15, Iss. 2. – P. 4–10. <https://doi.org/10.15673/fst.v15i2.2030>.
- 10 Müller, C. An accelerated malting procedure – Influences on malt quality and cost savings by reduced energy consumption and malting losses / C. Müller, F.-J. Methner // *Journal of the Institute of Brewing*. – 2015. – Vol. 121, Iss. 2. – P. 181–192. <https://doi.org/10.1002/jib.225>.
- 11 Борисенко, Л. А. Изучение кинетики прорастивания зернобобовых культур в активных средах / Л. А. Борисенко [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2010. – № 8. – С. 54–55.
- 12 Krapf, J. Effect of sprouting temperature on selected properties of wheat flour and direct expanded extrudates / J. Krapf [et al.] // *Journal of Food Process Engineering*. – 2020. – Vol.43, Iss.4. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13365>.
- 13 Урбанчик, Е. Н. Комплексная характеристика сырья и оптимизация режимов первого этапа прорастивания зерна пшеницы / Е. Н. Урбанчик [и др.] // *Механика и технологии*. – 2015. – № 3. – С. 93–99.
- 14 Бухаров, А. Ф. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры / А. Ф. Бухаров, Д. Н. Балсев, А. Р. Бухарова // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2017. – Выпуск 2. – С. 5–19.
- 15 Tkachuk, R. Nitrogen-to-protein conversion factors for cereals and oilseed meals / R. Tkachuk // *Cereal Chem*. – 1969. – Vol. 46. – P. 419–423.
- 16 Nonogaki, M. Germination / M. Nonogaki, H. Nonogaki // *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. – 2017. – Vol. 1. – P. 509–512. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394807-6.00201-X>.
- 17 Nonogaki, H. Seed Germination and Reserve Mobilization / H. Nonogaki // *Encyclopedia of Life Sciences (ELS)*, 2008. – Chichester: John Wiley & Sons. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0002047.pub2>.
- 18 Кузнецова, Е. А. Изменение некоторых показателей белкового комплекса зерна пшеницы при прорастивании в процессе подготовки к производству хлебобулочных изделий / Е. А. Кузнецова, Ю. В. Гончаров, И. Н. Парамонов // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2011. – № 1. – С. 24–31.
- 19 Donkor, O. N. Germinated grains – Sources of bioactive compounds / O. N. Donkor [et al.] // *Food Chemistry*. – 2012. – Vol. 135, Iss.3. – P. 950–959. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.058>.
- 20 Chung, T. Y. Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds / T. Y. Chung, E. N. Nwokolo, J. S. Sim // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 1989. – Vol. 39. – P. 267–278. <https://doi.org/10.1007/bf01091937>.
- 21 Świeca, M. Improvement in sprouted wheat flour functionality: effect of time, temperature and elicitation / M. Świeca, D. Dziki // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2015. – Vol. 50, Iss. 9. – P. 2135–2142. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12881>.
- 22 Kubicka, E. Changes of specific activity of lipase and lipoxygenase during germination of wheat and barley / E. Kubicka [et al.] // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. – 2000. – Vol. 51. – P. 301–304. <https://doi.org/10.1080/09637480050077194>.
- 23 Mäkinen, O. E. Oat malt as a baking ingredient – A comparative study of the impact of oat, barley and wheat malts on bread and dough properties / O. E. Mäkinen, E. K. Arendt // *Journal of Cereal Science*. – 2012. – Vol. 56, Iss. 3. – P. 747–753. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.009>.
- 24 Mandeep, S. Nutritional and functional quality analysis and amino acid score evaluation of germinated wheat (*Triticum aestivum*) grain / S. Mandeep, D. C. S. Sibian, C. C. Riar // *International Journal of Food Science and Nutrition*. – 2016. – Vol. 1, Iss. 4. – P. 16–22.
- 25 Дубиов, Г. Г. Проростки пшеницы – ингредиент для продуктов питания / Г. Г. Дубиов, О. В. Бережная, Л. И. Войно // *Пищевая промышленность*. – 2015. – № 5. – С. 26–29.
- 26 Koehler, P. Changes of Foliates, Dietary Fiber, and Proteins in Wheat As Affected by Germination / P. Koehler [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2007. – Vol. 55, Iss. 12. – P. 4678–4683. <https://doi.org/10.1021/jf0633037>.

Поступила в редакцию 19.04.2022 г.

ОБ АВТОРЕ:

Мария Леонидовна Зенькова, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры товароведения и экспертизы товаров, факультет коммерции и туристической индустрии, Белорусский государственный экономический университет (БГЭУ), mariya_lz@mail.ru.

ABOUT AUTHOR:

Maria L. Zenkova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Commodity Science and Examination of Goods, Department of Commerce and Tourism Industry, Belarus State Economic University (BSEU), e-mail: mariya_lz@mail.ru.