

УДК 664.8.036.2

Поступила в редакцию 22.01.2024
Received 22.01.2024**М. Л. Зенькова¹, А. В. Акулич²**¹*Учреждение образования «Белорусский государственный экономический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*²*Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых
и химических технологий», г. Могилев, Республика Беларусь***ТРАНСФОРМАЦИЯ БЕЛКА, КРАХМАЛА И НЕКРАХМАЛИСТЫХ
ВЕЩЕСТВ В ПРОЦЕССЕ БЛАНШИРОВАНИЯ И СТЕРИЛИЗАЦИИ
ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА**

Аннотация. Представлены результаты исследований по структурным изменениям пророщенного зерна при бланшировании и стерилизации. Изучены технологические свойства пророщенного зерна при подготовке к консервированию. Наибольшее влияние на внешний вид пророщенного зерна оказывают изменения, происходящие с крахмальными гранулами при гидротермической обработке. С помощью микроскопа исследованы изменения в структуре эндосперма пророщенного зерна после бланширования и стерилизации. Описаны процессы, приводящие к нарушению целостности семенной оболочки пророщенного зерна.

Ключевые слова: пророщенное зерно, гидротермическая обработка, набухание зерна, структура пророщенного зерна.

M. L. Zenkova¹, A. V. Akulich²¹*Belarus State Economic University, Minsk, Republic of Belarus*²*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus***TRANSFORMATION OF PROTEIN, STARCH AND NON-STARCHY
SUBSTANCES DURING BLANCHING AND STERILIZATION
OF SPROUTED GRAIN**

Abstract. The article presents the results of studies of structural changes of sprouted grain during blanching and sterilization. The technological properties of sprouted grain in preparation for canning were studied. The changes occurring with starch granules during hydrothermal treatment have the greatest influence on the appearance of sprouted grain. Changes in the structure of the endosperm of sprouted grain after blanching and sterilization were investigated using a microscope. The processes leading to the disruption of the integrity of the seed coat of sprouted grain are described.

Key words: sprouted grain, hydrothermal treatment, grain swelling, structure of sprouted grain.

Введение. Одним из актуальных направлений в развитии консервной промышленности является разработка технологии продуктов с пророщенным зерном, поскольку, имея относительно невысокую стоимость, данное сырье имеет высокую пищевую ценность и может использоваться в межсезонный период. Известно, что злаковые культуры и гречиха являются источниками растительного белка, крахмала и некрахмалистых полисахаридов (пищевых волокон). При проращивании в регулируемых условиях данные вещества подвергаются изменениям, о чем свидетельствуют работы Алехиной Н.Н., Урбанчик Е.Н., Кузнецовой Е.А., Корячкиной С.Я., Науменко Н.В., Бережной О.В., Сафроновой Т.Н., Чумикиной Л.В., Коневай М.С., Faltermajer A., Zarnkow M., Becker T., Gastl M., Arendt E. K., Feng H., Nemzer B., Devries J., Lemmens E., Moroni A. V., Xie L., Jin Y., Du J., Zhang K. и других [1–11]. Исследования показывают, что изменения, происходящие с белком, крахмалом и некрахмалистыми веществами, зависят от продолжительности и условий проращивания зерна. Однако, до настоящего времени отсутствуют данные об изменении этих веществ в процессе его консервирования. Важным аспектом при использовании нового сырья является исследование

и описание его технологических свойств, влияние способов подготовки на качество полуфабрикатов и готовых изделий и позволяющие обосновать технологические решения в производстве различных продуктов [12-13].

На основе исследований Кретовича В.Л., Козьминой Н.П., Мальцева П.М., Кочеткова Н.К., Хорунженной С.И., Ленинджера А., Казакова Е.Д., Булгакова Н.И., Вакара А.Б., Дамодарана Ш., Кирка Л. Паркина, Оуэна Р. Феннема, Полумбрика М.О., проведенных в области биохимии и солодоращения зерна, химии углеводов, клейковины пшеницы, химии пищевых продуктов определена последовательность процессов изменения белка, крахмала, гемицеллюлоз, целлюлозы при подготовке и консервировании пророщенного зерна пшеницы и гречихи.

Целью работы является исследование трансформации белка, крахмала и некрахмалистых веществ, определяющих структуру пророщенного зерна при бланшировании и стерилизации.

Объекты и методы исследования. Объектами исследований являлись образцы пророщенной пшеницы и гречихи. Коэффициент набухания определяли весовым методом как отношение массы пророщенного зерна после бланширования и стерилизации к массе 100 г сухого зерна до проращивания. Содержание азота определяли по ISO 5983-2:2009 на автоматической установке Turbotherm для разложения по методу Кьельдаля с дистиллятором VaroDest и рассчитывали содержание белка путем умножения величины содержания азота на соответствующий коэффициент. Аминокислотный состав определяли по МВИ.МН 1363-2000 «Метод по определению аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии» на жидкостном хроматографе Agilent 1200.

Качество белка оценивали путем сравнения его аминокислотного состава с аминокислотным составом «идеального» белка с помощью расчета аминокислотного сора (P_i , %) по формуле:

$$P_i = \frac{A_i}{A_i^0} \times 100, \quad (1)$$

где A_i — содержание i -й незаменимой аминокислоты в белке изучаемого образца, мг/100 г белка; A_i^0 — содержание i -й незаменимой аминокислоты в идеальном белке (эталоне), мг/100 г белка.

Избыточное количество незаменимых аминокислот, не используемых на пластические нужды, определяли коэффициентом различия аминокислотных скоров (K_p , %) по формуле:

$$K_p = \frac{\sum \Delta P}{n}, \quad (2)$$

где ΔP — разность аминокислотного сора для каждой незаменимой аминокислоты по сравнению с одной из наиболее дефицитных; n — число незаменимых аминокислот.

Коэффициент K_p показывает среднюю величину избытка аминокислотного сора незаменимых аминокислот по сравнению с уровнем сора лимитирующей аминокислоты, так как избыточное количество незаменимых аминокислот не используется на пластические нужды.

По величине K_p оценивали потенциальную биологическую ценность (коэффициент сопоставимой избыточности) (B , %) продукта по формуле:

$$B = 100 - K_p. \quad (3)$$

Если в данном белке все незаменимые аминокислоты находятся в необходимых пропорциях, то потенциальная биологическая ценность такого белка равна 100.

Изучали состояние крахмальных гранул в фиксированных препаратах на микроскопе Биомед-5.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программы Statistica (StatSoft).

Результаты исследований и их обсуждение. Значительные морфологические изменения при проращивании зерна происходят в его эндосперме. Стенки клеток эндосперма, в которых заключены крахмальные гранулы, состоят в основном из некрахмалистых полисахаридов (арабиноксаланы, целлюлоза, β -глюканы и олигосахариды) и белков. Под действием имеющихся в зерне, а также вновь образующихся во время его прорастания ферментов (цитолитических, протеолитических и пектолитических), происходит гидролиз и растворение составных веществ стенок клеток эндосперма. При этом, стенки клеток алейронового слоя также становятся тоньше. Крахмальные гранулы легко подвергаются действию ферментов и примерно 5-10 % крахмала гидролизуются [14]. Известно, что крахмал, целлюлоза и гемицеллюлозы имеют гидроксильные группы, поэтому могут образовывать водородные связи

с одной и более молекулами воды и при этом набухать [15]. Этот процесс наблюдается на этапе замачивания и проращивания и не прекращается на этапах бланширования пророщенного зерна и стерилизации при его консервировании. Взаимодействие растительного белка с водой на этапе замачивания зерна и вначале бланширования пророщенного зерна зависит от последовательности аминокислотных остатков, соотношения гидрофильных и гидрофобных групп, наличия участков молекулы с разными структурными особенностями. Так, гидратационные свойства белков зависят от их водосвязывающей способности и растворимости [16, 17, 18]. Известно, что в белках пшеницы и гречихи содержится достаточное количество гидроксильных аминокислот (10 %) и глутамина, что объясняется их способностью хорошо связывать воду [16]. Поведение белков при замесе теста из пшеничной муки исследовано и описано учеными [18, 19]. Данные о трансформации белка в процессе консервирования пророщенного зерна пшеницы отсутствуют. Учитывая вышесказанное, задачей дальнейших исследований было определение потенциальной биологической ценности белка, а также выявление изменений, происходящих в пророщенном зерне при консервировании.

Пророщенную пшеницу и гречиху подвергали бланшированию при температуре от 65 °С до 98 °С в течение от 1 до 20 мин. в зависимости от вида зерна и стерилизации при температуре 125 °С в течение 23 мин.

Очевидно, что изменения свойств белка, крахмала и некрахмалистых веществ, происходящие в пророщенном зерне при бланшировании и стерилизации, обусловлены действием температуры в присутствии воды. При этих технологических процессах наблюдаются изменения в объеме зерен, они набухают и появляются зерна с треснувшей оболочкой. В связи с этим определено изменение массы пророщенного зерна пшеницы и гречихи при гидротермической обработке (бланшировании и стерилизации) по отношению к 100 г сухого зерна (рис. 1). Установлено, что наиболее интенсивное изменение массы зерна наблюдается при бланшировании пшеницы в течение 9–10 мин., а гречихи — в течение 3 мин. При этом коэффициент набухания зерна пшеницы составляет $k_{\text{п}}=1,7$, зерна гречихи $k_{\text{г}}=1,9$.

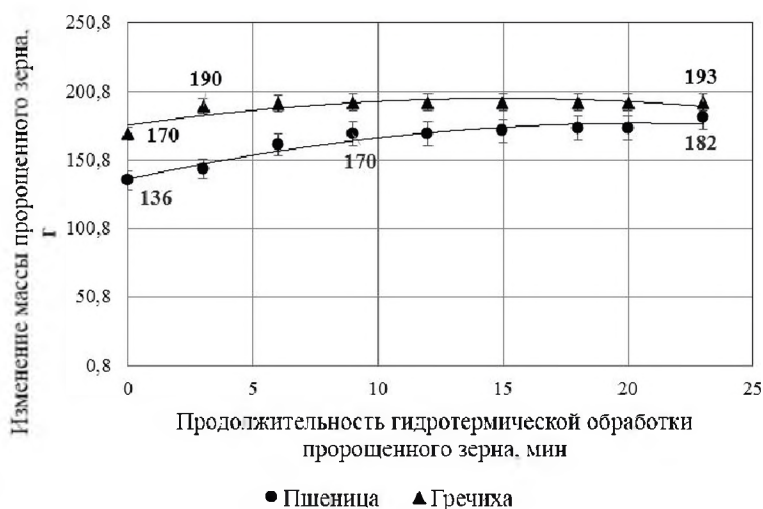


Рис. 1. Изменение массы пророщенного зерна при гидротермической обработке
Fig. 1. Change in the weight of sprouted grain during hydrothermal treatment

Далее опытные образцы бланшированного зерна помещаются в упаковку, подвергаются стерилизации и после взвешиваются. Установлено, что процесс набухания зерна продолжается при стерилизации и коэффициенты для пшеницы и гречихи составляют соответственно $k_{\text{п}}=1,82$ и $k_{\text{г}}=1,93$. Белок в пророщенной пшенице и гречихе находится в набухом состоянии. Свойства белков пшеницы отличаются от свойств белков гречихи. Также пшеница содержит белки, способные образовывать при замешивании теста клейковину [18, 19]. Под влиянием высоких температур белки денатурируют. Этот факт имеет первостепенное практическое значение, так как процесс денатурации белка представляет собой начало его деструкции и отражается на его биологической ценности. На этапе бланширования пророщенного зерна пшеницы происходит денатурация составных частей — глиадина, глутенина и других

белков, что соотносится с данными Вакара А.Б. [19], который исследовал процесс влияния температуры на свойства белка пшеницы. Таким образом, гидротермическая обработка пророщенной пшеницы и гречихи при температуре 90-125 °С приводит к денатурации и частичному разрушению белков. Поэтому белок не может влиять на набухание пророщенного зерна как при бланшировании, так и при стерилизации. Следует отметить, что образовавшиеся при бланшировании и перешедшие в воду фракции белка теряются вместе с бланшировочными водами, поэтому этот технологический этап должен осуществляться при минимальном гидромодуле и непродолжительное время. На данном этапе исследований изучен аминокислотный состав пророщенного зерна пшеницы и гречихи до и после бланширования и стерилизации (табл. 1), а также общее содержание белка до и после бланширования пророщенного зерна (рис. 2).

При исследовании аминокислотного состава пророщенного зерна пшеницы и гречихи выявлено, что после бланширования и стерилизации содержание аминокислот уменьшается. Изменения количества незаменимых и заменимых аминокислот при указанных технологических процессах составляет у пшеницы в среднем 23 %, у гречихи в среднем 10,3 % относительно их содержания в пророщенном зерне. Полученные результаты соотносятся с данными исследований ученых Воронежского государственного университета инженерных технологий [20].

Таблица 1. Аминокислотный состав пророщенного зерна пшеницы и гречихи до и после бланширования и стерилизации (мг на 100 г)
Table 1. The amino acid composition of sprouted wheat and buckwheat grain before and after blanching and sterilization (mg per 100 g)

Показатели	Пророщенное зерно пшеницы	Пророщенное зерно пшеницы после бланширования и стерилизации	Пророщенное зерно гречихи	Пророщенное зерно гречихи после бланширования и стерилизации
Незаменимые аминокислоты в том числе:	1325,3±291,6	1021,4±224,7	1686,7±371,1	1513,7±333,0
валин	163,0±35,9	104,1±22,9	198,3±43,6	178,2±39,2
изолейцин	111,5±24,5	78,2±17,2	144,2±31,7	128,3±28,2
лейцин	415,5±91,4	304,8±67,1	341,6±75,2	310,5±68,3
лизин	120,4±26,5	80,2±17,6	201,8±44,4	181,2±39,9
метионин + цистин	106,2±23,4	66,3±14,6	124,4±27,4	112,0±24,6
треонин	72,3±15,9	43,3±9,5	72,0±15,8	65,5±14,4
триптофан	60,0±13,2	21,9±4,8	92,0±20,2	81,9±18,0
фенилаланин + тирозин	473,9±104,3	308,1±67,8	512,4±112,7	456,1±100,3
Заменимые аминокислоты в том числе:	5115,5±1125,4	3204,0±704,9	3836,9±844,1	3450,6±759,1
аланин	268,6±59,0	174,4±38,4	508,4±111,8	462,1±101,7
аргинин	265,4±58,4	195,5±43,0	466,5±102,6	419,5±92,3
аспарагиновая кислота	309,4±68,1	240,7±53,0	464,2±102,1	417,8±91,9
гистидин	26,7±5,9	не обнаружено	22,3±4,9	19,5±4,3
глицин	281,0±61,8	219,7±48,3	360,8±79,4	328,0±72,2
глутаминовая кислота	2456,4±540,4	1523,2±335,1	1097,2±241,4	976,4±214,8
пролин	958,4±210,8	609,3±134,1	623,1±137,1	560,4±123,3
серин	352,1±77,5	241,2±53,1	294,4±64,8	266,9±58,7
Общее количество аминокислот	6440,8±1417,0	4225,4±929,6	5523,6±1215,2	4964,3±1092,1
Потенциальная биологическая ценность белка, %		68,3		45,9

На рис. 2 представлено изменение содержания общего белка при бланшировании пророщенной пшеницы в течение 10 мин., а пророщенной гречихи в течение 3 мин. Установлена потеря общего белка с бланшировочными водами в количестве 6,2-8,8 % от его первоначального содержания в пророщенном зерне. Таким образом, бланширование пророщенного зерна приводит к потере общего белка и потенциальная биологическая ценности белка пророщенной пшеницы составляет 68,3 %, пророщенной гречихи — 45,9 % (табл. 1).

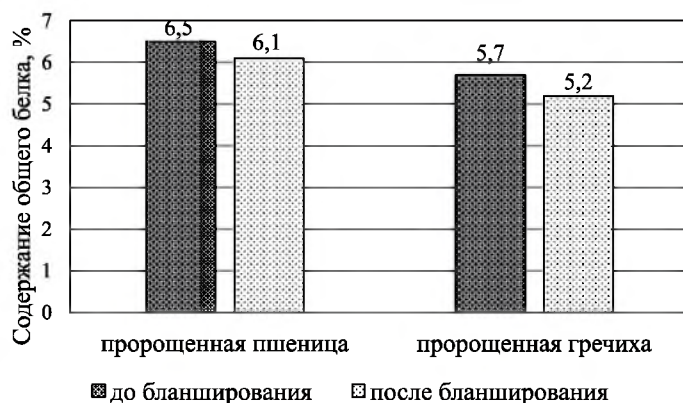


Рис. 2. Содержание общего белка до и после бланширования пророщенного зерна
 Fig. 2. Total protein content before and after blanching of sprouted grain

Особое внимание следует уделить крахмалу, который подвергается наиболее значимому изменению в процессе бланширования и стерилизации пророщенного зерна. Так состав гранул крахмала пшеницы составляет от 24 % до 26 % амилозы, а соотношение амилозы и амилопектина 1:3 [21], тогда как состав гранул крахмала гречихи составляет от 42 % до 52 % амилозы, а соотношение амилозы и амилопектина составляет 1:1 [22], что влияет на изменение их свойств при консервировании. Помимо набухания крахмала при замачивании зерна происходит его частичная деполимеризация при проращивании зерна пшеницы и гречихи. Особенностью является то, что большинство гранул крахмала состоят из смеси двух полимеров — почти линейного полисахарида амилозы (рис. 3) и разветвленного полисахарида амилопектина (рис. 4). Это определяет физические свойства крахмала, что необходимо учитывать при бланшировании и стерилизации пророщенного зерна.

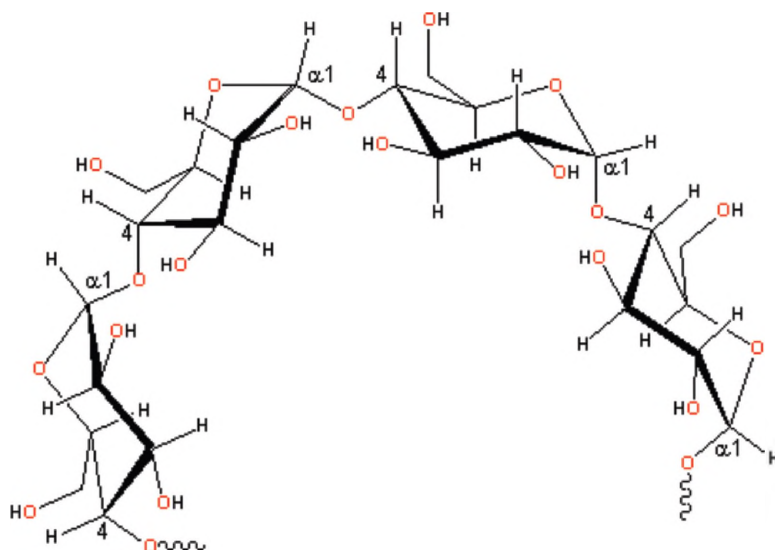


Рис. 3. Структура амилозы
 Fig. 3. Amylose structure

Известно, что эндосперм зерновых культур состоит из относительно тонкостенных клеток, внутри которых крахмальные гранулы расположены в белковой матрице, образуя монолитную структуру [15, 16, 23]. Гранулы крахмала состоят из радиально расположенных молекул амилозы и/или амилопектина (рисунок 5). По мере увеличения радиуса нарастает количество ветвей, образуя концентрические области чередующейся аморфной и кристаллической структуры между которыми проникает вода (рис. 5, б).

Радиально-упорядоченное расположение слоев в гранулах крахмала связано с двойным лучепреломлением гранул, свидетельством чего является поляризационный крест, видимый в поляризационном микроскопе (рис. 6) [23, 24].

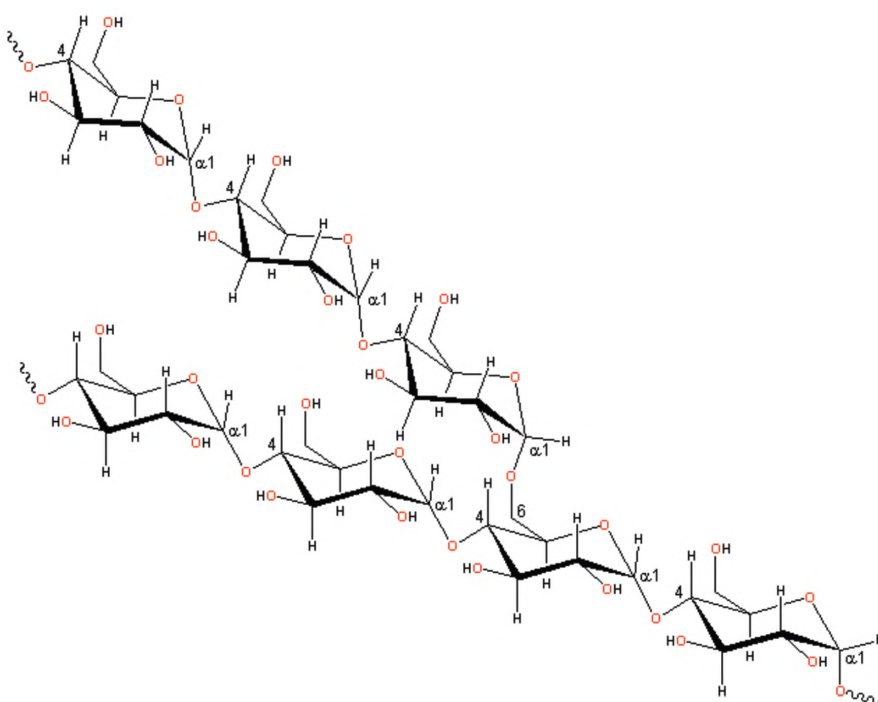
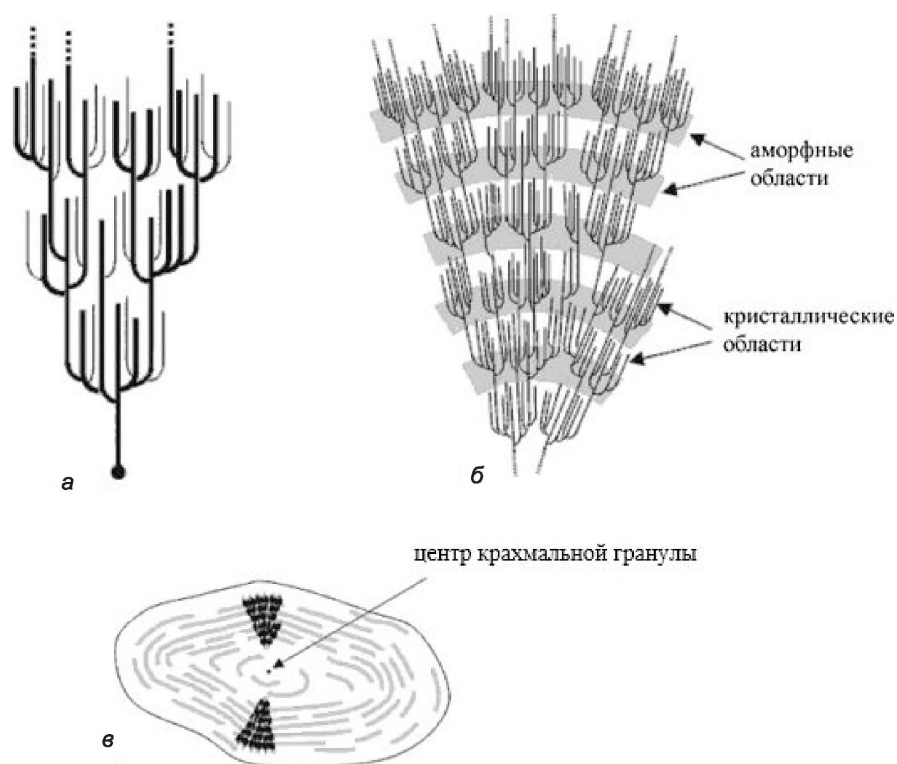


Рис. 4. Структура амилопектина
Fig. 4. Amylopectin structure



а — структура амилопектина; б — пространственное расположение слоев крахмала;
в — слоистая структура гранулы крахмала

Рис. 5. Строение гранулы крахмала
Fig. 5. Starch granule structure

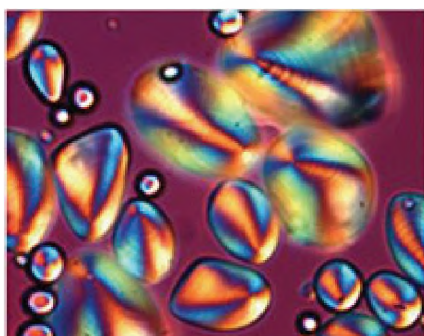


Рис. 6. Вид крахмальных гранул в поляризационном микроскопе
Fig. 6. View of starch granules in a polarizing microscope

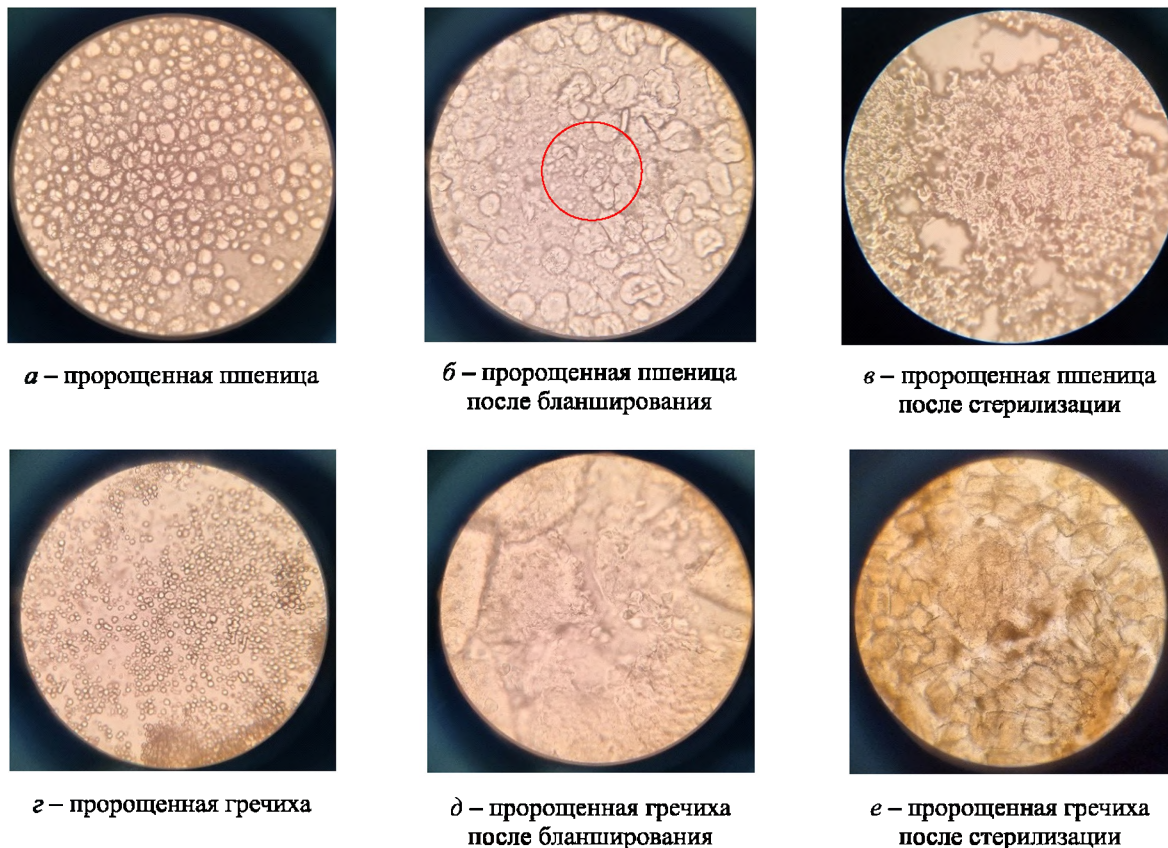
В связи с тем, что амилоза и амилопектин различаются по строению, гранула крахмала имеет свойства кристаллического и аморфного тела, что предопределяет различное поведение ее при разных температурах. Разветвленная структура молекул амилопектина обуславливает набухание крахмальных гранул без их растворения. Гранулы набухают, потому что вторичные связи ослабляются гидратацией. В некоторых крахмалах разветвленная структура сохраняется даже при температуре 120 °С. Самые большие и наиболее хрупкие гранулы крахмала набухают при более низкой температуре, чем мелкие, поэтому клейстеризация первых происходит легче [25].

Таким образом, в гранулах крахмала присутствуют как кристаллические, так и аморфные области, чередующимися слоями, которые определяют свойства крахмала набухать и клейстеризоваться при бланшировании и стерилизации. Неповрежденные гранулы крахмала в холодной воде нерастворимы, но поглощают воду, набухая, что наблюдается при замачивании и проращивании зерна (рис. 7, а, г). Когда молекулы воды проникают между полимерными цепями в грануле крахмала они разрывают межмолекулярные связи и образуют вокруг отдельных гранул гидратирующие слои [16, 26, 27]. Таким образом, гранулы крахмала лучше отделяются друг от друга и при нагревании продолжают набухать. В результате они прижимаются друг к другу и внутри зерновки образуется вязкий крахмальный клейстер. При этом структура гранул крахмала полностью утрачивается.

При подготовке к консервированию пророщенное зерно подвергается бланшированию в воде. При этом, когда гранулы нагреваются в избыточном количестве воды, структура гранул начинает исчезать (рис. 7, б), что свидетельствует о нарушении молекулярного порядка, разрыве гранул и образовании крахмального клейстера [16]. В результате набухания и разрыва гранул получается вязкая масса, состоящая из растворенной амилозы и/или амилопектина и остатков (фрагментов) гранул крахмала (рис. 7, б). Таким образом, после бланширования пророщенной пшеницы под микроскопом можно наблюдать сохранение мелких гранул крахмала в небольшом количестве, от 5 до 14 %. Полная клейстеризация крахмала и разрушение гранул в пророщенной пшенице происходит при стерилизации, что указывает на изменение структуры эндосперма (рис. 7, в). Гранулы крахмала пророщенной гречихи имеют меньшие размеры (рис. 7, г), чем пророщенной пшеницы и уже при бланшировании их структура нарушается, они становятся неразличимы под микроскопом (рис. 7, д). Таким образом, после бланширования и стерилизации пророщенной гречихи под микроскопом видна клейстеризованная масса. Очевидно, что бланширование и стерилизация приводят к значительным изменениям в структуре и свойствах крахмала и влияют на внешний вид и консистенцию консервированного пророщенного зерна.

В ходе исследования выявлено, что в процессе бланширования пророщенного зерна происходит его набухание и разрыв семенной оболочки, что приводит к видимому дефекту — повреждению зерен. Разрыв оболочки зерна наблюдается и при дальнейшей стерилизации пророщенного зерна. Такие изменения можно объяснить, представив пророщенную зерновку пшеницы и гречихи в виде сложной замкнутой системы, состоящей из отдельных веществ сложной конфигурации: эндосперма, включающего крахмал и белок, а также оболочки — из целлюлозы и гемицеллюлоз. Нагревание в воде вызывает размягчение семенной оболочки пророщенного зерна, состоящей в основном из целлюлозы, за счет растворения и частичной деструкции гемицеллюлоз, что приводит к расщеплению и расслоению клеток и тканей. Целлюлоза семенной оболочки, являясь высокомолекулярным линейным нерастворимым полисахаридом, в воде способна только набухать. Геммицеллюлозы семенной оболочки

представлены гетерополисахаридами сравнительно невысокой молекулярной массы, которые не образуют фибриллярных структур и играют в клеточной стенке растения роль цементующего материала [23]. Поэтому при замачивании зерна и бланшировании пророщенного зерна происходит растворение гемицеллюлоз, что приводит к разъединению волокон целлюлозы под действием осмотического давления.



a – пророщенная пшеница

б – пророщенная пшеница
после бланширования

в – пророщенная пшеница
после стерилизации

г – пророщенная гречиха

д – пророщенная гречиха
после бланширования

е – пророщенная гречиха
после стерилизации

Рис. 7. Последовательное изменение структуры гранул крамала пророщенной пшеницы и гречихи при бланшировании и стерилизации (срез эндосперма, увеличение 40х)

Fig. 7. Sequential changes in the structure of starch granules of sprouted wheat and buckwheat during blanching and sterilization (40x magnification)

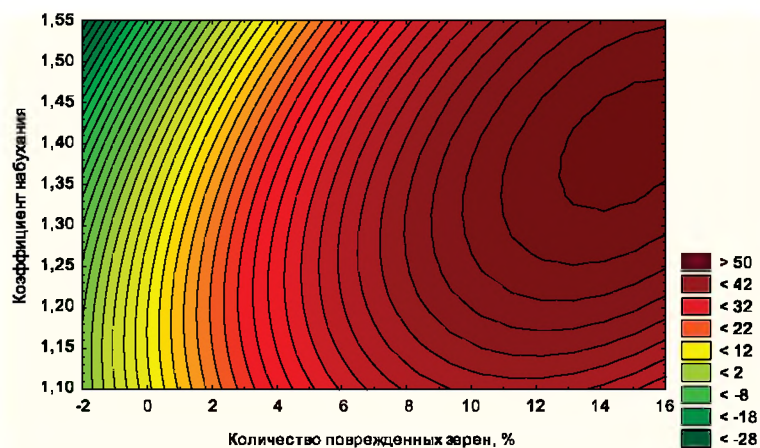


Рис. 8. Влияние процесса бланширования на количество поврежденных зерен пророщенной пшеницы

Fig. 8. The effect of the blanching process on the number of damaged grains of sprouted wheat

Следует отметить, что свойства крахмала, рассмотренные ранее, в процессе бланширования и стерилизации оказывают существенное влияние на разрыв семенной оболочки и изменение внешнего вида пророщенного зерна. Исследовано влияние продолжительности бланширования на качество пророщенных зерен и установлено, что для пророщенной пшеницы при температуре $(85-98)\pm 2^\circ\text{C}$, продолжительность не должна превышать более 20 мин., при этом количество поврежденных зерен составляет не более 2 % (рис. 8); для пророщенной гречихи при температуре $98\pm 2^\circ\text{C}$ продолжительность не более 3 мин., количество поврежденных зерен составляет не более 36 % (рис. 9).

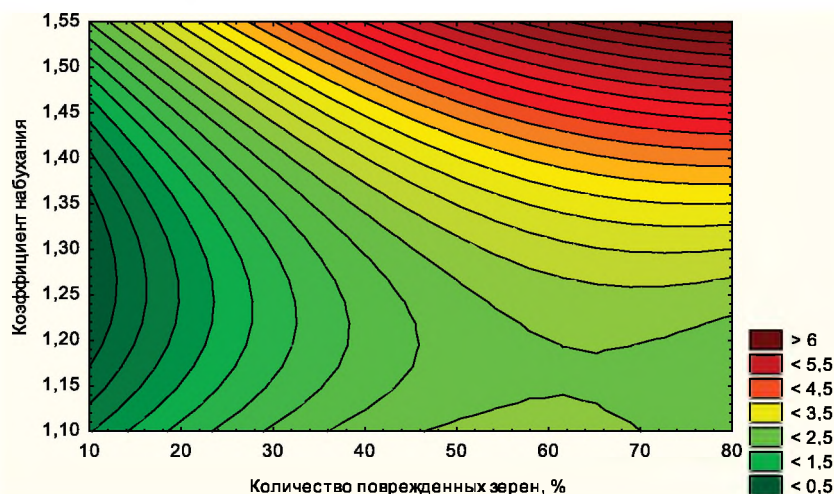


Рис. 9. Влияние процесса бланширования на количество поврежденных зерен пророщенной гречихи

Fig. 9. The effect of the blanching process on the number of damaged grains of sprouted buckwheat

Установлено, что набухание гранул крахмала при нагревании оказывает определенное внутреннее давление на стенки клеток семенной оболочки и в результате нарушается целостность семенной оболочки зерновки.

Заключение. На основании исследований дано описание влияния бланширования и стерилизации пророщенных зерен пшеницы и гречихи на процессы:

- ♦ денатурации белка,
- ♦ набухания и клейстеризации крахмала,
- ♦ разрушения целостности семенной оболочки.

Доказано влияние температуры и продолжительности бланширования, а также температуры стерилизации на набухание пророщенного зерна и проявление дефекта консервированного зерна — растрескивание зерна. Наименьшее проявление растрескивания пророщенного зерна в процессе бланширования наблюдается при температуре $98\pm 2^\circ\text{C}$ для пшеницы в течение 10 мин, для гречихи в течение 3 мин, что обусловлено почти полной клейстеризацией крахмала на этом этапе и более медленным набуханием и полной клейстеризацией крахмала на этапе стерилизации.

Список использованных источников

1. Алехина, Н. Н. Зерновой хлеб для повышения пищевого статуса населения: биоактивация злаковых культур, ресурсосбережение сырья, разработка технологий и расширение ассортимента продукции [Докторская диссертация, Воронежский государственный университет инженерных технологий]. Воронеж, 2020. — 442 с.
2. Урбанчик, Е. Н. Получение продуктов быстрого приготовления на основе пророщенного зерна пшеницы и гречихи. / Е. Н. Урбанчик, А. Е. Шалюта // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2012. — № 7. — С. 24-26.
3. Биотехнологические приемы повышения эффективности использования зерновых ресурсов Беларуси / В. А. Шаршунов, Е. Н. Урбанчик, Л. А. Касьянова [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. — 2008. — № 1. — С. 101-106.

4. Получение биологически активного зернового продукта на основе смесей пророщенного зерна пшеницы и овса голозерного / В. А. Шаршунов, Е. Н. Урбанчик, А. Е. Шалюта [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. — 2016. — №4. — С. 118-125.
5. Кузнецова, Е. А. Изменение некоторых показателей белкового комплекса зерна пшеницы при проращивании 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.
6. Сафронова, Т. Н. Технологии пищевых продуктов с использованием переработанного пророщенного зерна пшеницы, Т. Н. Сафронова, О. М. Евтухова // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2014. — №4. — С. 49-52.
7. Чумикина, Л. В. Биохимические особенности изменения белкового и ферментного комплексов и клейковины зерна тритикале при прорастании / Л. В. Чумикина, Л. И. Арабова, А. Ф. Топунов // Известия вузов. Пищевая технология. — 2009. — №2-3. — С. 9-12.
8. Faltermaier, A. Common wheat (*Triticum aestivum* L.): Evaluating microstructural changes during the malting process by using confocal laser scanning microscopy and scanning electron microscopy / A. Faltermaier, M. Zarnkow, T. Becker [et al.] // European Food Research and Technology. — 2015. — Vol. 241. — Iss. 2. — P. 239-252. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2450-x>.
9. Feng, H. Sprouted grains: nutritional value, production, and applications / H. Feng, B. Nemzer, J. Devries, 2019. — Woodhead Publishing and AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01536-X>.
10. Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review / E. Lemmens, A. Moroni, J. Pagand [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. — 2019. — Vol. 18. — P. 305-328. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>.
11. Water-soluble protein molecular weight distribution and effects on wheat malt quality during malting / L. Xie, Y. Jin, J. Du [et al.] // Journal of the Institute of Brewing and Distilling. — 2014. — Vol. 120. — Iss. 4. — P. 399-403. <https://doi.org/10.1002/jib.182>.
12. Сравнительная оценка качества полуфабрикатов из биоактивированного зерна пшеницы и изделий на их основе / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева [и др.] // Техника и технология пищевых продуктов. — 2015. — № 1. — С. 64-69.
13. Цед, Е. А. Изучение возможности использования нового вида зернового сырья белорусской селекции для получения солода / Е. А. Цед, С.В. Волкова, Л.М. Королева // Производство спирта и ликероводочных изделий. — 2008. — № 1. — С. 12-14.
14. 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>.
15. Мальцев, П. М. Технология бродильных производств. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Пищевая промышленность, 1980. — 560 с.
16. Химия пищевых продуктов / Ш. Дамодаран, К. Л. Паркин, О. Р. Феннема (ред.-сост.). — Перев. с англ. — СПб.: ИД «Профессия», 2012. — 1040 с.
17. Растительный белок / Пер. с фр. В. Г. Долгополова; под ред. Т.П. Микулович. — М.: Агропромиздат, 1991. — 684 с.
18. Колпакова, В. В. Гидратационная способность и физико-химические свойства белков пшеничной клейковины / В. В. Колпакова, О. Ю. Студенникова // Известия вузов. Пищевая технология. — 2009. — №2-3. — С. 5-8.
19. Вакар, А.Б. Клейковина пшеницы / А.Б. Вакар. — М.: Издательство Академии наук СССР, 1961. — 252 с.
20. Родионова, Н. С. Влияние термической обработки на биологическую ценность белков муки зародышей пшеницы [Электронный ресурс] / Н. С. Родионова, О. А. Соколова // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — №4. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20722&ysclid=lrj8z6mpic77868986> (Дата обращения 17.12.2023)
21. Пищевая химия / Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др. Под ред. А.П. Нечаева. — изд. 2-е, перераб. и испр. — СПб.: ГИОРД, 2003. — 640 с.
22. Soral-Śmietana, M. Characteristics of Buckwheat Grain Starch and the Effect of Hydrothermal Processing upon its Chemical Composition, Properties and Structure / M. Soral-Śmietana, Ł. Fornal, J. Fornal // Starch. — 1984. — Vol. 36. — Iss. 5. — P. 153–158. doi:10.1002/star.19840360502.
23. Химия углеводов / Н. К. Кочетков, А. Ф. Бочков, Б. А. Дмитриев [и др.]. — М.: Издательство «Химия», 1967. — 672 с.
24. Исследование особенностей механизма химической модификации крахмала / В. Литвяк, В. Москва, О. Ромашко [и др.] // Наука и инновации. — 2012. — №9 (115). — 2012. — С. 64-69.
25. Технология и оборудование для производства спирта и ликероводочных изделий: в 2 ч. Ч.1. Производство спирта: пособие / В. А. Шаршунов, Е. А. Цед, Л. М. Кучерявый [и др.]. — Минск: Мисанта, 2013. — 783 с.

26. Углеводы в пищевых продуктах / М. О. Полумбрик, В. В. Литвяк, З. В. Ловкис [и др.]. — Минск: ИВЦ Минфина, 2016. — 592 с.
27. *Литвяк, В.* Формирование крахмальной гранулы и механизм химической модификации крахмала / В. Литвяк, М. Алексеенко, А. Канарский // Пищевая промышленность. — 2016. — №3 (157). — С. 63-67.

Информация об авторах

Зенькова Мария Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры товароведения и экспертизы товаров учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет» (пр. Партизанский, 26, 220070, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: mariya_LZ@mail.ru

Акулич Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель Республики Беларусь, проректор по научной работе учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (пр. Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь).

E-mail: akulichav57@mail.ru

Information about authors

Zenkova Maria Leonidovna, PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of commodity science and expertise of products, Belarusian State Economic University (26 Partizansky Av., 220070, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: mariya_LZ@mail.ru

Akulich Alexander Vasilyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Republic of Belarus, Vice-Rector for Scientific Work of the Educational Institution «Belarusian State University of Food and Chemical Technologies» (3 Schmidt Av., 212027, Mogilev, Republic of Belarus).

E-mail: akulichav57@mail.ru