

УДК 664.641.2

ВЛИЯНИЕ ШЕЛУШЕНИЯ И ЭКСТРУДИРОВАНИЯ СЕМЯН ГОРОХА И ЛЮПИНА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЦЕННОСТЬ ЗЕРНОБОБОВОЙ МУКИ

Е. С. Новожилова¹, Л. В. Рукшан¹, Ж. В. Кошак², А. Ю. Агурков¹

¹Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь

²РУП «Институт рыбного хозяйства» НАН Беларуси. Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью исследования является проектирование производства хлебобулочных и мучных кондитерских изделий с использованием экструдированной муки из семян гороха и люпина на предприятиях пищевой промышленности Республики Беларусь. Однако недостаточно данных о технологических и функциональных свойствах экструдированной зернобобовой муки и изменении ее химического состава в процессе шелушения и экструзии семян гороха и люпина, что определило общую научную задачу исследования.

Материалы и методы. Экструдированная мука получена в лабораторных условиях путем шелушения, тепловой экструзии, измельчения и сортирования из сортов гороха Миллениум и люпина Ян белорусской селекции. Общепринятые методы анализа.

Результаты. Шелушение семян позволило получить бобовую муку, более питательную по содержанию жира, сахаров и белка, но не оказывало существенного влияния на ее функциональные свойства. Исключение стадии шелушения из технологического процесса позволит упростить и удешевить процесс получения бобовой муки, повысить ее пищевую ценность за счет более высокого содержания клетчатки. Экструдирование семян гороха и люпина способствовало менее выраженному бобовому вкусу и запаху, приводило к изменению химического состава за счет увеличения доли легкоусвояемых углеводов и снижения содержания каротиноидов. Экструдированная мука как из нешелушенных, так и шелушенных семян обладала более высокими значениями кислотности, седиментации, водо- и щелочеудерживающей способности, жиросвязывающей способности и эмульсионной активности по сравнению с пшеничной мукой.

Выводы. По технологической ценности оба вида экструдированной муки примерно равнозначны, при этом гороховая предпочтительнее по содержанию крахмала, меньшей кислотности и зольности, а люпиновая – по количеству белка, сахаров, клетчатки и водоудерживающей способности. Рекомендовано использование экструдированной бобовой муки для получения хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: горох; люпин; шелушение; тепловая экструзия; зернобобовая мука; экструдированная мука; химический состав; функциональные свойства; органолептические показатели.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Новожилова, Е. С. Влияние шелушения и экструдирования семян гороха и люпина на технологическую ценность зернобобовой муки / Е. С. Новожилова [и др.] // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2022. – № 1(32). – С. 62–73.

EFFECT OF PEELING AND EXTRUSION OF PEA AND LUPIN SEEDS ON THE TECHNOLOGICAL VALUE OF PULSE FLOUR

A. S. Navazhylava¹, L. V. Rukshan¹, J. V. Koshak², A. Yu. Agurkov¹

¹Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus

²RUI «Fish Industry Institute» of the National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. The aim of the study is to design the production of bakery and flour confectionery products using extruded flour from pea and lupine seeds at food industry enterprises of the Republic of Belarus. However, there is not enough data on the technological and functional properties of extruded pulse flour and the change in its chemical composition in the process of peeling and extrusion of pea and lupine seeds, which determined the general scientific task of the study.

Materials and methods. Extruded flour obtained in laboratory conditions by peeling, thermal extrusion, grinding and sorting grains from pea variety Millennium and lupine variety Yan of Belarusian selection. Standard methods of analysis.

Results. Peeling of seeds made it possible to obtain pulse flour, which is more nutritious in terms of fat, sugars, ash and protein, but did not significantly affect its functional properties. The elimination of the peeling stage from the technological process will simplify and reduce the cost of the process of obtaining bean flour, increase its nutritional value due to higher fiber content. The extrusion of pea and lupine seeds contributed to a less pronounced bean taste and smell, resulted in a change in the chemical composition due to an increase in the proportion of easily digestible carbohydrates and a decrease in the content of carotenoids. Extruded flour from both non-hulled and hulled seeds had higher values of acidity, sedimentation, water and alkali-holding capacity, fat-binding capacity and emulsion activity compared to wheat flour.

Conclusions. Both types of extruded flour are approximately equivalent in terms of technological value, while pea flour is preferable in terms of starch content, lower acidity and ash content, and lupine flour in terms of the amount of protein, sugars, fiber and water-holding capacity. It is recommended to use extruded pulse flour for the production of bakery and flour confectionery products.

KEY WORDS: *pea; lupine; peeling; thermal extrusion; pulse flour; extruded flour; chemical composition; functional properties; organoleptic characteristics.*

FOR CITATION: Navazhylava, A. S. Effect of peeling and extrusion of pea and lupine seeds on the technological value of pulse flour / A. S. Navazhylava [et al.] // Vestnik of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. – 2022. – № 1(32). – P. 62–73 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Технологическая ценность пищевого сырья обуславливается его органолептическими характеристиками, химическим составом и функциональными свойствами.

Семена бобовых культур с древних времен используются в рационе питания человека в качестве источника белка, пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ [1–6]. Белки бобовых по сравнению с другими растительными протеинами считаются менее аллергенными, близки по аминокислотному составу к животным белкам и по мнению ФАО – к так называемому идеальному для человека белку [7, 8]. Отличительной чертой белка бобовых является отсутствие глиаина и глютеина [8] и высокое содержание водорастворимых фракций – альбумина и глобулинов [9]. Так, в люпиновой муке преобладают глобулины (50,5 %) и альбумины (20,65 %) [7, 8], в гороховой – глобулины (85,7 %) [9].

Среди бобовых культур белорусской селекции, возделываемых в Беларуси на пищевые цели, в основном распространены сорта гороха посевного (*Pisum sativum L.*) и люпина узколистного (*Lupinus angustifolius L.*), которых в Госреестре 2021 года [10] зафиксировано 22 и 17 сортов соответственно. Если горох как бобовая культура уже давно используется в питании человека [2–5], то семена люпина для пищевых целей стали применяться относительно недавно [6–8]. Одним из преимуществ и перспективностью выращивания люпина по сравнению с соей является отсутствие генетически модифицированных сортов данной культуры [11]. А по химическому составу люпиновая мука выгодно отличается от пшеничной повышенным содержанием белка (24,1 %), жира (6,9 %), клетчатки (11,1 %), макро- и микроэлементов (Fe, Ca, K, Mg, P), витаминов B₁, B₂ и β-каротина [11].

Формирование определенного химического состава семян происходит под влиянием раз-

ных факторов: сортовых особенностей бобовых культур, почвенно-климатических условий, агротехники выращивания [2, 3, 5, 6]. В научно-технической литературе приводится достаточно много сведений о химическом составе семян гороха [1–5, 12], люпина [2, 6, 7, 12–17] и мучных продуктов, полученных из них разными способами [7, 8, 11–20]. В основном, эти значения усредненные либо характерные для отдельных сортов бобовых, районированных в других странах [7, 13, 14]. Для промышленного использования семян гороха и люпина в нашей стране немаловажный интерес представляют сортовые особенности местного бобового сырья.

До настоящего времени в Республике Беларусь в основном изучены морфологические, анатомические, агротехнические особенности белорусских сортов гороха [5, 21, 23] и люпина [6, 21, 22] и недостаточно сведений об их функциональных свойствах и изменении химического состава в зависимости от способов переработки в муку. Между тем, в ряде зарубежных публикаций подчеркивается важность и значимость изучения водоудерживающей, жиросвязывающей, эмульгирующей и других технологических характеристик зернобобовой муки для прогнозирования качества пищевых продуктов с ее использованием [8, 9, 11, 12, 20, 24, 25–27]. В основном эти свойства обусловлены высоким содержанием белка и пищевых волокон, содержание которых может сильно изменяться в зависимости от способов обработки: шелушения, теплового воздействия и др. [20, 26, 28, 32].

Так, шелушение семян бобовых ассоциируется со снижением уровня клетчатки и увеличением пропорции растворимых пищевых волокон [15, 29], а тепловая обработка – с изменением структуры белка, крахмала [25, 29] и снижением доли антинутриционных веществ: лектинов, сапонинов, дубильных веществ, фитиновой кислоты, алкалоидов, ингибиторов протеаз [30]. На сегодняшний день основным приемом снижения их уровня в продуктах переработки бобовых является тепловое воздействие, которое может осуществляться путем микронизации, горячей экструзии и другими способами. Например, гранулирование гороховой мучки снижает активность ингибиторов трипсина с 3,86 до 2,7–2,9 мг/г; обработка ИК-излучением – до 0,05–0,07 мг/г; экструдирование – до 1,7–2,1 мг/г [29]. Вместе с тем, для современных «сладких» сортов люпина характерно наличие минимальных количеств алкалоидов и ингибиторов пищеварительных ферментов (в десятки раз ниже по сравнению с таковыми в соевых бобах), что позволяет миновать или сократить их предварительную массивную термообработку. Одним из вариантов кратковременной тепловой обработки является технология экструдирования [31, 32].

При использовании бобового сырья необходимо учитывать и его специфические сенсорные эффекты. Считается, что им можно противодействовать с помощью вкусовых и ароматических веществ [33]. В большинстве публикаций [7–9, 11, 12, 17, 20] показано, что сенсорная приемлемость начинает снижаться при замене более 20 % пшеничной муки на бобовую, в отдельных изделиях – до 50 % [12]. Рядом исследователей отмечено улучшение органолептических свойств бобового сырья после термообработки [20, 25, 29, 31–34]. В некоторых работах [20, 32] обсуждается получение шелушенных и экструдированных зернобобовых компонентов и их вводимое количество. Можно отметить неоднозначность литературных данных об изменении функциональных свойств бобового сырья после экструзии, а также широкие пределы вариации значений для водо- и жиросвязывающей способности [24–28].

Таким образом, знание химического состава семян конкретных сортов бобовых культур, изменения их функциональных свойств в ходе переработки и правильное применение этих факторов при получении пищевой зернобобовой муки позволит подобрать рациональную технологию и выявить оптимальный расход бобовых ингредиентов для мучных изделий.

Сотрудниками учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (ранее – Могилевский государственный университет продовольствия) в течение ряда лет ведутся комплексные исследования особенностей химиче-

ского состава и технологических характеристик зернобобового сырья белорусской селекции, а также поиска ресурсосберегающих способов его переработки в муку с целью импортозамещения, экономии основного сырья, повышения пищевой ценности и снижения себестоимости мучных изделий (например, цена люпина на мировом рынке вдвое меньше цены сои [35]). Нашими более ранними исследованиями [5, 6, 12] установлено, что по целому комплексу признаков наиболее перспективными для промышленной переработки в зернобобовую муку являются белорусские сорта посевного гороха Миллениум и узколистного люпина Ян. Также ранее нами изучались некоторые технологические свойства зернобобовой муки, полученной в лабораторных условиях путем шелушения и измельчения семян [12, 36]. Однако такая мука характеризуется повышенной ферментной активностью, выраженным бобовым вкусом и запахом, что ограничивает ее сохранность и максимально вводимое количество для мучных изделий – не более 10–20 % [12, 22].

Поэтому для улучшения сенсорных характеристик, стабилизации качества муки среди множества приемов тепловой обработки бобовых семян нами выбран способ тепловой экструзии, технологические режимы которого отрабатывались в условиях НИИ рыбного хозяйства НАН Беларуси [37]. Известно, что после экструзионной обработки улучшаются вкусовые качества продукта; устраняется неприятный запах; увеличивается доля сахаров за счет деструкции полисахаридов; под действием температуры и давления происходит улучшение санитарного статуса продукта; устраняется или значительно уменьшается влияние антипитательных факторов и их отрицательное воздействие на организм [38].

Таким образом, цель исследования – проектирование производства хлебобулочных и мучных кондитерских изделий с использованием экструдированной муки из семян гороха и люпина на предприятиях пищевой промышленности Республики Беларусь.

Научная задача – исследование особенностей сенсорных характеристик, химического состава и функциональных свойств экструдированной муки из шелушенных и нешелушенных семян гороха и люпина местной селекции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выполнения исследований использовали семена гороха сорта Миллениум и малоалкалоидного узколистного люпина сорта Ян, выращенные в Минской и Могилевской областях Республики Беларусь в 2019–2021 гг.

Образцы экструдированной муки получали в лабораторных условиях путем экструдирования нешелушенных и шелушенных семян, измельчения экструдатов и сортирования продуктов измельчения. Шелушение семян осуществляли на лабораторной мельнице МРП-1 многократным кратковременным включением; экструдирование – на лабораторном экструдере Ш12-РЭЖ; охлаждение экструдата – в охладителе Ш12-РПГ.ПС; дробление и измельчение – на лабораторной мельнице МРП-1; сортирование продуктов измельчения и формирование муки – просеиванием на лабораторных ситах. Для проведения исследований отбирали средние по гранулометрическому составу фракции гороховой и люпиновой муки, полученные проходом сита № 21 и сходом с сита № 35 (21/35), относительно однородные по размеру частиц (в среднем 200–220 мкм).

Для сравнения использовали образцы муки пшеничной высшего сорта М54-28 (по СТБ 1666, ОАО «Лидахлебопродукт», Беларусь) и гороховой муки «Гарнец» (по ТУ 9293-009-89751414-10, ООО «Гарнец», Россия).

Запах, цвет, вкус и минеральную примесь в образцах муки определяли в соответствии с ГОСТ 27558.

Для анализа химического состава зерна и муки проводили отбор проб семян по ГОСТ 13586.3; отбор проб муки – по ГОСТ 27668. Влажность семян определяли по ГОСТ 13586.5; влажность муки – по ГОСТ 9404; зольность зерна – по ГОСТ 10847; золь-

ность муки – по ГОСТ 27494; массовую доли белка – методом Кьельдаля по ГОСТ 10846; жира – по ГОСТ 29033; крахмала – методом Эверса по ГОСТ 10845; сырой клетчатки – по ГОСТ 31675; общих и редуцирующих сахаров – перманганатным методом по ГОСТ 8756.13.

Содержание каротиноидов определяли экстракцией органического растворителя. Для этого навеску массой 5 г помещали в колбу Эрленмейера и заливали 25 мл ацетона. Экстракцию проводили при температуре 40 °С в течение 40 минут. Количество каротиноидов определяли на приборе ФЭК-56. Контролем служил 0,0036 %-ный водной раствор бихромкалия.

При оценке физико-химических и функциональных свойств муки измеряли кислотность по ГОСТ 27493; автолитическую активность (АА) – по ГОСТ 27495; показатель седиментации (СО) – по методу Зелени ГОСТ 30043; щелочеудерживающую способность (ЩУС) – модифицированным методом Ямазаки [39]. Водоудерживающую способность (ВУС), жиросвязывающую способность (ЖСС), эмульсионную активность (ЭА) определяли методом центрифугирования образцов в смеси с водой или маслом (метод Каура и Сингха) [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Технологическую ценность муки характеризовали по органолептическим показателям, химическому составу, физико-химическим и функциональным свойствам.

Внешний вид и цвет всех исследуемых образцов муки показан на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид исследуемых образцов муки

Fig. 1. Appearance of the flour samples under study

Как видно из рис. 1, по внешнему виду образцы зернобобовой муки заметно темнее пшеничной, что связано с присутствием оболочечных частиц и красящих пигментов (каротиноидов). Следует отметить, что для экструдированных образцов характерен цвет с менее интенсивной желтизной, причем у муки из шелушенных семян – более светлых оттенков.

Запах характеризовали как свойственный каждому виду муки, без посторонних оттенков, не затхлый, не плесневелый; вкус – также свойственный, у бобовой муки – слегка кисловатый, не горький; у экструдированных образцов отмечен слабовыраженный бобовый запах и привкус. При разжевывании хруст от минеральной примеси отсутствовал.

Таким образом, за счет шелушения и экструдирования семян может быть достигнуто некоторое улучшение сенсорных характеристик гороховой и люпиновой муки, но при этом происходит изменение каротиноидного статуса (табл. 1).

Табл. 1. Изменение каротиноидного статуса семян гороха и люпина в процессе шелушения и экструдирования

Table 1. Changes in the carotenoid status of pea and lupine seeds during peeling and extrusion

Степень обработки семян	Содержание каротиноидов, мг/кг	
	Горох Миллениум	Люпин Ян
Нешелушенные	5,38 ± 0,24	3,84 ± 0,08
Шелушенные	5,72 ± 0,18	4,96 ± 0,12
Экструдированные	3,47 ± 0,13	3,30 ± 0,06

Анализ результатов, представленных в табл. 1, показал, что содержание каротиноидов в нешелушенных семенах гороха Миллениум было чуть ниже литературных значений [40], при этом более высокое содержание красящих пигментов выявлено для образцов, выращенных в Минской области. У нешелушенных семян люпина сорта Ян доля каротиноидов не зависела от зоны произрастания и соответствовала литературным данным [41]. Количество каротиноидов после шелушения увеличилось за счет количественного перераспределения между семядолями и удаляемыми оболочками. Экструдирование, как и другие способы термообработки, привело к снижению каротиноидного статуса шелушенных семян гороха в 1,65 раза, люпина – в 1,50 раза.

Результаты определения других химических составляющих экструдированных образцов бобовой муки в сравнении с мукой пшеничной высшего сорта и мукой гороховой «Гарнец» представлены в табл. 2.

Табл. 2. Химический состав муки, %

Table 2. Chemical composition of flour, %

Вид муки	Вода	Белок	Жир	Углеводы			Зола	Прочее
				Крахмал и декстрины	Сахара	Клетчатка		
Пшеничная высшего сорта	12,4	10,0	1,1	69,0	0,20	0,50	0,55	6,25
Гороховая «Гарнец»	10,8	21,0	2,0	50,0	3,4	3,01	2,60	7,19
Экструдированная								
- из нешелушенного гороха	9,4	23,8	0,8	46,0	7,0	4,23	3,22	5,55
- из шелушенного гороха	9,0	22,3	1,0	49,0	8,0	3,88	3,35	3,47
- из нешелушенного люпина	9,4	22,4	6,5	9,4	20,5	5,24	3,63	22,93
- из шелушенного люпина	9,0	26,3	7,6	9,0	21,5	5,19	3,85	17,56

Как видно из табл. 2, по химическому составу все изучаемые образцы зернобобовой муки отличались от муки пшеничной более низким содержанием влаги и крахмала, но превосходили ее по количеству белка, сахаров, клетчатки и минеральных веществ, что очередной раз подтверждает высокую пищевую ценность бобовых культур, отмечаемую в научно-технической литературе [4–7, 12, 14–16, 30, 41].

Для муки из семян гороха белорусской селекции, полученной в лабораторных условиях, при сравнении с гороховой мукой «Гарнец» (Россия), произведенной промышленным способом, можно отметить более низкую влажность, меньшее содержание жира и клетчатки, что можно объяснить особенностями химического состава и технологии переработки семян [26].

Сравнение химического состава образцов муки из шелушенных и нешелушенных семян бобовых (табл. 2) показало незначительные отличия. Вместе с тем в муке из шелушенного гороха выявлено немного больше жира, крахмала и декстринов, простых сахаров и золы, в то время как в муке из нешелушенного гороха – выше содержание белка и клетчатки. В муке из шелушенного

люпина по сравнению с мукой из нешелушенных семян отмечено увеличенное содержание белка, жира, сахаров и золы, но пониженное количество крахмала и клетчатки. Выявленные отличия между шелушеными и нешелушеными образцами в пределах каждого вида бобовой муки обусловлены особенностями распределения химических веществ в оболочках и семядолях гороха и люпина [15, 20], а также воздействием экструдирования [26–28, 37–39].

Влияние шелушения и тепловой экструзии можно проследить при сравнительном анализе химического состава экструдированной муки (табл. 2) и исходного сырья – семян гороха и люпина до шелушения и тепловой обработки (рис. 2).

По результатам изучения химического состава нешелушенных семян гороха сорта Миллениум и люпина сорта Ян отмечено, что содержание белковых веществ, жира, крахмала, сахаров, клетчатки и золы в них соответствовало средним значениям, приведенным для этих культур в научно-технической литературе [1–8, 14–16, 30].

Как видно из данных табл. 2 и рис. 2, процессы шелушения и экструдирования повлияли на химические составляющие гороха и люпина. В гороховой муке доля клетчатки уменьшилась вдвое, содержание крахмала снизилось на 3–6 %, количество сахаров возросло на 2–3 %, количество протеина, жира и золы существенно не изменилось. Более глубокие изменения произошли после в белковом, углеводном и липидном комплексах люпиновой муки: содержание протеинов уменьшилось на 5–9 %, крахмала – в 2,5 раза, клетчатки – втрое; в 3 раза возросла доля сахаров, а доля жира увеличилась в 1,6–1,7 раза, вероятно, из-за разрыва стенок жировых клеток. В целом в результате шелушения семян улучшилась питательность муки за счет снижения доли неусвояемых углеводов, что подтверждается литературными данными [15, 26–28], а экструдирование привело к увеличению доли сахаров и жира в муке.

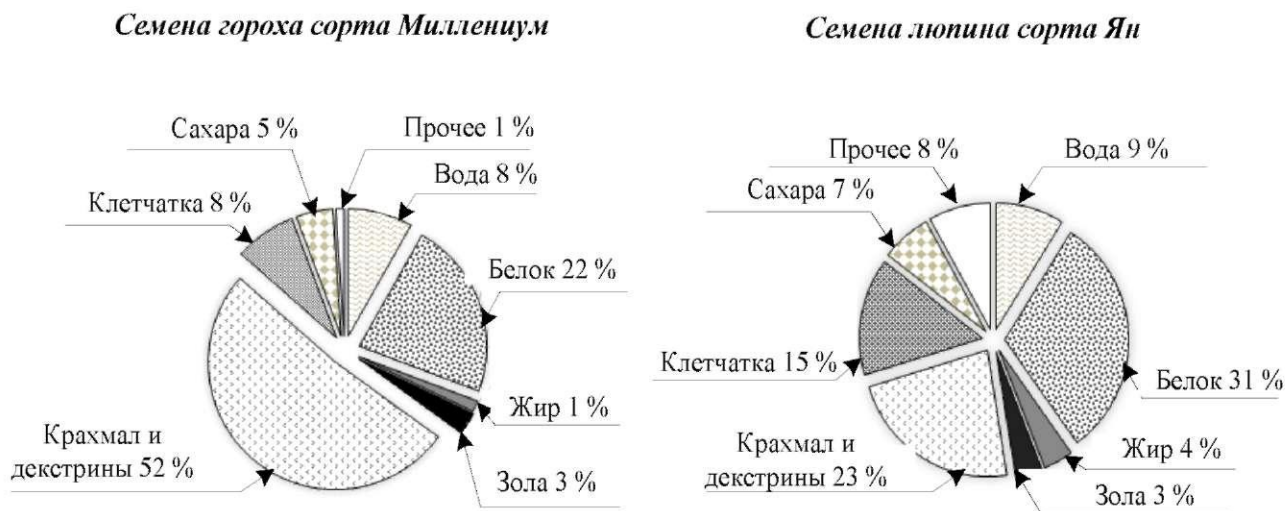


Рис. 2. Химический состав семян зернобобовых культур белорусской селекции

Fig. 2. Chemical composition of seeds of leguminous crops of Belarusian selection

Для оценки перспектив использования экструдированной бобовой муки технологический интерес представляло изучение ее физико-химических и функциональных свойств (табл. 3.).

Из данных табл. 3 видно, что кислотность экструдированной гороховой и люпиновой муки в 7–8 раз превышала значение этого показателя для муки пшеничной высшего сорта и примерно в 1,5 раза – для муки гороховой муки «Гарнец». Повышенная кислотность зернобобовой муки обусловлена более высоким содержанием водорастворимого белка и жиров [42, 43], а процесс экструдирования способствовал их частичному гидролизу до аминокислот и жирных кислот. В то же время шелушение семян существенно не сказалось на значении этого показателя.

Табл. 3. Физико-химические и функциональные свойства зернобобовой и пшеничной муки
Table 3. Psychochemical and functional properties of pulse and wheat flour

Показатель	Вид муки					
	ПВс	ГхГарнсц	ГЭН	ГЭШ	ЛЭН	ЛЭШ
Кислотность, градус	2,9 ± 0,1	15,6 ± 0,1	22,2 ± 0,1	21,4 ± 0,1	24,5 ± 0,1	24,7 ± 0,1
Автолитическая активность, %	29 ± 3	44 ± 2	44 ± 5	44 ± 3	44 ± 3	44 ± 4
Седиментационный осадок, мл	30,0 ± 2,5	66,1 ± 2,1	53,8 ± 2,4	57,3 ± 2,5	56,0 ± 2,6	53,1 ± 2,5
Щелочеудерживающая способность, %	47 ± 5	66 ± 7	159 ± 8	138 ± 5	129 ± 7	186 ± 5
Водоудерживающая способность, г/г	1,02 ± 0,15	1,77 ± 0,06	2,04 ± 0,12	1,91 ± 0,05	2,43 ± 0,09	2,50 ± 0,10
Жирсвязывающая способность, г/г	2,16 ± 0,02	2,23 ± 0,11	2,20 ± 0,09	2,10 ± 0,04	1,95 ± 0,05	2,22 ± 0,07
Эмульсионная активность, %	45 ± 1	58 ± 1	71 ± 1	67 ± 1	66 ± 2	75 ± 1

Увеличенная кислотность экструдированной бобовой муки в сочетании с достаточно высоким уровнем сахаров (табл. 2) может повлиять на скорость кислотонакопления при брожении теста, и предпочтительными будут ускоренные способы тестоприготовления.

Автолитическая активность (АА) связана с переходом части сухих веществ в водорастворимое состояние под действием всех ферментов муки при прогреве водомучной среды [43]. Все образцы бобовой муки за счет тепловой экструзии семян и возможной при этом инактивации ферментов показали относительно невысокий уровень АА, в 1,5 раза выше, чем у муки пшеничной (табл. 3), и близкий к муке ржаной [43], что предопределяет возможность их использования в рецептурах ржаных и ржано-пшеничных сортов хлеба.

Показатели седиментационного осадка (СО) и щелочеудерживающей способности (ЩУС) косвенно характеризуют количество белка и качество белкового комплекса [39] и важны при оценке качества муки как сырья для хлебопекарных и кондитерских изделий. СО контрольного образца пшеничной муки соответствовал средней по силе муке, что обусловлено присутствием водонерастворимых белков, образующих клейковину. Повышенные значения седиментации и ЩУС бобовой муки по сравнению с мукой пшеничной (табл. 3) хорошо соотносятся с более высоким содержанием в них белковых веществ (табл. 2). Из образцов бобовой муки клейковина не отмывалась, но уровень СО позволяет судить о присутствии в ней водонерастворимых (но не образующих клейковину) фракций белка. Более высокие значения ЩУС отмечены у гороховой муки из нешелушенных семян, а у люпиновой – из шелушенных.

Водоудерживающая способность (ВУС) связана с гидрофильностью белка и полисахаридов, а также указывает на целостность крахмала – аморфная часть крахмала поглощает воды значительно больше, чем нативная [24]. По литературным данным [24, 26–28] значения ВУС сильно отличаются (от 0,95 до 3,88 г/г) в зависимости от вида бобовой муки, региона произрастания семян и режимов их обработки. По данным табл. 3 у всех экструдированных образцов выявлены достаточно высокие значения ВУС, что свидетельствует о благоприятном влиянии выбранного способа тепловой обработки на технологические свойства получаемой бобовой муки.

По уровню ВУС бобовая мука превосходила пшеничную, максимальное значение ВУС наблюдалось у люпиновой муки. По влиянию шелушения семян более высокие значения ВУС выявлены у гороховой муки из цельных семян, а у люпиновой – из шелушенных. Знание уровня ВУС экструдированной бобовой муки позволит получать больший выход теста и готовых изделий, что весьма важно для производства [44].

По данным некоторых исследований [24] жирсвязывающая способность (ЖСС) бобовых

варьирует от 0,93 до 1,38 г/г и зависит от размера частиц муки, капиллярного взаимодействия, содержания крахмала и, особенно, гидрофобных белков. Некоторыми исследователями [26] отмечается снижение ЖСС люпиновой муки после экструзии. Однако, у всех изучаемых образцов муки (табл. 3) значения ЖСС почти вдвое превышали литературные данные, что, возможно, связано как с выбранными режимами экструдирования и со степенью измельчения муки, так и с видовыми и сортовыми особенностями углеводного и белкового комплексов бобовой муки. Выявлено, что шелушение семян при получении люпиновой и гороховой муки не оказывало заметного влияния на уровень ЖСС.

Эмульсионная активность (ЭА) отражает способность белков поглощать поверхность раздела между жирами и водой и образовывать стойкие эмульсии. Этот показатель напрямую зависит от содержания нерастворимых белков и в меньшей степени связан с долей крахмала и жира в бобовой муке [24]. Клетчатка, входящая в состав оболочки бобовых, также является эмульгатором и стабилизатором [8]. В литературных данных встречаются значения ЭА для фасоли [36, 40] и люпиновой муки [11]. Полученные нами значения ЭА для гороховой и люпиновой муки (табл. 3) хорошо соотносятся с результатами исследования химического состава (табл. 2) и уровнем ЩУС, тоже связанным с присутствием нерастворимых белков. Для всех образцов бобовой муки, в том числе и экструдированных, отмечены более высокие значения ЭА по сравнению с пшеничной мукой, что может быть связано с различным соотношением белка к крахмалу и другим компонентам муки. Влияние шелушения на ЭА оказалось неоднозначным, хотя значения этого показателя у образцов бобовой муки из шелушенных и нешелушенных семян отличаются несущественно. Анализ уровня ЖСС и ЭА экструдированной бобовой муки позволяет обосновать ее применение в пищевых продуктах с высоким содержанием жира.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ сенсорных характеристик, химического состава и функциональных свойств муки из экструдированных семян гороха Миллениум и люпина Ян показал ее достаточно высокую технологическую ценность для использования в пищевых продуктах.

Отмечено, что шелушение семян позволяет получить муку, более питательную по содержанию жира, сахаров, золы и белка (для люпина), но не оказывает существенного влияния на ее технологические свойства. Исключение стадии шелушения из технологического процесса позволит упростить и удешевить процесс получения бобовой муки, повысить ее пищевую ценность за счет более высокого содержания клетчатки.

Выявлено, что экструдирование семян гороха и люпина белорусской селекции способствует улучшению органолептических свойств бобовой муки и изменению ее химического состава в направлении повышения доли легкоусвояемых углеводов. Экструдированная мука как из нешелушенных, так и шелушенных семян обладает более высокими значениями кислотности, седиментации, водо- и щелочеудерживающей способности, жиросвязывающей способности и эмульсионной активности по сравнению с пшеничной мукой.

По органолептическим, физико-химическим и технологическим свойствам в совокупности на данном этапе исследований оба вида экструдированной муки примерно равнозначны, при этом гороховая предпочтительнее по содержанию крахмала, меньшей кислотности и зольности, а люпиновая – по количеству белка, сахаров, клетчатки и повышенной водоудерживающей способности.

Использование экструдированной зернобобовой муки рекомендуется для получения хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья написана в рамках выполнения НИР по ГЗ 21–11 «Создание научно-методологических основ переработки зернобобовых культур белорусской селекции для получения мучных изделий» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» 5.3, финансируемой Министерством образования Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Скурихин, И. М. Химический состав пищевых продуктов: в 2 т. / И. М. Скурихин, М. Н. Волгарев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 2 т.: 600 с.
- 2 Посыпанов, Г. С. Растениеводство / под ред Г. С. Посыпанова. – М.: КолосС. 2007. – 122 с.
- 3 Казаков, Е. Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Е. Д. Казаков. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
- 4 Сериккызы, М. С. Изучение пищевых и химических составов бобовых продуктов: горох, фасоль, соя / М. С. Сериккызы, К. Кызыр // Инновации в науке. – 2016. – № 7(56). – С. 110–114.
- 5 Рукшан, Л. В. Зернобобовые культуры Республики Беларусь – горох / Л. В. Рукшан, Е. С. Новожилова // АПКNews. – 2019. – № 11(22). – С. 32–35.
- 6 Рукшан, Л. В. Зернобобовые культуры Республики Беларусь – люпин / Л. В. Рукшан, Е. С. Новожилова, Д. А. Кудин // АПКnews. – 2020. – № 24(1–2). – С. 50–53.
- 7 Агафонова, С. В. Оценка биологической ценности белков люпина и перспектив его использования в пищевой промышленности / С. В. Агафонова, А. И. Рыков, О. Я. Меженова // Вестник Международной академии хлеба. – 2019. – № 2. – С. 79–85.
- 8 Руцкая, В. И. Опыт использования люпина и продуктов его переработки в пищевой промышленности / В. И. Руцкая, Н. В. Гапонов // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 17. – С. 83–89.
- 9 Ямашев, Т. А. Исследование структурно-механических свойств теста из смеси пшеничной и гороховой муки с применением альвеографа / Т. А. Ямашев // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – С. 112–114. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-strukturno-mehanicheskikh-svoystv-testa-iz-smesi-pshenichnoy-i-gorohovo-y-muki-s-primeneniem-alveografa> (дата обращения: 14.04.2022).
- 10 Государственный реестр сортов / Отв. ред. В. А. Бейня. – Минск. 2021. – 276 с.
- 11 Труфанова, Ю. Н. Применение люпиновой муки и лактулозы в технологии песочного полуфабриката для диетического профилактического питания // Ю. Н. Труфанова, И. М. Жаркова, М. В. Ткач // Хлебопечение России. – 2017. – № 4. – С. 25–28.
- 12 Рукшан, Л. В. Технологические свойства семян зернобобовых культур как сырья для мучных кондитерских изделий / Л. В. Рукшан, Е. С. Новожилова, Д. А. Кудин // Вестник МГУП. – 2017. – № 2(23). – С. 38–43.
- 13 Буянкин, Н. И. Люпин на корм и сидерат в Калининградской области: монография / Н. И. Буянкин, А. Г. Красноперов, З. Н. Федорова. – Калининград, 2018. – 148 с.
- 14 Tomczak, A. Blue lupine seeds protein content and amino acids composition / A. Tomczak [et al.] // Plant Soil. Environ. 2018, Vol. 64, no 4, P. 147–155. DOI: <https://doi.org/10.17221/690/2017-PSE>.
- 15 Khalid, I. I. Amino acid composition and physicochemical properties of bitter lupine (*Lupinus termis*) seed flour / I. I. Khalid, S. B. Elhardallou, A. A. Gobouri // Orient. J. Chem. 2016, Vol. 32 (6), P. 3175–3182. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/320640>.
- 16 Kefale, B. Sweet lupine recipe development and nutritional content at Holeta, Ethiopia / B. Kefale, E. Abrha // J. Food Sci. Nutr. 2018, 4 (1): 009–011. DOI: <http://dx.doi.org/10.17352/jfsnt.000014>.
- 17 Мельников, Е. Продукты быстрого приготовления из гороха / Е. Мельников, О. Носикова // Хлебопродукты. – 2008. – № 10. – С. 60–61.
- 18 Хрулев, А. А. Тенденции развития и экономические аспекты производства горохового протейна / А. А. Хрулев, Н. А. Бесчетникова, И. А. Федотов // Пищевая промышленность. – 2016. – № 4. – С. 24–29.
- 19 Нелюбина, Е. В. Разработка технологии изготовления хлеба на основе продукта ферментированного горохового безглютенового / Е. В. Нелюбина [и др.] // Пищевая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 71–72.
- 20 Мусина, О. Н. Рациональная схема получения зернобобового компонента для использования в мучной отрасли / О. Н. Мусина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 10. – С. 60–61.
- 21 Каталог генетических ресурсов зерновых, зернобобовых, крупяных, масличных и кормовых культур 2016–2020 гг. / Ф. И. Привалов [и др.]: РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2020. – 548 с.
- 22 Малышкина, Ю. С. Создание и оценка исходного материала возделываемых видов люпина (*Lupinus L.*) для селекции на скороспелость, продуктивность и антракнозостойчивость: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук по спец. 06.01.05 – селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений / Ю. С. Малышкина; науч. рук. работы Е. В. Равков; УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного знамени сельскохозяйственная академия». – Горки: БГСА, 2021. – 26 с.

- 23 Пашкевич, П. А. Создание исходного материала для селекции детерминантных сортов гороха посевного (*Pisum sativum* L.): автореферат дис. ... канд. сельскохозяйств. наук по спец. 06.01.05 – селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений / П. А. Пашкевич; Национальная академия наук Беларуси, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Жодино, 2019. – 24 с. URL: <http://dep.nlb.by/jspui/handle/nlb/55491>.
- 24 Физико-химические и функциональные свойства цельнозерновой муки [Электронный ресурс] / Ш. Ду [et al.] – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643813002077> – Дата доступа: 21.01.2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.001>.
- 25 Берлогин, В. И. Функциональные свойства натуральной текстурированной муки из зерновых и зернобобовых культур и ее применение в производстве продуктов питания / В. И. Берлогин // Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. 2001. – № 1. – С. 28–29.
- 26 Naumann, S. Effects of extrusion processing on the physicochemical and functional properties of lupin kernel fibre / S. Naumann [et al.] // *Food Hydrocolloids*, Volume 111, February 2021, 106222. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.106222>.
- 27 Zhong, L. Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat / L. Zhong [et al.] // *LWT*, Vol. 99, January 2019, Pages 547–554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.018>.
- 28 Zhong, L. Multi-response surface optimisation of extrusion cooking to increase soluble dietary fibre and polyphenols in lupin seed coat // L. Zhong [et al.] // *LWT*, Vol. 140, April 2021, 110767. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110767>.
- 29 Пономарев, С. Г. Гороховая мука как источник обогащения кондитерских изделий [Электронный ресурс] / С. Г. Пономарев // Электронный журнал Cloud of Science. – 2013. – № 2. – Режим доступа: <http://cloudofscience.ru> – Режим доступа: 09.12.2021.
- 30 Булгакова, Я. С. *Lupinus* spp. как основа органического производства и продовольственной безопасности стран Евразийского экономического союза / Я. С. Булгакова // От биопродуктов к биоэкономике: материалы II Межрегиональной научно-практической конференции (с международным участием). 12–13 апреля 2018 г.; под ред. А. Н. Лукьянова; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: АлтГТУ, 2018. – С. 23–28.
- 31 Зверев, С. В. Белый люпин: обрушение и термообработка зерна / С. В. Зверев [и др.] – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2019. – 128 с.
- 32 Мансева, Э. Ш. Влияние способов обработки зерна на его питательность / Э. Ш. Мансева, С. А. Мирошников // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 6. – С. 214–217. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-sposobov-obrabotki-zerna-na-ego-pitatelnost>. Дата доступа: 23.04.2022.
- 33 Корячкина, С. Я. Функциональные пищевые ингредиенты и добавки для хлебобулочных и кондитерских изделий / С. Я. Корячкина, Т. В. Матвеева. – СПб: ГИОРД, 2013. – 528 с.
- 34 Tanger, C. Pea protein microparticulation using extrusion cooking: Influence of extrusion parameters and drying on microparticle characteristics and sensory by application in a model milk dessert / C. Tanger [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol. 74, December 2021, 102851. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102851>.
- 35 Цифры и факты / webpticeprom.ru // Комбикорма. – 2014. – № 6. – С. 41–46.
- 36 Рукшан, Л. В. Оценка технологических свойств муки из фасоли отдельных сортов применительно к технологии мучных кондитерских изделий / Л. В. Рукшан, Е. С. Новожилова // Вестник МГУП. – 2019. – № 1(26). – С. 11–23.
- 37 Агурков, А. Ю. Исследование возможности получения экструдированных продуктов из белорусских сортов люпина / А. Ю. Агурков, С. В. Равусова, Л. В. Рукшан // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: Збірник матеріалів XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді», 7–9 октября 2021 г., г. Одеса, Міністерство освіти і науки України. – Одеса: ОНАХТ, 2021. – 308 с. – С. 155.
- 38 Технология экструдирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zhivkorm.by/tehnologiya-ekstrudirovaniya/>. – Дата доступа: 12.08.2021.
- 39 Василенко, И. И. Оценка качества зерна / И. И. Василенко, В. И. Комаров. – М.: Агропромиздат, 1987. – 207 с.
- 40 Романова, Х. С. Разработка технологии фасолевого матрикса и функциональных продуктов на его основе: дис. ... канд. сельскохозяйств. наук по спец. 05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания / Х. С. Романова. // ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова». – Саратов, 2019. – 166 с.
- 41 Пашенко, Л. П. Семена люпина – перспективный белковый обогатитель продуктов питания / Л. П. Пашенко, И. П. Черных, В. Л. Пашенко // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 6. – С. 54–54; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=22854>. Дата доступа: 13.04.2022.
- 42 Шаршунов, В. А. Технология и оборудование для производства мучных кондитерских изделий: пособие / В. А. Шаршунов [и др.]. – Минск: Мисанта, 2015. – 991 с.
- 43 Пучкова, Л. И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 264 с.

44 Шелепина. Н. В. Использование продуктов переработки зерна гороха в пищевых технологиях / Н. В. Шелепина // Известия Вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016. – Том 6. – № 4. – С. 110–118.

Поступила в редакцию 16.05.2022 г.

ОБ АВТОРАХ:

Елена Сергеевна Новожилова, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии хлебопродуктов учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (БГУТ), e-mail: novojilova@bgut.by.

Людмила Викторовна Рукшан, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры технологии хлебопродуктов учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (БГУТ), e-mail: rukshanl@bgut.by.

Жанна Викторовна Кошак, кандидат технических наук, доцент, заведующая лабораторией кормов РУП «НИИ рыбного хозяйства» НАН Беларуси, E-mail: koshak.zn@gmail.com

Алексей Юрьевич Агурков, магистрант кафедры технологии хлебопродуктов учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (БГУТ), e-mail: lex253188@mail.ru

ABOUT AUTHORS:

Alena S. Navazhylava, PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Grain Products Technology, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: novojilova@bgut.by.

Liudmila V. Rukshan, PhD (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Grain Products Technology, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: rukshanl@bgut.by.

Zhanna V. Koshak, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Laboratory of Feeds of RUE «Fish Industry Institute» of the National Academy of Sciences of Belarus, e-mail: koshak.zn@gmail.com.

Alexey Yu. Agurkov, Master's Degree student, the Department of Grain Products Technology, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: lex253188@mail.ru.