

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ АНТИАЛИМЕНТАРНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЗЕРНА ЛЮПИНА

В.Ф. Король, Г.Н. Лахмоткина

ООО «Люпин-продукт», г. Брянск

Брянский филиал «Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова», г. Брянск

Аннотация: В целях обеспечения продовольственной безопасности России по экономической доступности для граждан страны безопасных пищевых продуктов, необходимых для здорового образа жизни, проводятся научные исследования по использованию новых видов растительного белка, в том числе из зерна люпина.

Проведен сравнительный анализ питательной ценности зерна культур, используемых в кормах и содержанию антиалиментарных веществ. Сформулирована гипотеза удаления антиалиментарных веществ зерна люпина и сои с ультразвуком и мультиэнзимным комплексом, защищённая патентом. Разработан промышленный образец устройства для извлечения из зернобобовых культур антиалиментарных веществ

Изобретение относится к разработке методики обезгорчивания зерна люпина, основанной на удалении алкалоидов в процессе замачивания в молочной сыворотке при температуре $t = 40-50$ °С с последующей двухстадийной ферментацией при воздействии ультразвуком в течение 3-4 часов, удалением оболочки. Обезгорченное зерно люпина измельчают до размера частиц 10-150 мкм, получая зернобобовую сывороточную пасту, которую пастеризуют, смешивают с мукой зерновых культур (пшеницы, ячменя, ржи, овса, тритикале и др.) и гранулируют. Характеристики измельченных частиц изучались на примере зерна люпина, но это справедливо для других зернобобовых культур. По результатам компьютерного сканирования определены оптимальные размеры зазоров между рабочими органами мельницы влажного измельчения. Отделенную оболочку измельчают различной степени помола и используют для производства пищевых волокон.

Внедрение методики позволит - уменьшить общие энергозатраты на производство пищевых продуктов или комбикорма, а также получить продукты питания и комбикорм с заданными свойствами, питательной и энергетической ценностью.

Ключевые слова: зерно люпина, удаление алкалоидов, молочная сыворотка, ферменты, ультразвук, компьютерное сканирование, степень измельчения, пищевые волокна.

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является обоснование необходимости использования ультразвуковых колебаний и мультиэнзимных комплексов при извлечении антиалиментарных веществ зернобобовых культур в частности зерна люпина и сои.

Повышение уровня жизни людей является основной задачей современности, направленной на формирование здорового образа жизни и улучшение качества продуктов для правильного питания, в соответствии с физиологическими потребностями человека. Основные направления в решении данного вопроса определены в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, утверждённой Указом Президента Российской Федерации от 30 января 2010 года № 120 (далее - Доктрина). Одной из основных задач обеспечения продовольственной безопасности России является достижение и поддержание физической и экономической доступности для каждого гражданина страны безопасных пищевых продуктов в объемах и ассортименте, которые соответствуют установленным рациональным нормам потребления пищевых продуктов, особенно белковых, необходимых для активного и здорового образа жизни.

Возрастающая потребность в пищевом белке и ужесточение требований к генетически модифициро-

ванным продуктам стимулируют интерес к новым источникам пищевого белка растительного происхождения, основным сырьем для которого являются зернобобовые культуры. В этой связи следует выделить люпин, биологический потенциал которого очень высок. Люпин является уникальным растением, обладающим высокой азотофиксирующей и фосфатмобилизующей способностью. Он обеспечивает естественное обогащение почв азотом, оставляя более 100 кг азота на гектар, причем минерального, легко усвояемого растениями, повышая почвенное плодородие, что в полной мере отвечает основным положениям Доктрины.

Люпин, в отличие от сои, не требователен к теплу и влаге, его можно успешно выращивать практически во всех регионах Российской Федерации (от Ленинградской области до Алтая, Сибири и Республики Коми). Себестоимость выращивания зерна люпина в два раза ниже, чем зерна сои. Поэтому в последние годы люпин привлекает все большее внимание как альтернативный источник пищевого растительного белка.

В настоящее время, зерно люпина используется в основном на кормление животных и как сидератная культура. По содержанию белка зерно люпина не уступает, а отдельные сорта превосходят сою и некоторые другие бобовые культуры (табл. 1).

Табл. 1. Химический состав кормовых культур и зерна люпина, %

Название культуры	Белки	Жиры	Углеводы	Клетчатка	Средняя энергетическая ценность, ккал.
Люпин	32,1-38,0	4,5-15,0	39,0	16,0	286,0
Соевые бобы (США, Бразилия, Аргентина)	34,2-42,0	20,5	26,0	4,8	332,0
Горох	20,1-23,4	0,98-1,2	54,6-56,4	4,5	298,0
Пшеница	11,6-12,7	1,6-1,9	66,6-68,7	2,3-3,4	276,0
Ячмень	9,3-9,8	1,13	83,5	3,9	261,0

Сравнительный химический анализ основных кормовых культур и люпина, табл. 1 показывает, что люпин по химическим показателям практически приближается к сое и его можно считать альтернативным источником белка. В условиях произрастания сои, например, в Центральном Федеральном округе по содержанию белка зерно сои уступает белку зерна люпина.

В зерне люпина в зависимости от вида и сорта содержится от 32 до 38 % белка и до 15 % жира. Зерно люпина является хорошим источником пищевых волокон, каротиноидов, минеральных веществ. Однако использование его для пищевых и кормовых целей сдерживается из-за содержания антиалиментарных веществ – алкалоидов.

Все бобовые культуры содержат антиалиментарные (антипитательные) вещества – это соединения, блокирующие или ухудшающие усвоение нутриентов и содержащиеся в некоторых природных пищевых продуктах (по определению академика А.А. Покровского [10]). В эту группу входят антиферменты, со-

единения, блокирующие усвоение некоторых аминокислот, антивитаминов и деминерализующих веществ.

Антипитательные вещества, являясь естественными компонентами пищи, уменьшают ее биологическую ценность за счет снижения усвоения соответствующих пищевых веществ. К ним относятся ингибиторы пищеварительных ферментов, ухудшающие переваривание или усвоение белка в пище или кормах. По определению, данному академиком А.А. Покровским, к антиалиментарным веществам относятся алкалоиды белого, желтого и узколистного люпина.

Авторами впервые обобщены российские и зарубежные исследования по антиалиментарным соединениям, содержащимся в зерне люпина, гороха и сои, проведены собственные исследования. На основании обобщенных литературных данных составлена табл. 2, в которой приведены основные антиалиментарные вещества, содержащиеся в зернобобовых культурах и способы их удаления.

Табл. 2. Содержание антиалиментарных (антипитательных) веществ в зернобобовых культурах и способы их удаления [4].

Антиалиментарные вещества	Детоксикация	Люпин	Горох, чечевица	Соя
Ингибиторы трипсина	Тепловая обработка		+	+
Лектины	Тепловая обработка		+	
Полифенолы	Перевод в раствор (вода – спирт)			
Алкалоиды	Перевод в раствор (вода – неполярный растворитель)	+		
Сапонины	Перевод в раствор - вода		+	+
Галактозиды	Перевод в раствор - вода	+	+	+
Фитаты	Перевод в раствор	+	+	+
Олигосахариды (вербаскоза, стахиоза, раффиноза)	Перевод в раствор (вода – неполярный растворитель)	+	+	+

Анализ табл. 2 показывает, что все бобовые содержат различные виды антиалиментарных или антипитательных веществ: одни являются общими для всех бобовых – олигосахариды (стахиоза, раффиноза), фитаты, лектины, другие специфическими – ингибиторы трипсина содержатся в зерне гороха, сои, алкалоиды в зерне люпина.

Концентрация лектинов в зерне сои составляет 1-4%, в то время как в люпине лектины отсутствуют. Лектины могут действовать как пищевые раздражители. Исследованиями, проведенными в США, установлено, что при потреблении в пищу термически необработанных или недостаточно обработанных лекти-

носодержащих бобовых, например зерна сои, происходит отравление, сопровождающееся следующими симптомами: тошнота, рвота, диарея.

Низкое содержание ингибиторов трипсина в белковом комплексе люпина – одно из условий его высокой переваримости. Содержание ингибиторов трипсина в люпине в 100 раз меньше, чем в сое. Ингибиторы трипсина не позволяют в достаточной степени усваивать аминокислоты и придают зернобобовой культуре специфический бобовый привкус и запах.

Соя богата фитатами – веществами способными блокировать усвоение незаменимых минеральных элементов, кальция, магния, железа и особенно цинка.

Зерно сои имеет один из самых высоких уровней содержания фитатов среди зерновых и бобовых культур. Фитаты в сое устойчивы к традиционным технологиям медленной и длительной варки, а при длительной ферментации содержание фитатов в зерне сои значительно снижается. Содержание в зерне люпина фитатов в количестве 0,3-0,9% можно считать конкурентным преимуществом по отношению к зерну сои, содержащему 1,75% фитатов.

Основными антиалиментарными веществами в зерне люпина являются алкалоиды, накапливающиеся в семядолях. Для определения методов и способов удаления алкалоидов из зерна люпина необходимо знать их химические свойства. По мнению исследователей, алкалоиды – это особая форма, через которую идет превращение азотистых соединений в растении и в виде которой обезвреживаются и сохраняются азотистые продукты обмена веществ. Азот может быть в виде: восстановленном трехвалентным $\equiv\text{N}$, в окисленной форме в виде оксидов $-\text{N}$.

Структура алкалоидов зерна люпина представлена в работе академика А.П. Орехова [9]. Алкалоиды зерна люпина относятся к группе производных пиридина, состоящих из 5-10 комплексных кольцевых систем, имеющих свойства оснований с атомами азота в цикле, они хорошо растворимы в воде и органических растворителях. Например, люпинин – летучая жидкость (хорошо удаляется при влаготепловой обработке, летуч с паром).

Наибольшую опасность для здоровья человека и животных представляют люпинин - лупанин (кетопроизводное спартеина), который содержится в узколистном люпине в количестве более 70 % от общего состава алкалоидов, что придает зерну люпина горечь.

В связи с этим проведенные исследования, свидетельствуют о необходимости разработки гипотезы определения и удаления алкалоидов из зерна люпина.

Для теоретического обоснования гипотезы удаления алкалоидов из зерна люпина авторами сформулированы основные положения:

1. При удалении алкалоидов зерно люпина должно быть целым, что позволит уменьшить потери питательных веществ, повысить биологическую и пищевую ценность продуктов переработки и незначительную потерю массы зерна люпина, что экономически целесообразно.

2. Алкалоиды неравномерно распределены в различных частях зерна люпина, минимальное содержание в оболочке зерна люпина 0,001%, максимальное в центре семядолей и в зависимости от сорта и климатических условий выращивания 0,06-0,1% и более

3. Процесс проращивания активизирует комплекс природных ферментов, содержащихся в зерне люпина, способствующий снижению содержания алкалоидов.

4. Необходимо разработать оптимальный состав комплекса ферментов, способствующий снижению содержания алкалоидов в различных частях зерна люпина.

5. Процесс удаления алкалоидов начинается с воздействия на оболочку зерна люпина целлюлитическими ферментами, позволяющими ферментам других видов проникать по протокам, образованным при набухании зерна люпина в молочной сыворотке.

6. Определить параметры жидкой рабочей среды (температуру, pH среды, время, питательные свойства) для эффективного воздействия комплекса ферментов и диапазона воздействия ультразвуковых колебаний на алкалоиды зерна люпина.

7. Обосновать возможность использования молочной сыворотки в качестве жидкой среды для обезгорчивания зерна люпина, что позволит улучшить пищевую и биологическую ценность продукта, за счет поглощения питательных веществ молочной сыворотки зерном люпина.

8. Исследовать применение ультразвуковых волн для создания капиллярного эффекта, открытого академиком Е.Г. Коноваловым [8], – явление увеличения глубины и скорости проникновения жидкости в капиллярные каналы под действием ультразвука для повышения эффективности процесса ферментации антиалиментарных веществ зерна люпина мультиэнзимным комплексом

9. Использование механического эффекта ультразвука обеспечивает быстрое и более полное проникновение ферментов внутрь клетки, и улучшает массоперенос. Ультразвуковые волны, генерирующие кавитацию, разрушают стенки клетки и облегчают выделение матричных компонентов.

10. При использовании высокоинтенсивного ультразвукового воздействия [12,13] ускоряется извлечение органических соединений, содержащихся в зерне люпина, разрушаются бициклические, трициклические, тетрациклические хинолизидиновые алкалоиды, повышается эффективность ферментативной обработки, снижается количество необходимых ферментов и увеличивается выход извлекаемых из зерна люпина алкалоидов хинолизидиновой природы.

На основе разработанной гипотезы с использованием ультразвуковых колебаний сформулирована последовательность проведения технологического процесса удаления алкалоидов из зерна люпина:

- воздействие на клетчатку (оболочку зерна люпина) группой целлюлитических ферментов (целлюлазы, гемицеллюлазы, целловиридина) одновременно с обработкой ультразвуком 1 час выходной мощностью 0,2 Вт/см² в течение 5 секунд через каждые 10 минут;

- разрушение белковых связей протеазными ферментами (пролидазой, дипептидазой, дегидрогеназой) происходит при обработке ультразвуком в течение 1 часа выходной мощностью 0,2 Вт/см² по 5 секунд с периодичностью через 10 минут. Протеазные фер-

менты катализируют расщепление связи азота и группы ОН с пиридиновым кольцом. В цепи реакций участвуют промежуточные переносчики водорода (точнее, переносчики электронов и водородных ядер — протонов). Каталитическая реакция заканчивается присоединением протонов и электронов водорода.

- удаление не крахмалистых полисахаридов и олигосахаров амилолитическими ферментами.

С целью получения ингредиентов для производства обогащенных продуктов питания и комбикормов из зернобобовых и зерновых культур разработана и запатентована технология удаления алкалоидов из зерна люпина. Предлагаемый промышленный образец устройства по извлечению антиалиментарных веществ из зернобобовых культур позволит в процессе их глубокой переработки получать ингредиенты для производства обогащенных продуктов питания и комбикормов, отвечающие требованиям научно обоснованных норм по содержанию антиалиментарных веществ в зерне вышеназванных культур (табл. 2).

Важной составляющей в технологии получения люпиновой пасты является процесс замачивания зерна люпина. Авторами установлено, что при прорастании семян люпина в кислой среде значительно, фактически в два раза снижается содержание алкалоидов в течение первых суток, что является одним из эф-

фективных способов удаления алкалоидов из зерна люпина.

Для обезгорчивания зерна люпина авторами использовалась молочная сыворотка, как среда и функциональный ингредиент, повышающий пищевую ценность продуктов питания. На основании исследований установлено, что при замачивании зерна люпина в молочной сыворотке, в отличие, от замачивания в воде, создаются лучшие условия его обезгорчивания. Изменяется химический состав, повышается пищевая ценность люпиновой пасты, увеличивается содержание минеральных веществ, играющих важную роль во всех процессах обмена веществ, протекающих в организме.

Академик А.С. Храмцов [11] указывает на биотехнологические методы переработки молочной сыворотки – микробный синтез и ферментативный катализ. С учетом высказанных предложений разработана технология получения люпиновой пасты для пищевых и кормовых целей, на которую получен патент на изобретение [3]. Новизна предложенной технологии заключается в улучшении функциональных свойств люпиновой пасты и снижении энергетических затрат на ее производство.

Нами проведена оценка биологической ценности люпиновой пасты, изготовленной с использованием питьевой воды и молочной сыворотки, по аминокислотному составу белка (табл. 3).

Табл. 3. Сравнительный анализ аминокислотного состава белка люпиновой пасты

Наименование аминокислот	Содержание в идеальном белке, г/100 г белка	Содержание аминокислот в люпиновой пасте, г/100 г белка	
		с молочной сывороткой	с водой
Валин	5,0	4,41	4,04
Изолейцин	4,0	4,94	4,54
Лейцин	7,0	7,53	6,77
Лизин	5,5	5,83	5,27
Метионин+цистин	3,5	2,9	2,55
Треонин	4,0	3,76	3,44
Триптофан	1,0	0,94	0,79
Фенилаланин+тирозин	6,0	7,74	7,23

Анализ данных таблицы показывает, что аминокислотный состав белка люпиновой пасты приготовленной с использованием молочной сыворотки на 10% выше, чем у пасты, с питьевой водой, а по содержанию отдельных аминокислот (изолейцин, лейцин, лизин, фенилаланин+тирозин) до 20% выше аналогичных в идеальном белке. Лимитирующими аминокислотами являются валин, метионин+цистин.

Линия по получению обезгорченного зерна включает весовое оборудование, разгрузочно-опрокидывающее устройство для автомобилей, выгрузных и подающих транспортеров из вагонов, накопительных силосов для хранения, поступающего зерна бобовых и зерновых культур, норий, транспортеров, подающих зерно из накопительных силосов для переработки, ванн различной емкости с механической

мешалкой для обезгорчивания люпина, снабженных ультразвуковой установкой и без неё, отверстием для слива жидкости и фильтром очистки от антиалиментарных веществ, сушильного оборудования различных типов, подающих транспортеров, дробилок различных типов, многоступенчатого протирочного устройства, ультразвукового диспергатора, воздушного сепаратора, пневматического разделительного стола, фасовочного оборудования.

Технологический процесс производства люпиновой пасты осуществляли с использованием зерна люпина разных кондиций: с нормальной всхожестью и некондиционным, так как для удаления алкалоидов необходимы разные условия.

1 вариант (зерно люпина нормальной всхожести п. 4.10. ГОСТ 12038-84)

Технологический процесс производства люпиновой пасты осуществляется в несколько этапов:

1. подготовка зерна люпина (очистка от зерновых примесей, промывание);
2. подготовка жидкой среды для ферментации;
3. замачивание, процесс ферментации с ультразвуковым воздействием;
5. многоступенчатый процесс протирания, ультразвукового диспергирования, гомогенизации.

На первом этапе зерно люпина принимается по показателям качества и безопасности в соответствии с разработанными техническими условиями на люпин продовольственный «ТУ 9716-001-11951678-2003. Люпин продовольственный Технические условия». После очистки от зерновых примесей зерно люпина поступает в накопительный бункер и транспортером подается в ванну для промывания. Промывается чистой проточной питьевой водой с температурой 20-30°C, отвечающей требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Отработанная вода сливается в приемное отделение, где очищается от посторонних примесей на мелкокачественном сите и после очистки направляется на повторное использование.

Промытое зерно люпина транспортером подают в ванну для замачивания. Продолжительность замачивания зависит от скорости вытеснения воздуха из межклеточного пространства, и его растворения в молочной сыворотке. Часть воздуха остается внутри клетки. При использовании низкочастотного (22-44 кГц) ультразвука из-за звукового капиллярного эффекта ускоряется вытеснение пузырьков воздуха, и создаются условия для их растворения в жидкости. В результате процесс замачивания резко ускоряется. Использование ультразвуковых колебаний в течение 10-30 минут значительно сокращает продолжительность замачивания, способствуя уменьшению расхода молочной сыворотки на единицу готовой продукции до 15%.

На втором этапе проводят лабораторные исследования поступившей молочной сыворотки: определяется ее активная кислотность pH, плотность, влажность, содержание сухих веществ. В подготовленную молочную сыворотку добавляют мультиэнзимный комплекс в количестве 0,1% от массы молочной сыворотки и размещивают до полного растворения ферментов. Затем молочная сыворотка, с заданными параметрами (pH=4,5-6,5, температура 40-50 С) подается насосом в ванну, заполненную зерном люпина, и смешивается в пропорциях от 1:1,5 до 1:2,0 так, чтобы молочная сыворотка только покрывала зерна люпина.

На третьем этапе осуществляется замачивание и процесс ферментации. По мере набухания зерна (4-6 часов) добавляется необходимое количество молочной сыворотки. Общая продолжительность ферментации 22-24 часа с периодическим помешиванием в течение 10-15 мин.

При выдерживании зерна люпина 22-24 часа при значениях pH = 4,0 -7,2, происходит проращивание зерен, обогашение минеральными веществами и удаление части нежелательных соединений: олигосахаридов, алкалоидов.

Значения кислотности среды для мультиэнзимных комплексов установлены при исследовании зерна в процессе проращивания. В зависимости от сорта люпина при pH=6,5 в первый день проращивания происходит различное удаление алкалоидов: до 0,031% для сорта Кристалл и до 0,012% у сорта Надежда.

Для определения влажности зерна по окончании процесса замачивания берут 1000 зерен, взвешивают их до и после замачивания.

Зная влажность исходных зерен люпина, рассчитывают влажность по формуле:

$$W=100-a/b(100-w) \quad (1)$$

где, а – масса 1000 зерен до замачивания, г;

б – масса 1000 зерен после замачивания в молочной сыворотке, г;

W – влажность семян до замачивания, %.

При проращивании зерна люпина влажность зерна (W), в начальный период составляет 14-15%, а в конце процесса 50,0-60,0%. Это ограничивает сроки его использования в технологии пищевых производств и кормления животных.

Кроме простого замачивания можно использовать другие виды замачивания: воздушно-водяное; замачивание в непрерывном потоке воды и воздуха; оросительное замачивание; пневматическое.

В результате проведенных авторами лабораторных исследований по замачиванию зерна люпина установлено оптимальное соотношение зерна люпина и молочной сыворотки. При массе пробы зерна люпина – 20 г с влажностью 14% на первоначальном этапе в течение 4-5 часов происходит интенсивное поглощение молочной сыворотки и масса зерен увеличивается до 48,5 г (влажность до 34%), далее процесс идет менее интенсивно и за 24 часа замачивания масса зерен достигает 60 г (влажность не менее 50%). Таким образом, это показывает, что, зерно люпина поглощает двойной объем молочной сыворотки.

Вариант 2.

Кондиционные семена зернобобовых культур должны иметь нормальную всхожесть 85-90%, однако существуют семена бобовых культур с более низкими показателями всхожести (некондиционные). Визуальным показателем не кондиционности семян является отсутствие бугорка от корешка на семенах люпина. При замачивании таких семян не происходит естественной ферментации, при этом возникают трудности с поступлением мультиэнзимных препаратов к центру семядолей зернобобовых культур.

Для определения возможности использования некондиционных семян провели исследования, воздействуя на них ультразвуком при частотах до 20 кГц и мощности 0,3-1 Вт/см² в течение 3-4 часов. Определя-

ли содержание алкалоидов и других антиалиментарных веществ до и после обработки семян ультразвуком. При этом получили такие же показатели снижения уровня содержания алкалоидов в люпине как при воздействии на кондиционные семена мультиэнзимным комплексом ферментов.

Ультразвуковая обработка повторяется с интервалами 2-4 часа до достижения требуемых показателей. В промежутках между озвучиванием рекомендуется перемешивание в течение 1-2 часа.

Сравнение различных методов экстракции подтверждает высокую эффективность ультразвукового экстрагирования природного сырья. Оптимальная частота – 21-22 кГц. Повышение интенсивности ведет к уменьшению выхода. Рекомендованная плотность облучения не более 2,0-2,2 Вт/см².

Снижение уровня алкалоидов в зерне люпина при воздействии на зерно ультразвука связано с ультразвуковым капиллярным эффектом – явлением увеличения глубины и скорости проникновения молочной сыворотки вместе с мультиэнзимным комплексом в капиллярные каналы (по сравнению с глубиной и скоростью, обусловленными только капиллярными силами).

В основе биологического воздействия ультразвука на зерно люпина лежат вторичные физико-химические эффекты, приводящие к образованию акустических потоков, что приводит к перемешиванию внутриклеточных структур и повышает проницаемость биологических мембран. Кавитация приводит к разрыву молекулярных связей в биополимерах зерна люпина их окислению и разрыву связей в молекулах хинолизидиновых алкалоидов, что повышает интенсивность процесса диффузии антипитательных веществ. В качестве катализатора данной реакции используют мультиэнзимный комплекс протеолитических ферментов.

Четвертый этап. После окончания процесса ферментации обезгорченное зерно люпина по транспортеру подается на многоступенчатое протирающее устройство для отделения оболочки от семядолей, ультразвуковое измельчение (диспергацию) и при необходимости на гомогенизацию для получения люпиновой пасты.

По другому варианту обезгорченный люпин загущают в механоакустический ультразвуковой гомо-

генизатор, где происходит измельчение и гомогенизация, в результате чего образуется однородная, пластичная люпиновая паста.

Далее происходит процесс пастеризации пасты при температуре $94 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 8 ± 2 мин. Для более тщательного удаления алкалоидов люпиновая паста подвергается повторной обработке мультиэнзимным комплексом в течение 4-6 часов, а из некондиционного зерна воздействию ультразвуком при тех же параметрах, как для пророщенного зерна люпина. После вторичной ферментации люпиновая или из других зернобобовых культур сывороточная паста подвергается пастеризации при температуре $80-90^\circ\text{C}$ в течение 5-10 с.

Затем полученную люпиновую пасту охлаждают до температуры $4 \pm 2^\circ\text{C}$, после чего продукт направляется на расфасовку. Расфасовка, упаковка, маркировка продукта должны проводиться в соответствии с требованиями технических условий. Упакованная в герметичную потребительскую тару люпиновая паста должна храниться при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ не более 10 суток с момента окончания технологического процесса.

Норма расхода зерна люпина на 1 тонну люпинового пастообразного концентрата рассчитывается по формуле:

$$P = L_n / C \times (1 - 0,01 \times \Pi) \quad (2)$$

где: P – норма расхода зерна люпина на 1 т концентрата, в кг;

L_n – норматив массовой доли сухих веществ в готовом продукте, %;

C – массовая доля сухих веществ в зерне люпина;

Π – норма потерь сухих веществ, в %.

При расчете норм расхода сырья приняты следующие значения:

- массовая доля сухих веществ в готовом продукте – 50-60 %;

- массовая доля сухих веществ в зерне люпина – 88 %;

- норма потерь сухих веществ % от массовой доли сухих веществ в зерне люпина – 4,5 %.

По результатам, проведенных исследований, определены органолептические и физико-химические показатели люпиновой пасты (табл. 4).

Табл. 4. Органолептические и физико-химические показатели люпиновой пасты

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид и консистенция	Пастообразная консистенция, однородная по всей массе
Вкус и запах	Слабо выраженный бобовый вкус и запах, горечь не допускается
Цвет	Светло-желтый
Массовая доля сухих веществ, %, не более	50,0
Массовая доля белка, %, не менее	14,1
Массовая доля жира, %, не более	6,0
Кислотность pH, не более	6,5
Температура люпиновой пасты $^\circ\text{C}$, не выше	4

Люпиновая паста направляется на сушилки различного типа, а изготовленный продукт в виде порошка расфасовывается в тару и используется как ингредиент в продуктах питания.

Для увеличения сроков хранения люпиновой пасты ее можно подвергать высушиванию с получением люпиновой пасты обезгорченной сухой. Небольшое количество люпиновой пасты подвергали высушиванию на лабораторной сушилке комбинированного типа, состоящей из конвективной и микроволновой сушилки, после чего провели выработку модельного образца вареной колбасы с добавлением пищевого ингредиента из люпиновой пасты. Полученные результаты можно считать предварительными и требующими дополнительных исследований.

Для получения комбикормов люпиновая паста направляется в смесители различного типа, где дробленое зерно пшеницы, ячменя, ржи смешивается с люпиновой пастой в определенных пропорциях и подается на экструдер или гранулятор. Изготовленные экструдаты или гранулы направляются на фасовку в различную тару. Для пищевых целей люпиновая паста смешивается с мукой различных круп – перловой, пшеничной, гречневой.

По другому варианту для получения люпиновой пасты используют ванны различной емкости с механической мешалкой для обезгорчивания зерна люпина, снабженную ультразвуковой установкой, отверстием для слива жидкости и фильтром очистки антиалиментарных веществ, ультразвукового диспергатора – измельчителя, шелушителя или протирающего устройства оболочек зерновых и бобовых культур, мельницы мелкого помола, пневморазделительного стола или воздушных сепараторов, фасовочного оборудования для готовой продукции, системой автоматического управления замкнутым водоснабжением питьевой водой, контроля параметров содержания антиалиментарных веществ, готовой продукции, емкостями для хранения и очистки молочной сыворотки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Возрастающая потребность в пищевом белке, сбалансированных кормах для животных, ужесточении требований к генетически модифицированным продуктам стимулируют интерес к пищевому белку растительного происхождения, одним из основных источников которого являются зернобобовые культуры, в том числе зерно люпина и сои, биологический потенциал которых достаточно высок в сравнении с зерновыми культурами, уступающими в 2-3 раза по белку зерну люпина и сои, но они содержат антиалиментарные вещества.

2. Для теоретического обоснования процесса удаления алкалоидов из зерна люпина авторами сформулированы основные **положения гипотезы удаления алкалоидов, включающие использование** молочной

сыворотки в качестве жидкой среды, ультразвуковой капиллярный эффект, увеличивающий глубину и скорость проникновения ферментных комплексов в капиллярные каналы под действием ультразвука, что повышает эффективность процесса ферментации мультиэнзимным комплексом.

3. Разработана инновационная технология получения люпиновой пасты и определены ее физико-химические показатели, установлено, что при использовании молочной сыворотки и ультразвука с мультиэнзимным комплексом аминокислотный состав белка люпиновой пасты на 10% выше, чем у пасты, приготовленной с питьевой водой, а по содержанию изолейцина, лейцина, лизина, фенилаланина+тирозина до 20% выше аналогичных в идеального белка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 2287295 Российская Федерация. Способ получения пищевого продукта из зернобобовых культур [Текст] / Король В.Ф. и др.
2. Пат. 2505079 Российская Федерация. Способ получения гранулированных продуктов для пищевых и кормовых целей из зернобобовых и зерновых культур [Текст] / Король В.Ф., Лахмоткина Г.Н.
3. Заявка 2013142502 Российская Федерация Устройство для извлечения из зернобобовых культур антиалиментарных веществ и получению гранулированных и экструдированных продуктов [Текст] / Король В.Ф.; заявл. 17.09.2013.
4. Король, В.Ф. Молочные напитки из люпина / В.Ф. Король, Г.Н. Лахмоткина // Молочная сфера. – 2011. – № 2. – с. 54-57.
5. Король, В.Ф. Люпин – неисчерпаемый источник белка в питании человека / В.Ф. Король, Г.Н. Лахмоткина // Питание и общество. – 2011. – №3. – с. 14-15.
6. Король, В.Ф. Люпин - неисчерпаемый источник белка в питании человека / В.Ф. Король, Г.Н. Лахмоткина // Питание и общество. – 2011. – № 4. – с. 12-14.
7. Король В.Ф. Доступный белок / В.Ф. Король, Г.Н. Лахмоткина // Агробизнес. – 2016. – № 6. – с. 98-104.
8. Коновалов Е.Г. Открытие «Ультразвуковой капиллярный эффект» № 109 с приоритетом от 31 мая 1961
9. Орехов, А.П. Химия алкалоидов / А.П. Орехов – 2-е изд., испр. и доп. - М.: АН СССР. – 1965. – 865 с.
10. Покровский, А.А. Биохимические обоснования разработки продуктов повышенной биологической ценности / А.А. Покровский // Вопросы питания. – 1994. – № 1. – с. 1-3.
11. Храмов, А.Г. Инновационные приоритеты использования молочной сыворотки на принципах логистики безотходной технологии / А.Г. Храмов И.А. Евдокимов, П.Г. Нестеренко // Молочная промышленность. - 2008.- №11. с. 28-31
12. Хмелев В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве. Барнаул: Издательство АлтГТУ. – 1997. – 160 с.
13. Хмелев В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск: Издательство АлтГТУ. – 2010. – 203 с.

Король Вячеслав Феодосьевич, канд. техн. наук, доцент, Инновационное предприятие Брянской области ООО «Люпин-продукт», директор, 8 963 210 4749, e-mail: Lypinprodukt2013@yandex.ru

Лахмоткина Галина Николаевна, канд. техн. наук, старший преподаватель, Брянский филиал «Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова», 8 980 330 36 74 e-mail: lahmotkinagn@mail.ru

THE USE OF ULTRASOUND IN THE ISOLATION OF ANTI-ALIMENTARY SUBSTANCES FROM LUPINE GRAIN

V.F. Korol', G.N. Lahmotkina

Lypin-produkt Ltd., Bryansk

Bryansk branch of the Russian Economic University. G.V. Plekhanov, Bryansk

Abstract – In order to ensure Russia's food security for economic access to safe food for the citizens of the country, necessary for a healthy lifestyle, scientific research is being conducted on the use of new types of vegetable protein, including lupine.

A comparative analysis of the nutritional value of grain crops used in feeds and the content of anti-alimentary substances is carried out. The hypothesis of removal of anti-alimentary substances of grain of lupine and soya with ultrasound and multienzyme complex, protected by a patent, is formulated. An industrial sample of the device for extracting from antiparous cultures of anti-alimentary substances

The invention relates to the development of a method for loosening grain of lupine based on removal of alkaloids during soaking in milk whey at a temperature of $t = 40-50$ °C, followed by two-stage fermentation when exposed to ultrasound for 3-4 hours, removing the sheath. The degreased lupine grain is ground to a particle size of 10-150 μm , resulting in legume pulp, which is pasteurized and mixed with cereal flour (wheat, barley, rye, oats, triticale, etc.) and granulated. The characteristics of the crushed particles were studied using the example of lupine grain, but this is true for other leguminous crops. According to the results of computer scanning, the optimal dimensions of the gaps between the working elements of the wet grinding mill are determined. The separated shell is ground with a different degree of grinding and used for the production of dietary fibers.

Introduction of the methodology will allow - to reduce the total energy consumption for the production of food products or mixed fodders, as well as to receive food and feed with the specified properties, nutritional and energy value.

Index terms: grain of the lupine, removing alkaloid, dairy whey, ferments, ultrasound

REFERENCES

1. Korol' V.F. et al., "A method for obtaining a food product from leguminous crops". Russian Federation Patent 2287295.
2. Korol' V.F., Lahmotkina G.N., "The method of obtaining granulated products for food and feed purposes from legumes and cereals". Russian Federation Patent 2505079.
3. Korol' V.F., "Device for extracting from antabuse crops of anti-alimentary substances and obtaining granulated and extruded products". Russian Federation Patent application 2013142502, September 17, 2013.
4. Korol' V.F., Lahmotkina G.N., "Milk drinks from lupine", Milk sphere, 2011, no 2, pp. 54-57. (in Russian)
5. Korol' V.F., Lahmotkina G.N., "Lupine is an inexhaustible source of protein in human nutrition", Nutrition and Society, 2011, no 3, pp. 14-15. (in Russian)
6. Korol' V.F., Lahmotkina G.N., "Lupine is an inexhaustible source of protein in human nutrition", Nutrition and Society, 2011, no 4, pp. 12-14. (in Russian)
7. Korol' V.F., Lahmotkina G.N., "Available protein", Agrobusiness, 2016, no 6, pp. 98-104. (in Russian)
8. Konovalov E. G. Opening "Ultrasonic capillary effect" № 109 with a priority of may 31, 1961.
9. Orekhov A.P., "Chemistry of alkaloids", 1965, vol. 2, 865 p. (in Russian)
10. Pokrovskij A.A., "Biochemical substantiations for the development of products of increased biological value", Nutrition issues, 1994, vol. 1, pp. 1-3. (in Russian)
11. Khramtsov, A. G. Innovative priorities for the use of whey on the principles of non-waste technology logistics / A. G. Khramtsov I. A. Evdokimov, P. G. Nesterenko // Dairy industry. - 2008.-No. 11. C. 28-31
12. Hmelev V.N., Popova O.B., "Multifunctional ultrasonic devices and their application in the conditions of small production, agriculture and household". Barnaul: AltSTU publishing, 1997, 160 p. (in Russian)
13. Hmelev V.N., "Application of high intensity ultrasound in industry". Biysk: AltSTU publishing, 2010, 203 p. (in Russian)

Korol' Vyacheslav Feodos'evich – Cand. in Economics, Associate Professor, Innovative Enterprise of Bryansk Region Lupine-product Ltd., Director, 89632104749, e-mail: Lypinprodukt2013@yandex.ru

Lahmotkina Galina Nikolaevna, Cand. Sci., Senior Lecturer, Bryansk Branch of the Russian Economic University. G.V. Plekhanov, 8 980 330 36 74 e-mail: lahmotkinagn@mail.ru