

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЮПИНА, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.В. Ульрих, Д.Б. Подашев, Н.А. Фролова, А.В. Качанова

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

E-mail: elena.ulrikh@klgtu.ru

Для цитирования: Физико-химические свойства люпина, произрастающего в Калининградской области / Е.В. Ульрих, Д.Б. Подашев, Н.А. Фролова, А.В. Качанова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 120–128. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-120-128.

Ключевые слова: люпин, анатомические части, натура зерна, белок, углеводы, жир, зола.

Реферат. Бобовые культуры традиционно считаются богатыми полезными для здоровья биоактивными соединениями. Одной из наиболее перспективных бобовых культур, массово произрастающих в Калининградской области, является люпин белый. Целью работы являлось исследование физико-химических свойств люпина, произрастающего в Калининградской области. Сбор семян различных видов люпина осуществлялся в июле с 2020 по 2024 г. на территории Калининградской области. Изучали технологические показатели, физический состав, физико-химические характеристики и химический профиль представленных образцов. Было исследовано более двадцати образцов люпина. Все эксперименты были проведены в трех повторностях. Для интерпретации и обсуждения были взяты средние арифметические значения, полученные за 5 лет исследований (2020–2024 гг.). Выявлено, что шаг варьирования анатомических частей семян люпина изменялся от 0,11 до 0,42 %, среднее значение диаметра для видов *L. angustifolius*, *L. albus* и *L. luteus* варьирует от $5,5 \pm 0,1$ до $6,8 \pm 0,1$ мм. Высокое значение натуре отмечено у *L. albus*. Отмечено, что наибольшими значениями массы 1000 зерен обладает *L. albus*. Анализ химического состава семян люпина показал, что содержание белка в исследуемых образцах люпина составил от 30,58 до 33,78 %. Больше всего белка содержится в люпине *L. albus*. – от 5,11 до 5,15 %, приближаясь к средним показателям. Наибольшее накопление липидов отмечено у люпина *L. angustifolius*. Уровень содержания крахмала в изученных образцах колебался от 19,34 до 22,39 %, причем наибольший показатель отмечен у сорта *L. albus*. Установлено, что по содержанию химических веществ среди исследуемых видов следует выделить люпин вида *L. albus*, являющийся сырьем для производства функциональных и персонализированных продуктов питания.

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF LUPINE GROWING IN THE KALININGRAD REGION

E.V. Ulrikh, D.B. Podashev, N.A. Frolova, A.V. Kachanova

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

E-mail: elena.ulrikh@klgtu.ru

Keywords: lupin, anatomical parts, grain nature, protein, carbohydrates, fat, ash.

Abstract. Legume crops are traditionally considered to be rich in health-beneficial bioactive compounds. One of the most promising legumes massively grown in the Kaliningrad region is white lupine. The aim of this work was to study the physico-chemical properties of lupines growing in the Kaliningrad region. Seeds of various lupine species were collected in July from 2020 to 2024 in the Kaliningrad region. The technological indicators, physical composition, physicochemical characteristics and chemical profile of the presented samples were studied. More than 20 lupine samples were examined. All experiments were carried out in triplicate. The arithmetic mean values obtained over 5 years of research (2020–2024) were taken for interpretation and discussion. It was found that the variation step of the anatomical parts of lupine seeds varied from 0.11 to 0.42 %, the average diameter value for the species *L. angustifolius*, *L. albus* and *L. luteus* varied from 5.5 ± 0.1 to 6.8 ± 0.1 mm. A high nature value was noted for *L. albus*. It was observed that the highest values of thousand-grain weight belong to *L. albus*. Analysis of the chemical composition of lupine seeds showed that the protein content in studied samples varied from 30.58 to 33.78 %, with the highest amount being present in *L. albus*. The highest accumulation of lipids was observed in lupine *L. angustifolius*. The starch content in the studied samples ranged from 19.34 to 22.39 %, with the highest

value observed in the L. albus variety. It has been established that among the studied varieties, L. albus stands out as a raw material for producing functional and personalized food products due to its chemical substance content.

Спрос на здоровую пищу существенно вырос за последние годы, поскольку потребители стали больше осознавать связь между диетой и здоровьем [1]. Бобовые культуры высокопитательны, считаются богатыми полезными биоактивными соединениями [2]. Развитие продуктов с добавкой бобовых растет, особенно потому, что бобовые содержат большое количество питательных и биологически активных фитохимических веществ. Более того, рынок безглютеновых продуктов расширяется из-за более высокой распространенности заболеваний, связанных с глютеном, таких как целиакия, или чувствительность к глютену. Зерновые, такие как пшеница, кукуруза и рис, обычно используются для производства цельнозерновых и/или безглютеновых продуктов, но бобовые культуры являются многообещающей альтернативой [3].

Бобовые культуры выращиваются с той же целью, что и злаки, но они не являются частью семейства злаковых [4]. С экологической точки зрения бобовые обладают лучшей устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам, чем обычные зерновые культуры [5]. Их выращивание возможно в регионах с суровым климатом и плохими почвенными условиями, что может помочь обеспечить наличие продовольствия в таких регионах [6]. Наиболее распространенными бобовыми культурами являются фасоль, горох и чечевица. Также к ним относятся нут, вика, соя, маш, чина, кормовые бобы, люпин и арахис. Бобовые культуры отличаются высокой пищевой ценностью. Содержание белка в бобах высокое и характеризуется хорошо сбалансированным профилем аминокислот. Бобы являются хорошим источником ненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон и необходимых микроэлементов. Кроме того, они содержат большое количество биоактивных соединений [7]. Из-за отсутствия глютена, бобовые также являются интересными ингредиентами для безглютеновых продуктов [8].

Люпин – ценная бобовая культура [9]. В Калининградской области бобовые культуры, такие как люпин, широко произрастают в естественных условиях и могут использоваться в качестве добавки для обогащения традиционных продуктов

питания или для производства новых пищевых продуктов [10]. Тем не менее эти бобовые не обладают тестообразующими и, следовательно, хлебопекарными свойствами из-за отсутствия глютена. Тестообразующие свойства сырья необходимы для всех пищевых продуктов, требующих приготовления теста (хлеб, хлебобулочные изделия, макаронные изделия и т.д.). Традиционно эти типы пищевых продуктов изготавливаются из очищенной пшеничной муки. До определенного количества бобовые могут быть добавлены в продукты на основе пшеницы для улучшения питательных свойств полученного пищевого продукта. Однако добавление больших количеств приводит к технологическим проблемам из-за высокого содержания клетчатки и эффекта разбавления глютена. Полная замена пшеницы связана со сложной задачей замены функциональности глютена и не может быть выполнена без добавления определенных ингредиентов или адаптации условий процесса [11].

Химический состав бобовых довольно сильно отличается от состава злаков и, кроме того, отличается среди различных типов бобовых [12, 13]. Надежные фундаментальные знания характеристик семян и муки бобовых имеют решающее значение для возможности продвижения их промышленного использования. В настоящее время одной из ключевых проблем в области разработки функционального и персонализированного питания остается дефицит доступного высококачественного растительного белка. В связи с этим исследование и оценка технологической ценности различных представителей семейства бобовых является актуальным. В качестве первого шага к более эффективному и успешному применению это исследование фокусируется на характеристиках бобов, химическом составе и технологических свойствах бобовых, в частности, люпина. Характеристики бобовых культур обсуждаются в данной работе в связи с характеристиками бобов и химическим составом.

Цель исследования заключается в изучении физико-химических свойств люпина, произрастающего в Калининградской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сбор семян различных видов люпина осуществлялся каждый июль с 2020 по 2024 г. на территории Калининградской области. Климат произрастания морской. Почвы дерновоподзолистые, подвержены эрозии. Средняя многолетняя сумма активных температур выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 2263 (2200–2400 $^{\circ}\text{C}$), среднегодовая сумма осадков – 815 (700–900) мм. Семена были собраны путем ручного сбора. После уборки семена подвергались естественной воздушной сушке под навесом, что обеспечивало оптимальные условия хранения. Далее семена были очищены от посторонних включений механическим способом. Были идентифицированы следующие виды растений: люпин узколистный (*Lupinus angustifolius*), люпин белый (*Lupinus albus*) и люпин желтый (*Lupinus luteus*). Для изучения характеристик полученного сырья

применялись общепринятые научные методики анализа, позволяющие определить ключевые технологические показатели, физический состав, физико-химические характеристики и химический профиль представленных образцов согласно Кошаку и др. [14]. Было исследовано более двадцати образцов люпина. Все эксперименты проведены в трех повторностях. Для интерпретации и обсуждения были взяты средние арифметические значения, полученные за 5 лет исследований (2020–2024 гг.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подробные сведения о количестве выявленных анатомических элементов у проанализированных разновидностей люпина приведены на рис. 1.

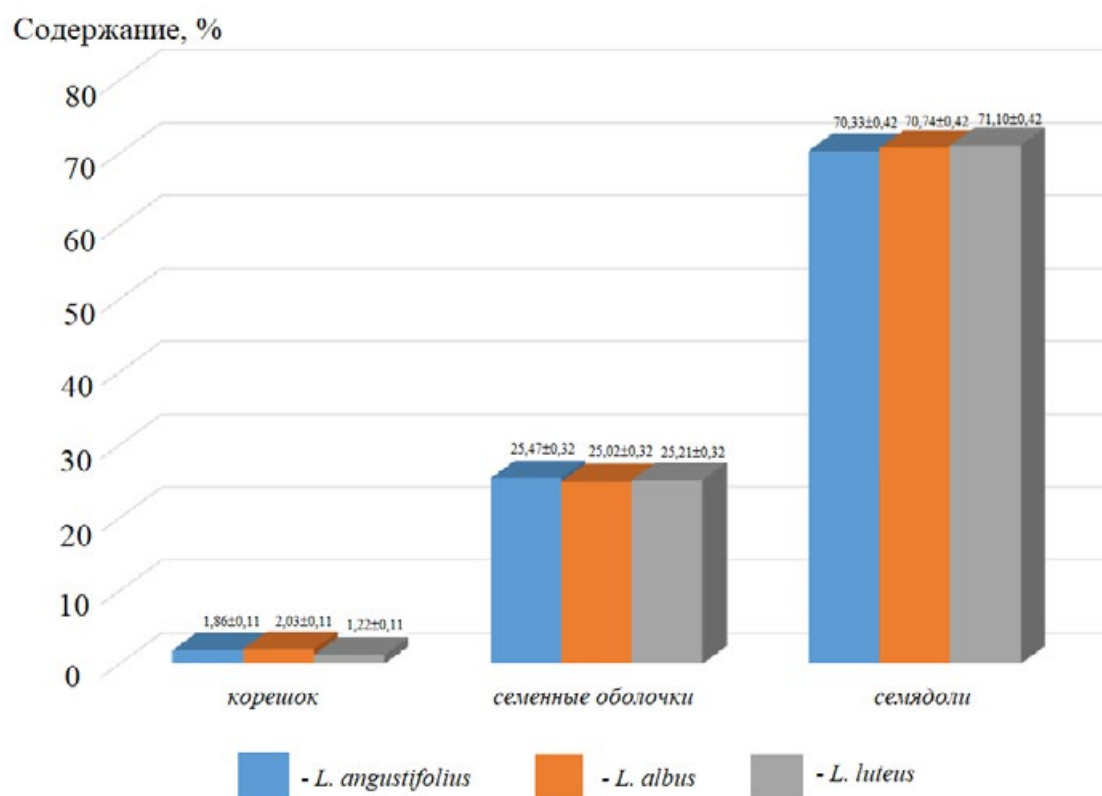


Рис. 1. Количество анатомических частей семян исследуемых видов люпина

The number of anatomical parts of the seeds of the studied lupine species

Графическое отображение средних величин и диапазонов колебаний линейных признаков для изучаемых образцов представлено на рис. 2.

Экспериментально полученные данные о натуре зерна люпина отражены на рис. 3.

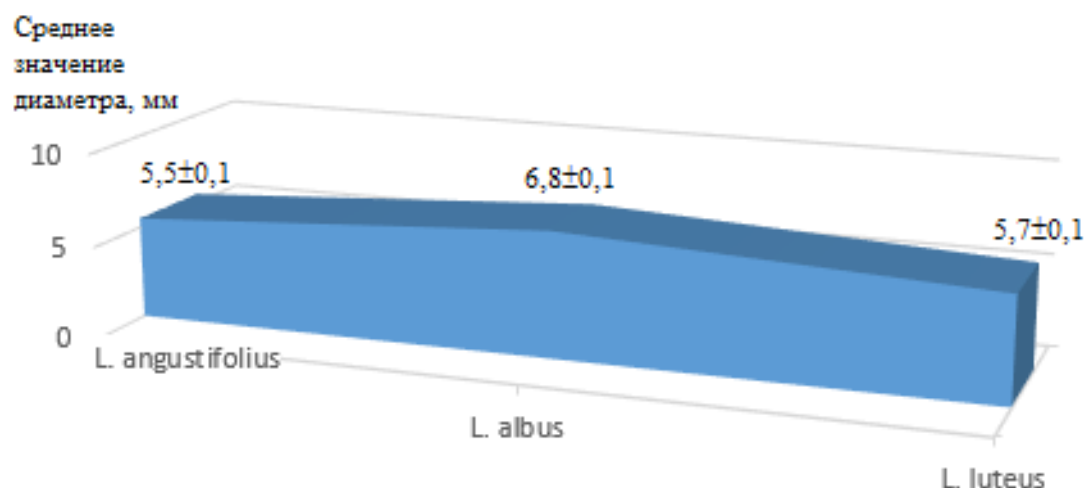


Рис. 2. Средние значения и пределы вариации линейных размеров исследуемых образцов семян люпина
Average values and limits of variation of the linear dimensions of the studied lupine seed samples

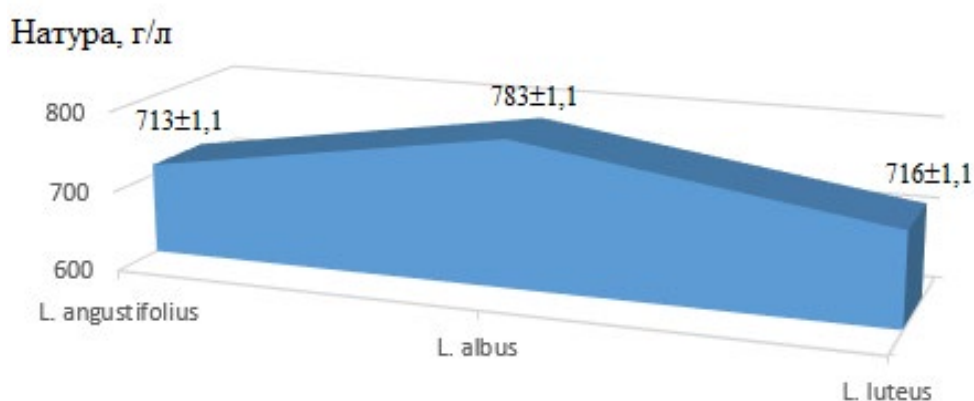


Рис. 3. Средние значения и пределы вариации натуры исследуемых образцов семян люпина
Average values and limits of variation of the nature of the studied lupine seed samples

Таблица 1

Физико-химические свойства исследуемых образцов семян люпина
Physicochemical properties of the studied lupine seed samples

Вид люпина	Значение			
	Влажность, %	Седиментационный осадок, СО, мл	Щелочеудерживающая способность, ЩУ, %	Кислотность, град.
L. angustifolius	8,7±0,2	17±0,3	63±0,4	13,6±0,1
L. albus	10,8±0,2	16±0,3	68±0,4	14,8±0,1
L. luteus	8,8±0,2	15±0,3	69±0,4	14,5±0,1

В табл. 1 показаны характеристики физико-химического состава изученных образцов семян люпина.

Подробная информация о составе химических элементов семян люпина приведена в табл. 2.

Химический состав семян люпина на сухое вещество
Chemical composition of lupine seeds on a dry matter basis

Вид люпина	Содержание, %						
	Белок	Углеводы			Жир	Зола	Вода
		Крахмал	Сахар	Клетчатка			
<i>L. angustifolius</i>	30,58±1,5	19,34±1,5	3,06±0,1	14,10±0,6	5,15±0,3	4,21±0,2	15,94±0,5
<i>L. albus</i>	33,78±1,5	22,39±1,5	3,09±0,1	15,83±0,6	5,12±0,3	4,32±0,2	18,92±0,5
<i>L. luteus</i>	32,12±1,5	21,12±1,5	3,02±0,1	13,25±0,6	5,11±0,3	4,11±0,2	12,52±0,5

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эффективная технология переработки сельскохозяйственного сырья может быть основана только на комплексном понимании особенностей семян, начиная от их внешней формы и заканчивая внутренней микроструктурой и биохимическим составом. Изучение микроскопического строения семян играет важную роль в оптимизации производственного цикла, поскольку анатомия непосредственно влияет на процессы механической обработки, разделения фракций и извлечения полезных питательных веществ.

Важнейшими аспектами, влияющими на переработку, являются такие факторы, как распределение воды и сухих веществ, наличие покровных оболочек, размеры и форма зародыша, величина эндосперма и алейронового слоя. Данные характеристики определяют механические свойства семян, устойчивость к деформации и сопротивление раздавливанию, что существенно отражается на эффективности дробления, шелушения и экстракционных операций.

Соотношение внутренних тканей в составе семян, например, эпидермиса, перикарпия, мезокарпия и эндосперма, предопределяют поведение семян при механическом воздействии и обработке теплом. Так, высокое содержание крахмала способствует увеличению вязкости теста при замесе, а присутствие большого количества масла облегчает формование изделий. Химический состав семян также оказывает большое влияние на функциональные свойства готовых продуктов: высокий уровень белков обеспечивает высокую пищевую ценность, а количество жиров влияет на вкус и консистенцию конечного изделия.

Таким образом, именно глубокое знание анатомии и химии семян лежит в основе рационального проектирования технологий производства пищевых продуктов. Следует отметить, что точное представление о структуре и составе семян возможно лишь благодаря использованию

современных методов исследований, таких как электронная микроскопия, спектроскопия и хроматография.

Кроме того, основные технические параметры сельскохозяйственных культур формируются преимущественно под влиянием уникальной структуры семян, уровня целостности клеточных стенок и показателя пористости. Ключевую роль также играют пропорции массовых долей различных анатомических компонентов и характер распределения химических соединений внутри семенного материала. Физико-механические признаки семян служат основой для правильной организации и эффективного управления производственными циклами. Следовательно, успех технологических процессов переработки семян главным образом обусловлен качественным балансом присутствующих анатомических единиц.

Анализ графического представления (см. рис. 1) показывает, что колебания в содержании анатомических компонентов характерны для всех рассмотренных сортов семян люпина, однако их размах ограничен сравнительно небольшими пределами, варьируясь в диапазоне от 0,11 до 0,42 %. Данный диапазон изменений отражает стабильность анатомического состава семян люпина независимо от сорта.

Более подробное рассмотрение представленной визуализации подтверждает, что доля твердой оболочки семян незначительно колеблется в пределах указанных значений, демонстрируя низкую амплитуду отклонений среди исследуемых сортов. Такие минимальные различия указывают на гомогенность анатомического строения семян люпина даже при различиях генетики и условий выращивания.

Геометрические параметры представляют собой одну из важнейших характеристик ботанического вида. Семена обладают набором специфичных линейных размеров, таких как протяженность вдоль продольной оси (длина), максимальная ширина между боковыми поверх-

ностями (ширина), максимальный промежуток между противоположными полюсами спинки и брюшка (толщина), а также средний показатель размера в поперечной плоскости боба (диаметр). Каждый из перечисленных критериев несет важную информацию о форме и внутреннем строении семян.

Одним из значимых индикаторов качества посевного материала является понятие «натуры зерна». Этот термин обозначает массу одного литра семян, выраженную в граммах. Натура зерна тесно связана с целым рядом факторов, оказывающих непосредственное влияние на ее величину. Среди них особое место занимают уровни загрязнения посевного материала, а также качественные характеристики самих семян, такие как поверхность, форма, объем, масса единицы объема и влагосодержание. Натура зерна выступает важным диагностическим критерием зрелости и пригодности посевного материала для дальнейшего использования. Полноценные, развитые семена, как правило, отличаются высоким уровнем природы и значительным содержанием эндосперма, являющегося ключевым поставщиком белковых соединений.

Обработка экспериментальных данных, приведенных на рис. 2 и 3, позволила выявить закономерности, описывающие средние величины диаметров семян трех исследуемых видов люпина: *L. angustifolius*, *L. albus* и *L. luteus*. Установлено, что этот показатель испытывает незначительную вариабельность, колеблясь в пределах от $5,5 \pm 0,1$ мм до $6,8 \pm 0,1$ мм. Особого внимания заслуживает тот факт, что самое высокое значение плотности зерна зафиксировано именно у *L. albus*.

Показатель массы тысячи семян служит одним из центральных критериев оценки физического состояния посевного материала. Его важность обусловлена тесной связью с размером зерен, степенью их зрелости и плотностью клеточного содержимого. Масса 1000 зерен является косвенным маркером наличия и концентрации эндосперма, являющегося основной составляющей, обеспечивающей запас питательных веществ для роста молодого растения. Как известно, увеличение размера зерен автоматически ведет к росту соответствующего параметра, причем крупные экземпляры демонстрируют меньшее влияние массы зародышевых элементов на общий вес партии.

Согласно существующим литературным источникам, масса тысячи семян люпина находится в интервале от 60 до 600 г.

Таким образом, проведенное исследование позволило установить точные границы разброса данного показателя для рассматриваемых видов люпина: минимальная масса составила 118,23 г у *L. angustifolius*, тогда как максимальная достигла отметки в 131,16 г у *L. albus*.

Плотность можно рассматривать как комплексную характеристику, суммарно отражающую такие показатели, как структура, химический состав, масса 1000 зерен и т.д. Отмечено, что наибольшими значениями данного показателя обладает *L. albus*.

Следует отметить, что уровень влажности изучаемых образцов соответствует установленным нормам для люпина, т. е. не превышает рекомендованных 14 % (см. табл. 1). Высокая кислотность люпина объясняется значительным содержанием жиров в семенах растения.

Осадок седиментационного анализа исследуемого люпина варьируется в диапазоне от 15 до 17 ед. Щелочеудерживающая способность зависит от конкретного сорта и колеблется в пределах 63–69 %.

Химическая структура является ключевым фактором, определяющим качество, пищевую ценность и потребительские характеристики пищевых продуктов. Именно химический состав полезных компонентов люпиновых бобов оказывает непосредственное влияние на важные физиологические, биологические и химические свойства конечного продукта.

Согласно [14, 15] содержание основных питательных веществ в семенах люпина характеризуется следующим составом: белки составляют около 23,4 %, жиры примерно 2,4 %, углеводы – 53,1 %, клетчатка – 4,7 %.

При проведении лабораторного исследования химического состава семян люпина было выявлено, что доля белка значительно превосходит средние показатели и достигает уровня от 30,58 до 33,78 %. Максимальное содержание белка характерно для сорта люпина *L. albus*.

Среди углеводов, которые содержатся в бобах люпина, наиболее важным является крахмал, который представляет собой крупногранулированные структуры овальных форм различных размеров. Крахмал обладает высокой пористой структурой, состоящей из молекул полисахаридов, включающих остатки сахаров, объединенных цепочками. Структура молекул различается: амилоза образует линейные соединения, тогда как амилопектин представлен ветвящимися формами. Уровень содержания крахмала в изученных

образцах колебался от 19,34 до 22,39 %, причем наибольший показатель отмечен опять же у сорта *L. albus*.

Отдельное внимание уделяется простым сахарам, играющим значительную роль в природе растений. Эти моносахара могут встречаться либо свободно, либо входить в состав сложных углеводных соединений. Концентрация простых сахаров была практически стабильной и находилась в интервале от 3,02 до 3,09 %, при этом максимальное содержание обнаружено снова у люпина *L. albus*.

Важнейшей составляющей растительного материала выступает целлюлоза — вещество, формирующее основной каркас стенок растительных клеток. Она преимущественно сосредоточена в алейроновом слое и клетках оболочки. Ценность целлюлозы для организма ограничена ввиду ее химической устойчивости и неспособности растворяться в воде и большинстве органических растворителей. Доля целлюлозы в исследованных образцах составила от 13,25 до 15,83 %.

Также существенное значение имеют жировые компоненты. Жиры представляют собой биологически активные водонерастворимые вещества, известные своим преобладанием триглицеридных комплексов жирных кислот. Процентное содержание липидов варьировало незначительно, удерживаясь в рамках от 5,11 до 5,15 %, приближаясь к средним показателям. Наибольшее накопление липидов отмечено у люпина *L. angustifolius*.

Кроме того, были определены концентрации микроэлементов и минералов в семенах люпина *L. albus*: выявлено наличие высоких концентраций калия, магния, цинка и марганца.

Нашими пятилетними исследованиями подтверждено, что *L. albus* имеет ряд преимуществ перед другими видами люпина и зернобобовыми: значительный потенциал урожайности; относительная засухоустойчивость; высокое прикреплённое бобов (потеря при уборки урожая практически нет); повышенное содержание уровня клетчатки (11–16 %); масло белого люпина на 90 % состоит из высокоценных ненасыщенных жирных кислот, в том числе олеиновой — 55 %, а количество его в семенах белого люпина достигает 8–12 %, что в 2 раза больше его содержания в семенах желтого и узколистного люпинов; высокое содержание белка (до 40 %) не только в зерне, но и в зеленой массе (3 % от общего объема зеленой массы составляет белок). Бобы белого люпина при созревании не растрескиваются, семена не осыпаются; корневая

система белого люпина отличается повышенным коэффициентом азотфиксации и благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями люпин способен накапливать в почве до 200 кг азота на 1 га; усваивает труднорастворимые фосфаты из почвы с помощью корневой системы (пшеница после люпина высокого качества и более урожайная); урожай семян можно получить без применения азота и фосфора; стоимость семян люпина на мировом рынке в 2 раза ниже стоимости сои; белки люпина весьма полиморфны и поэтому селекционные работы с ними очень перспективны. Люпин обладает свойствами гелиотропизма (от восхода до заката солнца листовые пластинки поворачиваются перпендикулярно солнечным лучам). Это способствует повышению интенсивности фотосинтеза и большему накоплению органического вещества. Люпин не требует тепловой обработки при скормливаниях скоту, содержит повышенное количество биологически активных веществ — тнеофитадиен, фарнезен, кампестерол, р-ситостерол, у-токоферол [16].

Таким образом, исходя из результатов оценки состава и физико-химических свойств сорт люпина *L. albus* выделяется наиболее благоприятным сочетанием показателей, что делает его перспективным сырьем для изготовления специализированных продуктов функционального назначения и персонализированного питания (семена люпина, богатые белком, могут быть переработаны в продукты, аналогичные тофу и молоку, а также использоваться для производства муки, которую добавляют в выпечку, макаронные изделия и колбасы) и биологически активных добавок к пище.

ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

— наиболее оптимальные физикохимические характеристики присущи люпину белого цвета (*L. albus*);

— по результатам измерения линейных размеров наиболее крупными оказались именно зерна *L. albus*, демонстрируя лучший показатель среди исследованных образцов;

— среди всех изучаемых сортов лучшими физическими характеристиками обладает именно белый люпин (*L. albus*);

— лучшую сыпучесть показали семена округлой формы, которыми отличается сорт люпина *L. albus*;

— каждый компонент исследуемых растений способен служить ценным источником важных

нутриентов и биологически активных соединений, необходимых для разработки продуктов специализированного назначения. В частности, семейство бобовых, включая люпин, представляет собой богатый источник высококачественного растительного протеина, минеральных элементов

и витаминов, обладающих выраженными профилактико-терапевтическими эффектами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-26-20129 «Разработка биологически активных добавок на основе сквалена для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний моряков транспортного флота Калининградской области»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Consumer willingness to pay for healthier food products: A systematic review* / M. Alsubhi, M. Blake, T. Nguyen [et al.] // *Obesity Reviews*. – 2023. – Vol. 24, No. 1. – DOI: 10.1111/obr.13525.
2. *A Review of Bioactive Compound Effects from Primary Legume Protein Sources in Human and Animal Health* / Z. Shea, M. Ogando Do Granja, E.B. Fletcher [et al.] // *Current Issues in Molecular Biology*. – 2024. – Vol. 46, No. 5. – P. 4203–4233. – DOI: 10.3390/cimb46050257.
3. *Consumer Satisfaction with the Quality and Availability of Gluten-Free Products* / N. Knežević, S. Karlović, K. Takács [et al.] // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16, No. 18. – P. 8215. – DOI: 10.3390/su16188215.
4. *Botanical Composition of Fabaceae Family in the Brazilian Northeast, Maranhão, Brazil* / da Silva Gomes, Gustavo, Guilherme Sousa Silva, Domingos Lucas dos Santos Silva [et al.] // *Asian Journal of Environment & Ecology*. – 2018. – Vol. 6 (4). – P. 10. – DOI: 10.9734/AJEE/2018/41207.
5. *Climate Change Impacts on Legume Physiology and Ecosystem Dynamics: A Multifaceted Perspective* / K. Dave, A. Kumar, N. Dave [et al.] // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16, No. 14. – P. 6026. – DOI: 10.3390/su16146026.
6. *Forgotten Gems: Exploring the Untapped Benefits of Underutilized Legumes in Agriculture, Nutrition, and Environmental Sustainability* / O.A. Odeku, Q.A. Ogunniyi, O.O. Ogbole, J. Fettke // *Plants*. – 2024. – Vol. 13, No. 9. – P. 1208. – DOI: 10.3390/plants13091208.
7. *Nutritional Quality, Safety and Environmental Benefits of Alternative Protein Sources—An Overview* / A. Choręziak, D. Rosiejka, J. Michałowska [et al.] // *Nutrients*. – 2025. – Vol. 17. – P. 1148. – DOI: 10.3390/nu17071148.
8. *Application of legumes in the formulation of gluten-free foods: functional, nutritional and nutraceutical importance* / Yu.T. Imam, E.A. Ironi, W. Awoyale [et al.] // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. – 2024. – Vol. 8. – DOI: 10.3389/fsufs.2024.1251760.
9. Бонн В.Л., Ступницкий Д.Н., Данилов М.Е. Влияние сроков посева на продуктивность люпина узколистного в условиях Красноярской лесостепи // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2024. – № 4 (73). – С. 21–28. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-21-28.
10. *Some results of ecological breeding of yellow lupine* / M.G. Draganskaya, I.K. Savvicheva, P.Yu. Leshchenko, V.N. Adamkov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2020 All-Russian Conference with International Participation on Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants, Moscow Oblast, Bol'shie Vyazemy, 10–11 июня 2020 г. Vol. 663*. – Bristol: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012019. – DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012019.
11. *Advances in understanding wheat-related disorders: A comprehensive review on gluten-free products with emphasis on wheat allergy, celiac and non-celiac gluten sensitivity* / D. Singla, T. Malik, A. Singh [et al.] // *Food Chemistry Advances*. – 2024. – Vol. 4. – P. 100627. – DOI: 10.1016/j.focha.2024.100627.
12. *Proteins from Legumes, Cereals, and Pseudo-Cereals: Composition, Modification, Bioactivities, and Applications* / W. Zhang, I.D. Boateng, J.Xu, Yi. Zhang // *Foods*. – 2024. – Vol. 13, No. 13. – P. 1974. – DOI: 10.3390/foods13131974.
13. Васюкова А.Т., Кусова И.У., Мошкин А.В. Исследование физико-химических свойств зернобобового сырья для получения сухих функциональных смесей // *Health, Food & Biotechnology*. – 2024. – Т. 6, № 3. – С. 21–34. – DOI: 10.36107/hfb.2024.i3.s233.
14. *Исследование технологических свойств бобовых культур как сырья для производства комбикормов для рыб* / Ж.В. Кошак, Л.В. Рукшан, А.Н. Русина, Н.В. Зенович // *Вопросы рыбного хозяйства Беларуси*. – 2017. – № 33. – С. 156–166.
15. Марчик Т.П., Ефремов А.Л. Почвоведение с основами растениеводства: учеб. пособие. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 248 с.
16. Орлова А.Г., Рапина О.Г. Сравнительная продуктивность различных сортов люпина белого в условиях Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2019. – Т. 4, № 57. – С. 17–22. – DOI: 10.24411/2078-1318-2019-14017.

REFERENCES

1. Alsubhi M., Blake M., Nguyen T. [et al.], Consumer willingness to pay for healthier food products: A systematic review, *Obesity Reviews*, 2023, Vol. 24, No. 1, DOI: 10.1111/obr.13525.
2. Shea Z., Ogando Do Granja M., Fletcher E.B. [et al.], A Review of Bioactive Compound Effects from Primary Legume Protein Sources in Human and Animal Health, *Current Issues in Molecular Biology*, 2024, Vol. 46, No. 5, pp. 4203–4233, DOI: 10.3390/cimb46050257.
3. Knežević N., Karlović S., Takács K. [et al.], Consumer Satisfaction with the Quality and Availability of Gluten-Free Products, *Sustainability*, 2024, Vol. 16, No. 18, pp. 8215, DOI: 10.3390/su16188215.
4. Gustavo da Silva Gomes, Silva Guilherme Sousa, Silva Domingos Lucas dos Santos [et al.], Botanical Composition of Fabaceae Family in the Brazilian Northeast, Maranhão, Brazil, *Asian Journal of Environment & Ecology*, 2018, Vol. 6 (4), pp. 10, DOI: 10.9734/AJEE/2018/41207.
5. Dave K., Kumar A., Dave N. [et al.], Climate Change Impacts on Legume Physiology and Ecosystem Dynamics: A Multifaceted Perspective, *Sustainability*, 2024, Vol. 16, No. 14, pp. 6026, DOI: 10.3390/su16146026.
6. Odeku O.A., Oggunniyi Q.A., Ogbole O.O., Fettke J., Forgotten Gems: Exploring the Untapped Benefits of Underutilized Legumes in Agriculture, Nutrition, and Environmental Sustainability, *Plants*, 2024, Vol. 13, No. 9, pp. 1208, DOI: 10.3390/plants13091208.
7. Choreziak A., Rosiejka D., Michałowska J. [et al.], Nutritional Quality, Safety and Environmental Benefits of Alternative Protein Sources—An Overview, *Nutrients*, 2025, Vol. 17, pp. 1148, DOI: 10.3390/nu17071148.
8. Imam Yu.T., Irondi E.A., Awoyale W. [et al.], Application of legumes in the formulation of gluten-free foods: functional, nutritional and nutraceutical importance, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2024, Vol. 8, DOI: 10.3389/fsufs.2024.1251760.
9. Bopp V.L., Stupnitsky D.N., Danilov M.E., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2024, No. 4 (73), pp. 21–28. (In Russ.)
10. Draganskaya M.G., Savvicheva I.K., Leshchenko P.Yu., Adamkov V.N., Some results of ecological breeding of yellow lupine, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2020 All-Russian Conference with International Participation on Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants*, Bristol: IOP Publishing Ltd, 2021, pp. 012019, DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012019.
11. Singla D., Malik T., Singh A. [et al.], Advances in understanding wheat-related disorders: A comprehensive review on gluten-free products with emphasis on wheat allergy, celiac and non-celiac gluten sensitivity, *Food Chemistry Advances*, 2024, Vol. 4, pp. 100627, DOI: 10.1016/j.focha.2024.100627.
12. Zhang W., Boateng I.D., Xu J., Zhang Yi., Proteins from Legumes, Cereals, and Pseudo-Cereals: Composition, Modification, Bioactivities, and Applications, *Foods*, 2024, Vol. 13, No. 13, pp. 1974, DOI: 10.3390/foods13131974.
13. Vasyukova A.T., Kusova I.U., Moshkin A.V., *Health, Food & Biotechnology*, 2024, Vol. 6, No. 3, pp. 21–34. (In Russ.)
14. Koshak Zh.V., Rukshan L.V., Rusina A.N., Zenovich N.V., *Voprosy rybnogo khozyaistva Belarusi*, 2017, No. 33, pp. 156–166. (In Russ.)
15. Marchik T.P., Efremov A.L., *Pochvovedenie s osnovami rastenievodstva* (Soil Science with Basics of Plant Growing), Grodno: GrGU, 2006, 248 p.
16. Orlova A.G., Rapina O.G., *Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University*, 2019, Vol. 4, No. 57, pp. 17–22, DOI: 10.24411/2078-1318-2019-14017. (In Russ.)

Информация об авторах:

Е.В. Ульрих, доктор технических наук
 Д.Б. Подашев, доктор технических наук
 Н.А. Фролова, доктор технических наук
 А.В. Качанова, профессор

Contribution of the authors:

E.V. Ulrikh, Doctor of Technical Sciences
 D.B. Podashev, Doctor of Technical Sciences
 N.A. Frolova, Doctor of Technical Sciences
 A.V. Kachanova, professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.