

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-21-28

EDN: BALIGH

УДК 631.95

Научная статья / Research article

Утилизация шрота люпина белого методом твердофазной микробиологической ферментации

О.А. Миронова^{ID}✉, А.А. Киричук^{ID},
А.П. Кармазин^{ID}, Л.П. Миронова^{ID}

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
✉m2889888@mail.ru

Аннотация. Содержание белка в семенах люпина белого составляет 35–38 %, поэтому он рассматривается как альтернатива сое. После отделения масла от семян люпина остается шрот. Люпиновый шрот является отходами производства люпинового масла. Предложен экологически чистый способ утилизации шрота люпина методом твердофазной микробиологической ферментации с перспективой использования ферментированного продукта для кормления животных. По результатам лабораторных исследований ферментированного с использованием закваски Леснова шрота люпина белого доказано, что независимо от времени ферментирования достоверно улучшаются физико-химические свойства полученного продукта в сравнении с нативным субстратом; полученный ферментированный продукт отвечает требованиям биологической и химической безопасности, предъявляемым к кормам для животных.

Ключевые слова: шрот люпина белого, закваска Леснова, микробиологическое ферментирование, качество утилизации, требования безопасности к кормам, утилизация

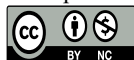
Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

История статьи: поступила в редакцию 10.11.2024; доработана после рецензирования 18.11.2024; принята к публикации 03.12.2024.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Миронова О.А., Киричук А.А., Кармазин А.П., Миронова Л.П. Утилизация шрота люпина белого методом твердофазной микробиологической ферментации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 21–28. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-21-28>

© Миронова О.А., Киричук А.А., Кармазин А.П., Миронова Л.П., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Recycling of white lupine meal using solid-phase microbiological fermentation

Olga A. Mironova^{ID}✉, Anatoly A. Kirichuk^{ID},
Anton P. Karmazin^{ID}, Lyudmila P. Mironova^{ID}

RUDN University, Moscow, Russian Federation

✉m2889888@mail.ru

Abstract. The protein content in white lupine seeds is 35–38%, so it is considered as an alternative to soybeans. After separating the oil from the lupine seeds, the meal remains. Lupine meal is a waste product of lupine oil production. An environmentally friendly method of lupine meal utilization by solid-phase microbiological fermentation is proposed with the prospect of using the fermented product for animal feed. The results of laboratory studies of white lupine meal fermented using Lesnov's starter have proven that, regardless of the fermentation time, the physicochemical properties of the resulting product are significantly improved in comparison with the native substrate; the obtained fermented product meets the requirements of biological and chemical safety for animal feed.

Keywords: white lupine meal, Lesnov's starter, microbiological fermentation, quality, safety, recycling.

Authors' contribution. All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 10.11.2024; revised 18.11.2024; accepted 03.12.2024.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Mironova OA, Kirichuk AA, Karmazin AP, Mironova LP. Recycling of white lupine meal using solid-phase microbiological fermentation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):21–28. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-21-28>

Введение

Дефицит протеина в комбикормах для животных решается преимущественно за счет использования сои, однако во всем мире продолжается поиск альтернативных источников растительного кормового белка. В связи с этим ведутся широкие научно-производственные исследования кормовой высокобелковой культуры люпина, содержание белка в семенах которой составляет 35–38 % [3; 11].

Многочисленными исследованиями доказано, что зерно белого люпина имеет лучшие питательные свойства, чем полножирная соя, поскольку содержит растворимые и легкоусвояемые безазотистые экстрактивные вещества — полисахариды, крахмал и сахара [9].

В зерне белого люпина до 20 % приходится на низкопитательную внешнюю оболочку, в которой преобладает клетчатка, а около 30 % составляют балластные непитательные углеводы (гемицеллюлоза и пектины) [1; 4].

Ведутся многочисленные поисковые опыты по улучшению кормовых достоинств зерна люпина, например, предложен метод гидробаротермической обработки, который способствует деструкции целлюлозолигниновых

соединений, декстринизации крахмала и инактивации антипитательных веществ [8].

Обрушивание семян люпина с образованием частиц заданного размера дает возможность получить высокобелковый корм, содержащий до 42 % сырого протеина и существенно уменьшать количество сырой клетчатки [10].

После отделения масла от семян люпина остается шрот, который может использоваться для кормления животных после его тщательного изучения.

Перспективным способом переработки целлюлозосодержащего сырья является микробиологическая ферментация, позволяющая получать высокобелковый корм, обогащенный биологически активными компонентами, образующимися микроорганизмами в процессе жизнедеятельности: витамины, аминокислоты, ферменты, бактериоцины, пребиотики [6]. Наиболее эффективно микробиологическое ферментирование специальными микроорганизмами, собранными в закваску. Закваска Леснова включающая в себя биологически активные вещества, мицелии микроскопических грибов, макро- и микроэлементы, изучена на таких субстратах, как рожь, отруби, молочная сыворотка, пивная дробина [5].

Поскольку процесс ферментации микроорганизмами закваски Леснова осуществляется при условиях, подходящих для развития плесневых грибов и дрожжей, необходимо изучить ферментированный продукт на показатели биологической опасности: микотоксины, плесневые грибы и дрожжи [2; 7].

При выращивании, хранении и переработке люпина могут применяться химические препараты: гербициды, стимуляторы роста, пестициды, удобрения, что создает угрозу химической опасности кормов. Исходя из сказанного, использование ферментированного шрота люпина белого для кормления животных можно рекомендовать, лишь убедившись в их безопасности.

В доступной нам литературе мы не нашли сведений о твердофазной микробиологической ферментации шрота люпина белого с использованием закваски Леснова.

Цель исследования – изучение показателей качества и безопасности шрота люпина белого, ферментированного с использованием закваски Леснова в течение 12 и 24 ч.

Задачи:

- 1) изучить физико-химические показатели качества;
- 2) исследовать показатели биологической безопасности;
- 3) изучить показатели химической безопасности.

Материалы и методы

Исследования ферментированных образцов шрота люпина белого проводили в 2024 г. Объектами исследований были 18 проб шрота люпина белого: шесть образцов до ферментации (нативных), шесть, подвергнутых 12-часовой ферментации, и шесть – после 20-часовой ферментации. Физико-химические показатели качества, содержание микотоксинов: афлатоксина В₁, дезоксиниваленола, зеараленона, охратоксина А, Т-2 токсина; пестицидов, нитратов

и нитритов, токсичных элементов и ГМО исследовали в Испытательной лаборатории ФГБУ «Центр оценки качества зерна» по г. Москве и Московской области согласно действующей нормативной документации (НД) с использованием методов и методик лабораторных исследований испытуемых субстратов: качественного и количественного химического анализа; высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ); газовой хроматографии (ГХ); атомно- абсорбционной спектрометрии и др. Лабораторные методы исследований качества (ГОСТ Р 54951–2012; ГОСТ 27979–88; ГОСТ 13496.4–2019 п. 8; ГОСТ 32905–14; ГОСТ 31675–2012 п. 7; ГОСТ 26226–95 п. 1; ГОСТ 26176–2019 п. 9; ГОСТ Р 54078–2010 приложение А; ГОСТ ISO 6493–2015; ГОСТ 26483), химические элементы (ГОСТ 32343–2013) и безопасности кормов: микотоксины (ГОСТ 30711–2001; ГОСТ EN 15851–2013; ГОСТ 31691–2012; ГОСТМУК 4.1 2204–07; инструкция Р43/В); пестициды (DIN EN 15662 2018); нитраты (ГОСТ 13496 19–2015), нитриты (ГОСТ 13496 19–2015); токсичные элементы (ГОСТ Р 53100–2008; ГОСТ 31 650–2012), ГМО (ГОСТ Р 53214–2008).

Результаты исследований

Мы изучили влияние метода твердофазной микробиологической ферментации разной продолжительности на физико-химические показатели шрота люпина белого (табл. 1).

Таблица 1. Динамика физико-химических показателей шрота люпина белого при разной продолжительности микробиологической ферментации

Показатели, ед. измерения	Образец (n = 6)		
	до ферментации	после ферментации	
		12 ч	24 ч
Массовая доля влаги, %	5,5 ± 1,3	6,5 ± 1,4*	6,3 ± 1,3*
Массовая доля сырого жира, в пересчете на сухое, %	6,40 ± 0,44	8,80 ± 0,48*	9,61 ± 0,49 *
Массовая доля сырого протеина в пересчете на сухое вещество, %	32,69 ± 1,25	38,78 ± 1,14*	41,88 ± 1,22*
Массовая доля сырой золы, в пересчете на сухое вещество, %	3,9 ± 0,2	4,0 ± 0,3	4,2 ± 0,2
Массовая доля сырой клетчатки в пересчете на сухое вещество, %	19,7 ± 1,8	13,9 ± 1,6*	12,6 ± 1,5*
Обменная энергия, МДж/кг	11,4	12,7 *	13,9 *
Массовая доля растворимых углеводов, %	6,5 ± 1,0	7,3 ± 0,8	10,2 ± 1,2*
Содержание крахмала в пересчете на сухое вещество, г/кг	42,0 ± 2,2	59,0 ± 2,8*	78,0 ± 3,1*
%	4,2	5,9	7,8
pH, ед. pH	5,91 ± 0,10	5,55 ± 0,10	5,53 ± 0,10

Примечание: * p < 0,05–0,001 относительно контроля.

Источник: составлено О.А. Мироновой, А.П. Кармазиным.

В зависимости от продолжительности твердофазной микробиологической ферментации шрота люпина белого с использованием ассоциации микроорганизмов, собранных в так называемую закваску Леснова, значение показателя массовой доли влаги выросло через 12 ч на 18,2 % (*), через 24 ч ферментации – на 14,6 % (*) в сравнении с нативным субстратом (табл. 2).

Массовая доля сырого жира через 12 ч ферментации выросла на 37,5 % (*), по прошествии 24 ч – на 50,2 % (*) в сравнении с исходным продуктом.

Установлено, что массовая доля сырого протеина увеличивалась в зависимости от времени ферментации. Так, после 12 ч прирост составил 18,6 % (*), по прошествии 24 ч – 28,1 % (*) по отношению к исходному количеству в нативном образце.

С продолжительностью ферментации нарастала массовая доля растворимых углеводов. Так, после 12 ч ферментации прирост составил 12,3 %, после 24 ч – 56,9 % (*) в сравнении с исходным продуктом.

Массовая доля крахмала пересчете на сухое вещество за 12 ч ферментации выросла на 40,5 % (*) по отношению к исходному субстрату, за 24 ч – на 85,7 % (*).

Показатель обменной энергии через 12 ч ферментации увеличился на 11,4 % в сравнении с нативным продуктом, через 24 ч ферментации – на 21,9 % (*).

В процессе ферментации мало изменился уровень сырой золы: через 12 ч он вырос на 2,6 %, через 24 ч – на 7,7 % в сравнении с нативным субстратом.

После 12 ч ферментации массовая доля сырого жира, показатель обменной энергии и содержание крахмала достоверно увеличились (*).

Через 12 ч ферментации шрота люпина белого уровень сырой клетчатки уменьшился на 29,5 % (*), через 24 ч ферментации – на 36,0 % (*). Произошел сдвиг pH после 24-часовой ферментации в кислую сторону на 6,4 %.

Таким образом, независимо от времени биоферментации с использованием закваски Леснова шрота люпина белого достоверно увеличились массовая доля сырого жира, сырого протеина, растворимых углеводов, крахмала, уровень обменной энергии; снизился уровень сырой клетчатки, произошел сдвиг pH в кислую сторону в сравнении с таковым уровнем в нативном продукте (см. табл. 2).

Таблица 2. Влияние продолжительности биоферментации на содержание микотоксинов в шроте люпина белого

Показатели, ед. измерения	Образец (n = 6)		
	до ферментации	после ферментации	
		12 ч	24 ч
Афлатоксин В1, мг/кг (ПДК 0,025-0,1 мг/кг)	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Дезоксиниваленол, мг/кг (ПДК 0,75–1,0 мг/кг)	< 0,058	< 0,058	< 0,058
Зеараленон, мг/кг (ПДК не более 1,0 мг/кг)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Охратоксин А, мг/кг (ПДК не более 0,05 мг/кг)	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Т-2 токсин, мг/кг (ПДК не более 0,1 мг/кг)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Источник: составлено О.А. Мироновой, А.П. Кармазиным.

Содержание афлатоксина В1 в исходном сырье шрота люпина белого было в 8,3 раза меньше нижнего уровня ПДК и не изменилось при разной продолжительности ферментации субстрата с использованием закваски Леснова (табл. 3).

Содержание дезоксиниваленола в исходной пробе шрота люпина белого было в 12,9 раза ниже минимально допустимого уровня ПДК и не изменилось

при разном времени воздействия на субстрат микроорганизмов закваски Леснова.

Содержание зеараленона в нативном образце шрота люпина белого было в 10,0 раз меньше в сравнении рекомендуемым ПДК; после ферментации микроорганизмами закваски Леснова в течение 12 и 24 ч его не превысило ПДК.

В нативном образце шрота люпина белого охратоксина А было обнаружено в 100 раз меньше ПДК; независимо от времени ферментации количественное содержание охратоксина А не изменилось.

Содержание Т-2 токсина в нативном сырье шрота люпина белого было в 2,0 раза ниже в сравнении с рекомендуемой ПДК; после ферментации субстрата в течение 12 и 24 ч уровень Т-2 токсина не изменился.

Таким образом, все исследуемые микотоксины в нативных (исходных) образцах шрота люпина белого содержались в количествах ниже минимального уровня ПДК: афлатоксин В1 – в 8,3 раза, дезоксиниваленол – 12,9 раза, зеараленон – в 10,0 раз, охратоксин А – в 100,0 раз, Т-2 токсин – в 2,0 раза; после ферментирования субстрата закваской Леснова в течение 12 и 24 ч уровни всех исследуемых микотоксинов не изменились (табл. 3).

Таблица 3. Влияние продолжительности биоферментации на содержание химических веществ в шроте люпина белого

Показатели, ед. измерения, ПДК, НД	Образец (n = 6)		
	до ферментации	после ферментации	
		12 ч	24 ч
Пестициды			
Малатион, мг/кг (ПДК < 0,01 мг/кг) (ВЭЖХ)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Пиримифос-метил, мг/кг (ПДК < 0,01 мг/кг) (ГХ)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Циперметрин, мг/кг (ПДК < 0,01 мг/кг) (ГХ)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Дифлубензурон, мг/кг (ПДК < 0,01 мг/кг) (ВЭЖХ)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Нитраты и нитриты			
Нитраты, мг/кг (ПДК 200,0 мг/кг) ГОСТ 13496.19-2015	223,0 ± 56,3	193,5 ± 63,4	196,0 ± 33,7
Нитриты, мг/кг (ПДК 10,0 мг/кг) ГОСТ 13496.19-2015	3,56 ± 0,12	2,05 ± 0,14	1,85 ± 0,16
Токсичные элементы			
Свинец, мг/кг (ПДК < 5,0 мг/кг) ГОСТ Р 53100-2008	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Мышьяк, мг/кг (ПДК < 0,5 мг/кг) ГОСТ Р 53100-2008	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Кадмий, мг/кг (ПДК < 0,3 мг/кг) ГОСТ Р 53100-2008	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ртуть, мг/кг (ПДК < 0,1 мг/кг) ГОСТ 31650-2012	< 0,025	< 0,025	< 0,025

Примечания: ГХ – газовая хроматография; ВЭЖХ – высокоэффективная жидкостная хроматография.
Источник: составлено О.А. Мироновой, А.П. Кармазиным.

Исходя из данных табл. 3, содержание пестицидов: малатиона, пиримифос-метила, циперметрина, дифлубензурана, используемых при выращивании и хранении растительной продукции, как в исходном до ферментации, так и после 12- и 24-часового процесса ферментации шрота люпина белого оставалось ниже ПДК (ниже нижнего предела обнаружения методом ВЭЖХ в соответствии с действующим НД).

При исследовании нативных образцов шрота люпина белого установлено количество нитратов и нитритов ниже ПДК; при исследовании ферментированных 12 и 24 ч субстратов с использованием микроорганизмов закваски Леснова количество нитратов и нитритов осталось на уровнях, не превышающих ПДК и близких к исходному до ферментации.

При исследовании токсичных элементов в нативных и ферментированных в течение разного времени образцах шрота люпина белого различий в содержании свинца, мышьяка, кадмия и ртути не установлено (табл. 4). Так, содержание свинца было ниже уровня ПДК в 10 раз; мышьяка – в 5 раз; кадмия – в 6 раз; ртути – в 4 раза.

Таблица 4. Качественное определение наличия ГМО в нативных и ферментированных 12 и 24 ч образцах шрота люпина белого (6 образцов)

Образцы	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Промотор, терминатор	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV
Результат качественного определения регуляторных последовательностей в геноме ГМ-растений (ГОСТ Р 53214-2008)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены

Источник: составлено О.А. Мироновой, А.П. Кармазиным.

Лабораторными исследованиями ГМО скрининговым методом «Качественное определение регуляторных последовательностей в геноме ГМ-растений (p-35S; t-NOS; p-FMV)» в образцах шрота люпина белого, как до ферментации, так и после в течение 12 и 24 ч, промотор 35S, терминатор NOS, промотор FMV не обнаружены.

Выводы

По результатам лабораторных исследований шрота люпина белого доказано:

1) независимо от времени ферментирования с использованием микробиологической закваски Леснова достоверно улучшаются физико-химические свойства полученного продукта в сравнении с нативным субстратом;

2) полученный ферментированный продукт отвечает требованиям биологической и химической безопасности, предъявляемым к кормам для животных.

Список литературы

- [1] Афанасьев Г.Д., Штеле А.Л., Терехов В.А., Писарев Е.В. Использование зерна белого люпина при выращивании перепелов на мясо // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 9. С. 43–45. EDN: HDAWMF
- [2] Ахмадышин Р.А., Канарский А.В., Канарская З.А. Микотоксины – контаминанты кормов // Вестник Казанского технологического университета. 2007. Вып. 2. С. 88–103. EDN: IJVYNJ
- [3] Гатаулина Г.Г., Медведева Н.В. Белый люпин – перспективная кормовая культура // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 10. С. 49–51. EDN: SBRKPN

- [4] *Егоров И.А., Андрианова Е.Н., Цыгуткин А.С., Штеле А.Л.* Белый люпин и другие зернобобовые культуры в кормлении птицы // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 9. С. 36–38.
- [5] *Леснов П.А.* Способ использования закваски в кормосмеси. Закваска Леснова для приготовления кормов: патент RU 2 122 330 C1 Российское агентство по патентам и товарным знакам; опубл. 27.11.1998, Бюл.
- [6] *Миронова О.А., Леснов А.П., Кармазин А.П.* Горизонты биотехнологии в животноводстве России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 1. С. 77–86. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-77-86> EDN: HDSCXH
- [7] *Монастырский О.* Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов // Агрохимия. 2016. № 6. С. 67–71. EDN: WHGKJF
- [8] *Сторчаков П., Болотчиев А., Кудашев Р.* Влияние скармливания экструдированного зерна люпина на рост и развитие телят // Молочное и мясное скотоводство. 2009. № 6. С. 20–22.
- [9] *Штеле А.Л.* Белый люпин — новый белковый корм для высокопродуктивной птицы // Птицеводство. 2013. № 10. С. 27–33. EDN: RTHKND
- [10] *Штеле А.Л., Терехов В.А.* Белковые кормовые продукты из белого люпина в питании птицы // Достижения науки и техники АПК. 2014. Т. 28. № 10. С. 48–50. EDN: TDPJXP
- [11] *Штеле А.Л.* О проблеме дефицита протеина в кормлении высокопродуктивной птицы // Птицеводство. 2016. № 1. С. 38–46. EDN: VMGFJL

Сведения об авторах:

Миронова Ольга Анатольевна, кандидат биологических наук, заведующий базовой кафедрой фитосанитарной биологии и безопасности экосистем, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), Российская Федерация, 140150, р.п. Быково, г. Раменское, Московская обл. ORCID: 0000-0002-3263-8100; eLIBRARY SPIN-код: 5108-1323; AuthorID: 1162836. E-mail: m2889888@mail.ru

Киричук Анатолий Александрович, доктор биологических наук, доцент, директор департамента экологии человека и биоэлементологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-5125-5116; eLIBRARY SPIN-код: 9483-2011. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

Кармазин Антон Павлович, кандидат биологических наук, доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0009-0002-7983-3912; eLIBRARY SPIN-код: 9208-7164; AuthorID: 1220654. E-mail: Fumrostov@mail.ru

Миронова Людмила Павловна, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры терапии и пропедевтики, Донской государственный аграрный университет, Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, д. 24. ORCID: 0000-0001-7263-3307. eLIBRARY SPIN-код: 7132-9082; AuthorID (РИНЦ): 384754; AuthorID (Scopus): 56377146600; Researcher ID (WoS): ABD-5941-2021. E-mail: m2889888@mail.ru