Научная статья
УДК 664.8.047:543.645.4:577.161.3

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ СКВАЛЕНА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ *LUPINUS ALBUS L.* С ЦЕЛЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Н.А. Фролова[1,*]

[1] Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[*] E-mail: nina.frolova@klgtu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования антиоксидантной активности сквалена, выделенного из люпина (*Lupinus albus)* - бобовой культуры, произрастающей на территории Калининградской области. В ходе проведения эксперимента установлено, что оптимальным растворителем для извлечения липидной фракции из биомассы *Lupinus albus* является гексан. Технология получения биологически активной добавки (сквалена), включает несколько этапов: смешивание липидной фракции с органическими растворителями, нагревание, разделение, промывание, обезвоживание, фильтрование и очистку. Продолжительность проведения процесса экстракции составляет шесть часов при температуре 22±2 °С. Анализ антиоксидантной активности сквалена, выделенного из липидной фракции *Lupinus albus* показал значительный потенциал по улавливанию радикалов DPPH - 99,61±1,81 мкмоль экв. тролокса/г; ABTS - 149,86±1,49 мкмоль экв. тролокса/г и FRAP - 88,44±0,57 мкмоль экв. тролокса/г. Таким образом, сквален, полученный из бобов *Lupinus albus*, можно рассматривать в качестве перспективного ингредиента для создания специализированных пищевых добавок и продуктов с высокой антиоксидантной активностью.

Ключевые слова: *люпин; сквален; антиоксидантная активность; анализ; продукты.*

Для цитирования: Фролова Н.А. Исследование антиоксидантной активности сквалена, полученного из *Lupinus albus* с целью использования в технологиях пищевых систем // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2026. Т. 12. № 2. С. 25-31.

Original article

INVESTIGATION OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SQUALENE OBTAINED FROM *LUPINUS ALBUS L.* FOR USE IN FOOD SYSTEM TECHNOLOGIES

N. A. Frolova[1,*]

[1] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[*] E-mail: nina.frolova@klgtu.ru

Abstract. The article presents the results of a study of the antioxidant activity of squalene isolated from lupine (*Lupinus albus*), a legume growing in the Kaliningrad region. During the experiment, it was found that hexane is the optimal solvent for extracting the lipid fraction from *Lupinus albus* biomass. The technology for obtaining a biologically active additive (squalene) includes several stages: mixing the lipid fraction with organic solvents, heating, separation, washing, dehydration, filtration and purification. The duration of the extraction process is six hours at a temperature of 22±2 ^{0}C. Analysis of the antioxidant activity of squalene isolated from the lipid

© Фролова Н.А. 2026

fraction of *Lupinus albus* showed a significant potential for trapping DPPH radicals - 99.61±1.81 μmol equiv. trolox/g; ABTS - 149.86±1.49 μmol equiv. trolox/g and FRAP - 88.44±0.57 μmol equiv. trolox/g. Thus, squalene obtained from *Lupinus albus* beans can be considered as a promising ingredient for the creation of specialized food supplements and products with high antioxidant activity.

Keywords: *lupin; squalene; antioxidant activity; analysis; products.*

For citation: Frolova N.A. Investigation of the antioxidant activity of squalene obtained from *Lupinus albus* for use in food system technologies. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2026. Vol. 12, No. 2, pp. 25–31.

Введение

На сегодняшний день существуют разработки сбалансированных рационов, созданных на основе введения нетрадиционного растительного сырья в пищевые системы. Так, в попытке решить проблему профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, возникающих на фоне несбалансированности рациона питания, техногенных воздействий, нервного напряжения, стрессов, и тяжелых условий труда актуальным направлением является поиск сырьевых компонентов с высокими антиоксидантными свойствами.

Изучение и анализ химического состава местного регионального сырья является альтернативным поиском объектов для создания пищевых систем специализированного назначения.

Люпин (*Lupinus albus*) является одним из наиболее распространенных представителей семейства бобовых с множеством видов, встречающихся в самых разных климатических условиях [1]. Ареал его распространения охватывает зоны от средиземноморского региона до полупустынь, тропиков и иных теплых климатических ареалов.

На территории Калининградской области преимущественно распространены сорта белого люпина (*Lupinus albus)*, которые являются традиционной пищевой составляющей во многих странах мира [2]. Включение *Lupinus albus* в повседневный рацион питания может оказать положительное влияние на здоровье человека. В бобах *Lupinus albus* обнаружен сквален, представляющий собой полиненасыщенный углеводородный тритерпен, обладающий массой полезных свойств и участвующий в биосинтезе холестерина. Являясь составляющей липидного слоя человека (до 12–14 %), сквален легко усваивается и может использоваться клетками для различных физиологических процессов [3, 4].

Химический состав *Lupinus albus* изучается до сих пор. Белозерновые сорта *Lupinus albus* отличаются повышенным уровнем жирности, достигая показателей 8-10% в зависимости от конкретной разновидности данного растения [5]. По сравнению с прочими представителями семейства бобовых, именно люпин демонстрирует наибольшее содержание важных аминокислот, включая лизин, цистеин, метионин, триптофан и прочие незаменимые соединения. Эти аминокислоты играют ключевую роль в поддержании здоровья организма, особенно важны для детского развития, способствуют эффективному лечению ряда патологий, таких как заболевания печени и анемия [6-8]. Активные формы кислорода (АФК) могут влиять на апоптоз и иммунную систему, а также усиливать воспалительную реакцию. Поэтому считается, что АФК вызывают множество заболеваний и являются основным фактором старения [9]. Дисбаланс между продукцией АФК и противодействующей антиоксидантной системой позволяет АФК взаимодействовать с белками, липидами и ДНК и вызывать их повреждение [10].

В России же применение люпина пока находится на стадии научных исследований и разработок. Специалисты активно изучают потенциальные направления использования люпина и продуктов его переработки в рецептурах пищевых систем.

Цель данной статьи – разработать технологию получения и исследовать антиоксидантную активность сквалена, выделенного из белозернового сорта бобов *Lupinus albus*.

Материалы и методы

Опытные образцы белозернового сорта бобов *Lupinus albus* собирали в августе 2023-2025 года в Гурьевском районе Калининградской области (54°46′00″ с. ш. и 20°36′00″ в. д.) в период спелости семян. На рисунке 1 представлены дикорастущие заросли люпина белого в период цветения [11].



Рисунок 1 – Белый *Lupinus albus* в период цветения

Идентификацию сквалена проводили методом тонкослойной хроматографии фракции, содержащей сквален. Визуализацию сквалена и сопутствующих веществ проводили с помощью УФ-детекции при длине волны 254 нм. В работе использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) для очистки и концентрирования сквалена проводили на хроматографе LC-20AB «Shimadzu» Prominence (Япония).

Спектры ИК-Фурье получали на спектрофотометре ФСМ 2022 с разрешением 4 $см^{-1}$ при 20 сканах. Спектры снимались с использованием приставки НПВО-Алмаз. Небольшое количество образца помещали на приставку и прижимали. Спектр снимали трижды и сканировали в режиме поглощения в диапазоне от 4000 до 400 $см^{-1}$ при комнатной температуре (24 °С).

Антиоксидантную активность изучаемых образцов определяли спектрофотометрически тремя методами: по способности улавливать свободные радикалы DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразилу); по способности улавливать свободные радикалы ABTS (2,2[1]-азино-бис(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой кислота); по восстанавливающей силе при взаимодействии с комплексом Fe (III)-2,4,6-трипиридил-s-триазин (FRAP). В качестве стандартного раствора при анализе антиоксидантной активности использовали растворы Тролокса (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновой кислоты).

Для достоверности результатов эксперимент проводили в трех повторностях. За результат измерения принимали среднее значение.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведения исследований для экстракции бобов *Lupinus albus* были выбраны следующие растворители: диэтиловый эфир, гексан, хлороформ и смесь гексан/хлороформ (1:1). В процессе экстракции варьировалась продолжительность - от двух до восьми часов при температуре 22±2 °С. Результаты экстракции липидной фракции экспериментальных образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Выход липидной фракции из бобов *Lupinus albus* при экстракции различными растворителями

Растворитель	Выход липидов, % масс. при разной продолжительности экстракции			
	2 ч	4 ч	6 ч	8 ч
гексан	9,61±0,29	9,69±0,29	9,95±0,30	9,92±0,30
хлороформ	6,18±0,20	6,25±0,20	6,46±0,21	6,43±0,21
гексан/хлороформ (1:1)	7,17±0,22	7,28±0,22	7,53±0,23	7,52±0,23
диэтиловый эфир	7,12±0,22	7,13±0,22	7,18±0,23	7,15±0,23

Использование смеси гексана с хлороформом не привело к значительному выходу липидной фракции экспериментальных образцов. Влияние продолжительности на процесс экстракции при использовании чистых растворителей (гексана, диэтилового эфира и хлороформа) наблюдается при изменении продолжительности процесса экстрагирования - до 6 ч. Наименьшее значение содержания липидной фракции наблюдалось при экстракции хлороформом после двух часов - 6,18±0,20% а.с.в. Увеличение выхода липидов при проведении экстракции с использованием гексана составило примерно в 1,5 раза, чем при использовании диэтилового эфира. При этом при более длительной экстракции (более 8 ч), происходит частичная деструкция жиров с образованием спиртов, что является не совсем благоприятным фактором. С учетом полученных результатов можно говорить о том, что оптимальным растворителем для извлечения липидной фракции из биомассы *Lupinus albus* является гексан. Оптимальная продолжительность проведения процесса экстракции составляет 6 ч.

Следующим этапом работы явилось выделение сквалена из полученной липидной фракции бобов для последующего определения его антиоксидантной активности. Для выделения сквалена из бобов *Lupinus albus* была разработан технологический цикл, включающий следующие операции (рисунок 2): смешивание липидной фракции с органическими растворителями, нагревание, разделение, промывание дистиллированной водой, обезвоживание, фильтрование и очистка.

Результаты анализа состава изучаемого образца липидной фракции представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты анализа состава изучаемого образца липидной фракции

Номер пика	Время удерживания, мин	Наименование вещества	Содержание относительно других компонентов, %
1	28,70	Гептадекан	1,24
2	31,97	Цис-9-гексадеценал	0,93
3	37,30	Пентакозановая кислота, метиловый эфир	1,18
4	37,50	Сквален	98

В результате тонкослойной хроматографии были идентифицированы фракции, содержащие чистый сквален (рисунок 2).

ISSN 2413–9858

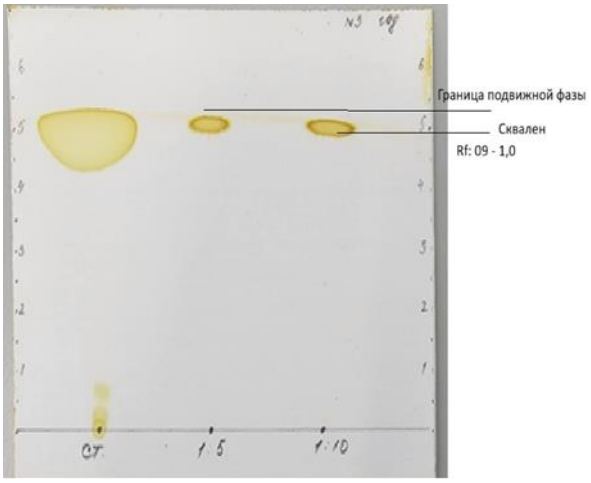


Рисунок 2 – Результаты тонкослойной хроматографии фракции, содержащей сквален, полученной методом ВЭЖХ

Таким образом, метод колоночной хроматографии позволяет разделить липидную фракцию на сопутствующие вещества и целевой продукт (сквален). В результате методом ВЭЖХ получается получить фракцию, которая содержит чистый сквален и не содержит других фракций.

ИК-Фурье спектр образца сквалена представлен на рисунке 3.

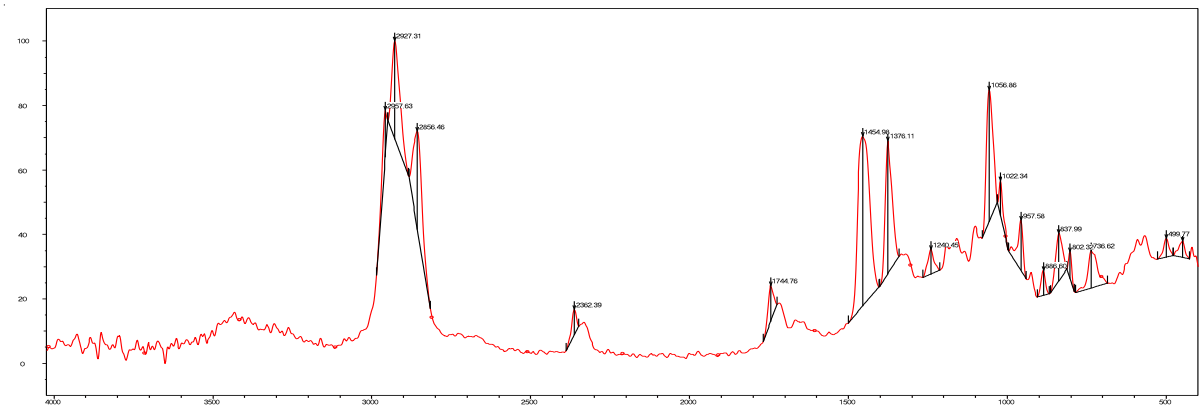


Рисунок 3 – ИК-Фурье спектр образца сквалена

Установлено, что из липидной фракции люпина с применением смеси, состоящей из 95 % этанола и 50 % КОН, последующей многостадийной экстракцией смесью гексан: вода, обработки полученной смеси сульфатом натрия, с последующей фильтрацией и проведением жидкостной хроматографии, можно получить сквален со степенью чистоты 98 %.

Результаты исследований антиоксидантной активности изучаемых образцов сквалена представлены в таблице 3.

Таблица 3– Антиоксидантная активность образцов (вторичных метаболитов)

Объект исследования	АОА, мкмоль экв. тролокса/г		
	DPPH	ABTS	FRAP
Сквален	99,61±1,81	149,86±1,49	88,44±0,57

Эмпирические данные, представленные в таблице 3, свидетельствуют о том, что изучаемые образцы сквалена из бобов люпина белого обладают значительным антиоксидантным потенциалом 99,61±1,81 мкмоль экв. тролокса/г по улавливанию радикалов DPPH; 149,86±1,49 мкмоль экв. тролокса/г по ABTS и 88,44±0,57 мкмоль экв. тролокса/г по улавливанию FRAP.

Заключение

В ходе проведения эксперимента установлено, что оптимальным растворителем для извлечения липидной фракции из биомассы *Lupinus albus* является гексан. Оптимальная продолжительность проведения процесса экстракции составляет 6 часов при температуре 22±2 °С. Предложена технология получения биологически активной добавки, позволяет получить сквален со степенью чистоты 98 %. Анализ антиоксидантной активности сквалена, выделенного из липидной фракции показал значительный потенциал по улавливанию радикалов DPPH, ABTS и по улавливанию FRAP. Таким образом, сквален, полученный из бобов *Lupinus albus*, можно рассматривать в качестве перспективных функциональных ингредиентов для создания специализированных пищевых добавок и продуктов с высокой антиоксидантной активностью.

** 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»).*

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Руцкая В.И., Гапонов Н.В. Опыт использования люпина и продуктов его переработки в пищевой промышленности (Обзор) // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 1(37). С. 83-89.

2. Gunes F. Medical use of squalene as a natural antioxidant // Journal of Marmara University Institute of Health Sciences. 2013. Vol. 3. P. 221-229.

3. Магомедов И.М., Чиркова Т.В., Чиркова А.И. Сквален – как антигипоксант в организмах животных и растений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 5(1). С. 90-92.

4. Poteraș C.-B., Culețu A., Manolache F.-A. Nutritional Importance of Lentil, Lupin, Chickpea and Soy Legumes: a Review. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca // Food Science and Technology. 2024. Vol. 81(2). https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:2024.0007.

5. Abreu B., Lima J., Rocha A. Consumer Perception and Acceptability of Lupin-Derived Products: A Systematic Review // Foods. 2023 Vol. 12. P. 1241. https://doi.org/10.3390/foods12061241.

6. Malekipoor R., Johnson S.K, Bhattarai R.R. Lupin Kernel Fibre: Nutritional Composition, Processing Methods, Physicochemical Properties, Consumer Acceptability and Health Effects of Its Enriched Products // Nutrients. 2022. Vol. 14(14). P. 2845.

7. Zhao H., Song Z., Liu X., Gong S., Tang Q., Liu C., Zhang Y., Zhang X., Gao H., Gao W., Hu Y., Huang L. Functional Characterization of Squalene Epoxidases from Siraitia grosvenorii // Plants (Basel). 2025. Vol. 14(12). P. 1740.

8. Pu D., Xu Z., Sun B., Wang Y., Xu J., Zhang Y. Advances in Food Aroma Analysis: Extraction, Separation, and Quantification Techniques // Foods. 2025. Vol. 14(8). P. 1302.

9. Pereira A., Ramos F., Sanches Silva A. Lupin (Lupinus albus L.) Seeds: Balancing the Good and the Bad and Addressing Future Challenges // Molecules. 2022. Vol. 27(23). P. 8557.

10. Panasiewicz K. Chemical Composition of Lupin (Lupinus spp.) as Influenced by Variety and Tillage System // Agriculture. 2022. Vol. 12. P. 263.

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

REFERENCES

1. Rutskaya V. I., Gaponov N.V. *Opyt ispol'zovaniya lyupina i produktov yego pererabotki v pishchevoy promyshlennosti (Obzor)* [Experience of using lupine and its processed products in the food industry (Review)]. *Zernobobovyye i krupyanyye kul'tury*. 2021. No. 1(37), pp. 83-89.

2. Gunes F. Medical use of squalene as a natural antioxidant. Journal of Marmara University Institute of Health Sciences. 2013. Vol. 3, pp. 221-229.

3. Magomedov I.M., Chirkova T.V., Chirkova A.I. *Skvalen – kak antigipoksant v organizme, zhivotnykh i rasteniyakh* [Squalene as an antihypoxant in animal and plant organisms]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016. No. 5(1), pp. 90-92.

4. Poteraș C.-B., Culețu A., Manolache F.-A. Nutritional Importance of Lentil, Lupin, Chickpea and Soy Legumes: a Review. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Food Science and Technology. 2024. Vol. 81(2).

5. Abreu B., Lima J., Rocha A. Consumer Perception and Acceptability of Lupin-Derived Products: A Systematic Review. Foods. 2023. Vol. 12, p. 1241.

6. Malekipoor R., Johnson S.K., Bhattarai R.R. Lupin Kernel Fibre: Nutritional Composition, Processing Methods, Physicochemical Properties, Consumer Acceptability and Health Effects of Its Enriched Products. Nutrients. 2022. Vol. 14(14), p. 2845.

7. Zhao H., Song Z., Liu X., Gong S., Tang Q., Liu C., Zhang Y., Zhang X., Gao H., Gao W., Hu Y., Huang L. Functional Characterization of Squalene Epoxidases from Siraitia grosvenorii. Plants (Basel). 2025. Vol. 14(12), p.1740.

8. Pu D., Xu Z., Sun B., Wang Y., Xu J., Zhang Y. Advances in Food Aroma Analysis: Extraction, Separation, and Quantification Techniques. Foods. 2025. Vol. 14(8), p. 1302.

9. Pereira A., Ramos F., Sanches Silva A. Lupin (Lupinus albus L.) Seeds: Balancing the Good and the Bad and Addressing Future Challenges. Molecules. 2022. Vol. 27(23), p. 8557.

10. Panasiewicz K. Chemical Composition of Lupin (Lupinus spp.) as Influenced by Variety and Tillage System. Agriculture. 2022. Vol. 12, p. 263.

11. Ulrich E.V., Podashev D.B., Frolova N.A., Kachanova A.V. Fiziko-khimicheskiye svoystva lyupina, proizrastayushchego v Kaliningradskoy oblasti [Physicochemical properties of lupine growing in the Kaliningrad region]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*.2025. No. 4(77). pp. 120-128.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ	INFORMATION ABOUT THE AUTHOR
Фролова Нина Анатольевна – доктор технических наук, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т, 1, e-mail: nina.frolova@klgtu.ru)	Nina Anatolyevna Frolova, Dr.Sci. (Eng.), Kaliningrad State Technical University (1 Sovetsky Prospekt, Kaliningrad, 236022, Russia, e-mail: nina.frolova@klgtu.ru)