

РАЗДЕЛ I. ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ И БИОТЕХНОЛОГИИ

Исследовательская статья

DOI 10.69540/2949-4079.2025.10.72.001

УДК 664

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЭКСТРАКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЛЮЦЕРНЫ: КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР

Е.Е. Пономарев, Е.В. Кузнецова, Л.Ф. Пономарева

*Московский государственный университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского, Москва.*

Аннотация:

В условиях стремительного развития биотехнологий и возрастающей потребности в фармпрепаратах натурального генеза особое внимание уделяется совершенствованию методов извлечения ценных компонентов из растительного сырья. Люцерна (*Medicago sativa*), известная своими богатыми запасами витаминов, минералов и других биологически активных соединений, становится объектом тщательного изучения для использования в области фармацевтики и пищевой промышленности. Традиционные методы экстракции, основанные на использовании водно-спиртовых растворов, остаются актуальными, но уже не соответствуют современным требованиям эффективности производства. В связи с этим активно разрабатываются инновационные подходы к извлечению биологически активных веществ, включая ультразвуковую обработку, ферментативный гидролиз и сверхкритическую флюидную экстракцию. Особое значение имеет не только оптимизация процесса экстракции, но и внедрение современных методов качественного и количественного анализа растительных экстрактов. Использование передовых спектрометрических технологий (ИК-, УФ- и ЯМР-спектроскопия) позволяет определить состав и качество получаемых продуктов, что важно для их дальнейшего применения в фармацевтической и пищевой промышленности. Настоящая работа представляет собой комплексный обзор как классических, так и современных методов экстракции биологически активных веществ из люцерны с анализом их эффективности, воспроизводимости и экологической безопасности.

Ключевые слова: экстракция люцерны, ультразвуковая экстракция, ферментативный гидролиз, биологически активные вещества

Research article

MODERN METHODS OF EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM ALFALFA: COMPREHENSIVE REVIEW

E.E. Ponomaryov, E.V. Kuznetsova, L.F. Ponomaryova

K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Moscow

Abstract:

In the context of rapid development of biotechnology and increasing demand for pharmaceuticals of natural genesis, special attention is paid to improving methods for extracting valuable components from plant raw materials. Alfalfa (Medicago), known for its rich reserves of vitamins, minerals and other biologically active compounds, is becoming the object of careful study for use in the pharmaceutical and food industries. Traditional extraction methods based on the use of water-alcohol solutions continue to be relevant, but no longer meet modern requirements for production efficiency. In this regard, innovative approaches to the extraction of biologically active substances are being actively developed, including ultrasonic treatment, enzymatic hydrolysis and supercritical fluid extraction. Of particular importance is not only the optimization of the extraction process, but also the introduction of modern methods of qualitative and quantitative analysis of plant extracts. The use of advanced spectrometric technologies (IR, UV and NMR spectrometry) allows us to determine in detail the composition and quality of the products obtained, which is important for their further use in the pharmaceutical and food industries. This work is a comprehensive review of both classical and modern methods of extracting biologically active substances from alfalfa with an analysis of their efficiency, reproducibility and environmental safety.

Keywords: alfalfa extraction, ultrasonic extraction, enzymatic hydrolysis, biologically active substances

Традиционные методы экстракции люцерны главным образом основаны на использовании водных или водно-спиртовых растворов: высушенный растительный материал подвергается экстракции водой или водно-этанольными смесями с различной концентрацией C_2H_5OH (обычно до 70 %) для растворения полярных и полуполярных соединений, таких как полисахариды, флавоноиды и фенольные кислоты. Такие

методы часто включают предварительные этапы извлечения, сушку, измельчение и последовательную экстракцию с использованием методов кипячения или мацерации¹. Этот подход, как правило, прост, экономически эффективен и применим в промышленных масштабах, но обеспечивает более длительную экстракцию и имеет более высокий расход растворителя по сравнению с современными альтернативными технологиями.

Ультразвуковая экстракция использует акустическую кавитацию для разрушения клеточных стенок растений, тем самым максимально улучшая массоперенос и обеспечивая быстрое высвобождение внутриклеточных биоактивных субстанций. Исследования показывают, что ультразвуковая экстракция может значительно сократить время экстракции с нескольких часов до минут и при этом увеличить выход флавоноидов, фенолов, летучих терпенов и других соединений². В исследованиях по оптимизации использования водно-спиртовых растворителей (около 70 % C_2H_5OH) с соотношением к растворителю примерно от 1:8 до 1:10 ультразвуковая экстракция оказалась особенно эффективной. При применении ультразвука в диапазоне температур 30—35 °C и в течение 45—120 мин. выход фармакологически активных субстанций значительно увеличивается, не вызывая при этом ухудшения термочувствительности соединений. Эффективность экстракции люцерны зависит от частоты ультразвука (20—35 кГц), а также от размера частиц измельченного материала: частицы размером ≤ 1 мм обеспечивают максимальную глубину проникновения растворителя. Ультразвуковая экстракция оказалась более эффективным способом извлечения биологически активных веществ относительно традиционных методов — как по количеству субстратов, так и по их усвояемости организмом³.

¹ Zhang C., Li Z., Zhang C.Y., Li M., Lee Y., Zhang G.G. Extract methods, molecular characteristics, and bioactivities of polysaccharide from alfalfa (*Medicago sativa* L.) // *Nutrients*. 2019. May 27. № 11(5): 1181. PMID: 31137802; PMCID: PMC6567097; Krakowska-Sieprawska A., Rafińska K., Walczak-Skierska J., Kiełbasa A., Buszewski B. Promising green technology in obtaining functional plant preparations: combined enzyme-assisted supercritical fluid extraction of flavonoids isolation from *Medicago Sativa* Leaves // *Materials* (Basel). 2021. May 21. № 14 (11): 2724. PMID: 34064166; PMCID: PMC8196795.

² Zagórska-Dziok M., Ziemlewska A., Nizioł-Łukaszewska Z., Bujak T. Antioxidant activity and cytotoxicity of *Medicago sativa* L. Seeds and herb extract on skin cells // *Biores Open Access*. 2020. Oct. 23. № 9 (1). P. 229—242. PMID: 33117615; PMCID: PMC7590823.

³ Hadidi M, Ibarz A, Pagan J. Optimisation and kinetic study of the ultrasonic-assisted extraction of total saponins from alfalfa (*Medicago sativa*) and its bioaccessibility using the response surface methodology // *Food Chem*. 2020. March

Ферментативный гидролиз — еще один перспективный подход в технологиях извлечения нутрицевтиков из люцерны. Эта технология использует ферменты для расщепления компонентов клеточной стенки, а именно пектина и гемицеллюлозы, с целью высвобождения биоактивных молекул. Ферментативная предварительная обработка реализуется в более щадящих условиях по сравнению с кислотным гидролизом, тем самым максимально сохраняется целостность и биологическая активность нутрицевтиков, в частности полисахаридов и гликозидов. Избирательное действие ферментов обеспечивает увеличение выхода экстракции сравнительно более узких фракций, подлежащих дальнейшей хроматографической очистке⁴. Также известна двухэтапная система, которая совмещает ферментативную обработку растительного сырья и сверхкритическую жидкую экстракцию. Эта методика значительно повышает выход исходных веществ, наделенных выраженными антиоксидантными свойствами⁵.

Микроволновая экстракция относится к современным и эффективным методам извлечения биологически активных веществ из матриц растительного генеза. Этот метод использует эффект диэлектрического нагрева микроволн для облегчения быстрой экстракции соединений на основе локального нагрева растительных тканей, что усиливает проникновение растворителя и диффузию в субклеточные структуры⁶.

Несмотря на широкое и массовое использование экстрактов люцерны на международном рынке фармпрепаратов, в России данный сегмент фарминдустрии развит недостаточно. В РФ функционируют несколько производителей, выделяющих биологически активные субстанции люцерны. Ранее наиболее известным и исследуемым отечественным продуктом была биологически активная добавка «Эра-

30. № 309: 125786. Epub. 2019. Nov. 6. PMID: 31704078.

⁴ Kovács Z., Soós Á., Kovács B., Kaszás L., Elhawati N., Bákonyi N., Razem M., Fári M.G., Prokisch J., Domokos-Szabolcsy É., Alshaal T. Uptake dynamics of ionic and elemental selenium forms and their metabolism in multiple-harvested alfalfa (*Medicago sativa* L.) // *Plants* (Basel). 2021. June 23. № 10 (7):1277. PMID: 34201671; PMCID: PMC8309208; Zhang R., Du Z., Li Z., Feng Y., Yan X. Improving the bioactivity of water-soluble alfalfa saponins using biotransformation // *J Food Sci*. 2024. Dec. № 89 (12): 8628—8643. Epub. 2024. Nov. 12. PMID: 39530629.

⁵ Krakowska-Sieprawska A., Rafińska K., Walczak-Skierska J., Kiełbasa A., Buszewski B. Promising green technology in obtaining functional plant preparations...

⁶ Chiriac E.R., Chițescu C.L., Borda D., Lupoaie M., Gird C.E., Geană E.I., Blaga G.V., Boscencu R. Comparison of the Polyphenolic profile of *Medicago sativa* L. and *Trifolium pratense* L. Sprouts in different germination stages using the UHPLC-Q exactive hybrid quadrupole orbitrap high-resolution mass spectrometry // *Molecules*. 2020. May 15. № 25 (10): 2321. PMID: 32429231; PMCID: PMC7288055.

конд», производившаяся в Республике Башкортостан (г. Стерлитамак). На данный момент производство этой БАД приостановлено. В качестве альтернативы на рынке появилась биологически активная добавка бренда «Veconext»⁷. Однако на текущее время отсутствует информация о технологии производства данного продукта, его составе и конкретном влиянии на организм человека. Это создает сложность для объективной оценки качества и эффективности новых разработок. Столь ограниченное число производителей в России контрастирует с мировым опытом использования экстрактов люцерны. В других странах этот продукт широко применяется в различных направлениях: от пищевой промышленности до фармацевтики и косметологии. Производство экстрактов люцерны в России остается на среднем уровне на фоне возрастающего интереса к использованию растительных экстрактов в различных отраслях фарминдустрии и пищевой промышленности. Расширение производственных мощностей и внедрение современных технологий экстрагирования — вот факторы, обуславливающие расширение круга отечественных производителей на перспективном рынке нутрицевтиков.

Выводы. Оптимизация параметров экстракции люцерны обеспечивает максимальную эффективность процесса при сохранении биологической активности получаемых веществ, что открывает широкие перспективы для промышленного применения:

— Растворители и их концентрация играют определяющую роль в эффективности экстракции. Оптимальными являются водно-этанольные смеси с концентрацией этанола 50—70 %, обеспечивающие максимальный выход биологически активных веществ при сохранении их активности. Перспективным направлением является использование сверхкритического CO₂ в качестве «зеленого» растворителя.

— Температурно-временной режим требует тщательной настройки: традиционная экстракция эффективна, если реализуется в течение 4—6 часов в диапазоне температур 50—70 °С. При ультразвуковой экстракции необходимо обеспечивать более низкие значения температур (30—35 °С), что позволяет избежать деградации термолабильных компонентов при сохранении высокой эффективности процесса.

— Подготовка исходного воздействия влияет на результаты: оптимальный размер частиц растительного материала — ≤ 1 мм, что потенцирует контакт биологически активного субстрата с растворите-

⁷ Патент № 2835635 С1, Российская Федерация, МПК A23L 33/105, A23L 33/16. Биологически активная добавка к пище. Заявл. 27.05.2024; опубл. 03.03.2025 / А.Н. Крячко, В.Н. Байматов, Ф.Х. Камилов и др.; заявитель ООО «НПО МС+».

лем. Максимальный выход экстракта достигается при определенном соотношении между количеством сырья и растворителя — 1:8—1:10 соответственно.

— Длительность процесса экстрагирования биологически активных веществ может рассматриваться в зависимости от метода экстракции: традиционная экстракция требует до 24 ч и более, в то время как современные методы, перечисленные выше, позволяют сократить время до 45—120 мин., что значительно увеличивает показатели процесса и снижает энергозатраты.

Список литературы

1. Патент № 2835635 C1, Российская Федерация, МПК A23L 33/105, A23L 33/16. Биологически активная добавка к пище. Заявл. 27.05.2024; опубл. 03.03.2025 / А.Н. Крячко, В.Н. Байматов, Ф.Х. Камилов и др.; заявитель ООО «НПО МС+».

2. Chiriac E.R., Chițescu C.L., Borda D., Lupoae M., Gird C.E., Geană E.I., Blaga G.V., Boscencu R. Comparison of the Polyphenolic profile of *Medicago sativa* L. and *Trifolium pratense* L. Sprouts in different germination stages using the UHPLC-Q exactive hybrid quadrupole orbitrap high-resolution mass spectrometry // *Molecules*. 2020. May 15. № 25 (10): 2321. DOI: 10.3390/molecules25102321.

3. Hadidi M, Ibarz A, Pagan J. Optimisation and kinetic study of the ultrasonic-assisted extraction of total saponins from alfalfa (*Medicago sativa*) and its bioaccessibility using the response surface methodology // *Food Chem*. 2020. March 30. № 309: 125786. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125786.

4. Kovács Z., Soós Á., Kovács B., Kaszás L., Elhawat N., Bákonyi N., Razem M., Fári M.G., Prokisch J., Domokos-Szabolcsy É., Alshaal T. Uptake dynamics of ionic and elemental selenium forms and their metabolism in multiple-harvested alfalfa (*Medicago sativa* L.) // *Plants* (Basel). 2021. June 23. № 10 (7):1277. DOI: 10.3390/plants10071277.

5. Krakowska-Sieprawska A., Rafińska K., Walczak-Skierska J., Kielbasa A., Buszewski B. Promising green technology in obtaining functional plant preparations: combined enzyme-assisted supercritical fluid extraction of flavonoids isolation from *Medicago Sativa* Leaves // *Materials* (Basel). 2021. May 21. № 14 (11): 2724. DOI: 10.3390/ma14112724.

6. Zagórska-Dziok M., Ziemlewska A., Nizioł-Łukaszewska Z., Bujak T. Antioxidant activity and cytotoxicity of *Medicago sativa* L. Seeds and herb extract on skin cells // *Biores Open Access*. 2020. Oct. 23. № 9 (1). P. 229—242. DOI: 10.1089/biores.2020.0015.

7. Zhang C., Li Z., Zhang C.Y., Li M., Lee Y., Zhang G.G. Extract methods, molecular characteristics, and bioactivities of polysaccharide from al-

falfa (*Medicago sativa* L.) // Nutrients. 2019. May 27. № 11(5): 1181. DOI: 10.3390/nu11051181.

8. Zhang R., Du Z., Li Z., Feng Y., Yan X. Improving the bioactivity of water-soluble alfalfa saponins using biotransformation // J Food Sci. 2024. Dec. № 89 (12): 8628—8643. DOI: 10.1111/1750-3841.17523.

Сведения об авторах

Пономарев Евгений Евгеньевич, кандидат технических наук, МГУТУ им. К.Г. Разумовского. Тел.: 8927-345-77-24; e-mail: *eponomarev@mfmngutu.ru*

Кузнецова Елена Валентиновна, кандидат биологических наук, МГУТУ им. К.Г. Разумовского. Тел.: 8927-324-66-24; e-mail: *ekuznetsova@mfmngutu.ru*

Пономарева Лилия Фаясовна, кандидат биологических наук, МГУТУ им. К.Г. Разумовского. Тел.: 8927-345-77-35; e-mail: *ponomareva.lilya@mail.ru*

Information about the authors

Ponomaryov Evgeny Evgenievich, Candidate of Technical Sciences, K.G. Razumovsky MSUTM. Phone: +7-927-345-77-24; e-mail: *eponomarev@mfmngutu.ru*

Kuznetsova Elena Valentinovna, Candidate of Biological Sciences, K.G. Razumovsky MSUTM. Phone: +7-927-324-66-24; e-mail: *ekuznetsova@mfmngutu.ru*

Ponomaryova Lilia Fayasovna, Candidate of Biological Sciences, K.G. Razumovsky MSUTM. Phone: +7-927-345-77-35; e-mail: *ponomareva.lilya@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 13.05.2025; одобрена после рецензирования 16.06.2025; принята к публикации 22.09.2025.