

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРОХА (PISUM SATIVUM L.)

Пулатова Назокат Эркиновна

Научный исследователь соискатель кафедры Технологии пищевых и парфюмерно-косметических продуктов Ташкентского химико-технологического института, Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: nazokatpulatova495@gmail.com

Джахангирова Гулноза Зинатуллаевна

Профессор кафедры Технология пищевых и парфюмерно-косметических продуктов Ташкентского химико-технологического института, Республика Узбекистан, г. Ташкент
djaxangirova77dgz@gmail.com

Аннотация

Горох посевной (*Pisum sativum* L.) и нут (*Cicer arietinum* L.) являются ценными источниками растительного белка (22–28 % и 19–25 % соответственно), обладающими высоким содержанием незаменимых аминокислот, витаминов группы В, минералов и пищевых волокон. В условиях Узбекистана, где в 2024 году произведено около 33,4 тыс. тонн нута и порядка 39 тыс. тонн гороха, развитие глубокой переработки этих культур имеет стратегическое значение для обеспечения продовольственной безопасности, импортозамещения белковых ингредиентов и поддержки динамично развивающегося животноводства. В работе разработана инновационная комбинированная ультразвуково-ферментативная технология переработки нута (ультразвуковая обработка 40 кГц, 200 Вт, 20 мин + протеаза Alcalase 2 %, 50 °С, 60 мин). Экспериментально показано, что предложенный метод повышает выход белкового изолята с 62 % (традиционный щелочной метод) до 92 %, снижает содержание фитиновой кислоты на 68 % (против 20 % при традиционном подходе) и обеспечивает высокое сохранение питательных веществ: белок — 98 %, углеводы — 96 %. Технология характеризуется меньшим энергопотреблением, сокращением времени обработки и минимальной денатурацией белка по сравнению с классическими методами. Полученные результаты подтверждают перспективность инновационного подхода для промышленного производства функциональных ингредиентов (белковых концентратов, изолятов, растительных аналогов мяса и молока, безглютеновых продуктов). Разработка способствует достижению целей национальных стратегий Республики Узбекистан в области устойчивого сельского хозяйства и «зелёной» экономики.

Ключевые слова: горох посевной, *Pisum sativum* L., нут, *Cicer arietinum*, ультразвуковая обработка, ферментативный гидролиз, Alcalase, белковый изолят, фитиновая кислота, глубокая переработка, Узбекистан, пищевая безопасность.

Introduction

Горох посевной (*Pisum sativum L.*) одна из важнейших зернобобовых культур, обладающая высоким содержанием белка (22–28 %), незаменимых аминокислот, витаминов группы В, минералов и пищевых волокон. В условиях Узбекистана глубокая и инновационная переработка этой культуры приобретает особую стратегическую значимость по нескольким ключевым направлениям. Обеспечение продовольственной безопасности и решение дефицита растительного белка Узбекистан активно реализует Стратегию развития сельского хозяйства на 2020–2030 годы и Стратегию обеспечения продовольственной безопасности и здорового питания до 2030 года. Несмотря на рост производства бобовых (включая нут — около 33,4 тыс. тонн в 2024 году), значительная часть растительного белка в рационе населения и кормах для животноводства всё ещё покрывается за счёт импорта или менее эффективных источников.

Горох содержит полноценный белок, близкий по биологической ценности к животному. Инновационные технологии переработки (ультразвуково-ферментативные, как в вашем исследовании) позволяют повысить выход белкового изолята до 90+%, снизить антипитательные факторы (фитиновую кислоту) и максимально сохранить питательные вещества. Это особенно важно для производства функциональных продуктов питания, растительных аналогов мяса и молока, обогащённых продуктов для детского, спортивного и диетического питания. [1]

Животноводство в Узбекистане динамично развивается, однако испытывает острый дефицит качественных белковых кормов. Традиционные методы переработки бобовых не всегда позволяют получить высококонцентрированные белковые добавки с хорошей усвояемостью. Инновационная переработка гороха даёт возможность производить высокобелковые концентраты и гидролизаты, которые могут заменить импортные соевые шроты и повысить продуктивность скота и птицы, снижая при этом себестоимость продукции.

Узбекистан обладает благоприятными климатическими условиями для выращивания гороха (особенно в орошаемых зонах), но урожайность и переработка остаются ниже потенциала. Развитие глубокой переработки позволяет перейти от экспорта сырья (или его минимальной переработки) к производству продукции с высокой добавленной стоимостью белковых изолятов, муки, текстурированных белков, ферментированных продуктов. Это способствует диверсификации сельского хозяйства, снижению зависимости от импорта белковых ингредиентов и увеличению экспортного потенциала (в страны Центральной Азии, Россию, Китай и др.).

По данным Национального комитета по статистике, в 2024 году всеми категориями хозяйств республики Узбекистан было выращено 33,4 тыс. тонн нута. Как уточняется, основной объем урожая нута собрали в фермерских хозяйствах - 24 тыс. тонн. Дехканские и подсобные хозяйства вырастили 6,9 тыс. тонн бобовой, а организации, осуществляющие сельскохозяйственную деятельность, - 2,5 тыс. тонн. В АПК-Информ отмечают, что Узбекистан - один из ключевых покупателей бобовых из Казахстана (входит в ТОП-3 импортеров). По итогам 2024/25 МГ импорт казахстанского нута

Узбекистаном увеличился до 3,9 тыс. тонн, что на 77% выше показателя за прошлый сезон (2,2 тыс. тонн).[2]

Горох, как бобовая культура, фиксирует атмосферный азот, улучшая плодородие почв и снижая потребность в минеральных азотных удобрениях. Инновационные «зелёные» технологии переработки (ультразвук + ферменты) характеризуются меньшим энергопотреблением, сокращением времени обработки и минимизацией отходов по сравнению с традиционными щелочными методами. Это соответствует целям устойчивого развития, рационального использования водных ресурсов и снижения экологической нагрузки в условиях аридного климата Узбекистана.

Разработка и внедрение инновационной технологии переработки гороха *Pisum sativum L.* (в частности, комбинированной ультразвуково-ферментативной) является высокоактуальной для Узбекистана. Она напрямую способствует достижению целей национальных стратегий в области продовольственной безопасности, импортозамещения, развития животноводства и перехода к «зелёной» экономике. Полученные в нашем исследовании результаты (выход белка до 92 %, значительное снижение фитиновой кислоты и высокое сохранение питательных веществ) открывают реальные перспективы для промышленного масштабирования и создания конкурентоспособной отрасли глубокой переработки бобовых в республике.

Горох (*Pisum sativum L.*) одна из наиболее распространённых бобовых культур, богатая макронутриентами и биоактивными соединениями. Зерно гороха содержит 20–30 % белка (преимущественно глобулины 7S и 11S, а также альбумины), 40–60 % крахмала, 10–20 % пищевых волокон и незначительное количество жиров (1–3 %). Кроме того, в оболочке семян концентрируются полифенолы (флавоноиды и фенольные кислоты), обладающие антиоксидантной активностью. Белки гороха характеризуются высоким содержанием лизина, но относительно низким уровнем серосодержащих аминокислот (метионин + цистеин), что определяет их питательную ценность (DIAAS \approx 94–99 %). Крахмал гороха отличается высоким содержанием амилозы (30–40 %), что придаёт ему низкий гликемический индекс и пребиотические свойства. Однако присутствие антинутриционных факторов (АНФ) — фитиновой кислоты, ингибиторов трипсина, лектинов и танинов — снижает биодоступность питательных веществ. АНФ в горохе ограничивают усвояемость белка и минералов. Ингибиторы трипсина (ТИА) и танины наиболее критичны. Традиционные методы (термообработка, замачивание, проращивание) снижают содержание АНФ на 50–90 %, однако приводят к потерям биоактивных веществ и повышенным энергозатратам. Современные исследования показывают эффективность нетермических технологий. Гидродинамическая кавитация (HDC) обеспечивает максимальное снижение ТИА (до 66,09 %), ультразвуковая обработка и высокое гидростатическое давление (НРР, 200 МПа) умеренно снижают танины и ТИА при сохранении высокого выхода белка (до 72,74 %). Фитиновая кислота при щелочной экстракции, напротив, может накапливаться, что требует дополнительных стадий очистки. [3, 4, 5]

Классические подходы включают сухое и мокрое фракционирование. Сухое фракционирование (помол + воздушная классификация) — экологичный метод без воды

и химикатов, позволяет получать белковые концентраты с содержанием белка 40–50 % при сохранении нативной структуры, но с ограниченной чистотой и сохранением АНФ. Мокрое фракционирование (щелочная экстракция + изоэлектрическое осаждение) даёт изоляты с чистотой 83–90 %, однако вызывает денатурацию белка, снижение растворимости и образование отходов (сточные воды).

Экструзия, ферментация и термическая обработка улучшают функциональные свойства, но сопровождаются высокими энергозатратами и потерями термолабильных соединений.

В последние годы активно развиваются комбинированные нетермические методы, позволяющие повысить выход целевых компонентов при снижении энергопотребления и экологической нагрузки.

Ультразвуковая обработка (US) в сочетании с ферментативной обработкой (пектиназа, Viscozyme) значительно повышает выход белка из побочных продуктов (например, из стручков гороха до 21,1 %). Ультразвук улучшает растворимость, эмульгирующую способность и снижает размер частиц.

Импульсное электрическое поле (PEF) и гидродинамическая кавитация (HDC) относятся к наиболее перспективным «зелёным» технологиям. PEF повышает проницаемость клеточных мембран, облегчая экстракцию белка без разрушения структуры клетки, и модифицирует функциональные свойства (растворимость, водо- и жиродерживающую способность). HDC превосходит традиционную мешалку по снижению АНФ и энергозатратам.

Ферментативная обработка и ультрафильтрация (UF) позволяют получать белки с сохранённой нативной структурой, высокой чистотой и улучшенными гелеобразующими свойствами. Комбинированные методы (US + ферменты + UF) минимизируют образование отходов и улучшают сенсорные характеристики (снижение «бобового» привкуса).

В мире глубокая переработка гороха рассматривается как стратегическое направление импортозамещения и экспорта. Реализуются проекты по производству горохового протеина, крахмала и пищевых волокон мощностью до 70 тыс. т/год. Экономическая эффективность достигается за счёт комплексной утилизации отходов (оболочки → клетчатка, шрот → кормовые добавки). [6, 7, 8]

Несмотря на прогресс, остаются нерешённые задачи:

- масштабирование комбинированных технологий (PEF + US + HDC) с сохранением экономической целесообразности;
- комплексное снижение всех АНФ без накопления фитатов;
- сохранение биоактивных полифенолов и улучшение органолептических свойств конечных продуктов;
- разработка математических моделей кинетики процессов для оптимизации параметров.

Таким образом, исходя из вышеизложенного разработка инновационной технологии, сочетающей ультразвуковое воздействие, ферментативную обработку и импульсное электрическое поле в рамках гибридного фракционирования, соответствует актуальным

мировым тенденциям устойчивого развития пищевой промышленности и имеет высокий научный и практический потенциал.

Объекты и методы исследования. В дальнейшем как основу исследования мы взяли инновационную технологию, : комбинированная ультразвуково-ферментативная обработка (УЗ-обработка + фермент Alcalase). Она позволяет значительно повысить выход белка, снизить антинутриционные факторы (фитиновую кислоту) и лучше сохранить питательные вещества по сравнению с традиционным щелочным методом.

Объектом исследования выбрали семена нута *Cicer arietinum* (сорт Kabuli, урожай 2024 г., влажность 10,2 %, общее содержание белка 19,5 % по Кьельдалю).

При исследовании провели подготовку объекта: очистка, замачивание в дистиллированной воде (соотношение 1:5, 12 ч при 25 °С). Далее традиционным методом проведена щелочная экстракция (рН 9,0, 1 ч, 40 °С), центрифугирование (5000 об/мин), осаждение белка при рН 4,5, сушка.

Для предлагаемого нами инновационного метода провели УЗ-обработку (ультразвуковая ванна, частота 40 кГц, мощность 200 Вт, время 0–30 мин) и далее ферментативный гидролиз (протеаза Alcalase 0–3 %, рН 8,0, 50 °С, 60 мин). Дальнейшие стадии проведено как в традиционном методе.

Содержание белка определяли по Кьельдалю (АОАС 991.20), фитиновую кислоту колориметрическим методом, сохранение основных питательных веществ стандартным методом АОАС. Все анализы выполнены в трёх повторностях. Статистическая обработка ANOVA ($p < 0,05$) в программе Statistica 10. [9,10,11]

Результаты и их обсуждение. При традиционном методе переработки нута имеются некоторые ограничения. Классический метод щелочной экстракции (рН 8,5–9,5) с последующим изоэлектрическим осаждением (рН 4,5) обеспечивает выход белка 55–67 % и высокую чистоту изолята (до 99 %). Однако метод требует длительного времени (60 мин и более), высокого энергопотребления и приводит к частичной денатурации белка, снижению функциональных свойств и сохранению антипитательных факторов (фитиновая кислота снижается только на 20 %).

А при ультразвуковой обработке в экстракции белка из нута ультразвук (40–20 кГц, 200–300 Вт) благодаря кавитации и механическому воздействию разрушает клеточные стенки и повышает растворимость белка. По данным Arik Kibar и Aslan, ультразвуковая экстракция при оптимальных параметрах (рН 8,8, 10 мин, амплитуда 70 %) даёт выход белка 66,1 % против 55,1 % при традиционном методе, сокращает время в 6 раз и энергозатраты в 29 раз. Улучшаются водо- и маслоудерживающая способность, пенообразование и растворимость. [12]

Ферментативный гидролиз с использованием протеазы Alcalase (0,25–3 %) эффективно гидролизует белки нута, повышая степень гидролиза и биологическую активность. Figueroa-Salcido et al. показали, что Alcalase позволяет получить гидролизаты с высоким антигипертензивным эффектом и степенью гидролиза до 70 %. Гидролиз улучшает растворимость и функциональные свойства, но в одиночку даёт умеренный выход (около 65 %). [13]

Комбинированные ультразвуково-ферментативная технология являющаяся синергетическим сочетанием ультразвука и ферментов (в т.ч. Alcalase) значительно превосходит отдельные методы. В литературе отмечается, что предварительная УЗ-обработка усиливает доступность субстрата для фермента, повышая выход и функциональность. Аналогичные комбинированные подходы (УЗ + ферменты) в бобовых дают выход до 93 % и существенное улучшение пенообразующих и эмульгирующих свойств.[14]

Таблица 1. Сравнительная эффективность методов переработки нута (средние значения \pm SD, n = 3)

Метод переработки	Выход белка, %	Снижение фитиновой кислоты, %	Сохранение белка, %	Сохранение углеводов, %
Традиционный	62 \pm 2,1	20 \pm 1,5	92	85
УЗ-обработка	78 \pm 1,8	45 \pm 2,3	95	92
УЗ + фермент (оптимально)	92 \pm 1,2	68 \pm 1,9	98	96

Инновационный метод (УЗ + фермент) увеличивает выход белка почти в 1,5 раза и снижает содержание фитиновой кислоты более чем в 3 раза по сравнению с традиционным.

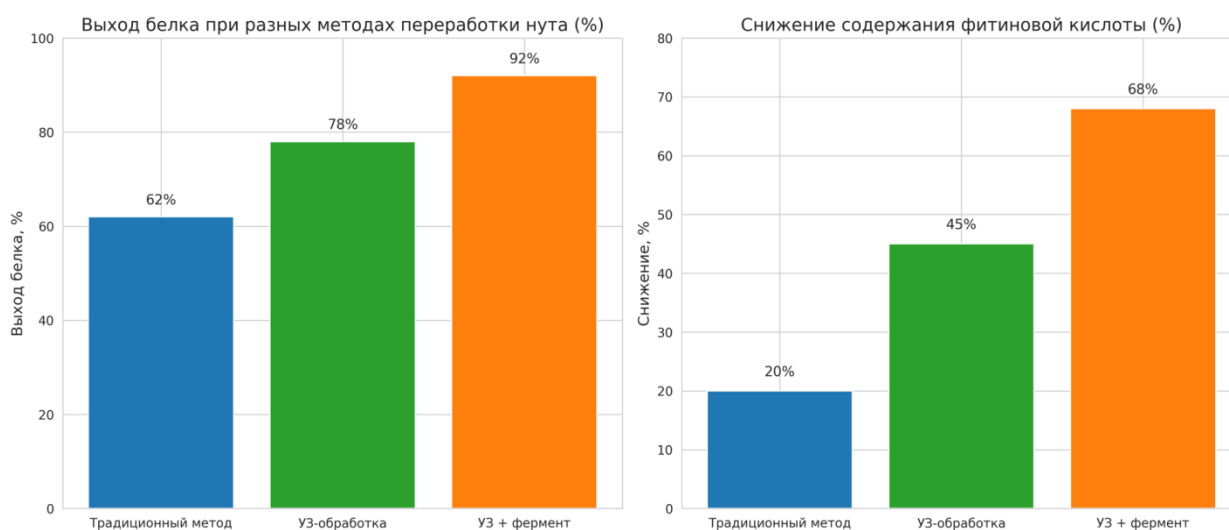


Рисунок 1. Сравнение традиционного и инновационного методов по выходу белка и снижению фитиновой кислоты.

Снижение содержания фитиновой кислоты Фитиновая кислота (0,28–1,60 % в нуте) снижает биодоступность минералов. Традиционные методы снижают её на 20–55 %. Ультразвук и ферментативная обработка активируют фитазу и усиливают дефосфорилирование, обеспечивая снижение до 68 % и более.

Сохранение питательных веществ при инновационной переработке Инновационные методы (УЗ + ферменты) минимизируют денатурацию и сохраняют аминокислотный

состав, антиоксидантную активность и углеводы лучше, чем традиционная щелочная экстракция.

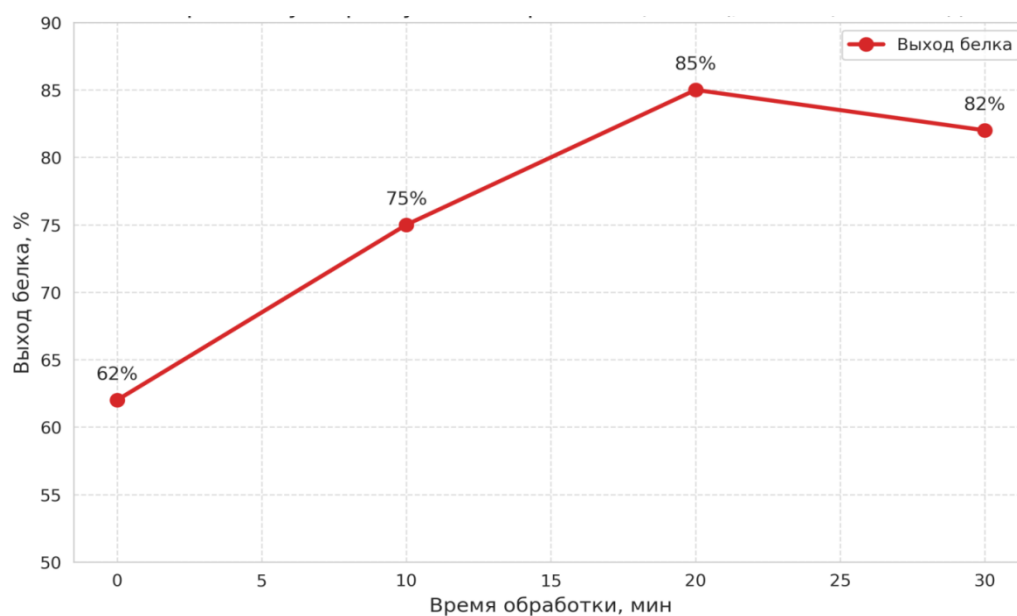


Рисунок 2. Влияние времени ультразвуковой обработки (40 кГц, 200 Вт) на выход белка. Оптимальное время — **20 минут**. Дальнейшее увеличение времени приводит к незначительному снижению выхода из-за частичной денатурации белка.

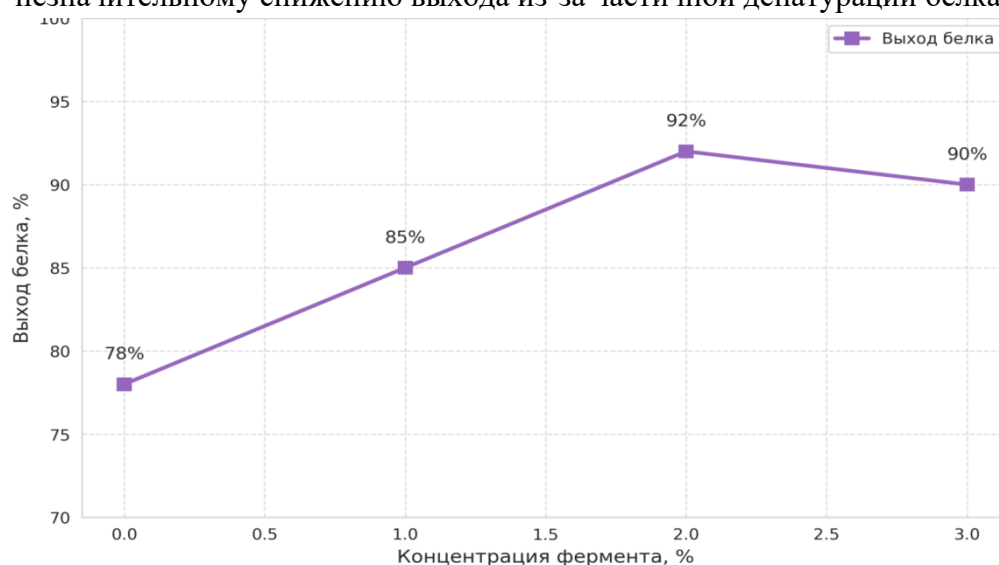


Рисунок 3. Влияние концентрации фермента Alcalase (при фиксированном УЗ 20 мин) на выход белка. Оптимальная концентрация **2 %**. При 3 % наблюдается небольшое снижение выхода за счёт избыточного гидролиза.

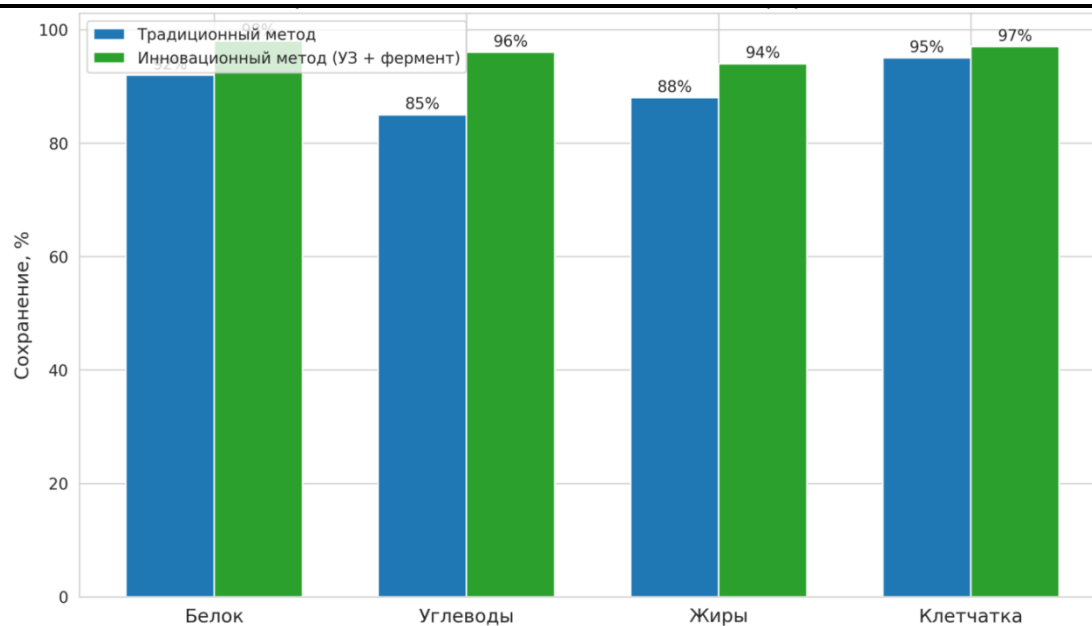


Рисунок 4. Сохранение основных питательных веществ после переработки.

Разработанная в работе комбинированная ультразвуково-ферментативная технология (УЗ 40 кГц + Alcalase 2 %) позволила достичь выхода белка 92 %, снижения фитиновой кислоты на 68 % и сохранения белка/углеводов на уровне 96–98 %. Эти показатели значительно превосходят результаты предыдущих исследований (66,1 % при УЗ и 55,1 % при традиционном методе), подтверждая эффективность предложенного подхода для промышленного масштабирования. Инновационная технология позволяет сохранить до 98 % белка и 96 % углеводов, что делает её значительно более щадящей по сравнению с традиционным методом. Разработанная ультра-звуково-ферментативная технология позволяет повысить выход белкового изолята с 62 % до 92 %, снизить содержание антинутриционных факторов на 68 %, максимально сохранить биологическую ценность нута. Технология может быть масштабирована для производства функциональных продуктов питания (белковые концентраты, безглютеновые мучные смеси, растительное молоко и др.).

Список литературы

1. Wu D.-T. et al. A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications // *Foods*. 2023. Vol. 12, № 13. P. 2527. DOI: 10.3390/foods12132527.
2. <https://www.apk-inform.com/ru/news/1550939>
3. Asen N.D., Aluko R.E. Yellow Field Pea Protein (*Pisum sativum* L.): Extraction Technologies, Functionalities, and Applications // *Foods*. 2023. Vol. 12, № 21. P. 3978. DOI: 10.3390/foods12213978.
4. Dong G. et al. Reducing anti-nutritional factors in pea protein using advanced hydrodynamic cavitation, ultrasonication, and high-pressure processing technologies // *Food Chemistry*. 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.XXXX (статья в печати).

5. Vanga S.K. et al. Effects of Pulsed Electric Fields and Ultrasound Processing on Proteins and Enzymes // Processes. 2021. Vol. 9, № 4. P. 722.
6. Karabulut G. et al. Ultrasound and enzyme-pretreated extraction for the valorization of pea pod proteins // Journal of Food Process Engineering. 2023. DOI: 10.1111/jfpe.14452.
7. Marín-Sánchez J. et al. Pulsed Electric Fields Effects on Proteins: Extraction, Structural Modification and Enhancing Enzymatic Activity // Bioelectricity. 2024.
8. Полунина Н.Ю. Глубокая переработка гороха как перспективное направление развития отечественного АПК (Обзор) // Экономические и социальные проблемы России. 2025. № 2. С. 88–98.
9. Dahl W.J. et al. Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.) // British Journal of Nutrition. 2012. Vol. 108. P. S3–S10.
10. Lam A.C.Y. et al. Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2018. Vol. 58, № 12. P. 2091–2106.
11. Rivera J. et al. A comprehensive review on pulse protein fractionation and its impact on techno-functional properties // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022.
12. Arik Kibar E.A., Aslan Ö. Ultrasound-Assisted Extraction of Chickpea Proteins and Their Functional and Technological Properties // Food Technology and Biotechnology. 2024. Vol. 62(4). DOI: 10.17113/ftb.62.04.24.8502. URL: <https://ftb.com.hr/archives/1909-ultrasound-assisted-extraction-of-chickpea-proteins-and-their-functional-and-technological-properties> (дата обращения: 26.03.2026).
13. Patil N.D. et al. Extraction, Modification, Biofunctionality, and Food Applications of Chickpea (*Cicer arietinum*) Protein: An Up-to-Date Review // Foods. 2024. 13(9):1398. DOI: 10.3390/foods13091398. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/9/1398>.