Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-4-149-158 Обзорная статья/Review article
УДК [664:606:63]:543.65 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Определение биологически активных веществ в зерне пшеницы и чечевицы

Наталья Л. Чернопольская [1] nl.chernopolskaya@omgau.org 0000-0003-1359-9190
Сергей А. Коновалов [1] sa.konovalova@omgau.org 0000-0003-3537-8081
Константин К. Полянский [2,3] mto.vrn@mail.ru 0000-0002-8817-1466
Ольга В. Скрябина [1] ov.skryabina@omgau.org 0000-0003-2700-6683
Юлия А. Подольникова [1] yua.podolnikova@omgau.org 0000-0002-4132-6045
Дина С. Рябкова [1] ds.ryabkova@omgau.org 0000-0002-6605-3485

1 Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
3 Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса. 67А, Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. В статье представлен обзор современных методов определения биологически активных соединений в сельскохозяйственном сырье растительного происхождения, охватывающий спектр аналитических подходов — от классических химических и титриметрических методов до высокоэффективных инструментальных техник, включая высокоэффективную жидкостную хроматографию, масс-спектрометрию. Целью исследований являлось проведение анализа существующих методов и выявление наиболее целесообразного для определения биологически активных веществ в исследуемом сельскохозяйственном сырье. Для проведения исследований выбраны образцы пшеницы и чечевицы, выращиваемые в Омской области, модифицированные методами биофортификации, в частности селекцией. Анализ и сравнительная оценка доступных методик позволили обоснованно выбрать наиболее простой и точный метод количественного определения биологически активных веществ в исследуемом сырье, адаптированный к специфике его химического состава - метод определения суммарного содержания фенольных соединений, позволяющий получать более точные данные, а также повысить безопасность работы при сокращении времени экстракции. Что формирует предпосылки для его широкого применения в пищевой промышленности. Согласно полученным данным, исследуемые образцы отличаются высокой белковой ценностью. Итогом стало количественное определение фенольных соединений на начальном этапе в образцах модифицированного растительного сырья. Результаты подчёркивают, что пигментированные сорта зерновых и бобовых обладают повышенной нутриентной и биологической ценностью по сравнению с традиционными и могут быть использованы в качестве функционального сырья при разработке функциональных и специализированных продуктов питания и биологически активных компонентов. Полученные данные по содержанию двух ключевых компонентов — белка и фенольных соединений — могут служить основой для дальнейших исследований, направленных на изучение взаимодействия этих веществ в составе модифицированного сырья. Проведение данных исследований является первой ступенью комплексного эксперимента в рамках разработки многокомпонентного биологически активного компонента – нутрицевтика. Обзор представляет интерес для исследователей, аналитиков и специалистов в области пищевой отрасли, стремящихся к надёжному и эффективному контролю содержания биологически активных веществ в сырье и производству функциональных продуктов питания и биологически активных веществ.

Ключевые слова: метод, биологически активные соединения, сырье, фенольные соединения, модификация.

Review of methods for determining biologically active compounds in agricultural raw materials

Natalia L. Chernopolskaya [1] nl.chernopolskaya@omgau.org 0000-0003-1359-9190
Sergey A. Konovalov [1] sa.konovalova@omgau.org 0000-0003-3537-8081
Konstantin K. Polyansky [2,3] mto.vrn@mail.ru 0000-0002-8817-1466
Olga V. Skryabina [1] ov.skryabina@omgau.org 0000-0003-2700-6683
Yulia A. Podolnikova [1] yua.podolnikova@omgau.org 0000-0002-4132-6045
Dina S. Ryabkova [1] ds.ryabkova@omgau.org 0000-0002-6605-3485

1 Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypina, st. Institutskaya sq., 1, Omsk, 644008, Russia
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia
3.Voronezh Branch of the Plekhanov Russian University of Economics, Karl Marx. 67A, Voronezh, 394030, Russia

Для цитирования
Чернопольская Н.Л., Коновалов С.А, Полянский К.К., Скрябина О.В, Подольникова Ю.А., Рябкова Д.С. Определение биологически активных веществ в зерне пшеницы и чечевицы // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 4. С. 149–158. doi:10.20914/2310-1202-2025-4-149-158

For citation
Chernopolskaya N.L., Konovalov S.A., Polyansky K.K. Skryabina O.V., Podolnikova Yu.A., Ryabkova D.S. Review of methods for determining biologically active compounds in agricultural raw materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 4. pp. 149–158. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-4-149-158

© 2025, Чернопольская Н.Л. / Chernopolskaya N.L. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Abstract. This article presents an overview of modern methods for determining biologically active compounds in plant-based agricultural raw materials, covering a range of analytical approaches - from classical chemical and titrimetric methods to highly effective instrumental techniques, including high-performance liquid chromatography and mass spectrometry. The aim of the study was to analyze existing methods and identify the most appropriate one for determining biologically active substances in the studied agricultural raw materials. Wheat and lentil samples grown in the Omsk region, modified by biofortification methods, in particular, selection, were selected for the study. An analysis and comparative evaluation of available methods allowed for the justified selection of the simplest and most accurate method for the quantitative determination of biologically active substances in the studied raw materials, adapted to the specific chemical composition of the raw materials. This method, which determines the total content of phenolic compounds, allows for more accurate data and increases operational safety while reducing extraction time. This creates the preconditions for its widespread use in the food industry. According to the data obtained, the studied samples are distinguished by their high protein value. The result was the quantitative determination of phenolic compounds at the initial stage in samples of modified plant raw materials. The results emphasize that pigmented varieties of grains and legumes possess increased nutrient and biological value compared to traditional ones and can be used as functional raw materials in the development of functional and specialized foods and biologically active components. The obtained data on the content of two key components - protein and phenolic compounds - can serve as a basis for further research aimed at studying the interaction of these substances in modified raw materials. Conducting these studies is the first step in a comprehensive experiment as part of the development of a multicomponent biologically active component - a nutraceutical. This review is of interest to researchers, analysts, and food industry specialists striving for reliable and effective control of the content of biologically active substances in raw materials and the production of functional foods and biologically active substances.

Keywords: method, biologically active compounds, raw materials, flavonoids, modification.

Введение

Основным инструментом государственного регулирования агропромышленного рынка выступают специальные целевые программы. В рамках «Стратегии научно-технического развития Российской Федерации» утв. 01 декабря 2016 г. № 642 [1], одним из приоритетных направлений исследований является создание технологий, продуктов и услуг, не только отвечающих национальным интересам Российской Федерации и необходимых для существенного повышения качества жизни населения, но востребованных в мире и в рамках концепции бережливого производства [2, 3].

Современные тенденции в питании обусловили необходимость целенаправленной разработки новых пищевых продуктов на основе высокодисперсных частиц с узким фракционным составом. В связи с чем развиваются исследования, направленные на выявление связи между структурой пищевых систем – от нано- и супрамолекулярного уровня до более крупных агрегатов – и их функциональными свойствами.

В то же время популяризируется применение наноразмерных пищевых добавок и обогащённых ими продуктов. Исследования показывают, что как в самих добавках, так и в конечных продуктах их введение на наноуровне приводит к существенному изменению физико-химических и функциональных свойств [21].

Постоянно расширяющийся ассортимент специализированной пищевой продукции стимулирует развитие и совершенствование технологий получения концентратов биологически активных веществ растительного происхождения, предназначенных для использования в качестве функциональных пищевых ингредиентов. Поскольку содержание минорных биологически активных веществ в растительном сырье, невелико, возникает необходимость в их целенаправленном выделении и концентрировании для эффективного включения в составы продуктов специализированного назначения.

С целью максимального извлечения биологически активных веществ из сельскохозяйственного сырья используют их различные модификации. Также, весь процесс извлечения данных веществ проходит в рамках бережливого производства, что позволяет получить качественное и безопасное сырье, используемое в структуре нутрицевтика [4–6].

Биологически активные органические соединения – это органические соединения, которые особым образом воздействуют на биологические системы, такие как животные, растения или микроорганизмы, в том числе на человека. Одним из биологических соединений являются фенольные соединения – это вещества, содержащее в своей молекуле ароматическое (бензольное) кольцо, которое несет одну, две или более гидроксильных групп [7].

Фенольные соединения часто называют растительными фенолами из-за того, что большая часть ароматических природных производных включает в структурную формулу фенольную функцию либо образуется из фенольных соединений и продуцируется растениями [8, 9].

Связь белков с флавоноидами активно изучается и заключается в их взаимодействии, где флавоноиды могут влиять на функции белков, а белки могут влиять на усвоение флавоноидов. Флавоноиды могут ингибировать или активировать ферменты, блокировать рецепторы, тем самым регулируя клеточные сигнальные пути. Кроме того, флавоноиды могут образовывать комплексы с белками. Поэтому исследования количества белка в исследуемых образах является

значимой часть, для выявления конкретизации образуемого комплекса и влияния на дальнейшие этапы [10].

Фенольная функция наиболее распространена среди ароматических производных бензольного ряда (нафталиновые и антраценовые соединения с фенольными функциями распространены в несколько меньшей степени).

Основными местами синтеза фенольных соединений являются пластиды, митохондрии, эндоплазматический ретикулум, местами их внутриклеточной локализации – вакуоли, клеточная стенка. Установленным является факт, что значительная доля усвоенного при фотосинтезе углерода используется на образование ароматических аминокислот и их производных. Такие ароматические аминокислоты как фенилаланин, триптофан и тирозин не только важны для синтеза белка, но и служат предшественниками тысяч специфических соединений, влияющих на рост растений, их развитие, размножение и адаптацию [11, 12].

Фенольные соединения можно классифицировать по следующим признакам (рисунок 1).

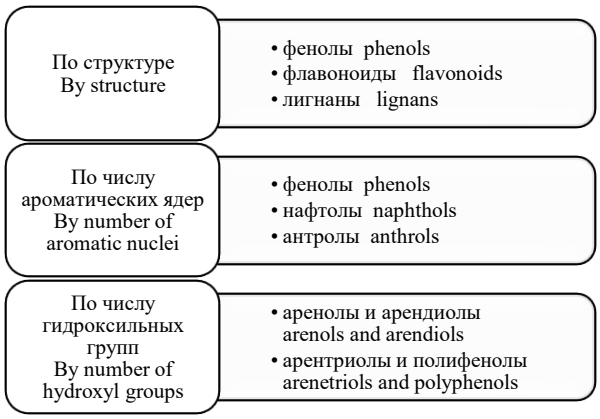


Рисунок 1. Классификация фенольных соединений

Figure 1. Classification of phenolic compounds

Одним из самых больших классов являются флавоноиды, основу которых составляет скелет, имеющий два ароматических кольца, связанных тремя углеродными атомами. Образование флавоноидных соединений является особенностью высших растений и не свойственно грибам, лишайникам и микроорганизмам. Флавоноиды неравномерно распределяются в растениях – в основном содержатся в листьях, цветках, плодах, меньше в стеблях и подземных органах. В клетках флавоноиды накапливаются в вакуолях в виде гликозидов. Свободные флавоноиды находятся в специальных образованиях: смоляные и эфиромасляные ходы, канальца, железки и т. д. В надземных частях растений 85% флавоноидов локализовано в клетках эпидермы и только 15% в остальных тканях [10, 12].

Функции фенольных соединений в растениях (рисунок 2):



Рисунок 2. Функции фенольных соединений в растениях

Figure 2. Functions of phenolic compounds in plants

В организме человека и животных (рисунок 3):

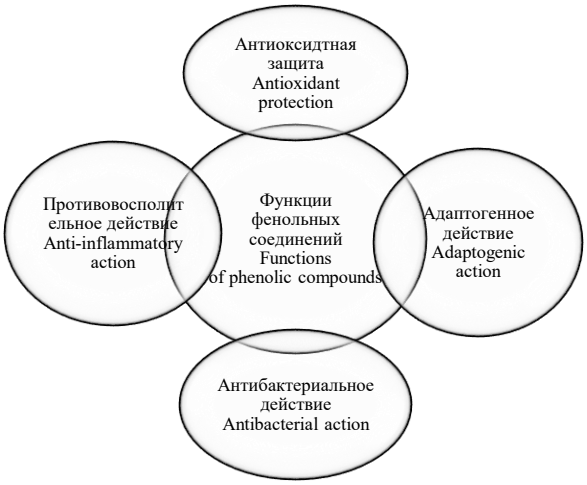


Рисунок 3. Функции фенольных соединений в организме человека и животных

Figure 3. Functions of phenolic compounds in the body of humans and animals

Условно методы для определения фенольных соединений в сельскохозяйственном сырье подразделяются на несколько групп (рисунок 4).

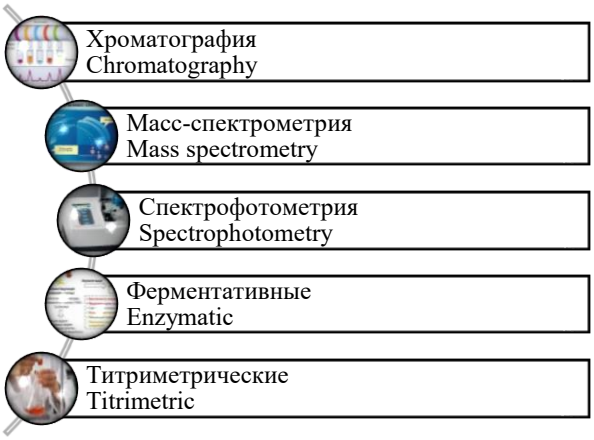


Рисунок 4. Методы определения фенольных соединений в сельскохозяйственном сырье

Figure 4. Methods for determining biologically active substances in agricultural raw materials

Общее содержание фенольных соединений в образце определяют колориметрическим методом с использованием реактива Фолина–Чокальтеу. Для этого сначала готовят экстракт: исследуемый образец обрабатывают растворителем, состоящим из метанола, соляной кислоты и воды в заданном соотношении, затем декантируют, центрифугируют и хранят полученный раствор при температуре -20 °С до анализа. Перед измерением готовят реакционную смесь, в которую последовательно добавляют дистиллированную воду, экстракт, раствор карбоната натрия (Na_2CO_3) и реактив Фолина–Чокальтеу. После инкубации оптическую плотность полученной смеси измеряют спектрофотометрически при длине волны 725 нм.

Для количественной оценки строят калибровочный график на основе стандартных растворов галловой кислоты. Наклон калибровочной зависимости рассчитывают в программе Excel как отношение известных концентраций галловой кислоты к соответствующим средним значениям оптической плотности. Результаты анализа выражают в миллиграммах эквивалентов галловой кислоты на единицу массы или объёма образца (мг GAE/г или мг GAE/мл) [13].

Экстракцию биологически активных веществ из растительного сырья можно осуществлять с использованием нескольких методов:

Экстракция в аппарате Сокслета (перколяция) – с применением различных растворителей высокой чистоты (марки ХЧ): ацетона, 96%-ного этанола, хлороформа, а также дистиллированной воды.

Мацерация – проводится с этанолом различной концентрации; продолжительность процесса варьируется от 30 до 120 минут.

Микроволновая экстракция – выполняется с использованием 96%-ного этанола при удельной мощности СВЧ-поля 350 Вт/ч; режимы обработки (модуль и длительность в минутах) подбираются индивидуально.

Сверхкритическая флюидная экстракция (СКФЭ) – осуществляется на установке SFE 5000 (Waters, США) с использованием диоксида углерода в качестве экстрагента. Навеску сырья помещают в экстракционный автоклав, нагревают до 80 °С, после чего проводят экстракцию при заданном давлении, скорости потока CO_2 и определённой продолжительности (в минутах). В качестве сорастворителя добавляют этанол.

Содержание сухих веществ в полученных экстрактах определяют гравиметрическим методом. В состав этих сухих остатков входят низкомолекулярные фенольные соединения, флавоноиды, антрагликозиды и другие биологически активные компоненты [14, 15].

С целью изучения влияния температуры на эффективность экстракции проводили серию экспериментов по извлечению флавоноидов и каротиноидов в диапазоне температур от 20 до 100 °С. Растительное сырьё и экстрагент использовали в соотношении, обеспечивающем максимальную экстракцию, и выдерживали в течение одного часа при различных температурах, включая режим кипячения. Степень извлечения оценивали по концентрации полученных экстрактов.

Результаты показали, что повышение температуры способствует незначительному увеличению выхода целевых соединений, при этом наиболее полное извлечение красящих веществ – флавоноидов и каротиноидов – достигается именно при кипячении. В этих условиях сырьё и экстрагент в соотношении 1:3 подвергают кипячению в колбе с обратным холодильником в течение заданного времени, после чего определяют концентрацию пигментов в экстракте.

Установлено, что концентрация флавоноидов и каротиноидов в экстракте сначала возрастает с увеличением продолжительности кипячения, а затем достигает плато, оставаясь практически неизменной при дальнейшем увеличении времени обработки [16].

Для анализа компонентного состава полученных экстрактов широко применяют метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Хроматографическое разделение проводят на колонке размером 75 • 2 мм с использованием градиентного элюирования: подвижная фаза состоит из воды и ацетонитрила, при этом концентрация ацетонитрила плавно увеличивается от 0 до 100% в течение 30 минут.

Идентификацию отдельных компонентов осуществляют путём сравнения их хроматографических характеристик с таковыми у внутренних эталонов, включая стандартные образцы органических кислот, лютеолина, рутина, кверцетина и других известных соединений.

Следует понимать, что хроматограммы представляют собой как минимум 18 отдельных пиков, определения которых в полной мере заложены в настоящее время, что обусловлено стандартными образцами [17, 18].

Также возможна экстракция фенольных соединений 96%-ным этанолом из замороженного жидким азотом и измельченного растительного материла. Гомогенат центрифугируют. Надосадочную жидкость отделяют и используют для одновременного определения суммарного содержания фенольных соединений с реактивами Фолина-Дениса и Фолина-Чокальтеу. Содержание фенольных соединений в растительном материале выражают в мг-экв. галловой кислоты / г сырой массы [22].

Известен способ определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных объектах, заключающийся в их измельчении, экстрагировании в этаноле при добавлении к экстракту реактива Фолина-Чокальтеу и углекислого натрия и последующем измерении на спектрофотометре при длине волны 725 нм. [19].

Все представленные методы применяются для количественного определения фенольных соединений в растительном сырье и различаются по таким параметрам, как масса навески, способ экстрагирования, а также состав реактивов и используемое оборудование.

Материалы и методы

Целью исследования является проведение анализа существующих методов и выявление наиболее целесообразного для определения биологически активных веществ в исследуемом сельскохозяйственном сырье.

Объектами исследования являлись образцы сельскохозяйственного сырья – пшеницы и чечевицы Омской области, модифицированные методами биофортификации, в частности селекцией.

Методом, используемым для определения количества фенольных соединений выбран – метод определения суммарного содержания фенольных соединений [20], позволяющий повысить безопасность работы при сокращении времени экстракции. Навеску измельчённого растительного сырья массой 0,1 г помещали в пробирку и добавляли 3 см³ 96%-ного этанола. Экстракцию фенольных соединений проводили при 45 °С в течение 45 минут с периодическим перемешиванием. По завершении экстракции образцы центрифугировали 2 минуты при 16 000 об/мин.

Из полученного экстракта отбирали аликвоту объёмом 0,3 см³ и переносили в чистую пробирку. К ней добавляли 0,3 см³ реактива Фолина–Чокальтеу, предварительно разведённого в 5 раз, и тщательно перемешивали. Через 3 минуты вносили 0,6 см³ 20%-ного раствора карбоната натрия (Na_2CO_3) и 4,8 см³ дистиллированной воды, после чего пробирку плотно закрывали, перемешивали и выдерживали при комнатной температуре в течение 1 часа.

По истечении этого времени оптическую плотность раствора измеряли спектрофотометрически при длине волны 725 нм. Для количественного определения строили калибровочную кривую на основе стандартных растворов галловой кислоты. Результаты выражали в миллиграммах галловой кислоты на 100 граммов продукта.

Количество белка определяли с использованием общепринятого метода Кьельдаля в соответствии с ГОСТ 10846–91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка». Данный метод позволяет эффективно оценивать массовую долю белка и общее содержание азота в исследуемых образцах. Суть метода заключается в следующем: органический азот, содержащийся в пробе, при минерализации в присутствии концентрированной серной кислоты и под действием нагревания количественно превращается в сульфат аммония. Затем к полученному раствору добавляют щелочь, в результате чего выделяется аммиак, который отгоняют с помощью перегонки. Выделенный аммиак улавливают в стандартный раствор кислоты и определяют его количество титриметрически. Содержание белка рассчитывают по содержанию азота с использованием стандартного пересчётного коэффициента 6,25, принятого для большинства растительных белков.

Эксперимент проводился в трёхкратной повторности для каждого из исследуемых образцов. На первом этапе было определено содержание белка в образцах модифицированного растительного сырья – пшеницы и чечевицы, выращиваемых в Омской области, модифицированных методами биофортификации, в частности селекцией.

При анализе полученных данных исследования количества белка в образцах пшеницы установлено, что наибольшая массовая доля белка получена в образце – фиолетовозерной пшеницы и составила 13,23%. В образцах чечевицы наибольшая массовая доля белка определена в черной чечевице и составила 28,32%. Полученные данные свидетельствуют, что из выбранных для исследования образов сельскохозяйственного сырья наибольшая массовая доля белка содержится в фиолетовозерной пшенице и черной чечевице.

Результаты определения суммарного содержания фенольных соединений, в образцах сельскохозяйственного сырья представлены в таблицах 3 и 4 соответственно. Наибольшее количество данных соединений содержится в образце фиолетовозерной пшеницы – 328 мг GAE/100 г продукта.

Содержание фенольных соединений в черной чечевице Рубиновая составляет 110 мг GAE/100 г продукта, что превышает показатели других образцов чечевицы более чем в два раза.

Полученные результаты, позволяют рассматривать данное сырье в качестве источников извлечения биологически активных веществ и включения их в составы продуктов специализированного назначения.

По совокупности полученных данных установлено, что наибольшее содержание фенольных соединений выявлено в образцах

коричнево-красной чечевицы Рубиновая и фиолетовозерной пшеницы. Что, вероятно, обусловлено высокой концентрацией антоцианов и других фенольных пигментов, характерных для тёмноокрашенных сортов зернобобовых и злаковых культур, которые вносят значительный вклад в общую фенольную активность. Полученные результаты согласуются с литературными данными, указывающими на то, что пигментированные формы зерновых и бобовых, как правило, обладают более высоким уровнем вторичных метаболитов по сравнению со светлыми сортами.

Таблица 1.

Количество белка в образцах пшеницы

Table 1.

The amount of protein in wheat samples

Образец | Sample	Серия экспериментов Experiments	Массовая доля белка, % Protein mass fraction, %	Массовая доля белка, % Protein mass fraction, %
1	1	13,15	13,23 ± 0,11
	2	13,32	
	3	13,23	
2	1	12,55	12,53 ± 0,12
	2	12,46	
	3	12,58	
3	1	12,05	12,05 ± 0,11
	2	12,06	
	3	12,04	
Источник: составлено авторами по результатам собственного проведенного эксперимента в рамках Гранта			

Таблица 2.

Количество белка в образцах чечевицы

Table 2.

Protein content in lentil samples

Образец | Sample	Серия экспериментов Experiments	Массовая доля белка, % Protein mass fraction, %	Массовая доля белка, % Protein mass fraction, %
Опыт 1 (чечевица Татьянка зелёная крупная)	1	23,43	23,53 ± 0,13
	2	23,51	
	3	23,66	
Опыт 2 (чечевица ALP Linsen коричневая с пятнами)	1	22,15	22,17 ± 0,12
	2	22,18	
	3	22,17	
Опыт 3 (чечевица черная)	1	28,34	28,32 ± 0,11
	2	28,31	
	3	28,32	
Опыт 4 (чечевица Рубиновая коричнево-красная)	1	24,57	24,55 ± 0,11
	2	24,58	
	3	24,51	
Источник: составлено авторами по результатам собственного проведенного эксперимента в рамках Гранта			

Таблица 3.

Суммарное содержание фенольных соединений в образцах пшеницы в мг GAE/100 г. продукта

Table 3.

Total content of phenolic compounds in wheat samples in mg GAE/100 g of product

Образец | Sample	Серия экспериментов Experiments	Содержание фенольных соединений в мг GAE/100г продукта Phenolic compound content in mg GAE/100g of product	Среднее содержание фенольных соединений в мг GAE/100г продукта Average phenolic compound content in mg GAE/100g of product
1	1	328	328 ± 16
	2	329	
	3	328	
2	1	185	185 ± 9
	2	184	
	3	186	
3	1	192	192 ± 10
	2	193	
	3	191	
Источник: составлено авторами по результатам собственного проведенного эксперимента в рамках Гранта			

Таблица 4.

Суммарное содержание фенольных соединений в образцах чечевицы в мг GAE/100г продукта

Table 4.

Total content of phenolic compounds in lentil samples in mg GAE/100 g of product

Образец	Серия экспериментов Experiments	Содержание фенольных соединений в мг GAE/100г продукта Phenolic compound content in mg GAE/100g of product	Среднее содержание фенольных соединений в мг GAE/100г продукта Average phenolic compound content in mg GAE/100g of product
1	1	106	105 ± 6
	2	105	
	3	105	
2	1	102	102 ± 5
	2	101	
	3	103	
3	1	98	98 ± 5
	2	99	
	3	97	
4	1	110	110 ± 6
	2	109	
	3	111	
Источник: составлено авторами по результатам собственного проведенного эксперимента в рамках Гранта			

Заключение

Извлечение биологически активных веществ из модифицированного сельскохозяйственного сырья представляет собой один из ключевых этапов в создании функциональных продуктов питания.

Анализ и сравнительная оценка доступных методик позволили обоснованно выбрать наиболее простой и точный метод количественного определения биологически активных веществ в модифицированном сельскохозяйственном сырье, произрастающем в Омской области, адаптированный к специфике химического состава данного вида сырья. Что формирует предпосылки для его широкого применения в пищевой промышленности.

Согласно полученным данным, исследуемые образцы модифицированного сельскохозяйственного сырья отличаются высокой белковой ценностью. Фиолетовозерная пшеница демонстрирует повышенное содержание белка (13,23%) по сравнению с традиционными сортами пшеницы, что позволяет отнести её к перспективному сырью для производства функциональных и обогащённых продуктов питания. Чёрная чечевица подтверждает статус одного из самых богатых растительных источников белка (28,32%), превосходя многие бобовые культуры. Что особенно актуально в контексте развивающегося спроса на альтернативные белки в растительных диетах. Оба исследуемых образца могут быть рекомендованы в качестве ценных источников сырья для разработки специализированных пищевых продуктов и биологически активных компонентов.

Так же определено, что исследуемые образцы (опыт 1 (пшеница фиолетовозерная) и Опыт 4 (чечевица Рубиновая коричнево-красная)) отличаются повышенным содержанием фенольных соединений. Фиолетовозерная пшеница содержит значительное количество фенольных соединений – 328 мг GAE/100 г. продукта, что указывает на её высокую антиоксидантную активность. Чечевица Рубиновая коричнево-красная также выделяется среди других сортов чечевицы по содержанию фенольных веществ (110 мг GAE/100г продукта), что значительно превышает аналогичные показатели у других образцов.

Результаты подчёркивают, что пигментированные сорта зерновых и бобовых обладают повышенной нутриентной и биологической ценностью по сравнению с традиционными и могут быть использованы в качестве функционального сырья при разработке функциональных и специализированных продуктов питания и биологически активных компонентов.

Благодарности

Аналитическое исследование, связанное с подготовкой рукописи, выполнено при финансировании Российского научного фонда (грант 25–16–20041), https://www.rscf.ru/project / 25–16–20041/

Литература

1 Указ Президента РФ от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: https://base.garant.ru/71551998/ (дата обращения: 15.11.2025).

2 Давыдова Н.С., Гращенкова Н.В. Система менеджмента бережливого производства и устойчивость лин-трансформаций // Новые технологии. 2021. Т. 17. № 2. С. 121–130. doi: 10.47370/2072-0920-2021-17-2-121-130

3 Чернопольская Н.Л., Скрябина О.В., Рябкова Д.С. Принцип бережливого производства как основа разработки биологически активного компонента комплексного действия // Продовольственная политика и безопасность. 2024. Т. 11. № 4. С. 1069–1082. doi: 10.18334/ppib.11.4.122057

4 Савинова Ю.С., Белькова Н.Л., Семёнова Н.В., Рычкова Л.В. История, современные направления и перспективы развития про- и пребиотических препаратов в России и за рубежом // Acta Biomedica Scientifica. 2022. Т. 7. № 5-1. С. 211–227. doi: 10.29413/ABS.2022-7.5-1.23

5 Gavrilova N., Chernopolskaya N., Rebezov M., Schetinina E., Dogareva N., Likhodeevskaya O., Knysh I., Sanova Z. Specialized sports nutrition foods: review // International Journal of Pharmaceutical Research. 2020. V. 12. № 2. P. 998–1003. doi: 10.31838/ijpr/2020.12.02.0152

6 Li Z., Luo X. Probiotics, Prebiotics, Synbiotics, Postbiotics, and Paraprobiotics – New Perspectives on Functional Foods and Nutraceuticals // Foods. 2025. V. 14. № 15. Article 2613. doi: 10.3390/foods14152613

7 Dias M.C., Pinto D.C., Silva A.M. Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity // Molecules. 2021. V. 26. № 17. Article 5377. doi: 10.3390/molecules26175377

8 Goncharuk E.A., Zagoskina N.V. Heavy Metals, Their Phyto-toxicity, and the Role of Phenolic Antioxidants in Plant Stress Responses with Focus on Cadmium // Molecules. 2023. V. 28. № 9. Article 3921. doi: 10.3390/molecules28093921

9 Panche A.N., Diwan A.D., Chandra S.R. Flavonoids: An overview // Journal of Nutritional Science. 2016. V. 5. Article e47. doi: 10.1017/jns.2016.41

10 Зверев Я.Ф., Брюханов В.М. Флавоноиды как перспективные природные антиоксиданты // Бюллетень медицинской науки. 2017. № 1 (5). С. 20–27.

11 Fan L., Fan W., Mei Y. et al. Mechanochemical assisted extraction as a green approach in preparation of bioactive components extraction from natural products – A review // Trends in Food Science & Technology. 2022. V. 129. P. 98–110. doi: 10.1016/j.tifs.2022.09.009

12 Manzoor M.A., Sabir I.A., Shah I.H. et al. Flavonoids: a review on biosynthesis and transportation mechanism in plants // Functional & Integrative Genomics. 2023. V. 23. № 3. Article 212. doi: 10.1007/s10142-023-01147-4

13 Гринвальд С.А. Исследование фенольных соединений в муке из виноградных косточек // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2023. С. 268–273.

14 Herzyk F., Piłakowska-Pietras D., Korzeniowska M. Supercritical extraction techniques for obtaining biologically active substances from a variety of plant byproducts // Foods. 2024. V. 13. № 11. Article 1713. doi: 10.3390/foods13111713

15 Waseem M., Majeed Y., Nadeem T. et al. Conventional and advanced extraction methods of some bioactive compounds with health benefits of food and plant waste: A comprehensive review // Food Frontiers. 2023. V. 4. № 4. P. 1681–1701. doi: 10.1002/fft2.296

16 Шарипова М.Б., Икрами М.Б., Мирзорахимов К.К., Саидов Х.А. Исследование процесса экстракции пищевых красителей из нетрадиционного растительного сырья // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2023. № 1. С. 66–71. doi: 10.24412/2311-6447-2023-1-66-71

17 Ефремов А.А., Савельева Е.Е. Компонентный состав и антирадикальная активность экстрактивных веществ котовника кошачьего Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1. С. 206–213.

18 Stobiecki M., Mroczek A. LC-MS in flavonoid analysis // Phytochemical Analysis. 2020. V. 31. № 2. P. 113–127.

19 Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Загскина Н.В. Метод определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных экстрактах с реактивом Фолина–Дениса и реактивом Фолина–Чокальтеу: модификация и сравнение // Химия растительного сырья. 2023. № 2. С. 291–299. doi: 10.31643/2023/1999-5443.2.21

20 Пат. 2700787 Российская Федерация, МПК G01N 33/00, A01G 7/00. Способ определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных объектах / Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Нечаева Т.Л., Загоскина Н.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт садоводства». № 2019110069; заявл. 05.04.2019; опубл. 23.09.2019, Бюл. № 27.

21 Попов К.И., Филиппов А.Н. Пищевые нанотехнологии: перспективы и проблемы // Переработка молока. 2010. № 3. С. 6–10.

References

1 Decree of the President of the Russian Federation of December 1, 2016 No. 642 “On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation”. Available at: https://base.garant.ru/71551998/ (accessed: 15.11.2025) (in Russian).

2 Davydova N.S., Grashchenkova N.V. Lean manufacturing management system and sustainability of lean transformations. New Technologies. 2021. vol. 17. no. 2. pp. 121–130. doi: 10.47370/2072-0920-2021-17-2-121-130 (in Russian).

3 Chernopolskaya N.L., Skryabina O.V., Ryabkova D.S. The principle of lean production as a basis for the development of a biologically active component of complex action. Food Policy and Security. 2024. vol. 11. no. 4. pp. 1069–1082. doi: 10.18334/ppib.11.4.122057 (in Russian).

4 Savinova Yu.S., Belkova N.L., Semenova N.V., Rychkova L.V. History, current trends and prospects for the development of pro- and prebiotic drugs in Russia and abroad. Acta Biomedica Scientifica. 2022. vol. 7. no. 5-1. pp. 211–227. doi: 10.29413/ABS.2022-7.5-1.23 (in Russian).

5 Gavrilova N., Chernopolskaya N., Rebezov M., Schetinina E., Dogareva N., Likhodeevskaya O., Knysh I., Sanova Z. Specialized sports nutrition foods: review. International Journal of Pharmaceutical Research. 2020. vol. 12. no. 2. pp. 998–1003. doi: 10.31838/ijpr/2020.12.02.0152.

6 Li Z., Luo X. Probiotics, Prebiotics, Synbiotics, Postbiotics, and Paraprobiotics – New Perspectives on Functional Foods and Nutraceuticals. Foods. 2025. vol. 14. no. 15. article 2613. doi: 10.3390/foods14152613.

7 Dias M.C., Pinto D.C., Silva A.M. Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. Molecules. 2021. vol. 26. no. 17. article 5377. doi: 10.3390/molecules26175377.

8 Goncharuk E.A., Zagoskina N.V. Heavy Metals, Their Phyto-toxicity, and the Role of Phenolic Antioxidants in Plant Stress Responses with Focus on Cadmium. Molecules. 2023. vol. 28. no. 9. article 3921. doi: 10.3390/molecules28093921.

9 Panche A.N., Diwan A.D., Chandra S.R. Flavonoids: An overview. Journal of Nutritional Science. 2016. vol. 5. article e47. doi: 10.1017/jns.2016.41.

10 Zverev Ya.F., Bryukhanov V.M. Flavonoids as promising natural antioxidants. Bulletin of Medical Science. 2017. no. 1 (5). pp. 20–27. (in Russian).

11 Fan L., Fan W., Mei Y. et al. Mechanochemical assisted extraction as a green approach in preparation of bioactive components extraction from natural products – A review. Trends in Food Science & Technology. 2022. vol. 129. pp. 98–110. doi: 10.1016/j.tifs.2022.09.009.

12 Manzoor M.A., Sabir I.A., Shah I.H. et al. Flavonoids: a review on biosynthesis and transportation mechanism in plants. Functional & Integrative Genomics. 2023. vol. 23. no. 3. article 212. doi: 10.1007/s10142-023-01147-4.

13 Grinvald S.A. Study of phenolic compounds in grape seed flour. Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International Participation. 2023. pp. 268–273. (in Russian).

14 Herzyk F., Piłakowska-Pietras D., Korzeniowska M. Supercritical extraction techniques for obtaining biologically active substances from a variety of plant byproducts. Foods. 2024. vol. 13. no. 11. article 1713. doi: 10.3390/foods13111713.

15 Waseem M., Majeed Y., Nadeem T. et al. Conventional and advanced extraction methods of some bioactive compounds with health benefits of food and plant waste: A comprehensive review. Food Frontiers. 2023. vol. 4. no. 4. pp. 1681–1701. doi: 10.1002/fft2.296.

16 Sharipova M.B., Ikrami M.B., Mirzorakhimov K.K., Saidov Kh.A. Study of the extraction process of food colorants from non-traditional plant raw materials. Technologies of food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. 2023. no. 1. pp. 66–71. doi: 10.24412/2311-6447-2023-1-66-71 (in Russian).

17 Efremov A.A., Savelyeva E.E. Component composition and antiradical activity of extractive substances of catnip in the Krasnoyarsk Territory. Bulletin of KrasGAU. 2023. no. 1. pp. 206–213. (in Russian).

18 Stobiecki M., Mroczek A. LC-MS in flavonoid analysis. Phytochemical Analysis. 2020. vol. 31. no. 2. pp. 113–127. doi: 10.1002/pca.2883.

19 Nikolaeva T.N., Lapshin P.V., Zagszkina N.V. Method for determining the total content of phenolic compounds in plant extracts with Folin-Denis reagent and Folin-Ciocalteu reagent: modification and comparison. Chemistry of plant raw materials. 2023. no. 2. pp. 291–299. doi: 10.31643/2023/1999-5443.2.21 (in Russian).

20 Patent no. 2700787, Russian Federation, IPC G01N 33/00, A01G 7/00. Method for determining the total content of phenolic compounds in plant objects. Nikolaeva T.N., Lapshin P.V., Nechaeva T.L., Zagoskina N.V.; applicant and patent holder Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Horticulture". no. 2019110069; filed 05.04.2019; publ. 23.09.2019, Bull. no. 27. (in Russian).

21 Popov K.I., Filippov A.N. Food nanotechnology: prospects and problems. Milk Processing. 2010. no. 3. pp. 6–10. (in Russian).

Сведения об авторах

Наталья Л. Чернопольская д.т.н., доцент, кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет имени П.А, Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия, nl.chernopolskaya@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-1359-9190

Сергей А. Коновалов к.т.н., доцент, кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет имени П.А, Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия, sa.konovalova@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-3537-8081

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра управления социально-экономическими системами и бизнес-, Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, г. Воронеж, 394030, Россия; профессор консультант, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, mto.vrn@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8817-1466

Information about authors

Natalia L. Chernopolskaya Dr. Sci. (Engin.), associate professor, food products and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya Square, 1, Omsk, 644008, Russia, nl.chernopolskaya@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-1359-9190

Sergey A. Konovalov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya Square, 1, 644008, Russia, sa.konovalova@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-3537-8081

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci.(Engin) professor, management of socio-economic systems and business processes department, Voronezh branch of the Plekhanov Russian University of Economics, Karl Marx, st., 67A, Voronezh, 394030, Russia; consultant professor, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, mto.vrn@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8817-1466

Ольга В. Скрябина к.т.н., доцент, кафедра кормления животных и частной зоотехнии, Омский государственный аграрный университет имени П.А, Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Росси, ov.skryabina@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-2700-6683

Юлия А. Подольникова к.т.н., доцент, кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Росси, yua.podolnikova@omgau.org
https://orcid.org/0000-0002-4132-6045

Дина С. Рябкова к.т.н., доцент, кафедра кормления животных и частной зоотехнии, Омский государственный аграрный университет имени П.А, Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Росси, ds.ryabkova@omgau.org
https://orcid.org/0000-0002-6605-3485

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Olga V. Skryabina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, animal nutrition and private animal science department, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya Square, 1, Omsk, 644008, Russia, ov.skryabina@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-2700-6683

Yulia A. Podolnikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya Square, 1, Omsk, 644008, Russia, yua.podolnikova@omgau.org
https://orcid.org/0000-0002-4132-6045

Dina S. Ryabkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, animal nutrition and private animal science department, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya Square, 1, Omsk, 644008, Russia, ds.ryabkova@omgau.org
https://orcid.org/0000-0002-6605-3485

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/10/2025 **После редакции** 18/11/2025 **Принята в печать** 20/11/2025

Received 17/10/2025 **Accepted in revised** 18/11/2025 **Accepted** 20/11/2025