







Оценка эффективности инактивации фитатов в чечевице и продуктах ее переработки

Виктор Е. Плотников	¹	viktor_plotnikov_1999@mail.ru	 0000-0001-6707-8337
Светлана В. Образцова	¹	sveta5501pavlenkova@yandex.ru	 0000-0001-9539-0168
Дарья Е. Скосарь	¹	dartch.skosar@yandex.ru	 0009-0006-4260-8948
Валерия В. Курганская	¹	kurganskaya.28.11@icloud.com	 0009-0008-0568-1411
Инесса В. Плотникова	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652
Константин К. Полянский	^{1,2}	mto.vrn@mail.ru	 0000-0002-8817-1466







¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Воронежский филиал ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова», ул. К. Маркса, 67А, г. Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. Присутствие в растительном сырье антипитательных веществ снижает его пищевую и питательную ценность. Фитиновая кислота и ее соли являются антиалиментарным фактором и оказывают негативный эффект на биодоступность и усвоение важных пищевых веществ. Эффективными способами снижения содержания фитинов является применение технологических приёмов: шелушение, замачивание, варка, проращивание, экструзия. Целью работы являлось определение наличия и содержания солей фитиновой кислоты качественным и количественным методом в нативной чечевице и в продуктах ее переработки (экструдат, сушеная и пророщенная чечевица, чечевичный экстракт (аквафаба)). Для качественного определения солей фитиновой кислоты применяли метод титрования раствора фитиновой кислоты исследуемых объектов с использованием реактива Вэйда. Количественный метод заключается в измерении ослабления окраски комплекса железа с роданидом из-за конкурентного связывания железа фитиновой кислотой. Результаты исследований показали, что содержание фитина в замоченной чечевице сортов КДЦ «Кермит» и «Орловская краснозерная» по сравнению с нативной снизилось соответственно на 7,7 % и 6,6 %. При уваривании незамоченной и замоченной чечевицы в воде, фитиновая кислота и ее соли физически диффундируют в водную фазу и их содержание в экстракте составило от 17,7 до 19,3 %, остальные 80,7–82,3 % остались в вареной чечевице. После экструдирования и сушки вареной чечевицы содержание фитина в экструдате снизилось на 3,3 % и 3,8 %, а в сушеной чечевице соответственно – на 1,6 % и 2,2 %. При получении чечевичного экстракта содержание фитина в растворе составило 0,32 % и 0,35 %, причем предварительное замачивание чечевицы позволило снизить содержание фитина до 0,30 % и 0,33 %. Самым эффективным способом снижения фитинов является проращивание чечевицы, при котором содержание фитина снизилось на 37 % и 41 %.

Ключевые слова: чечевица, продукты переработки чечевицы, методы определения солей фитиновой кислоты, эффективность инактивации.

Evaluation of the effectiveness of phytate inactivation in lentils and it's processed products

Viktor E. Plotnikov	¹	viktor_plotnikov_1999@mail.ru	 0000-0001-6707-8337
Svetlana V. Obraztsova	¹	sveta5501pavlenkova@yandex.ru	 0000-0001-9539-0168
Daria E. Skosar	¹	dartch.skosar@yandex.ru	 0009-0006-4260-8948
Valeriia V. Kurganskaia	¹	kurganskaya.28.11@icloud.com	 0009-0008-0568-1411
Inessa V. Plotnikova	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652
Konstantin K. Polyanskii	^{1,2}	mto.vrn@mail.ru	 0000-0002-8817-1466

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Voronezh branch FSBEI HE Russian University of Economics named after G. V. Plekhanov, 67A K. Marx St., Voronezh, 394030, Russia

Abstract. The presence of anti-nutritional substances in plant raw materials reduces its nutritional and nutritional value. Phytic acid and its salts are an anti-inflammatory factor and have a negative effect on the bioavailability and assimilation of important nutrients. Effective ways to reduce the content of phytins are the use of technological techniques: peeling, soaking, cooking, germination, extrusion. The aim of the work was to determine the presence and content of phytic acid salts by qualitative and quantitative methods in native lentils and in its processed products (extrudate, dried and sprouted lentils, lentil extract (aquafaba)). For the qualitative determination of phytic acid salts, the method of titration of a phytic acid solution of the studied objects using Wade's reagent was used. The quantitative method consists in measuring the weakening of the color of the iron-rhodanide complex due to the competitive binding of iron by phytic acid. The research results showed that the phytin content in soaked KDC "Kermit" and "Orlovskaya Krasnozernaya" lentils decreased by 7.7 % and 6.6 %, respectively, compared with native ones. When boiled unsoaked and soaked lentils in water, phytic acid and its salts physically diffuse into the aqueous phase and their content in the extract ranged from 17.7 to 19.3 %, the remaining 80.7–82.3 % remained in boiled lentils. After extrusion and drying of boiled lentils, the phytin content in the extrudate decreased by 3.3 % and 3.8 %, and in dried lentils, respectively, by 1.6 % and 2.2 %. When lentil extract was obtained, the phytin content in the solution was 0.32 % and 0.35 %, and pre-soaking the lentils allowed to reduce the phytin content to 0.30 % and 0.33 %. The most effective way to reduce phytins is to germinate lentils, in which the phytin content decreased by 37 % and 41 %.

Keywords: lentils, lentil processing products, methods for the determination of phytic acid salts, inactivation efficiency.

Для цитирования

Плотников В.Е., Образцова С.В., Скосарь Д.Е., Курганская В.В., Плотникова И.В., Полянский К.К. Оценка эффективности инактивации фитатов в чечевице и продуктах ее переработки // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 1. С. 54–66. doi:10.20914/2310-1202-2026-1-54-66

For citation

Plotnikov V.E., Obraztsova S.V., Skosar D.E., Kurganskaia V.V., Plotnikova I.V., Polyanskii K.K. Evaluation of the effectiveness of phytate inactivation in lentils and it's processed products . Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 1. pp. 54–66. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-1-54-66

Введение

В условиях роста доли растительных рационов проблема негативного воздействия антиалиментарных факторов на нутритивный статус становится особенно актуальной, прежде всего для развивающихся регионов [1]. Обеспечение безопасности растительного сырья при одновременном снижении в его составе антиалиментарных компонентов, повышении качества и пищевой адекватности здорового рациона, является одной из приоритетных задач, решаемых на государственном и мировом уровне [2].

Злаковые и бобовые культуры являются ценным растительным сырьем при производстве функциональных продуктов питания, однако присутствие в их составе антипитательных веществ, оказывающих негативное влияние на организм человека, снижает их пищевую и питательную ценность [3].

К наиболее распространенным антиалиментарным факторам относятся: ингибиторы протеаз, трипсина и химотрипсина, лектины, алкалоиды, олигосахариды, танины, соли фитиновой кислоты (фитаты) и ряд других [4].

Большинство из вышеназванных компонентов не представляют значительной опасности для здоровья человека, но есть и такие, которые проявляют высокую токсичность при определенных условиях [2].

Фитиновая кислота или мио-инозитгексафосфорная кислота ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) является основной формой хранения фосфора (от 50 до 85%) и составляет 0,5–6% по массе в зерновых,

бобовых и масличных культурах, причем накапливается в растениях в период их созревания [5]. В растениях фитиновая кислота содержится в виде соли фитиновой кислоты – фитатов кальция и магния в форме фитинов, которые выполняют роль антиоксидантов и являются запасом около 2/3 фосфора в их клетках. Работают фитаты как сильно отрицательно заряженные ионы и оказывают негативный эффект на биодоступность и усвоение белков, витаминов и минеральных веществ [2]. Фитиновая кислота может связываться с ионами многовалентных (двух- и трёхвалентных) металлов Zn^{2+} , $Fe^{2+/3+}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , P^{3+} , $Co^{2+/3+}$ в нерастворимые комплексные соединения (фитаты), что делает их недоступными для усвоения и препятствует нормальному их всасыванию в тонком кишечнике. В «ловушку» фитата могут попасть и макромолекулы (белок, крахмал или соединения, образующие липиды). Кроме того, присутствие фитиновой кислоты тормозит расщепление белков и углеводов, ингибирует окисление жиров, вызывает снижение активности пищеварительных ферментов (пепсина, амилазы, протеазы, липазы, трипсина), необходимых для расщепления белков и крахмала. Декальцинирующий эффект фитатов увеличивается при снижении соотношения кальция и фосфора (оптимальное соотношение кальция и фосфора – 1 ÷ 2:1) и витамина D [6–8].

Фитиновая кислота – это сложный эфир циклического шестиатомного полиспирта мио-инозитола (или мио-инозита) и шести остатков ортофосфорной кислоты (рисунок 1).

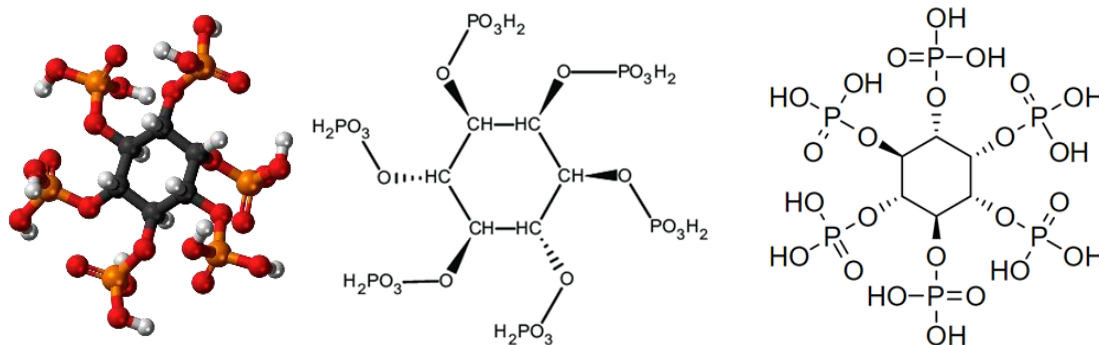


Рисунок 1. Структурная формула фитиновой кислоты [9]

Figure 1. The structural formula of phytic acid [9]

Молекула фитиновой кислоты имеет высокий хелатообразовательный потенциал и в нейтральной среде формирует нерастворимые соли (фитаты) с катионами. Шесть остатков фосфорной кислоты, связанных с инозитолом, могут принимать или отдавать до 12 протонов (ионов водорода) [5]. Установлено, что в среде с рН менее 1,1 фитиновая кислота имеет нейтральный заряд, то есть не отдает положительно заряженные ионы водорода. Приближение среды к рН 2 приведёт к ионизации 3-х фосфатных групп,

дальнейшее повышение рН приводит к потере последующих протонов. Таким образом, в среде с нейтральным рН, присущей растениям, фосфатные группы фитиновой кислоты частично диссоциируют, приобретая по одному или два отрицательных заряда, благодаря чему катионы (положительно заряженные ионы металлов, протонированные аминогруппы и т. п.) могут прочно хелатироваться остатками фосфорной кислоты [9], то есть связываться с молекулой фитата (рисунок 2).

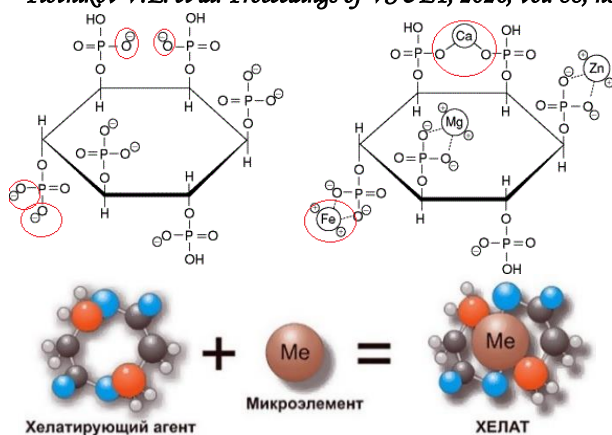


Рисунок 2. Структурная формула фитата и схема образования хелата с ионами многовалентного металла
Figure 2. The structural formula of phytate and the scheme of chelate formation with ions of a multivalent metal

Высвобождение катионов может происходить в результате гидролитического расщепления эфирных связей фитиновой кислоты фитазами животного, растительного или микробного происхождения. Фитаза разрушает эфирные связи фитатного комплекса, высвобождая фосфор и другие питательные вещества, делая их доступными для питания и роста растений [10].

В нашем организме нет ферментов, необходимых для гидролиза инозитол-фосфатных связей и расщепления фитатов, поэтому до 50% минеральных веществ, особенно железа, выводится из организма несбалансированными [11].

Известно, что фитаза вырабатывается микроорганизмами рубца, ее активность повышается при регулярном употреблении фитиновой кислоты и снижается при безфитиновой диете. Поэтому у тех, кто переходит к здоровому питанию с достаточным количеством пищевых волокон, фитиновая кислота действительно не разлагается, но по мере привыкания к такому рациону, активность фитазы будет увеличиваться [12].

Однако известно, что до 60% от общего количества фитатов может гидролизироваться под воздействием ферментов микрофлоры и кислой среды желудка, а остальное – в тонком кишечнике [13].

Снижение биодоступности ряда важных микронутриентов с отсутствием или недостатком у человека фермента фитазы в пищеварительном тракте приводит к их дефициту, что ведет к железо- и йоддефицитному состоянию, особенно это касается людей, у которых обедненный однообразный рацион питания. К группам риска по развитию этих дефицитов относятся дети, подростки, беременные и кормящие женщины, вегетарианцы, веганы, пожилые люди,

у которых также часто встречается дефицит кальция. При разнообразном и сбалансированном питании фитиновая кислота не представляет большой опасности для здоровья [12].

Однако современные исследования раскрывают многогранную физиологическую роль фитиновой кислоты, выходящую за рамки простого антинутриента, что требует пересмотра подходов к оценке ее значения в питании [14]. Для человека и моногастричных животных эти соединения обладают двойственным действием. С одной стороны, они рассматриваются как классические антинутриенты, способные существенно снижать биодоступность критически важных минералов и ухудшать переваримость пищевых веществ [15]. С другой – в контексте сбалансированного питания фитиновая кислота демонстрирует ряд полезных свойств, включая антиоксидантную активность, что позволяет классифицировать её как потенциальный нутрицевтик [16]. С одной стороны, фитиновая кислота может хелатировать кальций и приводить к остеопорозу, с другой стороны, это может предотвращать образование камней в почках. Хелатирование железа может привести к дефициту железа, но снижает окислительный стресс в организме, предотвращает катализацию реакций перекисного окисления липидов, оказывая антиоксидантный эффект [5]. В экспериментальных исследованиях подтверждены протективные эффекты фитиновой кислоты в отношении рака толстой кишки, молочной железы, заболеваний сердечно-сосудистой системы и др. [5]. Фитиновая кислота может улучшать липидный и углеводный обмен, что представляет интерес для профилактики диабета 2 типа [17]. Отдельные опыты на людях показали, что при длительном потреблении продуктов с высоким содержанием фитиновой кислоты, прочность костной структуры костей была выше, чем у контрольной группы [15]. В организмах исследуемых женщин значительно снижается риск остеопороза [16]. Чем больше человек употребляет в пищу продуктов, богатых фитатами, тем лучше его кишечник (микробиота) приспособляется к её расщеплению, и соответственно усвоению кальция, фосфора и других микроэлементов. То есть у последовательных вегетарианцев проблемы вообще нет, их ЖКТ на 100% справляется с фитиновой кислотой [17]. У людей, употребляющих в пищу достаточно продуктов, богатых фитатами, более высокая минеральная плотность костей, они реже страдают от остеопороза и перелома шейки бедра [18].

Имеются данные, что фитиновая кислота, как уникальный природный растительный антиоксидант, способствует удалению свободных радикалов из клеток организма. Она участвует в развитии, репарации ДНК, редактировании РНК, транспорте мРНК, реакции на стресс, гомеостазе и восприятии фосфатов; обладает противораковыми свойствами и играет профилактическую роль при таких заболеваниях, как болезни сердца и резистентность к инсулину. Более того, фитиновая кислота тормозит развитие клеток, съедающих костную ткань изнутри при остеопорозе [19].

Фитиновая кислота участвует в снижении перекисного окисления липидов и используется в качестве пищевого консерванта из-за своих антиоксидантных свойств [20]. Правильное добавление фитиновой кислоты в качестве антиоксиданта к растительным маслам или продуктам с высоким содержанием масла может продлить срок хранения в 3–5 раз. При добавлении ее в консервы позволяет добиться стабильности эффекта защиты цвета [21].

Таким образом, негативное влияние фитатов наиболее актуально для групп риска, в то время как в сбалансированном рационе их польза может перевешивать потенциальный вред.

На долю фитинового фосфора приходится большая часть общего фосфора, содержащегося в семенах различных культур. В целом, фитиновый фосфор составляет 60–80% от общего количества фосфора семян. Концентрация фитинового фосфора в различных органах растений неодинакова и колеблется от 0,5 до 6%, что зависит от типа семян, их содержания в конкретных частях, условий окружающей среды, климата и качества почвы. Большая часть фитина сосредоточена в семенах. Небольшие количества фитина присутствуют в вегетативных органах, например, корнях и корнеплодах – менее 0,1%, следовые – в листьях. [22]. В семенах большинства злаков фитин сосредоточен в алейроновом слое и зародыше, а в семенах двудольных растений, включая бобовые и масличные, он равномерно распределен по всему объёму семян [2].

Зерновые и бобовые культуры являются источниками питательных микроэлементов, однако биодоступность многих других минеральных веществ снижается в присутствии фитиновой кислоты (рисунок 3). Учёные извлекли фитиновую кислоту из зерновых, чтобы посмотреть, как усваивается железо при её отсутствии. Всасываемость железа из риса без фитатов увеличилась с 1,73 до 5,34%, из пшеницы – с 0,99 до 11,54%, из овсяной каши – с 0,33 до 2,79%. Следовательно, основной вред сводится к тому,

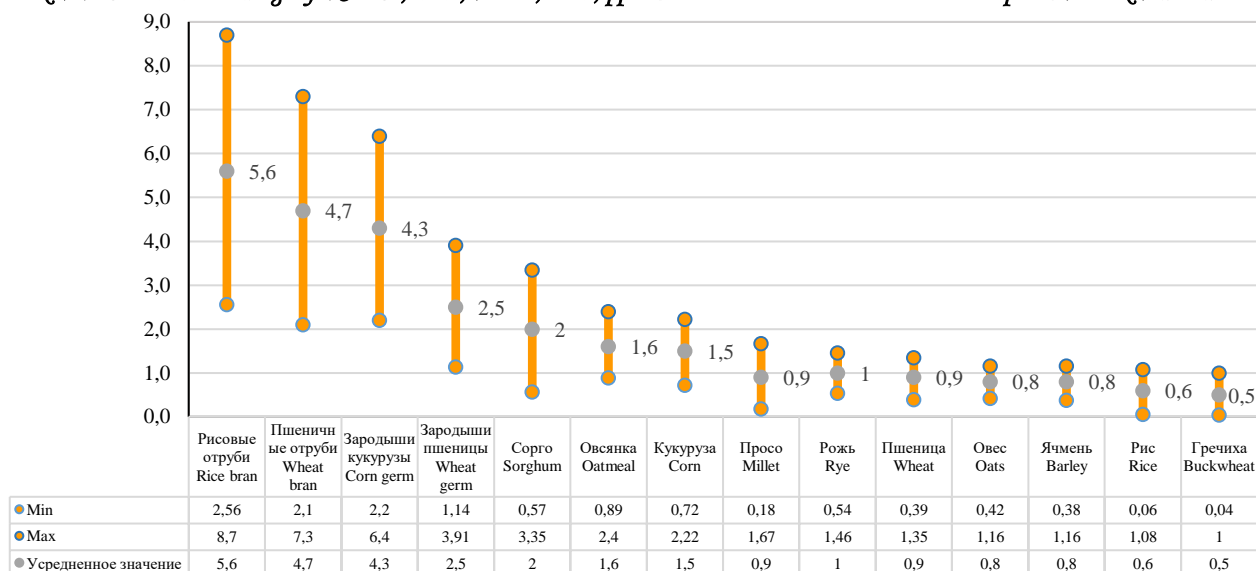
что фитиновая кислота снижает питательную ценность продуктов и обедняет питание, что особенно касается вегетарианцев [23].

Анализируя данные, представленные на рисунке 3, можно сказать, что бобовые культуры содержат в меньшей степени фитатов, чем масличные и злаковые культуры. Среди бобовых наибольшее усредненное количество фитатов в сое и фасоли – 1,61 и 1,5 г/100 г сухого вещества, наименьшее в чечевице, горохе и люпине – от 0,89 до 0,62 г/100 г сухого вещества. Среди масличных культур миндаль и грецкий орех в среднем содержат наибольшее количество фитатов – 4,9 и 3,4 г/100 г сухого вещества, наименьшее у чиа и фундука – 0,8 и 0,6 г/100 г сухого вещества. В отрубях и зародышах риса, пшеницы, кукурузы в среднем содержится наибольшее количество фитатов – от 5,6 до 2,5 г/100 г сухого вещества, минимальное количество у овса, ячменя, риса и гречихи – от 0,8 до 0,5 г/100 г сухого вещества.

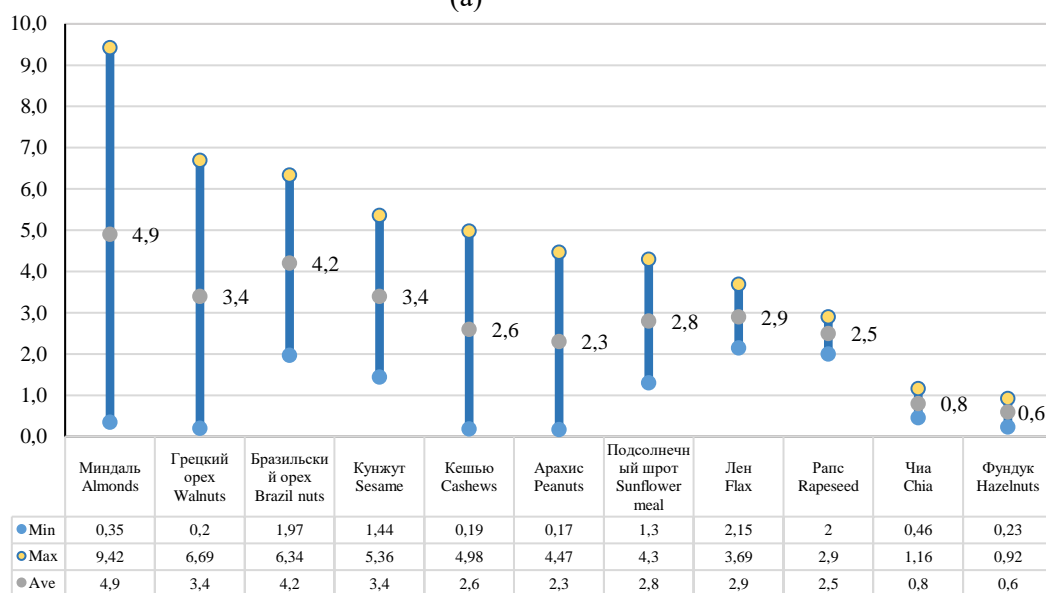
Эффективными способами снижения содержания фитиновой кислоты и ее солей является либо активация или применение фермента фитазы, который гидролизует фитиновую кислоту до низших инозитолфосфатов и неорганического фосфата, теряющих хелатирующую способность [8, 11], либо технологических приёмов (шелушение, замачивание в кислой среде, варка, проращивание или ферментация в процессе молочнокислого брожения при заквашивании и мариновании, экструзия), способствующих расщеплению фитатов с выделением фосфора, что повышает его содержание в продукте [24].

Процесс замачивания в воде приводит к вымыванию водорастворимых компонентов и активации эндогенных ферментов, однако его эффективность неоднозначна: кратковременное замачивание (4–6 ч) может давать незначительный эффект, в то время как длительное замачивание (12–24 ч) с периодической сменой воды, особенно в тёплой или подкисленной среде (лимонный сок, сыворотка), способно снизить уровень фитиновой кислоты на 15–50% за счёт выщелачивания и частичной ферментативной деградации [10].

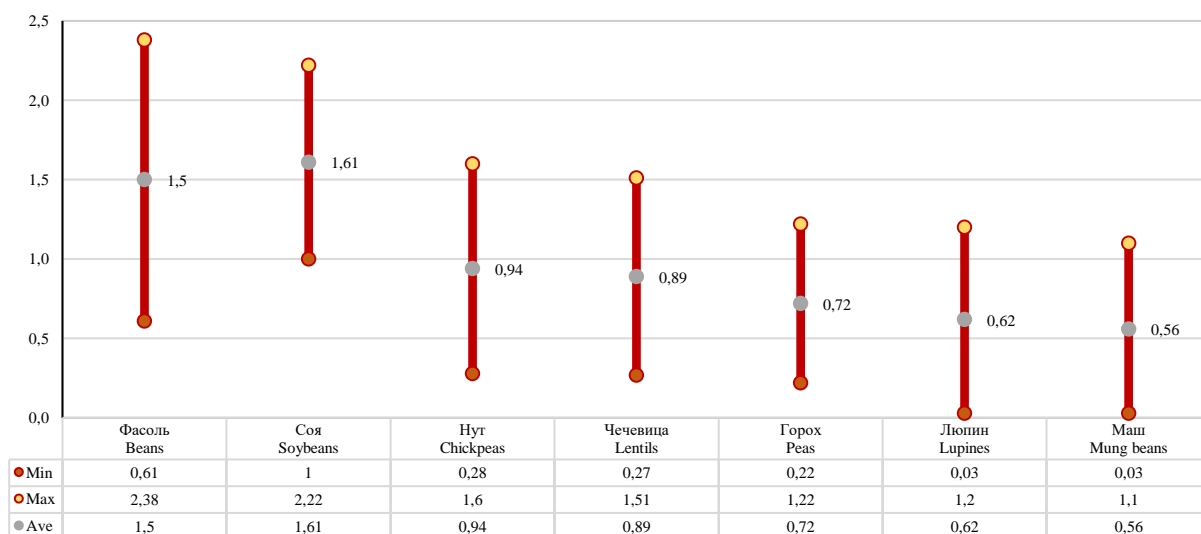
Варка предварительно замоченных семян приводит к значительному снижению фитиновой кислоты на 10–80% в зависимости от культуры за счёт перехода фитатов в отвар, который затем утилизируется. Сочетание замачивания и варки может снизить содержание фитиновой кислоты на 60–77% [25].



(a)



(b)



(c)

Рисунок 3. Содержание фитиновой кислоты в злаковых (а), масличных (б) и бобовых (с) культурах
Figure 3. Phytic acid content in cereals (a), oilseeds (b) and legumes (c)

Проращивание (солодование) один из наиболее эффективных методов, при котором активируется собственная фитаза семени, которая за 48 ч увеличивает активность в 8 раз и гидролизует фитиновую кислоту, расщепляя её до низших инозитолфосфатов и свободного фосфора. Эти производные обладают значительно меньшей способностью связывать минералы. В зависимости от вида и сорта культуры, содержание фитатов в процессе проращивания уменьшается на 60–87%. Проращивание чечевицы в течение 72 ч приводит к снижению фитиновой кислоты на 27–37% [26]. Большинство исследователей отмечают, что снижение содержания фитиновой кислоты идет на пятый день проращивания [27].

Предложен процесс индуцированного автолиза для снижения содержания фитиновой кислоты и ее солей в бобовых культурах [28, 29], который частично воспроизводит ферментативные процессы, происходящие при прорастании семян, что приводит к увеличению пищевой ценности, улучшению функциональных свойств и

инактивации антиалиментарных факторов. Процесс обработки включает следующие этапы: введение в суспензию муки бобовых кислоты для создания кислой среды, внесение в нее ферментных экзопрепаратов – кислых протеаз, активизирующих эндопротеазы сырья, последующая нейтрализация смеси и выдерживание ее в нейтральных условиях для осуществления процесса автолиза, имитирующего процесс прорастания [30].

Уваривание не оказывает существенного влияния на разложение фитатов, так как они являются термостойкими. Однако высокотемпературная кратковременная обработка под давлением при экструзии может способствовать денатурации белково-фитатных комплексов и повышению доступности субстрата для ферментов, хотя прямое разрушение фитиновой кислоты ограничено [31].

Сводные данные об эффективности инактивации фитатов различными способами представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Основные методы обработки инактивации фитатов в растительном сырье

Table 1.

The main methods of processing phytate inactivation in plant raw materials

Метод обработки Method	Условия обработки Conditions	Биологические процессы при обработке Processes
Длительное замачивание в кислой среде с периодической промывкой воды Long-term soaking in an acidic environment with periodic water rinsing	Замачивание Soaking $\tau = 12-24$ ч $t = 20-25$ °C	Активируются эндогенные ферменты, эффективность повышается при нагреве воды и ее подкислении Endogenous enzymes are activated, and their effectiveness increases with heating and acidification of the water.
Варка предварительно замоченных семян Cooking of pre-soaked seeds	Замачивание Soaking $\tau = 12-24$ ч $t = 20-25$ °C с последующим кипячением в течение	Переход фитатов в экстракт (отвар) Phytates are converted into the extract (decoction).
Проращивание (солодование) Germination (malting)	$\tau = 72-96$ ч при $t = 12-14$ °C	Активируется эндогенный фермент фитаза, которая гидролизует фитиновую кислоту и расщепляет её до низших инозитолфосфатов и свободного фосфора The endogenous enzyme phytase is activated, hydrolyzing phytic acid and breaking it down into lower inositol phosphates and free phosphorus.
Индукцированный автолиз Induced autolysis	Внесение ферментных экзопрепаратов – кислых протеаз. Нейтрализация и выдерживание в нейтральных условиях	Частично воспроизводит ферментативные процессы, происходящие при прорастании Partially reproduces the enzymatic processes that occur during germination.
Экструзия Extrusion	$\tau = 10-15$ с при $t = 140-160$ °C, $P = 30$ атм	Денатурация белково-фитатных комплексов и повышение доступности субстрата для ферментов Denaturation of protein-phytate complexes and increased substrate availability for enzymes.

Сочетание нескольких способов может существенно уменьшить количество антинутриентов, иногда даже полностью. Так, замачивание, проращивание и молочнокислая ферментация уменьшают фитаты практически полностью [24].

На сегодняшний день остается актуальным исследование влияния различных способов обработки сырья на содержание фитатов, в частности в бобовых и продуктах их переработки.

Целью работы являлось определение наличия и содержания солей фитиновой кислоты качественным и количественным методом в нативной чечевице различных сортов и в продуктах ее переработки (экструдат, сушеная и пророщенная чечевица, экстракт чечевичный (аквафаба)).

В качестве объектов взяты образцы нативной чечевицы двух сортов КДЦ «Кермит» и «Орловская краснотерная». Перед использованием образцы чечевицы очищали от посторонних

примесей и промывали в холодной воде, замачивали. Проращивание чечевицы проводили 5 сут, после чего пророщенные семена поэтапно сушили конвективным способом – по 2 ч сначала при $t = 56\text{ }^{\circ}\text{C}$, а затем при $t = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$, и 3 ч при $t = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, общая продолжительность сушки – 7 ч. Получение экстрадата из чечевицы осуществляли в экструдере при температуре в предматричной зоне – $120 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, на выходе продукта – $158 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, давлении – 30 атм (3 МПа), продолжительность экструзии – 10–15 с. Чечевичный экстракт (аквафаба) получали путем уваривания подготовленной чечевицы в воде при гидромоде 1:4 в течение 60 ± 5 мин, после чего разделяли вареную чечевицу от экстракта. Вареную чечевицу высушивали конвективным способом при температуре $50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до получения сухой чечевицы.

Для качественного определения солей фитиновой кислоты применяли метод титрования раствора фитиновой кислоты исследуемых объектов с использованием реактива Вэйда. Сущность метода заключается в способности фитиновой кислоты связывать ионы металлов в составе окрашенных комплексов, вследствие чего их окраска ослабевает. При добавлении железа происходит реакция осветления опытных образцов растворов, при этом наблюдается выпадение светло-желтого осадка в виде комплекса – йодид железа (II) (FeI_2) в разном количестве.

Для приготовления реактива Вэйда использовали два раствора: 1 – 0,3240 г сульфосалициловой кислоты растворяли в 100 мл дистиллированной воды; 2 – 0,0324 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ растворяли в 100 мл дистиллированной воды. Реактив Вэйда всегда

готовится перед определением анализа путем смешивания двух растворов в равных объемах. В результате 1 мл полученного реагента содержит 0,2 $\mu\text{моль}$ железа [32].

Для получения экстрактов солей фитиновой кислоты исследуемые объекты предварительно измельчали в фарфоровой ступке до порошкообразного состояния. В колбу вместимостью 500 мл помещали около 10 г измельченной навески исследуемого объекта и добавляли 200 мл раствора кислоты хлористоводородной разбавленной концентрацией 2,4%. Смесь перемешивали стеклянной палочкой до гомогенного состояния и оставляли при комнатной температуре на 24 ч. Далее экстракт фильтровали через бумажный фильтр, полученный фильтрат использовали для исследований.

Все полученные экстракты подвергали тестированию на содержание солей фитиновой кислоты. Реактив Вэйда имеет фиолетово-розовое окрашивание раствора, которое исчезает при добавлении исследуемых экстрактов. Параллельно для сравнения проводили холостой опыт – добавляли такое же количество дистиллированной воды.

Результаты проведенных экспериментальных исследований представлены на рисунке 4 и в таблице 2. Все пробы дали положительный результат, что говорит о наличии фитатов в чечевице и продуктах ее переработки. Исходя из данных таблицы 2, видно, что наименьшее количество солей фитиновой кислоты содержится в образце № 11 (экстракт чечевичный), так как на титрование и получение окрашивающегося комплекса пошло наибольшее количество объема раствора железа – 2,9 мл.



Рисунок 4. Фото результатов качественной реакции на наличие солей фитиновой кислоты с реактивом Вэйда: (а) – экстракты солей фитиновой кислоты исследуемых объектов до титрования; (б) – экстракты солей фитиновой кислоты исследуемых объектов после титрования

Figure 4. Photos of the results of a qualitative reaction for the presence of phytic acid salts with Wade's reagent: (a) - extracts of phytic acid salts of the test objects before titration; (b) - extracts of phytic acid salts of the test objects after titration

Таблица 2.

Результаты титрования экстрактов солей фитиновой кислоты исследуемых объектов реактивом Вэйда
Table 2.

Results of titration of phytic acid salt extracts of the studied objects with Wade's reagent

Объект Object	Наименование Name	Объем реактива Вэйда, пошедшего на титрование, мл Volume of Wade reagent used for titration, ml
№ 1	Нативная чечевица сорта «Орловская краснозерная» Native lentils of the Orlovskaya Krasnozernaya variety	1,0
№ 2	Нативная чечевица сорта КДЦ «Кермит» Native lentils of the KDC Kermit variety	0,95
№ 3	Экструдат из чечевицы сорта «Орловская краснозерная» Extrudate from lentils of the Orlovskaya Krasnozernaya variety	1,4
№ 4	Экструдат из чечевицы сорта КДЦ «Кермит» Extrudate from lentils of the KDC Kermit variety	1,35
№ 5	Пророщенная чечевица сорта КДЦ «Кермит» Sprouted lentils of the KDC Kermit variety	1,45
№ 6	Пророщенная чечевица сорта «Орловская краснозерная» Sprouted lentils of the Orlovskaya Krasnozernaya variety	1,55
№ 7	Сушеная чечевица сорта КДЦ «Кермит» Dried lentils of the KDC Kermit variety	1,25
№ 8	Сушеная чечевица сорта «Орловская краснозерная» Dried lentils of the Orlovskaya Krasnozernaya variety	1,30
№ 9	Чечевичный экстракт (аквафаба) из чечевицы сорта КДЦ «Кермит» Lentil extract (aquafaba) from lentils of the KDC Kermit variety	2,4
№ 10	Чечевичный экстракт (аквафаба) из чечевицы сорта «Орловская краснозерная» Lentil extract (aquafaba) from lentils of the Orlovskaya Krasnozernaya variety	2,1
№ 11	Чечевичный экстракт (аквафаба) из замоченной чечевицы сорта КДЦ «Кермит» Lentil extract (aquafaba) from soaked lentils of the KDC Kermit variety	2,9
№ 12	Чечевичный экстракт (аквафаба) из замоченной чечевицы сорта «Орловская краснозерная» Lentil extract (aquafaba) from soaked lentils of the Orlovskaya Krasnozernaya variety	2,75

Оценку количественного содержания фитатов в исследуемых объектах проводили методом фотоэлектроколориметрии в центре коллективного пользования ФГБОУ ВО «ВГУИТ» на спектрофотометре марки *UV mini-1240* (Shimadzu, Япония).

Количественный метод определения солей фитиновой кислоты заключается в измерении ослабления окраски комплекса железа с роданидом из-за конкурентного связывания железа фитиновой кислотой [33].

Методика определения содержания фитина заключается в следующем. Вначале проводили экстракцию фитина из сырья соляной кислотой путем растирания 500 мг пробы измельченного высушенного объекта с 500 мг песка в 0,5 М HCl (раствор № 1), далее проводили дополнительную очистку солянокислой вытяжки добавлением к ней смеси из 1000 мкл раствора изоамилового спирта с хлороформом (1:24 об. долей) в соотношении объемов вытяжка и смесь – 4:1 (раствор № 2), смесь перемешивали и центрифугировали в течение 20 мин при 3000 об/мин, отбирали 2 см³ надосадочной жидкости в эппендорфы и центрифугировали еще 5 мин при 13000 об/мин. К 1 см³ (1000 мг) абсолютно прозрачной, очищенной от примесей пробы надосадочной жидкости, содержащей фитин, добавляли 1,5 см³ индикативного 0,03% кислого раствора роданида аммония NH₄ SCN в 6% растворе HCl (раствор № 3), затем прибавляли 50 мкл кислого конкурентного раствора хлорида железа (III) – FeCl₃ (раствор № 4) и 0,2% HCl в дистиллированной

воде в объемном соотношении 1:1,5:1. Раствор хлорид железа готовили из соли FeCl₃, высушенной в эксикаторе с концентрированной серной кислотой. Содержание раствора представляет собой 0,86% FeCl₃ в 0,2% по HCl. В качестве контроля использовали смесь растворов № 3 (0,03% роданида аммония NH₄ SCN в 6% HCl) и № 4 (раствор 0,86% FeCl₃ и 0,2% HCl в дистиллированной воде) в тех же пропорциях, что и для образцов, заменяя объем пробы равным объемом дистиллированной воды. После добавления раствора № 4 образцы колориметрировали в предварительно калиброванных кварцевых кюветах. Измерение оптической плотности проводили при длине волны 337 нм.

По результатам определения оптической плотности был построен градуировочный график по концентрации раствора фитина (рисунок 5).

По данным градуировочного графика построена линия тренда, с помощью которой сформировано линейное уравнение для определения концентрации фитина исследуемых растворов

$$X = \frac{0,9278 - Y}{0,1583}.$$

Концентрацию раствора фитина C_f , мг/мл, определяли по составленному градуировочному графику, используя в качестве стандарта водный раствор натриевой соли фитиновой кислоты.

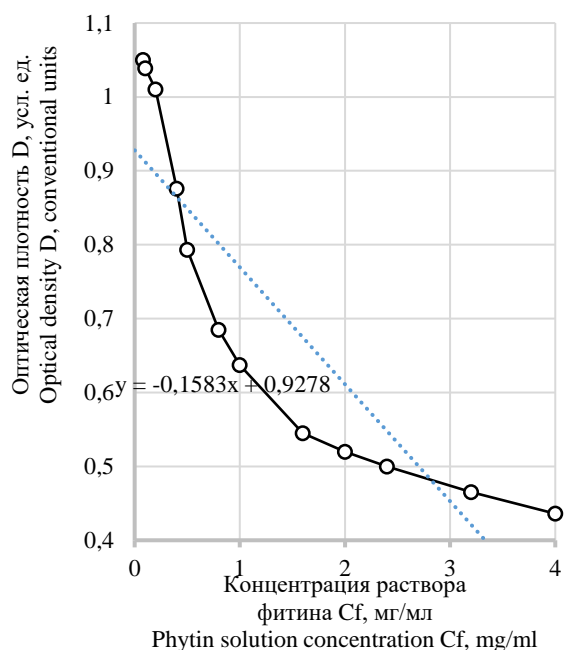


Рисунок 5. Градуировочный график зависимости изменения оптической плотности от концентрации фитина исследуемых растворов (R₂=0,7807)

Figure 5. Calibration graph of the dependence of the change in optical density on the concentration of phytin in the studied solutions (R₂=0.7807)

Расчет абсолютной массы фитина в образце *f*, мг, с учетом разбавления в ходе анализа проводили по формуле

$$f = \frac{C_f \cdot (M_n + 2000) \cdot 1,275}{M_{нж}}$$

где *C_f* – измеренная концентрация фитина, мг/мл; *M_n* – масса навески пробы, мг; *M_{нж}* – масса навески пробы надосадочной жидкости, мг.

Расчет содержания фитина в образце *F*, % масс., с учетом разбавления в ходе анализа проводили по следующей формуле

$$F = \frac{100 \times f}{M_{нж}}$$

Полученные значения основных показателей количественного определения фитина в исследуемых объектах сведены в таблице 3.

Результаты расчета содержания фитина в исследуемых объектах представлены в таблице 4, расхождение между повторными опытами не превышало 0,5%.

Таблица 3.

Значения основных показателей

Table 3.

The values of the main indicators

Наименование Name	Оптическая плотность <i>D</i> , усл. ед. Optical density <i>D</i> , conventional units		Концентрация раствора фитина <i>C_f</i> , мг/мл Phytin solution concentration <i>C_f</i> , mg/ml		Содержание абсолютной массы фитина в объекте <i>f</i> , мг Absolute mass content of phytin in object <i>f</i> , mg	
	сорт КДЦ «Кермит» KDC "Kermit" variety	сорт «Орловская краснозерная» Orlovskaya Krasnozernaya variety	сорт КДЦ «Кермит» KDC "Kermit" variety	сорт «Орловская краснозерная» Orlovskaya Krasnozernaya variety	сорт КДЦ «Кермит» KDC "Kermit" variety	сорт «Орловская краснозерная» Orlovskaya Krasnozernaya variety
Нативная чечевица незамоченная Unsoaked native lentils	5,68	5,74	0,03	0,02	18,1	18,3
Нативная чечевица замоченная Soaked native lentils	5,23	5,35	0,10	0,08	16,7	17,1
Экструдат из чечевицы Lentil extrudate	5,48	5,51	0,06	0,06	17,5	17,6
Сушеная чечевица Dried lentils	5,55	5,64	0,05	0,04	17,7	18,0
Пророщенная чечевица Sprouted lentils	3,59	3,39	0,36	0,39	11,4	10,8
Чечевичный экстракт (аквафаба) из незамоченной чечевицы Lentil extract (aquafaba) from unsoaked lentils	0,96	1,10	0,77	0,75	3,2	3,5
Чечевичный экстракт (аквафаба) из замоченной чечевицы Lentil extract (aquafaba) from soaked lentils	0,90	1,04	0,79	0,76	3,0	3,3

Таблица 4.

Массовая доля влаги и содержание фитина в исследуемых объектах

Table 4.

Mass fraction of moisture and phytin content in the studied objects

Объект	Массовая доля влаги в объекте W, % Moisture content in object W, %		Содержание фитина в объекте F, % Phytin content in object F, %	
	сорт КДЦ «Кермит» KDC "Kermit" variety	сорт «Орловская краснозерная» Orlovskaya Krasnozernaya variety	сорт КДЦ «Кермит» KDC "Kermit" variety	сорт «Орловская краснозерная» Orlovskaya Krasnozernaya variety
Нативная чечевица незамоченная Unsoaked native lentils	12,6	10,8	1,81	1,83
Нативная чечевица замоченная Soaked native lentils	23,1	20,3	1,67	1,71
Экструдат из чечевицы Lentil extrudate	7,5	7,0	1,75	1,76
Сушеная чечевица Dried lentils	8,4	8,0	1,77	1,80
Пророщенная чечевица Sprouted lentils	8,8	8,6	1,14	1,08
Чечевичный экстракт (аквафаба) из незамоченной чечевицы Lentil extract (aquafaba) from unsoaked lentils	91,4	91,8	0,32	0,35
Чечевичный экстракт (аквафаба) из замоченной чечевицы Lentil extract (aquafaba) from soaked lentils	90,5	90,2	0,30	0,33

Проведенный анализ позволяет сделать следующий вывод, что содержание солей фитиновой кислоты в чечевице сортов КДЦ «Кермит» и «Орловская краснозерная», и продуктах их переработки, в большей степени зависит от способа обработки, нежели от сорта чечевицы. Содержание фитина в замоченной чечевице по сравнению с нативной снизилось соответственно на 7,7 и 6,6%. При уваривании незамоченной и замоченной чечевицы в воде, фитиновая кислота и ее соли физически диффундируют в водную фазу и их содержание в чечевичном экстракте составило от 17,7 до 19,3%, остальные 80,7–82,3% остались в вареной чечевице. После экструдирования и сушки вареной чечевицы содержание фитина в экструдате снизилось на 3,3 и 3,8%, а в сушеной чечевице соответственно – на 1,6 и 2,2%. При получении чечевичного экстракта содержание фитина в растворе составило

0,32 и 0,35%, причем предварительное замачивание чечевицы позволило снизить содержание фитина до 0,30 и 0,33%, это объясняется размягчением тканей семенной оболочки чечевицы при замачивании с последующим поглощением клеточной тканью экстрагента в значительных количествах, что приводит к набуханию, ослаблению межмолекулярных связей полимеров и большему разрушению фитиновой кислоты при варке. Самым эффективным способом снижения фитинов является проращивание чечевицы, при котором в процессе активации фермента фитазы, расщепляющей фитиновую кислоту до свободного фосфора, содержание фитина снизилось на 37 и 41%. Таким образом, как и ранее было доказано многими учеными, соли фитиновой кислоты являются термоустойчивыми и практически не разлагаются при воздействии высоких температур.

Литература

- 1 Стародубова А.В. Можно ли считать здоровое питание инструментом здоровьесбережения? // Вестник РАН. 2022. Т. 92. № 2. С. 162–170. doi: 10.31857/S0869587322020098
- 2 Елисеева Л.Г., Махотина И.А., Калачев С.Л. Повышение безопасности пищевых продуктов растительного происхождения путем уменьшения содержания фитатов // Вопросы безопасности. 2019. № 1. С. 9–17. doi: 10.25136/2409-7543.2019.1.28874
- 3 Вебер А.Л., Леонова С.А. Изменения биологической и пищевой ценности зерна гороха и фасоли в результате его биоактивации // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2024. Т. 27. № 3. С. 282–293.
- 4 Плотников В.Е., Магомедов М.Г., Суханов П.Т. и др. Антипитательные факторы зернобобовых культур: качественный и количественный анализ танинов в чечевице и продуктах ее переработки // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 3. С. 141–152. doi: 10.20914/2310-1202-2025-3-141-152
- 5 Ших Е.В., Махова А.А., Дорогун О.Б., Елизарова Е.В. Роль фитатов в питании человека // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 4. С. 20–28. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-4-20-28
- 6 Kumar A., Singh B., Kaur K. et al. Phytic acid: A reservoir of phosphorus in seeds plays a dynamic role in plant and animal metabolism // Phytochemistry Reviews. 2023. V. 22. № 5. P. 1281–1304. doi: 10.1007/s11101-023-09858-1

- 7 Layrisse M., García-Casal M.N., Solano L. et al. Iron bioavailability in humans from breakfasts enriched with iron bis-glycine chelate, phytates and polyphenols // *The Journal of Nutrition*. 2000. V. 130. № 9. P. 2195–2199. doi: 10.1093/jn/130.9.2195
- 8 Hidvegi M., Lasztity R. Phytic acid content of cereals and legumes and interaction with proteins // *Periodica Polytechnica: Chemical Engineering*. 2002. V. 46. № 1–2. P. 59–64.
- 9 Зиновьев С.В., Крюков В.С., Мутиева Х.М., Глебова И.В. и др. Антипитательное действие фитатов – экстрафосфорный эффект фитазы (обзор) // *Генетика и разведение животных*. 2021. № 4. С. 74–84. doi: 10.31043/2410-2733-2021-4-74-84
- 10 Qi N., Zhan X., Milmine J., Chang K.H., Li J. A novel thermophilic strain of *Bacillus subtilis* with antimicrobial activity and its potential application in solid-state fermentation of soybean meal // *Microbiology Spectrum*. 2024. V. 12. № 4. P. e02784-23. doi: 10.1128/spectrum.02784-23
- 11 Pires S.M.G., Reis R.S., Cardoso S.M. et al. Phytates as a natural source for health promotion: A critical evaluation of clinical trials // *Frontiers in Chemistry*. 2023. V. 11. P. 1174109. doi: 10.3389/fchem.2023.1174109
- 12 Уразова А.А., Ярмоц Г.А. Ферментные препараты в животноводстве // *Успехи молодежной науки в агропромышленном комплексе: сб. тр. конф.* 2022. С. 229–238.
- 13 Samtiya M., Aluko R.E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview // *Food Production, Processing and Nutrition*. 2020. V. 2. P. 6. doi: 10.1186/s43014-020-0020-5
- 14 Иванова А.А. Анализ методологических подходов к оценке продовольственной безопасности // *Продовольственная политика и безопасность*. 2024. Т. 11. № 2. С. 229–244.
- 15 Mahajan M. Clinical Survey: Protein Consumption in Diet of Adult Indians: A General Consumer Survey // *Indian Medical Gazette*. 2015. V. 149. № 3. P. 149–150.
- 16 Semba R.D. The rise and fall of protein malnutrition in global health // *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2016. V. 69. № 2. P. 79–88. doi: 10.1159/000449175
- 17 Avnee, Sood S., Chaudhary D.R., Jhorar P., Rana R.S. Biofortification: an approach to eradicate micronutrient deficiency // *Frontiers in Nutrition*. 2023. V. 10. P. 1233070. doi: 10.3389/fnut.2023.1233070
- 18 Стрижко М.Н. Антинутриенты в растительных напитках на зерновом сырье: обзор предметного поля // *Food metaengineering*. 2023. Т. 1. № 1. С. 63–89. doi: 10.37442/fme.2023.1.3
- 19 López-González A.A., Grases F., Roca P. et al. Phytate (myo-inositol hexaphosphate) and risk factors for osteoporosis // *Journal of Medicinal Food*. 2008. V. 11. № 4. P. 747–752. doi: 10.1089/jmf.2008.0087
- 20 Arriero M.M., Ramis J.M., Perelló J., Monjo M. Inositol hexakisphosphate inhibits osteoclastogenesis on RAW 264.7 cells and human primary osteoclasts // *PLoS ONE*. 2012. V. 7. № 8. P. e43187. doi: 10.1371/journal.pone.0043187
- 21 Sanchis P., López-González Á.A., Costa-Bauzá A. et al. Understanding the protective effect of phytate in bone decalcification related-diseases // *Nutrients*. 2021. V. 13. № 8. P. 2859. doi: 10.3390/nu13082859
- 22 De Vos W.M., Nguyen Trung M., Davids M. et al. Phytate metabolism is mediated by microbial cross-feeding in the gut microbiota // *Nature Microbiology*. 2024. V. 9. № 7. P. 1812–1827. doi: 10.1038/s41564-024-01678-9
- 23 Горлов И.Ф., Семенова И.А., Мосолов А.А., Сложенкин А.Б. и др. Новый метод снижения содержания антипитательных веществ в бобовых культурах // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2018. № 3. С. 71–73.
- 24 Бурак Л.Ч. Существующие способы обработки пищевых продуктов и их влияние на пищевую ценность и химический состав // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 3. С. 59–73. doi: 10.21603/2074-9414-2021-3-59-73
- 25 Vashishth A., Ram S., Beniwal V. Cereal phytases and their importance in improvement of micronutrients bioavailability // *3 Biotech*. 2017. V. 7. № 1. P. 42. doi: 10.1007/s13205-017-0698-y
- 26 Кошчаева О.В., Хмара И.В., Федоренко К.П., Шкредов В.В. Влияние проращивания на химический состав и содержание антипитательных веществ в семенах сои // *Научный журнал КубГАУ*. 2014. № 97 (03). С. 1–25.
- 27 Sharma B., Gujral H.S. Modifying the dough mixing behavior, protein & starch digestibility and antinutritional profile of minor millets by sprouting // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. V. 153. P. 962–970. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.225
- 28 Chukwuejim S., Utioh A., Choi T.D., Aluko R.E. Lupin Seed Proteins: A Comprehensive Review of Composition, Extraction Technologies, Food Functionality, and Health Benefits // *Food Reviews International*. 2024. V. 40. № 2. P. 691–714. doi: 10.1080/87559129.2023.2191701
- 29 Елисеева Л.Г., Токарев П.И., Сими́на Д.В., Молодкина П.Г. Управление качеством и пищевой ценностью пищевых продуктов на основе нетрадиционного сырья с целью их экспортоориентированного производства // *Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: сб. тр. конф.* СПб.: Политех-Пресс, 2023. С. 647–655.
- 30 Pasarin D., Lavric V., Enascuta C.E. et al. Optimal Enzymatic Hydrolysis of Sweet Lupine Protein towards Food Ingredients // *Fermentation*. 2023. V. 9. № 3. P. 203. doi: 10.3390/fermentation9030203
- 31 Sinković L., Pipan B., Šibul F. et al. Nutrients, Phytic Acid and Bioactive Compounds in Marketable Pulses // *Plants*. 2023. V. 12. № 1. P. 170. doi: 10.3390/plants12010170
- 32 Землянухина О.А., Вепринцев В.Н., Калаев В.Н., Аль-Хачами Ф.Р.Х. и др. Модификация метода Вэйда для количественного определения содержания фитина в эндосперме ореха // *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2018. № 3. С. 163–169.
- 33 Пат. № 2680833 Российская Федерация, МПК G01N 33/00. Способ определения солей фитиновой кислоты в семенах растений / Вепринцев В.Н., Землянухина О.А., Калаев В.Н., Жужжалова Т.П. и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "ВГУ". № 2018102663; заявл. 23.01.2018; опубл. 28.02.2019. Бюл. № 7.

References

- 1 Starodubova A.V. Can Healthy Nutrition Be Considered a Tool for Health Preservation? Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2022. vol. 92. no. 2. pp. 162–170. doi: 10.31857/S0869587322020098 (in Russian).
- 2 Eliseeva L.G., Makhotina I.A., Kalachev S.L. Increasing the Safety of Plant-Based Food Products by Reducing the Content of Phytates. Security Issues. 2019. no. 1. pp. 9–17. doi: 10.25136/2409-7543.2019.1.28874 (in Russian).
- 3 Veber A.L., Leonova S.A. Changes in the Biological and Nutritional Value of Pea and Bean Grains as a Result of Their Bioactivation. Bulletin of Murmansk State Technical University. 2024. vol. 27. no. 3. pp. 282–293. (in Russian).
- 4 Plotnikov V.E., Magomedov M.G., Sukhanov P.T. et al. Anti-Nutritional Factors of Legumes: Qualitative and Quantitative Analysis of Tannins in Lentils and Products of Their Processing. Bulletin of VSUET. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 141–152. doi: 10.20914/2310-1202-2025-3-141-152 (in Russian).
- 5 Shikh E.V., Makhova A.A., Dorogun O.B., Elizarova E.V. The Role of Phytates in Human Nutrition. Problems of Nutrition. 2023. vol. 92. no. 4. pp. 20–28. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-4-20-28 (in Russian).
- 6 Kumar A., Singh B., Kaur K. et al. Phytic acid: A reservoir of phosphorus in seeds plays a dynamic role in plant and animal metabolism. Phytochemistry Reviews. 2023. vol. 22. no. 5. pp. 1281–1304. doi: 10.1007/s11101-023-09858-1.
- 7 Layrisse M., García-Casal M.N., Solano L. et al. Iron bioavailability in humans from breakfasts enriched with iron bis-glycine chelate, phytates and polyphenols. The Journal of Nutrition. 2000. vol. 130. no. 9. pp. 2195–2199. doi: 10.1093/jn/130.9.2195.
- 8 Hidvegi M., Laszitty R. Phytic acid content of cereals and legumes and interaction with proteins. Periodica Polytechnica: Chemical Engineering. 2002. vol. 46. no. 1–2. pp. 59–64.
- 9 Zinoviev S.V., Kryukov V.S., Mutieva Kh.M., Glebova I.V. et al. Anti-Nutritional Effect of Phytates – Extra-Phosphorus Effect of Phytase (Review). Genetics and Animal Breeding. 2021. no. 4. pp. 74–84. doi: 10.31043/2410-2733-2021-4-74-84 (in Russian).
- 10 Qi N., Zhan X., Milmine J., Chang K.H., Li J. A novel thermophilic strain of *Bacillus subtilis* with antimicrobial activity and its potential application in solid-state fermentation of soybean meal. Microbiology Spectrum. 2024. vol. 12. no. 4. article e02784-23. doi: 10.1128/spectrum.02784-23.
- 11 Pires S.M.G., Reis R.S., Cardoso S.M. et al. Phytates as a natural source for health promotion: A critical evaluation of clinical trials. Frontiers in Chemistry. 2023. vol. 11. article 1174109. doi: 10.3389/fchem.2023.1174109.
- 12 Urazova A.A., Yarmots G.A. Enzyme Preparations in Animal Husbandry. In: Advances of Youth Science in the Agro-Industrial Complex: Collection of Conference Proceedings. 2022. pp. 229–238. (in Russian).
- 13 Samtiya M., Aluko R.E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. Food Production, Processing and Nutrition. 2020. vol. 2. article 6. doi: 10.1186/s43014-020-0020-5.
- 14 Ivanova A.A. Analysis of Methodological Approaches to Assessing Food Security. Food Policy and Security. 2024. vol. 11. no. 2. pp. 229–244. (in Russian).
- 15 Mahajan M. Clinical Survey: Protein Consumption in Diet of Adult Indians: A General Consumer Survey. Indian Medical Gazette. 2015. vol. 149. no. 3. pp. 149–150.
- 16 Semba R.D. The rise and fall of protein malnutrition in global health. Annals of Nutrition and Metabolism. 2016. vol. 69. no. 2. pp. 79–88. doi: 10.1159/000449175.
- 17 Avnee, Sood S., Chaudhary D.R., Jhorar P., Rana R.S. Biofortification: an approach to eradicate micronutrient deficiency. Frontiers in Nutrition. 2023. vol. 10. article 1233070. doi: 10.3389/fnut.2023.1233070.
- 18 Strizhko M.N. Antinutrients in Plant-Based Drinks from Grain Raw Materials: A Scoping Review. Food Metaengineering. 2023. vol. 1. no. 1. pp. 63–89. doi: 10.37442/fme.2023.1.3 (in Russian).
- 19 López-González A.A., Grases F., Roca P. et al. Phytate (myo-inositol hexaphosphate) and risk factors for osteoporosis. Journal of Medicinal Food. 2008. vol. 11. no. 4. pp. 747–752. doi: 10.1089/jmf.2008.0087.
- 20 Arriero M.M., Ramis J.M., Perelló J., Monjo M. Inositol hexakisphosphate inhibits osteoclastogenesis on RAW 264.7 cells and human primary osteoclasts. PLoS ONE. 2012. vol. 7. no. 8. article e43187. doi: 10.1371/journal.pone.0043187.
- 21 Sanchis P., López-González Á.A., Costa-Bauzá A. et al. Understanding the protective effect of phytate in bone decalcification related-diseases. Nutrients. 2021. vol. 13. no. 8. article 2859. doi: 10.3390/nu13082859.
- 22 De Vos W.M., Nguyen Trung M., Davids M. et al. Phytate metabolism is mediated by microbial cross-feeding in the gut microbiota. Nature Microbiology. 2024. vol. 9. no. 7. pp. 1812–1827. doi: 10.1038/s41564-024-01678-9.
- 23 Gorlov I.F., Semenova I.A., Mosolov A.A., Slozhenkin A.B. et al. A New Method for Reducing the Content of Anti-Nutritional Substances in Legumes. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2018. no. 3. pp. 71–73. (in Russian).
- 24 Burak L.Ch. Existing Methods of Food Processing and Their Impact on Nutritional Value and Chemical Composition. Technique and Technology of Food Production. 2021. vol. 51. no. 3. pp. 59–73. doi: 10.21603/2074-9414-2021-3-59-73 (in Russian).
- 25 Vashishth A., Ram S., Beniwal V. Cereal phytases and their importance in improvement of micronutrients bioavailability. 3 Biotech. 2017. vol. 7. no. 1. article 42. doi: 10.1007/s13205-017-0698-y.
- 26 Koshchaeva O.V., Khmara I.V., Fedorenko K.P., Shkredov V.V. Effect of Germination on the Chemical Composition and Content of Anti-Nutritional Substances in Soybean Seeds. Scientific Journal of KubSAU. 2014. no. 97 (03). pp. 1–25. (in Russian).
- 27 Sharma B., Gujral H.S. Modifying the dough mixing behavior, protein & starch digestibility and antinutritional profile of minor millets by sprouting. International Journal of Biological Macromolecules. 2020. vol. 153. pp. 962–970. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.225.
- 28 Chukwuejim S., Utioh A., Choi T.D., Aluko R.E. Lupin Seed Proteins: A Comprehensive Review of Composition, Extraction Technologies, Food Functionality, and Health Benefits. Food Reviews International. 2024. vol. 40. no. 2. pp. 691–714. doi: 10.1080/87559129.2023.2191701.
- 29 Eliseeva L.G., Tokarev P.I., Simina D.V., Molodkina P.G. Quality Management and Nutritional Value of Food Products Based on Non-Traditional Raw Materials for Export-Oriented Production. In: Fundamental and Applied Research in the Field of Management, Economics and Trade: Collection of Conference Proceedings. Saint Petersburg: Politech-Press, 2023. pp. 647–655. (in Russian).
- 30 Pasarin D., Lavric V., Enascuta C.E. et al. Optimal Enzymatic Hydrolysis of Sweet Lupine Protein towards Food Ingredients. Fermentation. 2023. vol. 9. no. 3. article 203. doi: 10.3390/fermentation9030203.


31 Sinkovič L., Pipan B., Šibul F. et al. Nutrients, Phytic Acid and Bioactive Compounds in Marketable Pulses. *Plants*. 2023. vol. 12. no. 1. article 170. doi: 10.3390/plants12010170.

32 Zemlyanukhina O.A., Veprintsev V.N., Kalaev V.N., Al-Khachami F.R.Kh. et al. Modification of the Wade Method for Quantitative Determination of Phytin Content in Nut Endosperm. *Bulletin of VSU. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2018. no. 3. pp. 163–169. (in Russian).


33 Patent no. 2680833, Russian Federation, IPC G01N 33/00. Method for Determining Salts of Phytic Acid in Plant Seeds. Veprintsev V.N., Zemlyanukhina O.A., Kalaev V.N., Zhuzhzhhalova T.P. et al.; applicant and patent holder Voronezh State University. no. 2018102663; filed 23.01.2018; publ. 28.02.2019. Bull. no. 7. (in Russian).

Сведения об авторах


Виктор Е. Плотников аспирант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, viktor_plotnikov_1999@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6707-8337>


Светлана В. Образцова к.б.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sveta5501pavlenkova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9539-0168>


Дарья Е. Скосарь студент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dartch.skosar@yandex.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-4260-8948>

Валерия В. Курганская студент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kurganskaya.28.11@icloud.com

 <https://orcid.org/0009-0008-0568-1411>

Инееса В. Плотникова к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, plotnikova_2506@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор-консультант, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036; профессор, кафедра управления социально-экономическими системами и бизнес-процессами, ВФ РЭУ им. Г.В. Плеханова, ул. К. Маркса, 67А, г. Воронеж, 394030, Россия, mto.vrn@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

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.

Information about authors


Viktor E. Plotnikov graduate student, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, viktor_plotnikov_1999@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6707-8337>


Svetlana V. Obratsova Cand. Sci. (Biol.), assistant professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sveta5501pavlenkova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9539-0168>


Daria E. Skosar students, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dartch.skosar@yandex.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-4260-8948>


Valeriia V. Kurganskaia Степень, должность, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kurganskaya.28.11@icloud.com

 <https://orcid.org/0009-0008-0568-1411>

Inessa V. Plotnikova Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, plotnikova_2506@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Konstantin K. Polyanski Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, professor, Management of Socio-economic Systems and Business Processes department, Plekhanov Russian University of Economics, 67A K. Marx St., Voronezh, 394030, Russia mto.vrn@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

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 12/01/2026	После редакции 26/01/2026	Принята в печать 16/02/2026
Received 12/01/2026	Accepted in revised 26/01/2026	Accepted 16/02/2026