

Антипитательные факторы зернобобовых культур: качественный и количественный анализ танинов в чечевице и продуктах ее переработки

Виктор Е. Плотников	¹	viktor_plotnikov_1999@mail.ru	0000-0001-6707-8337
Магомед Г. Магомедов	¹	mmg@inbox.ru	0000-0003-2494-4973
Павел Т. Суханов	¹	pavel.suhanov@mail.ru	0000-0002-2588-9286
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
Дарья Е. Скосарь	¹	dartch.skosar@yandex.ru	0009-0006-4260-8948

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. Карла Маркса, 67а, Воронеж, 394030, г. Воронеж

Аннотация. Питательная ценность бобовых культур существенно снижается из-за наличия в них антипитательных веществ. Чечевица также содержит определенное количество антинутриентов. Танины образуют комплексы с белками, что вызывает инактивацию многих пищеварительных ферментов и снижает усвоемость белка. Для повышения питательной ценности продуктов используются различные традиционные технологические методы обработки. В работе определяли наличие танинов качественным и количественным методом в чечевице двух различных сортов КДЦ «Кермит» и «Орловская краснозерная», а также продуктах их переработки (чечевичные экструдаты, чечевица сушеная, чечевица пророщенная, чечевичные экстракты (аквафаба)). В данной работе для качественного определения танинов использовали метод осаждения белков раствором желатина. Наиболее ярко выражено наличие танинов в нативной чечевице, менее выраженные свойства были проявлены в образцах сушеной чечевицы, в пророщенной чечевице и чечевичном экстракте была отрицательная реакция с желатином, что свидетельствует об отсутствии дубильных веществ или их незначительном количестве в данных полуфабрикатах. Для определения групповой принадлежности дубильных веществ была проведена качественная реакция полученных отфильтрованных экстрактов с солями трехвалентного железа. Качественная реакция в образце нативной чечевицы показала преобладающее количество дубильных веществ конденсированной группы из-за слабого черно-зеленого окрашивания. В образце чечевичного экструдата эта же реакция была несколько меньше, а в образцах сушеной, пророщенной чечевицы, чечевичном экстракте реакции не произошло, что также говорит об отсутствии дубильных веществ или их незначительном количестве. Оценку количественного содержания танинов в исследуемых образцах проводили методом фотоэлектроколориметрии. Результаты показали, что наиболее эффективный метод снижения концентрации танинов – в 4,1–3,4 раза при проращивании чечевицы. Процесс экструдирования чечевицы способствует снижению танинов – в 1,68–2,5 раза. При получении чечевичной супензии (аквафабы) содержание танинов снизилось в 1,5–1,93 раза (в пересчете на абсолютно сухое вещество).

Ключевые слова: чечевица, продукты переработки чечевицы, антипитательные вещества, методы обработки, методы определения танинов.

Anti-nutritional factors of leguminous crops: qualitative and quantitative analysis of tannins in lentils and their processed products

Viktor E. Plotnikov	¹	viktor_plotnikov_1999@mail.ru	0000-0001-6707-8337
Magomed G. Magomedov	¹	mmg@inbox.ru	0000-0003-2494-4973
Pavel T. Sukhanov	¹	pavel.suhanov@mail.ru	0000-0002-2588-9286
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
Daria E. Skosar	¹	dartch.skosar@yandex.ru	0009-0006-4260-8948

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

2 Voronezh Branch of the Plekhanov Russian University of Economics, 67a Karl Marx St., Voronezh, 394030, Voronezh

Для цитирования

Плотников В.Е., Магомедов М.Г., Суханов П.Т., Плотникова И.В., Полянский К.К., Скосарь Д.Е. 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

For citation

Plotnikov V.E., Magomedov M.G., Sukhanov P.T., Plotnikova I.V., Polyansky K.K., Skosar D.E. Anti-nutritional factors of leguminous crops: qualitative and quantitative analysis of tannins in lentils and their processed products. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 141–152. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-3-141-152

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Abstract. The nutritional value of legumes is significantly reduced due to the presence of anti-nutritional substances in them. Lentils also contain a certain amount of antinutrients. Tannins form complexes with proteins, which causes inactivation of many digestive enzymes and reduces protein digestibility. Various traditional processing methods are used to increase the nutritional value of products. The presence of tannins was determined by qualitative and quantitative methods in lentils of two different varieties of KDC "Kermit" and "Orlovskaya Krasnozernaya", as well as their processed products (lentil extrudates, dried lentils, sprouted lentils, lentil extracts (aquafaba)). In this work, the method of precipitation of proteins with a gelatin solution was used for the qualitative determination of tannins. The presence of tannins in native lentils is most pronounced, less pronounced properties were shown in samples of dried lentils, sprouted lentils and lentil extract had a negative reaction with gelatin, which indicates the absence of tannins or their insignificant amount in these semi-finished products. To determine the group affiliation of tannins, a qualitative reaction of the obtained filtered extracts with trivalent iron salts was carried out. A qualitative reaction in a sample of native lentils showed a predominant amount of tannins of the condensed group due to a weak black-green staining. In the sample of lentil extrudate, the same reaction was slightly less, and in the samples of dried, sprouted lentils, and lentil extract, no reaction occurred, which also indicates the absence of tannins or their insignificant amount. The quantitative content of tannins in the studied samples was assessed by photoelectrocolorimetry. The results showed that the most effective method of reducing the concentration of tannins is 4.1–3.4 times when germinating lentils. The process of lentil extrusion helps to reduce tannins by 1.68–2.5 times. Upon receipt of the lentil suspension (aquafabs), the tannin content decreased by 1.5–1.93 times (in terms of an absolutely dry substance).

Keywords: lentils, lentil processing products, anti-nutritional substances, processing methods, methods for determining tannins.

Введение

Растительное сырье является ценным источником питательных и эссенциально важных веществ (белков, незаменимых аминокислот, пищевых волокон, витаминов, микроэлементов и полиненасыщенных жирных кислот) [1]. Однако, питательная ценность его существенно понижается из-за наличия в составе антинутриентов (антипитательных веществ), синтезируемых растениями [2], которые в основном накапливаются в отрубной части оболочки и меньше в семядоле, зерне или плоде. Они придают горечь сырью, являются защитной системой для растений от нападения травоядных, насекомых и патогенов, а также средством для выживания в неблагоприятных ростовых условиях. При потреблении растений с высоким содержанием антинутриентов возникает ряд неблагоприятных физиологических эффектов, что наносит вред организму за счет ингибиования действия пищеварительных ферментов и приводит к снижению поглощения питательных веществ, их перевариванию и всасыванию в кишечнике [3].

Антинутриенты часто связывают с термином «антипитательные факторы» (ANF), к которым относятся: соли фитиновой кислоты (фитаты) и фитиновая кислота, танины (дубильные вещества), алкалоиды, лектины, олигосахариды (рафиноза, стахиоза), пириимидиновые гликозиды (вицин и конвицин), оксалат кальция, сапонины и ингибиторы протеаз [2].

Фитаты связывают минералы (железо, цинк, магний и кальций) и при избыточном содержании существенно снижают их поглощение из пищи [4]. Танины относятся к классу антиоксидантных полифенолов [5], в организме они связываются с белками, что затрудняет его усвояемость и доступность аминокислот [6]. Лектины плохо усваиваются организмом, они относятся к семейству белков и связывают

(склеивают) углеводы, вызывая их агглютинацию. Есть мнение, что лектины провоцируют воспалительные процессы, аллергии и аутоиммунные заболевания [7]. Оксалат кальция снижает всасывание кальция в овощах (например, шпинат, щавель). Ингибиторы протеаз препятствуют перевариванию белка, ингибируя пищеварительные ферменты, что вызывает газообразование в кишечнике [8]. Рафиноза, как и стахиоза, относятся к трисахаридам, состоящих из остатков глюкозы, фруктозы и галактозы, и в большинстве своем накапливаются в семенах и корнях во время развития растения, их концентрация в семенах увеличивается по мере созревания и высыхания семян. При ферментации в толстом кишечнике они вызывают вздутие живота и рост микрофлоры. Рафиноза гидролизуется до D-галактозы и сахарозы с помощью α -галактозидазы. Однако недавние эпидемиологические исследования показали, что многие антинутриенты в небольших количествах могут быть полезными для профилактики таких заболеваний, как рак и коронарные патологии [9].

Бобовые культуры несмотря на высокую потенциально питательную и полезную для здоровья ценность, являются одними из источников антинутриентов в рационе человека, что снижает их биологическую ценность и использование в питании [1]. Документально подтверждено наличие в зернобобовых определенных антипитательных веществ, препятствующих перевариванию пищи, % [10]: фитатов (соя – 1,0–2,22, фасоль – 0,61–2,38, горох – 0,22–1,22, нут – 0,28–1,60, маш – 0,54, чечевица – 0,27–1,51); танинов (соя – 0,2–0,5, фасоль – 0–0,93, горох – 1,5–2,6, нут – 0,21–0,45, чечевица – 0,02–0,9); рафинозы (соя – 1–1,6, фасоль – 0,12–0,29, горох – 0,3–1,2, нут – 0,182, маш – 0,9, чечевица – 0,3–1,0); стахиозы (соя – 3–6, горох – до 1,6, нут – 1,44–1,63, маш – 2,7, чечевица – 1,0–2,72),

лектинов – 2–10, в том числе в чечевице – 2–3 (от общей массы белка), ингибиторов трипсина (соя – 0,3–0,5, фасоль – 3,15–4,1, горох – 0,3–1,82, нут – 0,23–0,56, маш – 0,12–0,13, чечевица – 0,2–0,35). Максимально безопасными уровнями потребления зернобобовых являются: сои – до 100 г (расчет на сухую крупу), других бобовых – до 200 г (сухой крупы) или 300–400 г (приготовленной) [11].

Чечевица, как и все бобовые, содержит определенное количество перечисленных анти nutриентов, но в меньшем количестве. По сравнению с другими она обладает меньшей активностью ингибиторов трипсина. Переваримость белков чечевицы системой пищеварительных ферментов пепсин-трипсин составляет 83%, что практически идентично для белков мяса высшего сорта [12].

Танины (или танииды, или дубильные вещества) – это водорастворимые соединения фенольной природы, представляющие собой сложную смесь из более трех десятков полифенольных соединений, состоящих из танина, катехинов, полифенолов и их производных с высокой молекулярной массой от 500 до 3000 [13]. Они оказывают дубящие свойства с характерным вяжущим вкусом и вызывают ощущение сухости и терпкости во рту. Дубильное действие танинов основано на способности образовывать прочные комплексы с полимерами – углеводами (пектиновые вещества, целлюлоза и др.), некоторыми минеральными ионами, белками и алкалоидами из-за наличия водородной связи у карбоксильного кислорода пептидной группы, что приводит к снижению доступности незаменимых аминокислот, ухудшению переваривания и усвоемости белков. Эти полифенолы содержат большое количество гидроксильных групп и поэтому способны образовывать поперечные связи с белками и другими макромолекулами. Низкомолекулярные фенольные соединения с молекулярной массой < 500 и соединения с высокой молекулярной массой > 3000 являются неэффективными дубильными веществами. Взаимодействие гидроксильной группы танинов и карбонильной группы белков может быть как обратимым, так и необратимым. Гидрофобные белки с большой молекулярной массой, открытой структурой, богатые пролином в наибольшей степени связываются с танином. Как правило, молекулам дубильных веществ требуется не менее 12 гидроксильных групп и не менее пяти фенильных групп для того, чтобы функционировать как вещества, связывающие белки [6].

Количество дубильных веществ в растении зависит от многих биологических факторов: количество солнца, влажность почвы и время суток. Для каждого растения существуют свои закономерности, определяющие индивидуальный уровень дубильных веществ [14]. Они обуславливают изменение цвета семян от светло-зелёного до жёлтого и тёмно-коричневого при хранении.

Танины придают плодам, семенам и листьям терпкий вяжущий вкус. Они подавляют рост патогенных микроорганизмов в растении, защищают его от поедания животными, так как жвачным животным вкус танинов неприятен. При попадании в организм человека и животных они образуют комплексы с белками, которые вызывают инактивацию многих пищеварительных ферментов и снижают усвоемость белка. При избыточном попадании в организм они оказывают токсичное действие на печень, нервную систему, легкие, почки, при этом нарушается минеральный обмен.

С другой стороны растения, содержащие дубильные вещества, обладают высоким содержанием антиоксидантов, способствующих укреплению здоровья. Их используют в медицине, как противовоспалительные, кровоостанавливающие и бактерицидные средства. Они способствуют заживлению ран, укрепляют стенки кровеносных сосудов. Положительно влияют на работу желудочно-кишечного тракта, подавляют деятельность болезнетворных микроорганизмов, способствуют выведению отложений, помогают усвоению полезных соединений [15].

Некоторые культурные растения содержат разнообразное количество дубильных веществ. В большей степени они распространены среди представителей двудольных (паслёновые, бобовые, крестоцветные, розоцветные) и содержатся в максимальных количествах в семенах злаковых (сурго, просо, ячмень и др.), бобовых (горох, фасоль, соя, чечевица, нут и др.), зеленых недозревших овощах, фруктах и ягодах (яблоки, бананы, гранат, ежевика, вишня, кизил, смородина, клюква, финики, айва, виноград, боярышник, персики, груши, хурма, сливы, малина, абрикосы, клубника, земляника и др.). Достаточно много их содержится в какао-бобах, кофе, чае, соках, вине, орехах (миндаль, грецкий), коре дуба, ивы и бук, рожковом дереве, некоторых листовых и специях (ревень, гвоздика, эстрагон, тмин, тимьян, ваниль, корица) (таблица 1) [16].

Таблица 1.

Содержание танинов в некоторых видах
растительного сырья

Table 1.

Tannin content in some types of plant materials

Наименование сырья Name of the raw material	Содержание танинов, % Tannin content, %
<i>Бобовые культуры Legumes</i>	
Фасоль Beans	0,0...0,93
Соя Soy	0,2...0,5
Горох Peas	1,5...2,9
Чечевица Lentil	0,02...0,9
– черная black	0,33
– коричневая brown	0,21
Нут Chickpeas	0,09...0,4
<i>Зерновые культуры Grain crops</i>	
Сорго Sorghum	
– белой окраски white coloring	1,29 ± 0,56
– бурой окраски brown color	6,10 ± 2,00
Ячмень Barley	0,1...0,3
Просо Millet	0,1...3,0
<i>Другое растительное сырье Other vegetable raw materials</i>	
Яблоки Apples	0,025...0,34
Гранат Pomegranate	9,36...15,71
Хурма Persimmon	0,1...0,5
Вишня Cherry	0,13...0,34
Кизил Dogwood	0,3...0,61
Черная смородина Black currant	0,332...0,42
Какао-бобы Cocoa beans	3,0...6,0
Какаовелла Kakaovella	0,7...1,3
Чай черный листовой Black leaf tea	5,5...32,6
Чай зеленый листовой Green leaf tea	28,5...41,4

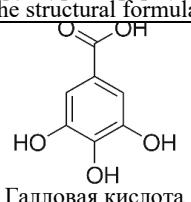
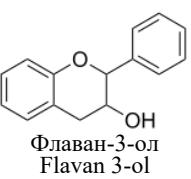
Существует два основных класса дубильных веществ, входящих в состав растительного сырья: гидролизуемые (галлотанины, эллаготанины) и конденсированные (проантоцианидины, полифлавоноидные танины, танины катехольного типа, танины пирокатекольного типа, негидролизуемые танины или флаволаны) (таблица 2) [17].

Таблица 2.

Классификация дубильных веществ (танинов)

Table 2.

Classification of tannins

Класс танинов Tannin class	Структурная формула The structural formula	Источник A source
Гидролизуемые Hydrolysable	 Галловая кислота Gallic acid	Растения Plants
Конденсированные флавобатанины Condensed phlobatanins (изомеризованные конденсированные танины C-C-кольцом isomerized condensed tannins C-C-ring)	 Флаван-3-ол Flavan 3-ol	Растения Plants

Конденсированные дубильные вещества – это продукты конденсации катехинов (флаван-3-олов), лейкоантоцианидинов (флаван-3,4-диолов), реже оксистильбенов (фенилэтиленов). Содержатся и преобладают они в коре калины, корневищах лапчатки, плодах черники, черемухи, траве зверобоя, листьях чая.

Дубильные вещества конденсированной группы образуют полимерные молекулы с помощью углерод-углеродных связей (-C-C-). Прочные ковалентные связи придают соединениям устойчивость к воздействию кислот, щелочей и ферментов. При действии минеральных кислот молекула конденсированных дубильных веществ окисляется с увеличением молекулярной массы и образованием продуктов окислительной конденсации – флобафенов красно-коричневого цвета [17].

Чаще всего в растениях встречается смесь гидролизуемых и конденсированных дубильных веществ с преобладанием той или иной группы, поэтому классифицировать их достаточно сложно. В состав смесей дубильных веществ входят также простые фенолы (резорцин, пиракатехин, пирогаллол, флороглюцин и др.) и свободные фенолкарбоновые кислоты (галловая, эллаговая, протокатеховая и др.) [18].

Например, большинство ягод, таких как клюква, клубника, черника, содержат как гидролизуемые, так и конденсированные танины. В хмеле присутствуют конденсированные танины. В чае они представлены катехинами с галловыми эфирами, их содержание в заварке из прессованного чая составляет 4%, из зеленого – до 20%. Так как танины хуже растворяются в холодной воде, то при охлаждении заварки они придают мутность [19].

Содержащиеся в семенах чечевицы танины, состоящие из сложных эфиров фенокислот с моносахаридами или многоатомными спиртами, являются важным лекарственным средством, а в организме они связывают бактериальные токсины и ядовитые соли Hg, Pb и др., выводят их из организма. Большинство негидролизуемых танинов относятся к классу флаванолов (например, катехин) – укрепляют стенки кровеносных капилляров и способствуют эффективному использованию организмом человека аскорбиновой кислоты [20].

Потребление продуктов с высоким содержанием танинов без соответствующей предварительной обработки может способствовать дефициту питательных веществ и микроэлементов. Правильная обработка сырья позволяет раскрыть весь питательный потенциал этих важнейших сельскохозяйственных культур [21].

Для повышения питательной ценности продуктов используются различные традиционные технологические методы обработки (таблица 3): очистка от примесей, промывание, замачивание, измельчение, термическая обработка, проращивание, ферментация. Они позволяют нейтрализовать негативное действие антинутриентов (фитатов, танинов, ингибиторов ферментов, сапонинов и др.) [22], превращая сырье в полноценный и питательный продукт для здорового рациона [23].

Таблица 3.
Эффективные методы обработки продуктов

Table 3.
Effective food processing methods

Основные методы обработки Basic processing methods	Характеристика и основное предназначение Characteristics and main purpose
Очистка, промывание, длительное замачивание Cleaning, rinsing, prolonged soaking	Многие антипитательные вещества, в том числе танины, являются водорастворимыми и вымываются при замачивании в воде. Many anti-nutrients, including tannins, are water-soluble and are washed out when soaked in water.
Измельчение (фрезерование) и очистка Grinding (milling) and cleaning	Так как танины концентрируются в отрубях и оболочке зерна, то процесс помола и удаления оболочки значительно снижает их содержание, при этом также удаляется часть полезных минералов и клетчатки. Since tannins are concentrated in the bran and the shell of the grain, the process of grinding and removing the shell significantly reduces their content, while also removing some of the useful minerals and fiber.
Термическая обработка (варка, автоклавирование, экструзия, ИК-излучение и др.) Heat treatment (cooking, autoclaving, extrusion, IR radiation, etc.)	Обработка под давлением (автоклавирование) является высокоеффективным методом снижения уровня танинов по сравнению с обычной варкой, что приводит к значительному улучшению усвояемости белка. Pressure treatment (autoclaving) is a highly effective method of reducing tannin levels compared to conventional cooking, which leads to a significant improvement in protein digestibility.
Проращивание Germination	При проращивании зерна активируются естественные ферменты, которые способствуют разложению антипитательных веществ и в целом для многих культур оно способствует улучшению питательного профиля. During grain germination, natural enzymes are activated that promote the decomposition of anti-nutrients, and in general, for many crops, it helps to improve the nutritional profile.

Важно отметить, что удаление внешнего слоя оболочки и подготовка семян значительно снижают присутствие антипитательных соединений. Количество таких веществ можно уменьшить с помощью длительного замачивания, ферментации или проращивания сырья. При термической обработке активность ингибиторов трипсина почти полностью снижается [24].

Вымачивание – один из простых и наиболее эффективных способов удаления антипитательных факторов. Бобовые замачивают в избытке воды на длительное время с периодической сменой воды. При замачивании снижается содержание и активность фитата, ингибиторов протеаз, лектинов, танинов. Так, после 12-ти часового выдерживания гороха в воде, содержание в нем фитата уменьшается до 9%. Замачивание гороха в течение 6–18 ч снижает лектины на 38–50%, танины – на 13–25% и ингибиторы протеаз – на 28–30%. Вымачивание семян нута приводит к снижению доли танинов в нем на 53% [25]. Тем не менее, уменьшение количества антинутриентов зависит от типа бобовых. Так, замачивание фасоли и соевых бобов незначительно влияет на ингибиторы протеаз.

При проращивании или ферментации в семенах происходят интенсивные изменения, которые приводят к деградации антипитательных веществ (фитатов, ингибиторов протеаз, рафинозы). Снижение в зерне содержания рафинозы, а также и стахиозы, происходит за счет расщепления их до простых легкоусвояемых форм. При прорастании количество фитата уменьшается на 37–81% в различных типах зерен и бобовых, также снижается уровень лектинов и ингибиторов протеаз. Во время ферментации эффективно деградируют фитаты и лектины. Например, ферментация предварительно набухшей коричневой фасоли в течение 48 ч вызывает снижение содержания фитата на 88% [24].

Высокая температура, особенно при кипячении, может разрушить антинутриенты, такие как лектины, танины, ингибиторы протеаз. Имеются данные, что при термической обработке активность ингибиторов трипсина почти полностью снижается на 60–95%. Напротив, фитаты являются термостойкими и не так легко деградируют при кипячении. Так, при кипячении гороха в течение 80 мин ингибиторы протеаз снижаются на 70%, лектины – на 79% и танины – на 69% [26]. После отваривания их количество в фасоли и чечевице снижается до 40 – 80 мг/100 г, в маше до 18–30 мг/100 г, а в соевом молоке и тофу до 30 – 50 мг/100 г. [27].

Сочетание нескольких методов может существенно уменьшить количество антинутриентов, иногда даже полностью. Так, вымачивание, проращивание и молочнокислая ферментация уменьшают фитаты практически

полностью. Кроме того, вымачивание и кипячение приводят к сокращению лектинов, танинов и ингибиторов протеаз на 98–100% [28].

Таким образом, содержание отдельных антинутриентов снижается наиболее эффективно при сочетании следующих методов: фитатов (при замачивании, проращивании и ферментации); лектинов (при замачивании, кипячении, нагревании и брожении); танинов (при замачивании и кипячении); ингибиторов протеаз (при замачивании, проращивании и кипячении); оксалата кальция (при замачивании и кипячении).

На сегодняшний день актуальным является исследование влияния различных способов обработки на содержание антипитательных веществ, в том числе танинов в бобовых, в частности чечевице и продуктах ее переработки.

Цель работы – определение наличие танинов качественным и количественным методом в чечевице двух различных сортов и продуктах их переработки (чечевичные экструдаты, чечевица сушеная, чечевица пророщенная, чечевичные экстракты (аквафаба)).

Материалы и методы

В качестве объектов выбраны образцы нативной чечевицы двух сортов КДЦ «Кермит» (выращенной в Воронежской области) и «Орловская краснозерная» (выращенной в Липецкой области) урожая 2024 г. Перед использованием образцы чечевицы очищали от посторонних примесей, промывали в холодной воде и замачивали на 12 ч. Чечевичные экструдаты готовили при следующих параметрах процесса экструдирования: давление – 30 атм (3 МПа), продолжительность экструзии от загрузки до выхода – 10–15 с, температура в предматричной зоне – 120 ± 1 °С, температура на выходе продукта – 158 ± 1 °С. Чечевицу пророщенную готовили путем замачивания и проращивания в воде в течение 8 сут. Чечевичные экстракты (аквафаба) получали при уваривании чечевицы в воде в течение 40 мин при соотношении 1:5, после чего разделяли получившийся экстракт от вареной чечевицы, которую высушивали конвективным способом до чечевицы сушеною при температуре 50–60 °С до необходимой влажности.

Существует три метода качественного анализа дубильных веществ: осаждение белков или алкалоидов, реакция с фенольными соединениями и деполимеризация [17].

В данной работе для качественного определения танинов использовали метод осаждения белков раствором желатина. Из сырья танины выделяются в виде смеси полимеров и представляют собой аморфные вещества желтого или желто-бурого цвета, без запаха, вяжущего вкуса. Они хорошо растворяются в воде (особенно в горячей) с образованием коллоидных растворов, которые хорошо осаждаются желатином или алкалоидами [29].

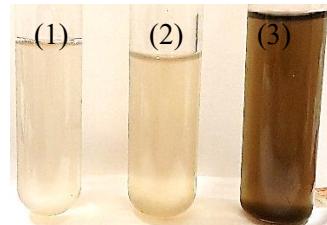
Реакция осаждения желатином является специфической реакцией, для этого используют 1 %-ный раствор желатина, приготовленный на 10 %-ом растворе натрия хлорида. При этом появляется хлопьевидный осадок или муть, исчезающие при добавлении избытка желатина. Отрицательная реакция с желатином свидетельствует об отсутствии дубильных веществ. Для проведения метода анализа используемое сырье экстрагировали в горячей дистиллированной воде при соотношении 1:10 (10 г продукта и 100 г дистиллированной воды) в термоустойчивой колбе на 200–250 мл при нагревании в течение 30–40 мин на водяной бане при температуре 60–70 °С, поскольку в холодной воде дубильные вещества растворяются плохо [4, 5]. Экстракти в горячем виде фильтровали через двойной слой марли с ватой, заранее смоченной в дистиллированной воде. Далее отфильтрованные экстракти разливали в пробирки (рисунок 1, пробирка (1)). Наличие дубильных веществ определяли по образованию осадка, образующегося при их взаимодействии с раствором желатина (рисунок 1, пробирка (2)).

Результаты и обсуждение

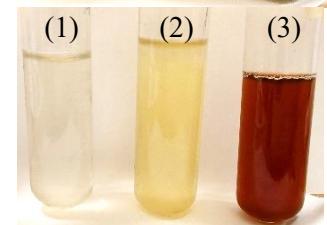
Наиболее ярко выражено наличие танинов было проявлено в нативной чечевице. Дубильные вещества образовывали помутнение по всему объему пробирок и дали небольшой осадок, который растворился в избытке раствора желатина. Менее выраженные свойства были проявлены в образцах сушеною чечевицы. В пророщенной чечевице и чечевичном экстракте была отрицательная реакция с желатином, что свидетельствует об отсутствии дубильных веществ или их незначительном количестве в данных полуфабрикатах.

Как вещества фенольной природы, дубильные вещества легко окисляются перманганатом калия в кислой среде и другими окислителями, образуют окрашенные комплексы с солями тяжелых металлов, трехвалентного железа, бромной водой. Для определения групповой принадлежности дубильных веществ была проведена качественная реакция полученных отфильтрованных экстрактов с солями трехвалентного железа, которые по появляющемуся окрашиванию позволяют определить группу дубильных веществ. Так, появление черно-синего окрашивания указывает на значительное содержание дубильных веществ первого класса – гидролизуемых. Появление черно-зеленого окрашивания свидетельствует о наличии дубильных веществ, относящихся к веществам второго класса – конденсированных (рисунок 1, пробирка (3)).

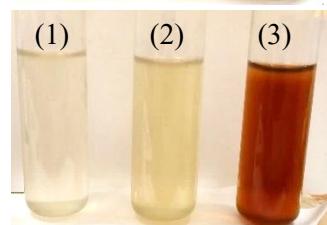
Чечевица нативная из сорта КДЦ «Кермит»
Native lentils from the KDC "Kermit" variety



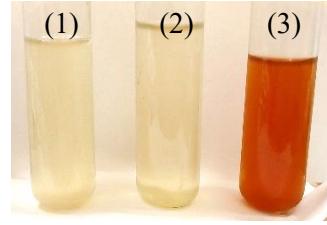
Чечевичный экструдат из сорта КДЦ «Кермит»
Lentil extrudate from the KDC "Kermit" variety



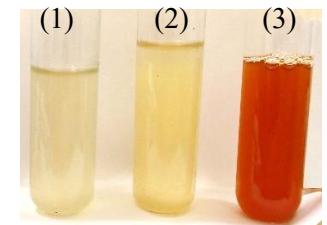
Чечевица сушеная из сорта КДЦ «Кермит»
Dried lentils from the variety Kermit Shopping Center



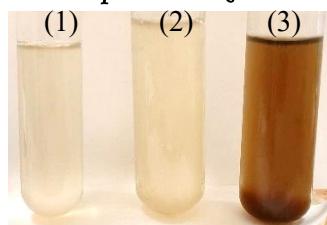
Чечевица пророщенная из сорта КДЦ «Кермит»
Sprouted lentils from the variety Kermit Shopping Center



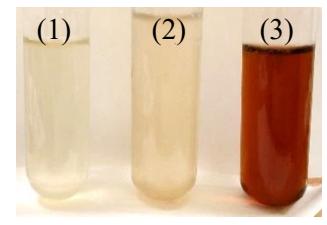
Чечевичный экстракт (аквафаба) из сорта КДЦ «Кермит»
Lentil extract (aquafaba) from the variety Kermit Shopping Center



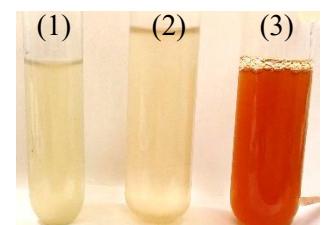
Чечевица нативная из сорта «Орловская краснозерная»
Native lentils from the Orlovskaya Krasnozernaya variety



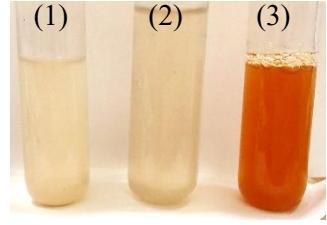
Чечевичный экструдат из сорта «Орловская краснозерная»
Lentil extrudate from the Orlovskaya Krasnozernaya variety



Чечевица сушеная из сорта «Орловская краснозерная»
Dried lentils from the Orlovskaya Krasnozernaya variety



Чечевица пророщенная из сорта «Орловская краснозерная»
Sprouted lentils from the Orlovskaya Krasnozernaya variety



Чечевичный экстракт (аквафаба) из сорта «Орловская краснозерная»
Lentil extract (aquafaba) from the Orlovskaya Krasnozernaya variety

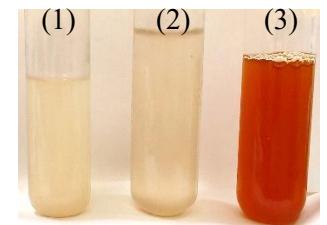


Рисунок 1. Результаты качественной реакции определения дубильных веществ в продуктах из чечевицы различных сортов: пробирка (1) – экстракт отфильтрованный; пробирка (2) – экстракт с внесением 1%-ого раствора желатина, приготовленного на 10%-ном растворе натрия хлорида; пробирка (3) – экстракт с внесением солей трехвалентного железа.

Figure 1. Results of the qualitative reaction for the determination of tannins in products made from lentils of different varieties: test tube (1) – filtered extract; test tube (2) – extract with the addition of a 1% gelatin solution prepared in a 10% sodium chloride solution; test tube (3) – extract with the addition of trivalent iron salts.

Качественная реакция в образце нативной чечевицы показала преобладающее количество дубильных веществ конденсированной группы из-за слабого черно-зеленого окрашивания. В образце чечевичного экструдата эта же реакция была несколько меньше, а в образцах сушеной, пророщенной чечевицы, чечевичном экстракте реакции не произошло, что также говорит об отсутствии дубильных веществ или их незначительном количестве.

Оценку количественного содержания танинов в исследуемых образцах проводили методом фотоэлектроколориметрии в центре коллективного пользования «Контроль и

управление энергоэффективных проектов» ФГБОУ ВО «Воронежского государственного университета инженерных технологий».

Количественный метод определения танинов основан на экстрагировании дубильных веществ водой при кипячении и последующем измерении оптической плотности растворов дубильных веществ, окрашенных в результате реакции с хлоридом железа (III) при pH 10 на фотоколориметре [13].

Для анализа использовали водный раствор танина с концентрацией 10 мг в 100 см³; карбоната натрия с массовой долей 15%; хлорида железа (III) с массовой долей 1%; тимолфталеина.

При выполнении эксперимента использовали следующее оборудование: весы лабораторные марки РМВ-53; электромельница; водяная баня; электрическая плитка; фотоколориметр марки КФК-3 КМ фирмы *UNICO*.

Методика определения заключается в следующем: 5 г измельченного продукта помещали в колбу вместимостью 250 см³ и добавляли 200 см³ кипящей воды. Колбу выдерживали 2 ч на кипящей водяной бане с периодическим помешиванием супензии. Затем содержимое колбы охлаждали до 20 °C и количественно переносили в мерную колбу вместимостью 250 см³, добавляли воду до метки дистиллированной водой. Для компенсации объема, занимаемого продуктом, в колбу добавляли еще 2,5 см³ дистиллированной воды. Содержимое колбы тщательно перемешивали и фильтровали через складчатый фильтр. Пипеткой отбирали 50 см³ фильтрата, переносили в мерную колбу вместимостью 250 см³ и разбавляли дистиллированной водой до метки.

Во время экстрагирования дубильных веществ из продукта готовили стандартный раствор танина концентрацией 10 мг%, к которому прибавляли 3–4 капли раствора тимолфталеина и титровали раствором карбоната натрия до темно-синего окрашивания (pH 10). Затем добавляли 0,5 см³ раствора хлорида железа (III), перемешивали и выдерживали 3 мин. Окрашенный раствор помещали в кювету спектрофотометра с толщиной поглощающего слоя 5 мм и измеряли оптическую плотность раствора при 354 нм по отношению к воде. Полученные значения оптической плотности фотометрируемого раствора корректировали, учитывая увеличение его объема за счет добавления растворов хлорида железа (III) и карбоната натрия. Оптическую плотность раствора танина, A_T , с учетом поправки на разбавление рассчитывали по формуле

$$A_T = A \cdot [10 + (V_1 + V_2)]/10, \quad (1)$$

где A – измеренная оптическая плотность раствора танина; V_1 – объем раствора хлорида железа (III) с массовой долей 1%, см³; V_2 – объем раствора карбоната натрия с массовой долей 15%, израсходованного на титрование, см³.

Оптическую плотность раствора дубильных веществ, $A_{\text{дуб}}$, измеряли аналогично A_T . Для этого 10 см³ приготовленного раствора дубильных веществ переносили пипеткой в колбу вместимостью 50 см³, добавляли 3–4 капли раствора тимолфталеина и титровали раствором карбоната натрия (обычно количество раствора карбоната натрия в растворе танина не превышает 4 капель до темно-синего окрашивания). Затем добавляли 0,5 см³ раствора хлорида железа (III), перемешивали, выдерживали 3 мин и измеряли оптическую плотность в кювете

с толщиной поглощающего слоя 3 мм при 400 нм по отношению к щелочному раствору дубильных веществ продукта, но без добавления хлорида железа (III).

Полученное значение оптической плотности раствора дубильных веществ, $A_{\text{дуб}}$, рассчитывали по формуле

$$A_{\text{дуб}} = A_{\text{дуб1}} \cdot [10 + (V_1 + V_2)]/10, \quad (2)$$

где $A_{\text{дуб1}}$ – измеренная оптическая плотность раствора дубильных веществ; V_1 – объем раствора хлорида железа (III) с массовой долей 1%, см³; V_2 – объем раствора карбоната натрия с массовой долей 15%, израсходованного на титрование, см³.

Количество дубильных веществ в продукте, X %, рассчитывали по формуле

$$X = \Pi \cdot A_{\text{дуб}} / A_T, \quad (3)$$

где Π – постоянный коэффициент, связанный с содержанием дубильных веществ в продукте, % (для чечевицы принято – 0,446).

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 4. Расхождение между повторными опытами не превышает 0,5%.

Таблица 4.
Содержание танинов в чечевице и продуктах
ее переработки

Table 4.
Tannin content in lentils and their processed
products

Продукт Product	Массовая доля влаги в продукте, % Mass fraction of moisture in the product, %		Содержание танинов в продукте, % The tannin content in the product, %	
	Сорт чечевицы «Кермит» The Kermite KDC lentil variety	Сорт чечевицы «Орловская краснозерная» The Orlovskaya Krasnozernaya lentil variety	Сорт чечевицы КДЦ «Кермит» The Kermite KDC lentil variety	Сорт чечевицы «Орловская краснозерная» The Orlovskaya Krasnozernaya lentil variety
Чечевица нативная Native lentils	12,6	10,8	0,58 ± 0,003	0,37 ± 0,002
Чечевич- ный экструдат Lentil Extrudate	7,5	7,0	0,23 ± 0,002	0,22 ± 0,002
Чечевица сушеная Dried lentils	8,4	8,0	0,20 ± 0,001	0,18 ± 0,001
Чечевица проро- щенная Sprouted lentils	8,8	8,6	0,14 ± 0,001	0,11 ± 0,001
Чечевичная супензия (аквафаба) Lentil suspension (aquaafaba)	91,4	91,8	0,023 ± 0,001	0,019 ± 0,001

Заключение

Как следует из таблицы 3, существующие способы обработки чечевицы по-разному влияют на содержание и свойства танинов. Наиболее эффективный метод снижения концентрации танинов – в 4,1–3,4 раза при проращивании чечевицы, в результате чего, по-видимому, активируется фермент полифенолоксидаза, который расщепляет танины на более простые компоненты [30]. Процессы экструдирования чечевицы и высушивания также способствуют снижению танинов – в 1,7–2,5 и 2,1–2,9 раза

(соответственно) за счет частичной деградации их молекул и полимеризации до более крупных полимеров, что приводит к изменению их антипитательных свойств, при этом они становятся менее «агрессивными» по отношению к питательным веществам и менее активно вступают в реакцию с белками и ионами железа, что снижает их антипитательные свойства. При получении чечевичной супензии (аквафабы) путем уваривания нативной чечевицы в водном растворе, содержание танинов снизилось в 1,5–1,9 раза (в пересчете на абсолютно сухое вещество).

Литература

- 1 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.
- 2 Ахангаран М., Афанасьев Д.А., Чернуха И.М., Машенцева Н.Г., Гаравири М. Биоактивные пептиды и антипитательные вещества нута: характеристика и свойства (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183. № 1. С. 214–223. doi: 10.30901/2227-8834-2022-1-214-223.
- 3 Фролов Д.И., Назарова Е.И. Пищевые и антипитательные вещества семян фасоли // Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 4. С. 32–37.
- 4 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.
- 5 Бобрышева Т.Н., Анисимов Г.С., Золоторева М.С., Бобрышев Д.В., Будкевич Р.О., Москалев А.А. Полифенолы как перспективные биологически активные соединения // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 1. С. 92–107. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107.
- 6 Кубасова Е.Д., Крылов И.А., Корельская Г.В., Пантихова К.А., Кубасов Р.В. Противоопухолевые и противовоспалительные свойства дубильных веществ растительного происхождения и перспективы их использования в фармации // Медико-фармацевтический журнал "Пульс". 2022. Т. 24. № 12. С. 55–60. doi: 10.26787/nydha-2686-6838-2022-24-12-55-60.
- 7 Sudheendra C., Prasad M.P., Biradar M.S., Uma Reddy Y.S. Anti-nutritive and therapeutic properties of lectins // Biological and Chemical Hazards in Food and Food Products. Oakville: Apple Academic Press, 2022. P. 281–298.
- 8 Wongdee K., Rodrat M., Teerapornpruntakit J., Krishnamra N., Charoenphandhu N. Factors inhibiting intestinal calcium absorption: hormones and luminal factors that prevent excessive calcium uptake // Journal of Physiological Sciences. 2019. V. 69. P. 683–696. doi: 10.1007/s12576-019-00688-3.
- 9 Elango D., Rajendran K., Van der Laan L., Sebastian S., Raigne J., Thaiparambil N.A., El Haddad N., Raja B., Wang W., Ferela A., Chiteri K.O., Thudi M., Varshney R.K., Chopra S., Singh A., Singh A.K. Raffinose family oligosaccharides: friend or foe for human and plant health? // Frontiers in Plant Science. 2022. V. 13. P. 829118. doi: 10.3389/fpls.2022.829118.
- 10 Возиян В.И., Таран М.Г., Якубца М.Д., Агадэний Л.П. Питательная ценность сортов сои, гороха, фасоли и содержание в них антипитательных веществ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2013. № 1 (5). С. 26–29.
- 11 Acquah C., Ohemeng-Boahen G., Power K.A., Tosh S.M. The effect of processing on bioactive compounds and nutritional qualities of pulses in meeting the Sustainable Development Goal 2 // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021. V. 5. P. 681662. doi: 10.3389/fsufs.2021.681662.
- 12 Беляева И.А., Коверченко А.А., Холодова Е.Н. Использование чечевицы для повышения биологической ценности продуктов питания // Современная наука и инновации. 2016. № 3. С. 94–101.
- 13 Орлова А.А., Повыдыш М.Н. Обзор методов качественного и количественного анализа танинов в растительном сырье // Химия растительного сырья. 2019. № 4. С. 29–45. doi: 10.14258/jcprm.2019045459.
- 14 Полухина Т.С. Сравнительное изучение динамики накопления суммы дубильных веществ в сырье *Salvia officinalis* L. и *Salvia stepposa* L. // Медико-фармацевтический журнал "Пульс". 2020. Т. 22. № 8. С. 38–42. doi: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-8-38-42.
- 15 Эшматов Ф.Х., Максумова Д.К., Додаева Л.К., Додаев К.О., Ахмедова З.Р. Средства воздействия на танин в гранатовом соке и кожуре // Пищевая промышленность. 2016. № 2. С. 36–38.
- 16 Алексина Е.А., Ефремов А.Н., Емельянова О.А. Растения семейства Hydrocharitaceae – новый источник дубильных веществ? // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 179–184. doi: 10.14258/jcprm.2018033723.
- 17 Михалина А.Д. Качественные реакции для определения дубильных веществ различных химических классов // Научный журнал молодых ученых. 2019. № 2 (15). С. 1–5.
- 18 Афонина С.Н., Лебедева Е.Н., Сетко Н.П. Биохимия компонентов чая и особенности его биологического действия на организм (обзор) // Оренбургский медицинский вестник. 2017. № 4 (20). С. 17–33.
- 19 Горлов И.Ф., Семенова И.А., Мосолов А.А., Сложенин А.Б. и др. Новый метод снижения содержания антипитательных веществ в бобовых культурах // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 3. С. 71–73.

- 20 Фаттахова Г.А., Канарский А.В. Сапонины как биологически активные вещества растительного происхождения // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 16. С. 196–202.
- 21 Sinha S.K., Amresh K. Condensed tannin: a major anti-nutritional constituent of faba bean (*Vicia faba* L.) // Horticulture International Journal. 2018. V. 2. № 2. P. 31–32. doi: 10.15406/hij.2018.02.00022.
- 22 Бурак Л.Ч. Существующие способы обработки пищевых продуктов и их влияние на пищевую ценность и химический состав // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК. 2021. № 3. С. 59–73. doi: 10.24412/2311-6447-2021-3-59-73.
- 23 Kaur N., Kaur M., Kaur A., Singh J., Kaur S., Kaur P. Natural food toxins as anti-nutritional factors in plants and their reduction strategies // Food Chemistry: The Role of Additives, Preservatives and Adulteration. Amsterdam: Elsevier, 2021. P. 217–248.
- 24 Кощаева 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.
- 25 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.
- 26 Алешин В.Н., Войченко О.Н., Минакова А.Д., Лобанов В.Г. Влияние условий термической обработки на активность лектинов семян клещевины и сои // Известия вузов. Пищевая технология. 2009. № 2–3. С. 76–78.
- 27 Калашникова С.В., Тертычная Т.Н. Снижение активности антипитательных веществ в соевых бобах // Технологии и продукты здорового питания. 2021. С. 262–265.
- 28 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.
- 29 Антонова Н.П., Калинин А.М., Прохватилова С.С., Шефер Е.П., Матвеенкова Т.Е. Оценка эквивалентности методов определения дубильных веществ, используемых для анализа лекарственного растительного сырья // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2015. № 1. С. 11–15.
- 30 Рябинина Е.И., Зотова Е.Е., Никитина Т.Н., Пономарева Н.И. Способ ингибирования полифенолоксидазы в яблочных выжимках при получении сорбентов // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2021. № 3. С. 132–138.

References

- 1 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. 6. doi: 10.1186/s43014-020-0020-5.
- 2 Akhangaran M., Afanasev D.A., Chernukha I.M., Mashentseva N.G., Garaviri M. Bioactive peptides and anti-nutritional substances of chickpeas: characteristics and properties (review). Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. no. 183(1). pp. 214–223. doi: 10.30901/2227-8834-2022-1-214-223. (in Russian).
- 3 Frolov D.I., Nazarova E.I. Nutritional and anti-nutritional substances of bean seeds. Innovative technique and technology. 2023. vol. 10. no. 4. pp. 32–37. (in Russian).
- 4 Shikh E.V., Makhova A.A., Dorogun O.B., Elizarova E.V. The role of phytates in human nutrition. Voprosy pitaniiia. 2023. vol. 92. no. 4. pp. 20–28. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-4-20-28. (in Russian).
- 5 Bobrysheva T.N., Anisimov G.S., Zolotoreva M.S., Bobryshev D.V., Budkevich R.O., Moskalev A.A. Polyphenols as promising biologically active compounds. Voprosy pitaniiia. 2023. vol. 92. no. 1. pp. 92–107. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107. (in Russian).
- 6 Kubasova E.D., Krylov I.A., Korel'skaya G.V., Pantyukhova K.A., Kubasov R.V. Antitumor and anti-inflammatory properties of tannins of plant origin and prospects for their use in pharmacy. Mediko-farmatsevticheskii zhurnal "Pul's". 2022. no. 24(12). pp. 55–60. doi: 10.26787/nydha-2686-6838-2022-24-12-55-60. (in Russian).
- 7 Sudheendra C. et al. Anti-nutritive and therapeutic properties of lectins. Biological and Chemical Hazards in Food and Food Products. Apple Academic Press, 2022. pp. 281–298.
- 8 Wongdee, K., Rodrat, M., Teerapornpuntakit, J. et al. Factors inhibiting intestinal calcium absorption: hormones and luminal factors that prevent excessive calcium uptake. The Journal of Physiological Sciences. 2019. vol. 69. pp. 683–696. doi: 10.1007/s12576-019-00688-3.
- 9 Elango D., Rajendran K., Van der Laan L., Sebastian S., Raigne J., Thaiparambil N.A., El Haddad N., Raja B., Wang W., Ferela A., Chiteri K.O., Thudi M., Varshney R.K., Chopra S., Singh A., Singh A.K. Raffinose Family Oligosaccharides: Friend or Foe for Human and Plant Health? Frontiers in Plant Science. 2022. vol. 13. 829118. doi: 10.3389/fpls.2022.829118.
- 10 Vozijan V.I., Taran M.G., Yakobutsa M.D., Avadenii L.P. Nutritional value of soybean, pea, bean varieties and the content of anti-nutritional substances in them. Nauchno-proizvodstvennyi zhurnal «Zernobobovye i krupyanie kul'tury». 2013. no. 1(5). pp. 26–29. (in Russian).
- 11 Caleb Acquah, Godfred Ohemeng-Boahen, Krista A. Power and Susan M. Tosh. The Effect of Processing on Bioactive Compounds and Nutritional Qualities of Pulses in Meeting the Sustainable Development Goal 2. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021. vol. 5. 681662. doi: 10.3389/fsufs.2021.681662.
- 12 Belyaeva I.A., Koverchenko A.A., Kholodova E.N. The use of lentils to increase the biological value of food products. Sovremennaia nauka i innovatsii. 2016. no. 3. pp. 94–101. (in Russian).
- 13 Orlova A.A., Povydysh M.N. Review of methods for qualitative and quantitative analysis of tannins in plant materials. Khimiia rastitel'nogo syr'ya. 2019. no. 4. pp. 29–45. doi: 10.14258/jcprm.2019045459. (in Russian).

- 14 Polukhina T.S. Comparative study of the dynamics of accumulation of the sum of tannins in raw materials of SALVIA OFFICINALIS L. and SALVIA STEHOSA L. Mediko-farmatsevticheskii zhurnal "Pul's". 2020. vol. 22. no. 8. pp. 38–42. doi: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-8-38-42. (in Russian).
- 15 Eshtmatov F.Kh., Maksumova D.K., Dodaeva L.K., Dodaev K.O., Akhmedova Z.R. Means of influencing tannin in pomegranate juice and peel. Pishchevaya promyshlennost'. 2016. no. 2. pp. 36–38. (in Russian).
- 16 Alekhina E.A., Efremov A.N., Emel'yanova O.A. Plants of the Hydrocharitaceae family - a new source of tannins? Khimiia rastitel'nogo syr'ya. 2018. no. 3. pp. 179–184. doi: 10.14258/jcprm.2018033723. (in Russian).
- 17 Mikhailina A.D. Qualitative reactions for the determination of tannins of various chemical classes. Nauchnyi zhurnal molodykh uchenykh. 2019. no. 2 (15). pp. 1–5. (in Russian).
- 18 Afonina S.N., Lebedeva E.N., Setko N.P. Biochemistry of tea components and features of its biological effect on the body (review). Orenburgskii meditsinskii vestnik. 2017. no. 4 (20). pp. 17–33. (in Russian).
- 19 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. Vestnik Rossiiskoi sel'skokhoziaistvennoi nauki. 2018. no. 3. pp. 71–73. (in Russian).
- 20 Fattakhova G.A., Kanarskii A.V. Saponins as biologically active substances of plant origin. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. pp. 196–202. (in Russian).
- 21 Sinha S.K., Amresh K. Condensed tannin: a major anti-nutritional constituent of faba bean (*Vicia faba* L.). Horticulture International Journal. 2018. vol. 2. no. 2. pp. 31–32. doi: 10.15406/hij.2018.02.00022.
- 22 Burak L.Ch. Existing methods of food processing and their impact on nutritional value and chemical composition. Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. 2021. no. 3. pp. 59–73. doi: 10.24412/2311-6447-2021-3-59-73. (in Russian).
- 23 Kaur N. et al. Natural food toxins as anti-nutritional factors in plants and their reduction strategies. Food Chemistry: The Role of Additives, Preservatives and Adulteration. 2021. pp. 217–248
- 24 Koshchaeva O.V., Khmara I.V., Fedorenko K.P., Shkredov V.V. The effect of sprouting on the chemical composition and content of anti-nutritional substances in soybean seeds. Nauchnyi zhurnal KubGAU. 2014. no. 97(03). pp. 1–25. (in Russian).
- 25 Eliseeva L.G., Makhotina I.A., Kalachev S.L. Increasing the safety of plant-based food products by reducing the content of phytates. Voprosy bezopasnosti. 2019. no. 1. pp. 9–17. doi: 10.25136/2409-7543.2019.1.28874. (in Russian).
- 26 Aleshin V.N., Voichenko O.N., Minakova A.D., Lobanov V.G. Effect of thermal treatment conditions on the activity of lectins in castor bean and soybean seeds. Izvestia vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. 2009. no. 2–3. pp. 1–2. (in Russian).
- 27 Kalashnikova S.V., Tertychnaya T.N. Reducing the activity of anti-nutritional substances in soybeans. Tekhnologii i produkty zdorovogo pitaniya. 2021. pp. 262–265. (in Russian).
- 28 Strizhko M.N. Antinutrients in grain-based plant-based drinks: a review of the subject area. Food Metaengineering. 2023. no. 1(1). pp. 63–89. doi: 10.37442/fme.2023.1.3. (in Russian).
- 29 Antonova N.P., Kalinin A.M., Prokhvatilova S.S., Shefer E.P., Matveenkova T.E. Assessment of the equivalence of methods for determining tannins used for the analysis of medicinal plant materials. Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniia. 2015. no. 1. pp. 11–15. (in Russian).
- 30 Ryabinina E.I., Zотова Е.Е., Никитина Т.Н., Пономарева Н.И. Method of inhibiting polyphenol oxidase in apple pomace during sorbent production. Vestnik Smolenskoi gosudarstvennoi meditsinskoi akademii. 2021. no. 3. pp. 132–138. (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>

Магомед Г. Магомедов д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mmg@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2494-4973>

Павел Т. Суханов д.х.н., профессор, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, pavel.suhanov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2588-9286>

Инесса 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>

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>

Magomed G. Magomedov Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mmg@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2494-4973>

Pavel T. Sukhanov Dr. Sci. (Chem.), professor, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, pavel.suhanov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2588-9286>

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>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, 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>

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

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

Вклад авторов

Виктор Е. Плотников обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты
Магомед Г. Магомедов предложил методику проведения эксперимента

Павел Т. Суханов предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Инесса В. Плотникова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за plagiat

Константин К. Полянский консультация в ходе исследования

Дарья Е. Скосарь обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Konstantin K. Polyanskii Dr. Sci. (Engin.), Technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036; 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>

Daria E. Skosar student, 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>

Contribution

Viktor E. Plotnikov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Magomed G. Magomedov proposed a scheme of the experiment

Pavel T. Sukhanov proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Inessa V. Plotnikova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Konstantin K. Polyanskii consultation during the study

Daria E. Skosar review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/08/2025	После редакции 18/08/2025	Принята в печать 10/09/2025
Received 01/08/2025	Accepted in revised 18/08/2025	Accepted 10/09/2025