

## Пищевые и антипитательные вещества семян фасоли

Фролов Д.И., Назарова Е.И.

**Аннотация.** Семена фасоли обладают уникальными питательными свойствами, так как содержат важные белки, углеводы, минералы, витамины и пищевые волокна. Кроме того, в них присутствует разнообразие биологически активных соединений, которые оказывают влияние на организм человека, хотя не являются основными питательными веществами. Цель данного обзора заключается в описании основных компонентов, содержащихся в семенах фасоли, и их воздействии на человеческий организм, включая как положительные, так и отрицательные аспекты.

**Ключевые слова:** семена фасоли, пищевые соединения, антипитательные соединения, технологическая обработка.

**Для цитирования:** Фролов Д.И., Назарова Е.И. Пищевые и антипитательные вещества семян фасоли // Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 4. С. 32–37.

## Nutrients and anti-nutrients of bean seeds

Frolov D.I., Nazarova E.I.

**Abstract.** Bean seeds have unique nutritional properties as they contain important proteins, carbohydrates, minerals, vitamins and dietary fiber. In addition, they contain a variety of biologically active compounds that have an effect on the human body, although they are not essential nutrients. The purpose of this review is to describe the main components contained in bean seeds and their effects on the human body, including both positive and negative aspects.

**Keywords:** bean seeds, food compounds, anti-nutritional compounds, technological processing.

**For citation:** Frolov D.I., Nazarova E.I. Nutrients and anti-nutrients of bean seeds. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2023. Vol. 10. No. 4. pp. 32–37. (In Russ.).

### Введение

Растущее количество хронических заболеваний и увеличивающиеся расходы на здравоохранение побудили исследователей пересмотреть существующие рекомендации по питанию. На данный момент питание, как наука, нуждается в расширении своих основных функций. Это включает профилактику дефицита питательных веществ, установление стандартов питания и рекомендаций, а также новую концепцию, направленную на поддержание благополучия и здоровья, а также на минимизацию риска заболеваний, связанных с питанием, как избытком, так и недостатком определенных питательных веществ. С увеличивающимися ожиданиями потребителей, заинтересованных в преимуществах питания для контроля и профилактики заболеваний, появилось множество концепций инновационных пищевых продуктов с особыми питательными свойствами по всему миру. Функциональная пища, определенная как продукт или ингредиент, оказывающий положительное влияние на здоровье, физическую работоспособность

или психическое состояние человека, помимо своей питательной ценности, должна соответствовать нескольким условиям: она должна быть естественно возникающей, подходить для употребления в ежедневном рационе и при введении в организм должна укреплять или регулировать определенный биологический процесс или механизм, чтобы предотвращать или контролировать конкретные заболевания [1].

В скором времени термин «функциональное питание» стал сопровождаться различными схожими выражениями, такими как «нутрицевтики», «фармапродукты», «медипродукты», «витафуд» и другие. Все эти термины, заимствованные из области научного питания, подчеркивают благоприятное воздействие пищевых компонентов и их взаимодействие с функциями организма и/или патологическими процессами. Однако, несмотря на их разнообразие, их часто неправильно используют для обозначения пищевых веществ или обогащенной пищи, способной предотвратить или лечить заболевания [2].

Термин «нутрицевтик» был определен Фондом

инноваций в медицине как «вещества, рассматриваемые как пища или ее составная часть, которые приносят медицинскую или здоровьесберегающую пользу, включая профилактику и лечение заболеваний», чтобы отделить их от функциональных пищевых продуктов и лекарств. Нутрицевтики не являются лекарствами, обладающими фармакологической активностью, но они безусловно представляют собой компоненты, которые не только поддерживают и нормализуют различные физиологические или метаболические функции, но также могут усиливать, противодействовать или иным образом воздействовать на них. Это означает, что любой естественный ингредиент в виде порошка или таблетки, не обязательно являющийся полноценным пищевым продуктом, может быть классифицирован как нутрицевтик. Следовательно, использование термина «нутрицевтик» и связанных с ним определений, хотя они концептуально различны, относительно пищевых компонентов, применяемых в профилактике или лечении заболеваний, должно быть ограничено только в случаях, когда демонстрируется их биологическая активность, изучаемая в рамках сложных физиологических процессов в организме человека. Ученые считают, что присвоение определенных функциональных свойств пище или пищевым компонентам не всегда обосновано с научной точки зрения, так как связь причинно-следственная между отдельными пищевыми компонентами трудно подтверждается, особенно у мужчин.

Бобовые, в том числе фасоль, занимают важное место в питании человека, так как во многих странах являются одним из основных продуктов питания. Семена фасоли имеют уникальную пищевую ценность [3]. Помимо того, что они являются дешевым источником ценных белков, сахаридов и некоторых микроэлементов, включая минералы и витамины, они известны как богатые клетчаткой и с низким содержанием жира. Вклад бобовых в ежедневный рацион имеет множество полезных физиологических эффектов, поскольку позволяет предотвратить распространенные метаболические заболевания, такие как сахарный диабет, ишемическая болезнь сердца и рак.

Регулярное употребление бобовых или любых других бобовых может способствовать снижению уровня холестерина в плазме. Кроме того, фасоль вместе с горохом, чечевицей и нутом также показана как лучший источник фолиевой кислоты – витамина, снижающего уровень гомоцистеина в крови [4]. Следовательно, предполагается, что их потребление имеет положительную корреляцию со снижением смертности от ИБС. Бобовые содержат широкий спектр биологически активных компонентов, которые не могут рассматриваться как питательные вещества, однако обладают многими полезными свойствами, такими как антиоксидантные, противовоспалительные, детоксикационные, что может быть полезно при профилактике неко-

торых заболеваний. Особый интерес представляют резистентный крахмал, ингибиторы ферментов, лектины и полифенолы, поэтому все большее внимание уделяется их роли в качестве профилактических средств в рационе питания лиц, страдающих метаболическими нарушениями.

Потребление зернобобовых в Европе ниже, чем в других регионах мира, однако существуют различия между странами и в целом в последние годы наблюдается небольшой рост. Хотя бобовые являются ценным продуктом питания, в большинстве стран Западной Европы потребление семян бобовых, особенно фасоли, значительно сократилось. Факторами, ограничивающими потребление бобовых, являются главным образом: недостаточный уровень инноваций для разработки бобовых продуктов, адаптированных к современной жизни, небольшие внутренние запасы бобовых и конкуренция со стороны более дешевого импорта низкого качества; кроме того, проблемы с желудком после их употребления, низкая органолептическая ценность и длительное время приготовления блюд на основе бобовых [5].

Цель статьи — описать основные пищевые и антипитательные соединения семян фасоли, продемонстрировать их положительное и отрицательное влияние на здоровье человека, а также оценить влияние технологической обработки на их активность.

### **Объекты и методы исследования**

Анализ и синтез литературных источников. Обзор литературных источников.

### **Результаты и их обсуждение**

Сорта фасоли, богаты питательными компонентами, особенно белками и крахмалом, а также ценными непитательными компонентами, такими как резистентный крахмал и пищевые волокна [6].

Содержание крахмала в бобовых культурах высокое и колеблется от 22 до 45 %, в семенах фасоли оно достигает более 40 %. В зависимости от ботанического происхождения крахмал бобовых встречается в гранулированной форме различной формы и размера, а бобовый крахмал имеет почковидную или овальную форму. В одиночной крахмальной грануле внутри может наблюдаться эксцентрическое или концентрическое расположение слоев, возникающее, вероятно, вследствие неравномерной гидратации крахмала при формировании крахмальных гранул. С химической точки зрения крахмал представляет собой смесь двух полимеров глюкозы: линейной амилозы и разветвленного амилопектина, а также второстепенного третьего компонента, известного как промежуточная фракция, которая по своей первичной структуре не является ни амилозой, ни амилопектином. С точки зрения пищевой ценности крахмал является гетерогенным компонентом и может быть разделен на легкоперевари-

ваемый крахмал и устойчивую к перевариванию фракцию. Сухие семена фасоли богаты пищевыми волокнами и фракцией резистентного крахмала. Значительные количества крахмала, не гидролизующегося в тонком кишечнике, достигают толстой кишки и могут ферментироваться в толстой кишке.

По сравнению со злаками, в которых содержание белков колеблется от 5 до 15%, семена фасоли являются ценным источником белков, содержащих от 17 до 39% СВ. Большинство из них лишено какой-либо каталитической активности и не играет никакой структурной роли в семядольной ткани. Эти белки, называемые запасными белками, хранятся в мембраносвязанных органеллах, запасующих вакуолях или белковых телах, в клетках семядольной паренхимы, переживают высыхание при созревании семян и подвергаются протеолизу при прорастании, обеспечивая тем самым свободные аминокислоты, а также аммиак и углеродные скелеты развивающегося проростка. Несмотря на то, что запасные белки семян фасоли, как и другие запасные белки бобовых, содержат относительно мало метионина и триптофана, но содержат много лизина. По этой причине они известны как пищевая добавка белков злаков, в которых обычно не хватает этой аминокислоты. Профиль аминокислот важен для прогнозирования потенциальной ценности белков, однако основными факторами, определяющими их пищевую ценность, являются их усвояемость и доступность. Факторов, ограничивающих биологическую ценность белков фасоли, немного. Одним из них является устойчивость к пищеварению. В целом сообщалось, что растительные белки менее подвержены протеолитическому распаду *in vivo*, чем животные белки. Исследователи, анализируя вызванные нагреванием конформационные изменения фазеолина, основной фракции запасных белков семян фасоли, предполагают, что нарушение его третичной и четвертичной структуры после нагревания является решающим шагом для повышения его восприимчивости к трипсину. Приготовление в микроволновой печи значительно улучшило усвояемость белка. Экспериментальные подходы *in vitro* показали, что устойчивость белков фасоли к протеолизу связана с их структурой, стабилизированной SS-связями и углеводным фрагментом. Кроме того, протеолитическую устойчивость также объясняют наличием антипитательных соединений, которые влияют на усвояемость белков отдельно или вместе с другими компонентами [7]. Повышение пищевой ценности белков бобовых требует применения различных методов технологической обработки. Физико-химическая обработка семян бобовых позволяет уменьшить негативное влияние АНК на усвояемость их белков.

Семена фасоли содержат ряд антипитательных соединений, которые могут иметь белковую и небелковую природу. Их сложно классифицировать по своему строению и физике. Некоторые АНК являются универсальными, как ингибиторы проте-

иназ, лектины, фитаты, полифенолы, другие более специфичны, как некоторые сложные гликозиды. Большинство пищевых антинутриентов оказывают влияние на пищеварительную систему, например, ингибирование пищеварительных ферментов (например, ингибиторы протеаз), нарушение гидролитических функций и транспорта в энтероцитах (лектины), образование нерастворимых комплексов, которые не могут быть адсорбированы, снижение биодоступность некоторых питательных веществ (фитатов, полифенолов) и увеличение продукции газов в толстой кишке (а-галактозиды). Считается, что антинутриенты семян фасоли ограничивают использование белков и углеводов. Однако негативные эффекты некоторых из этих соединений, проявляющиеся в организме человека и животных, наблюдаются только после употребления в пищу сырых и необработанных семян или муки, поскольку обычно тепловая денатурация инактивирует АНК, чувствительные к высокой температуре.

Ингибиторы протеаз – это белки с низкой молекулярной массой, образующие устойчивые комплексы с пищеварительными ферментами, необратимо ингибирующие их активность. Наиболее характерными белковыми ингибиторами семян бобовых являются ингибиторы трипсина как типа Боумена-Бирка, так и типа Куница, а также ингибиторы  $\alpha$ -амилазы. Присутствие ингибиторов протеазы в пище снижает кажущуюся питательную ценность белков в рационе, влияя на способность пищеварительных ферментов организма расщеплять пищевой белок и, таким образом, ограничивая потребление аминокислот, необходимых для построения новых белков. Однако в определенных ситуациях влияние ингибиторов на переваривание белков может быть полезным, например, за счет улучшения интактной абсорбции некоторых терапевтических белков, таких как перорально вводимый инсулин. Более того, контроль активности протеаз, которые, как считается, играют решающую роль в широком спектре биологических процессов и нарушений функционирования, связанных с прогрессированием рака, можно рассматривать как антиканцерогенный механизм. Несколько исследований *in vitro* и *in vivo* предоставили доказательства того, что некоторые ингибиторы протеазы семян бобовых эффективны для предотвращения или подавления трансформации, вызванной канцерогеном. Исследователи в своем обширном обзоре пришли к выводу, что «употребление большего количества овощей и фруктов постоянно, хотя и не повсеместно, связано со снижением риска развития рака в большинстве локализаций, и особенно эпителиального рака пищеварительной и дыхательной системы». трактаты». В большинстве исследований полезных для здоровья свойств ингибиторов протеазы бобовых использовался ингибитор Боумана-Бирка (ВБИ) из соевых бобов. Однако семена других зернобобовых также являются богатыми источниками ингибиторов про-

теазы. Ингибитор амилазы семян фасоли, который состоит из двух гликополипептидных субъединиц, альфа и бета, был хорошо охарактеризован, его полная аминокислотная последовательность была установлена. Ингибитор амилазы может снизить переваривание крахмала. Частично очищенный ингибитор амилазы, полученный из белой фасоли, замедляет переваривание пищевого крахмала *in vitro*, быстро инактивирует амилазу в просвете кишечника человека и при приемлемых пероральных дозах может снижать внутрипросветное переваривание крахмала у человека. Кроме того, он значительно снижает внутрипросветную активность амилазы двенадцатиперстной, тощей и подвздошной кишки, снижает ранний постпрандиальный уровень глюкозы в плазме и элиминирует поздний постпрандиальный уровень глюкозы и устраняет постпрандиальные концентрации инсулина, С-пептида и желудочного ингибирующего полипептида в плазме. Общее заявление об антидиабетической роли ингибиторов альфа-амилазы уже опубликовано, а также некоторые патенты, касающиеся использования пищевых препаратов, содержащих подходящие количества ингибиторов альфа-амилазы, для контроля ожирения, а также профилактики и лечения диабета. появились диабет. Эти результаты подтвердили возможность использования ингибиторов альфа-амилазы в качестве нутрицевтиков. Однако положительный или отрицательный эффект всех ингибиторов ферментов зависит от их уровня в различных бобовых, а также от дозы и частоты употребления.

Бобовые являются основным источником лектинов в обычной пище человека. Большинство видов фасоли являются хорошим источником лектинов, но их содержание зависит от сорта фасоли. Лектины – это гликопротеины неиммунного происхождения, способные узнавать и обратимо связываться с углеводными фрагментами без изменения ковалентной структуры распознаваемых гликозил-лигандов. Они проявляют специфическую активность связывания углеводов, и многие из них обладают гемагглютинирующей активностью. Токсичность лектинов характеризуется задержкой роста у экспериментальных животных, а также диареей, тошнотой, вздутием живота и рвотой при введении людям. Лектины проявляют разнообразную биологическую активность, включая противоопухолевую, иммуномодулирующую, противогрибковую и инсектицидную. В литературных данных сообщается об ингибирующем действии лектинов на обратную транскриптазу вируса иммунодефицита человека 1-го типа (ОТ ВИЧ-1). Красная фасоль содержит лектин-фитогемагглютинин (ФГА), который обладает потенциалом к агглютинации клеток и митогенной активности. Эти авторы продемонстрировали, что экстракты сырой красной фасоли и консервированной красной фасоли содержат биологически активные соединения, способные ингибировать RT ВИЧ-1 *in vitro*.

Семена фасоли содержат ряд небелковых АНК с различной химической структурой и свойствами, таких как фенольные соединения, сапонины, алкалоиды, фитаты и т. д., которые ухудшают биологическое использование их питательных веществ. Среди полифенолов в этом обзоре будут подробно описаны танины. Содержание дубильных веществ в сухих семенах фасоли колеблется от 0,00 до 0,93%. Это соединения средней и высокой молекулярной массы (до 30 000 Да). В семенах фасоли основное количество дубильных веществ находится в семенной кожуре, а небольшое или незначительное количество – в семядолях. Известно, что танины взаимодействуют с белками, образуя комплексы, которые, в свою очередь, уменьшают растворимость белков и делают белковые комплексы менее восприимчивыми к протеолитической атаке, чем те же самые белки по отдельности. Кроме того, они ухудшают ассимиляцию крахмала и дисахаридов и взаимодействуют с протеолитическими ферментами, ингибируя их активность. Другие токсические эффекты танинов можно классифицировать как: угнетение приема пищи, ингибирование пищеварительных ферментов, повышенное выделение эндогенного белка, нарушения работы пищеварительного тракта и токсичность абсорбированного танина или его метаболитов. Однако дубильные вещества и другие растительные полифенолы (антоцианы, флавоноиды) вызывают растущий интерес в связи с их потенциальной ролью в качестве защитных факторов против патологий, опосредованных свободными радикалами, таких как рак и атеросклероз, у человека. Многие исследователи продемонстрировали, что водорастворимые конденсированные танины, выделенные из черной фасоли, ингибируют рост клеток рака толстой кишки Caco-2, MCF-7 и Hs578T молочной железы и DU 145 простаты. Другие данные, связывающие полифенолы с активностью по удалению свободных радикалов и хелатированию металлов, позволяют предположить их потенциальное положительное влияние на лечение и профилактику рака. Литературные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на известное неблагоприятное воздействие на перевариваемость белков, танины семян бобовых могут оказывать полезную антиоксидантную активность и способствовать профилактике заболеваний.

В основном семена бобовых потребляют после технологических обработок, приводящих к изменению внутреннего устройства структуры семядолей и модификации свойств основного полимера – крахмала и белков. Для увеличения использования семян фасоли использовались различные методы обработки, такие как кипячение, гидратация и проращивание. Технологическая обработка может вызывать положительные эффекты, такие как коагуляция белков, набухание и желатинизация крахмала, смягчение текстуры и образование ароматических компонентов, однако применяемые условия могут

вызвать некоторые нежелательные изменения, такие как потеря витаминов и минералов, образование неперевариваемых агрегатов и изменения в их конформация. Инактивация и/или удаление нежелательных компонентов имеет важное значение для улучшения питательных качеств и органолептической приемлемости бобов и, в свою очередь, помогает эффективно использовать их потенциал в качестве пищи для человека и корма для животных. Уменьшение количества АНК может происходить либо за счет их физического устранения, либо за счет тепловой инактивации, поскольку многие из них, особенно белковые АНК, термочувствительны. Удаление семенной оболочки, которая составляет около 10% сухих семян фасоли, вызывая тем самым изменения в усвояемости белков. Термическая обработка может улучшить пищевую ценность пищи за счет снижения ингибирования протеиназ, тем самым увеличивая доступность лизина и других аминокислот. Ингибиторы протеиназ чувствительны к физической обработке и могут денатурироваться под действием тепла, однако степень инактивации зависит от их термической стабильности и сорта семян. В целом термическая обработка снижает активность ингибиторов трипсина до безопасного уровня. Инактивируемые нагреванием ингибиторы протеаз играют положительную пищевую роль благодаря высокому содержанию серосодержащих аминокислот по сравнению с большинством белков семян растений. Кроме того, термическая обработка может снизить токсичность лектинов,

но низкая температура или недостаточное приготовление пищи не могут полностью устранить их токсичность. Однако необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать чрезмерного нагрева, поскольку это может ухудшить пищевую ценность пищевых белков, вызывая реакции сшивки или рацемизацию аминокислот. Несколько исследований показали, что замачивание, варка и ферментация семян бобовых снижают содержание фитиновой кислоты, дубильных веществ, фенолов, ингибиторов альфа-амилазы и трипсина.

### Выводы

Широко распространено мнение, что несбалансированная диета с высоким содержанием жиров, усугубляемая отсутствием физической активности, является основным фактором, способствующим развитию метаболических заболеваний (ожирение, диабет 2 типа, ИБС и рак). Поэтому становится актуальным способствовать увеличению доли бобовых, в том числе фасоли, в рационе, чтобы максимально использовать их питательные компоненты и обеспечить большинство ингредиентов, способствующих улучшению здоровья. Как правило, благотворное влияние бобовых на здоровье человека при употреблении в значительных количествах объясняется их питательными веществами, хотя вполне вероятно, что биоактивные АНК, присутствующие в бобовых, также играют важную роль.

### Литература

- [1] Дзахмишева З. А., Дзахмишева И. Ш. Функциональные пищевые продукты геродиетического назначения // Фундаментальные исследования. – 2014. – №. 9-9. – С. 2048-2051.
- [2] Меркулова Т. Н., Кутумов Д. А. Функциональное питание, как средство для поддержания или восстановления здоровья //Технология и продукты здорового питания. – 2015. – С. 269-271.
- [3] Аксупова А. М., Кылычбекова Н. К. Исследование антиалиментарного фактора фасолевого хлеба при производстве пшенично-фасолевого хлеба //Наука и новые технологии. – 2013. – №. 3. – С. 18-21.
- [4] Елисеева Т., Мироненко А. Витамины группы В–описание, польза, влияние на организм и лучшие источники //Журнал здорового питания и диетологии. – 2019. – Т. 2. – №. 8. – С. 74-87.
- [5] Божко С. Д. и др. Бобовые культуры-перспективное сырье для пищевой промышленности //Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. – 2020. – №. 2. – С. 59-64.
- [6] Сериккызы М. С., Куннур К. Изучение пищевых и химических составов бобовых продуктов: горох,

### References

- [1] Dzakhmishева Z. A., Dzakhmishева I. Sh. Functional food products for gerodietetic purposes // Fundamental Research. – 2014. – No. 9-9. – P. 2048-2051.
- [2] Merkulova T. N., Kutumov D. A. Functional nutrition as a means to maintain or restore health // Technology and healthy nutrition products. – 2015. – P. 269-271.
- [3] Aksupova A. M., Kylychbekova N. K. Study of the anti-alimentary factor of bean flour in the production of wheat and bean bread // Science and new technologies. – 2013. – No. 3. – pp. 18-21.
- [4] Eliseeva T., Mironenko A. B vitamins – description, benefits, effects on the body and the best sources // Journal of healthy nutrition and dietetics. – 2019. – T. 2. – No. 8. – pp. 74-87.
- [5] Bozhko S. D. et al. Legumes are promising raw materials for the food industry // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy nutrition products. – 2020. – No. 2. – pp. 59-64.
- [6] Serikkyzy M.S., Kunnur K. Study of food and chemical compositions of legume products: peas, beans, soybeans // Innovations in science. – 2016. – No. 7 (56). – pp. 110-114.

- фасоль, соя //Иновации в науке. – 2016. – №. 7 (56). – С. 110-114.
- [7] Иванова М. И., Кашлева А. И., Разин А. Ф. Проростки-функциональная органическая продукция (обзор) //Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2016. – №. 7. – С. 19-29.
- [7] Ivanova M.I., Kashleva A.I., Razin A.F. Sprouts-functional organic products (review) // Bulletin of the Mari State University. Series “Agricultural Sciences. Economic Sciences». – 2016. – No. 7. – pp. 19-29.

## Сведения об авторах

## Information about the authors

<p><b>Фролов Дмитрий Иванович</b> кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 <b>Тел.:</b> +7(937) 408-35-28 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:surr@bk.ru">surr@bk.ru</a></p>	<p><b>Frolov Dmitriy Ivanovich</b> PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University <b>Phone:</b> +7(937) 408-35-28 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:surr@bk.ru">surr@bk.ru</a></p>
<p><b>Назарова Екатерина Ивановна</b> магистрант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p><b>Nazarova Ekaterina Ivanovna</b> undergraduate of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>