

## ОБЗОРЫ

Научная статья  
УДК 573.6.086.835:633/635  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-214-223



## Биоактивные пептиды и антипитательные вещества нута: характеристика и свойства (обзор)

М. Ахангаран<sup>1</sup>, Д. А. Афанасьев<sup>2</sup>, И. М. Чернуха<sup>2</sup>, Н. Г. Машенцева<sup>1</sup>, М. Гаравири<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Алексеевич Афанасьев, dmitr.afanasjew2010@yandex.ru

Бобовые культуры – богатый источник клетчатки, белков, витаминов и минералов. Нут (*Cicer arietinum* L.) – третье по мировой значимости бобовое растение, обладающее высокой питательной ценностью и содержащее множество биологически активных соединений, включая биологически активные пептиды. Биоактивные пептиды семян нута обладают антиоксидантной, АПФ-ингибирующей, гипохолестеринемической, антигипертензивной, противомикробной, антитромботической, иммуномодулирующей, опиоидной активностями, а также способностью связывать минералы. Но несмотря на высокие питательные свойства, семена нута обладают антипитательными факторами, замедляющими переваривание и всасывание многих компонентов пищи. Исследования показали, что кулинарная обработка, предварительное проращивание или ферментация эффективно снижают содержание неусвояемых компонентов в нуте.

В данной статье представлен обзор исследований, направленных на изучение биологически активных пептидов, полученных из семян нута, и путей их образования, а также способов элиминации антипитательных факторов нута.

**Ключевые слова:** бобовые культуры, *Cicer arietinum* L., пищевая и биологическая ценность, биологическая активность, ферментация

**Благодарности:** работа выполнена в рамках темы ПФНИ № 2019-0008 Государственного задания ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** 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;183(1):214-223. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-214-223

## SURVEYS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-214-223

## Bioactive peptides and antinutrients in chickpea: description and properties (a review)

Mahboobeh Ahangaran<sup>1</sup>, Dmitry A. Afanasev<sup>2</sup>, Irina M. Chernukha<sup>2</sup>, Natalya G. Mashentseva<sup>1</sup>, Mahmud Gharaviri<sup>1</sup><sup>1</sup> *Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia*<sup>2</sup> *V.M. Gorbатов Federal Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia***Corresponding author:** Dmitry A. Afanasev, [dmitr.afanasjew2010@yandex.ru](mailto:dmitr.afanasjew2010@yandex.ru)

Legumes are a rich source of many different biologically active substances, such as fiber, proteins, vitamins and minerals. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is the third most important leguminous plant in the world: it has high nutritional value and is a source of a wide range of bioactive compounds. Bioactive peptides of chickpea seeds have antioxidant, ACE-inhibiting, cholesterol-lowering, antihypertensive, antimicrobial, antithrombotic, immunomodulatory, and opioid activities as well as the ability to bind minerals. But despite the benefits and high nutritional value, chickpea seeds contain antinutrients that reduce their nutritional and biological advantages. These antinutritional factors include condensed tannins, raffinose, and phytic acid. Research has shown that cooking, pregermination or fermentation can effectively reduce the indigestible content of chickpea seeds. For this purpose, it is recommended to use certain physical, chemical or biological methods: heat treatment, soaking and/or germination, enzymatic hydrolysis, irradiation, etc.

This review article presents the world's results of research aimed at studying bioactive chickpea peptides derived from chickpea seeds and ways of their formation as well as methods for elimination of antinutritional factors.

**Keywords:** legumes, *Cicer arietinum* L., food and biological value, biological activity, fermentation**Acknowledgments:** the article is published as part of the research topic No. 2019-0008 of the Fundamental Scientific Research Program under the State Task assigned to the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Ahangaran M., Afanasev D.A., Chernukha I.M., Mashentseva N.G., Gharaviri M. Bioactive peptides and antinutrients in chickpea: description and properties (a review). *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(1):214-223. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-214-223

## Введение

Бобовые культуры принадлежат к семейству Leguminosae, или Fabaceae, и считаются одними из самых значимых сельскохозяйственных растений в мире после зерновых. Они произрастают на площади более 180 млн га, что составляет 12–15% посевных площадей Земли (Meena et al., 2015). Бобовые имеют особые питательные свойства. Они являются богатым источником белка, клетчатки, минералов (включая магний и калий), витаминов группы В и полифенолов, а также считаются продуктами с низким гликемическим индексом (Rebello et al., 2014). Отдавая дань существенной роли бобовых в обеспечении питательными продуктами населения мира, 2016 г. был провозглашен ООН и ФАО «Годом бобовых». Среди наиболее распространенных зерновых бобовых культур – фасоль обыкновенная (*Phaseolus vulgaris* L.), горох посевной (*Pea sativum* L.), нут бараний (*Cicer arietinum* L.), чечевица пищевая (*Lens culinaris* Medik.), соя культурная (*Glycine max* L.), люпин изменчивый (*Lupinus mutabilis* L.) и арахис обыкновенный (*Arachis hypogaea* L.) (Pina-Pérez, Ferrús-Pérez et al., 2018; Murphy et al., 2018). На семена нута возлагаются большие надежды как на источник значительного содержания белков, пищевых волокон и биологически активных соединений (Chen et al., 2015).

## Нут

Нут (*C. arietinum*) является одной из самых древних и потребляемых бобовых культур во всем мире. Это однолетняя культура, хорошо приспособленная к мягкому и сухому климату, с высокой устойчивостью к жарким условиям при достаточном количестве влаги в почве, предпочитающая регионы с умеренным климатом (Wallace et al., 2016; Bulbula, Urga, 2018).

Родиной нута считается юго-восточные регионы Турции, откуда по Великому шелковому пути эта культура распространилась по миру, завоевывая признание в первую очередь в странах Ближнего Востока и Индостана. В 2004 г. 45 стран, активно производивших нут, в совокупности произвели более 8,6 млн тонн. Индия являлась ведущим производителем нута; на нее приходилось око-

ло 66,19% мирового производства и 86,03% объема производства в странах Азии. Далее следовали Австралия и Турция (Kaur, Prasad, 2021), за ней шли Пакистан и Иран примерно с 6% и 4% мирового производства соответственно. Напротив, Канада и США вносили очень незначительный вклад в общее количество производимого нута. На эти страны приходилось примерно по 1% мирового производства (Agriculture & Agri-Food Canada, 2004; Smith, Jimmerson, 2005). В 2019 г. ситуация изменилась. Статус наиболее активных производителей нута сохранился для Индии, Австралии и Турции. Далее следуют Россия, США, Эфиопия, Мьянма, Мексика, Пакистан и Канада (рис. 1).

В странах бывшего СССР нут популярен в Молдове, Казахстане, на Кавказе и в Средней Азии. В России основные регионы – производители нута – Саратовская, Волгоградская, Оренбургская, Самарская и Ростовская области. К 2019 г. в данных субъектах было сосредоточено более 85% всех нуттовых плантаций России, что обеспечило более 80% всего собранного нута по стране.

Существует много способов употребления нута. Наиболее часто семена нута употребляют в свежем и термически обработанном виде, используя для приготовления проростки, семена и иногда цветы.

Продукты переработки нута находят широкое применение в мясной, молочной, кондитерской, хлебобулочной и других отраслях пищевой промышленности, где используются для формирования текстуры и консистенции готовых пищевых продуктов. Также следует отметить, что рациональность применения семян нута и продуктов его переработки в отраслях пищевой промышленности определяется биологической ценностью и функциональными свойствами его белков.

Некоторые микроорганизмы, выделенные из семян свежего нута, такие как *Limosilactobacillus fermentum* Beij., *Leuconostoc mesenteroides* Tsenk. и *Hansenula silvicola* Wicker, а также из нуттового дрожжевого хлеба, такие как *Enterococcus mundtii* Coll., *Enterococcus casseliflavus* Their. and Jough., *Fruclactobacillus sanfranciscensis* Kl. and Sugih., *Saccharomyces cerevisiae* Mey., *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* Orla-Jen., *Weissella viridescens* Coll., *Loigolactobacillus bifermentans* Kand., *Pediococcus urinaeequi* Mee., *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* Orla-Jen.,

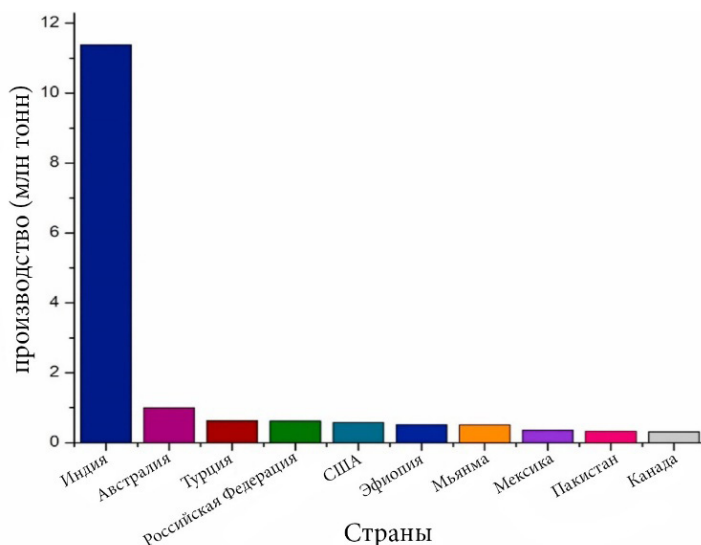


Рис. 1. Мировой экспорт нута в 2019 г.

Fig. 1. World exports of chickpea in 2019

*Lactobacillus lactis* subsp. *cremoris* List., широко используются для ферментации пищевых продуктов, так как многие из них обладают высокой протеолитической активностью. Так, использование нутовой муки и микроорганизмов, полученных из нута, в приготовлении теста положительно влияет на текстурные свойства и внешний вид хлеба, увеличивает выход теста. Нутовые семена или их экстракт также используются для ферментации свежего молока и приготовления йогуртовых продуктов.

Семена нута, обладая высоким содержанием белка, низким содержанием жира и натрия, не содержат холестерина и являются отличным источником как растворимой, так и нерастворимой клетчатки, сложных углеводов, витаминов, фолиевой кислоты и минералов, особенно кальция, фосфора, железа и магния, каротиноидов, витаминов группы В и др. Белки нута хорошо сбалансированы по аминокислотному составу. Высокое содержание аминокислот метионина и триптофана – отличительная черта семян нута (Kaur, Prasad, 2021).

Углеводы составляют большую часть семян нута (62–70%) и представлены в основном олигосахаридами ( $\alpha$ -галактозидазой), подразделяющимися на две группы. Рафинозы, стахиозы и вербаскозы составляют первую группу, а ко второй относится галактозилциклит, имеющий сходство с цицеритом. Стахиоза и цицеритол содержатся в нуте в наибольшем количестве.

Другие соединения семян нута представлены такими полисахаридами, как крахмал (устойчивый (неперевариваемый) – 35% и доступный – 65%) и пищевые волокна (18–22%), из которых 4–8% растворимы, а 10–18% нерастворимы (Rachwa-Rosiak et al., 2015; Zhang Y. et al., 2017).

Несмотря на высокую пищевую и биологическую ценность, у нута есть ряд питательных и технологических проблем, таких как наличие антинутриентов, снижающих усвояемость крахмала, белков и жиров, а также длительное время и трудность приготовления. Его химический состав колеблется в зависимости от различных факторов, например от сорта и стадии зрелости, окружающей среды (в основном погодных условий) и агротехники. В некоторых исследованиях также подчеркиваются различия в физико-химическом составе этих бобовых (Rupérez, 1998). Эти различия могут быть связаны либо с внутренними факторами (в основном генетическими, которые частично ответственны за различия между сортами), либо с внешними факторами, такими как условия хранения, тип почвы, агрономические методы, климатические факторы и технологическая обработка.

### Биологическая активность пептидов бобов нута

В семенах нута содержится множество биологически активных соединений, таких как фенолы, сапонины, ингибиторы трипсина (Kou et al., 2013; Ghribi et al., 2015), а также биоактивные пептиды.

Биоактивные пептиды растений выполняют широкий спектр функций, включая защиту самого растения от инфицирования патогенными микроорганизмами и регулирование его роста и развития. Кроме того, некоторые пептиды растительного происхождения играют ключевую роль в поддержании здоровья человека. С целью стимулирования потребления полезных биоактивных пептидов важной стратегией является повышение их концентрации в растительной пище путем совершенствования технологий растениеводства. Важно отметить, что на данный момент доступны многочисленные

научные исследования по идентификации и характеристике биоактивных растительных пептидов (Belović et al., 2011; Ortiz-Martinez et al., 2014).

Основными запасными белками семян нута являются глобулины (56,0%), глютелины (18,1%), альбумины (12,0%) и проламин (2,8%) (Gupta, Bhagyawant, 2018). Ферментативная обработка белков нута приводит к образованию биоактивных пептидов. Биоактивные пептиды определяются как аминокислотные последовательности в белке, которые оказывают положительное влияние на функции организма и/или на здоровье человека в целом, обладая высокой пищевой ценностью. Эти пептиды могут регулировать важные функции организма посредством многочисленных биологически активностей (Sánchez, Vázquez, 2017). Гидролиз белков *in vitro* привел к открытию большого числа биоактивных гидролизатов и пептидов, хотя биодоступность многих из них еще предстоит установить. Тем не менее работа в этой области стремительно продвигается.

### Антиоксидантная активность пептидов нута.

Образование нестабильных свободных радикалов, таких как супероксид и гидроксил (ОН), является одним из неизбежных последствий дыхания аэробных организмов. Данные радикалы способствуют разрушению клеток и тканей организма, образуя химические связи с внутриорганизменными веществами (Zhang J. et al., 2009). Являясь высокоактивными соединениями, свободные радикалы могут повреждать белки, вызывать мутацию ДНК, окислять фосфолипиды мембран и изменять липопротеины низкой плотности (ЛПНП). В последнее время особый интерес вызывает использование экстрактов или концентратов белков (биоактивных пептидов) в качестве антиоксидантов, поскольку они могут действовать как ингибиторы перекисного окисления липидов, активные связывающие агенты свободных радикалов и хелатирующие агенты ионов переходных металлов, которые катализируют образование свободных радикалов (Ghribi et al., 2015). Антиоксидантные пептиды обычно содержат от 3 до 20 аминокислотных остатков, и их активность зависит от входящих аминокислот, последовательности и структуры (Pihlanto-Leppälä, 2000).

Антиоксидантная активность низкомолекулярных пептидов нута хорошо известна. Более того, данная активность может быть усилена после ферментативного гидролиза. Эти антиоксиданты пептидной природы могут оказывать влияние на снижение окислительного стресса и риска различных дегенеративных заболеваний, таких как рак, сердечно-сосудистые заболевания и воспалительные процессы, связанные с окислительным стрессом (Li et al., 2008).

### Ингибирование ангиотензин-превращающего фермента (АПФ) пептидами нута.

АПФ – это фермент, который модулирует ренин-ангиотензиновую систему (РАС) и, следовательно, регулирует кровяное давление. Избыточный уровень АПФ влияет на развитие и прогрессирование гипертонии. При клиническом лечении гипертонии используются препараты, ингибирующие АПФ, но использование пептидов, полученных из растительных пищевых белков, рассматривается как естественная и эффективная альтернатива лекарствам (Aluko, 2008). Бобы нута являются многообещающим источником белка для получения биоактивных пептидов, обладающих антигипертензивным действием (Gupta, Bhagyawant, 2019), например гидролизат нута, полу-

ченный вследствие обработки пепсином (Sánchez-Chino et al., 2019).

*Гипохолестеринемическая активность пептидов нута.*

Современный образ жизни привел к увеличению потребления жиров и снижению потребления клетчатки, что приводит к высокому содержанию липидов в крови, а также к высоким концентрациям холестерина, которые могут оказывать негативный эффект на здоровье. Известно, что гиперлипидемия представляет собой фактор риска, связанный с различными сердечно-сосудистыми и метаболическими нарушениями, такими как ожирение, атеросклероз, ожирение печени, панкреатит, коронарная кардиопатия и др. По этой причине были проведены масштабные исследования биоактивных соединений, снижающих уровень содержания липидов в крови. Некоторые исследования показали, что потребление нута снижает уровень холестерина, триглицеридов и липопротеинов низкой плотности в крови, и это связано с высоким содержанием пищевых волокон и низким содержанием липидов в самом нуте (Jukanti et al., 2012). Из бобов нута был выделен пептид Вал-Фен-Вал-Арг-Асп, обладающий высокой гипохолестеринемической активностью, что было подтверждено методом *in vivo* (Shi et al., 2019).

### Высвобождение пептидов

Биоактивные пептиды могут быть заключены в аминокислотной последовательности более крупного белка. Эти пептиды обычно состоят из 3–20 аминокислот и высвобождаются из исходного белка после деструкции. Есть три способа высвобождения таких пептидов (рис. 2):



Рис. 2. Различные методы получения биоактивных пептидов

Fig. 2. Various methods of obtaining bioactive peptides

1. *in vivo* во время переваривания пищеварительными ферментами, такими как трипсин;

2. *in vivo* при переваривании микробными ферментами;

3. *in vitro* во время обработки пищевых продуктов или ферментации протеолитическими растительными, животными и микробными ферментами или микроорганизмами с протеолитической активностью, например *Lactobacillus helveticus* Orla-Jen. (Möller et al., 2008).

### Ферментация

Ферментация – один из старейших методов производства и сохранения пищевых продуктов. Этот процесс способствует улучшению органолептических свойств продукта, а также увеличивает срок годности. Широкий ассортимент ферментированных продуктов питания можно найти по всему миру, и некоторые из них производятся на промышленном уровне в дополнение к кустарному производству (Smid, Hugenholtz, 2010). Ферментация – это эффективный способ образования гидролизатов белков и биоактивных пептидов нута.

Молочнокислые бактерии (LAB) – большая группа бактерий, широко распространенных в природе и являющихся постоянными представителями нормофлоры человека. Они используются из-за своих технологических свойств и в качестве промышленно ценных микроорганизмов при производстве ферментированных продуктов питания, и как пробиотики (Savijoki et al., 2006).

Протеолитическая система молочнокислых бактерий, например *Lactococcus lactis* Lis., *L. helveticus* Orla-Jen. и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* Orla-Jen., обладает протеиназами широкой специфичности, способствующими высвобождению большого числа различных олигопептидов (4–8 аминокислот) и пептидазами, расположенными внутри клетки, необходимыми для полной деградации накопленных пептидов (Singh et al., 2014). Выделение и идентификация микроорганизмов, полученных после спонтанной ферментации нута, очень важны для разработки специализированных заквасок. Штаммы, адаптированные к условиям для развития в нуте, имеют большое значение для стабилизации промышленного производства. Для идентификации бактерий рекомендуется использовать анализ нуклеотидных

последовательностей генов 16S рРНК и ПЦР метод с видоспецифическими праймерами (Boyasi Gunduz et al., 2020).

Также ферментация нута молочнокислыми микроорганизмами приводит к уменьшению количества пептидов и соответствующему увеличению общего количества свободных аминокислот (ТФАА), что свидетельствует об интенсивном протеолизе белков и их производных, осу-

ществляемом как эндогенными ферментами, так и бактериальными протеазами. Биологическое подкисление, осуществляемое LAB, приводит к активации эндогенных протеаз, которые запускают первичный протеолиз, при котором высвобождаются полипептиды среднего размера. Далее эти пептиды подвергаются ферментации пептидазами LAB (Schettino et al., 2019).

Продукты ферментативного гидролиза белков содержат множество пептидов разной длины и аминокислотного состава. Таким образом, выделение и очистка биоактивных пептидов является важной частью процесса идентификации биоактивных пептидов и определения их физических и химических свойств, а также оценки их биологической активности (таблица). Биоактивные пептиды отделяют от продуктов гидролиза белков различными методами, включая методы мембранного разделения и хроматографию (Aluko, 2012).

**Таблица. Некоторые базы данных для белковых/пептидных последовательностей и прогнозирования их биодоступности**

**Table. Selected databases for protein/peptide sequences and prediction of their bioavailability**

Веб-сайт / Website	Название / Title	Базы данных / Database
www.bioware.ucd.ie www.uwm.edu.pl www.imtech.res.in	PeptideRanker BIOPEP AntiBP2	Predicting potential biological activity
www.uwm.edu.pl/biochemia/index.php/en/biopep www.pepbank.mgh.harvard.edu www.biopd.bjmu.edu.cn/ www.swepep.org www.erop.inbi.ras.ru www.milkampdb.org/ www.uniprot.org www.ncbi.nlm.nih.gov www.peptides.be	BIOPEP PepBank BioPD EROP-Moscow SwePep MilkAMP UniProtKB NCBI Protein database PeptideDB AMPer	Protein/Peptide Sequence Database

### Гидролитические реакции

Ферментативный гидролиз белков сельскохозяйственного сырья является наиболее распространенным и эффективным методом получения биологически активных пептидов. Исследовано множество биоактивных пептидов, полученных путем гидролиза сырья наиболее известными ферментами животного происхождения – пепсином и трипсином. Многие из известных биоактивных пептидов были получены с использованием желудочно-кишечных ферментов, обычно пепсина и трипсина. Пептиды, ингибирующие ангиотензин-превращающий фермент (АПФ), и кальций-связывающие фосфопептиды (CPP), как правило, образуются под действием трипсина (FitzGerald et al., 2004; Gobbetti et al., 2004; Yamamoto et al., 2003).

Горох, нут и маш являются богатыми источниками белков (19–35% в исходном сырье), содержащих различные аминокислотные последовательности, которые могут высвобождаться посредством ферментативного гидролиза в виде биоактивных пептидов. В нескольких работах в литературе подробно описывается образование, характеристика и оценка *in vitro* и *in vivo* биоактивных гидролизатов белков и пептидов, полученных в результате ферментативного гидролиза гороха, нута и маша (Aluko, 2008).

Ферментативный гидролиз белков нута можно проводить на нутовой муке, нутовом белковом концентрате или белковых изолятах. Так, пептиды нута были образованы под действием ферментов алкалазы, α-химотрипсина, флавурзима, папаина, пепсина и трипсина либо отдельно, либо в виде композиций (Xu et al., 2020). Имеются данные по исследованию последовательностей пептидов, полученных из нута в процессе ферментации бромелайном. Два патента, CN106957833A и CN107383159A, приводят бромелайн в качестве потенциального фермента, используемого в производстве гидролизатов нута (Girón-Calle et al., 2010). Однако последовательности этих пептидов до конца не изучены.

Алкалаза и флавурзим – это коммерчески доступные протеолитические микробные ферменты, обычно используемые в производстве пищевых ингредиентов. В коммерческом масштабе протеазы, полученные из

микроорганизмов, предпочтительнее протеаз, полученных из растений и животных, поскольку их получение менее ресурсозатратное (Jisha et al., 2013).

Алкалаза широко используется в производстве гидролизатов белков и пептидов из нута. Было показано, что гидролизаты белка нута, образованные под действием алкалазы, обладают потенциальными антиоксидантными, АПФ-ингибирующими и гипополипидемическими свойствами (Medina-Godoy et al., 2012; Shi et al., 2019; Zhang T. et al., 2012).

### Антипитательные факторы

Растения обычно синтезируют ряд вторичных метаболитов как часть своей защитной системы от нападения травоядных, насекомых и патогенов или как средство выживания в неблагоприятных ростовых условиях. Если такие растения потребляют животные или люди, эти соединения могут вызывать ряд неблагоприятных физиологических эффектов. Термины «антинутриент» или «природный токсикант» широко используются в литературе по пищевым продуктам и питанию для описания метаболитов, защищающих растения. Бобовые – неизбежный источник антинутриентов в рационе человека. В бобовых культурах документально подтверждено наличие некоторых четко опре-

деленных факторов, препятствующих перевариванию (Mohan et al., 2016).

Несмотря на потенциальную питательную и полезную для здоровья ценность нута, наличие антипитательных веществ ограничивает его биологическую ценность и использование в качестве пищи. Антинутриенты препятствуют действию пищеварительных ферментов, а также делают семена горькими (Domoney, 1999). Эти соединения часто называют антипитательными факторами (ANF), они представлены рафинозой, фитиновой кислотой, конденсированными танинами, алкалоидами, лектинами, пиримидиновыми гликозидами (например, вицин и конвицин), сапонинами и ингибиторами протеаз (Coda et al., 2014).

Нут содержит различные антипитательные соединения, в том числе сапонины, фитиновую кислоту, конденсированный танин, рафинозу (Wang et al., 2010).

Количество рафинозы составляет 1,82 г/кг; конденсированных дубильных веществ – 0,88 мг/г; активность ингибитора трипсина (ТИА) – 0,78 Ед (активность ингибитора трипсина, выраженная в единицах ингибитора трипсина/мг образца); фитиновой кислоты – 2,62 г/100 г; фитазная активность – 2,08 Ед (одна единица (Ед) активности определялась как количество фермента, необходимое для выделения 1 мкмоль/мин р-нитрофенола в условиях анализа); общих сапонинов – 0,98 мг/г (De Pasquale et al., 2020).

Однако недавние эпидемиологические исследования показали, что многие антинутриенты в небольших количествах могут быть полезными для профилактики таких заболеваний, как рак и коронарные патологии (Muzquiz, Wood, 2007).

#### Рафиноза.

Рафиноза присутствует во всех частях нута, но в большинстве своем накапливается в семенах и корнях во время развития растения. Концентрация рафинозы в семенах увеличивается по мере созревания и высушивания семян (Muzquiz, Wood, 2007). Рафиноза гидролизуется до D-галактозы и сахарозы с помощью  $\alpha$ -галактозидазы (Curiel et al., 2015). Проращивание зерен способствует значительному снижению содержания рафинозы в зерне нута за счет воздействия на рафинозу и стахиозу и расщепления их до простых легкоусвояемых форм.

#### Конденсированные танины.

Конденсированные танины (СТ), которые составляют большую часть антипитательных факторов нута, негативно влияют на усвояемость и питательную ценность этого продукта. Флаван-3-олы представляют собой мономеры конденсированных танинов (СТ, также известные как проантоцианидины РА), которые широко встречаются в оболочках семян, листьях, цветках, стеблях и других тканях во всем царстве растений (Sinha, Amresh, 2018). Танины и конденсированные танины обладают свойством к связыванию с белком, что затрудняет его усвояемость и доступность аминокислот. Следовательно, очень важно уменьшить эти антипитательные факторы и впоследствии улучшить питательные качества нута, чтобы повысить его потенциал в качестве пищи для человека (Roy et al., 2019). Вымачивание – один из старейших, простых и наиболее эффективных способов удаления АПФ. Например, вымачивание семян нута приводит к снижению доли танинов в нем на 53% (Rao, Deosthale, 1982).

#### Фитиновая кислота и активность фитазы.

Фитиновая кислота (РА) является формой хранения фосфора и обычно составляет 60–80% фосфорных соединений в пшенице, 66–70% в ячмене, 71–88% в кукурузе, 50–70% в сое, 27–87% в чечевице и 40–95% в нуте от общего фосфора. Фитиновая кислота также способна образовывать комплексы с белками и тем самым ухудшать их усвояемость и биодоступность. Фитаза – это фермент, который может расщеплять неперевариваемую часть РА (фитиновой кислоты), содержащуюся в зернах и масличных семенах и таким образом высвобождать усвояемый фосфор, кальций и другие питательные вещества (Kaça et al., 2009).

Физические и химические методы, применяемые для уменьшения или удаления антипитательных факторов, препятствующих усвоению нута, включают: замачивание, кулинарную обработку, проращивание, селективную экстракцию, облучение и ферментативную обработку. Применения одного метода часто недостаточно для эффективной элиминации антипитательных факторов, поэтому обычно используются комбинации (Khattab, Arntfield, 2009; Khokhar, Owusu-Apenten, 2003; Khandelwal, Udipi, 2010).

#### Выводы

Нут, как и другие бобовые, является перспективным источником биоактивных пептидов, обладающих гипохолестеринемической, антигипертензивной, антиромботической, иммуномодулирующей, противомикробной опиоидной, минералосвязывающей, антиоксидантной, АПФ-ингибирующей и другими активностями, что было подтверждено рядом исследований.

Изучение биологических активностей пептидов из нута в максимально возможной степени позволит применять данные пептиды как в пищевой, так и в фармацевтической промышленности. Изучение антипитательных факторов и методов их элиминации позволит уменьшить негативные эффекты и сделать нут более доступным для потребления.

#### References / Литература

- Agriculture & Agri-Food Canada. Chickpeas: Situation and outlook. *Bi-weekly Bulletin*. 2006;19(13):1-4.
- Aluko R.E. Bioactive peptides. In: *Functional Foods and Nutraceuticals. Food Science Text Series*. New York, NY: Springer; 2012. p.37-61. DOI: 10.1007/978-1-4614-3480-1\_3
- Aluko R.E. Determination of nutritional and bioactive properties of peptides in enzymatic pea, chickpea, and mung bean protein hydrolysates. *Journal of AOAC International*. 2008;91(4):947-956. DOI: 10.1093/jaoac/91.4.947
- Belović M.M., Mastilović J.S., Torbica A.L., Tomić J.M., Stanić D.R., Džinić N.R. Potential of bioactive proteins and peptides for prevention and treatment of mass non-communicable diseases. *Food and Feed Research*. 2011;38(2):51-61.
- Boyaci Gunduz C.P., Gaglio R., Franciosi E., Settanni L., Erten H. Molecular analysis of the dominant lactic acid bacteria of chickpea liquid starters and doughs and propagation of chickpea sourdoughs with selected *Weissella confusa*. *Food Microbiology*. 2020;91:103490. DOI: 10.1016/j.fm.2020.103490
- Bulbula D.D., Uрга K. Study on the effect of traditional processing methods on nutritional composition and antinutritional factors in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Cogent*

- Food & Agriculture*. 2018;4(1):1422370. DOI: 10.1080/23311932.2017.1422370
- Chen H., Ma H.R., Gao Y.H., Zhang X., Habasi M., Hu R. et al. Isoflavones extracted from chickpea *Cicer arietinum* L. sprouts induce mitochondria-dependent apoptosis in human breast cancer cells. *Phytotherapy Research*. 2015;29(2):2010-2019. DOI: 10.1002/ptr.5241
- Coda R., Di Cagno R., Gobbetti M., Rizzello C.G. Sourdough lactic acid bacteria: exploration of non-wheat cereal-based fermentation. *Food Microbiology*. 2014;37:51-58. DOI: 10.1016/j.fm.2013.06.018
- Curiel J.A., Coda R., Centomani I., Summo C., Gobbetti M., Rizzello C.G. Exploitation of the nutritional and functional characteristics of traditional Italian legumes: the potential of sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*. 2015;196:51-61. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.032
- De Pasquale I., Pontonio E., Gobbetti M., Rizzello C.G. Nutritional and functional effects of the lactic acid bacteria fermentation on gelatinized legume flours. *International Journal of Food Microbiology*. 2020;316:108426. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108426
- Domoney C. Inhibitors of legume seeds. In: P.R. Shewry, R. Casey (eds). *Seed Proteins*. Dordrecht: Springer; 1999. p.635-655. DOI: 10.1007/978-94-011-4431-5\_27
- FitzGerald R.J., Murray B.A., Walsh D.J. Hypotensive peptides from milk proteins. *The Journal of Nutrition*. 2004;134(4):980S-988S. DOI: 10.1093/jn/134.4.980S
- Ghribi A.M., Sila A., Przybylski R., Nedjar-Arroume N., Makhoul I., Blecker C. et al. Purification and identification of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysate of chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein concentrate. *Journal of functional foods*. 2015;12:516-525. DOI: 10.1016/j.jff.2014.12.011
- Girón-Calle J., Alaiz M., Vioque J. Effect of chickpea protein hydrolysates on cell proliferation and in vitro bioavailability. *Food Research International*. 2010;43(5):1365-1370. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.03.020
- Gobbetti M., Minervini F., Rizzello C.G. Angiotensin I-converting-enzyme-inhibitory and antimicrobial bioactive peptides. *International Journal of Dairy Technology*. 2004;57(2-3):173-188. DOI: 10.1111/j.1471-0307.2004.00139.x
- Gupta N., Bhagyawant S.S. Angiotensin-I converting enzyme (ACE-I) inhibitory and antiproliferative potential of chickpea seed protein hydrolysate. *Annals of Plant Sciences*. 2018;7(3):2149-2153. DOI: 10.21746/aps.2018.7.3.10
- Gupta N., Bhagyawant S.S. Enzymatic treatment improves ACE-I inhibitor and antiproliferative potential of chickpea. *Vegetos*. 2019;32(3):363-369. DOI: 10.1007/s42535-019-00031-6
- Jisha V.N., Smitha R.B., Pradeep S., Sreedevi S., Unni K.N., Sajith S. et al. Versatility of microbial proteases. *Advances in Enzyme Research*. 2013;1(3):39-51. DOI: 10.4236/aer.2013.13005
- Jukanti A.K., Gaur P.M., Gowda C.L.L., Chibbar R.N. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*. 2012;108(1):S11-S26. DOI: 10.1017/S0007114512000797
- Kaur R., Prasad K. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*) – A review. *Trends in Food Science and Technology*. 2021;109:448-463. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.01.044
- Kaya M., Küçükyumuk Z., Erdal I. Phytase activity, phytic acid, zinc, phosphorus and protein contents in different chickpea genotypes in relation to nitrogen and zinc fertilization. *African Journal of Biotechnology*. 2009;8(18):4508-4513.
- Khandelwal S., Udipi S.A., Ghugre P. Polyphenols and tannins in Indian pulses: Effect of soaking, germination and pressure cooking. *Food Research International*. 2010;43(2):526-530. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.09.036
- Khattab R.Y., Arntfield S.D. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments. 2. Antinutritional factors. *Food Science and Technology*. 2009;42(6):1113-1118. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.02.004
- Khokhar S., Owusu Apenten R.K. Antinutritional factors in food legumes and effects of processing. In: V.R. Squires (ed.). *The Role of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries in Human Nutrition*. Vol. IV. Oxford: EOLSS Publishers Co Ltd; 2003. p.82-116.
- Kou X., Gao J., Xue Z., Zhang Z., Wang H., Wang X. Purification and identification of antioxidant peptides from chickpea (*Cicer arietinum* L.) albumin hydrolysates. *LWT – Food Science and Technology*. 2013;50(2):591-598. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.08.002
- Li Y.H., Jiang B., Zhang T., Mu W., Liu J. Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH). *Food Chemistry*. 2008;106(2):444-450. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.04.067
- Medina-Godoy S., Ambriz-Pérez D.L., Fuentes-Gutiérrez C.I., Germán-Báez L.J., Gutiérrez-Dorado R., Reyes-Moreno C. et al. Angiotensin-converting enzyme inhibitory and antioxidative activities and functional characterization of protein hydrolysates of hard-to-cook chickpeas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012;92(9):1974-1981. DOI: 10.1002/jsfa.5570
- Mohan V.R., Tresina P.S., Daffodil E.D. Antinutritional factors in legume seeds: characteristics and determination. In: B. Caballero, P. Finglas, F. Toldrá. *Encyclopedia of Food and Health*. Waldham, MA: Academic Press; 2016. p.211-220. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00036-2
- Möller N.P., Scholz-Ahrens K.E., Roos N., Schrezenmeier J. Bioactive peptides and proteins from foods: indication for health effects. *European Journal of Nutrition*. 2008;47(4):171-182. DOI: 10.1007/s00394-008-0710-2
- Murphy K.J., Marques-Lopes I., Sánchez-Tainta A. Chapter 7 – Cereals and legumes. In: Sánchez-Villegas A., Sánchez-Tainta A. (eds) *The Prevention of Cardiovascular Disease Through the Mediterranean Diet*. Oxford: Academic Press; 2018. p.111-132.
- Muzquiz M., Wood J.A. Antinutritional factors. In: S.S. Yadav, R.J. Redden, W. Chen, B. Sharma (eds). *Chickpea Breeding and Management*. Wallingford: CAB International; 2007. p.143-166. DOI: 10.1079/9781845932138.006
- Ortiz-Martinez M., Winkler R., Garcia-Lara S. Preventive and therapeutic potential of peptides from cereals against cancer. *Journal of Proteomics*. 2014;111:165-183. DOI: 10.1016/j.jpro.2014.03.044
- Pihlanto-Leppälä A. Bioactive peptides derived from bovine whey proteins: opioid and ACE-inhibitory peptides. *Trends in Food Science and Technology*. 2000;11(9-10):347-356. DOI: 10.1016/S0924-2244(01)00003-6
- Pina-Pérez M.C., Ferrús-Pérez M.A. Antimicrobial potential of legume extracts against foodborne pathogens: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 2018;72:114-124. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.12.007
- Rachwa-Rosiak D., Nebesny E., Budryn G. Chickpeas – composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015;55(8):1137-1145 DOI: 10.1080/10408398.2012.687418
- Rao P.U., Deosthale Y.G. Tannin content of pulses: varietal differences and effects of germination and cooking. *Journal of*



- the Science of Food and Agriculture*. 1982;33(10):1013-1016. DOI: 10.1002/jsfa.2740331012
- Rebello C.J., Greenway F.L., Finley J.W. A review of the nutritional value of legumes and their effects on obesity and its related co-morbidities. *Obesity Reviews*. 2014;15(5):392-407. DOI: 10.1111/obr.12144
- Roy A., Ghosh S., Kundagrami S. Food processing methods towards reduction of antinutritional factors in chickpea. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2019;8(1):424-432. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.801.044
- Rupérez P. Oligosaccharides in raw and processed legumes. *European Food Research and Technology*. 1998;206:130-133. DOI: 10.1007/s002170050228
- Sánchez A., Vázquez A. Bioactive peptides: a review. *Food Quality and Safety*. 2017;1(1):29-46. DOI: 10.1093/fqsafe/fyx006
- Sánchez-Chino X.M., Martínez C.J., León-Espinosa E.B., Garduño-Siciliano L., Álvarez-González I., Madrigal-Bujaidar E. et al. Protective effect of chickpea protein hydrolysates on colon carcinogenesis associated with a hypercaloric diet. *Journal of the American College of Nutrition*. 2019;38(5):162-170. DOI: 10.1080/07315724.2018.1487809
- Savijoki K., Ingmer H., Varmanen P. Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2006;71(4):394-406. DOI: 10.1007/s00253-006-0427-1
- Schettino R., Pontonio E., Rizzello C.G. Use of fermented hemp, chickpea and milling by-products to improve the nutritional value of semolina pasta. *Foods*. 2019;8(12):604. DOI: 10.3390/foods8120604
- Shi W., Hou T., Guo D., He H. Evaluation of hypolipidemic peptide (Val-Phe-Val-Arg-Asn) virtual screened from chickpea peptides by pharmacophore model in high-fat diet-induced obese rat. *Journal of Functional Foods*. 2019;54:136-145. DOI: 10.1016/j.jff.2019.01.001
- Shi W., Hou T., Liu W., Guo D., He H. The hypolipidemic effects of peptides prepared from *Cicer arietinum* in ovariectomized rats and HepG2 cells. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019;99(2):576-586. DOI: 10.1002/jsfa.9218
- Singh B.P., Vij S., Hati S. Functional significance of bioactive peptides derived from soybean. *Peptides*. 2014;54:171-179. DOI: 10.1016/j.peptides.2014.01.022
- Sinha S.K., Amresh K. Condensed tannin: a major anti-nutritional constituent of faba bean (*Vicia faba* L.). *Horticulture International Journal*. 2018;2(2):32-33. DOI: 10.15406/hij.2018.02.00022
- Smid E.J., Hugenholtz J. Functional genomics for food fermentation processes. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2010;1:497-519. DOI: 10.1146/annurev.food.102308.124143
- Smith V.H., Jimmerson J. Chickpeas (garbanzo beans). Briefing No. 55. Agricultural Marketing Policy Center Briefings. 2005. Available from: <https://ampc.montana.edu/documents/briefings/briefing55.pdf> [accessed Aug. 17, 2021].
- Wallace T.C., Murray R., Zelman K.M. The nutritional value and health benefits of chickpeas and hummus. *Nutrients*. 2016;8(12):766. DOI: 10.3390/nu8120766
- Wang N., Hatcher D.W., Tyler R.T., Toews R., Gawalko E. Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Food Research International*. 2010;43(2):589-594. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.07.012
- Xu Y., Galanopoulos M., Sismour E., Ren S., Mersha Z., Lynch P. et al. Effect of enzymatic hydrolysis using endo- and exo-proteases on secondary structure, functional, and antioxidant properties of chickpea protein hydrolysates. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020;14(1):343-352. DOI: 10.1007/s11694-019-00296-0
- Yamamoto N., Ejiri M., Mizuno S. Biogenic peptides and their potential use. *Current Pharmaceutical Design*. 2003;9(16):1345-1355. DOI: 10.2174/1381612033454801
- Zhang J., Zhang H., Wang L., Guo X., Wang X., Yao H. Antioxidant activities of the rice endosperm protein hydrolysate: identification of the active peptide. *European Food Research and Technology*. 2009;229(4):709-719. DOI: 10.1007/s00217-009-1103-3
- Zhang T., Jiang B., Miao M., Mu W., Li Y. Combined effects of high-pressure and enzymatic treatments on the hydrolysis of chickpea protein isolates and antioxidant activity of the hydrolysates. *Food Chemistry*. 2012;135(3):904-912. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.05.097
- Zhang Y., Su D., He J., Dai Z., Riaz A., Ou S. et al. Effects of ciceritol from chickpea on human colonic microflora and the production of short chain fatty acids by *in vitro* fermentation. *Food Science and Technology*. 2017;79(3):294-299. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.01.040

### Информация об авторах

**Махбубех Ахангаран**, аспирант, Московский государственный университет пищевых производств, 125080 Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 11, ahangaran@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4796-2066>

**Дмитрий Алексеевич Афанасьев**, аспирант, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, 109316 Россия, Москва, ул. Талалихина, 26, dmitr.afanasjew2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7463-4503>

**Ирина Михайловна Чернуха**, доктор технических наук, академик РАН, главный научный сотрудник, профессор, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, 109316 Россия, Москва, ул. Талалихина, 26, imcher@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4298-0927>

**Наталья Геннадьевна Машенцева**, доктор технических наук, профессор РАН, профессор, Московский государственный университет пищевых производств, 125080 Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 11, natali-mng@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9287-0585>

**Махмуд Гаравири**, аспирант, Московский государственный университет пищевых производств, 125080 Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 11, gharaviri@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4318-7077>

**Information about the authors**

**Mahboobeh Ahangaran**, Postgraduate Student, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe Highway, Moscow 125080, Russia, ahangaran@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4796-2066>

**Dmitry A. Afanasev**, Postgraduate Student, V.M. Gorbатов Federal Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, 26 Talalikhina St., Moscow 109316, Russia, dmitr.afanasjew2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7463-4503>

**Irina M. Chernukha**, Dr. Sci. (Engineering), Full Member (Academician) of the RAS, Chief Researcher, Professor, V.M. Gorbатов Federal Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, 26 Talalikhina St., Moscow 109316, Russia, imcher@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4298-0927>

**Natalya G. Mashentseva**, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the RAS, Professor, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe Highway, Moscow 125080, Russia, natali-mng@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9287-0585>

**Mahmud Gharaviri**, Postgraduate Student, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe Highway, Moscow 125080, Russia, gharaviri@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4318-7077>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.08.2021; одобрена после рецензирования 21.02.2022; принята к публикации 28.02.2022.

The article was submitted on 23.08.2021; approved after reviewing on 21.02.2022; accepted for publication on 28.02.2022.