

## Применение метода имитационного моделирования при разработке рецептуры безглютенового печенья

М. А. Никитина\*, И. А. Никитин\*\*, В. Г. Кулаков\*\*

\*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В. М. Горбатова»  
109316, Москва, ул. Талалихина, 26

\*\*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского» (Первый казачий университет)»  
109004, Москва, ул. Земляной Вал, 73

e-mail: [nikito.igor@gmail.com](mailto:nikito.igor@gmail.com)

*Аннотация.* В настоящее время приоритетным направлением в области создания новых пищевых продуктов является разработка технологий изделий специализированного назначения. К таким видам продуктов относятся безглютеновые мучные кондитерские изделия, предназначенные для людей, больных целиакией. Безглютеновая продукция пользуется спросом среди потребителей, нуждается в расширении ассортимента, улучшении качественных показателей. В статье приведены результаты исследований по разработке мучных кондитерских изделий на основе амарантовой муки, не содержащих глютена. Использован метод имитационного моделирования рецептур безглютеновых мучных кондитерских изделий функциональной направленности с целью оптимизации их химического состава. Полученная продукция позволит разнообразить и дополнить необходимыми нутриентами рацион питания для людей с непереносимостью глютена, а также для людей, соблюдающих безглютеновую диету.

*Ключевые слова:* целиакия, безглютеновые мучные кондитерские изделия, амарантовая мука, моделирование рецептур.

### 1. Введение

Целиакия — аутоиммунная энтеропатия, вызываемая употреблением глютена лицами с генетической предрасположенностью. Это иммуноопосредованное заболевание, при котором дезаминированные пептиды глиадина активизируют клетки иммунной системы в собственной пластинке тонкой кишки, которые стимулируют Т-лимфоциты, благодаря чему запускается адаптивный иммунный ответ, приводящий к усиленной продукции гамма-интерферона (IFN- $\gamma$ ) и интерлейкина ИЛ-15.

Все это приводит к выраженной инфильтрации внутриэпителиальными лимфоцитами и, соответственно, к изменениям и повреждениям кишечного эпителия [1].

Целиакия — заболевание, в патогенезе которого играет употребление пищи, содержащей глютен. Аутоиммунный процесс останавливается при изъятии глютена из рациона, благодаря чему происходит прекращение развития аутоиммунной энтеропатии с последующей нормализацией серологических маркеров заболевания.

Одним из первых пропагандистов философии «Глютен — яд» стал кардиолог Уильям Дэвис [2]. Основываясь на собственных исследованиях, он утверждает, что клейковина вызывает серьезные заболевания, среди которых артрит и гипертония.

В 2011 г. появилось еще одно исследование: ученые из Monash University ([www.monash.edu](http://www.monash.edu)) пришли к выводу, что заболевания ЖКТ, вызванные употреблением глютена, могут возникать даже у тех, кто не страдает целиакией. Особенно актуально это утверждение для людей старше 40 лет, у которых клейковина, попадая в организм в большом количестве, вызывает воспаление стенок кишечника. Следствие этого — нарушения пищеварения, появление лишнего веса, снижение мышечной активности.

Эти выводы подтвердили и специалисты University of Maryland Baltimore Washington Medical Center ([www.mybwmc.org](http://www.mybwmc.org)), которые выяснили, что непереносимость глютена развивается с возрастом. Она проявляется метеоризмом, чувством тяжести, нарушениями пищеварения, которые возникают после употребления мучных продуктов.

Проблема непереносимости глютена не сводится к одной лишь целиакии, нередко он вызывает пищевую аллергию у детей раннего возраста, проявления которой могут быть достаточно разнообразны: от кожных высыпаний до хронических поносов. В настоящее время, например, организация школьного питания предусматривает разработку и реализацию рационов в основном для здоровых детей, но существует проблема организации питания детей с наследственными заболеваниями, например фенилкетонурией, муковисцидозом, целиакией. Поэтому разработка безглютеновых изделий и включение их в рационы питания определенной категории больных в организованных коллективах является актуальной и требует дополнительного рассмотрения.

В соответствии с международными стандартами, регламентирующими качество продуктов питания, безглютеновыми являются и имеют право маркироваться продукты, в которых его уровень не превышает 20 мг/кг.

Согласно обзору Innova Market Insights, в 2014 г. рост производства безглютеновой продукции составил 9% от общего объема продуктов питания и напитков, выпускаемых в мире. Примечательно, что в США этот показатель составил 17%.

В апреле 2015 г. каждый 10-й запущенный новый продукт во всем мире был без глютена. Наибольшее число новинок отмечается в хлебопекарной и кондитерской отраслях (хлеб — 9% от общего объема, печенье — 8% от общего объема аналогичной продукции). В других областях продуктового рынка также наблюдается рост интереса к безглютеновой продукции. Все больше компаний присоединяются к тенденции исключения глютена из продуктов [3].

В качестве основных видов безглютенового мучного растительного сырья в большинстве безглютеновых мучных кондитерских изделий (МКИ) используется амарантовая, соевая, арахисовая, гороховая, гречневая виды муки, а также различные виды крахмалов. Наибольший интерес с точки зрения обогащения итогового продукта дополнительными нутриентами представляет амарантовая мука. Анализ литературных источников [4, 5], посвященных изучению комплексной переработки семян амаранта, их химическому составу и фармакологическим свойствам, характеризует их в качестве перспективных источников растительного белка, биологически активных липидов, пищевых волокон и минеральных веществ, что свидетельствует о целесообразности исследований, направленных на изучение возможности их применения в хлебопекарном и кондитерском производстве.

Содержание незаменимых аминокислот и биологическая ценность амарантовой муки в сравнении с пшеничной мукой первого сорта представлена в табл. 1.

Таблица 1. Содержание незаменимых аминокислот и биологическая ценность пшеничной и амарантовой муки

| Наименование аминокислот | Белок ФАО/ВОЗ, % к белку | Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, г / 100 г белка | Мука амарантовая белковая полуобезжиренная, г / 100 г белка |
|--------------------------|--------------------------|---|---|
| Изолейцин                | 4.0                      | 0.530   | 1.659   |
| Лейцин                   | 7.0                      | 0.813   | 2.279   |
| Лизин                    | 5.5                      | 0.265   | 3.692   |
| Метионин + Цистин        | 3.5                      | 0.400   | 1.522   |
| Фенилаланин + Тирозин    | 6.0                      | 0.880   | 3.319   |
| Треонин                  | 4.0                      | 0.318   | 1.917   |
| Триптофан                | 1.0                      | 0.120   | 1.082   |
| Валин                    | 5.0                      | 0.510   | 2.186   |
| БЦ, %                    |                          | 94.08   | 77.58   |

Для разработки рецептуры безглютеновых МКИ улучшенного состава, повышенной биологической ценности, оптимизированных по соотношению белок/жир, а также содержанию ненасыщенных (НЖК), мононенасыщенных (МНЖК), полиненасыщенных (ПНЖК) жирных кислот НЖК/МНЖК/ПНЖК применяли принципы пищевой комбинаторики.

## 2. Пищевая комбинаторика

Моделирование комбинированных продуктов питания основано на принципах пищевой комбинаторики и ставит своей целью создание рецептов новых видов пищевых продуктов на основе методов математической оптимизации путем обоснованного подбора основного сырья, ингредиентов, пищевых добавок и биологически активных добавок, совокупность которых обеспечивает формирование требуемых органолептических, физико-химических свойств продукта, а также заданный уровень пищевой, биологической и энергетической ценности.

Процесс моделирования рецептов комбинированных продуктов включает в себя следующие три этапа: подготовка исходных данных на проектирование, формализация требований к составу и свойствам исходных ингредиентов и качеству готового продукта, процесс моделирования; конструирование продукта с заданными структурными свойствами [6].

Применение математических методов в проектировании поликомпонентных продуктов позволяет:

- оптимизировать рецептурный состав;
- расширить ассортимент промышленных пищевых продуктов;
- в условиях дефицита белоксодержащего пищевого сырья оптимизировать и вовлечь в сферу потребления нетрадиционные источники сырья и БАД [7].

### 2.1. Математическая модель безглютенового МКИ улучшенного состава

При моделировании рецептов безглютеновых МКИ ставили задачу оптимизировать химический состав готовых МКИ таким образом, чтобы выровнять в них соотношение белка к жиру, а также оптимизировать соотношение незаменимых аминокислот и жирных кислот.

Таким образом, задача заключалась в подборе массовых долей рецептурных компонентов так, чтобы продукт отвечал следующим условиям:

- отношение массовой доли белка к массовой доле жира должно составлять 1.27:

$$\sum_{j=1}^m b_j^a x_j / b_j^k x_j = 1.27,$$

где  $b_j^a, b_j^k$  — массовая доля соответственно белка и жира в  $j$ -ом рецептурном компоненте;  $x_j$  — массовая доля  $j$ -ой компоненты рецептуры;  $m$  — количество компонентов в рецептуре;

- отношение массовой доли аминокислоты лизин к массовой доле аминокислот метионин + цистин должно стремиться к единице

$$\sum_{j=1}^m [a_{\text{лиз}} - (a_{\text{мет}} + a_{\text{цис}})] \cdot b_j^a x_j \leq eps,$$

где  $a_{\text{лиз}}$ ,  $a_{\text{мет}}$ ,  $a_{\text{цис}}$  — массовые доли аминокислот лизина, метионина и цистина, г / 100 г белка;

- массовая доля аминокислоты триптофан должна быть менее 1 г / 100 г белка:

$$\sum_{j=1}^m a_{\text{мрпн}} \cdot b_j^a x_j \geq 1,$$

где  $a_{\text{мрпн}}$  — массовая доля аминокислоты триптофан, г / 100 г белка.

- соотношение массовых долей НЖК, МНЖК и ПНЖК должно соответствовать следующему ряду чисел 3:6:1:

$$6 \sum_{k=1}^7 \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j = 3 \sum_{k=8}^{10} \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j;$$

$$\sum_{k=1}^7 \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j + \sum_{k=8}^{10} \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j = \sum_{k=11}^{13} \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j,$$

где  $k = \overline{1, 7}$  — соответствует НЖК;  $k = \overline{8, 10}$  — МНЖК;  $k = \overline{11, 13}$  — ПНЖК;  $q_{kj}$  — массовая доля  $k$ -й жирной кислоты в  $j$ -м компоненте рецептуры, г / 100 г жира.

В качестве целевой функции был взят критерий аминокислотного соответствия

$$P(A) = \sum_{k=1}^n \left( A_k^0 - \sum_{j=1}^m a_{ki} b_{ij} x_j / \sum_{j=1}^m b_{ij} x_j \right)^2 \rightarrow \min,$$

где  $a_{ki}$  — удельное содержание  $k$ -го моноструктурного ингредиента в  $i$ -м элементе химического состава;  $b_{ij}$  — удельное содержание  $i$ -го элемента химического состава в  $j$ -м рецептурной компоненте проектируемого продукта.

## 2.2. Рецептура, пищевая и биологическая ценность смоделированного пищевого продукта

В результате структурно-параметрической оптимизации состава МКИ методом имитационного моделирования было получено безглютеновое печенье со следующим распределением массовых долей компонентов рецептуры (табл. 2) и соответствующим химическим составом и биологической ценностью (табл. 3).

Таблица 2. Рецептúra печенья на 100 г готовой продукции

| Наименование сырья | Количество, г |
|--------------------|---------------|
| Мука амарантовая   | 30            |
| Крахмал кукурузный | 24            |
| Масло сливочное    | 30            |
| Сахарная пудра     | 8             |
| Грецкий орех       | 2             |
| Яйцо куриное       | 5             |
| Соль пищевая       | 0.5           |
| Ванилин            | 0.5           |

Таблица 3. Показатели химического состава и биологической ценности печенья

| Наименование показателя                          | Расчетные данные |
|--|------------------|
| Влага, %   | 16.29            |
| Белок, %   | 4.28             |
| Жир, %   | 24.88            |
| НЖК/МНЖК/ПНЖК                                    | 4:8:1            |
| Углеводы, %                                      | 45.18            |
| Энергетическая ценность, ккал                    | 340              |
| <i>Незаменимые аминокислоты, г / 100 г белка</i> |                  |
| Изолейцин  | 2.38             |
| Лейцин   | 3.65             |
| Лизин  | 3.80             |
| Метионин + Цистин                                | 2.66             |
| Фенилаланин + Тирозин                            | 4.61             |
| Треонин  | 2.56             |
| Триптофан  | 1.12             |
| Валин  | 2.98             |
| <b>БЦ, %</b>                                     | <b>80.99</b>     |

Подобранное соотношение компонентов рецептуры позволило получить продукт, обладающий высокой биологической ценностью (80.99%) и биологической эффективностью (соотношение НЖК/МНЖК/ПНЖК = 4:8:1).

Определение органолептических (цвет, вкус, запах, форма, состояние поверхности, вид в изломе) и физико-химических (массовая доля влаги, намокаемость) показателей качества разработанного печенья подтвердило его соответствие требованиям ГОСТ 24901-2014.

### 3. Выводы

На основании моделирования рецептурного состава безглютенового печенья с применением амарантовой муки получена рецептура МКИ, обладающих высокой биологической ценностью, а также оптимальным соотношением белок/жир и

НЖК/МНЖК/ПНЖК. Полученное печенье по показателям качества соответствовало требованиям нормативно-технической документации. Таким образом, разработанные МКИ позволят разнообразить и дополнить необходимыми нутриентами рацион питания для людей с непереносимостью глютена, а также для людей, соблюдающих безглютеновую диету.

## Литература

- [1] *Serena G., Camhi S., Sturgeon C., Yan S., Fasano A.* The Role of Gluten in Celiac Disease and Type 1 Diabetes // *Nutrients*. 2015. Vol. 7. No. 9. P. 7143–7162.
- [2] *Davis W.* Wheat Belly: Lose the Wheat, Lose the Weight, and Find Your Path to Health. — Rodale Books, 2011.
- [3] *Никитин И. А., Кулаков В. Г., Коровина Е. С., Пыресева А. И.* Фрагментарное исследование рынка функциональных продуктов питания из безглютенового сырья // *Хлебопродукты*. 2016. № 11. С. 29–31.
- [4] *Пащенко Л. П., Никитин И. А.* Амарант — особенности химического состава нетрадиционной культуры // *Успехи современного естествознания*. 2003. № 10. С. 121.
- [5] *Уажанова Р. У., Росляков Ю. Ф., Жаркова И. М., Шмалько Н. А.* Амарант — продовольственная культура (происхождение, систематика, морфология, физиология, интродукция, возделывание, химический состав, хранение, переработка, применение. — Краснодар : Издательский дом-Юг, 2016.
- [6] *Жаринов А. И., Ивашкин Ю. А.* Проектирование комбинированных продуктов питания // *Все о мясе*. 2004. № 3. С. 6–15.
- [7] *Титова М. Е., Никитина М. А., Тихомирова Н. А.* Разработка белкового модуля для продуктов функционального питания с применением системы компьютерной оценки // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2013. № 7. С. 41–45.

### Авторы:

*Марина Александровна Никитина* — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В. М. Горбатова»

*Игорь Алексеевич Никитин* — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии переработки зерна, хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского» (Первый казачий университет)»

*Владимир Геннадьевич Кулаков* — аспирант, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского» (Первый казачий университет)»

## Applying simulation method in formulation of gluten-free cookies

M. A. Nikitina\*, I. A. Nikitin\*\*, V. G. Kulakov\*\*

\*The Gorbатов's All-Russian Meat Research Institute  
Talalixina str., 26, Moscow, Russia, 109316

\*\*The Moscow State University of Technologies and Management  
named after K.G. Razumovskiy (the First Cossacs University)  
Zemlyanoy val, 73, Moscow, Russia, 109004

e-mail: nikito.igor@gmail.com

*Abstract.* At present time priority direction in the development of new food products its developing of technology products for special purposes. These types of products are gluten-free confectionery products, intended for people with celiac disease. Gluten-free products are in demand among consumers, it needs to expand assortment, and improvement of quality indicators. At this article results of studies on the development of pastry products based on amaranth flour does not contain gluten. Study based on method of simulation recipes gluten-free confectionery functional orientation to optimize their chemical composition. The resulting products will allow to diversify and supplement the necessary nutrients diet for people with gluten intolerance, as well as for those who follow a gluten-free diet.

*Key words:* celiac disease, gluten-free confectionary products, amaranth flour, modeling recipes.

### References

- [1] Serena G., Camhi S., Sturgeon C., Yan S., Fasano A. (2015) *Nutrients*, 7(9):7143–7162.
- [2] Davis W. (2011) *Wheat Belly: Lose the Wheat, Lose the Weight, and Find Your Path to Health*. Rodale Books.
- [3] Nikitin I. A., Kulakov V. G., Korovina Ye. S., Pyreseva A. I. (2016) *Khleboprodukty*, 11:29–31. [In Rus]
- [4] Pashchenko L. P., Nikitin I. A. (2003) *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 10:121. [In Rus]
- [5] Uazhanova R. U., Roslyakov Yu. F., Zharkova I. M., Shmal'ko N. A. (2016) *Amarant — prodovol'stvennaya kul'tura (proiskhozhdeniye, sistematika, morfologiya, fiziologiya, introduktsiya, vzdelyvaniye, khimicheskiy sostav, khraneniye, pererabotka, primeneniye*. Krasnodar, Izdatel'skiy dom-Yug [In Rus]
- [6] Zharinov A. I., Ivashkin Yu. A. (2004) *Vse o myase*, 3:6–15. [In Rus]
- [7] Titova M. Ye., Nikitina M. A., Tikhomirova N. A. (2013) *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*, 7:41–45. [In Rus]