

М.А.Тарасова, О.В.Мартынова // Пищевая промышленность. – 2008. – № 11.

15. Мартынова, О.В. Разработка обогащенных составных молочных продуктов с применением электрохимической активации: автореф. дис... канд. техн. наук / О.В.Мартынова. – Воронеж, 2010.

16. Патент RU № 2308209 Способ раскисления молока с приданием ему физиологически активных свойств. От 20.10.2007 [Текст] Н.А.Болотов [и др.], опубл. 20.10.2007.

17. Бахир, В.М. Электрохимическая активация: очистка воды и получение полезных растворов / В.М.Бахир. – М.: Маркетинг Саппорт сервис, 2001.

УДК 519.8:637.521.473 (083.12)

Математическая модель рецептуры мучного изделия с органическим селеном

Канд. техн. наук, профессор Ж.А.КРУГОВОЙ; аспирант А.В.ЗАПАРЕНКО;
канд. техн. наук Л.А.КАСИЛОВА

Харьковский государственный университет питания и торговли, Республика Украина

Д-р с.-х. наук, профессор В.Н.СОРОКОПУДОВ; канд. техн. наук Н.И.МЯЧИКОВА

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Ключевые слова: лечебно-профилактическое питание, математическая модель, мучное изделие, продукты питания, рецептура, селен.

Keywords: treatment-and-prophylactic food, mathematical model, baked foods, foods, recipe, selenium.

Сегодня во всем мире возрастает интерес ученых к селену как жизненно необходимому элементу. Известно, что он стимулирует процессы обмена веществ, метаболизма костной ткани, принимает участие в антиоксидантной защите, в некоторой степени оказывает обезвреживающее действие относительно тяжелых металлов, играет роль в профилактике онкологических заболеваний. Систематический недостаток селена в питании приводит к расстройству работы многих систем организма, в частности, к снижению иммунной защиты, репродуктивной функции, замедлению роста детей, выпадению волос, нарушениям сердечно-сосудистой системы, увеличению риска возникновения атеросклероза и т.д. [1–2].

Селен поступает в организм человека в основном с пищей и водой. Однако в последнее время содержание его в пищевых рационах значительно уменьшилось в связи с экологическими проблемами, а также несбалансированностью питания. По данным ученых [2–5], в различных странах его дефицит колеблется в пределах 30–80 %. Поэтому повышение содержания селена в пищевых продуктах – актуальная задача современности.

Обогащению селеном продуктов питания посвящены работы многих ученых. Так, Н.Л.Наумова исследовала возможность обогащения мучных изделий селеносодержащей добавкой синтетической природы «Селексен» [6]; Л.Ю.Арсеньева научно обосновала целесообразность использования селеносодержащего солода сои в хлебобулочных изделиях [7]; Н.И.Давыденко с соавторами предложили использование в технологии хлебных изделий селеносодержащих дрожжей, полученных путем

введения неорганических форм селена в дрожжевой концентрат [8].

Научные коллективы Польши (М.А. Bryszewska и соавт. [9]), а также Великобритании (D.J.Hart и соавт. [10]) обосновали целесообразность использования в технологиях хлеба зерновых культур, обогащенных селеном, путем внесения этого элемента в почву.

Анализ повсеместного использования селеновых БАД в пищевых продуктах провели Н.А.Голубкина и соавт. [5], а также Л.Н.Третьяк и Е.М.Герасимов [4].

Несмотря на полученные результаты исследований, системного подхода к решению поставленной проблемы пока не выработано. Следует отметить, что продукты питания часто обогащаются ненатуральными селеносодержащими БАД [6, 8], причем метаболизм таких соединений не вполне изучен; возможны нежелательные эффекты [4–5]. Кроме того, существующие БАД, как правило, направлены на устранение дефицита какого-либо одного нутриента. В случае использования натуральных обогатительных добавок исследователи обычно определяют оптимальные их концентрации; критерием оптимальности часто служат разнообразные технологические показатели. На наш взгляд, полезно было бы создать продукцию лечебно-профилактического назначения на основе натурального сырья, по возможности традиционного (или несправедливо забытого современниками), содержащего дефицитные нутриенты в доступной и безопасной для организма форме.

Была поставлена цель, используя математический инструментарий и компьютерные технологии, разработать рецептуру мучного изделия с высоким содержанием селена и обогащенного рядом дефицитных нутриентов для систем питания лечебно-профилактического назначения.

В предыдущих исследованиях [11] нами сформулирован альтернативный подход к проектирова-

нию мучных изделий высокой пищевой ценности. Подход базируется на разработке математической модели выбора совокупности ингредиентов (рецептурного состава) с учетом технологических параметров (в частности, влажности теста, соотношения фаз рецептуры и т.п.), физиологических условий усвоения пищевых веществ и обогащения изделий дефицитными нутриентами.

Важную роль при этом играет предварительный анализ химического состава сырья, а также корректная постановка задачи, что обеспечит возможность ее решения. Целевая функция выбирается разработчиками на основании интегрального анализа показателей биологической и пищевой ценности будущего изделия. Задача проектирования рецептуры состоит в решении системы уравнений и неравенств, нахождении наилучшего решения с точки зрения выбранной целевой функции, в данном исследовании — максимум селена. Данная задача линейного программирования может быть решена симплексным методом в системе MathCAD. Принятые обозначения приведены ниже:

x_i , $i = 1, 2, \dots, n$ — неизвестное количество (г) сырья i -го вида;
 Y_j , $j = 1, 2, \dots, n$ — содержание (г) нутриента j -го вида в изделии;
 Y_1 — содержание селена (г) в изделии;
 u_2-u_4 — содержание белков, жиров, углеводов (г) в рецептуре соответственно;
 Y_5-Y_{12} — содержание незаменимых аминокислот (соответственно триптофана, лейцина, изолейцина, метионина, фенилаланина, лизина, треонина, валина) (г) в изделии;
 Y_{13} — содержание марганца (г) в изделии;
 Y_{14} — содержание меди (г) в изделии;
 Y_{15} — содержание цинка (г) в изделии;
 Y_{16} — содержание витамина Е (г) в изделии;
 Y_{17} — энергетическая ценность (ккал) изделия;
 a_{ij} — содержание нутриента j -го вида в 1 г i -го ингредиента;
 λ_i — содержание воды (г) в 1 г i -го ингредиента;
 Y_j^{cn} , $j = 1, 2, \dots, m$ — суточная потребность (г) в j -м нутриенте.

Поскольку мучные изделия ежедневно используются потребителями в питании, они являются весьма удобным рычагом для регулирования пищевой ценности рационов. С другой стороны, сырье, являющееся ценным источником селена (например, бразильский орех, кешью, арахис, зерно пшеницы мягкой яровой, чеснок, яйца и т.д.), может быть использовано для проектирования таких изделий.

Для восполнения дефицита селена в пищевых рационах нами предложена рецептура сдобного изделия «Плюшка селеновая». В состав изделия входят мука пшеничная I сорта, молоко пастеризованное жирностью 3,2 %, сахар кристаллический, соль поваренная пищевая II сорта, дрожжи прессованные, яйца куриные, масло сливочное жирностью 72,5 %, масло подсолнечное рафинированное, орехи бразильские.

Сырье для рецептуры выбрано на основе предварительного анализа его химического состава, а также исходя из опыта проектирования сдобных изделий.

Основными поставщиками селена в данном случае являются орехи бразильские, яйца куриные, в меньшей степени — молоко и мука. По различным данным [12, 13], 100 г бразильского ореха содержат от 544 до 1917 мкг селена, что превышает суточную потребность более чем в 10 раз. Соответственно даже незначительное количество бразильского ореха, введенное в рецептуры мучных изделий, позволяет полностью покрыть дефицит этого элемента в суточном рационе питания.

Кроме того, в пищевых продуктах селен содержится в органической форме (селенометионин для растительной продукции), что делает его, во-первых, доступным для организма, а во-вторых, исключает неблагоприятное токсическое воздействие, характерное, например, для обогатителей неорганической природы [4].

Следует отметить, что бразильский орех также характеризуется достаточно высоким содержанием витаминов В₁, В₆, Е, марганца, цинка, которые также являются дефицитными в питании.

Математическая модель изделия включает ограничения следующего вида:

1. Технологические

1.1. На содержание сырья в рецептуре:

Мука пшеничная
I сорта $250 \leq x_1 \leq 450$. (1)

Молоко пастеризованное
жирностью 3,2 % $125 \leq x_2 \leq 260$. (2)

Сахар кристаллический $70 \leq x_3 \leq 100$. (3)

Соль поваренная пищевая
II сорта $1 \leq x_4 \leq 3$. (4)

Дрожжи прессованные $10 \leq x_5 \leq 20$. (5)

Яйца куриные $50 \leq x_6 \leq 120$. (6)

Масло сливочное
жирностью 72,5 % $10 \leq x_7 \leq 40$. (7)

Масло подсолнечное $5 \leq x_8 \leq 12$. (8)

Орехи бразильские $50 \leq x_9 \leq 110$. (9)

$$\sum_{i=1}^9 x_i = 1000. \quad (10)$$

1.2. На соотношение между ключевыми компонентами рецептуры (например, мука:вода, мука:дрожжи и т.п.):

$$1,6 \leq (x_1/x_2) \leq 2; \quad (11)$$

$$12,5 \leq (x_3/x_4) \leq 2. \quad (12)$$

1.3. На влажность теста:

$$0,4 \sum_{i=1}^7 x_i \leq \sum_{i=1}^7 \lambda_i - x_1 \leq 0,5 \sum_{i=1}^7 x_i. \quad (13)$$

Соотношения, связывающие содержание нутриентов Y_j с ингредиентами:

$$Y_j = \sum_{i=1}^9 a_{ij} x_i; \quad j = \overline{1,17}. \quad (14)$$

2. Физиологические — на отношения содержания незаменимых аминокислот к триптофану:

$$\text{изолейцина} \quad 3 \leq (Y_7/Y_5) \leq 4; \quad (15)$$

$$\text{метионина} \quad 3 \leq (Y_8/Y_5) \leq 4; \quad (16)$$

$$3 \leq (Y_{10}/Y_5) \leq 5; \quad (17)$$

$$2 \leq (Y_{11}/Y_5) \leq 3. \quad (18)$$

Числовые значения ограничений в неравенствах (15)–(18) приняты, исходя из существующих в литературе научных рекомендаций [14]. В качестве аминокислоты, с которой осуществляется сравнение, использован триптофан, поскольку потребность в нем среди незаменимых аминокислот наименьшая.

3. Условия обогащения изделия дефицитными нутриентами:

$$\text{марганец} \quad \frac{10}{Y_{13}^{cm}} \sum_{i=1}^9 a_{i13} x_i \geq 10\%; \quad (19)$$

$$\text{медь} \quad \frac{10}{Y_{14}^{cm}} \sum_{i=1}^9 a_{i14} x_i \geq 15\%; \quad (20)$$

$$\text{цинк} \quad \frac{10}{Y_{15}^{cm}} \sum_{i=1}^9 a_{i15} x_i \geq 9\%; \quad (21)$$

$$\text{витамин E} \quad \frac{10}{Y_{16}^{cm}} \sum_{i=1}^9 a_{i16} x_i \geq 10\%. \quad (22)$$

Целевая функция – максимум селена:

$$Z = Y_1 = \sum_{i=1}^9 a_{i1} x_i \rightarrow \max. \quad (23)$$

Математическая формулировка задачи оптимизации содержания ингредиентов в рецептуре сдобного изделия с селеном состоит в следующем: определить вектор $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_9)$, который максимизирует целевую функцию (23), т.е. содержание селена в изделии, при условии, что координаты этого вектора удовлетворяют системам неравенств и уравнений (1)–(22).

Решение сформулированной задачи оптимизации осуществляли симплексным методом в системе MathCAD.

Характеристика пищевой ценности изделия, приготовленного в соответствии со спроектированной рецептурой, приведена в табл. 1.

Ожидаемое содержание селена в 100 г нового изделия – 63 мкг, что соответствует 127 % суточной потребности. Однако в процессе тепловой обработки возможны его потери, что требует дополнительного изучения.

Таблица 1
Характеристика пищевой ценности сдобного изделия с селеном

Нутриент	Содержание на 100 г продукта
Селен, мкг	63/126,81
Белки, г	7,9
Жиры, г	12,0
Углеводы, г	40,4
Обогатительные нутриенты, % суточной потребности	
Mn	12,82
Cu	18,62
Zn	9,00
витамин E	12,84
Энергетическая ценность, ккал	298

Таблица 2
Соотношения между аминокислотами в изделии

Сравниваемые аминокислоты	Соотношение	Рекомендуемый диапазон соотношения [14]	
		минимум	максимум
Изолейцин: триптофан	3,89	3	4
Метионин: триптофан	2,48	2	4
Лизин: триптофан	3,37	3	5
Треонин: триптофан	2,84	2	3
Валин: триптофан	4,26	4	4
Лейцин: триптофан	6,90	4	6
Фенилаланин: триптофан	4,24	2	4

Следует отметить, что при данном способе проектирования изделий (повышения их пищевой ценности) исключается возможность возникновения дисбаланса микроэлементов, что имеет место при использовании синтетических добавок [4, 5], поскольку новое изделие дополнительно обогащено такими дефицитными нутриентами, как марганец, медь, цинк, токоферол. Последний в комплексе с селеном способствует улучшению зрения [4].

Кроме того, новое изделие характеризуется высокой степенью сбалансированности незаменимых аминокислот (табл. 2). Видно, что соотношения между четырьмя незаменимыми аминокислотами и триптофаном принадлежат рекомендуемому диапазону значений, а для трех других близки к аналогичным интервалам.

Следует также подчеркнуть достаточно высокое содержание метионина в изделии, что весьма важно для усвоения селена организмом [5]. Кроме того, метионин сбалансирован с другими аминокислотами, что для мучных изделий удается достичь достаточно редко.

Предварительные лабораторные испытания рецептуры подтвердили воспроизводимость результатов проектирования. Наряду с высокой пищевой ценностью, изделие характеризуется органолептическими показателями, привычными для потребителя, что позволит рекомендовать его для употребления в составе пищевых рационов во время утренних, обеденных или вечерних приемов пищи. Простота технологии приготовления изделия, а также относительно невысокая себестоимость создают предпосылки для внедрения его в массовое производство.

Таким образом, разработана математическая модель оптимизации содержания ингредиентов в рецептуре сдобного изделия «Плюшка селеновая». В модели учтены соотношения между ингредиентами, ограничение на влажность теста, физиологические ограничения по содержанию незаменимых аминокислот, условия обогащения его рядом дефицитных нутриентов, ограничения на содержание сырья в рецептуре и т.д.

Рецептура изделия, полученная с использованием данной модели, обеспечивает максимально возможное содержание селена в изделии и обогаще-

ние его следующими дефицитными нутриентами: марганцем, цинком, медью, витамином Е.

Использование спроектированного сдобного изделия в пищу раз в день позволит полностью покрыть дефицит селена в суточном рационе потребителя.

Созданная рецептура мучного изделия является элементом систем питания, предназначенных для профилактики и лечения заболеваний, возникающих на фоне дефицита кальция.

Предложенное изделие может использоваться в других системах питания, создаваемых для профилактики заболеваний, обусловленных дефицитом селена и других нутриентов.

Л и т е р а т у р а

1. Макро- та мікроелементи (обмін, патологія та методи визначення): монографія / М.В.Погорелов [и др.]. – Суми: СумДУ, 2010. – 147 с.

2. *Rayman, M.P.* The importance of selenium to human health. *The Lancet*. V. 356/ July 15, 2000. P. 233–241.

3. *Черевко, О.І.* Про розробку рецептур хліба для систем харчування лікувально-профілактичного призначення / О.І.Черевко [та ін.] // Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві: Міжнар. наук.-практ. інтернет-конфер., 14–16 листопада 2012 р.: редкол.: О.І.Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Харків: ХДУХТ, 2012. – С. 3–4.

4. *Третьяк, Л.Н.* Специфика влияния селена на организм человека и животных (применительно к проблеме создания селеносодержащих продуктов питания) / Л.Н.Третьяк, Е.М.Герасимов // Вестник Оренбургского гос. ун-та. – 2007. – № 12. – С. 136–143.

5. *Голубкина, Н.А.* К вопросу обогащения пищевых продуктов селеном [Электронный ресурс] / Н.А.Голубкина, С.А.Хотимченко, В.А.Тутельян / Режим доступа: <http://mbf.obninsk.ru/files/File/articles/20090113_selen_golubkina_product.pdf>.

6. *Наумова, Н.Л.* Разработка и товароведная оценка хлебобулочных изделий, обогащенных селеном: автореф. дис... канд. техн. наук: защищена 01.11.2008 / Н.Л.Наумова. – Кемерово, 2008.

7. *Арсеньева, Л.Ю.* Наукове обґрунтування та розроблення технології функціональних лібобулочних виробів з рослинними білками та мікронутрієнтами : дис... д-ра техн. наук / Л.Ю.Арсеньєва. – Київ, 2007. – 360 с.

8. *Давыденко, Н.И.* Формирование потребительских свойств функциональных хлебобулочных изделий с использованием селеносодержащих хлебопекарских дрожжей / Н.И.Давыденко, А.В.Пермякова, В.А.Нестерова // Ползуновский вестник. – Кемерово, 2011. – № 3/2. – С. 122–128.

9. The Effect of Consumption of Selenium Enriched Rye / Wheat Sourdough Bread on the Body's Selenium Status / Malgorzata A. Bryszewska, Wojciech Ambroziak, Nicola J. Langford, Malcolm J. Baxter, Alison Colyer, D. John Lewis. // *Plant Foods Hum Nutr.* (2007) 62. – P. 121–126.

10. Selenium concentration and speciation in biofortified flour and bread: Retention of selenium during grain biofortification, processing and production of Se-enriched food / D.J.Hart, S.J.Fairweather-Tait, M.R.Broadley, S.J.Dickinson, I.Foot, P.Knott, S.P.McGrath, H.Mowat, K.Norman, P.R.Scott, J.L.Stroud, M.Tucker, P.J.White, F.J.Zhao, R.Hurst // *Food Chemist.* V. 126, Is. 4, 15 June 2011, P. 1771–1778.

11. *Крутовий, Ж.А.* Про альтернативний підхід до проектування рецептур хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів / Ж.А.Крутовий, Г.В.Запаренко // Прогресивна техніка та технології харч. вир., рет. та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торг. та послуг : Міжнар. наук.-практ. конфер., 18 жовтня 2012 р.: [присвяч. 45-річчю ХДУХТ: тези у 2-х ч.] / редкол.: О.І.Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Харків: ХДУХТ, 2012. – Ч. 1. – С. 48–49.

12. National Nutrient Database for Standard Reference [Electronical source] / Access : <<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3621>>.

13. Dietary Supplement Fact Sheet: Selenium Reference [Electronical source] / Access : <<http://ods.od.nih.gov/factsheets/Selenium-HealthProfessional/>>.

14. Основы физиологии харчування : підручник / Н.В.Дуленко [та ін.]. – Харків: Торнадо, 2003. – 407 с.

УДК 641.8

Влияние температуры хранения на показатели качества айвы японской

Н.И.ИЛЬИЧЕВА; канд. техн. наук В.Н.ТИМОФЕЕВА,

Могилевский государственный университет продовольствия, Республика Беларусь

Д-р техн. наук, профессор В.В.КОЛПАКОВА

Московский государственный университет пищевых производств

Ключевые слова: айва японская, биологически активные вещества, естественная убыль, условия хранения, фенольные соединения, химический состав.

Keywords: quince japonica, biologically active substances, wastage, storage conditions, phenolic compounds, chemical composition.

Плоды айвы японской поступают на хранение со сложившимся типом обмена веществ. Накопившиеся в процессе созревания химические соединения при хранении расходуются на процессы жизнедеятельности, т.е. прекращаются процессы синтеза и начинается расходование веществ [1, 2]. Наблюдаются сложные биохимические, физиологические и