

Дарья Владимировна Купчак¹, Ольга Ивановна Любимова²✉

^{1,2}Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

¹daria-kup@rambler.ru

²lub.ol@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМОДИФИЦИРОВАННОЙ СОИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ НИЗКОГЛИКЕМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Цель исследования – обоснование и разработка технологии соево-минерального концентрата (СМК) и соево-минеральной пасты (СМП) на основе биомодифицированных соевых семян для использования СМК и СМП в рецептурах продукции низкогликемического действия. Задачи: исследовать динамику аккумуляции хелатных ионов минеральных веществ в процессе биомодификации соевых семян в ванадиевой минерализованной водной среде, определить химический состав полученного СМК. Объекты исследования – соевые семена районированных сортов Октябрь-70, Лидия, СМК. Для определения химического состава разработанного СМК использовали стандартные методы исследования пищевой продукции, соответствующие действующей в РФ нормативно-технической документации. Определение минеральных веществ проводили масс-спектрометрией в индуктивно-связанной аргоновой плазме на приборе ICP-MS ELAN DRC II фирмы Perkin Elmer (США). Построение математических моделей в виде уравнений регрессии второго порядка и их анализ осуществляли с помощью программы Arrol и метода Парето-оптимального решения (программа KPS). В статье указаны особенности развития сахарного диабета, основанные на современных исследованиях, обоснована возможность использования хелатного ванадия как ингредиента в производстве продуктов питания гипогликемического действия. Проанализирован ряд литературных источников, в которых указана оксидативная и гипогликемическая способность соединений ванадия. Представлены результаты исследования биомодификации соевых семян в ванадиевой минерализованной водной среде и аккумуляции минеральных веществ эндпротеиназами прорастающих соевых семян. В результате чего отмечается увеличение хелатных минеральных элементов: Na^{1+} , Ca^{2+} , K^{1+} , Mg^{2+} , V^{4+} в два раза. Разработана технология производства соево-минерального концентрата (СМК) и соево-минеральной пасты (СМП) для последующего использования этих ингредиентов в рецептурном составе продукции низкогликемического действия. Химический состав СМК представлен протеинами 40 %, жирами – 20, углеводами – 10, водой – 6 %.

Ключевые слова: гликемический индекс, аккумуляция хелатных ионов, ванадий, соево-минеральный концентрат

Для цитирования: Купчак Д.В., Любимова О.И. Обоснование использования биомодифицированной сои в производстве продукции низкогликемического действия // Вестник КрасГАУ. 2024. № 6. С. 245–250. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-245-250.

Darya Vladimirovna Kupchak¹, Olga Ivanovna Lyubimova²✉

^{1,2}Pacific National University, Khabarovsk, Russia

¹daria-kup@rambler.ru

²lub.ol@mail.ru

RATIONALE FOR THE USE OF BIOMODIFIED SOY IN THE PRODUCTION OF LOW-GLYCEMIC PRODUCTS

The objective of the study is to substantiate and develop the technology of soybean-mineral concentrate (SMC) and soybean-mineral paste (SMP) based on biomodified soybeans for the use of SMC and SMP in the formulations of low-glycemic products. Objectives: to study the dynamics of accumulation of chelated ions of mineral substances in the process of biomodification of soybeans in a vanadium mineralized aqueous medium, to determine the chemical composition of the obtained SMC. The objects of the study are soybean seeds of zoned varieties Oktyabr-70, Lydia, SMC. To determine the chemical composition of the developed SMC, standard methods for studying food products were used, corresponding to the normative and technical documentation valid in the Russian Federation. Determination of mineral substances was carried out by mass spectrometry in inductively coupled argon plasma on an ICP-MS ELAN DRC II device by Perkin Elmer (USA). Construction of mathematical models in the form of second-order regression equations and their analysis were carried out using the Appol program and the Pareto-optimal solution method (KPS program). The paper indicates the features of diabetes mellitus development based on modern research, substantiates the possibility of using chelated vanadium as an ingredient in the production of hypoglycemic food products. A number of literary sources indicating the oxidative and hypoglycemic ability of vanadium compounds are analyzed. The paper presents the results of a study of soybean seed biomodification in a vanadium mineralized aqueous medium and the accumulation of minerals by endoproteinases of germinating soybean seeds. As a result, a two-fold increase in chelated mineral elements is noted: Na^{1+} , Ca^{2+} , K^{1+} , Mg^{2+} , V^{4+} . A technology has been developed for the production of soybean-mineral concentrate (SMC) and soybean-mineral paste (SMP) for the subsequent use of these ingredients in the formulation of low-glycemic products. The chemical composition of the SMC is represented by proteins 40 %, fats – 20, carbohydrates – 10, water – 6 %.

Keywords: glycemic index, accumulation of chelated ions, vanadium, soybean-mineral concentrate.

For citation: Kupchak D.V., Liubimova O.I. Rationale for the use of biomodified soy in the production of low-glycemic products // Bulliten KrasSAU. 2024;(6): 245–250 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-245-250.

Введение. Сахарный диабет второго типа рассматривается как хроническое заболевание, осложненное неадекватно повышенным содержанием глюкозы в крови и уровнем гликемии. Диабетом второго типа страдают большинство людей в возрасте старше 40 лет с подобным генезом. Как правило, пациенты имеют избыточный вес или ожирение, нарушения гормональной эндокринной системы, у них наблюдается семейная генетическая предрасположенность к заболеванию, полиморфизм [1, 2].

Причинами развития заболевания традиционно считаются следующие факторы:

1) питание и образ жизни. Гиподинамия, ожирение, лишний вес, несбалансированное питание являются одними из основных факторов риска развития диабета второго типа, которые снижают чувствительность клеток организма к инсулину и соответственно к избытку жирных кислот, депонирующихся в печени, и ее жировому гепатозу [1, 2];

2) генетические особенности. Определенный геном кодирует белки, участвующие в пос-

троении поджелудочной железы, формировании β -клеток, оказывающие влияние на продуцирование и метаболизм инсулина, которые связаны с повышенным риском диабета [1, 2];

3) вирусные инфекции позиционируются как стартовые заболевания для развития сахарного диабета. Наиболее часто поражают β -клетки поджелудочной железы вирусы гриппа, краснухи, гепатита, ветряной оспы, Covid-19 [1, 2];

4) нарушения функционирования β -клеток поджелудочной железы за счет снижения икретинного эффекта, дисфункции α -клеток, дефекты в работе нервной системы организма [1, 2].

Три последних фактора в современном рассмотрении проблемы являются ключевыми. Исходя из этого, современные исследования предлагают новые методики лечения и профилактики диабета второго типа. Кроме стандартных рекомендаций по изменению образа жизни, правильного питания, физической активности, в настоящее время предлагаются использование новых фармакологических препаратов; антиоксидантов, в том числе в виде ионов хрома, цин-

ка, ванадия, магния; генная терапия и регенерация поджелудочной железы для восстановления функционирования β -клеток; трансплантация и ретрансплантация культур клеток поджелудочной железы [2].

Таким образом, исследования генеза диабета второго типа основаны на понимании механизмов заболевания, факторов риска и новых подходов к его лечению и профилактике.

Цель исследования – обоснование и разработка технологии соево-минерального концентрата (СМК) и соево-минеральной пасты (СМП) на основе биомодифицированных соевых семян для использования СМК и СМП в рецептурах продукции низкогликемического действия.

Задачи: исследовать динамику аккумуляции хелатных ионов минеральных веществ в процессе биомодификации соевых семян в ванадиевой минерализованной водной среде, определить химический состав полученного СМК.

Объекты и методы. Объекты исследования – соевые семена районированных сортов Октябрь-70, Лидия, СМК. Для определения химического состава разработанного СМК использовали стандартные методы исследования пищевой продукции, соответствующие действующей в РФ нормативно-технической документации. Определение минеральных веществ проводили масс-спектрометрией в индуктивно-связанной аргонной плазме на приборе ICP-MS ELAN DRC II фирмы Perkin Elmer (США). Построение математических моделей в виде уравнений регрессии второго порядка и их анализ осуществляли с помощью программы Appol и метода Парето-оптимального решения (программа KPS).

Результаты и их обсуждение. В восьмидесятых годах 20-го столетия в литературных научных источниках появилось первое сообщение о системе *in vitro* с четырехвалентным ванадием, которая приводит к положительным эффектам, сходным с действием инсулина. Затем выяснилось, что ряд соединений, таких как органические соли ванадия, хрома, селена, молибдена и вольфрама, имитируют эффекты инсулина. Наилучший результат показали биологически активные формы ванадия и хрома [3].

Инсулиноподобное действие по коррекции содержания липидов и углеводов *in vitro* и *in vivo* оказывает и ванадат, и ванадил. Они стимулируют проникновение глюкозы в клетки организма, синтезируют гликоген, предотвращают процесс глюконеогенеза в печени, ингибируют липолиз и

активируют липогенез, препятствуют удалению аминокислот в тонком кишечнике, повышая его в скелетной мышце. Но в отличие от инсулина соединения ванадия не оказывают влияния на распад и синтез белковых молекул [3].

Сотрудниками НИИ биомедицинской химии РАМН, ГНИЦ ПМ МЗ РФ на экспериментальной диабетической модели *in vivo* изучено содержание глюкозы, гликированного альбумина ГА (%), гликированного гемоглобина HbA1c (%), активность глюкокиназы, АСТ, АЛТ и амилазы при длительном применении ортованадата и ванадил-сульфата. Исследовались диабетические крысы – самцы линии Вистар с искусственно вызванным диабетом и уровнем гликемии выше 19 ммоль/л. Обнаружено, что при длительном применении ванадил-сульфата происходит нормализация исследуемых параметров, причем более всего выражен инсулиноподобный эффект [4].

На этом основании выдвинута гипотеза о возможности применения ванадийсодержащих соединений в составе пищевых продуктов пациентами с диабетом I и II типа, что позволит снизить дозу инъекций инсулина, сахаропонижающих препаратов и в перспективе обходиться без них [4].

В настоящее время, несмотря на доказанные положительные терапевтические эффекты, к сожалению, нет рекомендаций по суточному потреблению ванадия, но считается, что его потребление в количестве 30–60 мкг в сутки является безопасным [5]. По данным P. Chanson, S. Salenave [6], пациентам со стойким некомпенсированным диабетом необходима суточная доза ванадия в количестве 100 мкг.

Многочисленными исследованиями ученых Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи установлено, что неорганические соединения ванадия усваиваются в желудочно-кишечном тракте только до 0,1–2,0 % в отличие от хелатных комплексов ванадия, что дает возможность снизить необходимую дозу ванадия за счет приема его хелатных форм, тем самым обезопасив организм от токсичного воздействия ванадия [5, 7–9].

В этой связи нами предложена возможность получения ванадийсодержащих продуктов питания низкогликемического действия, в состав которых входят концентрат и паста из биологически модифицированных соевых семян.

Модификация осуществляется путем проращивания соевых семян в ванадиевосодержащей минерализованной среде. В процессе проращивания происходит аккумуляция ванадия эндопротеазами соевых семян и образование более безопасной и легкоусвояемой хелатной, биологически активной формы ванадия.

Содержание минеральных веществ определяли при проращивании семян до достижения оптимальных размеров роста. Сравнивали с контрольным образцом, которым являлся соево-минеральный концентрат из пророщенных в нейтральной водной среде соевых семян в аналогичных биотехнологических параметрах. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание макро-, микроэлементов в СМК, мг/100 г

Показатель	Контроль	СМК
Ca ²⁺	350	650
Mg ²⁺	280	550
K ¹⁺	1800	2600
Na ¹⁺	30	60
V ⁴⁺	0	20

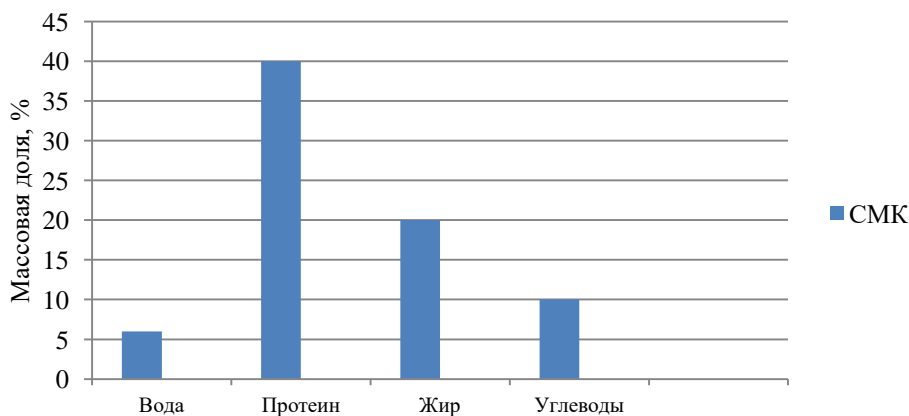
После математической обработки данных статистическими методами получены зависимости, характеризующие процесс аккумуляции макро- и микроэлементов (мг/100 г) от времени биомодификации семян сои (табл. 2).

Пророщенные семена сои в дальнейшем используются для получения СМК и СМП при соответствующих технологических режимах и параметрах. Химический состав СМК представлен на рисунке.

Таблица 2

Зависимости содержания основных макро- и микроэлементов, мг/100 г, от времени t проращивания семян сои

Элемент	Зависимости содержания макро- и микроэлементов от продолжительности проращивания	Зависимости продолжительности проращивания семян сои от требуемого содержания макро- и микроэлементов
Натрий	$Na^{1+} = 694,7 - 284,6 \cdot e^{-0,022 t}$	$t = 258,0 - 45,6 \ln (694,7 - Na)$
Калий	$K^{1+} = 2902,9 - 897,9 \cdot e^{-0,019 t}$	$t = 359,0 - 52,8 \ln (2902,9 - K)$
Магний	$Mg^{2+} = 29,9 - 9,9 \cdot e^{-0,011 t}$	$t = 203,8 - 88,7 \ln (29,9 - Mg)$
Ванадий	$V^{4+} = 8900,9 - 900,9 \cdot e^{-0,021 t}$	$t = 322,0 - 47,3 \ln (8900,9 - V)$
Кальций	$Ca^{2+} = 771,0 - 361,0 \cdot e^{-0,017 t}$	$t = 339,5 - 57,6 \ln (771,0 - Ca)$



Химический состав СМК

Заключение. Анализ приведенных исследований показывает, что в процессе биомодификации семян сои происходит аккумуляция хелатных ионов, содержание которых увеличивается в 1,5–2,0 раза. СМК и СМП будут являться основой рецептурного состава пищевых продуктов низкогликемического действия, разработки которых планируются в дальнейших исследованиях.

Список источников

1. *Negmatova G.S., Salimova D.E.* Features of the course of type 2 diabetes mellitus with arterial hypertension and ways of their correction // *Eurasian Medical Research Journal* 2023. № 17. P. 39–41.
2. *Abrarova D.N., Negmatova G.Sh., Togaeva G.S.* Clinical and functional status of patients with type 2 diabetes mellitus with autonomic neuropathy. // *American Journal of Academic Research*. Volume 2. (5). P. 409–415. 2022.
3. *Тарантин А.В., Землянова М.А.* Эссенциальная роль и токсические эффекты ванадия // *Экология человека*. 2015. № 12. С. 59–64.
4. *Golubev M.A.* The comparison study of vanadium-compounds with insulin-mimetic properties // *Вопросы медицинской химии*. 2000. Т. 46, вып. 2. С. 155–161.
5. Влияние соединений ванадия на нарушения углеводного и жирового обмена / *Ю.С. Сидорова [и др.]* // *Проблемы эндокринологии*. 2019. Т. 65, № 3. С. 184–190.
6. *Chanson P., Salenave S.* Diabetes insipidus and pregnancy // *Ann Endocrinol (Paris)*. 2016 Jun;77(2):135–8. DOI: 10.1016/j.ando.2016.04.005.
7. *Купчак Д.В., Любимова О.И.* Микроэлементы в производстве пищевых продуктов гипогликемического действия // *Вестник Хабаровского государственного университета экономики и права*. 2023. № 2 (112). С. 80–83.
8. *Любимова О.И., Любимова А.А.* Возможность и обоснование использования соединений ванадия в производстве функциональных пищевых продуктов гипогликемического действия // *Потребительский рынок XXI века: стратегии, технологии, инновации: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. (Хабаровск, 30 октября 2015 г.) / Хабаров. гос. ун-т экономики и права*. Хабаровск, 2015. С. 295–298.
9. *Любимова О.И.* Обоснование и разработка технологии комбинированных рыборастительных продуктов с добавлением биологически модифицированных соевых семян: дис.... канд. техн. наук: 05.18.07, 05.18. Владивосток, 2022. 167 с.

References

1. *Negmatova G.S., Salimova D.E.* Features of the course of type 2 diabetes mellitus with arterial hypertension and ways of their correction // *Eurasian Medical Research Journal* 2023. № 17. P. 39–41.
2. *Abrarova D.N., Negmatova G.Sh., Togaeva G.S.* Clinical and functional status of patients with type 2 diabetes mellitus with autonomic neuropathy. // *American Journal of Academic Research*. Volume 2. (5). P. 409–415. 2022.
3. *Tarantin A.V., Zemlyanova M.A.* `Essencial'naya rol' i toksicheskie `effekty vanadiya // `Ekologiya cheloveka. 2015. № 12. S. 59–64.
4. *Golubev M.A.* The comparison study of vanadium-compounds with insulin-mimetic properties // *Voprosy medicinskoj himii*. 2000. T. 46, vyp. 2. S. 155–161.
5. Vliyanie soedinenij vanadiya na narusheniya uglevodnogo i zhirovogo obmena / *Yu.S. Sidорова [i dr.]* // *Problemy `endokrinologii*. 2019. T. 65, № 3. S. 184–190.
6. *Chanson P., Salenave S.* Diabetes insipidus and pregnancy // *Ann Endocrinol (Paris)*. 2016 Jun;77(2):135–8. DOI: 10.1016/j.ando.2016.04.005.
7. *Kupchak D.V., Lyubimova O.I.* Mikro`elementy v proizvodstve pischevyh produktov gipoglikemicheskogo dejstviya // *Vestnik Habarovskogo gosudarstvennogo universiteta `ekonomiki i prava*. 2023. № 2 (112). S. 80–83.
8. *Lyubimova O.I., Lyubimova A.A.* Vozmozhnost' i obosnovanie ispol'zovaniya soedinenij vanadiya v proizvodstve funkcional'nyh pischevyh produktov gipoglikemicheskogo dejstviya // *Potrebitel'skij rynok XXI veka: strategii, tehnologii, innovacii: mat-ly mezhdunar. nauch.-*

- prakt. konf. (Khabarovsk, 30 oktyabrya 2015 g.) / Habarov. gos. un-t `ekonomiki i prava. Habarovsk, 2015. S. 295–298.
9. *Lyubimova O.I.* Obosnovanie i razrabotka tehnologii kombinirovannyh ryborastitel'nyh produktov s dobavleniem biologicheski modifitsirovannyh soevykh semyan: dis.... kand. tehn. nauk: 05.18.07, 05.18. Vladivostok, 2022. 167 s.

Статья принята к публикации 26.01.2024 / The article accepted for publication 26.01.2024.

Информация об авторах:

Дарья Владимировна Купчак¹, заведующий кафедрой высшей школы управления природными ресурсами, кандидат технических наук, доцент

Ольга Ивановна Любимова², доцент кафедры высшей школы управления природными ресурсами, кандидат технических наук

Information about the authors:

Darya Vladimirovna Kupchak¹, Head of the Department of the Higher School of Natural Resources Management, Candidate of Technical Sciences, Docent

Olga Ivanovna Lyubimova², Associate Professor at the Department of Higher School of Natural Resources Management, Candidate of Technical Sciences

