

УДК 641:613.2
doi:10.18720/SPBPU/2/id24-454

*Бычкова Татьяна Сергеевна*¹,
зав. лаб. технологий функциональных продуктов,
канд. техн. наук, доцент;
*Карпов Валерий Иванович*²,
гл. науч. сотр., д-р. техн. наук, профессор

СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КУПАЖА ПРОТИВОЛУЧЕВОЙ ДОБАВКИ

¹ Россия, Москва, Всероссийский научно-исследовательский институт
молочной промышленности, t_bychkova@vnimi.org;

² Россия, Москва, Московский государственный университет технологий
и управления имени К.Г. Разумовского», vikarp@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается задача синтеза купажа противолучевой добавки: оптимизации ингредиентного состава противолучевой добавки при заданном эталонном составе купажа. Такая добавка может быть использована в технологии молочной продукции, как фактор повышения стрессоустойчивости организма человека. Проведена математическая постановка задачи, разработан алгоритм и программа ее решения. В качестве критерия оптимальности использовалась разница двух векторов: нормированного вектора эталона купажа и нормированного вектора искомого купажа.

В оптимальном решении эта разница минимальна. Искомый состав купажа ищется с точностью до одного процента (ищутся целочисленные значения элементов купажа). Приводится пример решения задачи.

Ключевые слова: купаж, нутриенты, ингредиенты, радиопротекторы, антиоксиданты, критерий оптимальности, эталон купажа, показатели качества.

Tatyana S. Bychkova¹,

Head of the Laboratory, Candidate of Technical Sciences;

Valerij I. Karpov²,

Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences

SYSTEM DESIGN OF THE ANTI-RADIATION ADDITIVE BLEND

¹ All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia,
t_bychkova@vnimi.org;

² K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and
Management, Moscow, Russia, vikarp@mail.ru

Abstract. The paper considers the problem of synthesis of a blend of an anti-radiation additive: optimization of the ingredient composition of an anti-radiation additive with a given reference composition of the blend. Such an additive can be used in the technology of dairy products as a factor in increasing the stress resistance of the human body. The mathematical formulation of the problem was carried out, an algorithm and a program for its solution were developed. The difference of two vectors was used as an optimality criterion: the normalized vector of the blend standard and the normalized vector of the desired blend. In an optimal solution, this difference is minimal. The desired composition of the blend is searched for with an accuracy of one percent (integer values of the elements of the blend are searched). An example of solving the problem is given.

Keywords: blend, nutrients, ingredients, radioprotectors, antioxidants, optimality criterion, blend standard, quality indicators.

Введение

На сегодня человек находится в условиях неблагоприятного воздействия окружающей среды, что вызывает нарушение работы собственной антиоксидантной системы организма.

Одним из подобных воздействий является ионизирующее излучение, которое присутствует в жизни человека ежедневно, как естественный фактор, и вынужденно, в связи с необходимостью проходить ряд медицинских обследований и курсов лечения. Целью настоящей работы является разработка противолучевой пищевой добавки, повышающей радиорезистентность организма человека. На рисунке 1 представлена структурно-функциональная модель процесса создания противолучевой пищевой добавки. Рассмотрим этапы выполнения этого процесса.

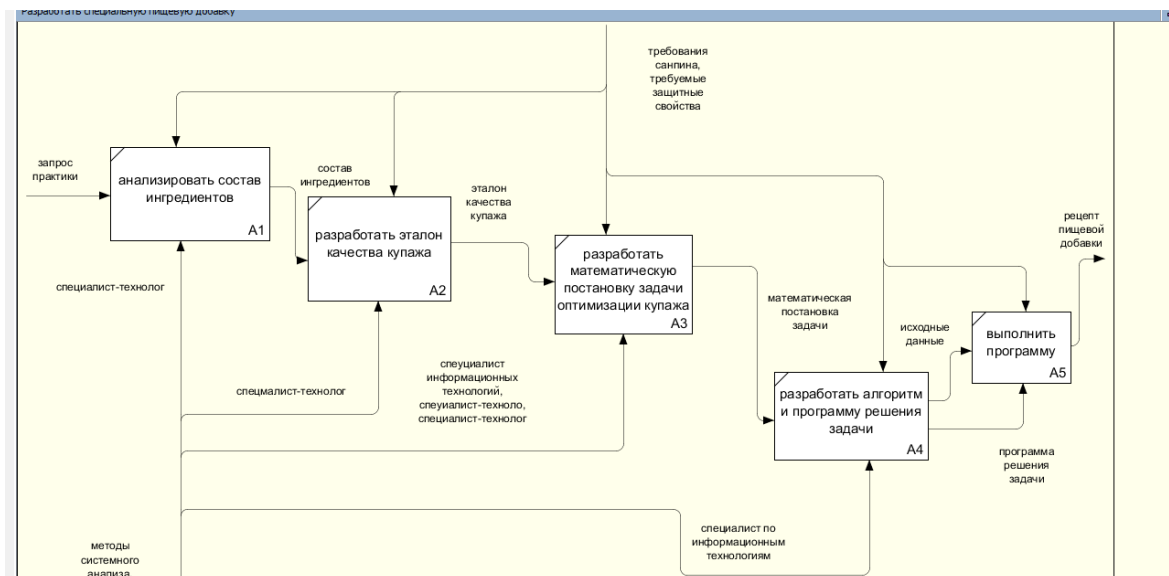


Рис. 1. Структурно-функциональная модель процесса создания противолучевой пищевой добавки

Этап 1. Анализировать состав ингредиентов. Блок A1

При повреждающих воздействиях ионизирующего излучения включаются механизмы, которые способны обратить отрицательные реакции. При воздействии ионизирующего излучения нарушается окислительно-восстановительный гомеостаз и включается собственная антиоксидантная система. Нативные антиоксиданты (примером может служить глутатион восстановленный) тормозят перекисное окисление липидов, в отличие от прооксидантов (пример – глутатион окисленный), которые, наоборот, вызывают усиление этого процесса. Неизбежно организм сталкивается с окислительным стрессом, маркерами которого выступают количественные показатели в крови малонового диальдегида (МДА) и глутатионредуктазы (ГР)

При воздействии ионизирующего излучения происходит разрыв двойных связей полиненасыщенных жирных кислот с образованием промежуточного продукта эндоперекиси жирной кислоты. Данный процесс регулируется восстановленным глутатионом. При нарушении соотношения восстановленного и окисленного глутатиона в пользу последнего, происходит увеличение количества малонового диальдегида, как конечного продукта перекисного окисления липидов.

Ранее была дана оценка повреждающих воздействий ионизирующего излучения, обосновано использование сырья растительного происхождения, как фактора восстановления антиоксидантного статуса организма при окислительном стрессе. Отмечено, что противолучевой эффект может быть достигнут при комплексном анализе радиозащитных, иммуностимулирующих и адаптогенных свойств компонентов добавки.

Человек может быть защищен от радиации с помощью различных биологических методов, таких как антиоксидантная терапия,

иммунотерапия и укрепление общего здоровья. Эти биологические методы радиационной защиты могут помочь уменьшить воздействие радиации на организм и улучшить его способность регенерировать и восстанавливаться после воздействия. Однако, всегда важно соблюдать безопасные нормы, связанные с радиацией, и следовать рекомендациям специалистов.

Одной из адаптационных мер против ионизирующего излучения является питание, целью которого помимо удовлетворения потребности в пище, служить антиоксидантное действие, которое, возможно, также обладает и радиопротекторным [1].

В настоящее время создание новых технологий продуктов с ингредиентами, направленными против ионизирующего действия радиации, гарантирующими качество и радиопротекторные свойства продуктов, предназначенных для здорового питания населения, остается перспективным направлением.

Одним из возможных принципов поддержания стабильности организма в условиях ионизирующего излучения является включение в рацион радиопротекторов, классификация которых представлена на рисунке 2.

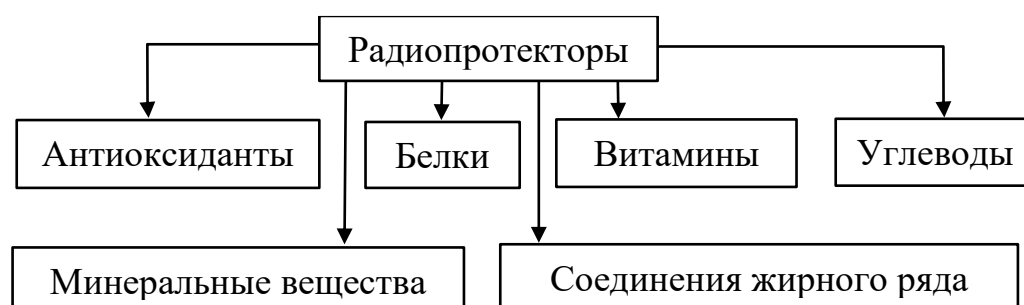


Рис. 2. Классификация радиопротекторов

По результатам ряда исследований существенным фактором стабилизации антиоксидантной системы организма является дополнительное введение антиоксидантных компонентов с пищей

Результаты исследований в области радиологической защиты доказывают, что при облучении биологических объектов (дозе 7 Гр) количество ГР в крови животных, получающих дополнительные антиоксиданты на 60 % выше относительно контрольной группы. При этом наблюдается стабилизация уровня восстановленного глутатиона во времени. Параллельно показатели МДА в крови животных контрольной группы после облучения на 200 % выше относительно опытной. Выживаемость особей на 30 сутки в группе с применением в рационе антиоксиданта превысил данный показатель для группы сравнения в 2 раза [2]. Это свидетельствует о том, что введение в рацион дополнительных антиоксидантов существенно повышает радиорезистентность организма.

Объектами исследования выступали ингредиенты растительного происхождения, а именно мука из семян рапса (ООО «Специалист», СТО 33974444-011-2019) и шрота подсолнечника (ООО «АгроПетро»,

ТУ 10.41.41-229-37676459-2018), как источники природных антиоксидантов, композиционный состав растительного сырья, готовая противолучевая добавка.

Для моделирования композиционного состава противолучевой добавки были использованы мука из семян расторопши (ООО «Специалист», СТО 33974444-011-2019) и шрота подсолнечника (ООО «Агро-Петро», ТУ 10.41.41-229-37676459-2018), как источники природных антиоксидантов. Аналитическая оценка показателей биологической ценности рассматриваемого растительного сырья подтверждает возможность его применения при создании сложносоставных молочных продуктов для включения в рацион людей, подвергшихся окислительному стрессу вследствие ионизирующего излучения. При этом собственная антиоксидантная система организма способна ингибировать повреждающие воздействия, ликвидируя свободные радикалы за счет восстановленного глутатиона. Одним из способов сохранить количество глутатиона на постоянном уровне является применение дополнительных антиоксидантов в питании. А также, для поддержания врожденной антиоксидантной защиты организма необходимо обеспечивать рацион адаптогенами. В исследованиях института при подборе адаптогенов основным фактором была их способность к адаптации антиоксидантной системы организма при вредных внешних воздействиях. В качестве адаптогенов предполагается совместное использование оротата калия – источника оротовой кислоты и рибоксина. Помимо способности усиливать анаболические процессы, восстанавливающие повреждения ДНК, они способны повышать эффективность антиоксидантной системы клеток.

Этап 2. Разработать эталон качества купажа. Блок А2

Эталон противолучевой добавки должен обеспечивать поступление в организм всех биологически активных веществ, способствующих поддержанию и стабилизации антиоксидантного статуса организма человека.

Принципиально важным является содержание нутриентов, позволяющих стабилизировать антиоксидантный статус организма. Методическими рекомендациями [6] установлены уровни потребления биологически активных веществ. Из наиболее значимых следует выделить такие аминокислоты, как глутаминовая, аспарагиновая кислоты, метионин, цистеин, глицин, витамины, особенно группы В, а также, в части адаптогенов, оротовая кислота и рибоксин.

При этом наличие аминокислот и витаминов является обязательным условием, при количественном содержании в продукте, в который внесена добавка, не менее 1 % от суточной потребности. Что касается адаптогенов, то максимальная суточная доза рибоксина при приеме внутрь составляет 0,6–2,4 г/сут. С целью максимального эффекта в первый период постлучевого восстановления рекомендуется применять не менее 1,2 г/сут.

Суточная норма потребления оротовой кислоты составляет не менее 0,6 г/сут, что соответствует 0,8 г оротата калия.

При условии нормы суточного потребления кисломолочного продукта массой 200 г, оптимальная концентрация рибоксина в его рецептуре не менее 0,6 %, а концентрация оротата калия не должна превышать 0,4 %. При установлении требований учитывали, что содержание добавки в готовом продукте может быть в пределах от 1 до 7 % от массы рецептурной смеси с интервалом 2 %. Пределы соотношений компонентов противолучевой добавки (в расчете на 100 %), представлены в таблице 1. Требования к эталону купажа представлены в таблице 2.

Достижение максимально приближенных значений заданных параметров позволяет получить композицию противолучевой добавки, способную формировать и поддерживать антиоксидантный статус организма в условиях оксидативного стресса.

Таблица 1

Требования к соотношению компонентов (в расчете на 100 %)

Компоненты противолучевой добавки	Требования к содержанию компонента, %	
	$minin(i)$	$maxin(i)$
Мука из семян расторопши	10	80
Мука из шрота подсолнечника	10	60
Оротат калия	5	20
Рибоксин	5	30

Таблица 2

Требования к составу эталона купажа противолучевой добавки

Наименование нутриента	Эталонное содержание в 100 г добавки $etalon(j)$, мг
Глутаминовая кислота	3700
Аспарагиновая кислота	1700
Цистин	400
Метионин	400
Глицин	1000
Витамин Е	1
Витамин В1	1,4
Витамин В2	0,4
Витамин В6	0,4
Витамин В13	10000
Рибоксин	20000

Этап 3. Разработать математическую постановку задачи. **Блок А3**

Математическая постановка задачи составления оптимальной рецептуры противолучевой добавки.

Дано:

Вектор эталона качества продукта:

$$etalon = \langle etalon(j) \rangle, j = \overline{1, M}, \quad (1)$$

где $etalon(j)$ – показатель качества j эталонного купажа добавки, $etalon(1)$ – содержание глутаминовой кислоты (г в 100 г продукта), $etalon(2)$ – содержание аспарагиновой кислоты (г в 100 г продукта), $etalon(3)$ – содержание цистина (г в 100 г продукта), $etalon(4)$ – содержание метионина (г в 100 г продукта), $etalon(5)$ – содержание глицина (г в 100 г продукта), $etalon(6)$ – содержание витамина Е (мг в 100 г продукта), $etalon(7)$ – содержание витамина В₁ (мг в 100 г продукта), $etalon(8)$ – содержание витамина В₂ (мг в 100 г продукта), $etalon(9)$ – содержание витамина В₆ (мг в 100 г продукта), $etalon(10)$ – содержание оротовой кислоты (г в 100 г продукта), $etalon(11)$ – содержание рибоксина (г в 100 г продукта).

Набор ингредиентов:

$$Ingr(i) = \langle ingr(i, j) \rangle, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}, \quad (2)$$

где, $ingr(i, j)$ – показатель качества j ингредиента i . Набор показателей качества ингредиентов совпадает с показателями качества эталона.

Определить:

Вектор

$$X = \langle x(i) \rangle, i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где $x(i)$ – доля i -го ингредиента в купаже рецептуры, в процентах, причем значения этих долей могут принимать только из множества 0, 1, 2, 3. Таким образом решение ищется с точность до одного процента.

Значения элементов купажа определяются по формуле (4):

$$qip(j) = \sum_{i=1}^N ingr(i, j) * x(i) \quad (4)$$

Дополнительные ограничения:

$$x(2) = 1,5 * x(1), \text{ т. е. } x(2):x(1) = 3:2. \quad (5)$$

Это ограничение означает, что соотношение между второй и первой компонентой должно быть 3:2. Обоснование такого ограничения представлено далее по тексту.

$$qip(10) \geq etalon(10). \quad (6)$$

$$qip(11) \geq etalon(11). \quad (7)$$

Эти два ограничения обеспечивают в любом решении содержание оротовой кислоты и рибоксина в купаже не меньше, чем задано в эталоне. Дело в том, что задание таких ограничений для всех ингредиентов сильно ограничивает пространство допустимых решений. В результате решения

не существует. Поэтому эти ограничения представлены только для двух, самых «важных» ингредиентов.

Допустимое решение.

Допустимым решением будем называть такой k – тый вариант вектора, для которого справедливо:

$$\sum_{i=1}^N x(k, i) = 100 \quad (8)$$

$$\forall k \forall i \min(i) \leq x(k, i) \leq \max(i), \quad (9)$$

где $\min(i)$, $\max(i)$ – соответственно минимально и максимально допустимое количество ингредиента в купаже (задается технологом).

Критерий оптимальности.

Оценивает нормированную разницу между эталоном и купажем:

$$Q = \sqrt{\sum_{j=1}^M (etalon(j) - qup(j))^2 / etalon(j)^2}. \quad (10)$$

Оптимальное решение.

Оптимальным решением 1 будем называть такой допустимый вектор $X(k)$, который минимизирует Q :

$$Q = \min Q(k, X(k)). \quad (11)$$

Обоснование ограничения (5).

Композиционный состав, позволяющий обеспечить противолучевой эффект разрабатываемой добавки, напрямую зависит от комплексного показателя прогнозируемой антиоксидантной активности и нутриентного состава используемых ингредиентов. Результаты оценки антиоксидантной активности, эквивалентной галловой кислоте, представлены на рисунке 3.

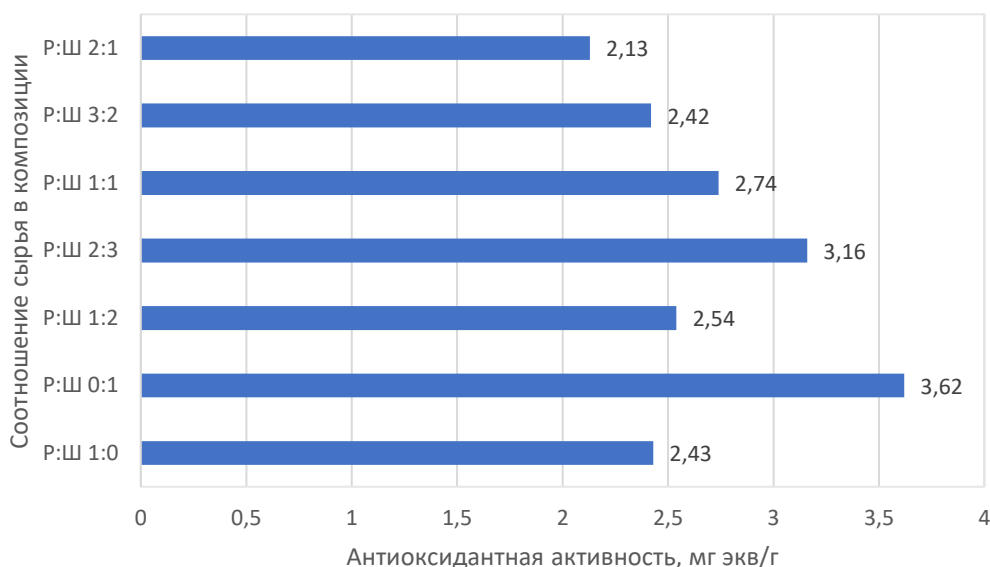


Рис. 3. Зависимость антиоксидантной активности от соотношения растительного сырья в композиции

Несмотря на снижение показателя АОА при комплексном использовании муки из расторопши и шрота относительно самостоятельного применения шрота на 13 %, стоит обратить внимание на высокое содержание витамина Е в муке из семян расторопши, который принимает непосредственное участие в восстановлении антиоксидантного статуса живого организма [5]. Исходя из рисунка 2 можно сделать заключение, что оптимальной композицией растительного сырья является соотношение расторопша-шрот 2:3, позволяющее повысить показатель антиоксидантной активности на более, чем на 15 %, и обеспечить при этом биологически ценный аминокислотный состав разрабатываемой добавки.

Достижение максимально приближенных значений заданных параметров позволяет получить композицию противолучевой добавки, способную формировать и поддерживать антиоксидантный статус организма в условиях оксидативного стресса.

Этапы 4 и 5. Разработать алгоритм и программу решения задачи. Выполнить программу. Блоки А4 и А5

Поставленная задача по своему классу относится к нелинейным задачам целочисленного математического программирования. В МГУТУ имени К. Г. Разумовского разработаны технология и алгоритмы решения подобного класса задач [3, 4]. В настоящей работе в соответствии с такой технологией разработана программа решения поставленной задачи на языке C++Builder. Интерфейс этой программы представлен на рисунке 4.

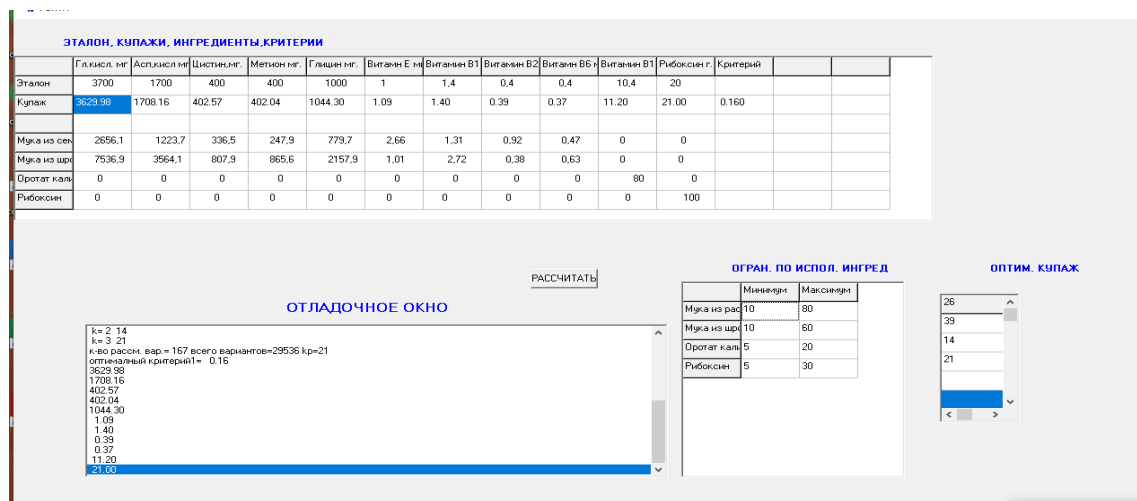


Рис. 4. Интерфейс программы решения поставленной задачи

На рисунке 4 исходные данные (эталон купажа, состав ингредиентов) представлены в таблице «Эталон, купажи, ингредиенты, критерии» и заложены в шаблоне программы. Но эти данные могут изменяться до запуска основной части программы, запускаемой клавишей «РАСЧЕТ». Аналогично для данных таблицы «Огран. по использованию ингредиентов». После нажатия кнопки «РАСЧЕТ» автоматически заполняется строка

«КУПАЖ» и данные таблицы «Оптим. купаж. Появляется также значение критерия оптимизации (столбец «Критерий»). Данные отладочного окна используются для проверки правильности работы программы при отладке

Интерпретация полученного решения

Результат решения поставленной задачи разработанной программы представлен в таблице 3.

Таблица 3

Результат решения задачи оптимизации противолучевой добавки

Компоненты противолучевой добавки	Содержание ингредиента, %
Мука из семян расторопши	26
Мука из шрота подсолнечника	39
Оротат калия	14
Рибоксин	21

Исходя из полученного эталона противолучевой добавки в результате оптимизации ее компонентного состава получено решение с критерием оптимальности 0,160, что означает высокий уровень приближения к эталону (минимально возможное значение равно 0). Степень достижения результата оптимизации противолучевой добавки представлен в таблице 4.

Таблица 4

Степень достижения результата оптимизации купажа противолучевой добавки

Наименование нутриента	Эталонное содержание в 100 г добавки <i>etalon(j)</i> , мг	Содержание в 100 г добавки, мг	Степень достижения критерия, %
Глутаминовая кислота	3700	3629,98	98,1
Аспарагиновая кислота	1700	1708,16	100,5
Цистин	400	402,57	100,6
Метионин	400	402,04	100,5
Глицин	1000	1044,30	104,4
Витамин Е	1	1,09	109
Витамин В1	1,4	1,4	100
Витамин В2	0,4	0,39	97,5
Витамин В6	0,4	0,37	92,5
Витамин В13	10000	11200	112
Рибоксин	20000	21000	105

Заключение

Проведен анализ факторов поддержания антиоксидантного статуса организма человека в условиях ионизирующего излучения. Установлено, что для стабилизации антиоксидантной защиты помимо введения в рацион дополнительных антиоксидантов необходимо поддерживать уровень

адаптогенов, позволяющих восстанавливать систему в условиях оксидативного стресса.

Обоснован нутриентный состав и композиционное соотношение компонентов противолучевой добавки, рекомендованной к применению в пищевых системах на молочной основе и позволяющей повысить радиорезистентность организма посредством восстановления нативной антиоксидантной системы, обогащая продукт антиоксидантами растительного происхождения, а также неферментными адаптогенами для стимуляции восстановления глутатиона и экономии его расходования.

Разработана программа проектирования многокомпонентного состава пищевых систем, позволяющая в рамках принятых ограничений по содержанию основных нутриентов и соотношению ингредиентов в составе смеси получить рациональное решение согласно заданному эталону. В интерфейсе разработанной программы также выводятся данные по соотношению вносимых ингредиентов, учитывающих заданные параметры.

Таким образом, использование программы оптимизации компонентного состава может позволить при проектировании пищевых систем более комплексно и обосновано подходить к созданию новых видов пищевых продуктов.

Список литературы

1. Донская Г. А. Средства биологической защиты, повышающие резистентность к радиации // Молочная промышленность: научный журнал / Кемерово. Кемеровский государственный университет. – М., 2023. – № 6. – С.84–87.
2. Сафонова В. Ю. О влиянии фитопрепаратов на радиорезистентность организма [Электронный ресурс] // Вестник оренбургского государственного университета. – 2005. – № 4(42). – С. 92–96. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11664206> (дата обращения: 13.03.2024).
3. Зверев С. В., Карпов В. И., Никитина М. А. Гармонизация пищевых композиций по профилю идеального белка // Пищевые системы. – 2021. – Т. 4, № 1. – С. 4–11.
4. Васюкова А. Т., Славянский А. А., Карпов В. И., Мошкин А. В., Строкова А. С., Мячикова Н. И. Оптимизация вида и концентрации солода в хлебобулочных изделиях // В книге: Инновации в науках о жизни. Сборник материалов III международного симпозиума. – Белгород, 2021. – С. 304–306.
5. Донская Г. А., Креккер Л. Г., Дрожжин В. М. Исследование радиопротекторного потенциала шрота подсолнечника как ингредиента молочного продукта // Переработка молока. – 2023. – № 11(289). – С. 44–49.
6. МР 23.1.1915–04. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гос-санэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 46 с.