

Н. Я. Дыкало [N. Y. Dykalo]¹
 С. В. Анисимов [S. V. Anisimov]¹
 А. Д. Лодыгин [A. D. Lodygin]²
 Л. Я. Климов [L. Y. Klimov]³
 И. А. Евдокимов [I. I. Evdokimov]²
 Г. С. Анисимов [G. S. Anisimov]²
 С. С. Школа [S. S. Shkola]²
 Е. В. Печенкин [E. V. Pechenkin]³
 А. Г. Храпцов [A. G. Khramtsov]²

УДК: 637.045:
 637.051

**ПАРАДИГМА СБАЛАНСИРОВАННОСТИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ.
 СООБЩЕНИЕ ПЕРВОЕ. КРИТЕРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
 THE PARADIGM OF FOOD SYSTEMS BALANCENESS. PAPER 1.
 MODELLING CRITERIA**

¹ Молочный комбинат «Ставропольский» / Dairy Plant "Stavropolskij"

² Северо-Кавказский федеральный университет / North Caucasus Federal University

³ Ставропольский государственный медицинский университет / Stavropol State Medical University

Аннотация. Сбалансированное питание – это поддержание в рационе определенных пропорций между потребляемыми пищевыми веществами, что обусловлено особенностями внутриклеточного обмена.

Материалы и методы, результаты и обсуждения. Рассмотрены современные аспекты использования концепции сбалансированного питания. Цель исследований – разработка методики определения показателей сбалансированности казеина, сывороточных белков и их композиций.

Обоснована методика расчета параметров сбалансированности пищевых продуктов. Показано, что переход от абсолютных значений концентраций отдельных компонентов к компонентным отношениям позволяет рационализировать оценку сбалансированности пищевых продуктов. Дана характеристика аминокислотного состава и показателей биологической ценности казеина и сывороточных белков в сравнении с «идеальным белком».

Представлены результаты расчетов сбалансированности казеина, сывороточных белков и их композиций.

Заключение. Сделан вывод о возможности повышения физиологической и биологической ценности пищевых продуктов за счет более рационального использования сырьевых ресурсов.

Ключевые слова: сбалансированное питание, критерий сбалансированности, незаменимые аминокислоты, казеин, сывороточные белки.

Abstract. A balanced diet is the maintenance of certain proportions in the diet between the consumed food substances, which is due to the peculiarities of intracellular metabolism.

Materials and methods, results and discussions. Modern aspects of using the concept of a balanced diet are considered. The aim of the research is to develop a method for determining the balance of casein, whey proteins and their compositions.

The method of calculating the parameters of food balance is justified. It is shown that the transition from absolute values of the concentrations of individual components to component ratios allows us to rationalize the assessment of food balance. The characteristic of the amino acid composition and indicators of the biological value of casein and whey proteins in comparison with the "ideal protein" is given.

The results of calculations of the balance of casein, whey proteins and their compositions are presented.

Conclusion. It is concluded that it is possible to increase the physiological and biological value of food products by more rational use of raw materials.

Key words: balanced diet, balanceness criteria, essential amino acids, casein, whey proteins.

Введение / Introduction. Концепция сбалансированного питания, разработанная академиком А. А. Покровским, основывается на идее поддержания в рационе питания определенных пропорций между потребляемыми пищевыми веществами. Эти пропорции обусловлены, в конечном счете, особенностями внутриклеточного обмена [4]. Длительные отклонения в рационе от адекватных для физиологии человека соотношений между жизненно важными пищевыми нутриентами могут привести к перенапряжению работы его ферментных систем и,

как следствие, появлению хронических заболеваний алиментарного характера. Отметим, что нормы потребления тех или иных пищевых веществ и оптимальные соотношения между их количествами определяются в специальных балансовых экспериментах, проводимых на больших популяциях людей.

В последние годы, по мере совершенствования аналитической инструментальной базы, в перечень необходимых для жизнедеятельности человека пищевых нутриентов вовлекаются все новые и новые вещества: флавоноиды; индолы; экзогенные пептиды; органические кислоты; ферментные соединения и др. В настоящее время определены нормы потребления для более чем 500 веществ [3, 5, 8]. Все эти вещества содержатся в различных видах сырья растительного и животного происхождения. Глубокая переработка сырья с помощью современных высокопроизводительных технологий позволила наполнить рынок продуктами питания в широчайшем ассортименте. В этих условиях немислимой кажется возможность появления системного дефицита по одному или нескольким пищевым компонентам в рационах массового потребления. Однако такой дисбаланс в питании наблюдается во всем мире.

Одна из основных причин нарастания дефицитных тенденций в питании современного человека связана с быстрым ростом населения планеты в последние десятилетия. Обусловленная этим интенсификация земледелия приводит к истощению почв и соответствующему обеднению растениеводческой и, связанной с ней, животноводческой продукции микроэлементами и веществами с высокой биологической ценностью [6].

Одним из факторов, существенно затрудняющих практическое использование принципов теории сбалансированного питания, является отсутствие четкого понимания термина «сбалансированность». Понимая под сбалансированностью меру близости состава исследуемого продукта к эталонному составу, мы, в то же время, не имеем однозначного формульного выражения для этого параметра. Существуют различные аналитические выражения для определения меры сходства совокупности численных значений группы выделенных факторов для одного или нескольких продуктов к сопряженной совокупности значений этих факторов, присущих «идеальному» продукту. Основная трудность использования этих выражений заключается в том, что при переходе от одного аналитического выражения к другому, рассчитанные по ним значения меры сходства не совпадают друг с другом. Другой недостаток формульных выражений [2] заключается в неоднозначности верхней и нижней границы значений меры сходства, определенных по каждому из них, что препятствует использованию, хотя бы одного из них в качестве универсального критерия.

Материалы и методы / Materials and methods. Построение критерия сбалансированности пищевых продуктов с массовой долей выделенных компонентов $\{A_i\}$, при наличии их сопряженных значений в «идеальном» продукте $\{S_i\}$ можно начать следующим образом. Перейдем от абсолютных значений A_i и S_i к компонентным отношениям a_i и s_i

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

$$s_i = \frac{S_i}{\sum S_i} \quad (2)$$

Ясно, что a_i определяют пропорции между выделенными компонентами в исследуемом продукте, а s_i - их эталонные значения. Меру сходства M между совокупностями чисел $\{a_i\}$ и $\{s_i\}$ определяем через сумму квадратичных отклонений под радикалом.

$$M = \sqrt{\sum (a_i - s_i)^2} \quad (3)$$

Так как из формул (1) и (2) следует, что

$$0 < a_i < 1, 0 < s_i < 1, \quad (4)$$

то мера сходства M , выражаемая формулой (3), обладает свойством критериальности: сходство максимально при $M=0$ ($a_i \equiv s_i$) и минимально $M=1$ ($a_i \equiv 0$).

Определим параметр «сбалансированность» Y посредством формулы

$$Y = 1 - M = 1 - \sqrt{\sum (a_i - s_i)^2} \quad (5)$$

или

$$Y = [1 - \sqrt{\sum (a_i - s_i)^2}] \cdot 100\% \quad (6)$$

Y обладает критериальностью: сбалансированность продукта по отношению к эталонным пропорциям $\{S_i\}$ максимальна и достигает, либо 1 ($a_i \equiv s_i$), при использовании формулы (5), либо 100%, при использовании формулы (6). Она же достигает минимального нулевого значения, когда в продукте отсутствуют все, выделенные для сравнения с эталоном, вещества ($a_i \equiv 0$).

Промежуточные значения Y будут определять степень близости компонентного состава исследуемого продукта, взятого в формуле компонентных отношений, к “идеальному” продукту. Важно отметить, что переход от массовых долей компонентов к их отношениям соответствует понятийному смыслу сбалансированности продукта. Действительно, пусть пищевой продукт со сбалансированностью Y по выделенным компонентам используется в рационе в некотором количестве. Если разбавить этот продукт чистой водой, то его сбалансированность, определяемая по формуле (5), не изменится, однако количество в рационе должно увеличиться пропорционально кратности разбавления, что соответствует здравому смыслу. Так, если бы при разбавлении сбалансированность продукта изменялась, то норму потребления этого продукта пришлось бы увеличить по более сложному закону.

Аналитические выражения (5) и (6) для расчета сбалансированности пищевых продуктов носят универсальный характер. Компонентные отношения a_i и их эталонные аналоги s_i рассматриваются, в общем случае, как две совокупности чисел, мера близости между которыми и определяется численными значениями Y . Вместе с тем, существует одна важная особенность, свойственная пищевым продуктам, которая вносит некоторую неопределенность при расчетах их сбалансированности. Эта особенность заключается в следующем. Считается, что эталонные отношения s_i соответствуют оптимальным пропорциям между выделенными компонентами, обеспечивающими 100%-ю утилизацию этих компонентов человеческим организмом [9]. Возникает естественный вопрос: как будут ассимилироваться организмом эти компоненты, при выраженном отклонении соотношений между ними от оптимальных пропорций, задаваемых эталоном?

Результаты и обсуждение / Results and discussion. Возможны два крайних варианта ответа на этот вопрос.

Согласно первому – ассимиляция организмом выделенных для рассмотрения пищевых веществ, даже, несмотря на их явный дисбаланс в потребляемом продукте, будет равна 100%. Вполне возможно, что именно для этих веществ в организме имеется система депо, призванная нивелировать их возможный дефицит в неблагоприятные периоды.

Согласно второму варианту, утилизация пищевых веществ организмом осуществляется лишь частично, причем таким образом, чтобы пропорции между утилизированными частями компонентов в точности совпадали с оптимальными пропорциями между ними, задаваемыми эталоном [9]. Показательным примером такого механизма ассимиляции пищевых веществ человеческим организмом может служить утилизация незаменимых аминокислот. При их дисбалансе в потребляемом продукте полностью ассимилируется только наиболее дефицитная из них. Степень утилизации остальных аминокислот определяется через минимальный скор по формуле [7].

$$u_i = \frac{AC_{min}}{AC_i} \quad (7)$$

где u_i – показатель утилитарности для i -ой аминокислоты, доля единицы; AC_i – аминокислотный скор i -ой незаменимой аминокислоты, %; AC_{min} – минимальное значение аминокислотного сора, присущее наиболее дефицитной незаменимой аминокислоте, %.

Особый механизм утилизации незаменимых аминокислот, определяет своеобразие расчета сбалансированности и биологической ценности белковой компоненты потребляемого продукта. Эти параметры, по мнению авторов, численно равны степени утилизации незаменимых аминокислот

$$Y = \frac{\sum A_i u_i}{\sum A_i} = \frac{\sum S_i}{\sum A_i} AC_{min} = N \cdot AC_{min} \quad (8)$$

где A_i – массовая доля i – ой незаменимой аминокислоты, г в 100 г белка;

u_i – показатель утилитарности, рассчитанный по формуле (7);

N – поправочный коэффициент, учитывающий разницу между концентрациями незаменимых аминокислот в исследуемом белке и эталоне.

Перейдем от аминокислотных скоров к компонентным отношениям, которые в качестве математического объекта обладают большей степенью общности. Тогда, в случае реализации второго варианта ассимиляции организмом пищевых веществ формула (8) естественным образом трансформируется в следующее выражение:

$$Y = \frac{\sum S_i}{\sum A_i} \cdot \left(\frac{A_i}{S_i}\right)_{min} \cdot 100\% = \left(\frac{a_i}{s_i}\right)_{min} \cdot 100\% \quad (9)$$

В долях единицы

$$Y = \left(\frac{a_i}{s_i}\right)_{min} = \sigma_{min} \quad (10)$$

$\sigma_i = a_i/s_i$ – параметр сравнения для i – ТОГО компонента, дол.ед.; σ_{min} – минимальное значение параметра сравнения.

Значения показателей утилитарности, определяемые по формуле (7) в новых обозначениях примут вид:

$$u_i = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_i} \quad (11)$$

Покажем, что формула (10), выведенная для определения сбалансированности по второму варианту ассимиляции, эквивалентна формуле (5), при условии, что вместо формального использования в ней массовых долей компонентов, взятых в виде их компонентных отношений, будут учитываться только реально утилизируемые организмом доли этих компонентов. Иными словами вместо a_i в формуле (5), выведенной для расчета сбалансированности по первому варианту, необходимо использовать a_i и u_i (для второго варианта). Действительно, согласно утверждению должно выполняться тождество

$$1 - \sqrt{\sum (a_i u_i - s_i)^2} = \sigma_{min} \quad (12)$$

Подставим в (12) выражение для u_i из (11) и проведем ряд преобразований:

$$\sum \left(a_i \cdot \frac{\sigma_{min}}{\sigma_i} - s_i \right)^2 = (\sigma_{min} - 1)^2 \quad (13)$$

Так как $\sigma_i = \frac{a_i}{s_i}$, то левая часть (13):

$$\sum \left(a_i \frac{\sigma_{min}}{\sigma_i} - s_i \right)^2 = \sum (s_i \cdot \sigma_{min} - s_i)^2 = (\sigma_{min} - 1)^2 \cdot (\sum s_i)^2 \quad (14)$$

Но

$$(\sum s_i)^2 = \left[\sum \left(\frac{s_i}{\sum s_i} \right) \right]^2 = \left(\frac{\sum s_i}{\sum s_i} \right)^2 = 1^2 = 1 \quad (15)$$

откуда,

$$(\sigma_{min} - 1)^2 \cdot (\sum s_i)^2 = (\sigma_{min} - 1)^2 \quad (16)$$

Правая и левая части (13) равны, следовательно, тождество (12) верно.

Доказанная тождественность формул (5) и (10) указывает на возможность двоякого подхода к определению сбалансированности пищевых продуктов. Можно чисто формальным образом определить значение этого параметра по установленным аналитически компонентным отношениям a_i и их эталонным аналогам s_i . В этом случае предполагается, что в реальном продукте все выделенные для рассмотрения компоненты будут усваиваться, по крайней мере, также как и в «идеальном» продукте. При втором подходе учитывается то обстоятельство, что при отклонении пропорций между количеством компонентов в потребляемом продукте от эталонных отношений степень усвоения этих компонентов снижается и становится ниже условленных 100%, приписываемых эталону. В случае с незаменимыми аминокислотами известен четкий алгоритм их ассимиляции, поэтому достаточно легко определяются и соответствующие показатели утилитарности для условий дисбаланса.

В общем случае, определение степени утилитарности тех или иных пищевых веществ человеческим организмом, с учетом всего разнообразия условий приготовления пищи и самого процесса ее поглощения и усвоения, в настоящее время, попросту невозможен. Поэтому перечень и нормы потребления жизненно важных для человека веществ, приведенные в официальных источниках информации, имеют, в определенном смысле, условный характер. Например, в методических рекомендациях МР 2.3.1.1915-04 от 2004 г. прописаны верхние пределы потребления заявленных веществ, превышение которых, угрожает здоровью [5]. Значения этих пределов в 2–3 раза выше нормальных показателей, следовательно, допускаются колебания между количествами потребляемых веществ в очень широком диапазоне. В этом случае, использование понятия сбалансированности, как параметра, определяющего близость состава исследуемого продукта по выделенной группе компонентов к составу «идеального» продукта, теряет смысл. Необходима, следовательно, более четкая схема нормирования жизненно важных для человека пищевых веществ, включающая дополнительную информацию об оптимальных пропорциях между этими веществами и, по возможности, об особенностях их ассимиляции при отклонении от оптимальных отношений.

Пока еще слабая изученность механизмов ассимиляции человеческим организмом тех или иных пищевых веществ, особенно в их различных сочетаниях, не позволяет в полной мере использовать концепцию сбалансированного питания в практических целях. Тем не менее, разработка удобных для расчетов сбалансированности формализованных методов обеспечивает возможность получения адекватных оценок близости тех или иных пищевых продуктов по выделенным компонентам к «идеальному» продукту – необходимо лишь придерживаться одного из двух вариантов расчета.

Возможность быстрого получения адекватных оценок близости компонентного состава двух или нескольких пищевых продуктов к эталону открывает широкие перспективы для эффективного проектирования комбинированных продуктов питания. Концепция проектирования и создания пищевых композиций базируется на

идее комплексного использования двух или нескольких видов сырья, состав которого обеспечивает получение конечных продуктов питания с высоким уровнем сбалансированности по заявленным компонентам [10].

Покажем на примере бинарной пищевой системы, как может быть использован представленный в данной работе формализованный метод расчета сбалансированности для определения оптимального рецептурного соотношения между двумя видами пищевого сырья. Выберем первый вариант расчета. Пусть имеется основное сырье А с составом $\{A_i\}$, вспомогательное сырье В $\{B_i\}$ и «идеальный» продукт S $\{S_i\}$. Так как в рамках концепции сбалансированного питания определяющую роль играют не абсолютные значения массовых долей заявленных пищевых нутриентов, а пропорции между ними, целесообразно перейти к компонентным отношениям:

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i}, b_i = \frac{B_i}{\sum B_i}, s_i = \frac{S_i}{\sum S_i} \quad (17)$$

Композицию между сырьём А и сырьём В выразим с помощью композиционного коэффициента k , означающего, что композицию С получают путем прибавления к единичной массе сырья А k единичных масс сырья В. Компонентный состав полученной пищевой системы $\{C_i\}$ определяется очевидными соотношениями

$$C_i = \frac{A_i + kB_i}{1+k} \quad (18)$$

Очевидно также, что

$$c_i = \frac{C_i}{\sum C_i} = \frac{A_i + kB_i}{1+k} \cdot \frac{\sum A_i + k \sum B_i}{1+k} = \frac{A_i + kB_i}{\sum A_i + k \sum B_i} = \frac{a_i + kN b_i}{1+kN} \quad (19)$$

где

$$N = \frac{\sum B_i}{\sum A_i} \quad (20)$$

В соответствие с формулой (5) сбалансированность комбинированного продукта С:

$$Y = 1 - \sqrt{\sum (c_i - s_i)^2} = 1 - \sqrt{\sum \left(\frac{a_i + kN b_i}{1+kN} - s_i \right)^2} \quad (21)$$

При фиксированных значениях $\{a_i\}$; $\{b_i\}$ и $\{s_i\}$ величина Y зависит только от k . Дифференцируя Y по k и приравнявая первую производную к нулю, получим уравнение, решая которое определим значения композиционного коэффициента, соответствующего экстремальному значению Y .

$$\frac{dY}{dk} = \frac{d}{dk} \left[1 - \sqrt{\sum \left(\frac{a_i + kN b_i}{1+kN} - s_i \right)^2} \right] = 0 \quad (22)$$

Опуская промежуточные, громоздкие вычисления, получим:

$$k = \frac{1}{N} \cdot \frac{\sum (a_i - s_i)(a_i - b_i)}{\sum (b_i - s_i)(b_i - a_i)} \quad (23)$$

По смыслу $k \gg 0$. Отрицательные значения k , полученные по формуле (23) свидетельствуют о несовместимости, выбранных для проектирования композиции, видов сырья А и В. Так как в уравнении (22) не существует особых точек, то совместимость А и В можно определить по знаку первой производной в (22) в точке $k = 0$. Если она имеет положительное значение, то выбранные для композиции виды сырья совместимы. После соответствующих вычислений:

$$\left(\frac{dY}{dk} \right)_{k=0} = N \sum (a_i - s_i)(a_i - b_i) > 0 \quad (24)$$

Степень совместимости А и В тем выше, чем большего значения достигает правая часть в выражении (24). При высокой степени совместимости уже небольшая по массе часть сырья В, добавляемая к единичной массе сырья А, может резко улучшить сбалансированность получаемой композиции по заявленным компонентам. Это особенно важно для тех случаев, когда при хорошей совместимости по компонентному составу не наблюдается такой же совместимости, например, по органолептическим показателям.

Расчет сбалансированности бинарной пищевой системы по второму варианту осуществляется по следующей схеме. Пусть для основного сырья А наиболее дефицитный компонент имеет индекс m :

$$\frac{a_m}{s_m} = \sigma_{min} \quad (25)$$

Если компонентный состав сырья В удовлетворяет условию

$$\frac{b_m}{s_m} > \frac{a_m}{s_m}, \text{ или } \sigma_m^b > \sigma_m^a \quad (26)$$

то этот вид сырья совместим с основным сырьем А – его добавление к нему, в определенных количествах, будет повышать сбалансированность получаемой пищевой системы С по сравнению с σ_{min}^a . Вводя снова композиционный коэффициент k , определим параметр сравнения бинарной пищевой системы для индекса m :

$$\sigma_m^c = \frac{c_m}{s_m} = \frac{a_m + kN b_m}{s_m(1+kN)} = \frac{\sigma_m^a + kN \sigma_m^b}{1+kN} \quad (27)$$

Функция (27) монотонно возрастает с ростом k из-за условия (26). Однако, существует такое минимальное положительное значение k , при котором статус наиболее дефицитного компонента перейдет от индекса m к другому индексу, например, j . Очевидно, что параметр сравнения для компонента j , σ_j^c , в отличие от σ_m^c , будет снижаться с ростом k . При определенном значении k , σ_j^c сравняется с σ_m^c – дальнейшее повышение k приведет лишь к снижению сбалансированности системы, из-за очевидного

$$Y = \sigma_{min}^c = \sigma_j^c < \sigma_m^a \tag{28}$$

Условие равенства

$$\sigma_j^c = \sigma_m^c \tag{29}$$

достигаемое при минимальном положительном значении k , будет означать, что при таком рецептурном соотношении между сырьем А и В сбалансированность полученной пищевой системы достигает своего максимального значения относительно сырья А. Решим уравнение (29):

$$\sigma_m^a + kN\sigma_m^b = \sigma_j^a + kN\sigma_j^b,$$

откуда

$$k_j = \frac{1}{N} \left(\frac{\sigma_j^a - \sigma_m^a}{\sigma_m^b - \sigma_j^b} \right), N = \frac{\sum B_i}{\sum A_i}, \sigma_m^a = \sigma_{min}^a \tag{30}$$

В формуле (30) индексу j придаются все значения, кроме m . В полученном, соответствующем, ряде значений k отбирается наименьшее положительное значение – оно и будет определять оптимальное рецептурное соотношение между А и В с максимально возможной сбалансированностью между заявленными компонентами.

Действие вышеизложенной методики продемонстрируем на примере проектирования композиций казеина и сывороточных белков с максимально высокой сбалансированностью. В таблице 1 приведены справочные данные по содержанию незаменимых аминокислот в казеине (сырье А), сывороточных белках (сырье В) и “идеальном” белке (эталон S) [1, 11].

Таблица 1

Содержание (г в 100г белка) незаменимых аминокислот в казеине, сывороточных белках и «идеальном» белке

Table 1

Content (g per 100g of protein) of essential amino acids in casein, whey proteins and the “ideal” protein

№	Аминокислота	Казеин	Сывороточные белки	«Идеальный» белок
1	Изолейцин	6,1	6,2	4
2	Лейцин	9,2	12,3	7
3	Лизин	8,2	9,1	5,5
4	Метионин + Цистин	3,14	5,7	3,5
5	Фенилаланин + Тирозин	11,2	8,2	6
6	Треонин	4,9	5,2	4
7	Триптофан	1,7	2,2	1
8	Валин	7,2	5,7	5
	Сумма	51,74	54,6	36

В таблице 2 этот массив данных представлен в виде компонентных отношений a_i, b_i и s_i рассчитанных по формулам (17) и умноженных на 100%.

Таблица 2

Компонентные отношения казеина, сывороточных белков и идеального белка, %

Table 2

Component ratios of casein, whey proteins and ideal protein, %

№	Аминокислота	Казеин, a_i	Сывороточные белки, b_i	«Идеальный» белок, s_i
1	Изолейцин	11,86	11,36	11,11
2	Лейцин	17,90	22,53	19,44
3	Лизин	15,95	16,70	15,28
4	Метионин + Цистин	6,11	10,44	9,72
5	Фенилаланин + Тирозин	21,79	15,02	16,67
6	Треонин	9,47	9,52	11,11
7	Триптофан	3,31	4,03	2,78
8	Валин	14,00	10,44	13,89

В таблице 3 представлены значения параметров сравнения σ_i^a и σ_i^b , вычисленных по формулам:

$$\sigma_i^a = \frac{a_i}{S_i} \text{ и } \sigma_i^b = \frac{b_i}{S_i}$$

Таблица 3

Значения параметров сравнения по каждой из аминокислот для казеина и сывороточных белков, доля единицы

Table 3

Values of comparison parameters for each of the amino acids for casein and whey proteins, unit fraction

№	Незаменимые аминокислоты	Казеин	Сывороточные белки
1	Изолейцин	1,07	1,02
2	Лейцин	0,92	1,16
3	Лизин	1,04	1,09
4	Метионин + Цистин	0,63	1,07
5	Фенилаланин + Тирозин	1,31	0,90
6	Треонин	0,85	0,86
7	Триптофан	1,19	1,45
8	Валин	1,01	0,75

Анализ данных, приведенных в таблице 3, позволяет получить необходимую информацию о распределении незаменимых аминокислот в казеине и сывороточных белках по отношению к эталонным пропорциям. Наиболее дефицитной аминокислотой в казеине является метионин ($\sigma_{min} = 0,63$), а в сывороточных белках – валин ($\sigma_{min} = 0,75$). Соответственно, сбалансированность этих белков равна 63 и 75%. Отметим, также, что относительная концентрация метионина в сывороточных белках значительно превосходит таковую в казеине, следовательно, эти два белка обладают хорошей совместимостью. Важно, что и по второй незаменимой аминокислоте, валину, наблюдается выполнение принципа дополнительности: в казеине его больше, чем в сывороточных белках.

Определим теперь такое значение композиционного коэффициента k , чтобы в полученной композиции казеина с сывороточными белками сбалансированность по незаменимым аминокислотам достигала своего максимального значения. В таблице 4 представлена зависимость значений k_j , рассчитанных по формуле (30) от индекса j , пробегающего все значения кроме $j = 4$ (индекс метионина). Данные для формулы (30) были взяты из таблицы 3.

Например, для $j=1$ получим,

так как

$$N = \frac{54,6}{51,74} = 1,05$$

то

$$k_1 = \frac{1}{1,05} \left(\frac{1,07 - 0,63}{1,07 - 1,02} \right) = 8,4$$

Таблица 4

Значения k_j

Table 4

Values k_j

Номер индекса	1	2	3	5	6	7	8
k_j	8,4	-3,0	-19,5	3,8	1,0	-1,4	1,1

Наименьшее положительное значение k_j , как это следует из таблицы 4 равно 1,0. По определению композиционного коэффициента k на единичную массу казеина должна приходиться такая же масса сывороточных белков. При таком соотношении белков сбалансированность композиции достигает максимума. Применяя формулу (27) для $k=1$, получим:

$$Y = \frac{0,63 + 1 \cdot 1,05 \cdot 1,07}{1 + 1 \cdot 1,05} = \frac{1,75}{2,05} = 0,85$$

или $Y_{max} = 85 \%$.

Для белков численное значение сбалансированности совпадает с их биологической ценностью и степенью усвоения. Полученный результат свидетельствует о возможности повышения физиологической и биологической ценности пищевых продуктов за счет более рационального использования сырьевых ресурсов. Наблюдаемый во всем мире дефицит белков, уже в настоящее время, можно ликвидировать не только за счет увеличения объемов продукции земледелия и животноводства, но также и за счет научно-обоснованной организации производства продуктов массового потребления, с высокой степенью сбалансированности по незаменимым аминокислотам.

Заключение / Conclusion. Показано, что переход от абсолютных значений концентраций отдельных компонентов к компонентным отношениям позволяет рационализировать оценку сбалансированности пищевых продуктов с помощью формализованных критериев.

1. Формализованный расчет сбалансированности, без учета особенностей утилизации компонентов при их дисбалансе можно осуществить по формуле:

$$Y = 1 - \sqrt{\sum (a_i - s_i)^2}$$

где Y – сбалансированность, доля единицы; a_i – компонентные отношения в исследуемом продукте, дол.ед.; s_i – значения эталонных отношений.

Если компонентные отношения выражены в %, то сбалансированность Y также выражается в % и рассчитывается по формуле:

$$Y = 100 - \sqrt{\sum (a_i - s_i)^2}$$

2. Если утилизация пищевых компонентов в условиях дисбаланса осуществляется по наиболее дефицитному из них, в пропорциях соответствующих эталонным, то сбалансированность продукта определяется по минимальному значению параметра сравнения σ .

$$Y = \sigma_{min} \text{ или } Y = \sigma_{min} \cdot 100\%,$$

где $\sigma_{min} = \min \left\{ \frac{a_i}{s_i} \right\}$

3. Основное сырье А и вспомогательное сырье В являются сочетаемыми или комплементарными, если выполняется неравенство:

$$\sum (a_i - s_i)(a_i - b_i) > 0$$

В этом случае, бесконечно малое количество сырья В добавляемое к конечной массе сырья А будет приводить к повышению сбалансированности композиции относительно А.

4. Максимальное значение сбалансированности бинарной пищевой системы достигается при значении композиционного коэффициента k , определяемого равенством:

$$k = \frac{1}{N} \cdot \frac{\sum (a_i - s_i)(a_i - b_i)}{\sum (b_i - s_i)(b_i - a_i)}$$

где $N = \frac{\sum B_i}{\sum A_i}$, а $\sum A_i$ и $\sum B_i$ – суммы массовых долей компонентов, заявленных для расчета сбалансированности.

5. При утилизации пищевых компонентов по наиболее дефицитному из них условие комплементарности вспомогательного сырья В основному сырью А достигается при $\sigma_{min}^b > \sigma_{min}^a$

6. Максимальное значение сбалансированности в композиции А и В, с учетом наибольшей дефицитности одного из компонентов, как в сырье А, так и в сырье В, определяется по формуле:

$$Y = \sigma_{min}^a + k_{min} \cdot N \cdot \sigma_{min}^b$$

где k_{min} определяется по минимальному положительному значению из совокупности чисел k_j

$$k_j = \min \frac{1}{N} \left(\frac{\sigma_j^a - \sigma_{min}^a}{\sigma_m^b - \sigma_j^b} \right), j \neq m.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Горлов И. Ф. Новые тенденции в производстве мясных и молочных продуктов. Монография / И. Ф. Горлов. Волгоград: Сфера, 2015. 160 с.
2. Липатов, Н.Н. Формализованный анализ аминок- и жирнокислотной сбалансированности сырья перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью / Н. Н. Липатов, Г. Ю. Сажин, О. И. Башкиров // Хранение и переработка с/х. сырья. 2001. № 8. С. 11-14.
3. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // Методические рекомендации МР 2.3.1.2432 -08. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 39 с.
4. Покровский А. А. Роль биохимии в развитии науки о питании / А. А. Покровский. М.: Наука, 1974. 127 с.
5. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. // Методические рекомендации МР 2.3.1.1915-04. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 46 с.
6. Федеральный и региональный аспекты политики здорового питания: Материалы международного симпозиума (Кемерово, 9-11 октября 2002 г.) / под ред. акад. В. А. Тутельяна, проф. В. М. Позняковского. Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2002. 243 с.

7. Шмалько Н. А. Амарант в пищевой промышленности / Н. А. Шмалько, Ю. Ф. Росляков. Краснодар: Просвещение – Юг, 2011. 489 с.
8. Dietary Reference Intakes: Applications in Dietary Assessment. Institute of Medicine (IOM). The National Academies Press. Washington, DC. 2001. 289 p.
9. Khramtsov A. G. Technology development for the food industry: a conceptual model / A. G. Khramtsov, I. A. Evdokimov, A. D. Lodygin, R. O. Budkevich // Foods and Raw Materials. 2014. No 1 (3). P. 22-26.
10. Nutrition and diet therapy / Carroll A. Lutz, Karen Rutherford Przytulski. 5th ed. Swaisgood H.E.: Chemistry of milk proteins. In: Developments in Dairy Chemistry. Ed. P. F. Fox, Vol 1. Appl. Sci. Publ., London, 1-60 (1982).
11. Walstra P., Geurts 't. J., Noomen A., Jellema A., van Boekel M. A. J. S.: Dairy Technology – Principles of Milk Properties and Processes. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel (1999).

REFERENCES

1. Gorlov I. I. Novye tendentsii v proizvodstve myasnykh i molochnykh produktov. Monografiya / I. F. Gorlov. Volgograd: Sfera, 2015. 160 s.
2. Lipatov N. N. Formalizovannyi analiz amino- i zhirnokislotoy sbalansirovannosti syr'ya perspektivnogo dlya proektirovaniya produktov detskogo pitaniya s zadavayemyy pishchevoy adekvatnost'yu / N. N. Lipatov, G. Yu. Sazhinov, O. I. Bashkirov // Khranenie i pererabotka s/kh. syr'ya. 2001. № 8. S. 11-14.
3. Normy fiziologicheskikh potrebnostey v ehnergii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii // Metodicheskie rekomendatsii MR 2.3.1.2432 -08. M.: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka. 39 s.
4. Pokrovskiy A. A. Rol' biokhimii v razvitii nauki o pitanii / A.A. Pokrovskiy. M.: Nauka, 1974. 127 s.
5. Rekomenduemye urovni potrebleniya pishchevykh i biologicheskii aktivnykh veshchestv // Metodicheskie rekomendatsii MR 2.3.1.1915-04. M.: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka. 46 s.
6. Federal'nyy i regional'nyy aspekty politiki zdorovogo pitaniya: Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma (Kemerovo, 9-11 oktyabrya 2002 g.) / pod red. akad. V. A. Tutel'yana, prof. V. M. Poznyakovskogo. Novosibirsk: Sibirskoe universitetskoe izd-vo, 2002. 243 s.
7. Shmal'ko N. A. Aмарант в пищевой промышленности / N. A. Shmal'ko, Yu. F. Roslyakov. Krasnodar: Prosveshchenie – Yug, 2011. 489 с.
8. Dietary Reference Intakes: Applications in Dietary Assessment. Institute of Medicine (IOM). The National Academies Press. Washington, DC. 2001. 289 p.
9. Khramtsov A. G. Technology development for the food industry: a conceptual model / A. G. Khramtsov, I. A. Evdokimov, A. D. Lodygin, R. O. Budkevich // Foods and Raw Materials. 2014. No 1 (3). P. 22-26.
10. Nutrition and diet therapy / Carroll A. Lutz, Karen Rutherford Przytulski. – 5th ed. Swaisgood H.E.: Chemistry of milk proteins. In: Developments in Dairy Chemistry. Ed. P. F. Fox, Vol 1. Appl. Sci. Publ., London, 1-60 (1982).
11. Walstra P., Geurts 't. J., Noomen A., Jellema A., van Boekel M. A. J. S.: Dairy Technology – Principles of Milk Properties and Processes. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel (1999).

ОБ АВТОРАХ

Дыкало Николай Яковлевич, кандидат технических наук, Молочный комбинат «Ставропольский», г. Ставрополь, ул. Доваторцев, 36, +7 (8652) 24-72-24, 24-70-95

Dykalo Nikolay Yakovlevich, candidate of technical Sciences, dairy plant "Stavropol", Stavropol, Dovatorstev street, 36, +7 (8652) 24-72-24, 24-70-95

Анисимов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, заслуженный работник пищевой индустрии РФ, генеральный директор, Молочный комбинат «Ставропольский». Ставрополь, ул. Доваторцев, 36, +7 (8652) 24-72-24, 24-70-95

Anisimov Sergey Vladimirovich, candidate of technical Sciences, honored worker of the food industry of the Russian Federation, General Director, dairy plant "Stavropol", Stavropol, Dovatorstev street, 36, +7 (8652) 24-72-24, 24-70-95

Лодыгин Алексей Дмитриевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной биотехнологии, Института живых систем, ФГБАУ ВО «Северо-Кавказский Федеральный университет», (8652) 33-03-18, 33-08-49, E-mail: allodygin@yandex.ru

Lodygin Alexey Dmitrievich, doctor of technical Sciences, associate Professor, head of the Department of applied biotechnology, Institute of living systems, North Caucasus Federal University, (8652) 33-03-18, 33-08-49, E-mail: allodygin@yandex.ru

Климов Леонид Яковлевич, кандидат медицинских наук, доцент, декан педиатрического факультета, Ставропольский государственный медицинский университет
Klimov Leonid Yakovlevich, PhD, associate Professor, Dean of the pediatric faculty, Stavropol state medical University

Евдокимов Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий базовой кафедрой Института живых систем, Ставропольский медицинский университет, (8652) 33-03-51, E-mail: ievdokimov@ncfu.ru
Evdokimov Ivan Alekseevich, doctor of technical Sciences, Professor, head of the basic Department Institute of living systems, Stavropol medical University, (8652) 33-03-51, E-mail: ievdokimov@ncfu.ru

Печенкин Евгений Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент, секретарь ЦМК по хирургическим болезням Ставропольский государственный медицинский университет
Pechenkin Yevgeny Vladimirovich, candidate of medical Sciences, associate Professor, Secretary of the CMC for surgical diseases Stavropol state medical University

Храмцов Андрей Георгиевич, доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук
Khramtsov Andrey Georgievich, doctor of technical Sciences, Professor, academician of the Russian Academy of Sciences

Анисимов Георгий Сергеевич, канд. техн. наук, директор Центра биотехнологического инжиниринга СКФУ, тел. +7-962-447-84-25, e-mail: ags88@mail.ru
Anisimov Georgy Sergeevich, Cand. Techn. Director of the center for biotechnological engineering of NCFU, tel. +7-962-447-84-25, e-mail: ags88@mail.ru

Школа Сергей Сергеевич, инженер-технолог Центра биотехнологического инжиниринга СКФУ, тел. +7-928-971-68-55, e-mail: skifklad@yandex.ru
Schoola Sergey Sergeevich, technology engineer of the center for biotechnological engineering of NCFU, tel. +7-928-971-68-55, e-mail: skifklad@yandex.ru

Дата поступления в редакцию: 01.02.2019

После рецензирования: 05.08.2019

Дата принятия к публикации: 01.09.2019