

УДК 637.045**М.В. Крухмалева,****А.Ю. Камербаев,** доктор технических наук, профессор
Инновационный Евразийский университет (г. Павлодар)

E-mail: pretty_artist@mail.ru

Оптимизация биологической ценности вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса

***Аннотация.** Важную роль в решении белковой недостаточности занимает рациональное использование вторичного сырья пищевой промышленности. Авторами найдена оптимальная комбинация белков молочного, мясного и растительного происхождения. В качестве критерия оптимизации был выбран коэффициент сбалансированности аминокислотного состава.*

***Ключевые слова:** белки, белковые добавки, сбалансированность, молочный, плазма крови, рациональное использование, незаменимые аминокислоты.*

В рамках документа «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», утверждённого на Саммите ООН в 2015 году, были определены 17 целей устойчивого развития до 2030 года, среди которых одной из первостепенных является «Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства» [1]. На современном этапе развития комплексное и более полное использование вторичного сырья агропромышленного комплекса может послужить ключевой ступенью в достижении этой цели.

Современные реалии в области физиологии питания и технологии производства пищевых продуктов обращают внимание на необходимость создания сбалансированных комбинированных продуктов с применением принципов рационального использования сырьевых и белковых ресурсов и наиболее полной их переработке. В настоящее время в структуре питания людей доминирует углеводная пища и остро ощущается дефицит белка, в частности животного и незаменимых аминокислот [2].

Рациональное использование сельскохозяйственного сырья является одним из аспектов преодоления белковой недостаточности и повышения эффективности производства, так как значимая часть пищевых веществ остаётся во вторичном сырье агропромышленного комплекса.

Одним из крупных источников вторичного сырья мясоперерабатывающей промышленности выступает кровь сельскохозяйственных животных, актуальность использования которой сохраняется вне зависимости от объёмов переработки скота, так как её выход составляет 3,5 и 2,6% от количества мяса при убое крупнорогатого скота и свиней соответственно. Однако уровень использования её на пищевые цели остаётся невысоким в виду наличия сдерживающих факторов – характерного цвета и узкого диапазона традиционных решений по её переработке, что в свою очередь ведёт к сливу крови убойных животных в производственные стоки или переработку в мясокостную муку [3].

Особой значимостью в качестве источника высокомолекулярных белковых фракций отличается плазма крови сельскохозяйственных животных, составляющей 55-65% от общего количества крови, вследствие её максимальной переваримости и усвояемости.

В свете вышеизложенного весьма актуальным является оптимизация использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса в результате повышения биологической ценности. В работах отечественных и зарубежных учёных отмечено, что достижение уровня сбалансированности состава пищевых продуктов возможно только за счёт их многокомпонентности

При такой постановке задачи оптимизация заключается в подборе компонентов и определении их соотношений, обеспечивающих максимальное приближение массовых долей нутриентов к принятым эталонам. В качестве критерия оптимизации был определён аминокислотный скор, следствием которого выступает максимально возможный показатель коэффициента сбалансированности аминокислотного состава, являющийся отражением сбалансированности содержания незаменимых аминокислот по отношению к их эталонному содержанию. При определении биологической ценности белков наиболее широко применяется метод Х. Митчела и Р. Блока, в соответствии с которым рассчитывается показатель аминокислотного сора [4]. Для этого был проведён расчёт отношения массовой доли незаменимых аминокислот в исследуемом продукте по отношению к необходимой физиологической норме (таблицы 2, 3).

При нахождении критерия оптимизации вычисления производились с учётом актуальных требований аминокислотного состава «идеального» белка, утверждённых в 2011 году при пересмотре новейших данных физиологических потребностей человека объединённым экспертным комитетом продовольственной и сельскохозяйственной организации при ООН (ФАО) и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) [5]. Содержание незаменимых аминокислот в 100г эталонного белка по шкале ФАО/ВОЗ приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Аминокислотный состав «идеального» белка по шкале ФАО/ВОЗ

Наименование аминокислоты	Содержание незаменимых аминокислот, г/100г белка	
	Рекомендации ФАО/ВОЗ 1971 г.	Рекомендации ФАО/ВОЗ 2011 г.
Валин	5	4
Изолейцин	4	3
Лейцин	7	6,1
Лизин	5,5	4,8
Метионин+цистеин	3,5	2,3
Фенилаланин+тирозин	6	4,1
Треонин	4	2,5
Триптофан	1	0,66
Гистидин	–	1,6

Путём анализа аминокислотных профилей основных вторичных продуктов мясной и молочной промышленности (плазма крови и обезжиренное молоко) была выявлена недостаточность определённых незаменимых аминокислот. Для плазмы крови первой лимитирующей аминокислотой является метионин и цистеин, у обезжиренного молока наименьшим аминокислотным скором обладает треонин (таблица 2, 3).

В последние годы все больше внимания стали уделять сое и продуктам её переработки, которые могут применяться в качестве добавки, обогащающей химический состав и представляющей собой легкоусвояемый полноценный источник белка, что подтверждается научными исследованиями [6].

Имея необходимость сбалансировать аминокислотный состав комбинации плазмы крови и обезжиренного молока, а также принимая к сведению, что соя является самой высокобелковой культурой среди основных сельскохозяйственных культур, для этой цели было решено остановить свой выбор на обезжиренной соевой муке, как на вторичном продукте масложировой промышленности, что, несомненно, соответствует выбранной нами концепции исследования. Количество и соотношение незаменимых аминокислот указывает на полноценность выбранного источника белка и приведено в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Количество незаменимых аминокислот во вторичных продуктах

Компоненты	Содержание в 100 г продукта, г		
	Плазма крови	Обезжиренное молоко [7]	Мука соевая обезжиренная [8]
Белка	7,2	3,37	47
Незаменимых аминокислот:			
Валин	0,504	0,18	2,35
Изолейцин	0,21	0,15	2,28
Лейцин	0,73	0,33	3,83
Лизин	0,66	0,25	3,13
Метионин+цистеин	0,072	0,19	1,39
Фенилаланин+тирозин	0,66	0,29	4,23
Треонин	0,454	0,08	2,04
Триптофан	0,14	0,04	0,68
Гистидин	0,25	0,08	1,27

Таблица 3 – Аминокислотный скор вторичного сырья

Наименование аминокислоты	Плазма крови		Обезжиренное молоко		Мука соевая обезжиренная	
	г/100 г белка [9]	Скор, %	г/100 г белка	Скор, %	г/100 г белка	Скор, %
Валин	7,0	175	5,341	133,5	5,00	125
Изолейцин	2,9	97	4,451	148,4	4,85	162
Лейцин	10,1	166	9,792	160,5	8,15	134
Лизин	9,2	191	7,418	154,5	6,66	139
Метионин+цистеин	1,0	43	5,638	245,1	2,96	129
Фенилаланин+тирозин	9,2	224	8,605	209,9	9,00	220
Треонин	6,3	252	2,374	95,0	4,34	174
Триптофан	1,9	295	1,187	179,8	1,45	219
Гистидин	3,5	217	2,374	148,4	2,70	169

Развитие систем оценки сбалансированности белка привело к разработке целого комплекса математических зависимостей, отражающих отдельные качественные оценки сбалансированности

многокомпонентных пищевых продуктов. Сравнительный анализ сбалансированности аминокислотных профилей эталонного и исследуемого белка выполняли по методикам [9].

Коэффициент сбалансированности аминокислотного состава (КСАС) – U, численно характеризующий сбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к физиологически необходимой норме (эталону), доли ед., рассчитывается по формуле (1):

$$U = C_{\min} \frac{\sum A_{j2}}{\sum A_j} , \quad (1)$$

где C_{\min} – минимальный из скоров незаменимых аминокислот, %;

A_j – массовая доля j-й незаменимой аминокислоты в сырье, г/100 г белка;

A_{j2} – массовая доля j-й незаменимой аминокислоты, соответствующая физиологически необходимой норме (эталону), г/100 г белка.

Коэффициент разбалансированности аминокислотного состава (КРАС) – R, численно характеризующий разбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к эталону, доли ед. по формуле (2):

$$R = 1 - C_{\min} \frac{\sum A_{j2}}{\sum A_j} , \quad (2)$$

где R – показатель, характеризующий суммарную массу незаменимых аминокислот, не использованных на анаболические цели, в таком количестве белка оцениваемого продукта, которое эквивалентно их потенциально утилизируемому содержанию, 100 г белка-эталона.

Показатель «сопоставимой избыточности» – σ (ПСИ) – содержания незаменимых аминокислот, характеризующий суммарную массу незаменимых аминокислот, не используемых на анаболические цели, в количестве белка оцениваемого продукта, эквивалентном их потенциально утилизируемому содержанию 100 г белка-эталона, устанавливают по формуле (3):

$$\sigma = \frac{\sum_{j=1}^n (A_j - C_{\min} \times A_{j2})}{C_{\min}} \quad (3)$$

Коэффициент сопоставимой избыточности служит для оценки сбалансированности аминокислотного состава по незаменимым аминокислотам, показывая общее количество незаменимых аминокислот, которое не может быть утилизировано из-за взаимнесбалансированности состава по отношению к эталону.

Для определения биологической ценности белков использовали показатель индекса незаменимых аминокислот (ИНАК), который учитывает количество всех незаменимых кислот в продукте. ИНАК рассчитывается по формуле (4):

$$\text{ИНАК} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(\frac{A_j}{A_{j2}} \right)} , \quad (4)$$

где n – количество незаменимых аминокислот.

Таблица 4 – Показатели качественной оценки белкового комплекса

Наименование аминокислоты	Содержание незаменимых аминокислот, г/100 г белка		Скор, %
	по шкале ФАО/ВОЗ,	Белковый комплекс	
Валин	4	5,597	139,9
Изолейцин	3	4,251	141,7
Лейцин	6,1	9,103	149,2
Лизин	4,8	7,509	156,4
Метионин+цистеин	2,3	3,230	140,4
Фенилаланин+тирозин	4,1	8,938	218,0
Треонин	2,5	4,273	170,9
Триптофан	0,66	1,487	225,3
Гистидин	1,6	2,808	175,5
Суммарное содержание НАК	29,06	47,196	–
Коэффициент сбалансированности аминокислотного состава (КСАС), U			0,86
Коэффициент разбалансированности аминокислотного состава (КРАС), R			0,14
Показатель сопоставимой избыточности, σ			4,67
Индекс незаменимых аминокислот (ИНАК)			1,66

В ходе поиска решения целевой функции были применены математические методы, позволяющие моделировать и имитировать технологические свойства. Использование табличного процессора Microsoft Excel обусловлено возможностью существенно ускорить скорость вычислительных операций, а также наглядного представления результатов, чем, и предопределена его востребованность в решении многокомпонентных задач. При определении рецептурных составов комбинированных пищевых продуктов хорошим подспорьем могут послужить функциональные возможности стандартной для Excel надстройки «Поиск решения», позволяющие эффективно находить решения задач оптимизации [10].

С целью повышения биологической ценности вторичных продуктов был определён белковый комплекс включающий плазму крови, обезжиренное молоко и обезжиренную соевую муку в соотношении 3,5:8,5:1.

Из данных таблицы 4 вытекает, что оптимальным соотношением основных компонентов белкового комплекса на основе вторичного сырья пищевой промышленности, при котором может быть достигнут выбранный критерий оптимизации биологической ценности – коэффициент сбалансированности аминокислотного состава равный 0,86 (для идеального белка =1) послужила плазма крови, обезжиренное молоко, обезжиренная соевая мука в отношении 3,5:8,5:1 соответственно. Содержание незаменимых аминокислот белкового комплекса находится приблизительно на одном уровне, соответствующему значению аминокислотного скорора равному 155% с учётом небольшого 10% отклонения от этого показателя, за исключением аминокислотных скорора триптофана и фениламина с тирозином, которые обусловлены высокими показателями в исходных компонентах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года: принята резолюцией Генер. Ассамблеей ООН от 25 сент. 2015 г. A/70/L.1. – Режим доступа: <https://undocs.org/ru/A/RES/70/1>

2 Моделирование, разработка и оптимизация продуктов здорового питания: монография / Л.Л. Борисенко Л.А. Сарычева А.А. Борисенко (ст.). – Ставрополь: СевКавГТУ, 2012. – 197 с.

3 Файвишевский М.Л. Нетрадиционные технологии переработки и использования пищевой крови убойных животных // Журнал «Все о мясе». – 2006. – №1. – С 14-16.

4 Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др. Пищевая химия // под ред. А.П. Нечаева. – 4-е изд. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 640 с.

5 Dietary protein quality evaluation in human nutrition : Report of an FAO Expert Consultation. – Rome : FAO, 2013 – 66 p. // Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>.

6 Стаценко Е.С. Исследование предпочтений населения при употреблении соевых продуктов. II Дальневост. аграр. вестн. – 2011. – № 2 (18). – С. 44-46.

7 Пищевая ценность, химический состав и калорийность. – Режим доступа: <http://www.intelmeal.ru/nutrition>

8 Фердман Д.Л. Биохимия: учеб. / Д.Л. Фердман. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1962. – 612 с.

9 Лисин П.А., Мусина О.Н., Кистер И.В., Чернопольская Н.Л. Методология оценки сбалансированности аминокислотного состава многокомпонентных пищевых продуктов // Вестник Омского государственного аграрного университета, 2013. – № 3 (11). – С 53 - 58.

10 Надточий Л.А., Орлова О.Ю. Инновации в биотехнологии. Ч.2. Пищевая комбинаторика: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 37 с.

REFERENCTS

1 Preobrazovanie nashego mira: Povestka dnya v oblasti ustojchivogo razvitiya na period do 2030 goda [Elektronnyj resurs]: prinyata rezolyuciej Gener. Assambleej OON ot 25 sent. 2015 g. A/70/L.1. – Rezim dostupa: <https://undocs.org/ru/A/RES/70/1>

2 Modelirovanie, razrabotka i optimizaciya produktov zdorovogo pitaniya: monografiya / L.L. Borisenko, L.A. Sarycheva, A.A. Borisenko (st.). – Stavropol: SevKavGTU, 2012. – 197 s.

3 Fajvishevskij M.L. Netradicionnye tehnologii pererabotki i ispolzovaniya pishevoj krovi ubojnyh zhivotnyh // Zhurnal «Vse o myase», 2006. – № 1. – S. 14-16.

5 Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A. i dr. Pishhevaya himiya // Pod red. A.P. Nechaeva. – 4-e izd. – SPb.: GIORД, 2007. – 640 s.

6 Dietary protein quality evaluation in human nutrition : Report of an FAO Expert Consultation. – Rome: FAO, 2013 – 66 p. [Elektronnyj resurs]. – Rezim dostupa: <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>.

7 Stacenko E.S. Issledovanie predpochtenij naseleniya pri upotreblenii soevyh produktov. II Dalnevost. agrar. vestr. – 2011. – № 2 (18). – S. 44-46.

8 Pishhevaya cennost, himicheskij sostav i kalorijnost. [Elektronnyj resurs]. – Rezim dostupa: <http://www.intelmeal.ru/nutrition>

9 Ferdman D.L. Biohimiya: ucheb. / D.L. Ferdman. – 2-e izd., ispr. i dop. – M.: Izd-vo «Vysshaya shkola», 1962. – 612 s.

10 Lisin P.A., Musina O. N., Kister I. V., Chernopolskaya N. L. Metodologiya ocenki sbalansirovannosti aminokislotnogo sostava mnogokomponentnyh pishevykh produktov // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2013. – № 3 (11). – S 53-58.

11 Nadtochij L.A., Orlova O.Yu. Innovacii v biotehnologii. Ch. 2. Pishevaya kombinatorika: Ucheb.-metod. posobie. – SPb.: UniversitetITMO, 2015. – 37s.

ТҮЙІН

М.В. Крухмалева,

А.Ю. Камербаев, техникалық ғылымдарының докторы, профессор
Инновациялық Еуразия университеті (Павлодар қ.)

Агроөнеркәсіптік кешеннің қайталама шикізатының биологиялық құндылығын оңтайландыру

Ақуыз тапшылығын шешуде маңызды рөл тамақ өнеркәсібінің қайталама шикізатты ұтымды пайдалану болып табылады. Авторлар сүт, ет және өсімдік тектес ақуыздардың оңтайлы тіркесімін тапты. Оңтайландыру өлшемшарты ретінде аминқышқылдық құрамының үйлесімділігінің коэффициенті таңдалды.

Түйінді сөздер: ақуыз, ақуыз қосындылары, үйлесімділік, сүт, қан плазмасы, тиімді пайдалану, алмастырылмайтын амин қышқылдары.

RESUME

M.V. Krukhtmaleva,

A.Yu. Kamerbayev, Doctor of Technical Sciences, Professor
Innovative University of Eurasia (Pavlodar)

Optimization of the biological value of secondary raw materials of the agro-industrial complex

An important role in solving protein deficiency is the rational use of secondary raw materials in the food industry. The authors found the optimal combination of proteins of dairy, meat and vegetable origin. The balance coefficient of amino acid composition was chosen as the optimization criterion.

Key words: proteins, protein supplements, balance, dairy, blood plasma, rational use, essential amino acids.