

УДК 636.085.552

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БЕЛКА БОБОВЫХ КУЛЬТУР

С. ЗВЕРЕВ, д-р техн. наук, ВНИИ зерна и продуктов его переработки
М. НИКИТИНА, канд. техн. наук, ВНИИ мясной промышленности имени В.М. Горбатова
 E-mail: zverevsv@yandex.ru

Для оценки кормовых достоинств зерновых источников белка наряду с трудоемкими биологическими методами используют и химические, основанные на анализе аминокислотного состава белка. При этом применяют ряд критериев: скор лимитирующей аминокислоты, индекс Осера и др. В статье рассмотрены результаты ранжирования зерна бобовых культур по этим критериям, что выявило различия в оценке качества одного и того же белка. Это свидетельствует о неточности рассмотренных методов, необходимости их дальнейшего совершенствования и приведения к единообразию в рамках одной отрасли.

Ключевые слова: белок, аминокислотный состав, кормовая ценность, критерии оценки, зернобобовые.

Белковые вещества наделяют организм пластическими свойствами и обеспечивают обмен веществ между организмом и окружающей средой. С медико-биологических позиций белки выполняют три основные функции: первая — являются источником незаменимых и заменимых аминокислот, которые используются в качестве пластического материала; вторая — служат источником энергии, выделяемой при их биологическом окислении в организме; третья — аминокислоты белков выполняют роль предшественников гормонов, порфиринов и других биологически активных соединений и веществ. При недостаточном поступлении белков с кормом в организме животного начинают распадаться белки тканей (печени, плазмы крови и т.д.), а образующиеся аминокислоты — расходоваться на синтез ферментов, гормонов и других необходимых для поддержания жизнедеятельности биологически активных соединений. Повышенное содержание белков в корме значительного влияния на обмен веществ не оказывает, избыток продуктов азотистого обмена выводится с мочой, однако при этом существенно повышается нагрузка на печень.

Показатель азотистого баланса используется для оценки степени обеспеченности животного белковой пищей. Он представляет собой разность между количеством поступающего с пищей азота и количеством азота, выводимого в виде конечных продуктов обмена, выраженных

Nutritive value of cereal protein sources can be evaluated by labor-consuming biological methods or by chemical analysis and evaluation of the resulted amino acid profiles using different quality criteria: digestible indispensable amino acid scores (DIAAS), Oser's essential amino acid index, etc. The data on ranking of different pulses according to these criteria are presented highlighting the differences between the results of quality assessments for the same protein. These differences indicate the inaccuracy of the methods hence requiring further development and branch-wise unification.

Keywords: protein, amino acid profile, nutritive value, evaluation criteria, pulses.

в одних и тех же единицах (г/сут). В процессе трофической (пищевой) цепи теряется 60–75% белка: в непереваренных остатках корма, неупотребленных в организме аминокислотах, выделяемых с мочой в виде продуктов полураспада, в процессе обмена (при движении, обновлении белковых тканей и т.д.) и через кожно-волосные покровы.

Помимо азотистого баланса применяют и другие биологические методы. Основными показателями при этом являются: прирост живой массы за определенный период времени, расход белка и энергии на единицу прироста массы, коэффициенты переваримости и отложения азота в теле, доступность аминокислот. Показатель, определяемый отношением прироста живой массы животных (г) к количеству потребленного белка (г), разработан П. Осборном (Osborn, 1919) и носит название *коэффициента эффективности белка* (КЭБ). Это наглядный показатель, непосредственно связанный с конечным результатом. Однако данный метод и другие биологические методы слишком затратны и трудоемки. Менее затратными и более оперативными являются химические методы оценки качества белка, основанные на сравнительном анализе его аминокислотного состава и «идеального» белка.

Организм животного может синтезировать ряд недостающих аминокислот, но только в ущерб деятельности гормональной и ферментативной систем. Отсутствие в корме хотя бы одной незаменимой аминокислоты при-

водит к отрицательному азотистому балансу, нарушению деятельности нервной системы, остановке роста и авитаминозу. Кроме того, это сказывается на неполном усвоении других аминокислот. Данная закономерность подчиняется закону Либиха, по которому развитие живых организмов определяется тем незаменимым веществом, которое присутствует в пище в наименьшем количестве. У жвачных животных незаменимые аминокислоты синтезируются микроорганизмами в преджелудках, поэтому они в меньшей степени, чем животные с однокамерным желудком и птица, реагируют на качество протеинов. Наибольшее значение в кормлении молочного скота имеют метионин, триптофан и лизин.

При определении биологической ценности белков химическими методами используется зависимость функционирования организма от количества незаменимых аминокислот. Наиболее широко применяется метод Х. Митчела и Р. Блока (Mitchell, Block, 1946), в соответствии с которым рассчитывается **показатель аминокислотного сора**. Аминокислота, скор которой имеет самое низкое значение, называется первой лимитирующей аминокислотой.

В таблице 1 приведен состав «идеального» белка, который содержит не только незаменимые аминокислоты (НАК) в определенных пропорциях, но и заменимые аминокислоты (ЗАК).

Характеристикой «идеального» белка может служить множество $\{a_0, a_1 \dots a_i \dots a_n\}$, а рассматриваемого белка — множество $\{b_0, b_1 \dots b_i \dots b_n\}$, где a_0, b_0 — суммарное содержание ЗАК в белках, %; a_i, b_i — содержание НАК, %; n — число рассматриваемых НАК. Очевидно, что

$$a_s = \sum_{i=0}^n a_i = 100 \text{ и } b_s = \sum_{i=0}^n b_i = 100.$$

Таблица 1. Аминокислотный состав «идеального» белка для свиней и птицы, %

Аминокислота	Свиньи	Куры-несушки	Бройлеры
Лизин	7,1	7,0	7,2
Метионин	2,3	3,2	2,5
Метионин + цистин	4,2	5,3	5,0
Изолейцин	4,0	6,3	5,4
Лейцин	7,1	8,3	8,9
Треонин	4,6	4,9	5,4
Фенилаланин	3,9	4,7	4,5
Фенилаланин + тирозин	6,9	8,7	9,0
Триптофан	1,3	1,5	1,4
Валин	4,8	7,0	6,3
Гистидин	2,2	1,9	2,4
Аргинин	2,8	6,8	7,6
Глицин + серин	—	8,4	9,7
Сумма НАК	45,00	66,10	68,32
Сумма ЗАК	55,00	33,90	31,68

В качестве сравнительной характеристики используется множество скоров $\{C_0, C_1 \dots C_i \dots C_n\}$, где $C_i = b_i/a_i$.

Утилизация белка организмом животного происходит по двум направлениям — на пластические и энергетические нужды. На пластические нужды белок расходуется в определенных пропорциях аминокислот, соответствующих пропорциям в «идеальном» белке. Назовем эту часть конвертируемым белком, она будет характеризоваться множеством $\{C_m a_0, C_m a_1 \dots C_m a_i \dots C_m a_n\}$, где C_m — минимальный скор. Учитывая, что $a_s = 100$, доля конвертируемого белка в общей массе составит C_m . Остаток от конвертируемой части белка (избыточный белок) расходуется на энергетические нужды. Однако следует иметь в виду, что на усвоение белка тратится в 4 раза больше энергии, чем на усвоение крахмала. Если не принимать во внимание избыточную часть, то показателем качества белка служит минимальный скор $0 \leq C_m \leq 1$. Для идеального белка $C_m = 1$, для неполноценного белка $C_m = 0$. Любой принятый показатель качества должен однозначно различать эти два вида белка. Кроме того, возможен вариант, когда $C_i = C_j$, то есть все НАК находятся в идеальной пропорции, но в меньшем количестве, чем у «идеального» белка, и избыточный белок состоит только из ЗАК. Назовем такой белок «хорошим».

Помимо сора лимитирующей аминокислоты из литературных источников известен и ряд других сравнительных показателей [2, 3].

Обобщенный коэффициент утилитарности (U) аминокислотного состава белка численно равен отношению конвертируемой части НАК к суммарному его количеству:

$$U = \frac{C_m \sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^n b_i} = \frac{C_m \sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^n C_i a_i},$$

где n — количество незаменимых аминокислот.

Данный показатель учитывает только НАК ($i = 1 \dots n$). Поскольку $0 \leq C_m \leq C_i \leq 1$, постольку $0 \leq U \leq 1$. Однако заметим, что при $C_i = C_m$ («хороший» белок) имеем $U = 1$, независимо от того, близок ли белок к «идеальному» ($C_m = 1$) или к неполноценному ($C_m = 0$).

Коэффициент сопоставимой избыточности:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n (b_i - C_m a_i)}{C_m} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i a_i - \sum_{i=1}^n C_m a_i}{C_m} = \sum_{i=1}^n a_i \frac{1 - U}{U}.$$

Так как для принятого «идеального» белка $\sum_{i=1}^n a_i = const$, то показатель является однозначной непрерывной функцией обобщенного коэффициента утилитарности U и легко рассчитывается через него, обладая тем же недостатком (не учитывает качество белка).

Коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС) показывает среднюю величину избытка аминокислотного сора незаменимых аминокислот:

$$КРАС = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_m)}{n}.$$

Для неполноценного белка $C_m = 0$ и КРАС равен среднему скору НАК, для «идеального» белка $C_i = C_m = 1$ и КРАС = 0. Однако он, как и предыдущие показатели, не различает «хороший» и «идеальный» белок.

Индекс незаменимых аминокислот (ИНАК, или индекс Осера) представляет собой среднее геометрическое значение скоров:

$$ИНАК = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n C_i}.$$

Для «идеального» белка ИНАК = 1; при $C_{min} = 0$ (неполноценный белок) ИНАК = 0; для «хорошего» белка ИНАК = C_m . Однако показатель ИНАК = 1 может быть и при большой доле избыточного белка, если для некоторых НАК имеет место $C_i > 1$.

Показатель Карпаца-Линдера-Варги представлен в литературе [3] в следующем виде:

$$K = 75 \sqrt[n]{\prod_{i=1}^m C_i \left(\prod_{j=m}^n \frac{1}{C_i} \right)} + 25 \cdot \left(2 - \frac{1 - \sum_{i=1}^n C_i a_i}{1 - \sum_{i=1}^n a_i} \right),$$

где n — число незаменимых аминокислот;

m — число незаменимых аминокислот, содержание которых меньше чем в эталонном («идеальном») белке;

$\sum_{i=1}^n C_i a_i$ — суммарное содержание незаменимых аминокислот в рассматриваемом белке;

$\sum_{i=1}^n a_i$ — суммарное содержание незаменимых аминокислот в эталонном («идеальном») белке.

Для «идеального» белка (при $C_i = 1$) $K = 100$;
для неполноценного белка ($C_m = 0$):

$$K = 25 \cdot \left(2 - \frac{1 - \sum_{i=1}^n C_i a_i}{1 - \sum_{i=1}^n a_i} \right);$$

для «хорошего» белка:

$$K = 75 C_m + 25 \cdot \left(2 - \frac{1 - C_m \sum_{i=1}^n a_i}{1 - \sum_{i=1}^n a_i} \right).$$

В показателе Карпаца-Линдера-Варги учитывается избыточный белок (правда, при этом к избыточному белку причислен весь комплекс ЗАК), различается «идеальный» и «хороший» белок, однако имеет место неопределенность в оценке неполноценного белка.

Можно предложить (назовем их так) **векторный и корреляционный подходы** к оценке различий аминокислотного состава «идеального» и рассматриваемого белка. В многомерной системе координат НАК и суммарных ЗАК «идеального» белка каждый из белков можно представить векторами $\{a_i\}$ и $\{b_i\}$, причем, a_0 и b_0 — соответствующие доли ЗАК. Векторы равны, если равен нулю модуль их разности V , который в данном случае можно принять за меру близости белков. Таким образом,

$$V = \sqrt{\sum_{i=0}^n (a_i - b_i)^2}, \quad (V \geq 0).$$

В этом случае только при полной идентичности НАК части белка $V = 0$. Недостаток данного показателя в том, что он никак не оценивает «конвертируемую» часть белка. Попытка использовать отношение

$$K_v = C_m \cdot \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^n a_i^2}}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (a_i - b_i)^2}}, \quad (V \geq 0)$$

приводит к показателю, имеющему разрыв ($K_v \rightarrow \infty$) при $a_i = b_i$ («идеальный» белок).

Различие двух множеств можно оценивать корреляционной функцией

$$R = \frac{\sum_{i=0}^n b_i a_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^n b_i^2 \sum_{i=0}^n a_i^2}}, \quad (0 < R \leq 1).$$

В этом случае произведение

$$K_R = C_m \sqrt{\sum_{i=0}^n a_i^2} \cdot \frac{\sum_{i=0}^n b_i a_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^n b_i^2 \sum_{i=0}^n a_i^2}}, \quad (0 < K_R \leq 1).$$

не имеет разрыва при $a_i = b_i$ («идеальный» белок), а ситуация $b_i = 0$ (белок отсутствует) не представляет интереса.

Аминокислотный состав белка основных его источников в комбикормовой промышленности может различаться. Для расчета и сравнительной оценки биологической ценности белка ряда зернобобовых культур был принят аминокислотный состав, приведенный в таблице 2.

По первым десяти НАК, начиная с лизина и до аргинина включительно (выделены в таблице 2), был произведен

расчет ранее рассмотренных показателей по специально разработанной программе. Анализ данных таблицы 3 позволяет прийти к заключению, что минимальный скор C_m значимо коррелирует с U , КРАС, K_v , K_R , и только лишь ИНАК и показатель Карпаца являются независимыми.

Если ранжировать зерно в соответствии с полученными данными, то картина по показателям C_m , ИНАК и Карпаца получается довольно неоднозначная, то есть с большим разбросом ранга зерна (табл. 4). Из этих трех показателей оценки биологической ценности белков с точки зрения их

Таблица 2. Аминокислотный состав белка некоторых зернобобовых культур и продуктов их переработки, %

Показатель	Люпин белый сорт Дега*	Люпин узколистый	Соя полножирная (СП 34%)	Соевый шрот*	Подсолнечный шрот*	Горох	Рапс**	Вика яровая	Бобы кормовые
Сырой протеин	40,78	32,00	31,90	44,00	35,12	21,00	23,00	25,00	25,00
Лизин	4,80	4,77	6,61	6,19	3,50	7,22	5,58	5,53	5,60
Метионин + цистин	2,42	2,12	3,01	2,83	3,76	2,22	5,40	2,10	2,12
Треонин	3,67	3,52	3,42	3,87	3,61	3,83	3,70	4,09	3,60
Триптофан	0,85	0,49	1,07	1,36	1,34	1,00	1,12	0,56	1,12
Валин	4,09	3,58	5,64	4,39	4,84	4,56	4,11	4,19	6,00
Изолейцин	4,46	4,07	3,95	4,54	3,95	4,38	3,00	3,78	6,00
Лейцин	7,40	6,54	5,52	7,57	6,17	6,81	5,39	6,77	9,60
Фенилаланин	3,98	3,97	6,14	5,24	4,62	4,68	3,56	3,81	4,72
Гистидин	2,30	2,88	2,51	2,45	2,94	3,29	2,00	2,50	2,96
Аргинин	9,06	10,20	6,43	7,33	7,54	7,18	4,03	9,37	8,00
Глицин	3,93	3,06	3,95	—	—	3,76	—	2,37	4,16
Тирозин	—	4,87	3,76	—	—	2,39	—	3,03	3,36
Цистин	1,74	1,05	1,94	—	—	1,17	—	1,09	0,76
Серин	5,17	—	—	—	—	—	—	—	—
Метионин	—	2,62	1,07	—	—	1,03	2,45	1,01	0,96
Фенилаланин + тирозин	—	8,84	8,21	8,73	6,21	6,76	5,66	4,98	8,08
Источник	—	[3, 4, 6]	[4]	—	—	[4, 5, 7, 8]	—	[3]	[4]

* Данные получены при поддержке технических специалистов ООО «Эвоник Химия».

** Данные ВНИИ люпина.

Таблица 3. Матрица показателей качества белка и значения коэффициентов парной корреляции

Показатель	Значения оценочных показателей									Коэффициенты парной корреляции							
	Люпин белый сорт Дега	Люпин узколистый	Соя полножирная (СП 34%)	Соевый шрот*	Подсолнечный шрот	Горох	Рапс	Вика яровая	Бобы кормовые	C_m	U	КРАС	ИНАК	Карпаца	K_v	K_R	k_I
C_m	0,58	0,38	0,72	0,67	0,49	0,53	0,75	0,43	0,50	1,00							
U	0,56	0,38	0,68	0,62	0,49	0,49	0,83	0,42	0,43	0,96	1,00						
КРАС	0,52	0,72	0,40	0,49	0,64	0,60	0,19	0,65	0,74	-0,91	-0,98	1,00					
ИНАК	0,96	0,89	1,04	1,08	1,03	1,03	0,91	0,92	1,12	0,21	-0,04	0,21	1,00				
Карпаца	86,0	81,6	87,1	90,1	89,0	89,9	88,0	85,3	85,4	0,57	0,49	-0,42	0,51	1,00			
K_v	0,081	0,045	0,131	0,106	0,079	0,087	0,143	0,060	0,043	0,93	0,96	-0,95	-0,01	0,59	1,00		
K_R	0,57	0,37	0,71	0,67	0,49	0,53	0,75	0,43	0,50	1,00	0,96	-0,90	0,22	0,59	0,93	1,00	
k_I	9,85	6,06	9,60	12,50	7,27	4,66	7,24	4,52	5,30	0,63	0,53	-0,45	0,26	0,35	0,52	0,62	1,00

Таблица 4. Матрица ранжирования зерна по оценочным показателям

Показатель	Ранг						
	7	6	5	4	3	2	1
C_m	Рапс 0,75	Соя полножирная 0,72	Люпин белый 0,58	Горох 0,53	Бобы кормовые 0,50	Вика 0,43	Люпин узколистный 0,38
ИНАК	Бобы кормовые 1,12	Соя полножирная 1,08	Горох 1,03	Люпин белый 0,96	Вика 0,92	Рапс 0,91	Люпин узколистный 0,89
Карпацы	Горох 89,9	Рапс 88,0	Соя полножирная 87,1	Люпин белый 86,0	Бобы кормовые 85,4	Вика 85,3	Люпин узколистный 81,6
k_l	Люпин белый 9,85	Соя полножирная 9,60	Рапс 7,24	Люпин узколистный 6,06	Бобы кормовые 5,30	Горох 4,66	Вика 4,52

аминокислотного состава физиологическим смыслом обладает только минимальный скор C_m . Другие два (ИНАК и Карпацы) представляют собой математическую комбинацию из скоров НАК и ЗАК. При этом значение ИНАК может быть высоким в случае, если некоторые НАК имеют скор более единицы, при том что минимальный скор C_m и, соответственно, конвертируемая часть белка могут быть низкими, что не согласуется со здравым смыслом.

Показатель Карпацы включает оценки НАК и ЗАК с соответствующими (0,75 и 0,25) весовыми коэффициентами. Отметим, что скоры $C > 1$ в выражении для оценки НАК находятся в знаменателе и снижают ее значение. То есть учтен недостаток оценки ИНАК, и наличие аминокислот с такими скорками рассматривается как нежелательный фактор. Однако наивысший ранг для гороха вызывает сомнения, хотя по остальным культурам наблюдается схожесть с оценкой по минимальному скору.

Таким образом, приходим к выводу, что минимальный скор аминокислот является наиболее наглядным и информативным показателем качества белка. Возможно, его следует уточнить с учетом усвояемости лимитирующих аминокислот. Не исключен и квалитетический подход, если удастся количественно оценить роль и значение избыточных НАК и ЗАК при утилизации белка организмом животных.

Наряду рассмотренными выше показателями в таблице 3 приведен показатель k_l — содержание конвертируемых аминокислот в зерне. Но он является не оценкой качества белка в зерне, а оценкой самого зерна с точки зрения качества и количества белка. Следует иметь в виду, что этот показатель кроме аминокислотного состава белка, который относительно устойчив, существенно зависит от содержания белка в зерне, что в значительной степени определяется условиями возделывания культуры (региональными, почвенно-климатическими, агротехническими и т.п.).

Ранжирование зерна бобовых культур по этим критериям выявило различия в оценке качества одного и того же белка. Это свидетельствует о неточности рассмотренных

методов, необходимости их дальнейшего совершенствования и приведения, очевидно, к единообразию в рамках одной отрасли.

Литература

1. Рядчиков, В. Идеальный белок в рационах свиней и птицы / В. Рядчиков, М. Омаров, С. Полежаев // Животноводство России. — 2010. — №2. — С. 49–51.
2. Лисицын, А.Б. Оценка качества белка с использованием компьютерных технологий / А.Б. Лисицын, М.А. Никитина, Е.Б. Сусь // Пищевая промышленность. — 2016. — №1 — С. 26–29.
3. Кукреш, Л.В. Оценка белка зернобобовых культур по аминокислотному составу / Л.В. Кукреш, И.В. Рышкель // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (Серыя аграрных навук). — 2008. — № 1. — С. 36–40.
4. Штеле, А. Белый люпин — новый белковый корм для высокопродуктивной птицы / А. Штеле // Птицеводство. — 2013. — №10. — С. 27–36.
5. Задорин, А.Д. Биохимическая оценка сортов зернобобовых и крупяных культур нового поколения / А.Д. Задорин, П.И. Шумилин, Н.В. Шелепина // Актуальные проблемы инноваций с нетрадиционными растительными ресурсами и создания функциональных продуктов. Материалы Первой Российской научно-практ. конф., 18–19 июня 2001 г. — Москва. — С. 121–124.
6. Перскова, Т.Ф. Продуктивность люпина узколистного в условиях Беларуси / Т.Ф. Перскова, А.Р. Цыганов, А.В. Какшинцев. — Минск: ИВЦ Минфина, 2006. — 179 с.
7. Рядчиков, В.Г. Потребность растущих свиней в переваримых аминокислотах / В.Г. Рядчиков // Животноводство России. — 2007. — № 11. — С. 21–24.
8. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 2. Справочные таблицы содержания аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. — М.: Агропромиздат, 1987. — 360 с. ■