

ОПТИМИЗАЦИЯ АМИНОКИСЛОТНОГО ПИТАНИЯ МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ НА ОТКОРМЕ

А. Я. РАЙХМАН

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 05.03.2025)

Приведены результаты исследований по оптимизации протеинового питания свиней на откорме. Разработана математическая модель комбикорма полнорационного, в которой оптимизировалось соотношение основных аминокислот при минимизации общего уровня сырого протеина

Доказано, что возможно значительно снизить количество протеина в комбикорме, и при этом установить правильное соотношение между тремя основными аминокислотами. Это дает возможность снизить стоимость рецепта, повысить аминокислотную полноценность кормления.

Установлено, что корма растительного происхождения не обеспечивают поступление достаточного уровня незаменимых аминокислот при интенсивном откорме свиней. Разнообразие ингредиентов обеспечивает достаточную комбинаторику для отыскания близкого к идеальному составу белка в комбикорме. Для достижения полного соответствия по трем критическим аминокислотам необходимо ввести препараты синтетических аминокислот в небольшом количестве (1–3 г).

Применение разработанной нами математической модели и программы оптимизации позволяет отыскать наилучший из возможных вариантов решения при минимальном уровне сырого протеина.

Ключевые слова: откорм свиней, протеиновое питание, моделирование, комбикорма, аминокислоты

The article presents the results of studies on optimization of protein nutrition of fattened pigs. A mathematical model of complete feed has been developed, in which the ratio of essential amino acids was optimized while minimizing the total level of crude protein.

It has been proven that it is possible to significantly reduce the amount of protein in the feed, and at the same time establish the correct ratio between the three essential amino acids. This makes it possible to reduce the cost of the recipe and increase the amino acid completeness of feeding.

It has been established that plant-based feeds do not provide a sufficient level of essential amino acids during intensive fattening of pigs. The variety of ingredients provides sufficient combinatorics for finding a protein composition in the feed that is close to the ideal. To achieve full compliance with the three critical amino acids, it is necessary to introduce synthetic amino acid preparations in small quantities (1–3 g).

The use of the mathematical model and optimization program developed by us allows us to find the best possible solution with a minimum level of crude protein.

Key words: pig fattening, protein nutrition, modeling, compound feed, amino acids

Введение

В свиноводстве важно правильно балансировать протеиновое питание на всех этапах роста животных – как во время дорастивания, так и на откорме. Усвоение протеина из корма зависит от баланса незаменимых аминокислот: лизина, метионина, треонина и триптофана. Поскольку свиньи не могут синтезировать эти аминокислоты самостоятельно, их недостаток в рационе нарушает обмен веществ и снижает продуктивность.

Для разных производственных групп свиней определены оптимальные соотношения незаменимых аминокислот, необходимых для поддержания жизнедеятельности и роста. Если в корме соблюдается идеальный баланс, без дефицита или избытка какой-либо аминокислоты, такой протеин называют «идеальным». Добиться этого можно, комбинируя разные корма и добавки, а в промышленных условиях – с помощью полнорационных комбикормов.

Концепция «идеального протеина» особенно важна в свиноводстве, так как производители активно используют альтернативные источники белка и понимают, что избыток протеина может навредить животным. Кроме того, законодательство регулирует количество азотных отходов на фермах, что делает оптимизацию рациона еще более актуальной [1, 2, 4, 5, 11, 12, 13].

Решения этой задачи возможно посредством компьютерного моделирования. Специальные программы помогают подобрать оптимальный состав корма с учетом множества факторов: доступности и стоимости ингредиентов, условий хранения, технологии приготовления, физиологических ограничений и других производственных аспектов [7, 9, 10].

Из-за роста цен на белковые корма особенно важно точно балансировать уровень протеина и незаменимых аминокислот в рационе свиней. Если белка будет слишком много – корм станет дороже, а если мало – снизится продуктивность. Кроме того, в ряде стран остро стоит проблема загрязнения окружающей среды азотом из-за неполного усвоения протеина животными.

На практике свиньи усваивают лишь около 35 % потребляемого белка, а остальные 65 % азота выводятся с непереваренными остатками. Чтобы улучшить этот показатель, используют синтетические аминокислоты (лизин, метионин, треонин, триптофан). Чем точнее рацион соответствует потребностям животного, тем меньше белка разрушается и теряется. Это также экономит энергию, которую организм тратит на выведение излишков протеина.

Белок в пищеварительном тракте расщепляется на аминокислоты, которые всасываются в кровь и идут на построение мышц, органов, ферментов, гормонов и других важных веществ, то есть животным нужен не сам белок, а именно сбалансированный набор аминокислот.

Существует проблема избытка и недостатка аминокислот. Если какой-то аминокислоты не хватает (обычно лизина), то по «закону минимума» Либиха остальные тоже не усваиваются эффективно. И наоборот – избыток аминокислот снижает аппетит и продуктивность. Решение – добавление синтетических аминокислот, что позволяет снизить перерасход белка, уменьшить затраты на корма, сократить загрязнение среды азотом.

Современные задачи аминокислотного питания основаны на нормах потребности в аминокислотах для разных животных и возрастов. Необходим анализ состава кормов и разработка методов их оценки, а также производство синтетических аминокислот для балансировки рационов.

Изучение роли аминокислот не только как «строительный материал», но и как регулятор обмена веществ и аппетита. Современные информационные технологии позволяют применить математическое моделирование для подбора оптимального состава кормов с учетом экономики.

Чтобы рационально использовать белок, нужно учитывать современные нормы аминокислот, анализировать состав и усвояемость кормов, применять синтетические добавки и компьютерные модели для максимальной эффективности. Это позволяет снизить затраты, повысить продуктивность и уменьшить вредное воздействие на экологию.

Основная часть

Использовалась информация о протеиновой и аминокислотной питательности кормов, которые используются в комбикормовой промышленности при составлении рецептов различных назначений, а также нормы содержания незаменимых аминокислот в полнорационных комбикормах для всех половозрастных групп свиней.

Также мы учитывали стоимость кормов и добавок, их доступность и традиционно сложившиеся составы комбикормов для различных половозрастных групп свиней.

Экономико-математическая модель комбикорма основана на принципе линейного программирования. Целевая функция выбрана на минимизацию количества сырого протеина в рецепте. Ограничения вводились жесткие системные на равенство общего количества каждой из аминокислот в рецепте научно обоснованной норме. Нами разработана модель для оптимизации комбикорма марки КС-26, который используется в первом периоде откорма молодняка свиней [7, 8, 9].

Ниже представлена целевая функция как сумма произведений содержания сырого протеина в ингредиентах на количество ингредиентов в рецепте:

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \rightarrow \min;$$

где c – содержание сырого протеина в ингредиенте, x – количество ингредиента в рецепте, n – всего ингредиентов в рецепте.

Задача линейного программирования в нашем случае имеет канонический вид, так как все ограничения имеют форму равенств:

$$a_1 x_1 + a_1 x_2 + \dots + a_1 x_n = b_1$$

$$a_2 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_2 x_n = b_2$$

$$a_3 x_1 + a_3 x_2 + \dots + a_3 x_n = b_3$$

где a_1 – содержание первой незаменимой аминокислоты (лизин) в ингредиентах рецепта, a_2 – содержание второй незаменимой аминокислоты (метионин+цистин) в ингредиентах рецепта, a_3 – содержание третьей незаменимой аминокислоты (триптофан) в ингредиентах рецепта, $x_1, x_2, \dots, x_3$ – количества соответствующих ингредиентов в рецепте, n – всего ингредиентов в рецепте.

b_1 – норма содержания лизина в рецепте,

b_2 – норма содержания метионина+цистина в рецепте,

b3 – норма содержания триптофана в рецепте,
Решалась модель средствами электронной таблицы Excel.

Таблица 1. Отображение математической модели комбикорма, определенной в терминах электронной таблицы Excel

Корма	СП	Lys	Met	Trp	СП	Lys	Met	Trp
Ячмень	110	4	4,1	1,4	=I4*D4	=I4*E4	=I4*F4	=I4*G4
Тритикале	115	4,1	4,5	1,5	=I5*D5	=I5*E5	=I5*F5	=I5*G5
Пшеница	120	3,4	4,5	1,4	=I6*D6	=I6*E6	=I6*F6	=I6*G6
Рожь	113	4	3,4	1,1	=I7*D7	=I7*E7	=I7*F7	=I7*G7
Овёс	103	3,8	3,4	1,5	=I8*D8	=I8*E8	=I8*F8	=I8*G8
Кукуруза	89	2,6	3,7	0,6	=I9*D9	=I9*E9	=I9*F9	=I9*G9
Люпин	320	14,8	7,4	2,4	=I10*D10	=I10*E10	=I10*F10	=I10*G10
Горох	218	15,3	8,1	1,9	=I11*D11	=I11*E11	=I11*F11	=I11*G11
Вика	241	13,1	4,9	2,4	=I12*D12	=I12*E12	=I12*F12	=I12*G12
Соя	358	22,7	11	4,4	=I13*D13	=I13*E13	=I13*F13	=I13*G13

Колонка 1 содержит наименования кормов и добавок. Колонки 2-5 содержат значения концентрации аминокислот в 1 кг натурального корма. В шестой колонке записано содержание сырого протеина в кормах. Последние три колонки (7, 8, 9) – формальное описание модели. Питательность кормов связана с ключевыми ячейками количества ингредиентов, которое и является окончательным решением задачи. Задача решалась средствами математической библиотеки Solver с использованием собственного интерфейса в форме диалогового окна «Аминокислотный оптимизатор», написанного на языке VBA for Application Microsoft Office [6–10]. Основой для выбора нормы аминокислотного питания послужил классификатор кормов. В табл. 2 приведена потребность молодняка свиней в незаменимых критических аминокислотах в расчете на 1 кг комбикорма.

Таблица 2. Оптимальное соотношение незаменимых аминокислот, г/кг

Аминокислота	Лизин	Треонин	Метионин+цистин	Триптофан	СП
Норма в комбикорме для откорма (СК-26), г/кг	9,50	6,30	5,70	1,80	165,00
По отношению к лизину, %	100,00	66,32	60,00	18,95	

Лизин принят за 100 %. Остальные аминокислоты рассчитаны по отношению к нему в процентах. Здесь приведены современные нормы аминокислотного питания растущих свиней мясного направления продуктивности.

Таблица 3. Состав ингредиентов для решения математической модели оптимизации по трем незаменимым аминокислотам (в расчете на 1 кг натурального вещества ингредиента)

Показатели	Аминокислоты в ингредиентах			
	Сырой протеин, г	Лизин, г	Метионин+ цистин, г	Триптофан, г
Ячмень	110	4	4,1	1,4
Тритикале	115	4,1	4,5	1,5
Пшеница	120	3,4	4,5	1,4
Рожь	113	4	3,4	1,1
Овёс	103	3,8	3,4	1,5
Кукуруза	89	2,6	3,7	0,6
Люпин	320	14,8	7,4	2,4
Горох	218	15,3	8,1	1,9
Вика	241	13,1	4,9	2,4
Соя	358	22,7	11	4,4
Рапс	223	12,4	13,2	2,9
Шрот рапсовый	378	19,1	15,8	4,3
Шрот соевый	440	28,4	12,9	5,8
Шрот подсолнечный	380	14,3	16,2	4,8
Дрожжи кормовые	455	31,5	11,8	7,1
Мука рыбная	610	46,6	26,7	6,4
Мука мясо-костная	420	21,5	11,7	3,1
СОМ	333	28,1	12,1	4,3
Сыворотка молочная	116	6,8	2,4	1,6
Лизин	980	980	0	0
Метионин	980	0	980	0
Триптофан	980	0	0	980
Комбикорм СК-26	165	9,5	5,7	1,8

В табл. 3 приведено содержание трех критических аминокислот и сырого протеина в различных кормах. Эти данные представляют собой усредненные значения, которые могут незначительно колебаться. В расчетную модель дополнительно включены препараты этих аминокислот. В последней строке таблицы указана потребность молодняка свиней в аминокислотах на 1 кг полнорационного комбикорма марки СК-26. Верхние пределы ввода ингредиентов в модель определяются физиологическими возможностями животных, взятыми из классификатора, и не могут быть увеличены. Это связано с наличием антипитательных факторов в некоторых кормах и особенностями пищеварения моногастрических животных.

Нижние границы определяются доступностью кормовых средств и практической целесообразностью их использования, поэтому могут варьироваться в каждом конкретном случае. Например, злаковые культуры можно использовать в зависимости от их стоимости и наличия на складе, но в пределах установленных ограничений. При этом включение подсолнечного шрота в комбикорма на основе злаков с дефицитом лизина не улучшает их белковую ценность – без добавления кормовых препаратов лизина такой комбикорм будет использоваться неэффективно.

Согласно рекомендациям РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», ввод препаратов аминокислот в рецепт не должен превышать 10 % от общей массы для суммы всех препаратов. Модель построена таким образом, чтобы их количество было минимальным. Эти добавки применяются только когда невозможно сбалансировать комбикорм доступными кормами и кормовыми средствами. Общая масса кормов в рецепте составляет 950 г, так как 40–60 г отводится на минеральные добавки и витаминные препараты, часть которых входит в состав премикса [3, 11, 14].

Анализ данных таблицы показывает, что среди злаковых культур наибольшим содержанием лизина отличаются ячмень, тритикале и рожь, тогда как кукуруза, пшеница и овес бедны этой аминокислотой. По содержанию треонина выделяются тритикале, ячмень и рожь. Наибольшее количество серосодержащих аминокислот (метионин+цистин) содержится в тритикале, пшенице и ячмене, а минимальное – в ржи, овсе и кукурузе. Триптофаном наиболее богаты тритикале, овес, ячмень и пшеница, тогда как рожь и особенно кукуруза содержат его в недостаточном количестве. Содержание других аминокислот в злаковом зернофураже обычно не вызывает проблем при балансировке комбикормов.

Наилучшими источниками лизина являются кормовые дрожжи и корма животного происхождения, в частности рыбная мука. В таблице 4 представлено решение экономико-математической модели, отражающее оптимальный состав комбикорма по протеину и аминокислотному составу.

Таблица 4. Оптимальный состав комбикорма с учетом потребности в трех незаменимых аминокислотах, г/кг

Показатели	Колич., кг	СП	Лизин	Метионин+цистин	Триптофан
Ячмень	0,2000	22,00	0,80	0,82	0,28
Тритикале	0,0500	5,75	0,21	0,23	0,08
Пшеница	0,3000	36,00	1,02	1,35	0,42
Кукуруза	0,2171	19,32	0,56	0,80	0,13
Горох	0,0500	10,90	0,77	0,41	0,10
Соя	0,1000	35,80	2,27	1,10	0,44
Мука рыбная	0,0300	18,30	1,40	0,80	0,19
Лизин	0,0025	2,48	2,48	0,00	0,00
Метионин	0,0002	0,20	0,00	0,20	0,00
Триптофан	0,0002	0,17	0,00	0,00	0,17
ИТОГО:	0,950	150,91	9,50	5,70	1,80
ТРЕБУЕТСЯ ПО НОРМЕ:	0,950	165,00	9,50	5,70	1,80

Как видно из табл. 4, потребность в основных аминокислотах полностью удовлетворена. Строка "ИТОГО" полностью соответствует строке «ТРЕБУЕТСЯ ПО НОРМЕ». При этом удалось снизить количество сырого протеина с 165 до 150,91 г, что составляет экономию 8,54 %. Однако полностью обойтись без добавления препаратов аминокислот не получилось, хотя их количество было минимальным: потребовалось добавить 2,5 г лизина, 0,2 г метионина и 0,2 г триптофана на 1 кг комбикорма.

Следует отметить, что данное решение требует дополнительной проверки по ряду важных показателей: 1) потребность в обменной энергии; 2) содержание сухого вещества; 3) стоимость кормов и препаратов аминокислот; 4) содержание остальных незаменимых аминокислот; 5) соотношение суммы незаменимых аминокислот к сумме заменимых; 6) уровень клетчатки. Эти дополнительные ограничения, вероятно, не будут строгими (не потребуют точного равенства) и принципиально не изменят полученное решение.

Наши дальнейшие исследования в этом направлении позволят отработать алгоритм оптимизации аминокислотного питания и разработать на его основе компьютерную программу для практического применения в производстве. Особого внимания заслуживает разработка алгоритма многоцелевого программирования задачи оптимизации. Это позволит одновременно учитывать все перечисленные цели с учетом их значимости для достижения максимального экономического эффекта, а также принимать во внимание доступность кормов и добавок и физиологические особенности пищеварения животных.

Заключение

1. Корма различаются не только уровнем сырого протеина (от 89 г/кг в зерне кукурузы до 610 г/кг в рыбной муке), но и соотношением незаменимых аминокислот. Наиболее близким к «идеальному белку» можно считать протеины кормов животного происхождения. В кормах растительного происхождения низкий уровень лизина, триптофана, метионина.

2. Большой набор ингредиентов обеспечивает достаточную комбинаторику для моделирования состава комбикорма с целью получения рецепта с минимальным содержанием азотистых веществ (сырой протеин) и максимальным приближением соотношения незаменимых аминокислот к «идеальному белку».

3. Оптимизации рецепта комбикорма СК-26, используемого в первом периоде откорма молодняка свиней по трем незаменимым аминокислотам нам позволила снизить уровень сырого протеина на 8,54%. При этом концентрация лизина, метионина и триптофана составила 9,5, 5,7, и 1,8 г/кг натурального корма, что точно соответствует потребности.

4. В изучаемом варианте для получения идеального соотношения трех незаменимых аминокислот в один килограмм комбикорма необходимо ввести препараты синтетических аминокислот в количестве: лизин – 2,5 г., метионин – 0,2 г, триптофан – 0,2 г. Эти значения могут изменяться в зависимости от потребности животных и набора доступных ингредиентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коул Д. Дж., Аминокислотное питание свиней / Д. Дж. Коул // Питание свиней: теория и практика / Пер. с англ. Н. М. Темпера. – М., Агропромиздат. 1987. – С. 73–84.
2. Шманенков Н. А. Белково-аминокислотное питание свиней / Н. А. Шманенков, В. Ф. Каленюк, П. И. Карначёв // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1990. – №2(401). – С. 22–26.
3. Голушко, В. М. Потребность хрячков и свинок разных пород в лизине / В. М. Голушко, А. И. Фицев // Сб. Микробиологический синтез лизина. Институт микробиологии им. А. Кирхенштейна. – Рига: Изд-во «Знание», 1974. – С. 81–83.
4. Рядчиков, В. Г. Рациональное использование белка – концепция «идеального» протеина / В. Г. Рядчиков Научные основы ведения животноводства: юбилейный сборник научных трудов. Северо-Кавказский НИИ животноводства. – Краснодар. 1999. – С. 192–208.
5. Рядчиков, В. Г. Производство и рациональное использование белка (от Т. Особрна до наших дней) / В. Г. Рядчиков Аминокислотное питание животных и проблема белковых ресурсов // Кубанский гос. агр. университет. Краснодар. – 2005. – С. 17–70.
6. Райхман, А. Я. Приемы составления рационов использованием персонального компьютера / А. Я. Райхман // Методические указания. – Горки, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2006.
7. Райхман, А. Я. Совершенствование системы кормления молочного скота средствами информационных технологий / А. Я. Райхман. – Горки: БГСХА, 2013. – 152 с.
8. Райхман, А. Я. Моделирование аминокислотного питания молодняка свиней на откорме / А. Я. Райхман // Сборник трудов БГСХА. – Горки: БГСХА, 2019. – С. 64–72.
9. Гарнаев, А. Ю. Excel, VBA, Internet в экономике и финансах / А. Ю. Гарнаев. – СПб.: ВНУ, 2001.
10. Экономическое моделирование в Microsoft Excel / Мур Джеффри, Уэдэрфорд Лари Р. [и др.]. – 6-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1024 с.
11. Клеменс, М. Дж. Обеспеченность аминокислотами и их роль в синтезе белка в клетках организма животных / Белковый обмен и питание / М. Дж. Клеменс, В. М. Пейн // Пер. с англ. Г.Н. Жидкобелиной, Б.Д. Кальницкого, Д.В. Карликова и др.: под ред. В. Ф. Вракина, И. С. Ковальчук. – М.: Колос, 1980. – С. 20–30.
12. Даниленко, И. А. Проблема аминокислотного питания сельскохозяйственных животных / И. А. Даниленко, Г. А. Богданов // Аминокислотное питание свиней и птицы. под ред. Н. Ф. Ростовцева. Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и патентов. – М., 1968. – С. 5–42.
13. Концепция идеального протеина для свиней. / M. Pack, J. Fickler, V. Rademacher, A. Lemme, S. Mack, J. Fontaine, A. Petri // Аминокислоты в кормлении животных. Сборник обзоров и отчетов / Evonik Industries. – 2008. – С. 123–128.
14. Нормированное кормление свиней. Рекомендации. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», г. Жодино, 2011. – 47 с.