

1992. – 36 с. – (Пищевая промышленность. Сер. 23. Сахарная промышленность).

12. Эффективность скармливания дефеката в рационах телят / В. Ф. Радчиков [др.] // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2015. – Т. 50, ч. 2. – С. 36-43.

13. Батанов, С. Д. Состав крови и его связь с молочной продуктивностью у коров / С. Д. Батанов, О. С. Старостина // Зоотехния. – 2005. - № 10. – С. 14-17.

14. Георгиевский, В. И. Физиология сельскохозяйственных животных / В. И. Георгиевский. – М. : Агропромиздат, 1990. – 511 с.

15. Медведев, И. К. Физиологические предпосылки рационального кормления коров / И. К. Медведев // Вестник с.-х. науки. – 1983. - № 3. – С. 78-85.

(поступила 1.03.2016 г.)

УДК 636.4.085.55

В.М. ГОЛУШКО¹, А.Я. РАЙХМАН², А.В. ГОЛУШКО¹, В.Н. ПИЛЮК¹

ДИНАМИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АМИНОКИСЛОТНОГО ПИТАНИЯ СВИНЕЙ

¹РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук
Беларуси по животноводству»

²УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

Разработан инструмент параметрического анализа экономико-математической модели комбикорма для получения минимальной стоимости ингредиентов при полной сбалансированности по основным незаменимым аминокислотам, который позволит конструировать рецепты полнорационных комбикормов с полноценным протеином при минимальных затратах на корма и добавки.

Ключевые слова: аминокислоты, кормление, свиньи, комбикорм.

V.M. GOLUSHKO¹, A.Y. RAYKHMAN², A.V. GOLUSHKO¹, V.N. PILYUK¹

DYNAMIC PARAMETRIC ANALYSIS OF AMINO ACID NUTRITION OF PIGS

¹RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus
on Animal Husbandry»

²Belarusian State Academy of Agriculture

A tool for parametric analysis of economical and mathematical model of compound feed for minimal cost of ingredients at full balance on the main essential amino acids was developed, which allows to develop formulations for complete diet feeds with high-grade protein at minimal feed and supplements cost.

Key words: amino acids, feeding, pigs, compound feed.

Введение. В отечественном свиноводстве недостаток дешёвого белкового сырья сдерживает рост производства. Это один из основных факторов, влияющих на его эффективность, так как при изготовлении комбикормов преимущественно используются дорогостоящие импорт-

ные белковые добавки, которые существенно повышают себестоимость полнорационных комбикормов.

Качество протеина и степень его усвоения животными зависит от соотношения в нём незаменимых аминокислот. Организм их не синтезирует и недостаток даже одной нарушает обменные процессы и снижает продуктивность [1, 2, 3]. Существует понятие «идеальный протеин», определяющее самое эффективное соотношение аминокислот в протеине кормов, при котором они используются максимально эффективно. Соотношение аминокислот в идеальном протеине непостоянно. Оно зависит от возраста животных и их назначения. При составлении комбикормов для каждой производственной группы свиней необходимо учитывать это соотношение при отыскании наилучшего сочетания кормов и добавок [4, 5, 6].

При конструировании рецептов комбикормов следует стремиться не только к отысканию правильного соотношения аминокислот, но и снижению общего количества протеина, следовательно, снижению протеиновых кормов в рецепте. Значительный перерасход белка обусловлен, прежде всего, потерями аминокислот по причине их избытка относительного уровня наиболее лимитирующей аминокислоты. Здесь действует «закон минимума», сформулированный немецким химиком Юстусом Либихом в 1840 году. Аминокислоты (белок) эффективно могут использоваться лишь на уровне содержания наиболее лимитирующей аминокислоты. Остальные аминокислоты используются неэффективно в энергетических целях или выводятся из организма после распада до простых азотсодержащих веществ.

Следовательно, поскольку избыток протеина в рационе будет увеличивать стоимость корма, а недостаток приводит к снижению уровня продуктивности, задача приобретает характер многоцелевой. Основная цель – достижение максимального приближения к «идеальному протеину», но при этом снижение стоимости через минимизацию избытка «неэффективного» протеина и уменьшение белковых ингредиентов в рецептах комбикормов.

Решение такой задачи невозможно без использования специального инструмента, обеспечивающего поиск наилучшей комбинаторики. Для этого может быть применена методика математического моделирования, решаемая любым из доступных методов.

Цель исследований – разработать математический инструмент для отыскания наилучшей комбинации кормов и добавок, при которой уровень обеспеченности аминокислотами будет соответствовать потребности в них животных с одной стороны, и обеспечит максимальную прибыль – с другой.

В основу положена научно обоснованная потребность свиней в

полноценном протеине с учётом существующих возможностей комбикормовой промышленности, доступности необходимых ингредиентов и технологии кормления на промышленных комплексах.

Материал и методика исследований. Для решения поставленной цели нами была изучена 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. В качестве источника информации о потребности животных в энергии и питательных веществах использовали «Классификатор сырья и продукции комбикормовой промышленности», утверждённый Департаментом по хлебопродуктам Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 15.05.2010 г. (приказ № 112) [7]. Кроме того, мы учитывали стоимость кормов и добавок, их доступность и традиционно сложившиеся составы комбикормов для различных половозрастных групп свиней.

Математическая модель комбикорма основана на принципе линейного программирования. Целевая функция выбрана на минимизацию количества сырого протеина в рецепте. Ограничения вводились жёсткие 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 [8, 9, 10].

Линейное программирование — математическая дисциплина, посвящённая теории и методам решения экстремальных задач на множествах, задаваемых системами линейных уравнений и неравенств.

Целевая функция представлена 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:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1m}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2m}x_n = b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \dots + a_{3m}x_n = b_3$$

где a_{1-n} – содержание первой незаменимой аминокислоты (лизин) в ингредиентах рецепта,

a_{2-n} – содержание второй незаменимой аминокислоты (метионин+цистин) в ингредиентах рецепта,

a_{3-n} – 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.

m – количество ограничений,

b_1 – норма содержания лизина в рецепте,

b_2 – норма содержания метионина+цистина в рецепте,

b_3 – норма содержания триптофана в рецепте,

Модель была введена в электронную таблицу Excel. Ниже в таблице 1 представлен её фрагмент.

Таблица 1 – Фрагмент экономико-математической модели комбикорма, определённой 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 [9, 10].

Для более глубокого анализа возможностей совершенствования системы кормления мы использовали «Динамический параметрический

анализатор», разработанный на кафедре кормления сельскохозяйственных животных БГСХА. Этот инструмент позволил определить количественно, каким образом можно снижать расход белковых добавок и стоимость рациона в зависимости от пошагового изменения питательности протеиновых отечественных ингредиентов в сторону улучшения.

Предлагаемое нами средство предназначено для анализа результатов решения математических моделей смесей, комбикормов и рационов кормления на предмет отыскания возможностей улучшения решения. Методика позволяет определить количественно факторы, содержащие решение, причём не только относительно целевой функции, но и любого другого результирующего признака (степень сбалансированности элементов питания, отклонения от заданных в модели отношений и др.) Программа написана на VBA и скомпилирована в формате надстройки Excel. Математическая модель формируется в электронной таблице средствами табличного процессора.

Принципиально новым методическим элементом является возможность реализации не только для моделей линейного программирования, но и для нелинейных моделей, и самое главное – для многоцелевых математических моделей, которые используются в программе «Конструктор рационов кормления» и наилучшим образом подходят для оптимизации рационов в условиях ограниченной кормовой базы. Инструмент может быть модернизирован в соответствии с потребностями пользователя, поскольку исходные коды остаются доступными при условии распространения программы по договорам в соответствии с существующим законодательством Республики Беларусь (рисунок 1).

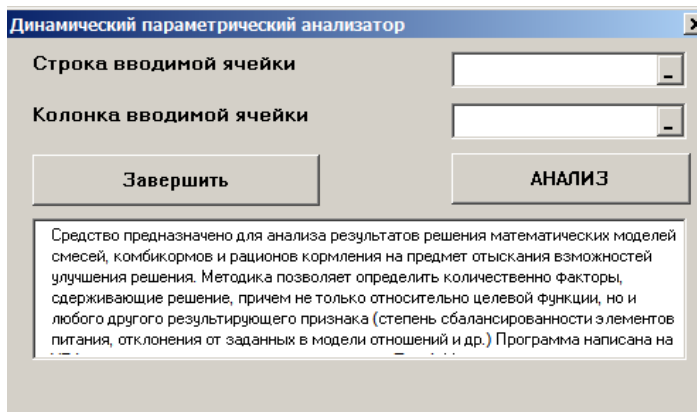


Рисунок 1 – Диалоговое окно динамического параметрического анализатора

Сущность работы параметрического анализатора заключается в том, что программа находит оптимальные варианты рецепта комбикорма при пошаговом изменении содержания заданного параметра в корме, позволяя в динамике наблюдать улучшение целевой функции в модели. Иными словами, программа изменяет фактор, сдерживающий улучшение решения и находит его оптимальное значение, при котором этот фактор уже не улучшает решение модели.

Результаты эксперимента и их обсуждение. В таблице 2 приведена потребность молодняка свиней в незаменимых критических аминокислотах в расчёте на 1 кг комбикорма.

Таблица 2 – Нормативное содержание протеина и незаменимых аминокислот в комбикорме СК-26, г/кг

| Аминокислота | Лизин | Треонин | Метионин + цистин | Триптофан | Протеин |
|--------------------------------|--------|---------|-------------------|-----------|---------|
| Норма в комбикорме 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.

Согласно рекомендациям по нормированному кормлению свиней РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», ввод в рецепт препаратов аминокислот допускается не более 10 % по массе для суммы всех препаратов [13]. Модель определена таким образом, чтобы их количество было всегда минимальным. Цель использования таких ингредиентов – устранение недостатка аминокислот в том случае, когда невозможно сбалансировать комбикорм кормами и кормовыми средствами, доступными для включения в рецепт [8, 10].

Максимальная масса приведённых кормов составляет 950 г, так как 40-60 г занимают минеральные добавки и препараты витаминов, часть из которых включена в премикс.

Из таблицы видно, что среди злаковых культур наибольшим содержанием лизина отличаются ячмень, тритикале, рожь, бедно лизином зерно кукурузы, пшеницы, овса. Более высоким содержанием треонина на фоне злакового зернофуража выделяются тритикале, ячмень, рожь. Наиболее богатыми по содержанию серусодержащих аминокислот (метионин+цистин) являются тритикале, пшеница, ячмень, а

рожь, овёс, кукуруза содержат их наименьшее количество. Лучшим источником триптофана являются тритикале, овёс, ячмень, пшеница, а рожь и особенно кукуруза в своём белке содержат триптофана явно недостаточно. Содержание других аминокислот в злаковом зернофураже, как правило, представляет меньше проблем при балансировании комбикормов по аминокислотному составу [11, 12, 13].

Наилучшим источником лизина являются кормовые дрожжи и корма животного происхождения, особенно рыбная мука.

В таблице 3 приведено решение экономико-математической модели, которое отражает содержание ингредиентов (кормов и добавок) в рецепте комбикорма, оптимизированного по протеину и аминокислотному составу.

Как видно из таблицы 3 потребность в основных аминокислотах удовлетворена полностью. Строка «ИТОГО» совпадает со строкой «ТРЕБУЕТСЯ ПО НОРМЕ». При этом удалось минимизировать количество сырого протеина с 165 до 150,91 г., что составляет 8,54 %. Не удалось обойтись без добавления препаратов аминокислот. Их количества были минимальными. Лизина потребовалось 2,5 г, метионина – 0,2 г, триптофана – 0,2 г в расчёте на 1 кг комбикорма.

Таблица 3 – Оптимальный состав комбикорма с учётом потребности в трёх незаменимых аминокислотах

| Корма | Количество, кг | Сырой протеин, г | Лизин, г | Метионин + цистин, г | Триптофан, г |
|-------------------------|----------------|------------------|----------|----------------------|--------------|
| 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 синтетический | 0,0025 | 2,48 | 2,48 | 0,00 | 0,00 |
| Метионин синтетический | 0,0002 | 0,20 | 0,00 | 0,20 | 0,00 |
| Триптофан синтетический | 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 |

Следует отметить, что данное решение необходимо уточнить по некоторым важным показателям:

1. Потребность в обменной энергии.
2. Содержание сухого вещества.
3. Стоимость кормов и препаратов аминокислот.

4. Остальные незаменимые аминокислоты.

5. Соотношение суммы незаменимых аминокислот к сумме заменимых.

6. Уровень клетчатки.

Такие дополнительные ограничения, вероятно, не будут жёсткими (на равенство) и принципиально не изменят решение. Наши дальнейшие исследования в этом направлении позволят отработать алгоритм оптимизации аминокислотного питания и разработать на его основе компьютерную программу для использования её в производстве [8, 10].

На наш взгляд, особого внимания заслуживает разработка алгоритма многоцелевого программирования задачи оптимизации. Это даст возможность управлять всеми перечисленными целями с учётом их значения для достижения максимального экономического эффекта с учётом доступности кормов и добавок и физиологических особенностей пищеварения животных.

Проведём параметрический анализ полученной модели. Для этого следует выяснить, какой именно фактор является основным сдерживающим для целевой ячейки. Здесь приводится упрощённая модель смеси для доказательства состоятельности инструмента анализа, а не получения рецепта смеси.

Основной недостающей кислотой является лизин. Программа оптимизации вынуждена привлечь дополнительный источник лизина в виде препарата лизина. Остальные две аминокислоты практически набираются за счёт собственных кормов. Ввод метионина и триптофана составляет меньше одного грамма и может не учитываться.

Каким же образом должно изменяться количество белковых кормов для того, чтобы исключить необходимость закупки синтетического лизина и других аминокислот? Простое увеличение содержания их в кормах на недостающую величину не даст ответа на вопрос, так как в единой математической модели нарушится соотношение остальных аминокислот. Поэтому изменяя интересующий нас параметр на единицу необходимо искать очередное оптимальное значение и так до тех пор, пока исчезнет необходимость включения нежелательной добавки в рецепт. Остальные показатели рецепта должны точно соответствовать требованиям нормы. Результат анализа представлен на рисунке 2.

Из фрагмента электронной таблицы, представленной на рисунке 2, видны результаты решения математической модели при изменении ограничения по включению в рецепт люпина безалкалоидного. Этот параметр оказался наиболее значимым из всех доступных кормов и добавок, так как изменение ограничений на другие ингредиенты не приводили к существенному изменению базового решения. Решение

было получено 14 раз в цикле при изменении верхней границы ограничения с 0,05 до 0,3 с шагом 0,2.

Каждая строка таблицы – результат оптимизации. Приведено количество кормов и добавок в расчёте на 950 г комбикорма. Оставшихся 50 г зарезервировано под премикс, соль, мел. В первом проходе оптимизатора параметрический анализатор нашёл решение стоимостью 0,238 у. е. за кг (без учёта премикса, соли и мела). Это стоимость только за кормовые ингредиенты и аминокислотные добавки.

| Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA | AB | AC |
|--|--------|---------|-------|---------|-------|-------|------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Параметрический анализ (лимит фактор-ограничение по люпину сверху) | | | | | | | | | | | | |
| ОГР | Ячмень | Тритика | Пшени | Кукуруз | Люпин | Горох | Соя | Мука р | Lys | Met | Trp | Цена |
| 0,05 | 0,65 | 0,12 | 0,05 | 0,01 | 0,10 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0014 | 0,0004 | 0,238 |
| 0,07 | 0,65 | 0,17 | 0,05 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,005 | 0,0016 | 0,0004 | 0,242 |
| 0,09 | 0,65 | 0,15 | 0,05 | 0,01 | 0,09 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,004 | 0,0015 | 0,0004 | 0,239 |
| 0,11 | 0,65 | 0,11 | 0,05 | 0,01 | 0,11 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,004 | 0,0014 | 0,0004 | 0,237 |
| 0,13 | 0,65 | 0,09 | 0,05 | 0,01 | 0,13 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,004 | 0,0013 | 0,0003 | 0,235 |
| 0,15 | 0,65 | 0,07 | 0,05 | 0,01 | 0,15 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,004 | 0,0013 | 0,0003 | 0,233 |
| 0,17 | 0,65 | 0,06 | 0,05 | 0,01 | 0,17 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,003 | 0,0012 | 0,0003 | 0,231 |
| 0,18 | 0,65 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,18 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,003 | 0,0012 | 0,0003 | 0,231 |
| 0,2 | 0,65 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,20 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,003 | 0,0011 | 0,0003 | 0,229 |
| 0,22 | 0,65 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,22 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,003 | 0,0011 | 0,0003 | 0,227 |
| 0,24 | 0,64 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,24 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,002 | 0,0010 | 0,0002 | 0,226 |
| 0,26 | 0,62 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,26 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,002 | 0,0009 | 0,0002 | 0,225 |
| 0,28 | 0,60 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,28 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,002 | 0,0009 | 0,0002 | 0,224 |
| 0,3 | 0,58 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,30 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,002 | 0,0008 | 0,0002 | 0,223 |

Рисунок 2 – Результат параметрического анализа

Первая строка с ограничением на ввод люпина 0,05 (столбец Q) стоимость составила 0,238 у. е. Здесь выбрано максимальное количество ячменя – 0,65 кг и наибольшее количество синтетического метионина и триптофана. Тритикале-оптимизатор включил 0,12 кг, а добавка лизина не потребовалась.

На последующих циклах оптимизации возрастает количество люпина. Программа отдаёт ему предпочтение вплоть до верхней допустимой границы включения в комбикорма для молодняка свиней – 0,3 кг. Стоимость рецепта снижается с 0,242 до 0,223 у. е. за 1 кг. Это составляет 8,9 %. Ни один другой параметр смеси не влияет существенно на удешевление комбикорма. Кроме того, можно снизить включение

синтетического лизина с 5 до 2 г, а также метионина и триптофана – с 1,4 до 0,8 и с 0,4 до 0,2 г соответственно.

Следует подчеркнуть, что изменения количества того или иного компонента в рецепте без использования механизма динамического параметрического анализа бессмысленно, так как приведёт к избытку или недостатку других показателей питательности по отношению к норме. Оптимизатор же на каждом шаге подбирает очередное оптимальное решение с учётом изменения ограничений и позволяет отыскать точку, при которой лимитирующий фактор уже не сдерживает улучшение значения целевой ячейки.

Заключение. 1. Аминокислотная полноценность доступных к использованию кормов неравнозначна. 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. Высокое разнообразие аминокислотного состава в кормах 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. При оптимизации рецепта комбикорма СК-26, используемого в первом периоде откорма молодняка свиней, по трём незаменимым аминокислотам нам удалось 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. Для получения идеального соотношения трёх 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.

5. Динамический параметрический анализ с использованием инструмента компьютерного моделирования совместно с программой параметрического анализа позволяет определить и количественно рассчитать, какой фактор в модели сдерживает улучшение решения (в нашем случае снижение суммарной стоимости смеси). Это даёт основание для принятия решения об улучшении целевой функции модели без ущерба для физиологически обусловленной сбалансированности рациона.

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 // Микробиологический синтез лизина / Ин-т микробиологии им. А. Кирхенштейна. – Рига : 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. аграрный ун-т. – Краснодар, 2005. – С. 17-70.
6. Райхман, А. Я. Приемы составления рационов использованием персонального компьютера : методические указания / А. Я. Райхман. – Горки : БГСХА, 2006. – 56 с.
7. Классификатор сырья и продукции комбикормовой промышленности / Департамент по хлебопродуктам Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2010. – 192 с.
8. Райхман, А. Я. Совершенствование системы кормления молочного скота средствами информационных технологий : монография / А. Я. Райхман. – Горки : БГСХА, 2013. – 152 с.
9. Гарнаев, А. Ю. Excel, VBA, Internet в экономике и финансах / А. Ю. Гарнаев. – СПб : BHV, 2001. – 336 с.
10. Экономическое моделирование в Microsoft Excel / Д. Мур [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 / М. Дж. Клеменс, В. М. Пейн // Белковый обмен и питание / пер. с англ. Г. Н. Жидкобелиной [и др.] ; под ред. В. Ф. Вракина, И. С. Ковальчук. – М. : Колос, 1980. – С. 20-30.
12. Концепция идеального протеина для свиней / М. Pack [et al.] // Аминокислоты в кормлении животных : сборник обзоров и отчетов / Evonik Industries. – 2008. – С. 123-128.
13. Нормированное кормление свиней : рекомендации / В. М. Голушко [и др.]. – Жодино, 2011. – 47 с.

(поступила 25.03.2016 г.)