

снизить себестоимость энергии корма. Таким образом можно рекомендовать применение данного консерванта для заготовки кормов из трудносилосующихся культур.

Литература. 1. Горлов, И. Новый консервант эффективен и выгоден / И. Горлов, В. Соломатин, А. Варакин // Молочное скотоводство. – 2007. – № 6. – С. 49. 2. Левахин, В.И. Продуктивное действие силосов, заготовленных с использованием различных консервантов, при выращивании молодняка крупного рогатого скота / В. И. Левахин, Р. С. Соятов // Кормопроизводство. – 2007. – № 7. – С. 26. 3. Отрошко, С.А. О внесении консервантов в силосуюемую массу многолетних бобовых / С. А. Отрошко, Ю. Д. Ахламов, А. В. Шевцов // Кормопроизводство. – 2008. – № 9. – С. 28. 4. Петрукович, А. Г. Использование зеленой массы силфши пронзеннолистной, сиды обоополой, девясила высокого и топинамбура для заготовки силоса / А. Г. Петрукович, Б. В. Цулкиев // Кормопроизводство. – 2007. – № 7. – С. 28.

УДК 636.4:519.2:681.3

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА РАЦИОНОВ КОРМЛЕНИЯ СВИНЕЙ

Соляник А.В., ¹Кульмакова Н.И., ²Соляник В.В., ²Соляник С.В.

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

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

²РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», г. Жодино, Республика Беларусь

*Новые знания результатов исследований состоят в том, что при оптимизации рационов кормления свиней можно отказаться от использования, применяемого в течение последних полвека, симплекс-метода (прямолинейный поиск решения), и перейти на криволинейную или стохастическую оптимизацию, что будет способствовать еще большему удешевлению проектируемых рационов. **Ключевые слова:** зоотехния, свиньи, корма, зоохимический анализ, закономерности, цифровые двойники.*

DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN OF PIGS FEEDING RATIОNS

Solyanik A.V., ¹Kulmakova N.I., ²Solyanik V.V., ²Solyanik S.V.

EE "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and the Order of the Labour Red Banner Agricultural Academy", Gorki, Republic of Belarus

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

²RUE "Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry", Zhodino, Republic of Belarus

*New knowledge from research results is that when optimizing pig feeding diets, you can abandon the use of the simplex method (straight-line search for a solution), used over the last half century, and switch to curvilinear or stochastic optimization, which will contribute to an even greater reduction in the cost of the designed diets. **Keywords:** animal science, pigs, feed, zoochemical analysis, patterns, digital twins.*

Введение. Согласно Декрете Президента Республики Беларусь № 8 от 21 декабря 2017 г. «О развитии цифровой экономики» и Указа Президента Республики Беларусь № 239 от 18 июня 2018 г. «О мерах по реализации Декрета №8» намечены конкретные планы по цифровизации различных видов экономической деятельности.

Применительно к свиноводству цифровая экономика – это разработка цифровых двойников объектов – животных, кормов, зданий, ферм, комплексов, то есть каждой технологиче-

ской цепочки, звенья которой в режиме реального времени (OnLine, т.е. без посещения объекта) отражают значения таких параметров как затраты (себестоимость получения товарной продукции) и выручку (в т.ч. прибыль/убытки) от реализации продукции, полученной в производственном процессе. Основное направление в работе научных исследователей в области свиноводства – это поиск закономерностей в биологических, зоотехнических, экономических и иных процессах, связанных с производством свинины. Когда исследователем установлена конкретная закономерность между двумя факторами, т.е. определено, является ли она прямой или обратной, зафиксированы конкретные значения по статистическим выборкам (максимальные, средние и минимальные; коэффициент вариации), то эту взаимосвязь необходимо подвергнуть математическому описанию [1, 2].

В последнее время ученые в области агрономии и зоотехнии активизировали исследовательские работы по определению динамики формирования химического состава кормов растительного происхождения. В научных публикациях, изданных в странах ближнего или дальнего зарубежья, не обнаружены цифровые двойники зоохимических параметров колосовых, зерновых и бобовых культур, включаемые в рационы кормления свиней [3].

Цель работы – разработать цифровой двойник рационов кормления свиней.

Материал и методы исследований. Для определения вида закономерности можно использовать программные продукты (CurveExpert; TableCurve 2D; Excel; Simple Formula), которые позволяют получить прямолинейную, криволинейную или нелинейную функцию от одной переменной ($y = f(x)$; $y = f(z)$). Чтобы спроектировать функцию от двух переменных ($y = f(x, z)$), можно использовать программный продукт TableCurve 3D v4.0. Используя компьютерные программы CurveExpert или TableCurve, можно разработать аппроксимационную функцию от одной ($y=f(x)$) или двух ($y=f(x,z)$) переменных, имеющую минимальную ошибку с исходными параметрами. Разработка адекватной криволинейной модели очень трудоемка и требует много времени, так как необходимо выявить парные закономерности имеющихся характеристик. В некоторых случаях, предпочтительнее провести группировку первичных данных и разбить их на несколько самостоятельных групп чтобы в последствии связать модели функцией ЕСЛИ Microsoft Excel. Это дает возможность превратить криволинейные закономерности в нелинейные [4, 5].

Разработанная нами в Mathematica 5.1 специальная программа подбирает аппроксимационную функцию гораздо лучше, чем коммерческое программное обеспечение. Установление взаимосвязей между параметрами и их математическая формализация, в границах обработанных данных, то есть от минимального до максимального значения по статистическим выборкам, позволяет включать полученные функции (от одной или двух переменных) в компьютерные блок-программы, для описания тех или иных процессов [4]. Для разработки аппроксимационных кривых, которые бы повышали точность воспроизводимых данных от одной переменной, целесообразно разбивать имеющиеся численные значения на несколько участков, а затем, используя функцию ЕСЛИ электронных таблиц MS Excel, связать в единую формулу. В итоге из криволинейной модели, имеющую большую ошибку по воспроизведению исходных данных, получится нелинейная сложная функция, позволяющая минимизировать эту погрешность. Безусловно, более точный расчет приведет к большим трудозатратам на разработку модели и к увеличению количества знаков в математической функции. Поэтому важно соотносить быстроту расчета и его точность, и как это отразится на выводах по изучаемому процессу [6, 7].

Разработка цифрового двойника зоотехнической питательности кормов включает три этапа: определение взаимозависимости между ингредиентами конкретного вида корма; статистический анализ ингредиентов корма; собственно разработка цифрового двойника для конкретного вида корма.

Цифровой двойник представляет собой матрицу, реализованную в MS Excel, включающую математически формализованные парные закономерности, а также блок описательной статистики для каждого зоохимического показателя конкретного корма колосовых зерновых кормов, в каждой ячейке которой находится аппроксимационная функция выявленной зако-

номерности парной взаимосвязи параметров. Направление взаимосвязи определяется методами описательной статистики. Для составления перечня зоотехнических показателей питательности кормов была обезличенно проанализирована база данных спектральной лаборатории «Skarb-Lab», которая является эксклюзивным партнером Eurofins Agro в Беларуси. В лаборатории «Skarb-Lab» исследования производятся с использованием спектроскопии ближнего инфракрасного излучения – NIRS, оборудование аттестовано нидерландскими экспертами. В кормах определяется до 40 показателей, в том числе 8 уникальных и 25 базовых, характеризующих параметры протеиновой питательности, энергетической ценности, стабильности питательных веществ и энергии в корме, переваримости кормов и др. Также использовалась информация, содержащаяся в открытых научных публикациях, в том числе в сети Интернет.

Результаты исследований. Впервые на постсоветском пространстве выявлены направления парных взаимосвязей и разработаны математические функции закономерностей химических и зоотехнических показателей колосовых зерновых культур. Выявленные и математически формализованные закономерности параметров питательности конкретных кормов позволяют моделировать их изменения в граничных (min, max) пределах для определения динамики и достоверности различий между параметрами, используя для этого методы описательной статистики. Созданная нами методика, позволяет на конкретном свиноводческом комплексе выявлять нарушения в кормлении и содержании всех половозрастных групп свиней, оперативно предлагать пути решения по устранению этих недочетов, и тем самым повышать рентабельность производства свинины. При оптимизации рационов кормления свиней можно отказаться от использования, применяемого симплекс-метода (прямолинейный поиск решения), и перейти на криволинейную или стохастическую оптимизацию, что будет способствовать еще большему удешевлению проектируемых рационов.

Цифровой двойник рационов кормления свиней состоит из цифровых двойников кормовых ингредиентов, включаемых в рацион конкретной половозрастной группы свиней. Разработанные цифровые двойники кормов представляют собой математические парные функции химических и зоотехнических показателей питательности зернофуража для свиней: сухое вещество, г/кг; сырая зола, г/кг сухого вещества; переваримость органического вещества, %; переваримое органическое вещество, г/кг сухого вещества; сырой протеин общий, г/кг сухого вещества; растворимый сырой протеин, % от сырого протеина; сырой жир, г/кг сухого вещества; сырая клетчатка, г/кг сухого вещества; сахар, г/кг сухого вещества; крахмал, г/кг сухого вещества; нейтрально детергентная клетчатка, г/кг сухого вещества; лизин, г/кг сухого вещества; метионин, г/кг сухого вещества; обменная энергия, МДж/кг сухого вещества; неструктурные углеводы, г/кг сухого вещества.

Цифровые двойники более десятка наименований кормов зерновых культур, используемых в кормлении свиней, включают более трех тысяч математических функций парных взаимосвязей, которые являются оригинальными и новыми знаниями, каждая математическая функция патентоспособная как способ оценки динамики конкретного зоохимического показателя корма.

Разработанные цифровые двойники кормов растительного происхождения позволяют проектировать оптимальные рационы кормления свиней, основываясь на взаимозависимости химических и зоотехнических показателей состава конкретных кормов включенный в рацион; проводить минимальное количество лабораторных исследований показателей зоотехнического анализа (2–3 наиболее дешевых параметра, например: сухое вещество; клетчатка, зола), чтобы смоделировать численные значения 12–13 показателей.

Заключение. Разработанные цифровые двойники зерновых культур, базирующиеся на выявленных парных взаимосвязях формирования их химических и зоотехнических показателей, позволяют с высокой степенью достоверности прогнозировать численные значения параметров питательности растительных кормов, основываясь на агрономических данных (почва, удобрения, агротехнологии) и климатических условиях возделывания конкретного вида корма в условиях сельхозпредприятий. Практическое применение цифровых двойников

кормов дает возможность в условиях производства комбикормов экономить денежные средства для проведения полного зоотехнического анализа кормов растительного происхождения, используемых в кормлении свиней.

Литература. 1. Соляник, А.В. *Методология цифровизации зоотехнии и гигиены животных* /А.В. Соляник, С.В. Соляник, В.В. Соляник //Актуальные проблемы преподавания естественнонаучных и специальных дисциплин в учреждениях высшего и среднего специального образования сельскохозяйственного профиля : сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры высшей математики и физики / редкол.: В. В. Великанов (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2020. – С. 78-81. 2. Соляник, В.В. *Методика разработки математических функций от одной и двух переменных, для создания динамических моделей в области зоотехнии и зоогигиены* / В.В. Соляник, С.В. Соляник // Сб. науч. тр. – Жодино, РУП “НПЦ НАН Беларуси по животноводству”, 2013. – Т. 48, ч. 2. – С. 232-245. 3. Соляник, А.В. *Теоретическая и практическая разработка специализированного программного обеспечения для свиноводства: монография* /А.В. Соляник, В.В. Соляник, С.В. Соляник. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2012. – 324 с. 4. Соляник, А.В. *Зоотехническая статистика в электронных таблицах: монография* /А.В. Соляник, В.В. Соляник, В.А. Соляник. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2012. – 434 с. 5. Соляник, А.В. *Общетеоретические основы использования численных методов в принятии управленческих решений в свиноводстве: монография* /А.В. Соляник, В.В. Соляник, А.А. Соляник. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2013. – 412 с. 6. Соляник, С.В. *Моделирование норм питательности рационов для мультифазного кормления свиней* /С.В. Соляник, В.В. Соляник //Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : материалы XXI Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч 2 / редкол.: А. И. Портной (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2018. – С. 46–50. 7. Соляник, С.В. *Компьютерная программа для автоматизации факториального расчета потребности в обменной энергии для свиней мясного направления* / С.В. Соляник //Новости науки в АПК : научно-практический журнал : в 2 т. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2018. – № 2(11). – Т. 2.– С. 27–31.

УДК 636.084.415

ИЗМЕНЕНИЕ РОСТА И РАЗВИТИЯ ТЕЛЯТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В РАЦИОНАХ КОМПЛЕКСНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ

Упинин М.С., Лаврентьев А.Ю.

Чувашский ГАУ, г. Чебоксары, Российская Федерация

*Нами был проведен опыт, целью которого является изучение влияния использования комплексных функциональных добавок Руменфит 50 и 100. Для проведения опыта было сформировано 3 группы телят в возрасте 60-65 дней подобранных по методы групп-аналогов: контрольная, 1-я и 2-я опытные. Исходя из данных по ежемесячной перевеске всех животных, можно сделать вывод что показатель среднесуточного прироста живой массы был выше в опытных группа относительно контрольной уже после 30дней скармливания опытным животным комплексных функциональных добавок. **Ключевые слова:** теленок, живая масса, биологическая добавка, среднесуточный прирост, рацион.*

CHANGES IN THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF CALVES WHEN USING A COMPLEX FUNCTIONAL SUPPLEMENT IN DIETS

Upinin M.S., Lavrentiev A.Yu.

Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russian Federation

To achieve the goals of the farm, various biological additives are used in the feeding program for calves up to 6 months of age. In this regard, we conducted an experiment aimed at studying the impact of the use of complex functional additives Rumenfit 50 and 100. To conduct the experiment, 3 groups of calves aged 60-65 days were formed, selected according to the methods of analog groups: control, 1st and 2nd experimental. Based on the data on the monthly weight gain of all animals, it can be concluded that the average daily gain in live weight was higher in the experimental