

УДК 004.94

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕЛКОВО-УГЛЕВОДНОГО КОМПОЗИТА

Волончук С.К., Наumenко И.В., Резепин А.И.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологии РАН,

Сибирский научно-исследовательский и технологический институт переработки

сельскохозяйственной продукции, п. Краснообск, Новосибирская обл., e-mail: volonchuk2015@yandex.ru

В статье приведены результаты теоретических исследований получения белково-углеводного композита для кормления сельскохозяйственных животных на основе молочной сыворотки, зерна пшеницы и пшеничных отрубей. Цель исследований: разработать компьютерную модель состава белково-углеводного композита из зерна пшеницы, молочной (подсырной) сыворотки и пшеничных отрубей. Работа проводилась в 2018 г. в лабораториях института переработки сельскохозяйственной продукции (СибНИТИП). Дано обоснование выбора компонентов композита. Приведена последовательность операций получения композита путем ферментативного гидролиза зерна пшеницы и молочной сыворотки в присутствии ферментов с получением патоки, содержащей сахара, и обогащения ее белками и клетчаткой путем смешивания с пшеничными отрубями и последующей инфракрасной сушкой до влажности 8–10%. При этом количественное соотношение зерна, сыворотки и отрубей устанавливается экспериментально. Кратко описаны существующие способы оптимизации состава при создании комбинированных продуктов, основанные на использовании современных компьютерных технологий. Это универсальные математические системы MathCAD, Maple, Excel, программа FORECASTE, алгоритмы симплексного метода Branch-and-bound в программе Microsoft Excel, linprog Matlab. Установлено, что для моделирования кормов сельскохозяйственных животных разработана программа КОРАЛЛ. Приведено компьютерное моделирование рецептуры белково-углеводного композита из зерна пшеницы, молочной (подсырной) сыворотки и пшеничных отрубей с максимальной физиологической ценностью, определяемой количеством углеводов, белков и клетчатки с использованием программы linprog Matlab. Получены численные расчетные значения в рецептуре композита: зерна – 29,765%, сыворотки – 38,500%, отрубей – 31,803%.

Ключевые слова: модель, сыворотка, отруби, зерно пшеницы, патока, композит, сахар, белок, клетчатка

COMPUTER MODELING OF THE STRUCTURE OF THE PROTEIN-CARBON COMPOSITE

Volonchuk S.K., Naumenko I.V., Rezepin A.I.

Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology, Russian Academy of Sciences

Siberian Research and Technological Institute for Processing Agricultural Products,

Krasnoobsk, Novosibirsk region, e-mail: volonchuk2015@yandex.ru

The article presents the results of theoretical studies of obtaining a protein-carbohydrate composite for feeding farm animals based on whey, wheat grain and wheat bran. The purpose of the research is to develop a computer model of the composition of the protein-carbohydrate composite of wheat grain, milk whey (wheaten) and wheat bran. The work was carried out in 2018 in the laboratories of the Institute of Agricultural Raw Materials Processing (SibNITIP). The rationale for the selection of components of the composite. A method for producing a composite by enzymatic hydrolysis of wheat and dairy whey grain in the presence of enzymes to obtain molasses containing sugar and enriching it with proteins and fiber by mixing it with wheat bran and subsequent infrared drying to a moisture content of 8-10%. In this case, the quantitative ratio of grain, serum and bran is established experimentally. Existing methods of composition optimization for creating combined products based on the use of modern computer technologies are briefly described. These are the universal mathematical systems MathCAD, Maple, Excel, the FORECASTE program, the algorithms of the Branch-and-bound multiplex method in Microsoft Excel, the linprog Matlab. It has been established that the program CORAL has been developed for modeling feed for farm animals. A computer simulation of the formulation of protein-carbohydrate composite from wheat, dairy (cheese) whey and wheat bran with a maximum physiological value, determined by the amount of carbohydrates, proteins and fiber using the program Linprog Matlab is given. The obtained numerical calculated values in the formulation of the composite: grain – 29.765%, syrorotka – 38.500%, bran – 31.803%.

Keywords: model, serum, bran, wheat grain, molasses, composite, sugar, protein, cellulose

В современной науке о кормлении сельскохозяйственных животных большое внимание уделяется кормовым добавкам и подготовке зерна перед скормливанием, которые улучшают усвояемость основных компонентов рациона. При этом меньше затрачивается энергии на переваривание кормов, повышается продуктивность

животных, улучшается состояние здоровья. В настоящее время для улучшения усвояемости зерно подвергают плющению, экструдированию, ферментации и др. Все большее распространение находят биохимические технологии получения кормовых нутриентов для животных из растительного сырья. Так же в корма включают покупные

кормовые добавки: премиксы, комбикорма, белково-витаминные добавки. При этом следует обратить внимание на то, что недостаточно используются в кормах животных вторичные ресурсы, так называемые отходы основных производств, содержащие массу полезных и питательных белково-углеводных, витаминных и макро-, микроэлементов. К вторичным ресурсам относятся молочная сыворотка и отруби пшеничные.

Молочная сыворотка содержит углеводы представленные лактозой (3,5%), моносахаридами (галактоза, глюкоза), аминсахаридами (нейраминавая кислота, включая ее производные, кетопентоза), олигосахаридами (серологически активные вещества, арабиноза). Творожная сыворотка содержит 0,8% белка, а подсырная – 1,0%. Содержащиеся в сыворотке витамины: В12 (цианокобаламин) – 3,2 мкг, В3 (пантотеновая кислота – 4,2 мкг, и В_н (биотин) – 40 мкг способствуют улучшению кроветворения и состава крови, что также способствует улучшению здоровья животного.

К недостаткам сыворотки относятся: 1 – неблагоприятное для пищеварения соотношение белков, углеводов и минеральных веществ, 2 – сыворотка должна скормливаться в течение 12 ч из-за быстрой ее порчи и уменьшения содержания лактозы на 40%, белка – на 14%, сухих веществ – на 10%, 3 – она является крупнотоннажным отходом при переработке молока и в настоящее время ее сливают в канализацию, она попадает в водоемы, что неблагоприятно сказывается на экологии [1].

К достоинствам отрубей относится большое количество клетчатки (46%), значительное количество – 15,5% белка, наличие витаминов А, Е, а также группы В: В1, В2, В6; микро- и макроэлементов: калий, кальций, магний, фосфор, натрий, медь, йод; жирных кислот (Омега-3, Омега-6, пантотеновая – благотворно влияет на ЖКТ); Эта составляющая также позволит увеличить количество белка в патоке и клетчатки в композите, т.е. заменить часть зерна пшеницы в существующем рационе.

Ранее в СибНИТИП была разработана и внедрена технология получения паток кормового назначения, содержащих легко перевариваемые углеводы, из различного зернового сырья [2, 3], в качестве концентрированной углеводной добавки. Патока производилась в роторно-пульсационном аппарате (РПА) с использованием воды, подкисленной до pH 5,5–5,8. Содержание сахаров в патоке составляло $17,0 \pm 2\%$. Главным недостатком такой патоки является: необходимость хранения в холодильных установках, так как в обычных условия

патока является благоприятной средой для развития микроорганизмов, приводящих к ее порче. Кроме того, в патоке недостаточное количество сахаров, совсем мало белка и отсутствует клетчатка, необходимая животному для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в пищеварительном процессе. Это три наиболее ценных компонента в рационе питания животного.

Повысить питательную ценность кормов можно путем создания композитов из патоки, полученной ферментативным гидролизом из молочной сыворотки и пшеничного зерна на первом этапе и последующим обогащением патоки белками и клетчаткой, смешивая ее с пшеничными отрубями. При этом количественное соотношение зерна, сыворотки и отрубей устанавливается экспериментально.

При обычной практике научно-исследовательской работы (НИР) разработка нового продукта – это проведение значительного количества экспериментов и, как следствие, большие затраты времени, расходных материалов и энергозатрат. Чтобы уменьшить указанные составляющие НИР, обратимся к методам моделирования процесса создания многокомпонентного продукта.

В настоящее время существуют различные способы оптимизации состава при создании комбинированных продуктов, основанные на использовании современных компьютерных технологий. Это универсальные математические системы MathCAD, Maple, программа FORECASTE, распространённая оболочка: табличный процессор Microsoft Excel [4–6]. Общим для них является формирование банка данных исходного состава сырьевой смеси путем экспертной оценки ингредиентов и выбор количественных ограничений доз основных компонентов на основе литературных источников.

Программа «КОРАЛЛ-кормление» позволяет комплексно оптимизировать рацион с включением в него комбикормов, премиксов, белково-витаминных добавок, сочетающихся с основными кормами [7]. Мы предлагаем для включения в эту программу оригинальный белково-углеводный композит, созданный по методу автоматизированного проектирования сложных многокомпонентных продуктов питания с использованием программы linprog Matlab, разработанному в Тамбовском государственном техническом университете [8].

Цель исследования: разработать компьютерную модель состава белково-углеводного композита из зерна пшеницы, молочной (подсырной) сыворотки и пшеничных отрубей.

Таблица 1

Содержание сухих веществ и диапазон варьирования компонентов смеси

Рецептурные компоненты	Возможный диапазон варьирования компонентов, %	Содержание сухих веществ, %
Компонент 1 (зерно ИК)	10–40	90 (после ИК сушки)
Компонент 2 (сыворотка)	38,5–80	6
Компонент 3 (отруби)	15–30	97

Таблица 2

Количество физиологически ценных пищевых веществ компонентов смеси

Перечень ценных кормовых веществ	Количество пищевых веществ, мас. %		
	Зерно (ИК) пшеницы	Сыворотка молочная	Отруби пшеничные
Углеводы (сахара)	66	3,5	16,0
Белок	13,9	0,8	15,5
Клетчатка	11,3	0	43,6
Итого	91,2	4,3	75,1

Материалы и методы исследования

Зерно пшеницы, молочная (подсырная) сыворотка и пшеничные отруби. метод автоматизированного проектирования сложных многокомпонентных продуктов питания с использованием программы *linprog* Matlab. Химический состав всех перечисленных компонентов исследовали по литературным источникам. Выбор количественных ограничений доз основных компонентов проводили на основе литературных источников. Так же по литературным источникам и результатам ранее проведенных исследований установили количественные значения физиологически ценных биологически активных веществ (БАВ), содержащихся в выбранных компонентах смеси, влияющих на продуктивность животных.

Далее провели теоретическое обоснование соотношения белков, углеводов и клетчатки в белково-углеводном композите, отвечающее современным требованиям кормления КРС.

Результаты исследования и их обсуждение

Оптимизация состава композита сводится к решению задачи разработки рецептуры композита с максимальной физиологической ценностью и проводится с использованием программы *linprog* Matlab. Физиологической ценностью обладает композит, содержащий максимальное количество белков, углеводов и клетчатки в определенном соотношении.

Ставится задача: разработать рецептуру композита с максимальной физиологической ценностью, содержащего углеводов не менее 22 г сахара в 100 г патоки (исходя из суточной нормы 3 кг патоки), белка не менее – 11 г/100 г композита, клетчатки не менее – 10 г/100 г композита. При этом другие содержащиеся в сырье в незначительных количествах вещества при расчете не учитываются.

Последовательность шагов.

Дано: 1. Исходя из рекомендаций к проектированию комбинированных продуктов, изложенных в [7], задаем пределы возможного варьирования (в %) выбранных компонентов смеси (зерно, сыворотка, отруби) с указанием содержания сухих веществ (в %). Варианты сводим в табл. 1.

2. Составляем табл. 2 с указанием количества физиологически ценных биологически активных веществ (БАВ), содержащихся в выбранных компонентах смеси, влияющих на продуктивность животных,

Максимальная физиологическая ценность выражается формулой $F(x) = \max \{91,2X_1 + 4,3X_2 + 75,1X_3\}$, в которой коэффициенты взяты из строки «Итого» табл. 2. Требуется найти значения X_1 – зерна, X_2 – сыворотки, X_3 – отрубей при соблюдении следующих условий:

1) Наличие в сыром композите сухих веществ (СВ) не менее (сами задаемся) 50 %

$$94 X_1 + 6 X_2 + 97 X_3 \geq 0,50$$

2) Содержание сахара не менее 22 %

$$66 X_1 + 3,5 X_2 + 16 X_3 \geq 22$$

3) Содержание белка не менее 11 %

$$13,9 X_1 + 1,0 X_2 + 15,5 X_3 \geq 11$$

4) Содержание клетчатки не менее 10 %

$$11,3 X_1 + 0 X_2 + 43,6 X_3 \geq 10$$

5) Получение единицы продукта (композита)

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1$$

6) Задание нижних ограничений переменных (из табл. 1)

$$X_1 \geq 10; X_2 \geq 38,5; X_3 \geq 15$$

7) Задание верхних ограничений переменных (из табл. 1)

$$X_1 \leq 40; X_2 \leq 80; X_3 \leq 30$$

8) Определение коэффициентов целевой функции

$f = [91.4; 4.5; 75.1]$ (из «Итого» табл. 2)

$f = -f$

9) Задание матрицы A и вектора b правой части системы неравенств (*ставят точку вместо запятой*)

66	3.5	16
13.9	1.0	15.5
11.3	0	43.6
94	6	97]

$A = -A$

$b = [-22; -11; -10; -50]$

10) Задание ограничений типа равенств

$Aeq [1 \ 1 \ 1]$

$beq [1]$

11) Задаем ограничения снизу на переменные

$lb = [10; 38.5; 15]$

12) Задаем ограничения сверху на переменные

$ub = [40; 80; 30]$

13) Решение и вывод результата в командное окно программы

$x = \text{linprog}(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub)$

14) Получим на компьютере результаты расчета значений $X_1; X_2; X_3$

В результате решения задачи с помощью *linprog* Matlab находим численные значения $X_1 = 29,765$, $X_2 = 38,500$, $X_3 = 31,803$.

Выводы

В результате проведенных расчетов получены теоретические значения процентного содержания зерна 29,765%, молочной сыворотки 38,500% и отрубей пшеничных 31,803% в проектируемой белково-углеводной композитной смеси, которую планируется использовать в качестве добавки при разработке рецептур кормов сельскохозяйственных животных. По разработанным та-

ким способом рецептам животноводческие предприятия могут заказывать или производить самостоятельно кормовые добавки, обеспечивающие больший экономический эффект по сравнению с производимыми в настоящее время.

Список литературы

1. Осадченко И.М., Горлов И.Ф., Божкова С.Е., Соложенкина М.И., Струк А.Н. Способ получения молочно-растительной кормовой добавки // Патент РФ № 2363238. Патентообладатель ГУ ВНИТИ ММС и ППЖ Россельхозакадемии. 2008. Бюл. № 22.
2. Motovilov K.Ya., Aksenov V.V., Motovilov O.K. Nanobiotechnologies in the processing of starch-containing grain raw materials into molasses. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2015. № 2. P. 54.
3. Аксенов В.В., Волончук С.К., Резепин А.И., Дубкова С.А. Оценка эффективности технологических приемов совершенствования способа получения кормовой патоки // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 2. С. 45–47.
4. Краснов А.Е., Красуля О.Н., Воробьева А.И. Красников С.А., Кузнецова Ю.Г., Николаева, С.В. Основы математического моделирования рецептурных смесей пищевой биотехнологии. М.: Пищепромиздат. 2006. 240 с.
5. Хабибуллин Р.Э., Жакслыкова С.А., Решетник О.А. Современные программы автоматизированного расчета рецептур комбинированных пищевых продуктов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 257–260.
6. Гермидер О.В., Смоленская Е.А. Математическое моделирование оптимальной рецептуры функциональных пищевых продуктов // Современные технологии продуктов питания: материалы Международной научно-практической конференции (Г. Курск, 3–4 декабря 2014 г.). Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, Издательство ЗАО «Университетская книга», 2014. С. 56–59.
7. Лукьянов Б.В., Лукьянов П.Б. Новая информационная технология оптимизации рационов для сельскохозяйственных животных (компьютерные программы КОРАЛЛ): учеб. пособие. М.: Издательство РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2009. 119 с.
8. Муратова Е.И., Толстых С.Г., Дворецкий С.И. Зюзина О.В., Леонов Д.В. Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 80 с.