

УДК 631.363:636.087.7

В.В. ШИШКИН, В.В. МИХАЛЁВ, Г.Ю. ШИШКИНА

Повышение эффективности производства белково-минеральной кормовой добавки на основе зерна сои путем оптимизации параметров пресс-экструдера

Для каждого хозяйства Амурской области является актуальной проблема протеино-минерального дефицита кормовых рационов сельскохозяйственных животных. Решить ее в Приамурье, являющемся крупнейшим в России производителем соевого зерна, целесообразно и перспективно путем использования балансирующих кормовых добавок на основе зерна сои, обогащенных минеральными элементами.

В статье представлены описание и некоторые результаты многофакторного эксперимента 2^{3-1} , проведенного с исследованием влияния значимых факторов на процесс смешивания растворенных химических веществ и экструдированного зерна сои в целях повышения эффективности использования кормовых добавок в рационах.

Ключевые слова: Приамурье, соя, кормление, эксперимент, экструдирование, дозирование, смешивание, математическая модель, факторы.

Increase of efficiency of manufacture of protein-mineral fodder supply on the basis of grain of soya by way of optimization of press-extruder parameters. V.V. SHISHKIN, V.V. MIKHALEV, G.Yu. SHISHKINA (Far Eastern Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Blagoveshchensk).

Minimization of the problem of protein-mineral deficiency in feed rations for farm animals of each farm unit of the Amur Region is urgent and is associated with increased efficiency in the use of soybean grain. In Priamurye, which is the largest producer of soybean grain and a biogeochemical province in Russia, the production of balanced feed supplements based on soybean grain enriched with mineral elements to improve the protein mineral nutrition is expedient and promising.

The article presents a description and some results of the multifactor experiment 2^{3-1} , carried out with the study of the influence of significant factors on the process of mixing dissolved chemicals and extruded soybean grains, in order to increase the efficiency of use in feed additive supplements.

Key words: Priamurye, soybean, feeding, experiment, extrusion, dosing, mixing, mathematical model, factors.

Использование несбалансированных рационов, состоящих из кормов с дефицитом питательных элементов, ведет к снижению продуктивности, иммунитета, возникновению различных заболеваний и, как следствие, гибели сельскохозяйственных животных [8]. Чтобы обеспечить их физиологические потребности, нужно включать в дефицитный рацион балансирующие кормовые добавки, комбикорма и премиксы, имеющие в своем составе оптимальное количество всех нормированных питательных веществ, витаминов и микроэлементов и изготовленные с учетом зональных природно-климатических особенностей [3, 5].

Решение проблемы протеино-минерального дефицита при кормлении сельскохозяйственных животных актуально в условиях каждого хозяйства Приамурья и связано

ШИШКИН Виктор Вячеславович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора; МИХАЛЁВ Владимир Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник; *ШИШКИНА Галина Юрьевна – научный сотрудник (Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, Благовещенск). *E-mail: Oskilko-Galina@mail.ru

с повышением эффективности использования в кормопроизводстве зерна сои. Производственная база для решения этой задачи в виде зернового двора имеется в абсолютном большинстве сельхозпредприятий, что позволяет с минимальными затратами на приобретение технологического оборудования для линии по экструдированию производить обогащенные белковые добавки на основе зерна бобовых культур.

Значение сои для кормопроизводства трудно переоценить. Ее зерно по общему содержанию питательных веществ богаче семян злаковых. По количественному и качественному составу аминокислот оно значительно превосходит все другие кормовые культуры, а по лизину и аргинину даже богаче продуктов животного происхождения. Это обеспечивает хорошее усвоение кормов из сои и высокий эффект при ее скармливании [2].

В то же время в зерне сои содержится большое количество вредных антипитательных веществ (ингибиторы трипсин, гемагглютин, сапонин, уреазы, липоксидаза и др.). Кроме того, протеин сои на 80 % состоит из водорастворимых фракций и в результате быстро гидролизуеться в рубце, следовательно, скармливание животным сои в натуральном виде приводит к большим потерям протеина. Все антипитательные вещества сои являются термолabile белками и полностью инактивируются при нагревании. Поэтому перед скармливанием зерно необходимо термически обработать (жарка, запаривание, экструдирование и др.) [8].

При этом кормление исключительно соей малоэффективно, так как животным необходимо получать с кормом и дефицитные микро- и макроэлементы. Для снижения их дефицита в кормах применяются белково-витаминные минеральные добавки (БВМД), рецепты которых необходимо разрабатывать с учетом природно-климатических и биогеохимических условий каждого региона в отдельности.

Минеральные добавки в хозяйственных условиях можно производить только на специализированном оборудовании, соответствующем жестким требованиям дозирования и смешивания всех компонентов. Это, кроме того, позволяет резко уменьшить потери минеральных веществ, улучшить культуру производства и обеспечить эффективность технологии введения в организм необходимых макро- и микроэлементов.

В основу технологических схем при любом методе изготовления добавок заложено точное дозирование и тщательное смешивание компонентов до получения однородных смесей [4, 9]. Для получения полноценной минерально-обогащенной белковой кормовой добавки на основе зерна сои непосредственно в хозяйствах в процессе экструдирования возможно вводить в зерновую массу различные минеральные вещества в виде раствора солей. При данном способе минеральные вещества, растворенные в воде, вносятся непосредственно в приемный бункер дозатора экструдера отдельным дозатором минерально-солевого раствора, а смешивание этих веществ с зерном сои происходит в главном стволе экструдера при дополнительном воздействии высокой температуры и давления в процессе экструдирования.

Цель наших исследований заключалась в определении оптимальных конструктивно-режимных параметров пресс-экструдера, влияющих на однородность смешивания ингредиентов в процессе производства белково-минеральной кормовой добавки на основе зерна сои. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: проведен многофакторный эксперимент, количественно оценено влияние независимых переменных факторов на критерий оптимизации, получена математическая модель процесса смешивания, проведена статистическая обработка результатов эксперимента с вычислением параметра оптимизации зависимой переменной.

Материалы и методы исследований

При выборе направлений, планировании и выполнении работы для обоснования принимаемых решений, получения исходных данных, обеспечения высокого

технического уровня разрабатываемого объекта, использования современных научно-технических достижений и исключения дублирования разработок проводились теоретические исследования по следующим направлениям:

- технология получения комбикормов и премиксов;
- технологические линии по производству комбикормов и премиксов;
- технологическое оборудование для производства комбикормов и премиксов.

Экспериментальные исследования

Анализ результатов смешивания. При любом методе приготовления добавок в основу технологических схем положено точное дозирование и тщательное смешивание ингредиентов до получения однородных смесей, чтобы в дальнейшем без особого труда их можно было распределить по основному корму.

Соотношение компонентов в точках смеси – величина случайная, поэтому методы оценки ее качества должны быть статистическими. При оценке качества смешивания одной случайной величиной смесь считают двухкомпонентной. Для этого из смеси выделяют какой-то один компонент (контрольный), а все остальные объединяют во второй, условный. По степени распределения контрольного компонента в массе судят о качестве смеси [6]. Критерием оценки процесса смешивания может служить коэффициент неоднородности (вариации), выражаемый в процентах. Физический смысл коэффициента вариации заключается в том, что он измеряет среднеквадратическое отклонение доли контрольного компонента в единицах среднего значения случайной величины.

Снижение коэффициента свидетельствует о более качественном протекании процесса. Для большинства смесителей его значение, равное 20 %, считается достаточным. Эффективность смешивания оценивалась по коэффициенту неоднородности смеси, для вычисления которого проведено определение одного ингредиента (иона меди) в 7 образцах, взятых из разных мест произведенной кормовой добавки (ГОСТ 27995-88 «Корма растительные. Методы определения меди»).

При идеальном смешивании, когда $x_i = \bar{x}$, где x_i – концентрация контролируемого или контрольного компонента в пробах, \bar{x} – среднеарифметическая концентрация контрольного компонента в пробах, коэффициент неоднородности равен нулю, если же коэффициент неоднородности больше 15–20 %, то такую смесь надо признать неудовлетворительной. При хорошем смешивании коэффициент неоднородности обычно бывает равен 5–10 %.

Неоднородность смешивания определяется по формуле:

$$\bullet Q_{см} = 100 - v, \quad (1)$$

где: $v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100;$ (2)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; n - \text{число проб.}$$

Обоснование концентрации раствора минеральных добавок. В целях оптимизации концентрации раствора смеси минеральных веществ для точного дозирования и определения степени влияния его объема на эффективность смешивания в стволе экструдера, влажность и химический состав сухого вещества обогащенной белковой добавки (сырая зола, сырой протеин, сырой жир, сырая клетчатка, безазотистые экстрактивные вещества, уреазы) проведены исследование и сравнение образцов готовой продукции, полученных при введении аналогичных по ассортименту и количеству смесей минеральных веществ, но растворенных в разных объемах воды.

Исследование по определению минимального объема растворителя (воды) при температуре +18 °С, необходимого для полного растворения массовой доли заданной смеси минеральных солей, начиналось с соотношения соль : вода = 1 : 2. При непрерывном

помешивании в течение 10 мин основная масса минеральной смеси превращается в раствор, нерастворенным при данном соотношении остается небольшое количество сернокислой меди и сернокислого железа (CuSO_4 и FeSO_4). С увеличением массовой доли растворителя до соотношения 1 : 4 смесь минеральных солей при непродолжительном помешивании растворяется полностью, без осадка.

Для оценки получаемого продукта выбран определяющий критерий оптимизации его качества – однородность получаемой добавки. Кроме того, исследовалось наличие в ней антипитательных веществ (уреазы).

В целях исследования качественных изменений белково-минеральной кормовой добавки, получаемой в процессе оптимизации конструктивно-режимных параметров пресс-экструдера, выполнялись лабораторные исследования ее образцов на химический состав и другие показатели.

Содержание питательных веществ определяли на лабораторном приборе марки СПЕКТРАН-119М, который предназначен для измерения спектральных коэффициентов диффузного отражения в ближней инфракрасной области спектра. Методика измерения на данном приборе состоит из следующих операций: исследуемый образец размалывают на лабораторной мельнице до мелких фракций с проходом сита 0,8 мм, затем пробу перемешивают, засыпают одну чайную ложку в прибор и получают результат анализа.

Влажность исследуемого сырья определялась по ГОСТ 13979.1-68 «Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Методы определения влаги и летучих веществ».

Массовую долю влаги и летучих веществ W (%) вычисляли по формуле:

$$W = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m_2 - m} \quad (3)$$

где m – масса пустой бюксы, г; m_1 – масса бюксы с навеской до высушивания, г; m_2 – масса бюксы с навеской после высушивания, г.

За окончательный результат принимали среднеарифметическое значение двух определений. Расхождения между максимальными и минимальными значениями при достоверной вероятности 0,95 не превышали 10 % по отношению к среднеарифметической величине.

Результаты исследований и их обсуждение

Априорная информация, полученная из результатов предыдущих исследований, показала, что на процесс производства кормовой добавки и эффективность смешивания оказывает влияние большое число факторов. При этом важен не столько тип смесителя, сколько величина частиц наполнителя и микроингредиентов, а также частота вращения шнека, шаг его витка, диаметр отверстия головки, и др. При слишком быстром вращении частицы микродобавок плохо распределяются по структуре наполнителя под действием центробежных сил, при медленном смешивании процесс протекает слишком долго. Следовательно, к каждому смесителю нужно опытным путем подобрать скорость вращения шнека, чтобы получалась однородная смесь. Для оптимизации конструктивно-режимных параметров пресс-экструдера потребовалось построить математическую модель этого процесса, используя материалы полного факторного эксперимента. Был проведен многофакторный эксперимент по определению влияния значимых факторов на критерий оптимизации «однородность смешивания».

Для исследования оптимизации процесса смешивания компонентов кормовой добавки избран наиболее простой, удобный и математически разработанный класс модели – алгебраический полином первой степени, позволяющий предсказывать значения откликов в интересующих нас состояниях, которые не изучались экспериментально, но приближаются к оптимуму. Функция отклика выбранной модели представлена уравнением регрессии линейного вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n, \quad (4)$$

где y – результат; x_1, x_2, \dots, x_n – факторы; b_1, b_2, \dots, b_n – коэффициенты регрессии, характеризующие влияние каждого фактора на результативный показатель; b_0 – свободный член, представляет смешанную оценку.

Уравнение в общем виде можно записать как

$$y = b_0 + \sum b_i x_i. \quad (5)$$

При планировании эксперимента критерием оптимизации (y) была выбрана неоднородность получаемой смеси ($Q_k, \%$), независимыми переменными факторами (x) определены конструктивно-технические параметры пресс-экструдера: x_1 – диаметр отверстия головки D_r , мм; x_2 – шаг витка шнека $S_{ш}$, мм; x_3 – частота вращения шнека W_8 , об/мин. Вместе с тем были выбраны уровни и определены интервалы варьирования факторов (табл. 1).

Таблица 1

Факторы, влияющие на однородность смешивания

Факторы	Обозначение	Размерность	Варьирование			
			уровень			интервал
			-1	0	+1	
Диаметр отверстия головки D_r	x_1	мм	5	7	9	2
Шаг витка шнека $S_{ш}$	x_2	мм	8	10	12	2
Частота вращения шнека W	x_3	об/мин	52,0	57,4	62,8	5,4

Для сокращения количества опытов за счет не очень существенной при построении модели информации, но с сохранением свойств оптимального планирования была избрана полуреплика от ПФЭ 2^{3-1} , план которой (по [1]) представлен в табл. 2.

Таблица 2

План полуреплики от ПФЭ 2^{3-1} при исследовании процесса оптимизации однородности смешивания компонентов белково-минеральной кормовой добавки

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	\bar{y}	S^2
1	+	-	-	+	8,64	12,8	10,72	8,65
2	+	+	+	+	7,73	7,31	7,52	0,08
3	+	-	+	-	10,4	14,8	12,6	9,68
4	+	+	-	-	5,17	7,28	6,23	2,22
b_i	9,267	-2,329	0,792	-0,147	-	-	-	-

Примечание. Число повторностей опытов $n = 2$.

Эксперимент с двумя уровнями варьирования трех независимых переменных факторов проводился на базе отдела механизации животноводства и кормопроизводства ДальНИИМЭСХ с использованием лабораторного пресс-экструдера ХР-3 производительностью 25 кг/ч.

Обработка результатов эксперимента

Для обработки результатов эксперимента вычислялось среднее значение зависимой переменной \bar{y} по n повторным опытам, равное сумме всех n отдельных результатов, деленной на количество повторностей n , а также дисперсия S^2 – среднее значение квадрата отклонений величины от ее среднего значения.

Затем была проверена однородность выборочных дисперсий по критерию Фишера (F-критерий) – отношению большей дисперсии S_{\max}^2 к меньшей S_{\min}^2 – и по критерию Кохрена, представляющему собой отношение S_{\max}^2 к сумме всех дисперсий. Гипотеза об

однородности дисперсий подтвердилась, так как экспериментальные значения обоих критериев не превысили табличных значений, поэтому дисперсии были усреднены по формуле:

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_1^N \sum_1^n (y_{jq} - \bar{y}_1)^2}{N(n-1)} = 5,157, \quad (6)$$

что равнозначно дисперсии воспроизводимости эксперимента $S_{\text{воспр}}^2$.

Определение коэффициентов регрессии выполнялось методом наименьших квадратов, которым для любого числа факторов коэффициенты вычисляются по формуле:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{N}, \quad (7)$$

где $j = 0, 1, 2, \dots, k$ – номер фактора (ноль записан для вычисления b_0), N – число опытов.

Значимость коэффициентов проверена по критерию Стьюдента. С этой целью для всех коэффициентов уравнения составлялось отношение t_j :

$$t_j = \frac{|b_j|}{S_{\{b_j\}}}, \quad (8)$$

результат которого при сравнении с табличным $t_{1, \rho_{(f)}}$ для уровня значимости $p = 5\%$ и числа степеней свободы $f = N(m-1) = 3$ был больше, а значит, каждый коэффициент модели можно считать значимым.

После обработки экспериментальных данных уравнение регрессии – математическая модель процесса смешивания – приобрела окончательный вид:

$$\bar{y} = 9,27 - 2,33x_1 + 0,79x_2 - 0,15x_3.$$

Адекватность уравнения регрессии исследуемому процессу проверена и подтверждена по критерию Фишера.

Интерпретация модели, или перевод ее с абстрактного математического языка на обычный, важна не только для понимания процесса, но и для принятия решений при оптимизации.

Адекватная линейная модель, полученная в результате исследования, имеет вид полинома первой степени. Коэффициенты полинома являются частными производными функции отклика по соответствующим переменным. Большой по абсолютной величине коэффициент соответствует более существенному изменению параметра оптимизации при изменении данного фактора. О характере влияния факторов говорят и знаки коэффициентов. Знак «плюс» свидетельствует о том, что с увеличением значения фактора растет величина параметра оптимизации, а при знаке «минус» – убывает. Интерпретация знаков при оптимизации зависит от того, ищем ли мы максимум или минимум функции отклика. Оптимизация функции отклика, ее минимизация ($y \rightarrow \min$) в данном исследовании неоднородности смеси (Q_k , %), предполагает увеличение значений тех факторов, знаки коэффициентов которых отрицательны.

Наибольшее влияние на изменение параметра оптимизации – коэффициент неоднородности (Q_k) оказывают факторы с большими по абсолютной величине коэффициентами регрессии (b_0 – соотношение всех трех независимых переменных x_1, x_2, x_3 ; b_1 – диаметр отверстия x_1 ; b_2 – шаг витка шнека x_2). Увеличение отрицательных значений факторов (диаметр отверстия головки и частоты вращения шнека x_1, x_3) и уменьшение положительных (шаг витка шнека x_2) ведут к снижению неоднородности смешивания (Q_k).

Результат, полученный в процессе исследования, не всегда должен соответствовать результатам аналогичных экспериментов, повторяемых в других условиях, тем более с переносом технологического процесса на другое оборудование. Выполнение анализа одной и той же пробы вещества одним и тем же методом в разных лабораториях связано обычно

с большей ошибкой, чем ошибка воспроизводимости в одной лаборатории, по причинам различия исходного сырья, оборудования, разных навыков обслуживающего персонала. Воспроизводимость оптимального режима на другой установке подтверждается только результатами экспериментальной проверки, исходными для которой могут быть материалы данного исследования [1].

Заключение

Экспериментальные данные, использованные для получения математической модели процесса оптимизации однородности смешивания компонентов экструдата, демонстрирующей комплексное влияние наиболее значимых факторов на подконтрольные характеристики ожидаемой продукции и позволяющей обобщить материалы исследований, дать им статистическую оценку при значительном сокращении количества опытов, указывают пути снижения неоднородности смешивания ингредиентов при экструдировании минерально-обогащенного соевого зерна.

Установлено, что наибольшее влияние на изменение параметра оптимизации (коэффициента неоднородности смешивания Q_k) оказывают факторы с большими по абсолютной величине коэффициентами регрессии: b_1 – диаметр отверстия x_1 , b_2 – шаг витка шнека x_2 . Увеличение значений факторов, имеющих коэффициенты со знаком (-), как и уменьшение – со знаком (+), ведет к снижению неоднородности смешивания компонентов балансирующей кормовой добавки [7].

При этом оптимальными значениями параметров пресс-экструдера, которые обеспечивают получение минерально-обогащенной соевой кормовой добавки с требуемыми показателями качества, являются: частота вращения шнека пресса 52–53 об/мин⁻¹, шаг витка шнека 11–11,5 мм при значении диаметра отверстия формующей головки 7,0 мм. В данных пределах значение неоднородности получаемой композиции не превышает 4,1 %, а значение влажности корма при всех прочих равных условиях не превышает 10 %.

Данные результаты позволяют сделать предположение о возможном применении пресс-экструдеров различных типов и размеров для получения белково-минеральной кормовой добавки с заданными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.
2. Богина И. Соевые белки как источник аминокислот для животных // Корма и кормление. 1977. № 5. С. 19.
3. Кальницкий Б.Д. Система протеинового питания молочного скота // Зоотехния. 1990. № 3. С. 32–37.
4. Краснощекова Т.А. Использование зерна сои и отходов от ее переработки в кормлении сельскохозяйственных животных // Перспективы производства и переработки сои в Амурской области. Благовещенск, 1998. С. 89–92.
5. Лылык С.Н., Пустовой С.А., Кочегаров С.Н., Согорин С.А., Краснощекова Т.А. Влияние скармливания балансирующей кормовой добавки на рост молодняка крупного рогатого скота и молочную продуктивность коров // Зоотехния. 2011. № 1. С. 13–14
6. Пат. 2134993 Российская Федерация: МПК А23К1/00. Способ обработки полножирной сои / А.А. Панков, А.И. Петенко, О.А. Корочкин, С.А. Панков, Л.Д. Мищенко; заявитель и патентообладатель Научно-производственный комплекс «Нива». Заявка № 98105015/13; заявл. 30.03.98; опубл. 27.08.99. – <http://ru-patent.info/21/30-34/2134993.html> (дата обращения 17.04.2018).
7. Шишкин В.В., Михалев В.В., Шишкина Г.Ю. Влияние конструктивно-режимных параметров пресс-экструдера на оптимизацию однородности смешивания компонентов кормовой добавки // Вестн. ВНИИ механизации животноводства. 2015. № 4 (20). С.43–47.
8. Шишкин В.В., Михалев В.В., Шульженко Е.А., Шишкина Г.Ю. Производство белково-минеральной кормовой добавки в процессе экструдирования зерна сои // Главный зоотехник. 2015. № 9. С. 50–56.
9. Шишкин В.В., Литвиненко Н.В. Тепловая обработка сои при производстве кормовых добавок // Агротехнические и биологические исследования в сельскохозяйственном производстве Дальнего Востока / ВНИИ сои. Благовещенск, 2010. С. 125–127.