УДК 637.15

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-79-85

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА
ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА КОРМОВЫХ ДОБАВОК**¹Доровских Владимир Иванович¹Милушев Ринат Келимулович¹Шулаев Геннадий Михайлович¹Жариков Вадим Сергеевич

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Рецептура отечественных кормовых добавок осуществляется в основном на базе ранее разработанных и испытанных прототипов, при этом совершенствование рецептуры обогатительных добавок и комбикормов поиск лучших вариантов, расчёт качественных характеристик проводится на базе существующих компьютерных программ, например «Корм-Оптимизма». Основной недостаток такого подхода отсутствие оптимизации состава кормовых добавок по качеству и количеству входящих компонентов, что снижает эффективность их применения. В представленной работе предложен метод оценки их качества с использованием обобщенной функции желательности Харрингтона. В качестве примера был взят ранее испытанный бобово-глютеновый концентрат (БГК), который содержит дорогой и сравнительно дефицитный кукурузный глютен и усовершенствованный состав бобово-обогащённого концентрата (БОК) на основе сои и люпина, прошедших соответствующую обработку. Проведенные расчеты показали, что значения обобщенной функции желательности Харрингтона для добавок БОК и БГК находятся в диапазоне «хорошо». В итоге можно утверждать, что обогатительную добавку для комбикормов можно изготавливать без дефицитного, дорогостоящего кукурузного глютена, используя наиболее доступное сырьё бобовых культур (соя, люпин). Это обеспечивает сбалансированное кормление и высокую продуктивность молодняка свиней при меньших затратах денежных средств. Представленная методика позволяет: определять интегральный показатель качества кормовых добавок; оценивать результаты его применения; планировать и проводить более масштабные исследования, направленные на оптимизацию состава кормов и кормовых добавок.

Ключевые слова: животноводство, кормовые добавки, состав, качество, функция желательности.

**USING A GENERIC FUNCTION THE HARRINGTON'S DESIRABILITY
IN THE EVALUATION OF QUALITY OF FEED ADDITIVES**¹Dorovskikh Vladimir¹Milushev Rinat¹Shulaev Gennady¹Zharikov Vadim

¹FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. The formulation of domestic feed additives is carried out mainly on the basis of previously developed and tested prototypes, while improving the formulation of enrichment additives and compound feeds, the search for the best options, the calculation of qualitative characteristics is carried out on the basis of existing computer programs, such as "Optima-feed". The main disadvantage of this approach is the lack of optimization of the composition of feed additives in terms of quality and quantity of incoming components, which reduces the effectiveness of their use. A method for assessing their quality using the generalized Harrington desirability function is proposed in the presented paper. The previously tested bean-gluten concentrate (BGK), which contains expensive and relatively scarce corn gluten and an improved composition of bean-enriched concentrate (BOK) based on soy and lupine, which have undergone appropriate processing, was taken as an example. The calculations showed that the values of

the generalized Harrington desirability function for BOK and BGK additives are in the “good” range. As a result, it can be argued that an enrichment additive for compound feeds can be made without scarce, expensive corn gluten using the most available raw legume crops (soy, lupine). This provides balanced feeding and high productivity of young pigs at a lower cost of money. The presented technique allows you to: determine the integral indicator of the quality of feed additives; evaluate the results of its use; plan and conduct larger studies aimed at optimizing the composition of feed and feed additives.

Keywords: animal husbandry, feed additives, composition, quality, desirability function.

Введение. При переводе животноводства на промышленную основу в нашей стране с каждым годом возрастает потребность в высококачественных комбикормах, которые во многом определяют экономику производства продукции. Однако при их изготовлении преимущественно используются дорогие импортные обогатительные добавки и рыбная мука, что значительно увеличивает затраты на производство и применение. Поэтому сейчас большое научное и практическое значение представляет разработка технологии получения заменителей рыбной муки из более дешевого сырья.

В качестве сырьевых ресурсов используются мясная мука, дрожжи микробиологического синтеза, соя, люпин, семена льна, кукурузный глютен и другие компоненты. Разработка отечественных кормовых добавок осуществляется в основном на базе ранее разработанных и испытанных прототипов. При этом совершенствование рецептуры обогатительных добавок и комбикормов поиск лучших вариантов, расчёт качественных характеристик проводится на базе существующих компьютерных программ, например «Корм-Оптим».

Основным недостатком такого подхода является то, что не осуществляется оптимизация состава кормовых добавок по качеству и количеству входящих компонентов, что снижает эффективность их применения. В связи с этим предложен способ комплексной оценки качества кормовых добавок с использованием обобщенной функции желательности Харрингтона.

Материалы и методы. В качестве примера был взят ранее испытанный бобово-глютеновый концентрат (БГК), который содержит дорогой и сравнительно дефицитный кукурузный глютен и усовершенствованный состав бобово-обогащённого концентрата (БОК) на основе сои и люпина, прошедших соответствующую обработку [1-5].

Для проведения исследований по принципу аналогов было отобрано две группы молодняка свиней крупной белой породы по 10 голов в каждой.

По общепринятым методикам проводили зоотехнический анализ кормов.

Контрольная группа животных получала полнорационный комбикорм с ранее проверенной добавкой (БГК), а опытная – комбикорм такого же состава, но с БОК (усовершенствованный рецепт). В комбикормах эти добавки составляли 5 % по массе.

По результатам взвешивания молодняка рассчитан прирост живой массы в каждой группе и затраты кормов на продукцию (таблица 1).

Таблица 1 – Продуктивность молодняка свиней при использовании в комбикормах разных обогатительных добавок из бобовых культур

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Количество поросят, гол.	10	10
Живая масса опытных поросят, кг:		
при постановке	25,2±0,8	25,2±0,5
при снятии	75,0±2,7	75,5±2,0
Прирост живой массы, кг	49,80	50,30
Среднесуточный прирост, г	553±35	559±33
В % к контрольной группе	100,00	101,80
Затраты комбикорма на 1 кг прироста, кг	3,40	3,37
В % к контрольной группе	100,00	99,10

Исследования показали, что использование в составе комбикормов обогатительных добавок из бобовых (соя, люпин), а также в сочетании бобовых с кукурузным глютенем обеспечивает высокую продуктивность при выращивании молодняка свиней.

Комплексная оценка результатов эксперимента осуществлена на основе обобщенной функции желательности Харрингтона [6-8].

В основе построения этой обобщенной функции лежит идея преобразования натуральных значений частных откликов в безразмерную шкалу желательности или предпочтительности. Назначение шкалы желательности – установление соответствия между физическими и психологическими параметрами. Здесь под физическими параметрами понимаются возможные отклики, характеризующие функционирование исследуемого объекта, а под психологическими параметрами понимаются чисто субъективные оценки экспериментатора желательности (предпочтительности) того иного значения отклика. Чтобы получить шкалу желательности, удобно пользоваться готовой разработанной таблицей, представленной ниже.

Таблица 2 – Связь между количественными значениями безразмерной шкалы и психологическим восприятием человека

Желательность	Отметки на шкале желательности
Очень хорошо	1,00 – 0,80
Хорошо	0,80 – 0,63
Удовлетворительно	0,63 – 0,37
Плохо	0,37 – 0,20
Очень плохо	0,20 – 0,00

Значение частного отклика, переведенное в безразмерную шкалу желательности, обозначается через d_i ($i=1, 2, \dots, n$) и называется частной желательностью. Шкала желательности имеет интервал от нуля до единицы. Значение $d_i = 0$ соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного свойства, а значение $d_i = 1$ – самому лучшему значению свойства [3, 4].

В таблице 2 представлены числа, соответствующие некоторым точкам кривой, которая задается уравнением:

$$d = \exp[-\exp(-y)].$$

На оси ординат нанесены значения желательности, изменяющиеся от 0 до 1. По оси абсцисс указаны значения отклика, записанные в условном масштабе (рисунок 1).

Рисунок 1 – Шкала и функция желательности Харрингтона

Конкретные параметры сравниваемых кормовых добавок распределяются в масштабе, соответствующем предъявляемым к ним требованиям, на промежутке эффективных значений шкалы частных показателей. Затем соответствующие им показатели пересчитываются в отметки на шкале желательности. Полученное значение $d(i)$ для i -го параметра пересчитываются вместе с другими в обобщенный коэффициент желательности – D . Он вычисляется по формуле:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n},$$

где n – число используемых показателей параметров сравнения для данной системы.

Результаты и их обсуждение. Сравним кормовые добавки при помощи обобщенной функции желательности Харрингтона.

Таблица 3 – Значения показателей качества сравниваемых добавок

Наименование показателей	Коэффициент весомости, m_i	БОК	БГК
Протеин, %	0,5	37	41
Жир, %	0,2	13,7	13,5
Клетчатка, %	0,3	4,7	4,5

Коэффициент весомости m_i определяется экспертным путем.

Таблица 4 – Критерии оценок показателей

Градации качества	Протеин, %	Жир, %	Клетчатка, %
Отлично	41	14	4,0
Хорошо	35	12	4,5
Удовлетворительно	32	10	5,0
Плохо	30	8	5,5
Очень плохо	25	5	6,0

Для показателя протеин, по оценкам «отлично» и «удовлетворительно» соответствуют значения 41 и 32, подставляем значения в формулы и определяем коэффициенты:

$$\begin{cases} a_0 + 41a_1 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,8}} \\ a_0 + 32a_1 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,37}} \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} a_0 + 41a_1 = 1,51 \\ a_0 + 32a_1 = 0,01 \end{cases}$$

Решая систему уравнений получим: $a_0 = -5,18$; $a_1 = 0,17$.

Переводим значения размерных (натуральных) показателей в безразмерные при линейной зависимости по формуле:

$$y = -5,18 + 0,17x$$

Для показателя жир, по оценкам «отлично» и «удовлетворительно» соответствуют значения 14 и 10, подставляем значения в формулу:

$$\begin{cases} a_0 + 14a_1 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_1}} \\ a_0 + 10a_1 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_2}} \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} a_0 + 14a_1 = 1,51 \\ a_0 + 10a_1 = 0,01 \end{cases}$$

Решая систему уравнений получим: $a_0 = -3,74$; $a_1 = 0,375$.

Переводим значения размерных (натуральных) показателей в безразмерные при линейной зависимости по формуле:

$$y = -3,74 + 0,375x.$$

Для показателя клетчатка, по оценкам «отлично» и «удовлетворительно» соответствуют значения 4 и 5, подставляем значения в формулу (1):

$$\begin{cases} a_0 + 4a_1 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_1}} \\ a_0 + 5a_1 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_2}} \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} a_0 + 4a_1 = 1,51 \\ a_0 + 5a_1 = 0,01 \end{cases}$$

Решая систему уравнений получим: $a_0 = 7,51$; $a_1 = 1,5$.

Переводим значения размерных (натуральных) показателей в безразмерные при линейной зависимости:

$$y = 7,51 + 1,5x.$$

Находим значения безразмерного показателя y' для БОК:

$$\begin{aligned} y'_1 &= -5,18 + 0,17 \cdot 37 = 1,11 \\ y'_1 &= -3,74 + 0,375 \cdot 13,7 = 1,4 \\ y'_1 &= 7,51 + 1,5 \cdot 4,7 = 0,46 \end{aligned}$$

Находим значения безразмерного показателя y' для БГК:

$$\begin{aligned} y'_1 &= -5,18 + 0,17 \cdot 41 = 1,79 \\ y'_1 &= -3,74 + 0,375 \cdot 13,5 = 1,32 \\ y'_1 &= 7,51 + 1,5 \cdot 4,5 = 0,76 \end{aligned}$$

Рассчитываем частные показатели желательности.

Для БОК:

$$\begin{aligned} d_1 &= e^{-e^{-1,11}} = 0,719 \\ d_1 &= e^{-e^{-1,4}} = 0,781 \\ d_1 &= e^{-e^{-0,46}} = 0,53 \end{aligned}$$

Для БГК:

$$\begin{aligned} d_1 &= e^{-e^{-1,79}} = 0,846 \\ d_1 &= e^{-e^{-1,32}} = 0,766 \\ d_1 &= e^{-e^{-0,76}} = 0,626 \end{aligned}$$

В результате обобщения показатели желательности равны:

для БОК:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt[3]{0,719 \cdot 0,781 \cdot 0,53} = 0,649 \\ D' &= 0,719^{0,5} \cdot 0,718^{0,2} \cdot 0,53^{0,3} = 0,667 \end{aligned}$$

для БГК:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt[3]{0,846 \cdot 0,766 \cdot 0,626} = 0,740 \\ D' &= 0,846^{0,5} \cdot 0,766^{0,2} \cdot 0,626^{0,3} = 0,757 \end{aligned}$$

Таблица 5 – Сводная таблица функции желательности

Наименование	Натуральные значения откликов			Частные желательности			D	Оценка по шкале	D'	Оценка по шкале
	x_1	x_2	x_3	d_1	d_2	d_3				
БОК	37	13,7	4,7	0,719	0,781	0,530	0,649	хорошо	0,667	хорошо
БГК	41	13,5	4,5	0,846	0,766	0,626	0,740	хорошо	0,757	хорошо

С помощью функции желательности установили, что значения для добавок БОК и БГК находятся в диапазоне «хорошо» ($D = 0,649...740$). В итоге можно утверждать, что обогатительную добавку для комбикормов можно изготавливать без дефицитного, дорогостоящего кукурузного глютена, используя наиболее доступное сырьё бобовых культур (соя, люпин). Это обеспечивает сбалансированное кормление и высокую продуктивность молодняка свиней при меньших затратах денежных средств.

Заключение. Представленная методика позволяет:

- определять интегральный показатель качества кормовых добавок;
- оценивать результаты его применения;
- планировать и проводить более масштабные исследования направленные на оптимизацию состава кормов и кормовых добавок.

Список литературы

1. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Милушев Р.К. БВМК на основе сои и люпина // Комбикорма. – 2013. – № 11. – С. 77-78.
2. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Милушев Р.К. Усовершенствованная обогатительная добавка для комбикормов // Свиноводство – 2013. – № 8. – С.39-40.
3. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Милушев Р.К. Использование белка растительного происхождения и новых биологически активных веществ в обогатительной добавке для комбикормов // Научное обеспечение инновационного развития животноводства. Сб. Международной научно-практической конференции (24-25 октября 2013г.) Жодино. РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству». – 2013. – С. 353-354.
4. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Бетин А.Н., Милушев Р.К. Обогатительная добавка на основе растительного белка в комбикормах для поросят // Главный зоотехник. – 2014. – № 5. – С. 18-23.
5. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Бетин А.Н., Милушев Р.К. Концентрат из растительного белка – альтернатива рыбной муке // Свиноводство. – 2014. – №4. – С. 73-74.
6. Пичкалев А.В. Применение кривой желательности Харрингтона для сравнительного анализа автоматизированных систем контроля // Вестник КГТУ. Красноярск: КГТУ. – 1997. – С. 128–132.
7. Королева С.В. Практические аспекты использования функции желательности в медико-биологическом эксперименте // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5270>.
8. Казарян Р.В., Бородихин А.С., Лукьяненко М.В., Семенов М.П., Мирошниченко П.В., Кузьмина Е.В. Оптимизация соотношения биологически активных веществ и пробиотической микрофлоры в рецепте комплексного кормового концентрата // Научный журнал КубГАУ – 2019. – № 149. – С. 149-157.

References

1. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Milushev R.K. BVMK na osnove soi i ljupina // Kombikorma. – 2013. – № 11. – S. 77-78.
2. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Milushev R.K. Usovershenstvovannaja obogatitel'naja dobavka dlja kombikormov // Svinovodstvo – 2013. – № 8. – S.39-40.
3. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Milushev R.K. Ispol'zovanie belka rastitel'nogo proishozhdenija i novyh biologicheski aktivnyh veshhestv v obogatitel'noj dobavke dlja kombikormov // Nauchnoe obespechenie innovacionnogo razvitija zhivotnovodstva. Sb. Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (24-25 oktjabrja 2013g.) Zhodino. RUP «Nauchno-prakticheskij centr Nacional'noj akademii nauk Belarusi po zhivotnovodstvu». – 2013. – S. 353-354.
4. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Betin A.N., Milushev R.K. Obogatitel'naja dobavka na osnove rastitel'nogo belka v kombikormah dlja porosjat // Glavnyj zootehnik. – 2014. – № 5. – S. 18-23.
5. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Betin A.N., Milushev R.K. Koncentrat iz rastitel'nogo belka – al'ternativa rybnnoj muke // Svinovodstvo. – 2014. – №4. – S. 73-74.
6. Pichkalev A.V. Primenenie krivoj zhelatel'nosti Harringtona dlja sravnitel'nogo analiza avtomatizirovannyh sistem kontrolja // Vestnik KGTU. Krasnojarsk: KGTU. – 1997. – S. 128–132.
7. Koroleva S.V. Prakticheskie aspekty ispol'zovanija funkcii zhelatel'nosti v mediko-biologicheskom jeksperimente // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2011. – № 6. [Jelektronnyj resurs]: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5270>.

8. Kazarjan R.V., Borodihin A.S., Luk'janenko M.V., Semenenko M.P., Miroshnichenko P.V., Kuz'minova E.V. Optimizacija sootnoshenija biologicheskij aktivnyh veshhestv i probioticheskoj mikroflory v recepte kompleksnogo kormovogo koncentrata // Nauchnyj zhurnal KubGAU – 2019. – № 149. – S. 149-157.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Доровских Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

Милушев Ринат Келимулович – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: july1931@yandex.ru.

Шулаев Геннадий Михайлович – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: tnij@yandex.ru.

Жариков Вадим Сергеевич – инженер Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Dorovskikh Vladimir – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

Milushev Rinat – Full Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for the Use of Technics and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: july1931@yandex.ru.

Shulaev Gennady – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for the Use of Technics and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: tnij@yandex.ru.

Zharikov Vadim – engineer of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 30.04.2020 Принята к публикации (Accepted): 12.06.2020

УДК 621.521:637.116

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-85-97

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ И ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА И КОРПУСА ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ИЗ ПОЛИМЕРОВ

¹Воронин Николай Владимирович

¹Родионов Юрий Викторович

¹Скоморохова Анастасия Игоревна

¹Никитин Дмитрий Вячеславович

¹Галкин Павел Александрович

¹Филатов Иван Сергеевич

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»