

# ТЕХНОЛОГИЯ NIR и *in vivo* ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПШЕНИЦЕ

Э. БУРГЕЙЛ, компания Adisseo France SAS

А. ГРИММ, компания Adisseo GmbH

Д. БОБЕРСКИ, компания Adisseo Polska

С. РЫБНИКОВ, С. МОЛОСКИН, компания «Адиссео Евразия»

**ADISSEO**  
A Bluestar Company

Мягкая пшеница является не только основным компонентом комбикорма для моногастричных животных, но также считается знаком с наиболее вариабельными химическим составом и питательностью. Это объясняется рядом факторов, включая генотип, условия окружающей среды, степень зрелости во время сбора урожая, количество удобрений, внесенных в период роста культуры (Gutiérrez-Alamo и соавт., 2008; Rodehutschord и соавт., 2016). Учитывая вариабельность, при составлении рецептов комбикормов для птицы необходимо точно оценивать питательность пшеницы, поступающей на комбикормовый завод, чтобы оптимизировать ее использование в рационе с учетом соответствующих параметров.

Профиль питательных веществ для большого количества образцов пшеницы, собранных в рамках мониторинга в течение 2021 г., определялся лишь по калибровкам с помощью ближней инфракрасной спектроскопии (БИК-спектроскопия). Целью исследования было измерение вариабельности каждого прогнозируемого параметра и поиск параметров, наилучшим образом объясняющих такой разброс, с тем чтобы в дальнейшем различать образцы пшеницы в соответствии с их полным профилем питательности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы мягкой пшеницы урожая 2021 г. в количестве 136 шт. были предоставлены комбикормовыми заводами России и 14-ю европейских стран, включая Великобрита-

нию. Информация о происхождении пшеницы была обязательной для включения в исследование; знание ее сорта было необязательным.

Перед сканированием на одном и том же спектральном анализаторе (Foss NIRSTM DS2500) все образцы пшеницы измельчались до частиц размером 1 мм на лабораторной мельнице Retsch. При использовании заранее разработанных и валидированных моделей прогнозирования (PNE от Adisseo) для каждого образца была получена концентрация по 47 химическим параметрам и параметрам усвояемости. Химические включали сухое вещество (СВ), сырой протеин (СП), сырой жир, сырую золу, сырую клетчатку (СК), общее содержание незаменимых аминокислот (ТАА), общий и фитатный фосфор (ТР и РР), арабиноксилан (АХ) [растворимый АХ = общее содержание АХ – нерастворимый АХ]. Параметры усвояемости были следующие: стандартизированный коэффициент усвояемости аминокислот в подвздошной кишке (AA SID), полученный по результатам измерений на взрослых петухах, которых подвергнули кэктомии, и кажущаяся обменная энергия с поправкой или без поправки на азот (КОЭ и КОЭ<sub>N</sub>) — по результатам измерений на 22-дневных цыплятах.

Для статистического анализа данных использовалось программное обеспечение R (версия 4.1.1). Проведен многофакторный анализ с применением пакетов ПО Factoextra (версия 1.0.6) и FactoMineR (версия 2.4) для анализа главных компонент (PCA / Principal Component

Таблица 1. Содержание сырого протеина, г / 100 г СВ (статистика по странам происхождения пшеницы)

Показатель	Количество образцов пшеницы по странам, шт.						
	Всего	Франция	Польша	Великобритания	Испания	Литва	Австрия
	136	30	23	21	13	8	7
Минимальное значение	9,4	11,3	12,5	10,2	9,4	14,6	10,9
Максимальное значение	18,2	14,8	16,3	13,8	13,2	15,1	18,2
Среднее значение	13,2	12,9	14,4	12,0	11,5	14,9	15,7
Медиана	12,9	12,8	14,0	11,9	11,7	14,9	16,4
Статистическое отклонение	1,7	0,8	1,2	1,2	1,2	0,2	2,6
Коэффициент вариабельности	12,6	6,2	8,0	9,6	10,1	1,1	16,4

Analysis) и иерархического анализа по всем прогнозируемым параметрам.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Среднее содержание сухого вещества 87% для 136 образцов пшеницы варьировало в пределах 1,2% (минимальное значение 84,8% для образцов из Великобритании до максимального 91,2% для образцов из Испании). Оно отражает агрометеорологические условия во всех странах ЕС в мае—июне 2021 г. (согласно данным Eurostat). Затем результаты пересчитали на сухое вещество для возможности сравнения.

Из данных таблицы 1 видно, что среднее содержание сырого протеина находилось в диапазоне 12,6% для всех образцов со средним значением 13,2 г / 100 г на СВ, причем самые низкие средние значения наблюдались в образцах из Дании, Испании и Великобритании. Наибольшее среднее значение сырого протеина было в образцах из Польши, Литвы и России. Стоит отметить, что содержание протеина в пшенице во многом зависит от агрономических и климатических условий.

В совокупности образцы пшеницы продемонстрировали высокий уровень вариабельности по всем прогнозируемым параметрам. Значение коэффициента составило около 7% для ближайших значений, за исключением сырого протеина, общего и фитатного фосфора, арабиноксилана. Показание выше 10% было зарегистрировано для общего количества незаменимых аминокислот и около 1% для коэффициента усвояемости аминокислот. Индивидуальная

усвояемость аминокислоты вычислялась как общее ее содержание, умноженное на стандартизированный коэффициент усвояемости в подвздошной кишке. В исследуемых образцах коэффициент усвояемости аминокислот находился в диапазоне от 6% (для лизина) до 15,6% (для фенилаланина). В среднем величины КОЭ (3434 ккал / кг СВ) и КОЭ<sub>N</sub> (3305 ккал / кг СВ) варьировались на уровне 2%, что эквивалентно стандартному отклонению (68 ккал / кг СВ). Это может иметь значение при составлении рациона для бройлеров, поскольку пшеница в нем является одним из основных компонентов и источников энергии, а также важной составляющей его себестоимости.

На 80,5% параметры пшеницы после анализа PCA (измерение 1 + измерение 2) подтвердили свою изменчивость. ➔

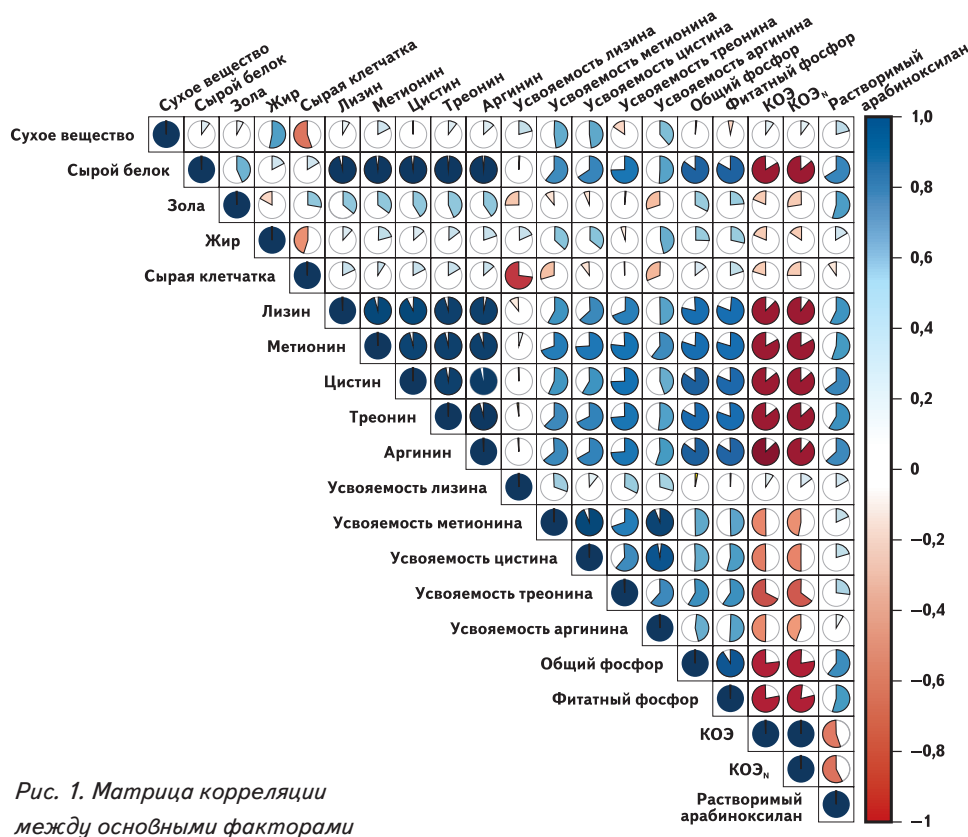


Рис. 1. Матрица корреляции между основными факторами

	Болгария	Чехия	Германия	Россия	Дания	Сербия	Молдавия	Нидерланды	Румыния
	7	7	7	5	3	2	1	1	1
	11,1	12,2	12,3	12,0	10,3	12,4	12,5	12,4	11,8
	12,5	15,8	13,7	16,7	11,9	12,8	12,5	12,4	11,8
	12,2	13,8	13,2	14,9	10,9	12,6	12,5	12,4	11,8
	12,4	13,1	13,2	14,9	10,5	12,6	12,5	12,4	11,8
	0,5	1,3	0,5	1,8	0,9	0,3	—	—	—
	4,3	9,5	4,0	12,3	8,1	2,3	—	—	—

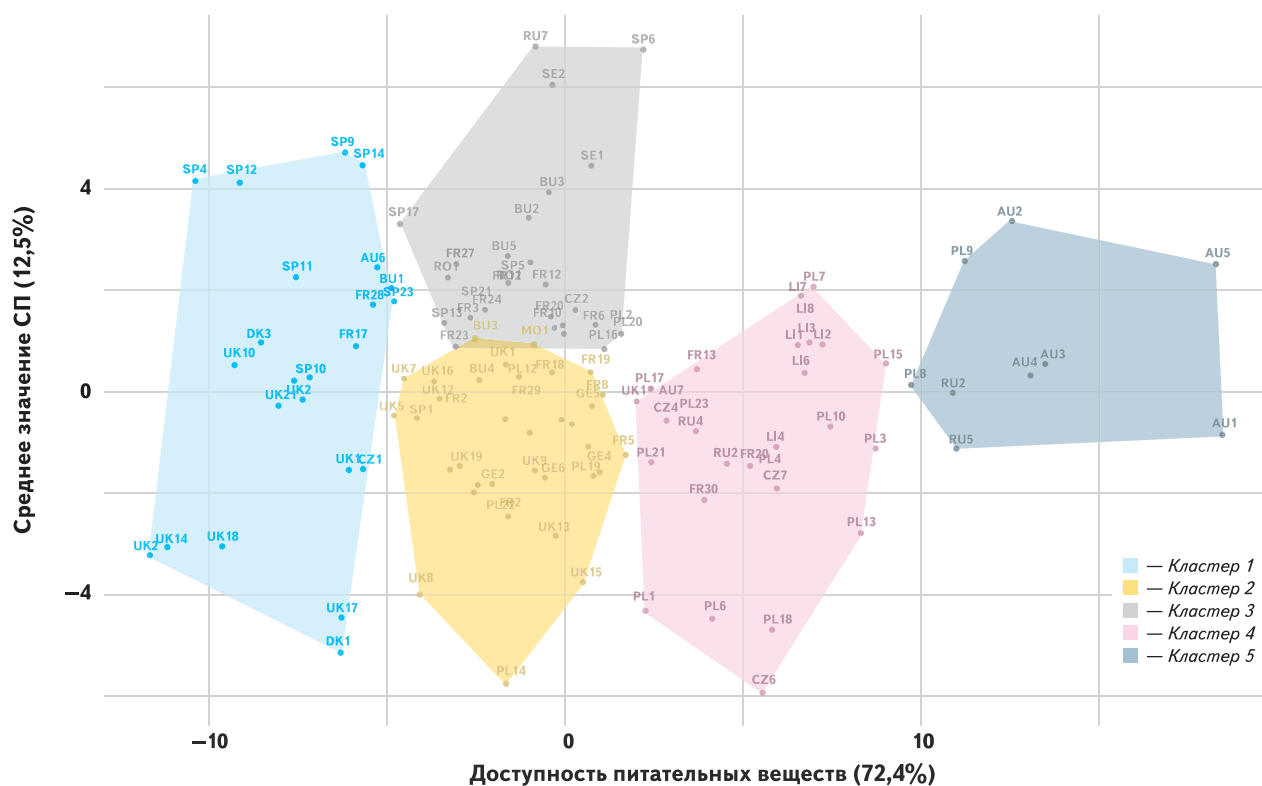


Рис. 2. PCA по 136 образцам пшеницы с представлением кластеров, полученных после иерархического анализа

КОЭ, КОЭ<sub>N</sub> и СП во взаимосвязи с общим содержанием АК и усваиваемых АК, а также с общим и фитатным фосфором оказались наиболее влияющими факторами (на 68,5%). Были определены факторы, в наименьшей мере влияющие на варибельность, — это зола, жир, общий и нерастворимый арабиноксилан, а также стандартизированный коэффициент усвояемости лизина. После исключения данных факторов показатель обеспеченности энергией и сырым протеином улучшился до значения 72,4%, что связано с общим содержанием аминокислот и содержанием усвояемых аминокислот, а также фосфора.

Энергия находилась в отрицательной зависимости от сырого протеина ( $R^2 = -0,86$ ). Все коэффициенты усвояемости аминокислот были тесно связаны между собой, за исключением лизина. Жир, зола, сырая клетчатка и арабиноксилан — слабые объясняющие факторы (12%). На рисунке 1 показана взаимосвязь между исследованными питательными веществами. Измерения выявили сильную отрицательную корреляцию между КОЭ, КОЭ<sub>N</sub> и всеми параметрами, связанными с протеином, такими как содержание аминокислот в сумме и усваиваемых; в меньшей степени по отношению к общему и фитатному фосфору, растворимому арабиноксилану. Интересно, что коэффициент усвояемости (SID) лизина оказался независимым от SID всех других аминокислот, которые связаны между собой и не предсказуемы.

Таблица 2. Распределение образцов пшеницы по кластерам и странам происхождения

Страна	Количество образцов, шт.	Кластер				
		1	2	3	4	5
FR Франция	30	2	15	10	3	—
PL Польша	23	—	6	3	12	2
UK Великобритания	21	8	12	—	1	—
SP Испания	13	7	1	5	—	—
LI Литва	8	—	—	—	8	—
AU Австрия	7	1	—	—	1	5
BU Болгария	7	1	2	4	—	—
CZ Чехия	7	1	2	1	3	—
GE Германия	7	—	6	—	1	—
RU Россия	5	—	—	1	2	2
DK Дания	3	3	—	—	—	—
SE Сербия	2	—	—	2	—	—
MO Молдавия	1	—	1	—	—	—
NL Нидерланды	1	—	1	—	—	—
RO Румыния	1	—	—	1	—	—
Всего	136	23	46	27	31	9

Для SID лизина измерения показали лишь отрицательную корреляцию с сырой клетчаткой ( $R = -0,72 / R^2 = 0,52$  — сырая клетчатка =  $15,22 - 0,15 \times \text{SID лизина}$ ).

По результатам иерархического анализа (в зависимости от PCA) все образцы пшеницы были разделены по питательной ценности на пять кластеров (табл. 2). В кластер 1 вошли 17% образцов от общего их количества, основными странами-поставщиками которых являются Великобритания, Испания и Дания. В него включены образцы с наиболее высоким уровнем КОЭ (3506 ккал/кг СВ) и самым низким содержанием сырого протеина, общего и фитатного фосфора, аминокислот (в сумме и усвояемых). В кластерах 2, 3 и 4 эти параметры имели промежуточные значения. В кластерах 2 и 3 в совокупности сосредоточено 54% образцов пшеницы. Основными странами-поставщиками для образцов кластера 2 были Франция, Великобритания и Германия, для кластера 3 — Франция, Испания, Болгария. В обоих кластерах у пшеницы одинаковый уровень питательных веществ при все еще высоком содержании обменной энергии, за исключением сухого вещества (в среднем 86,2% для кластера 2 и 87,8% для кластера 3). В кластер 4 входят 23% образцов от общего их количества. Они поступили в основном из Польши и Литвы. В кластере 5 всего 9 образцов (6% от общего числа) из Австрии, Польши и России. Этот кластер характеризуется самым низким уровнем обменной энергии (3275 ккал/кг СВ) и более высоким — сырого протеина, общего и фитатного фосфора, аминокислот (в сумме и усвояемых).

Страну происхождения в принципе невозможно точно определить по профилю питательных веществ пшеницы. Проявляется лишь тренд на пониженное (тенденция понижения) содержание обменной энергии в образцах зерна, поступившего из восточноевропейских стран. Ранее это было установлено на образцах пшеницы, собранной в 2009 и 2010 гг., при этом использовались калибровки БИК-спектроскопии в режиме *in vivo* (Gady и соавт., 2011). Анализ содержания растворимого арабиноксилана показал, что оно увеличивалось от кластера 1 к кластеру 5, так же как уровень сырого протеина. Но прежде чем делать какие-либо выводы по этому вопросу, необходимо провести более масштабные исследования образцов будущих урожаев мягкой пшеницы.

На рисунке 3 представлены данные о содержании обменной энергии, прогнозируемом для каждого кластера, которое сравнивалось со значением КОЭ<sub>N</sub>, рассчитанным по уравнению Всемирной научной ассоциации по птицеводству/WPSA (Janssen, 1989). Расчет энергии по приблизительным значениям не позволял как-либо различать кластеры образцов, в отличие от КОЭ и КОЭ<sub>N</sub>, прогнозируемых в режиме *in vivo*.

## ВЫВОДЫ

Проведенное исследование продемонстрировало, что содержание питательных веществ в пшенице сильно ва-

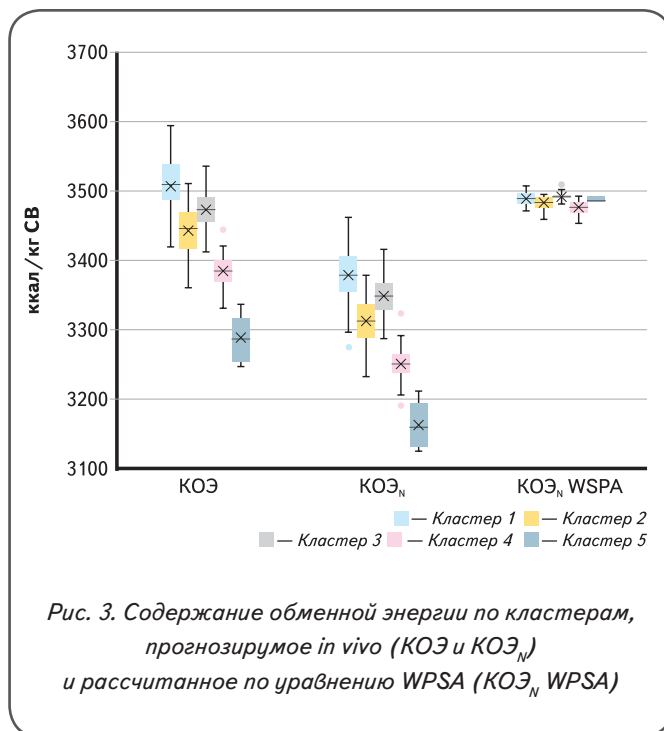


Рис. 3. Содержание обменной энергии по кластерам, прогнозируемое *in vivo* (КОЭ и КОЭ<sub>N</sub>) и рассчитанное по уравнению WPSA (КОЭ<sub>N</sub> WPSA)

рируется. Основными факторами, объясняющими эту вариабельность, являются обменная энергия и сырой протеин, а также общее количество незаменимых аминокислот, отрицательно связанные между собой. Для различия профилей питательных веществ пшеницы, независимо от страны происхождения, в исследовании эффективно использовались кажущаяся обменная энергия (КОЭ) и кажущаяся обменная энергия с поправкой на азот (КОЭ<sub>N</sub>), прогнозируемые в режиме *in vivo*. Проверку пшеницы на этот параметр с целью контроля ее качества, а также для оценки питательности готовой продукции можно проводить на комбикормовом заводе в рабочем порядке.

## Литература

- Gutiérrez-Alamo, A., Verstegen, M.W.A., Den Hartog, L.A., Pérez De Ayala, P., Villamide, M.J. Effect of wheat cultivar and enzyme addition to broiler chicken diets on nutrient digestibility, performance, and apparent metabolizable energy content // *Poult. Sci.* 87. — 2008. — P. 759–767.
- Rodehutsord, M., Rückert, C., Maurer, H.P., Schenkel, H., Schipprack, W., Bach Knudsen, K.E., Schollenberger, M., Laux, M., Eklund, M., Siegert, W., Mosenthin, R. Variation in chemical composition and physical characteristics of cereal grains from different genotypes // *Arch. Anim. Nutr.* 70. — 2016. — P. 87–107.
- Gady, C., Laïtem, Y., Relandeau, C. and Dalibard, P. Near Infrared applied to mapping amino acid and energy digestibility of wheats collected from European countries // 18th ESPN, Oct 31–Nov 04, 2011 — Cesme-Ismir, Turkey.
- Janssen, W.M.M.A. European Table of Energy Values for Poultry Feedstuffs, 3rd ed.; Subcommittee Energy of the Working Group nr. 2 Nutrition of the European Federation of Branches of the WPSA: Beekbergen, The Netherlands, 1989. ■