

УДК 636.4.033.085.25.087.74

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2025.4.139-144.

**ИСТИННАЯ ИЛЕАЛЬНАЯ ПЕРЕВАРИМОСТЬ АМИНОКИСЛОТ
У СВИНЕЙ: МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСРЕДНЁННЫЕ
ДАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Ниязов Н.С.-А.

*ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных – филиал ФИЦ
животноводства – ВИЖ им. Л.К. Эрнста, Боровск Калужской области,
Российская Федерация*

Анализ содержания аминокислот в кормах для сельскохозяйственных животных имеет большое научное и практическое значение. Это необходимо для получения актуальных данных о химическом составе кормов, уточнения норм кормления и сбалансированности рационов животных по содержанию аминокислот и протеина с учётом продуктивности животных. При составлении рационов, сбалансированных по незаменимым аминокислотам, для свиней в международной практике используются данные, полученные при оценке стандартизированной (доступной, «истинной») доступности аминокислот для усвоения в тонком кишечнике с использованием Т-образной канюли, установленной на расстоянии 7–10 см от илеоцекального сфинктера. Поступление эндогенной аминокислоты в тонкий кишечник определяли с использованием инертного метчика (окиси хрома). Приведены алгоритма расчёта показателей истинной илеальной переваримости аминокислот. Рационы, учитывающие количество доступных аминокислот, позволяют более полно удовлетворять потребности организма в аминокислотах, эффективнее использовать корма и минимизировать потери азота без снижения продуктивных качеств. В то же время, учитывая сложность проблемы, требуется продолжение исследований для выявления источников вариабельности и совершенствования методов определения истинной усвояемости аминокислот.

Ключевые слова: свиньи, Т-образная канюля, эндогенные аминокислоты, илеальная переваримость аминокислот.

Проблемы биологии продуктивных животных. 2025. 4: 139-144.

С выяснением химической природы белка и его роли в питании животных стало очевидным, что белки неодинаковы по своей питательной ценности, и их различия обусловлены, прежде всего, аминокислотным составом. Взаимодействие аминокислот в процессе переваривания кормов и их метаболизм – один из важнейших аспектов протеинового питания животных, сравнительно недостаточно изученный и слабо учитываемый в практике кормления животных, в том числе моногастричных. Важнейшим фактором, влияющим на эффективность использования белка, является уровень и состав незаменимых аминокислот, поступающих в кишечник (Stein et al., 2001; Рядчиков, 2013).

Сбалансированность рационов по аминокислотам с учётом их доступности для всасывания/усвоения позволяет полнее удовлетворять потребность организма в аминокислотах, рациональнее использовать корма, более объективно оценивать новые кормовые продукты и способы подготовки кормов к скармливанию. В последние годы всё большее распространение получает стандартизация аминокислот с учетом их доступности, а не только валового содержания.

Имеется большое количество данных, свидетельствующих о том, что более точную оценку усвоения белка и всасывания аминокислот обеспечивают величины не фекальной, а илеальной переваримости аминокислот (Головко, 1999; Mosenthin et al., 2000; Fan, Sauer, 2002; Рядчиков, 2007; Stein et al., 2007; Ниязов, 2021; Cotten et al., 2016; Lagos, Stein, 2017).

Определение доступности аминокислот традиционным «фекальным» методом (корм – кал) не позволяет получить фактические её показатели из-за существенного изменения качественного и количественного состава азотсодержащих веществ под воздействием микроорганизмов, населяющих толстый кишечник. Поэтому используется метод определения доступности аминокислот по разнице их, потреблённых с кормом, и количественно идентифицированных в непереваренных остатках содержимого на уровне терминальной части подвздошной кишки – илеума (*ileum*). В этом участке, граничащем с толстым кишечником, уже не происходит переваривание белка, поскольку оно завершилось раньше в тощей кишке.

Истинная доступность аминокислоты корма – это доступность, скорректированная с учётом количественно идентифицированных эндогенных её потоков на уровне терминального илеума. Источниками эндогенного азота являются пищеварительные соки, мукоза, десквамированный эпителий желудочно-кишечного тракта, альбумины, глобулины и свободные аминокислоты плазмы, активно участвующие в системе кишечного гомеостаза. Количество обменного протеина в тонком кишечнике у свиней определяется методом перевода на низкобелковую диету с практически стопроцентной переваримостью. Примерный состав низкобелкового рациона (%): казеин – 8,0, кукурузный крахмал – 79,7, сахарный песок – 3,0, масло растительное – 3,0, целлюлоза – 3,0, поваренная соль – 0,4, дикальцийфосфат – 1,4, известковая мука – 0,5, окись хрома – 0,5 и премикс – 0,5.

Эндогенные потери аминокислот в подвздошной кишке представляют собой аминокислоты, присутствующие в эндогенно синтезированных белках, секретируемых в просвет кишечника свиньи, которые не были переварены и реабсорбированы до достижения дистального отдела подвздошной кишки. Бактериальный белок, хотя и не является строго эндогенным белком, иногда включают в эндогенный белок в подвздошной кишке. У свиней IAAend может значительно варьировать и может составлять более 50% общего оттока аминокислот из подвздошной кишки (Souffrant, 1991). Потери аминокислот можно разделить на базальные и специфические. Базальные потери представляют собой минимальное количество АК, неизбежно теряемое животным. Эти потери считаются связанными с физическим потоком сухого вещества корма через пищеварительный тракт или метаболическим состоянием животных, и в этом смысле не зависят от состава рациона.

Поскольку аминокислоты всасываются только из тонкого кишечника, а также из-за влияния ферментации в толстой кишке на метаболизм аминокислот, усвояемость в подвздошной кишке является более точной оценкой биодоступности аминокислот, чем общая усвояемость в ЖКТ. Наблюдаемые значения усвояемости следует выражать как кажущиеся, стандартизированные или истинные значения усвояемости аминокислот, в зависимости от того, как эндогенные потери аминокислот в кишечнике учитываются при оценке усвояемости.

Все показатели усвояемости аминокислот основаны на исчезновении АК из пищеварительного тракта, и эти показатели не отражают чистый распад или синтез аминокислот в просвете кишечника или форму, в которой аминокислоты всасываются. В частности, в термообработанных ингредиентах корма некоторые аминокислоты, такие как лизин, могут присутствовать в химических формах, таких как продукты реакции Майяра, которые могут всасываться, но исключают использование для синтеза белка (Carpenter, 1960; Moughan, Rutherford, 1996). В этом случае рассчитанная усвояемость превышает биодоступность аминокислот.

Ход операции. Для проведения хирургической операции поросят выдерживают на голодной диете и в последующим им внутримышечно вводится препараты золетил 100, 6,6 мг/кг

+ ксилазин 2% – 1,8 мг/кг живой массы. Глубина наркотического состояния регулируется дополнительным внутривенным введением золетила 100 во время проведения оперативных манипуляций в дозе не более 1/3-1/2 от первоначальной с учётом времени пробуждения поросят. Операция с наложением Т-образной канюли на подвздошной кишке проводится по методу проф. Алиева (Алиев, 1998).

Отбор образцов кала проводится в течение учётного периода методом пятипроцентных аликвот, а содержимого подвздошной кишки – в течение трёх суток по 8 часов. Содержимое подвздошной кишки отбирают с использованием резиновых контейнеров, прикреплённых к фистуле, и переносят в пластиковые флаконы. Содержимое подвздошной кишки хранят в морозильной камере при температуре от -15 до -20°C. Затем эти пробы объединяют, гомогенизируют и для анализа отбирают аликвоту в объёме 5% содержимого. В кормах, химусе и кале определяет содержание сухого вещества, сырого протеина по азоту (по Кьельдалю) на приборе Кьельтек (Velp, Италия), общих аминокислот – методом ионообменной хроматографии на аминокислотном анализаторе (Кальницкий Б.Д. Методы биохимического анализа: справочное пособие. Боровск, 1997) и хрома – йодометрическим методом (Харитонов, 1998).

Расчёт переваримости.

Величины «кажущейся» илеальной переваримости (**AID**, apparent intestinal digestibility, поступление аминокислоты в тонкий кишечник в доступной для усвоения форме) определяются по относительной разнице между количеством аминокислоты, попавшей в организм с кормом, и выведением её из ПК, ур. 1)

$$\text{AID, \%} = [(\text{AA intake} - \text{Ileal AA outflow}) / \text{AA intake}] \times 100, \quad 1)$$

где AA intake – поступление аминокислоты с кормом; Ileal AA outflow – выведение (отток) аминокислоты из подвздошной кишки. Отток аминокислоты из ПК можно определить в опытах на животных с илеоцекальным анастомозом. Другой, менее инвазивный метод оценки переваримости предусматривает наложение Т-образной канюли на дистальном участке подвздошной кишки. Однако, в отличие от илеоректального анастомоза, который позволяет количественно собрать СПК, в этом методе собирается только часть оттока из ПК. Поэтому необходимо включение в корм непереваримого маркера (двуокиси титана или окиси хрома). Показано, что оптимальная дозировка окиси хрома составляет 5 г на кг корма. Отток аминокислоты из ПК можно также приближённо оценить расчётным методом – умножением объёма СПК, концентрации в СПК аминокислоты и относительной скорости эвакуации СПК.

При использовании инертного метчика расчёт AID проводится по концентрациям АК в химусе (AA_{digest}) и корме (AA_{diet}) и метчика в химусе (M_{diet}) и в корме (M_{digest}) на дистальном участке ПК:

$$\text{AID, \%} = [1 - (\text{AA}_{\text{digest}} / \text{AA}_{\text{diet}}) \times (\text{M}_{\text{diet}} / \text{M}_{\text{digest}})] \times 100 \quad 2)$$

Илеальные эндогенные потери (**IAA_{end}**) представляют собой количество АК, поступающих в дистальный илеум в составе эндогенно синтезированного белка, которые не перевариваются и выводятся с калом. Величины IAA_{end} варьируются, могут достигать 50% от общего оттока АК из ПК. Базальные (неспецифические, не зависящие от диеты) потери АК представляют собой минимальное количество АК, неизбежно теряемое организмом животного.

Величины базальных IAA_{end} оцениваются при содержании поросят на безбелковой (или 5% казеина) диете (мг/кг СВ).с использованием инертного метчика и рассчитываются по ур 3:

$$\text{IAA}_{\text{end}} = \text{AA}_{\text{digesta}} \times (\text{M}_{\text{diet}} / \text{M}_{\text{digesta}}) \quad 3)$$

«Истинная» илеальная переваримость (**TID** – true ileal digestibility) представляет собой долю поступивших с кормом АК, которые исчезают из пищеварительного тракта, не достигая дистального участка ПК. Эта величина отличается от AID тем, что из оттока ПК (ileal AA outflow) вычитается величина общих (базальных + специфических, зависящих от диеты) илеальных эндогенных потерь (IAA_{end}) по ур. 4 или 5:

$$\text{TID, \%} = \{[\text{AA intake} - (\text{ileal AA outflow} - \text{total IAA}_{\text{end}})]/\text{AA intake}\} \times 100 \quad 4)$$

$$\text{TID, \%} = \text{AID} + [(\text{total IAA}_{\text{end}}/\text{AA}_{\text{diet}}) \times 100] \quad 5)$$

При расчёте стандартизированной илеальной переваримости (**SID**) из общего оттока АК из ПК вычитаются только базальные эндогенные потери по ур. 6 или 7:

$$\text{SID, \%} = \{[\text{AA intake} - (\text{ileal AA outflow} - \text{basal IAA}_{\text{end}})]/\text{AA intake}\} \times 100 \quad 6)$$

$$\text{SID, \%} = \text{AID} + [(\text{basal IAA}_{\text{end}}/\text{AA}_{\text{diet}}) \times 100] \quad 7)$$

В практике кормления свиней могут быть использованы усреднённые показатели истинной илеальной переваримости кормов, оцененные в исследованиях в период 1998-2011 г.г. (Рядчиков, 2013; Ниязов, 2021; Mosenthinet et al., 2000). По лизину для разных кормов, эти величины могут варьировать в интервале (%) 50-90, по метионину – 65-92, по лейцину – 70-96 (табл. 1).

Таблица 1. Усреднённые показатели истинной илеальной переваримости аминокислот для свиней (%)

Корма	СП	Лиз.	Мет	Цист	Трипт	Треон	Изоле	Лей	Аргин	Гист	Фен	Тир	Вал
Кукуруза	86	85	86	78	87	84	88	96	95	92	91	91	86
Овес	76	70	79	69	72	59	74	78	85	81	81	76	73
Пшен. озимая	88	93	85	89	66	84	87	86	89	86	85	84	88
Пшен. яровая	88	85	79	85	76	86	85	87	92	84	90	84	83
Ячмень озим..	80	85	79	79	76	86	85	87	92	84	90	88	83
Ячмень яровая	79	85	80	76	76	86	85	87	92	84	90	84	83
Тритикале	87	76	85	83	74	69	80	82	85	84	84	81	79
Горох	80	84	78	68	70	73	79	80	87	83	81	83	76
Отруб. пшеч.	72	69	76	70	65	60	69	71	83	76	76	75	70
Пив. дробина	69	69	74	67	73	70	81	73	81	70	81	91	73
Кукур. глютен	69	66	79	53	47	57	68	81	79	69	80	80	63
Подсол. жмых	80	87	78	78	84	90	90	83	91	97	86	84	89
Подсол. шрот	81	74	87	74	76	71	78	77	89	79	80	77	75
Соя полножировая	78	82	79	71	88	79	78	79	88	84	81	82	78
Соя полножир. экстр.	78	85	84	87	81	83	84	86	89	85	87	85	86
Соевый жмых	87	68	75	73	55	58	75	75	78	68	68	69	73
Соевый шрот	89	85	86	79	81	78	84	84	90	86	84	85	81
Мука люцер.	60	59	76	35	46	75	70	73	-	80	72	69	68
Молоко сухое	90	91	92	81	90	85	86	93	89	93	93	94	87
Мясо-костная мука 55 СП	81	83	85	55	73	79	82	82	88	82	83	79	79
Рыбная мука	89	89	88	73	79	85	87	88	90	86	85	86	85
Кровяная мука	82	91	85	81	88	86	71	91	91	92	90	88	90
Мука перьевая гидролизная	77	54	65	71	63	74	81	80	81	56	82	73	80
Дрожжи пивные	59	3,22	0,74	0,5	0,56	2,2	2,15	3,13	2,2	1,09	1,83	1,55	2,39

Примечание: источники информации (Рядчиков, 2013; Ниязов, 2021; Mosenthinet et al., 2000)

Результаты ранее проведенных исследований свидетельствуют о том, что показатели истинной илеальной доступности аминокислот корма для всасывания в тонком кишечнике, определяемые с учётом поступления эндогенных аминокислот, является более объективным критерием оценки качества протеина кормов, по сравнению с традиционной оценкой «фекальной переваримости». В то же время, учитывая сложность проблемы, требуется продолжение исследований для выявления источников варибельности и совершенствования методов определения «истинной» переваримости аминокислот.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки № 124020200032-4.

Список литературы

1. Алиев А.А. Экспериментальная хирургия. М.: НИЦ Инженер, 1998. 445 с.
2. Головки Е. Н. Оценка эндогенных поступлений аминокислот в терминальном илеуме у растущих свиней методом перевода на низкобелковую диету. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2009. № 2. С. 70-77.
3. Ниязов Н.С.-А. Комбикорма для растущих свиней с разными уровнями сырого протеина и истинной доступности аминокислот для всасывания в кишечнике. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2021. № 3. С. 69-81. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.3.69-81
4. Рядчиков В.Г. Потребность растущих свиней в переваримых аминокислотах. // Животноводство России. 2007. № 11. С. 21-24.
5. Рядчиков В.Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных. Краснодар: КГАУ, 2013. 616 с.
6. Харитонов Е.Л. Использование инертных индикаторов для изучения процессов пищеварения. // В кн.: Методы исследований питания сельскохозяйственных животных. Боровск: ВНИИФБиП, 1998. С. 47-52
7. Carpenter K.J. The estimation of the available lysine in animal-protein foods. // Biochem. J. 1960. Vol. 77. P. 604-612.
8. Cotten B., Ragland D., Thomson J. E., Adeola O. Amino acid digestibility of plant protein feed ingredients for growing pigs. // J. Anim. Sci. 2016. Vol. 94. nr 3. P. 1073-1082.
9. Fan M. Z., Sauer W. C. Determination of true ileal amino acid digestibility and the endogenous amino acid outputs associated with barley samples for growing-finishing pigs by the regression analysis technique. // J. Anim. Sci. 2002. Vol. 80. P. 1593-1605.
10. Lagos L.V., Stein H.H. Chemical composition and amino acid digestibility of soybean meal produced in the United States, China, Argentina, Brazil, or India. // J. Anim. Sci. 2017. Vol. 95. P. 93-103.
11. Mosenthin R., Sauer W.C., Blank R., Huisman J., Fan M.Z. The concept of digestible amino acids in diet formulation for pigs. // Livest. Prod. Sci. 2000. Vol. 64. P. 265-280.
12. Moughan P.J., Rutherford S.M. A new method for determining digestible reactive lysine in foods. // J. Agric. Food Chem. 1996. Vol. 44. P. 2202-2209.
13. Souffrant W.B. 1991. Endogenous nitrogen losses during digestion in pigs. // Digestive Physiology in Pigs. Proc.5th Intl. Symp. (M.W.A. Verstegen, J. Huisman, L.A. den Hartog, eds). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands. P. 147-166.
14. Stein H.H., Kim S.W., Nielsen T.T., Easter R.A. Standardized ileal protein and amino acid digestibility by growing pigs and sows. // J. Anim. Sci. 2001. Vol. 79. P. 2113-2122.
15. Stein H.H., Seve B., Fuller M.F., Moughan P.J., De Lange C.F. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. // J. Anim. Sci. 2007. Vol. 85. P. 172-180.

References (for publications in Russian)

1. Aliyev A.A. *Ekspperimental'naya khirurgiya* (Experimental surgery). Moscow: Research Center Engineer, 1998. 445 pp.
2. Golovko E. N. [Evaluation of endogenous amino acid intake in the terminal ileum of growing pigs by transferring to a low-protein diet]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* (Productive animal biology). 2009. 2: 70-77.
3. Niyazov N.S.-A. [Compound feed for growing pigs with different levels of crude protein and true availability of amino acids for intestinal absorption]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* (Productive animal biology). 2021. 3: 69-81. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.3.69-81

4. Ryadchikov V.G. [Needs of growing pigs for digestible amino acids]. *Zhivotnovodstvo Rossii* (Animal Husbandry of Russia). 2007. 11: 21-24.
5. Ryadchikov V.G. *Osnovy pitaniya i kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Fundamentals of nutrition and feeding of farm animals). Krasnodar: KGAU, 2013. 616 pp.
6. Kharitonov E.L. [Use of inert indicators for studying digestion processes]. In: *Metody issledovaniya pitaniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Methods of research into the nutrition of farm animals). Borovsk: VNIIFBiP. 1998. P. 47-52.

UDC 636.4.033.085.25.087.74

**True ileal digestibility of amino acids in pigs: methods of determination
and averaged research data**

Niyazov N.S.-A.

*Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition, branch the Federal
Research Center of Animal Husbandry, Ernst VIZh, Borovsk, Kaluga oblast,
Russian Federation*

ABSTRACT. Determining the amino acid content in livestock feed is of great scientific and practical importance. This is necessary for obtaining up-to-date data on the chemical composition of feed, clarifying feeding standards, and balancing animal diets for amino acid and protein content, taking into account animal productivity. When formulating diets balanced for essential amino acids for pigs, international practice utilizes data obtained by assessing the standardized (available, "true") availability of amino acids for digestion in the small intestine using a T-shaped cannula placed 7-10 cm from the ileocecal sphincter. Endogenous amino acid intake into the small intestine has been using an inert marker (chromium oxide). An algorithm for calculating these parameters is provided. Diets that take into account the amount of available amino acids allow for more complete satisfaction of the body's amino acid requirements, more efficient use of feed, and minimization of nitrogen loss without compromising performance. However, given the complexity of the problem, continued research is needed to identify sources of variability and improve methods for determining true amino acid digestibility.

Keywords: pigs, ileocecal cannula, endogenous amino acids, true amino acid digestibility.

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh (Productive Animal Biology). 2025. 4: 139-144.

Поступило в редакцию: 22.05.2025 .

Получено после доработки: 18.11.2025

Сведения об авторах:

Ниязов Нияз Саид – Алиевич, д.б.н., г.н.с., зав. лаб.