

УДК 636.4.085.13.25

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.1.101-111

КАЖУЩАЯСЯ И ИСТИННАЯ ИЛЕАЛЬНАЯ ДОСТУПНОСТЬ АМИНОКИСЛОТ ЗЕРНА ЗЛАКОВЫХ КОРМОВ У РАСТУЩИХ СВИНЕЙ

Ниязов Н.С.-А.

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

Цель работы – оценка содержания общих аминокислот и их фекальная, илеальная и истинная (с учетом эндогенных поступлений аминокислот) доступность в зерне злаковых кормов. Опыты проведены на поросятах в возрасте 2-4 мес. с использованием Т-образной канюли, наложенной в нижнем участке подвздошной кишки. Установлено, что по содержанию общих аминокислот в зерновых кормах первой лимитирующей аминокислотой является лизин (скор 32,9-48,1%), второй - треонин (скор 59,2-67,2%), третьей для ячменя – изолейцин, для тритикале – валин, для кукурузы – метионин+цистин, изолейцин и валин. Оцененные значения истинной илеальной доступности (ИИД) аминокислот зерна для пшеницы, ячменя, тритикале и кукурузы составили: лизин (Lys) – 86,7, 85,2, 84,5 и 85,5%, треонин(Thr) - 84,5, 86,5, 82,4, и 84,2%, метионин (Met) – 85,9, 80,7, 85,1 и 86,1%, цистин(Cys) – 89,2, 76,8, 83,6 и 78,7%, лейцин (Leu) – 86,2, 87,6, 82,5 и 87,6%, изолейцин (Ile) – 87,8, 85,5, 80,7 и 88,0%, валин (Val) – 88,3, 83,8, 82,2 и 86,1%, фенилаланин (Phe) – 85,4, 86,1, 85,3 и 91,2%, гистидин (His) – 86,6, 84,5, 84,0 и 92,2%, аргинин (Arg) – 89,8, 92,2, 85,1 и 95,1%; ИИД сырого протеина – 88,1, 80,3, 86,5 и 86,0% соответственно. По отношению к идеальному протеину, аминокислотный скор доступных лимитирующих аминокислот у зерна злаков более низкий; для первой лимитирующей кислоты, лизина – 28,1-40,9%, для второй – треонина 47,2-57,9%, третья лимитирующая аминокислота для пшеницы – лейцин, для ячменя, тритикале и кукурузы – изолейцин. Лимитирующие аминокислоты четвертого порядка имеют довольно высокое соответствие стандарту – 66,1-76,9%. Полученные оценки истинной илеальной доступности аминокислот кормовых компонентов следует использовать при разработке полнорационных комбикормов для свиней. Для определения кажущейся переваримости питательных веществ кормов и рационов можно использовать метод мобильных нейлоновых мешочков.

Ключевые слова: растущие свиньи, зерно злаков, незаменимые аминокислоты доступность для усвоения, аминокислотный скор

Проблемы биологии продуктивных животных, 2021, 1: 101-111

Введение

Выяснение оптимальных соотношений аминокислот при переваривании корма и их использования в процессах метаболизма является одним из важнейших аспектов аминокислотного и протеинового питания животных. В животноводстве биологическую ценность кормового протеина часто определяют по количеству азота, отложенного в теле, в процентах от переваримого, то есть учитывают азот, использованный на поддержание жизни, прирост массы и образование продукции. Биологическая ценность протеина зависит от аминокислотного состава, а также от доступности и усвояемости аминокислот. Доступность протеина и аминокислот зависит от переваримости питательных веществ, содержания в кормах инактивирующих веществ (например, ингибиторов трипсина в бобовых), тепловой обработки, процессов заготовки и приготовления к скармливанию, условий хранения (Рядчиков и др., 2000, 2010).

Важно различать понятия переваримых и доступных аминокислот. По определению, кажущаяся доступность аминокислоты вычисляется как процентная доля всосавшейся аминокислоты от её поступления с кормом, т.е. за вычетом того количества, которое эвакуируется в составе химуса или кала. Использование термина "кажущаяся" подразумевает, что в этих расчётах

не внесено поправок на эндогенные источники поступления аминокислот. С другой стороны, доступность определяется как процентная доля аминокислоты корма, которая всасывается в доступной для использования форме (Mosenthin et al., 2000; Stein et al., 2007).

При организации полноценного кормления в структуре рационов для свиней используется зерно злаковых культур. Ячмень является основным сырьём для производства комбикормов. В зерне ячменя содержится до 12% протеина, 2,4% жира, 5,5% клетчатки, 61,6% БЭВ и 2,7% золы. Свиньи всех возрастов охотно поедают ячмень, и его можно вводить в состав комбикормов до 60% по массе для свиноматок и до 80% для откормочных свиней. По содержанию переваримой энергии пшеница превосходит ячмень и овёс, почти не уступает кукурузе и богаче этих культур протеином. Кукуруза богата энергией, но бедна протеином, её можно включать в рационы в количестве 60-80%. Помимо низкого содержания белка, к недостаткам кукурузы относится и более низкая его пищевая ценность: 50-55% белков представлено зеином – группой низкоценных белков, 30% составляют глютелины, 15% – водорастворимые альбумины и лишь 15% – глобулины – белки с полноценным аминокислотным составом. Зерно тритикале по содержанию переваримой и обменной энергии близко к кукурузе, пшенице и превосходит ячмень и овёс. Переваримость энергии тритикале равна 85,5%, пшеницы – 85,8%, ячменя – 84,5% и ржи – 80,2% при содержании обменной энергии соответственно 14,5, 14,6, 14,5, 13,7 МДж/кг (Рядчиков 2013).

Имеется большое количество научных данных, свидетельствующих о том, что более точную оценку усвоения белка и всасывания аминокислот обеспечивают не фекальные, а илеальные величины переваримости аминокислот (Головко, 1999; Fan, Sauer, 2002; Омаров, 2016; Cotten et al., 2016; Lagos, Stein, 2017; Волонин, Мишуров, 2018). Кроме различий в величинах илеальной переваримости между разными кормами, есть различия в величинах илеальной переваримости аминокислот у одного и того же корма, что может быть обусловлено различиями в условиях технологий его подготовки и переработки.

Происхождение термина «илеальный метод» связано с тем, что в исследованиях по физиологии питания животных с однокамерным желудком было установлено, что переваривание кормового белка и продуктивное всасывание аминокислот завершается в конце подвздошной кишки, на участке, граничащем со слепой кишкой (Алиев, 1998). Поэтому было принято, что наиболее объективным методом определения доступности аминокислот является метод учёта их количества в содержимом подвздошной кишки (СПК), на расстоянии 7-15 см от илео-цекального сфинктера, так как этот метод исключает возможное искажение результатов вследствие влияния микрофлоры толстого кишечника при оценке доступности аминокислот традиционным методом на уровне конца пищеварительного тракта (Ткачев 1981; Ткачев, 1981; Алиев, 1998; Torrallardona et al., 2003). Поэтому применяется 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*).

Имеющиеся сведения о количественном и качественном составе эндогенного потока аминокислот в терминальном илеуме свиней, учёт которого необходим для определения истинной илеальной доступности аминокислот корма (ИИДА; *thru ileal digestibility – TIDA*), весьма противоречивы.

Данная работа является начальным этапом создания базы данных по содержанию кажущейся фекальной, илеальной и истинной илеальной доступности аминокислот в кормах на основе мониторинга ресурсов растительного белка и его аминокислотного состава для корректировки практических рационов в соответствии с потребностью свиней разных возрастных категорий в доступных аминокислотах.

Материал и методы

В условиях вивария института была проведена серия опытов с наложением Т-образной канюли в конце подвздошной кишки на помесных поросятах (ландрас × крупная белая) в количестве 5-6 голов в возрасте 2,5-4,0 месяцев (по схеме групп-периодов, способом латинского квадрата). В первом опыте поросята скармливали разными рационами на пшеничной, ячменной, кукурузной и тритикале основе (табл. 1). Содержание незаменимых аминокислот лизина, треонина, метионина и

других питательных веществ в рационах было скорректировано в соответствии с действующими нормами (Калашников, и др., 2003).

Во втором опыте оценивали показатели переваримости питательных веществ зерна тритикале методом нейлоновых мешочков. Для оценки усвояемости (доступности для всасывания аминокислот в тонком кишечнике) проводили физиологические опыты на оперированных поросятах, которым в течение четырех суток скармливали опытные комбикорма без сбора содержимого илеума и в последующие трое суток проводили сбор илеального содержимого. Корма слегка увлажняли и учитывали его потребление. Животных кормили 2 раза в сутки. Вода потреблялась неограниченно из сосковых поилок.

Таблица 1. Состав и питательность рационов

| Ингредиенты | Рационы | | | |
|-----------------------|--------------------|--------|----------|-----------|
| | Пшеница | Ячмень | Кукуруза | Тритикале |
| Пшеница | 95,0 | - | - | - |
| Ячмень | - | 96,3 | - | - |
| Кукуруза | - | - | 96,0 | - |
| Тритикале | - | - | - | 30,0 |
| Кукурузный крахмал | - | - | - | 66,7 |
| Дикальцийфосфат | 1,4 | 1,3 | 0,6 | 1,6 |
| Мел кормовая | 0,9 | 0,5 | 1,4 | 0,3 |
| Соль поваренная | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Премикс | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 |
| Окись хрома | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | В 1 кг содержится: | | | |
| Сухого вещества, г | 899,6 | 903,1 | 868,5 | 902,4 |
| Обменной энергии, МДж | 12,88 | 12,71 | 13,04 | 12,91 |
| Сырого протеина, г | 119,3 | 128,3 | 91,2 | 35,4 |
| Сырой клетчатки, г | 16,1 | 28,3 | 36,5 | 14,7 |
| Сырого жира, г | 19,0 | 14,4 | 40,3 | 9,45 |
| Лизина, г | 3,42 | 3,84 | 2,62 | 1,14 |
| Добавлено до нормы, г | 4,28 | 3,86 | 5,08 | |
| Треонина, г | 3,24 | 3,49 | 3,07 | 0,93 |
| Добавлено до нормы, г | 1,56 | 1,31 | 1,73 | |
| Мет+цистин, г | 4,07 | 4,08 | 3,37 | 1,68 |
| Добавлено до нормы, г | 1,09 | 0,52 | 1,23 | |
| Кальция, г | 7,2 | 8,0 | 7,9 | 8,0 |
| Фосфора, г | 6,0 | 6,5 | 6,02 | 6,3 |

Илеальное содержимое отбирали в резиновые контейнеры, прикрепленные к фистуле. Содержимое илеума хранили в морозильной камере при $-15 - -20^{\circ}\text{C}$. В последующем эти образцы объединяли, гомогенизировали и отбирали для исследования аликвот содержимого. В связи с тем, что переваримость сырого протеина изучалась илеальным и традиционным методами (с применением инертного маркера – 0,5% окиси хрома, входящего в состав всех опытных рационов), в учётный период проводили отбор пятипроцентных аликвот содержимого подвздошной кишки (СПК) и кала.

Для определения количества эндогенного белков тонком кишечнике был проведен физиологический опыт на 3-х илеостомированных подсвинках с живой массой 30-40 кг методом перевода на низкобелковую диету с практически стопроцентной переваримостью. В состав низкобелкового рациона входили следующие компоненты: 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 КС-4 – 0,5%.

Источниками эндогенного азота являются пищеварительные соки, мукоза, десквамированный эпителий желудочно-кишечного тракта, альбумины, глобулины и свободные аминокислоты плазмы, активно участвующие в системе кишечного гомеостаза. Важная роль,

которую играет эндогенный азот в процессе переваривания протеина корма, связана с необходимостью поддержания постоянства аминокислотного состава в содержимом просвета тонкого кишечника, где происходит переваривание азотистых веществ и всасывание аминокислот.

Ход операции и расчёт показателей доступности. Для проведения хирургических операций по наложению Т-образной канюли в конце подвздошной кишки (Алиев, 1998), поросят выдерживали на голодной диете с последующим введением смеси золетил 100 – 6,6 мг/кг + ксилазин 2%-ый – 1,8 мг/кг внутримышечно.

Для определения доступности аминокислот производили количественный учёт содержимого нижнего участка подвздошной кишки и анализ аминокислотного состава белков содержимого, а расчёт показателей кажущейся фекальной (КД) и илеальной доступности (ИД) (без учёта эндогенных потерь) проводили по формулам (Fan, Sauer, 2002; Stein et al., 2007):

без инертного метчика (фекальный метод)

$$A = [(A_K - A_{ПК})/A_K] \times 100,$$

где А – кажущаяся ($A_{Кд}$) или истинная ($A_{Ид}$) доступность аминокислоты, %; A_K – количество аминокислоты в потреблённом корме; $A_{ПК}$ – количество аминокислоты в кале (для $A_{Кд}$) или содержимом подвздошной кишки (для $A_{Ид}$),

а с инертным метчиком:

$$X = 100 - [100 \times (A \times C)/(B \times D)],$$

где X – кажущаяся доступность аминокислоты, %; А – концентрация инертного метчика в корме; В – концентрация инертного метчика в СПК или кале; С – концентрация исследуемой аминокислоты в СПК или кале; D – концентрация исследуемой аминокислоты в корме.

Истинную илеальную доступность аминокислот (ИИД) определяли по формуле (Fan, Sauer, 2002; Stein et al., 2007):

$$A_{ИИД} = [A_K - (A_{ПК} - A_{Об})/A_K] \times 100,$$

где $A_{ИИД}$ – истинная доступность аминокислоты, %; A_K – количество аминокислоты в потреблённом корме; $A_{ПК}$ количество аминокислоты в СПК; $A_{Об}$ – количество эндогенной аминокислоты (базальные + специфические), выделенной в СПК на низкобелковом рационе.

Сравнительно быстрый и недорогой метод определения переваримости у свиней, требующий лишь небольшого количества корма, – это метод мобильных нейлоновых мешочков (МНМ), Нейлоновые мешочки, содержащие 0,5-1,0 г корма, предварительно обрабатывались *invitro*, вводились через Т-образную канюлю в двенадцатиперстную кишку и затем извлекались из кала.

Подготовка проб. В однослойные нейлоновые мешочки (25×40 мм, размер пор 40 мкм), помещали образец корма и оплавливали края. По шесть мешочков, содержащих одинаковое количество корма, помещали в стакан с 75 мл раствора деионизированной воды с 0,01 н HCl и конечной концентрацией пепсина по активности 1,5 Ед/мл. Стакан помещали в водяную баню при 37°С и содержимое встряхивали с частотой 90 раз минуту в течение 4 ч. После этого мешочки вынимали, споласкивали деионизированной водой и вводили в канюли с интервалом 10 мин. (Материкин, 1998).

В кормах, химусе и кале определяли содержание сухого вещества, сырого протеина по азоту – по Кьельдалю на приборе Кьельтек (Velр.Италия), общие аминокислоты – методом ионо-обменной хроматографии на аминокислотном анализаторе (Кальницкий Б.Д. Методы биохимического анализа: справочное пособие. Боровск, 1997) и хрома – йодометрическим методом (Харитонов, 1998).

Результаты и обсуждение

Поедание любого корма вызывает нервную, гормональную, химическую и механическую стимуляцию работы пищеварительных желез. В процессе переваривания корма многие азотсодержащие соединения, включая аминокислоты, пептиды и белки, секретируются в желудочно-кишечный тракт. В исследованиях установлено, что количество сырого протеина в зерне злаков колеблется в пределах от 126 до 95 г кг корма. Наибольшая его концентрация среди злаков

отмечена в зерне пшеницы, далее тритикале, ячмене и кукурузе (табл. 3). Содержание общих незаменимых аминокислот в зерне пшеницы, ячменя, кукурузы и тритикале колеблется в пределах: лизина от 2,7 до 3,9, треонина – 3,2-3,6, метионина+цистина – 3,5-4,3, лейцина – 7,2-10,8, изолейцина – 3,1-4,3, валина – 4,3-5,3, гистидина – 2,20-2,7, фенилаланина – 4,1-5,3 и аргинина – 4,0-6,2 г/кг корма. Зерно злаков содержит недостаточное количество незаменимых аминокислот, особенно первой лимитирующей – лизина, и далее – треонина и метионина. Полученные в опыте данные по количеству общих аминокислот в целом согласуются с опубликованными данными (Калашников, и др., 2003; Рядчиков, 2000, 2013). Как известно, питательность кормов зависит от сорта, климатических условий, ввода минеральных добавок в почву, сырья, технологии приготовления и других факторов.

Таблица 3. Количество сырого протеина и общих аминокислот в зерновых и высокобелковых кормах (г/кг сухого корма)

| Показатели | Рационы | | | |
|--------------------------|---------|--------|-----------|----------|
| | Пшеница | Ячмень | Тритикале | Кукуруза |
| Сырой протеин | 126,1 | 113,2 | 118,1 | 95,0 |
| Лизин (Lys) | 3,6 | 3,99 | 3,80 | 2,73 |
| Треонин (Thr) | 3,41 | 3,63 | 3,1 | 3,20 |
| Метионин (Met) | 1,97 | 2,1 | 2,0 | 1,71 |
| Цистин (Cys) | 2,32 | 2,14 | 2,61 | 1,80 |
| Лейцин (Leu) | 7,42 | 7,22 | 7,33 | 10,8 |
| Изолейцин (Ile) | 4,25 | 3,97 | 3,38 | 3,11 |
| Валин (Val) | 4,88 | 5,30 | 4,37 | 4,30 |
| Гистидин (His) | 2,76 | 2,37 | 2,33 | 2,20 |
| Фенилаланин (Phe) | 5,34 | 5,35 | 4,16 | 4,37 |
| Аргинин (Arg) | 6,01 | 5,53 | 5,55 | 4,02 |
| Аспарагиновая к-та (Asp) | 5,47 | 6,25 | 5,74 | 6,09 |
| Серин (Ser) | 5,72 | 4,51 | 4,42 | 4,21 |
| Глютаминовая к-та (Glu) | 30,14 | 25,90 | 22,88 | 14,27 |
| Пролин (Pro) | 10,76 | 10,05 | 7,29 | 7,08 |
| Глицин (Gly) | 4,60 | 4,22 | 3,85 | 3,21 |
| Аланин (Ala) | 3,39 | 3,78 | 3,87 | 6,65 |
| Тирозин (Tyr) | 3,05 | 2,51 | 2,62 | 2,64 |
| Незаменимые аминокислоты | 41,9 | 41,6 | 38,6 | 38,2 |
| Заменимые аминокислоты | 63,1 | 57,2 | 50,6 | 44,1 |

Был рассчитан аминокислотный скор (содержание аминокислот в данном белке относительно их содержания в «стандартном» белке, %), и определены лимитирующие аминокислоты (табл. 4). Установлено, что в зерне злаковых культур первой лимитирующей аминокислотой является лизин; скор его довольно низкий: 32,9-48,1%. Второй лимитирующей аминокислотой является треонин (скор 57,7-67,2%) и третьей – для ячменя изолейцин, для тритикале – валин и для кукурузы – метионин+цистин, изолейцин и валин.

Процесс переваривания корма у млекопитающих начинается под действием протеолитических ферментов в желудке, затем в тонком и толстом кишечнике. В результате комбинированного действия различных протеолитических ферментов и микроорганизмов толстого кишечника, белки пищи подвергаются почти полному гидролизу до аминокислот и олигопептидов, которые всасываются из полости кишечника, а не всосавшиеся остатки выделяются с калом.

В данном исследовании установлено, что кажущаяся фекальная переваримость сырого протеина в зерне злаков колеблется в диапазонах от 77 до 81% (табл. 5). Кажущаяся фекальная переваримость лизина, треонина, метионина, цистина, лейцина, изолейцина, валина, фенилаланина, гистидина и аргинина составила у пшеницы 83, 81, 83, 84, 84, 85, 85, 82, 85 и 85%, а у ячменя – 78, 79, 81, 80, 75, 82, 84, 81, 80 и 85% соответственно. По кажущейся переваримости аминокислот тритикале занимает промежуточное положение, а в зерне кукурузы меньше переваривается сырого протеина, лизина, цистина и несколько выше гистидина и аргинина по сравнению с пшеницей и ячменем.

Таблица 4. Содержание аминокислот в зерне злаков и их скор (без учёта истинной илеальной доступности)

| Незаменимые аминокислоты | Содержание аминокислот в «стандартном» сыром протеине, г/кг | Скор аминокислот* | | | | | | | |
|--------------------------|---|-------------------|-------------------|--------|-------------------|-----------|-------------------|----------|-------------------|
| | | Пшеница | | Ячмень | | Тритикале | | Кукуруза | |
| | | г/кг | % | г/кг | % | г/кг | % | г/кг | % |
| Лизин | 8,3 | 3,6 | 43,3 ¹ | 3,99 | 48,1 ¹ | 3,80 | 45,8 ¹ | 2,73 | 32,9 ¹ |
| Треонин | 5,4 | 3,41 | 63,1 ² | 3,63 | 67,2 ² | 3,1 | 57,4 ² | 3,20 | 59,2 ² |
| Мет.+цистин | 4,9 | 4,29 | 87,5 | 4,24 | 86,5 | 4,61 | 94,0 | 3,51 | 71,6 ⁴ |
| Лейцин | 8,3 | 7,42 | 89,4 ⁴ | 7,22 | 86,9 ⁴ | 7,33 | 88,3 ⁴ | 10,80 | 130,1 |
| Изолейцин | 4,7 | 4,65 | 98,9 | 4,08 | 86,8 ³ | 4,21 | 89,5 | 3,11 | 66,1 ³ |
| Валин | 5,6 | 4,88 | 87,1 ³ | 5,30 | 94,6 | 4,37 | 78,0 ³ | 4,30 | 76,8 |
| Гистидин | 2,6 | 2,76 | 106,1 | 2,37 | 91,1 | 2,33 | 89,6 | 2,20 | 84,6 |
| Фенил.+тирозин | 8,1 | 8,39 | 103,6 | 7,86 | 97,0 | 6,78 | 83,7 | 7,01 | 86,5 |
| Аргинин | 3,3 | 6,01 | 182,1 | 5,53 | 167,5 | 5,55 | 168,1 | 4,02 | 121,8 |

Примечания: * содержание аминокислот в данном белке относительно их содержания в «стандартном» протеине, %. Верхние индексы обозначают порядок лимитирования аминокислот.

С теоретической точки зрения, значение кажущейся илеальной переваримости показывает, какое количество аминокислоты усвоилось организмом при прохождении корма по желудочно-кишечному тракту. Тем не менее, при расчёте КИП (кажущейся илеальной переваримости) не учитывается, что содержимое подвздошной кишки включает не только неусвоенные аминокислоты корма, но также и аминокислоты эндогенного происхождения.

Таблица 5. Кажущаяся фекальная переваримость сырого протеина и доступность аминокислот в зерновых кормах, %

| Показатели | Рационы | | | |
|---------------|---------|--------|-----------|----------|
| | Пшеница | Ячмень | Тритикале | Кукуруза |
| Сырой протеин | 81,3 | 78,4 | 79,3 | 77,6 |
| Лизин | 83,1 | 79,5 | 81,4 | 77,5 |
| Треонин | 81,7 | 80,7 | 80,2 | 82,3 |
| Метионин | 83,1 | 79,9 | 85,5 | 82,5 |
| Цистин | 84,3 | 74,9 | 79,7 | 76,2 |
| Лейцин | 84,2 | 82,2 | 82,9 | 84,2 |
| Изолейцин | 85,2 | 83,9 | 83,8 | 85,7 |
| Валин | 85,9 | 80,8 | 82,9 | 83,2 |
| Фенилаланин | 82,2 | 85,3 | 83,1 | 86,4 |
| Гистидин | 84,8 | 80,3 | 83,8 | 86,7 |
| Аргинин | 85,1 | 85,0 | 82,3 | 87,3 |

В опыте установлено, что кажущаяся илеальная переваримость сырого протеина в зерновых кормах варьировала в пределах от 75 до 79% а КИП незаменимых аминокислот – от 72 до 82% соответственно (табл. 6). Если сравнивать эти показатели с КФП то «фекальные» показатели были ниже на 2-5 абс%. Это объясняется тем, что часть аминокислот корма, которая не усвоилась в тонком кишечнике, в толстом кишечнике, включая слепую кишку, используется для питания микроорганизмов, в том числе и патогенных, а всасывается лишь небольшое количество аминокислот (Torrallardona et al., 2003). Аммиак, образующийся в результате дезаминирования, быстро всасывается и, превратившись в карбамид, выделяется из организма.

Относительно низкая переваримость лизина в зерне злаковых обусловлена различиями в концентрации лизина и истинной переваримости в разных белковых фракциях (альбумины, глобулины, глютелин, проламин, небелковый азот). Наибольшее количество лизина содержится в алейроновом слое, а наименьшее – в эндосперме. Эндосперм обладает самой высокой переваримостью и имеет самое низкое содержание лизина. Также были получены высокие значения

истинной переваримости глутаминовой кислоты, которая преобладает в эндосперме (Головко, 2009; Рядчиков, 2013).

Кажущаяся доступность большинства аминокислот пшеницы оказалась наиболее высокой среди злаков. Значительно больше лизина, треонина, метионина+цистина, лейцина и валина всасывалось в тонком кишечнике из пшеницы, по сравнению с ячменём, тритикале и кукурузой.

Таким образом, илеальный метод определения доступности аминокислот кормов более эффективен по сравнению с традиционным методом, т.к. в нём исключены искажения, вызванные тем, что в толстом кишечнике аминокислотный профиль не адекватен остаткам аминокислот после их продуктивного всасывания в тонком кишечнике из-за влияния микрофлоры.

Таблица 6. Кажущаяся илеальная (КИ) переваримость сырого протеина и доступность аминокислот в зерновых кормах (%)

| Показатели | Рационы | | | |
|---------------|---------|--------|----------|-----------|
| | Пшеница | Ячмень | Кукуруза | Тритикале |
| Сырой протеин | 78,9 | 75,6 | 75,4 | 76,9 |
| Аминокислоты | | | | |
| Лизин | 75,3 | 76,7 | 70,5 | 76,2 |
| Треонин | 78,2 | 74,8 | 77,4 | 76,5 |
| Метионин | 80,2 | 76,5 | 80,7 | 80,7 |
| Цистин | 80,9 | 72,2 | 74,8 | 76,3 |
| Лейцин | 82,4 | 80,5 | 81,6 | 78,8 |
| Изолейцин | 81,3 | 78,6 | 80,3 | 78,3 |
| Валин | 83,7 | 77,1 | 80,7 | 77,3 |
| Фенилаланин | 80,3 | 82,7 | 80,2 | 82,7 |
| Гистидин | 80,5 | 78,5 | 81,6 | 79,5 |
| Аргинин | 82,2 | 81,1 | 83,3 | 80,7 |

На основании полученных данных по содержанию аминокислот эндогенного происхождения в терминальном илеуме свиней, мы скорректировали кажущуюся доступность до фактической, т.е. истинной доступности для зерна злаков. Истинная доступность лизина и треонина в порядке возрастания составила для тритикале 84,5-82,7%, кукурузы – 85,5- 84,2%, ячменя – 85,2-86,5%, пшеницы – 86,7-84,5%, соответственно (табл. 7). Истинная доступность метионина распределялась несколько иначе: ячменя – 80,7%, пшеницы, тритикале, кукурузы – 5,1-85,9%. Цистин ячменя и кукурузы менее доступен (76,7 и 78,7%), по сравнению с пшеницей и тритикале 86,2 и 83,6% соответственно. Эти показатели согласуются с опубликованными данными (Головко 1999; Fan, Sauer, 2002; Strang et al., 2016).

Таблица 7. Истинная илеальная (ИИ) переваримость сырого протеина и доступность аминокислот в зерновых кормах (%)

| Показатели | Рационы | | | |
|---------------|---------|--------|-----------|----------|
| | Пшеница | Ячмень | Тритикале | Кукуруза |
| Сырой протеин | 88,1 | 80,3 | 86,2 | 85,0 |
| Аминокислоты | | | | |
| Лизин | 86,7 | 85,2 | 84,5 | 85,5 |
| Треонин | 84,5 | 86,5 | 82,4 | 84,2 |
| Метионин | 85,9 | 80,7 | 85,1 | 86,1 |
| Цистин | 89,2 | 76,8 | 83,6 | 78,7 |
| Лейцин | 86,2 | 87,6 | 82,5 | 87,6 |
| Изолейцин | 87,7 | 85,5 | 80,7 | 88,0 |
| Валин | 88,3 | 83,8 | 82,2 | 86,1 |
| Фенилаланин | 85,4 | 86,1 | 85,3 | 91,2 |
| Гистидин | 86,6 | 84,5 | 84,0 | 92,2 |
| Аргинин | 89,8 | 92,2 | 85,1 | 95,4 |

Если проанализировать фактический скор доступных для свиней аминокислот злаков, то обнаруживается несколько иной порядок их лимитирования по отношению к «стандартному» протеину (табл. 8). Скор лизина, являющегося первой лимитирующей аминокислотой, намного ниже: 28,1-40,9%, т.е. дефицит его гораздо выше, чем без учёта доступности. Второй лимитирующей аминокислотой является треонин – 47,2-57,9%. Третьей лимитирующей аминокислотой для пшеницы при учёте доступности оказался лейцин, для ячменя, тритикале и кукурузы – изолейцин. Лимитирующие аминокислоты четвёртого порядка имеют довольно высокое соответствие стандарту – 66,1-76,9%.

Таблица 8. Аминокислотный скор зерна злаков для 2-4 мес. свиней с учётом истинной илеальной доступности аминокислот (%)

| Незаменимые аминокислоты | Содержание в «стандартном» протеине, г/кг | Скор аминокислот | | | | | | | |
|--------------------------|---|------------------|-------------------|--------|-------------------|-----------|-------------------|----------|-------------------|
| | | Пшеница | | Ячмень | | Тритикале | | Кукуруза | |
| | | г/кг | %* | г/кг | % | г/кг | % | г/кг | % |
| Лизин | 8,3 | 3,12 | 37,6 ¹ | 3,40 | 40,9 ¹ | 3,21 | 38,7 ¹ | 2,33 | 28,1 ¹ |
| Треонин | 5,4 | 2,88 | 53,3 ² | 3,13 | 57,9 ² | 2,55 | 47,2 ² | 2,69 | 49,8 ² |
| Мет.+цистин | 4,9 | 3,12 | 63,6 ³ | 3,33 | 67,9 ³ | 3,88 | 79,1 | 2,72 | 55,5 |
| Лейцин | 8,3 | 6,39 | 76,9 ⁴ | 6,32 | 76,1 | 6,04 | 72,7 | 9,46 | 113,9 |
| Изолейцин | 4,7 | 3,72 | 79,1 | 3,39 | 72,1 ⁴ | 2,72 | 57,8 ³ | 2,73 | 58,1 ³ |
| Валин | 5,6 | 4,31 | 76,9 | 4,44 | 79,3 | 3,72 | 66,4 ⁴ | 3,70 | 66,1 ⁴ |
| Гистидин | 2,6 | 2,35 | 90,4 | 2,04 | 78,4 | 1,98 | 75,4 | 2,00 | 76,9 |
| Фенилал.+тирозин | 8,1 | 7,43 | 91,7 | 6,47 | 79,8 | 6,78 | 83,7 | 7,01 | 86,5 |
| Аргинин | 3,3 | 5,48 | 166,0 | 4,45 | 134,8 | 3,87 | 117,2 | 3,83 | 116,0 |

Примечание: верхний индекс обозначает порядок лимитирования аминокислот.

Результаты исследований во втором опыте выявили различия в значениях переваримости сырого протеина и аминокислот зерна тритикале в желудочно-кишечном тракте, полученных традиционным (Т), илеальным (И) методом и в нейлоновых мешочках (Н) (табл. 9). Если сравнивать показатели «традиционной» (фекальной) и илеальной переваримости аминокислот зерна тритикале, то значения кажущаяся илеальной переваримости ниже на 3-4 абс% по сравнению с традиционным методом. При определении переваримости питательных веществ корма традиционным методом особую роль играет толстый отдел кишечника, который способствует завышению значений переваримости корма за счёт микроорганизмов, содержащихся в кишечнике

Таблица 9. Содержание аминокислот в зерне тритикале (г/кг) и их доступность у свиней, оцененная традиционным (Т), илеальным методом (КИ) и в нейлоновых мешочках (НМ)

| Показатели | Содержание, г/кг | Метод определения | | |
|-----------------------|------------------|-------------------|------|------|
| | | Т | КИ | НМ |
| Лизин | 3,80 | 80,1 | 76,3 | 81,1 |
| Треонин | 3,1 | 72,6 | 70,5 | 74,5 |
| Метионин | 2,0 | 82,0 | 78,6 | 83,2 |
| Лейцин | 7,33 | 81,9 | 78,8 | 84,1 |
| Изолейцин | 3,38 | 80,0 | 76,9 | 80,9 |
| Валин | 4,37 | 78,9 | 75,9 | 77,9 |
| Гистидин | 2,33 | 83,4 | 80,1 | 82,5 |
| Фенилаланин | 4,16 | 83,7 | 80,3 | 81,5 |
| Аргинин | 5,55 | 84,6 | 81,4 | 83,9 |
| Аспарагиновая кислота | 5,74 | 84,8 | 77,9 | 85,6 |
| Серин | 4,42 | 84,8 | 81,7 | 83,5 |
| Глутаминовая кислота | 22,9 | 90,0 | 85,7 | 91,7 |
| Пролин | 7,29 | 84,9 | 80,5 | 81,5 |
| Глицин | 3,85 | 81,8 | 78,4 | 83,4 |
| Аланин | 3,87 | 74,9 | 70,3 | 72,7 |
| Тирозин | 2,62 | 80,8 | 77,9 | 81,3 |
| Сырой протеин, г/кг | 118,1 | 81,7 | 78,3 | 82,7 |

При сравнении данных по переваримости аминокислот, полученных традиционным методом и в нейлоновых мешочках, не выявлено существенных различий между ними, однако отмечено некоторое увеличение показателей переваримости по треонину, лейцину, глицину, аспарагиновой и глутаминовой кислотам. При оценке переваримости сырого протеина и доступности аминокислот методом мобильных нейлоновых мешочков определённое значение имеет зависимость от времени отмывки, величины пробы, тонкости помола и активности ингибитора трипсина (Yin et al., 2002).

Таким образом, применение идеального метода оценки истинной доступности аминокислот зерновых в хроническом физиологическом опыте на фистулированных свиньях выявило различия в доступности для всасывания в кишечнике важнейших аминокислот (лизина, треонина, метионина + цистина, лейцина и изолейцина). Для создания более точных и согласованных систем оценки питательной ценности протеина кормов, необходимы дальнейшие исследования в этом направлении, в том числе для различных видов сельскохозяйственных животных. Практическое применение концепции идеального протеина может существенно улучшить эффективность использования кормов и тем самым снизить потери питательных веществ. Для определения кажущейся переваримости питательных веществ кормов и рационов можно использовать метод мобильных нейлоновых мешочков, который позволяет получить более адекватные показатели по сравнению с традиционным методом.

Список литературы

1. Алиев А.А. Экспериментальная хирургия. М.: НИЦ «Инженер», 1998. 445 с.
2. Волнин А.А., Мишуров А.В. Сравнительный анализ аминокислотного состава кормов. // В сб.: Фундаментальные и прикладные аспекты кормления сельскохозяйственных животных. Дубровицы: ФНЦ ВИЖ, 2018. С. 46-48.
3. Головки Е.Н., Омаров М.О., Рядчиков В.Г. Переваримость аминокислот в кормлении свиней. // В сб.: Научные основы ведения животноводства и кормопроизводства. Краснодар: СКНИЖ, 1999. С. 234-243.
4. Головки Е.Н. Биодоступность аминокислот у свиней (обзор). // Проблемы питания продуктивных животных. 2009. № 2. С. 27-43.
5. 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.
6. Калашников А.П., Фисинин В.И., Щеглов В.В., Клейменов Н.И. (Ред.) Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. М.: Агропромиздат, 2003. 456 с.
7. Омаров М.О., Слесарева О.А., Османова С.О. Определение доступности аминокислот зерна злаков для всасывания в кишечнике у молодняка свиней. // Проблемы питания продуктивных животных. 2016. № 3. С. 82-89.
8. Платиканов Н.Д. Индикаторный метод определения переваримости рационов и кормов у овец и свиней. // В кн.: Методики определения переваримости кормов и рационов. М.: ВАСХНИЛ, 1969. С. 39-42.
9. Пьянкова Е.В., Микулец Ю.И. Влияние сроков отъема поросят на содержание аминокислот в стенке тонкого кишечника. // Аграрная наука. 2006. № 6. С. 16-18.
10. Рядчиков В.Г., Кальницкий Б.Д., Щеглов В.В., Омаров М.О. Аминокислотное питание свиней: Рекомендации. М.: МСХ РФ, 2000. 62 с.
11. Рядчиков В.Г. Потребность растущих свиней в переваримых аминокислотах. // Животноводство России. 2007. № 11. С. 21-24.
12. Рядчиков В.Г., Полежаева С.Л., Омаров М.О. Идеальный белок в рационах свиней и птиц. // Животноводство России. 2010. № 2. С. 49-52.
13. Рядчиков В.Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных. Краснодар: КГАУ, 2013. 616 с.
14. Тарабрин И.В. Пищевое поведение и его регуляция при разных формах баланса незаменимых аминокислот в питании цыплят бройлеров: автореф. дисс... к.б.н. Боровск, 2009. 25 с.
15. Ткачёв Е.З. Физиология питания свиней. М.: Колос, 1981. 239 с.
16. Харитонов Е.Л. Использование инертных индикаторов для изучения процессов пищеварения. // В сб.: Методы исследований питания сельскохозяйственных животных. Боровск, 1998. С. 47-52.
17. 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.

18. 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.
19. Mosenthin R., Sauer W.C., Blank R., Huisman J., Fan M.Z. The concept of digestible amino acids in diet formulation for pigs. // *Livestock Production Science.* 2000. Vol. 64. P. 265-280.
20. 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.
21. Strang E. J. P., Eklund M., Rosenfelder P., Htoo J.K., Mosenthin R. Variations in the chemical composition and standardized ileal digestibility of amino acids in eight genotypes of triticale fed to growing pigs. // *J. Anim. Sci.* 2017. Vol. 95. nr 4. P. 1614-1625.
22. Torrallardona D., Harris C. I., Fuller V. F. Pigs gastrointestinal microflora provide them with essential amino acids. // *J. Nutr.* 2003. Vol. 133. nr 4. P. 1127-1131.
23. Yin Y.L., Huang R.L., Zhong H.Y., Li T.J., Souffrant W.B., Lange C.F.M. Evaluation of mobile nylon bag technique for determination apparent ilealdigestibilities of protein and amino acids in growing pigs. // *J. Anim. Sci.* 2002. Vol. 80. P. 409-420.

References (for publications in Russian)

1. Aliev A.A. *Ekspierimental'naya khirurgiya* (Experimental surgery). M.: NITs Inzhener Publ., 1998. 445 p.
2. Volnin A.A., Mishurov A.V. [Comparative analysis of the amino acid composition of feed]. In: *Fundamental'nye I prikladnye aspekty kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Fundamental and applied aspects of feeding farm animals). Dubrovitsy: FNTs VIZh Publ., 2018. P.46-48.
3. Golovko E.N., Omarov M.O., Ryadchikov V.G. [Digestibility of amino acids in pig feeding]. In: *Nauchnye osnovy vedeniya zhivotnovodstva i kormoproizvodstva* (Scientific bases of animal husbandry and fodder production). Krasnodar: SKNIZhPubl. 1999. P. 234-243.
4. Golovko E.N. [Bioavailability of amino acids in pigs: a review]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology.* 2009, 2: 27-43.
5. Golovko E.N. [Evaluation of endogenous amino acid supply in terminal ileum in growing pigs by transferring to a low protein diet]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology.* 2009, 2: 70-77.
6. Kalashnikova A.P., Fisinin V.I., Shcheglov V.V., Kleimenov N.I. (Eds). *Normy I ratsiony kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Norms and diets of feeding farm animals). Moscow: Agropromizdat Publ., 2003. 456 p.
7. Omarov M.O., Slesareva O.A., Osmanova S.O. [Determination of the availability of amino acids of cereal grain for absorption in the intestine of young pigs]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology.* 2016, 3: 82-89.
8. Platikanov N.D. [Indicator method for determining the digestibility of diets and feeds in sheep and pigs]. In: *Metodiki opredeleniya perevarimosti kormov i ratsionov* (Methods for determining the digestibility of feed and rations). Moscow: VASKhNIL Publ., 1969. P. 39-42.
9. P'yankova E.V., Mikulets Yu.I. [Influence of the timing of weaning of piglets on the amino acid content in the wall of the small intestine]. *Agrarnaya nauka - Agrarian Science.* 2006, 6: 16-18.
10. Ryadchikov V.G., Kal'nitskii B.D., Shcheglov V.V., Omarov M.O. *Aminokislotoe pitanie svinei: Rekomendatsii* (Amino acid nutrition for pigs: recommendations). Moscow: MSKh RF Publ., 2000. 62 p.
11. Ryadchikov V.G. [Digestible amino acid requirements in growing pigs]. *Zhivotnovodstvo Rossii - Animal Husbandry in Russia.* 2007, 11: 21-24.
12. Ryadchikov V.G., Polezhaeva S.L., Omarov M.O. [Ideal protein in pigs and poultry diets]. *Zhivotnovodstvo Rossii - Animal Husbandry in Russia.* 2010, 2: 49-52.
13. Ryadchikov V.G. *Osnovy pitaniya i kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (The basics of nutrition and feeding of agricultural animals). Krasnodar: KGAU Publ., 2013. 616 p.
14. Tarabrin I.V. *Pishchevoe povedenie i ego regulyatsiya pri raznykh formakh balansa nezamenimyykh aminokislot v pitanii tsyplyat broilerov* (Nutritional behavior and its regulation with different forms of balance of essential amino acids in broiler chickens' nutrition). Extended Abstract of Diss. Cand. Sci. Biol. Borovsk, 2009. 25 p.
15. Tkachev E. Z. *Fiziologiya pitaniya svinei* (Pig nutritional physiology). Moscow: Kolos Publ., 1981. 239 p.
16. Kharitonov E.L. [Use of inert indicators to study digestion processes]. In: *Metody issledova niipitaniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Research methods for nutrition of farm animals). Borovsk, 1998. P. 47-52.

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.1.101-111

**Apparent and true ileal availability of amino acids
from cereal grains in growing pigs**

Niyazov N.S.-A.

*Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition – Branch of Ernst
Federal Research Center for Animal Husbandry, Borovsk, Kaluga oblast, Russian Federation*

ABSTRACT. The aim was to assess the content of total amino acids and their fecal, ileal and true (taking into account the endogenous amino acids) availability in the grain of cereal feed. The experiments were carried out on piglets aged 2-4 months. using a T-shaped cannula placed in the lower part of the ileum. It was found that in terms of the content of total amino acids in cereal fodder, the first limiting amino acid is lysine (score 32.9-48.1%), the second – threonine (score 59.2-67.2%), the third for barley – isoleucine, for triticale – valine, for corn – methionine + cystine, isoleucine and valine. The estimated values of the true ileal availability (TIA) of grain amino acids for wheat, barley, triticale and corn were: Lys – 86.7, 85.2, 84.5 and 85.5%, Thr – 84.5, 86.5, 82.4 and 84.2%, Met – 85.9, 80.7, 85.1 and 86.1%, Cys – 89.2, 76.8, 83.6 and 78.7%, Leu – 86.2, 87.6, 82.5 and 87.6%, Ileu – 87.8, 85.5, 80.7 and 88.0%, Val – 88.3, 83.8, 82.2 and 86.1%, Phe – 85.4, 86.1, 85.3 and 91.2%, His – 86.6, 84.5, 84.0 and 92.2%, Arg – 89.8, 92.2, 85.1 and 95.1%; TIA of crude protein – 88.1, 80.3, 86.5 and 86.0%, respectively. In relation to the ideal protein, the amino acid score of available limiting amino acids in cereals is lower; for the first limiting acid, lysine – 28.1-40.9%, for the second – threonine – 47.2-57.9%, the third limiting amino acid for wheat is leucine, for barley, triticale and corn – isoleucine. Limiting fourth-order amino acids have a fairly high compliance with the standard – 66.1-76.9%. The obtained estimates of amino acids TIA for feed components can be used in the development of complete feed for pigs. The mobile nylon bag method can be used to determine the apparent digestibility of feed and ration nutrients.

Keywords: growing pigs, cereal grain, essential amino acids, availability for assimilation, amino acid score

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2021, 1: 101-111

Поступило в редакцию: 27.01.2021

Получено после доработки: 18.02.2021

Ниязов Нияз Саид-Алиевич, д.б.н., гл.н.с., т. 8(961)005-54-40.