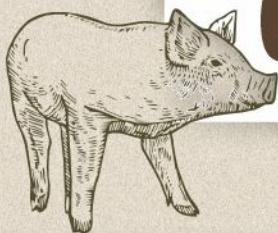
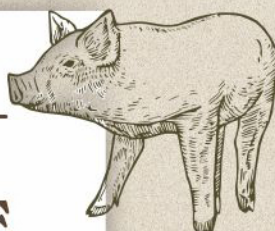


В. А. Рощин

**ЭНЕРГО-**  
**АМИНОКИСЛОТНОЕ**  
**ПИТАНИЕ**  
**МОЛОДНЯКА**  
**СВИНЕЙ**



Республиканское унитарное предприятие  
«Научно-практический центр Национальной академии наук  
Беларуси по животноводству»

**В. А. Роцин**

**ЭНЕРГО-АМИНОКИСЛОТНОЕ ПИТАНИЕ  
МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ**

Монография

Жодино  
РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук  
Беларуси по животноводству»,  
2022

УДК 636.4.085.13(035.3)

**Рошин, В. А.** Энерго-аминокислотное питание молодняка свиней : монография / В. А. Рошин ; РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству». – Жодино, 2022. – 190 с.

ISBN 978-985-6895-34-3

Эффективность свиноводства обусловлена высокой продуктивностью и отличными мясными качествами свиней, которые зависят от полного обеспечения потребности животных обменной энергией и сырым протеином. Важным достижением в решении белковой проблемы является практическое применение синтетических аминокислот промышленного производства, позволяющих повысить полноценность рационов с дешёвыми растительными кормами до уровня рационов с кормами животного происхождения.

В монографии представлены результаты научной работы по изучению зависимости уровня обменной энергии комбикормов и их аминокислотной сбалансированности с учётом региональных особенностей кормопроизводства. Исследования проводились согласно современным принципам нормирования количества обменной энергии и незаменимых аминокислот в комбикормах для всех растущего откармливаемого молодняка свиней с высокой, генетически обусловленной мясной продуктивностью.

Книга предназначена для научных сотрудников, руководителей и специалистов областных и районных комитетов по сельскому хозяйству и продовольствию, сельскохозяйственных предприятий, преподавателей и студентов сельскохозяйственных и ветеринарных учреждений образования.

Рис. 2. Табл. 98. Библиогр.: 516 назв.

Монография рекомендована к публикации учёным советом РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» (протокол № 10 от 14.09.2022 г.).

#### **Рецензенты:**

**В.Ф. Радчиков**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

**Н.А. Яцко**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

**В.П. Колесень**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
(РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук  
Беларуси по животноводству»)

**ISBN 978-985-6895-34-3**

© Рошин В.А., 2022

© РУП «Научно-практический центр  
Национальной академии наук Беларуси  
по животноводству, 2022

## Введение

Прибыльность свиноводства, высокая продуктивность и отличные мясные качества свиней зависит от решения научной проблемы обеспечения полной потребности животных обменной энергией и сырым протеином. Использование протеина корма свиньями обуславливается биологической ценностью, то есть наличием и соотношением в нём незаменимых аминокислот: лизина, метионина, треонина, триптофана, валина, лейцина, изолейцина, гистидина, аргинина, фенилаланина [26; 28]. Эти аминокислоты не синтезируются в организме свиней, их отсутствие в рационе приводит к различным заболеваниям и даже гибели животных, а дефицит какой-либо из них нарушает обменные процессы и снижает продуктивность [24; 49].

Важное место в этих исследованиях занимает оценка содержания доступных незаменимых аминокислот в кормах [33; 40], которые должны равномерно поступать в обменный фонд организма в необходимых количестве и соотношении. Актуально изучение метаболических процессов, происходящих при оптимизации обеспечения организма животных аминокислотами, исследования по уточнению механизмов, регулирующих формирование фонда свободных аминокислот и уровень мясной продуктивности [9]. Различия между породами, кроссами и линиями животных по преобразованию корма в продукцию обусловлены неодинаковой их способностью усваивать питательные вещества рациона [59]. Так, исследованиями наших учёных в сравнительном испытании с участием 13 пород и типов свиней установлены существенные различия между ними по переваримости протеина, жира и клетчатки, а также по использованию и отложению азота. Среднесуточные отложение азота колебалось от 13,72 г у кемеровской породы до 20,33-20,55 г у породы ландрас и белорусского мясного типа [14]. По данным Б.П. Коваленко [22], для животных крупной белой породы, независимо от условий выращивания, характерна более высокая калорийность туш (14,77-16,26 МДж/кг), энергоёмкость единицы массы помесных животных с долей крови пород ландрас и дюрок находилась в пределах 14,12-14,59 МДж/кг, а чистопородные животные породы ландрас занимали последний ранг – 13,82 МДж/кг.

Повышение эффективности использования кормов без существенного увеличения их потребления, несмотря на значительные успехи, достигнутые в области питания свиней, не в полной мере реализует генетический потенциал мясной продуктивности. В связи с этим возникает необходимость более детального изучения всех основных факторов, обеспечивающих высокие продуктивные качества животных при минимальных затратах кормов. В системе полноценного питания свиней

первостепенное значение отводится обеспеченности комбикормов обменной энергией и незаменимыми аминокислотами с учётом их доступности (переваримости), а также установление объективных показателей оценки аминокислотной питательности кормов.

Понятие «доступность» означает такую форму аминокислоты, которая пригодна для всасывания и использования. Фактическое использование зависит от рациона и режима кормления. Незаменимые аминокислоты должны поступать в обменный фонд организма после их всасывания в желудочно-кишечном тракте одновременно в необходимом количестве и соотношении. Например, свободный кормовой лизин может быть полностью доступен, но не эффективно использован в результате применения несоответствующей методики (технологии) кормления и других причин.

Большой интерес в области изучения этих факторов позволяет ставить задачу достижения молодняком свиней живой массы 100 кг в 130-135-дневном возрасте при затратах на 1 кг прироста живой массы до 2,5 кг комбикорма. Одним из важнейших условий решения этой задачи является полное, без избытка и недостатка, обеспечение всех половозрастных и технологических групп свиней энергией, аминокислотами, жирными кислотами, минеральными веществами, витаминами. Необходимо знать, сколько животным разводимых современных пород, линий, гибридов требуется незаменимых элементов питания и сколько их находится в используемых кормах, чтобы конструировать полноценные высокоэффективные комбикорма. Кроме этого, важно включать в состав комбикормов дополнительные вспомогательные ингредиенты, такие как ферментные препараты, подкислители, пробиотики, адсорбенты, вкусовые добавки и другие компоненты, способствующие повышению использования питательных веществ комбикормов, сохранению крепкого здоровья животных и получению от них высококачественной продукции. Такой подход позволяет лучше сбалансировать комбикорма и за счёт этого повысить продуктивность животных, улучшить качество продукции и снизить затраты на её производство. Однако существующие нормы кормления и содержания элементов питания в комбикормах уже не удовлетворяют потребности свиней современных пород и гибридов, почти повсеместно разводимых в хозяйствах республики, и требуют дальнейшего совершенствования и уточнения.

Таким образом, актуальность проблемы вызывает необходимость дальнейшего проведения исследований зависимости уровня обменной энергии комбикормов и их аминокислотной сбалансированности с учётом региональных особенностей кормопроизводства. Белковому и аминокислотному питанию свиней в последнее время было посвящено сравнительно много исследований, которые опубликованы в работах В.

Рядчикова [50; 51; 52], Н.С.-А. Ниязова [31; 33; 35], К. Еримбетова [16], S. Boisen et.al. [105; 106], G. Wu [145; 504; 509], H. Stein et. al [71; 432] и других. Результатами этих разработок явилось определение основных параметров метаболизма белков в организме свиней, регуляции обмена аминокислот и азотистых соединений, а также факторов, ограничивающих полноценность белкового питания свиней.

Оценка протеинового и аминокислотного состава кормов, определение потребности в незаменимых аминокислотах и их физиологической роли открыли большие возможности для балансирования рационов по лимитирующим аминокислотам не только подбором кормов, но и за счёт использования синтетических аминокислот. При этом важным достижением для свиноводства в решении белковой проблемы является практическое применение синтетических аминокислот промышленного производства, позволяющих повысить полноценность рационов с дешёвыми растительными кормами до уровня рационов с кормами животного происхождения. Следует отметить, что современное понимание концепции «идеального протеина» базируется на строгом учёте количества и соотношения аминокислот в рационе, включая незаменимые и заменимые аминокислоты и их взаимосвязь с обменной энергией. Поэтому балансирование аминокислотного состава протеина комбикормов в соответствии с концепцией «идеального протеина» позволяет повысить эффективность его использования [11; 18], снизить выделение азота из организма животных, уменьшить загрязнение окружающей среды [47] и обеспечить возможность использования в кормлении свиней зерна высокоурожайных районированных сортов злаковых и бобовых культур. Однако, несмотря на успехи, достигнутые в области кормления, проблема обеспечения отрасли свиноводства полноценным, сбалансированным протеином, а следовательно, и высокоэффективными, отвечающим физиологической потребности животных, комбикормами, остаётся актуальной. Данная работа посвящена современным принципам нормирования количества обменной энергии и незаменимых аминокислот в комбикормах для всех растущего откармливаемого молодняка свиней с высокой, генетически обусловленной мясной продуктивностью.

## 1. ЗООТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И АМИНОКИСЛОТНОГО ПИТАНИЯ СВИНЕЙ

Все биохимические процессы в природе сводятся к синтезу и разложению органических веществ. Живые организмы представляют собой не изолированные, а открытые системы, в которые непрерывно поступает энергия из окружающей среды и такое же количество её выделяется, при этом устанавливается динамическое равновесие в организме.

С учётом первого и второго законов термодинамики R. Baldwin, A. Wywater [91] пришли к выводу, что все виды энергий количественно преобразуются в тепловую. Данный вид энергии может быть превращён в работу только в тех случаях, когда эта энергия поступает в систему при достаточно высоком уровне температуры и покидает её при значительно более низком уровне температуры. Поэтому тепловая энергия не может быть превращена в работу в такой изотермической системе, как организм теплокровного животного. Она используется только для сохранения (поддержания) температуры его тела.

Как целое живой организм и отдельные его клетки существуют благодаря способности поглощать питательные вещества и выводить конечные продукты обмена. W. Pond и др. [219] считают, что энергия, содержащаяся в любом корме в виде химической энергии, выделяется путём частичного или полного окисления углеводов, жиров и белков, подвергаясь пищеварительным и абсорбционным механизмам в желудочно-кишечном тракте. Использование энергии окисления для совершения химической работы является универсальным и наиболее важным результатом процессов дыхания и фотосинтеза. Химическая энергия может быть использована двумя принципиально различными способами: в первом случае – в качестве унифицированной формы энергии выступает АТФ, во втором – электрохимический потенциал ионов водорода, представленный разностью электрических потенциалов на мембране.

Максимальное количество энергии, которое любая молекула может обеспечить при её окислении в организме для поддержания функций его жизнедеятельности и производства продукции, измеряется теплотой сгорания вещества. Данный постулат сформулировали в ещё в 1915 году Н. Armsby и J. Fries. Поэтому все измерения энергетических преобразований выражаются в единицах тепловой энергии – калориях или джоулях, то есть энергия – это абстракция, которую можно измерить только при её трансформации из одной формы в другую.

Метаболизм – всеобъемлющий термин для химических реакций, посредством которых клетки организма преобразуют энергию, сохраняют свою идентичность и воспроизводятся. Данный процесс идёт по двум

направлениям. Диссимиляция (катаболизм) высвобождает энергию путём окисления энергетических соединений в экзогенных реакциях, в то время как ассимиляция (анаболизм) синтезирует части тела в эндогенных реакциях, посредством использования энергии, выделяемой в экзогенных реакциях. Все процессы экзогенных и эндогенных реакций должны быть упорядочены и взаимосвязаны, причём общее количество чистой энергии должно быть получено в экзогенных реакциях [99].

Все реакции организма на воздействие внешней среды направлены на сохранение энергетического баланса и массы тела. Эти реакции носят приспособленческий характер и имеют сложнорефлекторную природу. Примером проявления реакций, поддерживающих сохранение энергетического баланса организма, могут служить торможение теплопродукции (основной обмен), кровообращения, лёгочного дыхания, выделения и других физиологических функций, направленных на уменьшение выделения энергии в ответ на голодание, и активизация указанных функций, направленных на удаление избытка энергии из организма в ответ на обильное кормление. Явления алиментарного ожирения у свиней можно рассматривать как результат такого обильного кормления, когда защитные реакции при максимальном своем напряжении не в состоянии освободить организм от избытка питательных веществ корма.

Теоретически энергия представляет собой общий показатель, связанный со всеми питательными веществами кормовых ингредиентов [345]. При потреблении животными кормов содержащаяся в них потенциальная (валовая) энергия аккумулируется в химических соединениях тела, таких как синтез АТФ [218; 368; 492]. Кроме того, физиологически энергия, которая переносится АТФ, не полностью используется организмом и также теряется в виде тепла, когда АТФ используется для различных биологических функций [314]. Содержание валовой энергии корма не отражает информацию о количестве этой энергии, которая доступна животному в процессе пищеварения или во время обмена веществ. Валовая энергия редко используется для характеристики кормов, но необходима для аналитических вычислений. Обычно она определяется в калориметре адиабатической бомбы. Альтернативно, поскольку энергия, поставляемая данным кормом, состоит из углеводов, жира и белка, когда известно соответствующее их содержание в кормовом ингредиенте, её концентрацию можно оценить расчётным путём. В последнее время рядом авторов предложены эмпирические величины для расчёта валовой энергии, которые позволяют свести к минимуму расхождения в показателях при прямом (сжигании) и расчётном определении калорийности корма. Так, по данным K. Nehring et. al. [220], энергетическая ценность отдельных видов углеводов составляет (ккал в 1 г):



галактозы – 3,722, декстрозы – 3,743, фруктозы – 3,755, мальтозы – 3,943, лактозы – 3,952, сахарозы – 3,955, крахмала – 4,183, арабинозы – 3,722, ксилозы – 3,746, целлюлозы – 4,179. Позднее было установлено [221], что 1 г глюкозы содержит 3,744 ккал, а крахмала – 4,160 ккал. Учёные пришли к выводу, что содержание валовой энергии в белке зависит от состава аминокислот и составляет в среднем 5,64 ккал на 1 г белка.

Валовая энергия большинства жиров, используемых в кормлении животных, составляет около 9,4 ккал/г [367]. Однако C. de Lange, S. Birkett [132] сообщали о значении содержания валовой энергии жира в 9,51 ккал/г. Теоретически энергия жиров, содержащих жирные кислоты с более короткой углеродной цепью, ниже, чем жиров с длинной цепью, поскольку в триглицеридах возрастает относительная доля глицерина. По определению этих же авторов перевариваемая энергия – это та часть энергии рациона, которая не исчезает (теряется с калом) во время прохождения корма по пищеварительному тракту и впоследствии будет поглощена и станет доступной для животного [131]. Её часто называют очевидной усваиваемой энергией, поскольку она является истинной мерой значений энергии питательных веществ, абсорбированных из пищеварительного тракта. Установлено, что у свиней потери энергии с калом составляют от 13,7 до 33,8 ккал в сутки на 1 кг живой массы, причём у молодых животных они выше – 20,4–33,8 ккал, а у взрослых – всего 13,7–16,8 ккал [153]. У свиноматок теряемая с неперевавленными веществами энергия на 28,6 % состоит из энергии протеина, соответственно на 21,4% из жира, на 21,2 % их клетчатки и на 28,7 % из безазотистых экстрактивных веществ [443]. Часть энергии в фекалиях формируется за счёт эндогенных источников (например, пищеварительных секретов и остатков клеток кишечника) [101].

Для большинства рационов, скармливаемых свиньям, количество перевариваемой энергии составляет от 70 до 90 % валовой энергии [441]. В исследованиях D.Y. Kil, H. Stein [313] этот показатель для типовых кукурузно-соевых рационов у откармливаемых чистопородных свиней составил в среднем 82 %. Средняя величина перевариваемой энергии зависит от уровня и источников клетчатки (пищевых волокон), липидов, минеральных веществ в рационе, количества потреблённого корма и способов его обработки [97; 154]. Среди перечисленных факторов пищевые волокна являются основной причиной изменения значений перевариваемой энергии в рационах свиней [361].

Имеются сведения о влиянии возраста и живой массы животного на доступность перевариваемой энергии из рациона из-за различий среди молодых и взрослых свиней в их способности ферментировать пищевые волокна [424]. Исследованиями D.Y. Kil et al. [314] показаны различия

в количестве извлекаемой из рационов и отдельных ингредиентов животными переваримой энергии с увеличением живой массы и развитием желудочно-кишечного тракта. Проанализировав большое количество рационов (77 рецептов комбикормов), G. Le Goff и J. Noblet [326] установили, что один грамм нейтрально-детергентной клетчатки содержит 3,4 кДж переваримой энергии для растущих животных (живой массой 60 кг) и 6,8 кДж для взрослых свиноматок. Также показано, что разница между переваримой энергией взрослых свиноматок и растущих свиней пропорциональна количеству переваренного органического вещества. Как позже было установлено, для растущих свиней этот показатель составляет в среднем 4,2 кДж/г [362]. Оставшаяся в организме энергия за вычетом потерь энергии с калом, мочой или в виде газов называется обменной энергией – это та часть энергии, которая требуется животному для поддержания физиологических процессов (поддержание жизни) или для отложения белков и жиров [52; 492]. Потери энергии с мочой зависят от концентрации азота в моче. В среднем, 50 % потреблённого азота используется для синтеза белка тела, а остальные 50 % выводится с мочой и калом [314]. Однако значение обменной энергии учитывает только потери энергии в виде экскреции с мочой, без затрат энергии на саму экскрецию (например, энергетические затраты на синтез мочевины) [100].

Основными энергетическими веществами мочи свиней являются продукты белкового обмена, к которым относятся мочевина, гиппуровая кислота, мочева кислота, креатинин, пуриновые основания, аммиак. На долю азота мочевины приходится 84,5 % всего азота мочи. Содержание энергии по данным [220] в 1 г мочевины составляет 2547 кал, мочева кислоты – 2741, гиппуровой кислоты – 5678 кал. На долю безазотистых органических веществ (свободные фенолы, соли глюкуроновой кислоты, лимонная кислота, индикан и др.), содержание которых в моче свиней незначительно, приходится небольшое количество энергии.

Газообразные потери энергии часто игнорируются при расчёте обменной энергии, потому что свинья производит относительно небольшое количество газов и существуют определённые сложности измерения этих потерь. Проанализировав 41 рацион, J. Noblet et al. [394] установили, что эти потери составляют от 0,1 до 1,2 %, причём последнее значение получали на рационах, которые содержали целлюлозу соевых бобов или сахарную свёклу. В данном случае потеря энергии с метаном составила около 5 % от переваримой энергии сырья. По мнению A. Chwalibog, K. Jakobsen [221], этот показатель находится на уровне от 0,1 до 3 %. Следовательно, предполагаемая концентрация обменной энергии обычно находится на 0,5-5 % ниже реальной величины в

зависимости от количества и характеристик пищевых волокон (клетчатки) [154] и возраста животного [222].

Использование энергии животным для поддержания жизни связано с основными физиологическими функциями и произвольными действиями [223; 290], кровообращением, регенерацией тканей, переносом ионов клетками для поддержания мембранного потенциала и кислотно-щелочного гомеостаза [91], иммунными реакциями, с физической активностью, приёмом и перевариванием корма [490]. Кроме того, энергия требуется для гомеотермических функций, то есть поддержание температуры тела независимо от среды, в которой находится животное [122; 291]. W. Close [342] и J. Noblet et al. [362] установили, что свиньи, находящиеся в помещениях с температурой ниже оптимальной, для сохранения постоянной температуры тела потребляют на 3-4 % больше энергии на каждый 1 °С снижения температуры окружающей среды.

У свиней потребности в энергии для поддержания жизненных процессов определяются натошак или у животных, которым скармливают ограниченное количество корма, что приводит к ограничению поступления энергии в организм [118]. Тем не менее, эти методы подвергаются критике из-за различий в энергетическом обмене между ограниченным кормлением свиней и кормлением вволю [223]. Более практичный подход состоит в определении потребностей в энергии для поддержания жизни в качестве концептуальной постоянной основы линейного регрессионного анализа [285].

Затраты обменной энергии на поддержание также можно оценить по разнице между общим потреблением энергии и энергии, используемой для синтеза белка и отложения жиров, если известны коэффициенты полезного действия белка и жиров [100]. Количество энергии для поддержания жизни, рассчитанное по этой методике, варьировало от 92 до 160 ккал/кг метаболической живой массы<sup>0,75</sup> или в среднем 106 ккал/кг [367].

Установлено, что потребности в энергии для поддержания обменных процессов у растущих свиней составляют примерно одну треть от общего количества потребленной энергии, а остальные две трети калорийности рациона откладываются в виде белков или жиров тела [291]. Согласно результатам исследований [342], энергия поддержания может составлять до 40 % потребляемой энергии рациона, причём до 10 % от этого количества составляет энергия окисления аминокислот. У человека в состоянии покоя окисление аминокислот обеспечивает около 15% данного вида энергии [93]. По сообщениям J. Patience [460], у свиньи весом 70 кг около 34 % суточного потребления энергии направляется на поддержание.

Количество энергии для поддержания выражается как не линейная

функция живой массы. В доступной литературе наиболее часто встречается значение степени, равное 0,75. Это значение было определено М. Kleiber и согласуется с показателями критической кривой Броди. Однако в недавнем анализе аллометрии обменного метаболизма млекопитающих С. White [500] не нашёл подтверждения этому значению показателя и вместо него было предложено значение 0,66. Ряд авторов сообщал об аллометрических соотношениях для свиней в пределах 0,60-0,647 [270; 421]. J. Noblet et al. [362] предположил, что при выражении живой массы в степени 0,75 недооценивается у растущих свиней количество энергии, направляемое для поддержания основных функций организма. Следовательно, это повлияет на оценку энергетической эффективности отложения белка и липидов. При использовании коэффициента 0,60 в качестве показателя для определения метаболической живой массы расчётные потери составляют от 186 до 250 ккал/кг метаболической живой массы [332; 395] или в среднем 197 ккал/кг для выращиваемых откармливаемых свиней [367].

Синтез жира в организме происходит из комбинированного пула экзогенного жира и синтеза *de novo* жирных кислот. Экзогенный жир в основном состоит из переваренного жира, но также включает модифицированные жирные кислоты и жирные кислоты, синтезированные микробами в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ). Жирные кислоты *de novo* синтезируются из углеводов, летучих жирных кислот и дезаминированных аминокислот. Исследованиями, проведёнными в Ноттингемском университете, установлена связь между обменной энергией отдельных жирных кислот и составом жира или смесью жирных кислот, в которой они скармливаются [154]. Встречающиеся в жирах ненасыщенные жирные кислоты хорошо перевариваются и поэтому обладают высоким уровнем обменной энергии. Это целиком относится и к растительным жирам, в состав которых входят главным образом ненасыщенные жирные кислоты.

Все существующие системы чистой (нетто) энергии для свиней основаны на использовании обменной энергии для поддержания жизни и роста или для откорма [216]. Чистая энергия определяется как количество обменной энергии минус энергия приращения тепла [367]. Приращение тепла представляет собой тепло, вырабатываемое при использовании обменной энергии для метаболических процессов в организме и энергетическими затратами на проглатывание, пищеварение и физическую активность [490]. Таким образом, чистая энергия отличается от обменной количеством потерянного тепла в результате химических процессов, связанных с пищеварением и обменом веществ.

Система нетто-энергии получила широкое распространение в Европе при разработке программ кормления выращиваемых свиней.

Алгоритмы, используемые National Research Council (США) для оценки значений нетто-энергии, объединяют результаты прямых измерений с использованием животных (поросят) и данные уравнений прогнозирования. Важно отметить, что предсказанные значения нетто-энергии (уравнения прогноза) должны быть тщательно оценены, поскольку уравнения часто разработаны с использованием полнорационных комбикормов, необходимо проявлять осторожность при экстраполяции к отдельным компонентам комбикорма. Значения энергии исследуемых ингредиентов находятся под влиянием физико-химических свойств вещества и физиологического состояния свиней (рост, беременность, период лактации). Узким местом системы нетто-энергии является то, что значения определяются в стандартных условиях и, следовательно, применение в практических условиях может привести к непредсказуемым последствиям производства.

Несколько исследований роста, проведённых на комбикормах с переменным содержанием сырого жира и сырого протеина, показали, что энергетические затраты на рост или суточные потребности в энергии не зависят от состава рациона при выражении их на основе нетто-энергии [363]. С другой стороны, при выражении энергии корма в единицах перевариваемой или обменной энергии количество энергии занижается, когда содержание сырого протеина уменьшается и увеличивается содержание жира [441]. Это свидетельствует о том, что данные системы переоценивают энергетическую ценность белка и недооценивают энергетическая ценность жира.

S. Boisen, M. Verstegen [104] предложили иную концепцию оценки значения нетто-энергии кормов для свиней (так называемая физиологическая энергия) на основе моделирования процессов пищеварения *in vitro* при оценке усвояемости компонентов и биохимических коэффициентов для оценки потенциала АТФ, синтезируемой из этих компонентов. В этот метод также могут быть включены дополнительные теоретические положения, касающиеся выработки эндогенных секретов. Помимо определённых трудностей проведения метода пищеварения *in vitro*, этот подход предполагает, что энергия используется исключительно для производства АТФ, что, например, не относится к выращиваемым поросётам.

Таким образом, в организме свиньи энергия рациона усваивается, метаболизируется, накапливается, а затем используется для поддержания обменных процессов и продукцию. Она является самым дорогим питательным веществом в рационах свиней, за которым следует белок, который составляет около 25 % стоимостных затрат на питательные вещества [63]. Приведённые выше различные алгоритмы энергетических систем разработаны и используются для количественной оценки

доступной энергии в кормовых ингредиентах и рационах свиней. Тем не менее, ни одна из энергетических систем не в состоянии точно предсказать истинное значение энергии рациона из-за значительных динамических взаимодействий животного, окружающей среды и характеристик кормов.

**Источники энергии.** На современном уровне развития зоотехнической науки оценка питательности кормов и рационов, как и нормирование кормления животных, является комплексной и многофакторной. Свиньи способны извлекать питательные вещества из кормов как растительного, так и животного происхождения [73]. В рецептах комбикормов, используемых в промышленном свиноводстве, более 80 % от общего количества ингредиентов составляет зерно злаковых. Традиционными для нашей республики зерновыми культурами являются ячмень, пшеница, тритикале и, в меньшей степени, овёс, рожь и кукуруза [44; 56], в сухом веществе которых углеводы занимают 65-75 %. Посевные площади данных культур на 01.01.2021 г. составляют 2385 тыс. га или 40,8 % от всех возделываемых площадей. Ячменем занято 7,8 %, пшеницей – 12,2 %, тритикале – 8,6 %, рожью – 4,1 %, овсом – 2,5 %, кукурузой на зерно – 2,1 %, зернобобовыми культурами – 2,8 %.

Использование организмом животного углеводов определяется их мономерным составом, типами связей и степенью полимеризации молекул [113]. В тонком отделе кишечника всасываются только моносахариды. При наличии специфических эндогенных ферментов, разрушающих гликозидные связи в дисахаридах, крахмале и гликогене, высвобождаемая в результате гидролиза глюкоза и её изомеры в последующем также абсорбируются организмом [437]. Она также является источником энергии для клеток головного мозга, эритроцитов и других клеток с небольшим количеством митохондрий или без них [234].

Крахмал представляет собой полимер D-глюкозы, состоящий из двух типов молекул: амилозы и амилопектина. Амилоза является коротким линейным полимером глюкозы, содержащем до 1000 структурных единиц. Амилопектин содержит более крупные цепи глюкозы – в среднем от 10000 до 100000 единиц [88]. Нативный крахмал зерна злаковых имеет открытую структуру в виде полукристаллических гранул с различным соотношением амилозы и амилопектина и относится к типу А [114]. Скорость ферментативного гидролиза крахмала в пищеварительном тракте животного зависит от ботанического вида растения, физических характеристик корма, наличия других питательных и антипитательных веществ, размера и формы гранул. Чем меньше размер гранул, тем больше площадь поверхности для действия фермента  $\alpha$ -амилазы и выше скорость гидролиза [430; 434]. Часть крахмала не переваривается  $\alpha$ -амилазой и другими ферментами тонкого отдела кишечника и

подвергается микробной ферментации в толстом отделе кишечника. Такой крахмал называют устойчивым (резистентным) [457]. Все крахмалосодержащие ингредиенты кормов содержат устойчивый крахмал [116]. В большинстве зерновых культур его значения колеблются от 0 до 19 % суммарного количества углеводов, тогда как в семенах бобовых этот показатель составляет от 10 до 20 % [224]. Влаготепловые обработки ингредиентов комбикормов уменьшают долю крахмала, устойчивого к перевариванию.

Усвояемость питательных веществ зерновых ингредиентов комбикормов в наибольшей степени зависит от наличия в них углеводной фракции, называемой некрахмалистыми полисахаридами, на долю которой приходится от 9 до 28 % всех углеводов. Из-за отсутствия у свиней эндогенных ферментов перевариваемость этих углеводов ограничивается микробной деградацией в толстом отделе кишечника. При этом потери энергии из-за образования метана, водорода и выделяемого при брожении тепла уменьшают количество энергии доступной для животного, тем самым снижая эффективность её использования [309; 364].

Целлюлоза, изомеры D-глюкана (в основном  $\beta$ -глюкан) и арабиноксиланы являются основными полисахаридами клеточной стенки зерновых, которые имеют различные пропорции и структуру в зависимости от вида и тканей зерна [87]. В среднем содержание целлюлозы в первичных клеточных стенках эндосперма составляет от 20 до 30 %, тогда как вторичные клеточные стенки могут содержать её до 50 % [388]. У злаков D-глюканы представляют собой линейные гомополисахариды остатков D-глюкопиранозы, связанные набором гликозидных связей. Наибольшее его количество содержат зерно ячменя от 40 до 70 г/кг<sup>-1</sup> [79; 89] и овса, причём, в шелушённом овсе  $\beta$ -глюкана больше, чем в оболочке [267]. Арабиноксиланы являются полимерами сахаров-пентоз (арабинозы и ксилозы) и составляют 60-70 % массы клеточных стенок эндосперма зерновых культур, за исключением овса и ячменя (до 20 %). Одна треть фракций арабиноксиланов зерна пшеницы и ржи растворима в воде [87]. Это свойство полисахаридов обуславливает высокую кишечную вязкость содержимого желудочно-кишечного тракта животных при использовании в комбикормах большого количества таких ингредиентов, тем самым снижая переваримость питательных веществ и их абсорбцию.

Лигнин не является углеводом, но связан с полисахаридами клеточной стенки. Он состоит из полимеризованных фенилпропановых звеньев спиртов, связанных эфирными и углерод-углеродными связями. Лигнин сконцентрирован во внешнем слое зёрен по сравнению с клеточными стенками эндосперма, что проявляется в повышении его концентрации в побочных продуктах корма (отрубях). Лигнин может

связываться с полисахаридами, образуя ковалентные связи с остатками сахара или феруловой кислотой, которые этерифицированы этими полисахаридами, после чего часть углеводных полимеров становится недоступной для ферментного гидролиза [88]. A. Wilfart et al. [150] установили, что увеличение концентрации пшеничных отрубей в рационах растущих свиней не влияло на скорость опорожнения желудка, но сокращало время транзита химуса по тонкому и толстому кишечнику.

Ячмень очень часто используется в комбикормах для свиней в качестве основного источника энергии. Крахмал является наиболее распространённым компонентом эндосперма, составляя от 58 до 70 % общей массы зерна. Помимо крахмала ядро ячменя содержит простые сахара, такие как глюкоза, фруктоза и мальтоза, однако их содержание находится в пределах от 0,1 до 0,2 % [271]. Высокие уровни доступных незаменимых аминокислот, присутствующих в ячмене, способствуют составлению недорогих рационов, которые эффективны с точки зрения полноценности питания и обеспечивают максимальное качество туши [495]. Однако в оболочке ячменя отмечается высокое содержание клетчатки и, следовательно, низкий уровень перевариваемой энергии по сравнению с шелушённым ячменем. Так, по сообщениям S. Fairbairn et al. [456], содержание перевариваемой энергии в 20-ти образцах зерна ячменя при 10%-ной влажности варьировало от 11,2 до 13,1 МДж/кг. Энергетическая ценность ячменя может быть существенно улучшена путём удаления оболочки [273]. Хотя технология шелушения широко распространена, хрупкость зерна и низкая урожайность, а также высокая стоимость удаления оболочки являются сдерживающим фактором его использования в рационах свиней.

Тритикале – один из относительно новых и конкурентноспособных видов злаков, созданный путём скрещивания твёрдой пшеницы с рожью. Современные программы селекции тритикале, направленные на увеличение количества крахмала, сопровождаются снижением сырого протеина и незаменимых аминокислот, хотя их уровни в тритикале сопоставимы с аналогичными показателями пшеницы и выше, чем у кукурузы. По содержанию лизина зерно тритикале на 10-12 % превосходит пшеницу и ячмень. Из-за наличия огромного количества гибридов содержание крахмала в тритикале колеблется от 660 до 730 г/кг сухого вещества [119]. По мнению A. Dennett et al. [431], состав крахмала влияет на скорость переваривания и абсорбции питательных веществ в моногастричных животных, поэтому предпочтительным является более высокое содержание  $\alpha$ -амилозы, поскольку оно замедляет всасывание глюкозы. Кроме того, в нескольких исследованиях отмечалась отрицательная корреляция между перевариванием крахмала и увеличением отношения амилоза/амилопектин [385; 440]. Фактическое содержание



амилозы в тритикале составляет от 128 до 351 г/кг от общего количества крахмала по сравнению с 269-428 г/кг для пшеницы [78; 82]. Содержание нерастворимых пентозанов в тритикале является самым высоким – 6,6 %, во ржи – 4,9 % и в пшенице – 3,9 %, поэтому количество перевариваемой энергии в зерне тритикале в среднем составляет 95-98 % от уровня энергии кукурузы или пшеницы [478]. В исследованиях E. Beltranena et al. [477] в рационах поросят-отъёмшей при замене 66,5 % зерна пшеницы на адекватное количество озимого и ярового тритикале эффективность использования корма увеличилась соответственно на 2 и 3 %. Дальнейшие исследования показывают, что замена зерна кукурузы, пшеницы или ячменя в комбикормах для свиней на зерно тритикале не оказывает отрицательного влияния на их рост, развитие и качество продукции [23; 121; 231].

Пшеница является одним из основных компонентов комбикормов для свиней. По количеству углеводов и сырого протеина среди зерновых культур она один из наиболее изменчивых ингредиентов комбикормов. Количество крахмала, содержащегося в пшеничном зерне, может варьировать от 60 до 75 % от сухого вещества. При этом количество амилозы составляет 20-30 % и 70-80 % приходится на амилопектин. При производстве комбикормов имеет большое значение тонина помола пшеницы, поскольку в мелких частицах зерна (размером до 1,5 мм) растворимые некрахмалистые полисахариды, попадая в ротовую полость животного, быстро превращаются в клейкую массу, которая в дальнейшем при продвижении по желудочно-кишечному тракту может приводить к нарушению процессов пищеварения и снижению потребления корма [195]. Из общего количества всех углеводов пшеницы на клетчатку приходится около 11 %. По мнению J. Wiseman [503], сильные коррелятивные связи между количеством нейтрально-детергентной и кислотно-детергентной клетчатки и количеством безазотистых экстрактивных веществ в зерне пшеницы можно использовать для прогнозирования содержания первариваемой энергии при расчетах рационов для свиней. В исследованиях R. Zijlstra et al. [516] содержание перевариваемой энергии в 16-ти протестированных образцах пшеницы варьировало от 15,4 до 16,9 МДж/кг сухого вещества. Из обобщённых данных 17-ти исследований J. Kim et al. [315] следует, что концентрация перевариваемой энергии находилась в диапазоне от 3177 до 4761 ккал/кг сухого вещества. Эти результаты свидетельствуют о необходимости тщательного определения энергетической ценности каждой крупной партии пшеницы. По мнению G. Partridge [469], добавление экзогенных ферментов в рационы свиней, таких как ксиланаза,  $\beta$ -глюканаза, амилаза, пектиназа и целлюлаза, не оказало явных преимуществ по использованию некрахмалистых полисахаридов пшеницы. Зерно пшеницы используют в

рецептах комбикормов для всех без исключения технологических группах свиней в количестве 25-30 %, исключение составляют откормочный молодняк и свиноматки, где лимит не превышает 50 %. В исследованиях N. Kiem et al. [114] установлено, что увеличение до 700 г/кг корма зерна пшеницы рационах растущего молодняка свиней приводило к более высокой частоте изъязвлений желудка по сравнению со свиньями, потреблявшими комбикорма с меньшим содержанием пшеницы.

Несмотря на неоднозначное отношение части свиноводов ко ржи, современные гибридные сорта этой зерновой культуры в европейской части континента способны давать стабильно высокие урожаи – до 80-95 ц/га. По содержанию обменной энергии она на 3-5 % уступает пшенице и тритикале, но превосходит ячмень [46]. Содержание лизина в пересчёте на 1 % белка во ржи самое высокое, несмотря на относительно низкий уровень сырого протеина. Помимо крахмала, количество которого достигает 65 % сухого вещества, некрахмалистые полисахариды являются наиболее распространённым компонентом в цельнозерновой ржи – примерно 17 %, из которых 12 % приходится на арабиноксиланы [160]. Арабиноксиланы ржи, по сравнению с пшеничными, имеют более высокое (в 2-3 раза) содержание растворимой фракции [194], которая образует высоковязкие растворы и значительно снижает поглощение и использование питательных веществ из химуса [444]. В доступной литературе имеются противоречивые сведения о количестве зерна ржи, вводимой в рационы свиней. Его не следует скармливать отъёмышам. По данным J. Lindberg [412], рост поросят на дорастивании с использованием в рационах 50 % зерна ржи был на 11-12 % медленнее, чем на рационах с 50%-ным содержанием ячменя, хотя в более поздних исследованиях не обнаружено различий между растущими свиньями, которым скармливали 53 % ржи или такое же количество ячменя. Смесь пшеницы, ржи и ячменя (25:25:25) использовали в качестве основного рациона при выращивании свиней в опытах J. Willamil et al. [499], где она выгодно отличалась от рациона на основе кукурузы, обеспечивая более высокую конверсию корма и улучшенную продуктивность животных. При испытании комбикормов, содержащих 64 % ржи с добавлением смеси  $\beta$ -глюканазы и  $\beta$ -ксилаказы, в опытах L. V. Glitso et al. [298] получено 940 г среднесуточного прироста живой массы при конверсии корма 2,43 кг на 1 кг прироста. Таким образом, не только экономические факторы (низкая стоимость зерна ржи по сравнению с другими зерновыми ингредиентами), но и современные технологии кормоприготовления должны стимулировать использование этой культуры в рационах свиней.

Скармливание свиньям зерна овса обеспечивает поступление в их организм примерно на 10 % меньше перевариваемой энергии, чем ячмень,

и на 20 % меньше, чем пшеница и кукуруза. Одной из основных причин низкого содержания энергии в этом ингредиенте комбикормов является то, что овёс содержит высокий уровень целлюлозы,  $\beta$ -глюкана и арабиноксиланов. Более низкая усвояемость органического вещества и крахмала овса обусловлена большим содержанием именно нерастворимых фракций полисахаридов, что отрицательно влияет на доступность и действие эндогенных ферментов в верхнем отделе кишечника [92; 293]. Зерно овса имеет хороший аминокислотный профиль, который выгодно отличается от других зерновых культур. Шелушение овса позволяет увеличить количество обменной энергии в зерне на 15-20 %.

В Белорусском НИИ земледелия и кормов созданы сорта голозёрного овса «Белорусский голозёрный» и «Вандроўнік», урожайность которых составляет 50-55 ц/га. Особенностью этого вида овса является отсутствие хорошо развитых цветочных плёнок на зерне, поэтому эти сорта характеризуются повышенным содержанием обменной энергии – 13,6 МДж/кг, сырого протеина – 12,5 %, сырой клетчатки – 3,7 %, лизина – 42 г/кг корма. В опытах В. Голушко и др. [10] установлена высокая эффективность включения 30 % голозёрного овса в состав комбикормов для поросят-сосунов и поросят-отъёмшей по сравнению с адекватным количеством шелушённого овса. По сообщениям P. Leterme et al. [325], шелушённый овес может включаться в рационы отъёмшей до 45 % без последствий для роста животных. Голозёрным овсом успешно заменяют кукурузу в качестве основного источника энергии в рационах для лактирующих свиноматок. Благодаря высокому содержанию клетчатки, овёс идеально подходит для использования в комбикормах холостых свиноматок, когда необходимо ограничить уровень обменной энергии до 11,5-12,0 МДж/кг корма [424].

В связи с климатическими изменениями всё больше хозяйств республики начинают возделывать кукурузу по зерновой технологии. Благодаря высокому содержанию крахмала (63,0-65,0 % сухого вещества), зерно кукурузы успешно используется в комбикормах в качестве источника энергии. Однако из-за содержания незаменимых аминокислот и, в первую очередь, лизина и триптофана биологическая ценность протеина зерна кукурузы самая низкая среди других зерновых культур. Фракционно крахмал зрелой жёлтой кукурузы содержит примерно 20 % амилозы и 80 % амилопектина, в то время как крахмал зерна восковой спелости состоит почти на 100 % из амилопектина [114]. На усвояемость крахмала оказывают влияние различные факторы, в том числе обработка зерна (измельчение, гранулирование, экструзия) [88] и наличие антипитательных веществ ( $\beta$ -глюкана и арабиноксиланов) [124; 125], поэтому и содержание обменной энергии в зерне может сильно варьировать.

Одним из недостатков кукурузного зерна является его высокая влажность в период уборки. Сотрудниками лаборатории кормления свиней РУП «Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по животноводству» разработана и внедрена технология заготовки и использования влажного консервированного зерна кукурузы для рационов откармливаемого молодняка свиней [12]. Использование данной технологии при откорме 15 000 голов свиней в год позволяет получать среднесуточные приросты живой массы не ниже 750 г при затратах 3,7-4,2 кг кормосмеси на единицу прироста. При этом за год экономится до 320 тонн условного топлива.

Таким образом, значительные улучшения в прогнозировании энергетической ценности кормов, подборе новых источников энергии для свиней станут возможны благодаря расширению знаний о путях использования энергии в организме, уточнению коэффициентов перевариваемости питательных веществ, которые, в свою очередь, зависят от химических характеристик кормов, биотехнологических обработок, индивидуальных особенностей животного (генотипа, живой массы, физиологического состояния) и взаимодействия между этими факторами.

***Физиологическая роль аминокислот в организме свиней.*** Белок – основной функциональный и структурный компонент всех клеток организма. Разнообразные по строению белки состоят из 20  $\alpha$ -аминокислот, десять из которых являются незаменимыми (лизин, метионин, треонин, триптофан, валин, лейцин, изолейцин, гистидин, аргинин, фенилаланин). Все необходимые для образования белка аминокислоты синтезируют лишь высшие растения, используя для этого соответствующие  $\alpha$ -кето- и  $\alpha$ -оксикислоты. Животные не способны к такому синтезу из-за отсутствия в их организме этих кислот. Поэтому незаменимые аминокислоты должны обязательно поступать в организм свиней с кормом [39; 50; 509]. У млекопитающих с однокамерным желудком лишь микроорганизмы толстого отдела кишечника могут образовывать отдельные незаменимые аминокислоты (метионин, лизин) [451]. Известно, что метаболизм азота в толстом отделе кишечника практически не влияет на белковый статус свиньи, поскольку микрофлора этого отдела кишечника обладает способностью дезаминировать аминокислоты и использовать углеродные скелеты для энергии.  $\alpha$ -кетокислоты, получаемые при дезаминировании аминокислот, включая незаменимые, подвергаются вновь аминированию или переаминированию с образованием соответствующих аминокислот. Исключения составляют лизин и треонин. У лизина  $\alpha$ -кето (окси-) кислота не аминировается и не трансаминируется, а обмен треонина в тканях протекает необратимо. Поэтому они должны присутствовать в рационах свиней в достаточных количествах [49; 75].

Лизин (диаминокарбоновая кислота) исключительно инертен в процессах обмена. В белки тканей тела лизин корма включается, не подвергаясь предварительным воздействиям. Установлено, что балансирование рационов молодняка свиней по лизину улучшает показатели их роста, особенно отложение в их теле азота [35; 151; 152; 197; 330]. Лизин участвует в окислительно-восстановительных реакциях в организме, процессах ацилирования, положительно воздействует на гемопоэз и состояние нервной системы [25]. Лизин является предшественником карнитина и кадаверина. Карнитину отводятся важные функции в промежуточном метаболизме. Он участвует в транспортировке жирных кислот с длинной цепью в митохондриальный матрикс, где происходит их бета-окисление и синтез АТФ [99]. Эта аминокислота влияет на скорость овуляции и развитие эмбрионов у свиней [120], на половую активность и объём эякулята хряков [447], на содержание мочевины в плазме крови свиней [16; 389].

Лизин в белке очень восприимчив к повреждению посредством термообработки, поскольку он обладает реакционно активной электронной  $\epsilon$ -аминогруппой, особенно если присутствуют восстановленные сахара. Поэтому последующие продукты лизина, созданные во время реакции Maillard, становятся больше не доступными для синтеза белков животными и человеком [7; 255; 375].

При производстве комбикормов для свиней, в состав которых входят зерно ячменя, пшеницы, тритикале, овса, ржи, кукуруза, рапсовый и подсолнечный шрота, лизин является первой лимитирующей аминокислотой [225; 504]. Использование кормовых препаратов незаменимых аминокислот позволяет не только балансировать комбикорма на основе растительных ингредиентов при дефиците белковых кормов, но и значительно повысить усвояемость питательных веществ рациона [58; 96; 136]. На белорусском рынке представлены две формы лизина – монохлоргидрат лизина и сульфат лизина. L-лизин сульфат, так и L-лизин-НСl производятся бактериальной ферментацией углеводов, но процесс ферментации сульфата L-лизина незначительно отличается от технологии получения L-лизин монохлоргидрата. Сульфат L-лизина содержит дополнительно и другие аминокислоты, фосфор, не присутствующие в L-лизин-НСl [303]. По мнению М. Smiricky-Tjardes et al. [98], биологическая доступность лизина для свиней в этих препаратах практически одинакова, различия состоят лишь в количестве действующего вещества. Дефицит лизина влияет на характеристики туши свиней, уменьшая процент постного мяса [4; 185], повышает толщину подкожного жира [179; 281] и увеличивает содержание внутримышечного жира в длиннейшей мышце спины [165], а при недостатке лизина ухудшается кальцификация костей, образование эпифизарных хрящей, качество зубной

эмали. В то же время избыток этой аминокислоты приводит к уменьшению деградации мышечного белка и снижению биосинтеза липидов посредством снижения экспрессии матричной РНК в скелетных мышцах [85]. Авторы сделали вывод о том, что лизин может функционировать в качестве сигнальной молекулы для регулирования протеинового обмена и метаболизма липидов в скелетных мышцах откармливаемых свиней. Однако основные молекулярные механизмы, с помощью которых всосавшийся лизин прямо или косвенно регулирует аккрецию мышечного белка и отложение жира у свиней, до сих пор не ясны.

Особенностью строения метионина (аминометилтиомасляной кислоты) является наличие серы и очень подвижной метильной группы. С его участием синтезируются не только белки тела, но и отдельные аминокислоты – серин и цистин. Метильная группа метионина используется для выработки соматотропного и адренотропного гормонов передней доли гипофиза, синтезе карнитина из лизина, адреналина из норадреналина и креатинина из ацетата гуанидина. Метионин в организме направляется для осуществления окислительно-восстановительных процессов. Он используется в печени для синтеза фосфолипидов (в частности лецитина), в качестве предшественника цистеина и таурина [354], участвует в метаболизме глутатиона, который является основным антиоксидантом в соматических клетках, влияет на синтез гемоглобина. Метионин регулирует образование аммиака, тем самым защищает почки и уменьшает раздражение мочевого пузыря, действует как естественный хелатирующий агент для тяжёлых металлов [108].

В отличие от большинства других аминокислот, которые производятся путём ферментации, кристаллический метионин получают химическим синтезом из метилмеркаптана, акролеина и цианистого водорода. Это имеет важное биологическое значение, поскольку, в то время как ферментация даёт только натуральный L-изомер химический синтез даёт рацемическую (50:50) смесь D- и L-изомеров (DL-метионин). Большинство животных, в том числе и свиньи, легко превращают D-метионин в L-метионин путём окислительного деаминирования в  $\alpha$ -кетокислоту и трансаминирования аминокислоты из глутамата. Среди практикующих специалистов присутствует мнение о том, что D-форма метионина используется менее эффективно, чем L-форма. Однако доказано, что D-, L- и DL-формы метионина имели равную степень утилизации в организме поросят [117]. При скармливании повышенных доз L-метионина (от 0,6 до 2,4 % рациона) самцам крыс отмечены значительные различия в показателях гематологии и клинической биохимии (гомоцистеина) [421]. Авторы исследований сделали вывод, что концентрация гомоцистеина в плазме может быть использована в качестве биомаркера для верхнего предела потребления метионина в рационе.

В комбикормах свиней, составленных на основе зерновых злаков и продуктов переработки масличных культур, серусодержащие аминокислоты обычно являются третьими [21] или четвёртыми критическими аминокислотами [76]. Дефицит метионина связан с такими заболеваниями, как токсикоз, паралич мышц, выпадение волос, ухудшение состояния печени и нарушение роста [252]. Недавние исследования [94] показали, что у подсосных поросят серосодержащая аминокислотная недостаточность приводит к атрофии тонкой кишки с более низкими бокаловидными клетками и пониженному содержанию глутатиона.

В организме моногастричных животных треонин (2-амино-3-гидроксимасляная кислота) используется только в L-форме. После всасывания в тонком отделе кишечника эта аминокислота включается в состав белков организма, в том числе идёт и на синтез белков его слизистой оболочки [262; 425]. В печени треонин преобразуется в глицин и ацетил-КоА [128]. В дальнейшем глицин участвует в образовании серина или используется для синтеза креатинина, нуклеотидов и солей желчной кислоты [509]. Недавними исследованиями *in vitro* [126] установлено, что лизин, аргинин, треонин, глутамин и лейцин очень активно используются микрофлорой тонкого отдела кишечника. Около 50 % треонина исчезает из раствора инокулята с люминальными бактериями, отобранными у здоровых свиней на дорастивании через 12 часов культивирования.

Установлено, что в составе иммуноглобулинов молока треонин составляет наибольшую часть – примерно 10 % от всех гликопротеинов [266]. Поэтому ограничение синтеза иммуноглобулинов может быть вызвано недостатком треонина в рационе, что свидетельствует о важной роли этой аминокислоты в активизации иммунного ответа в организме животного. Нехватка в рационе треонина приводит к снижению приростов живой массы, оплаты корма [191], концентрации мочевины в плазме крови [327], жировой инфильтрации печени [497]. Исследованиями установлено, что дефицит треонина способствует значительному снижению массы кишечного тракта и слизистой оболочки, количеству бокаловидных клеток и секреции муцина [473]. Учащались случаи диареи [65], нарушались морфологические параметры ворсинок подвздошной кишки [265; 279], синтез муцина во всех отделах тонкого кишечника, и как следствие барьерная функция желудочно-кишечного тракта [148].

Муцины богаты треонином, пролином, серином и цистеином и относительно устойчивы к пищеварению, поэтому эндогенные потери этих аминокислот могут быть высокими [514]. Скармливание рационов, содержащих повышенное количество дубильных веществ, лектинов, бактерии, грубой клетчатки, а также кишечные заболевания (диарея,

дизентерия, кишечные инвазии) вызывают атрофию кишечника и увеличивают секрецию муцина. Вследствие антагонизма между серусодержащими аминокислотами (метионином, цистеином) и треонином избыток последнего приводит к неблагоприятным последствиям, вызывая угнетение ферментативной секреции поджелудочной железы и снижение степени усвояемости метионина, в дальнейшем провоцируя его дефицит в организме [111]. Помимо своей основной роли, являющейся частью синтеза и отложения белка, триптофан (аминоиндолпропионовая кислота) является предшественником главных ферментов клеточного окисления – НАД<sup>+</sup> и НАДФ [348; 445; 481], а также серотонина в клетках головного мозга и мелатонина в шишковидной железе. На синтез серотонина уходит всего 1 % от всего поступившего в организм триптофана [323]. Однако данный нейротрансмиттер участвует в регуляции процессов сна, потребления корма, поведении и в стрессовых реакциях животного, а также в иммунном ответе организма [324], когда макрофаги купируют распространение инфекции путём производства индол-2,3-диоксигеназы, которая является одним из ферментов катаболизма триптофана [346]. Установлено, что триптофан способен увеличивать потребление корма за счёт увеличения уровня грелина в мембранах рецепторов желудочно-кишечного тракта [288; 305]. Грелин является гормоном, который стимулирует аппетит и регулирует высвобождение гормона роста гипофизом [480]. Триптофан участвует в регуляции уровня глюкозы в крови животных и является предшественником никотиновой кислоты (витамина РР). Дефицит этой аминокислоты обычно приводит к отрицательному балансу азота и потере веса, отмечается ожирение печени, причём обычно вокруг воротной вены. Недостаток триптофана в рационе сказывается на снижении репродуктивной функции и сбоях выработки женских половых гормонов [181], повышении возбудимости и агрессивном поведении [312], конвульсиям, образованию катаракты. Повышение уровня поступления триптофана снижает потери живой массы у лактирующих свиноматок [376], поросят [161] и свиней на доращивании и откорме [382; 471], улучшает характеристики их туш [211; 452; 476]. При чрезмерных приемах с кормом триптофана растущими животными развивается жировая инфильтрация печени и фиброзные изменения в мышцах, лёгких и поджелудочной железе [344].

Особое значение имеет стресс, получаемый свиньями при транспортировке на бойню. Установлено, что стресс является одной из причин получения бледно-мягкой эксудативной свинины (порок PSE) [352]. Другие исследования выявили снижение частоты порока PSE при добавлении в течение 5-ти перед убоем 0,5 % кристаллического триптофана и 0,1 % тирозина в рацион молодняка свиней [64]. Авторы утверждают, что снижение PSE было связано с более высокой концентрацией



серотонина и, следовательно, меньшей восприимчивостью к стрессу опытных свиней по сравнению с контролем. В другом опыте Установлено, что добавление триптофана в комбикорма оказывает успокаивающее действие на животных во время транспортировки на мясокомбинат и после неё [180].

Во время отъёма поросята испытывают физиологические, кормовые, социальные и экологические изменения (стресс). Сразу же после отъёма поросята очень восприимчивы к некоторым инфекционным возбудителям (*E. coli* и *Mycoplasma*) и имеют депрессивные темпы роста в течение первых нескольких дней [381]. Эта ситуация отрицательно влияет на результаты их дальнейшего выращивания. Исследования, проведённые коллективом учёных [212], показали, что добавление 0,5 % триптофана в комбикорма в течение 6 дней после отъёма способствовало увеличению выработки серотонина и снижало уровень кортизола в слюне отъёмшей.

Валин (аминоизовалериановая кислота) считается пятой лимитирующей аминокислотой после лизина, метионина, триптофана и треонина в рационах при откорме свиней [257]. По своему химическому строению валин является аминокислотой с разветвленной цепочкой атомов углерода и использует одни и те же ферменты для окислительного трансаминирования и декарбоксилирования, что и лейцин, и изолейцин [425]. Эти аминокислоты представляют собой основной источник азота для глутамина, который играет важную роль в усилении синтеза аминокислот в скелетных мышцах и действует как «азотный челнок» между органами [493]. Валин участвует в регуляции метаболизма глюкозы и липидов через фосфатидилинозитол-3-киназу [108], влияет на работу поджелудочной железы [43]. Метаболиты валина катаболизируются серией ферментных реакций с образованием сукцинил-СоА, который входит в цикл трикарбоновых кислот [366]. Установлено, что повышение уровня переваримого валина с 0,8 до 1,2 % в рационах подсосных свиноматок увеличивает в молоке долю азота, что жизненно важно для новорождённых поросят и в дальнейшем способствует получению более крупных животных при отъёме [453]. В ходе опытов на свиноматках с канюлей молочной железы установлено, что валин поглощается молочной железой в количестве, на 30 % превышающем его содержание в белке молока свиноматки [470]. Ряд исследователей [188; 486,] указывают на то, аминокислоты с разветвленной цепью могут быть важным источником энергии для молочной железы. Экспериментально доказано, что добавление 0,34 % L-валина, 0,1 % L-лейцина и 0,19 % L-изолейцина в комбикорма с содержанием 17 % сырого протеина улучшает функции иммунной защиты кишечника с увеличением количества кишечных иммуноглобулинов (IgA и sIgA) у отъёмшей [108]. Данные

исследований Т. Клименко [20] показывают максимальные темпы роста поросят живой массой 8-18 кг при уровне доступного валина в комбикорме 0,94 %. При скармливании низкобелковых рационов с дефицитом валина первой реакцией животных является снижение потребления корма, что приводит к последующему снижению темпов роста [414; 458; 485]. Когда дефицит валина сопровождается избыточным количеством лейцина, снижение среднесуточного прироста выражено ещё отчётливее [403; 452].

Лейцин (аминокапроновая кислота) играет важную роль в синтезе белка в клетке посредством активации m TOR-протеинкиназы серинтреониновой специфичности, которая является центральным регулятором роста клеток млекопитающих [269; 426]. Помимо скелетных мышц, лейцин также усиливает синтез белка в других тканях, таких как жировая ткань [243]. Показана возможность лейцина ингибировать активацию АМФ-протеинкиназы, которая является сигнальным датчиком для поддержания энергетического гомеостаза организма. Эта аминокислота влияет на интенсивность образования красных кровяных клеток, а также участвует в синтезе каротиноидов, холестерина, входит в состав окситоцина. Используемые в рационах свиней корма содержат большое количество лейцина, чем существует в нём потребность [484]. Контроль за его уровнем имеет большое значение, поскольку его избыток приводит к снижению концентрации валина, изолейцина и их кетокислот в плазме и тканях животных [321]. Различные исследования, проведённые на крысах [475], домашней птице [229] и свиньях [275; 286; 502], свидетельствуют об отрицательном влиянии избытка лейцина в рационе на среднесуточные приросты живой массы и количество потребляемого корма. Высокие уровни лейцина приводят к липогенезу печени и увеличивают депонирование жира в белой жировой ткани [299].

Изолейцин (аминометилвалериановая кислота) представляет собой изомер лейцина, в котором метильная группа связана с первым атомом углерода вместо второго, дистального к карбоксильной группе. Он является шестой незаменимой аминокислотой в рационах свиней. Исследованиями на животных доказано, что изолейцин предотвращает увеличение концентрации глюкозы в плазме и стимулирует её поглощение в скелетных мышцах [147]. Изолейцин, валин и лейцин, а также их метаболиты ингибируют митохондриальное дыхание и энергетический обмен в нейронных клетках, при этом они предохраняют митохондрии и, следовательно, производство энергии от окислительного повреждения. Иммунные клетки организма способны включать в состав белков аминокислоты с разветвлённой цепью. Наибольшее количество изолейцина установлено в лимфоцитах, за ними следуют эозинофилы и нейтрофилы [112]. J. Nishimura et al. [300] скармливали мышам рационы с высоким

содержанием жиров и изолейцина для определения влияния избытка этой аминокислоты на состояние жирового обмена. Они установили, что добавление изолейцина приводит к снижению прироста массы тела и уменьшению концентрации триглицеридов в крови. Дефицит изолейцина приводит к увеличению потерь эндогенного азота и нарушению белкового обмена.

Фенилаланин (аминофенилпропионовая кислота) включается в белки тела и является предшественником тироксина, трийодтиронина, инсулина, катехоламинов (допамина, адреналина, норадреналина, эпинефрина), а также пигмента кожи – меланина. Фенилаланин выступает промежуточным метаболитом антидепрессанта фенилэтиламина, который присутствует в грудном молоке млекопитающих. В кишечнике фенилаланин представляет собой ингибитор, участвующий в регуляции поглощения других аминокислот. Транспортировка самого же L-фенилаланина через гематоэнцефалический барьер подавляется L-триптофаном и L-метионином. Имеются данные об аналогичных взаимодействиях между фенилаланином и анионными аминокислотами, аспаратом и глутаматом [84]. До 50 % общего количества фенилаланина используется для синтеза белков слизистой оболочки [384]. Скорость катаболизма этой аминокислоты в тканях тонкого отдела кишечника 5-10 кг поросят равняется 124 мг/кг массы тела в день при этом отношение фенилаланина к тирозину составляет 60:40 [239]. Концентрация свободного фенилаланина в организме составляет менее 2 % от общего пула аминокислот тела, что соответствует только 1,5-часовому синтезу белка. Из-за недостатка в рационах свиней фенилаланина снижаются привесы и оплата корма, падает уровень его выделения с мочой и диагностируется ожирение печени, ухудшается пигментация кожи. В доступной литературе имеются единичные сообщения о побочных действиях высоких уровней фенилаланина в рационе на живой организм. В частности крысы, которым вводили 4 г фенилаланина на 1 кг живой массы с 8-11 дней жизни, показывали аномальное развитие головного мозга [233]. Однако у физически здоровых людей при ежедневном приёме перорально от 10 до 30 г этой аминокислоты никаких побочных эффектов не отмечалось [84].

Гистидин (аминоимидазолпропионовая кислота) входит в состав протаминов и гистонов, содержится в гемоглобине, обладает антиоксидатными свойствами в организме. Богатый гистидином гликопротеин плазмы, регулирует ряд важных биологических процессов, таких как ангиогенез, клеточная адгезия и миграция, фибринолиз, активация фагоцитоза клеток [307]. Функция гистидина в организме связана с синтезом гистамина, который участвует в регуляции состояния возбуждения, локомоторной активности, сердечно-сосудистой системы, потребления

воды и пищи. Гистамин присутствует в слизистой оболочке желудочно-кишечного тракта и кишечника [354]. Он является основным медиатором воспалительного ответа и регулирует иммунную функцию путём стимуляции рецепторов на клетках-мишенях для макрофагов, тромбоцитов, дендритных клеток и Т-клеток [159]. Дефицит гистидина приводит к замедлению роста свиней и ухудшению использования питательных веществ рациона, отрицательному балансу азота [302]. Скармливание синтетических рационов без гистидина вызывает уменьшение содержания в мышцах ансерина и карнозина [310]. С увеличением содержания гистидина в рационе повышается активность ферментов, участвующих в обмене этой аминокислоты – гистидазы, гистидиндекарбоксилазы, гистаминазы [72]. Реакция между гистидином и аскорбиновой кислотой *in vitro* служит специфической пробой на эту аминокислоту. Функции аргинина (2-амино-5-гуанидинпентановой кислоты) в организме связаны с его использованием в качестве компонента большинства белков и субстрата для азотсодержащих соединений: коллагена, креатина, глутамата, полиаминов, инсулина и соматотропного гормона гипофиза [142; 297; 338]. Аргинин считается незаменимой аминокислотой для новорождённых, потому что метаболические пути, которые синтезируют эту аминокислоту из орнитина и пролина, у них не развиты [506]. Проллин является одной из самых распространённых аминокислот в материнском молоке, однако он не обнаружен в энтероцитах новорождённых и подсосных поросят. Аргинин выступает носителем азота в тканевых белках и отвечает за максимальный рост молодых млекопитающих [143]. В здоровом организме свиньи синтез аргинина в кишечнике обеспечивает около половины потребностей животного, поэтому эта аминокислота необходима в рационе [505]. Добавка аргинина к рациону улучшает развитие пищеварительного тракта, предотвращает повреждение слизистых оболочек, вызванных липополисахаридами – соединениями, входящими в состав наружных мембран *E. coli* у рано отнятых поросят [139; 141; 162]. В качестве предшественника синтеза оксида азота аргинин оказывает положительное влияние на иммунную систему [510], в т. ч. на супоросных маток [142] и поросят-отъёмышей, снижает их заболеваемость и смертность [143]. При скармливании высоких уровней протеина в рационе аргинин является основным веществом цикла мочевины, в котором избыточный аминный азот выводится из организма. Таким образом, эффективность использования свиньями протеина корма зависит от его биологической ценности, то есть от наличия и соотношения в нём незаменимых аминокислот (лизина, метионина, треонина, триптофана, валина, лейцина, фенилаланина, изолейцина, гистидина и аргинина), которые в организме свиней не синтезируются. Дефицит в рационе хотя бы одной из аминокислот приводит к

нарушению обменных процессов и снижению продуктивности, а отсутствие – к различным заболеваниям и даже гибели животных. Поскольку белки – это генетически контролируемые структуры, организм не может изменить их состав в процессе синтеза. Если будет нехватать какой-либо одной незаменимой аминокислоты внутриклеточное производство белка прекратиться.

Классификация аминокислот белков на незаменимые и заменимые используются уже более века. Заменимыми считаются те аминокислоты, которые образуются в организме животного в достаточном для удовлетворения его потребностей количестве. Они синтезируются *de novo* из различных заменимых и незаменимых аминокислот,  $\alpha$ -кетокислот путём переаминирования или восстановительного аминирования, из глюкозы, других метаболитов и источников азота [74; 145]. По мере накопления научных сведений в исследованиях на свиньях, птице и рыбах доказано, что у животных имеются физиологические потребности в заменимых аминокислотах для реализации их генетического потенциала – максимального роста, воспроизводства, лактации и здоровья [272]. Общепринято, что идеальный баланс белка должен обеспечивать потребности животного в незаменимых аминокислотах, не принимая во внимание баланс заменимых. Однако до сих пор нет убедительных доказательств того, что заменимые аминокислоты синтезируются организмом из основного аминокислотного пула в достаточном количестве и вовремя для удовлетворения своих потребностей.

Цистин, так же, как и метионин с цистеином, относятся к числу серусодержащих аминокислот. Практически, метаболизм серы в организме в основном представляет собой оборот серы, содержащейся в этих трёх аминокислотах. Цистеин нестабилен в растворах и легко окисляется до димерной формы – цистина. Таким образом, при гидролизе белков продуцируется цистин, причём количество молей цистина равно половине числа молей цистеина в структуре белка. Цистеин является предшественником синтеза пирувата и нуклеотидного кофермента CoA. До 30-50 % общего объёма цистеина в организме млекопитающих используется для синтеза глутатиона, без которого невозможен ряд физиологических функций, включая устранение электрофильных соединений и взаимодействие внутриклеточных реактивных изотопов кислорода [250]. Цистеин является промежуточным метаболитом биосинтеза таурина, участвующего в образовании конъюгированных желчных кислот. Балансирование рационов для свиней с учётом только метионина с цистеином может привести к дисбалансу аминокислот, поскольку большинство растительных ингредиентов для комбикормов содержат больше цистина, чем метионина. Установлено влияние дополнительного введения в дефицитный по метионину с цистином рацион DL-

метионина или L-цистина на продуктивность и оплату корма растущими откармливаемыми свиньями [417]. Как показали исследования, что недостаток в рационе цистина может быть компенсирован за счёт добавления метионина. Однако дефицит метионина невозможно компенсировать дополнительным введением цистина из-за отсутствия соответствующих процессов транссульфирования.

Глютаминовая кислота синтезируется в различных тканях организма. Она может образовываться из аргинина, пролина и гистидина и выступает связующим звеном между обменом белков и углеводов. Многие реакции цикла Кребса в организме протекают с участием метаболитов глютаминовой кислоты. Амид глютаминовой кислоты (глютамин) играет центральную роль в переносе азота внутри организма и является катализатором быстрого деления клеток в кишечнике и иммунной системе [248]. Глютаминовая кислота вместе с глютамином составляют около 80 % небелкового азота мозга. Глютамин также участвует в синтезе аминокислот и реакции трансминации, которая позволяет использовать атомы углерода из других аминокислот для образования глюкозы в условиях голодания. Он является одним из предшественников синтеза глутатиона [244], который участвует в выработке пуриновых и пиримидиновых нуклеотидов, необходимых для стимуляции клеточной пролиферации лимфоцитов [70]. В исследованиях [249] показано, что глютамин обладает способностью регулировать экспрессию генов в ряде физиологических процессов.

Натриевая соль глютаминовой кислоты – глутамат, является возбуждающим нейротрансмиттером, играет ключевую роль в долгосрочном потенцировании, а также в обучении и памяти. Он выступает ключевой молекулой в метаболизме энтероцитов, входит в их внутриклеточный пул [337], тем самым предотвращает кишечную атрофию и улучшает целостность желудочно-кишечного тракта у поросят-отъемышей [173; 247; 507], участвует в синтезе некоторых аминокислот, включая L-аспартат [392; 393], L-аланин, L-пролин, L-орнитин. Глутамат является основным окислительным топливом и представляет собой незаменимый субстрат для метаболизма клеток слизистой оболочки кишечника [282; 438]. Исследованиями R. Curi et al. [228] доказано, что кишечник поросят ограничивает поглощение глутамата, даже при чрезмерном его потреблении.

Аспарагиновая кислота образуется из глютаминовой кислоты путём переноса аминогруппы на щавелевоуксусную кислоту. Она входит в состав многих свободных белков в организме – гемоглобина, фибрина, пепсина (6,8 %), яичного альбумина (8,2 %), казеина (6,3 %). Обнаружена в мозгу в виде п-ацетиласпарагиновой кислоты. Амид аспарагиновой кислоты (аспарагин), благодаря действию аспарагинсинтетазы,

участвует в транспорте и метаболизме аминокислот [69]. В кишечнике свиньи аспарагин является более стабильной аминокислотой, чем глутамин. Эта аминокислота стимулирует пролиферацию клеток энтероцитов. Последние исследования свидетельствуют о том, что аспарагин участвует в регуляции производства и преобразовании энергии [240; 409].

Глицин или аминокислота составляет 11,5 % от общего количества аминокислот и 20 % аминокислотного азота в белках организма [239]. Образуется в результате распада белков, а также путём синтеза из серина, треонина, холина. Недавние исследования показывают, что глиоксилат [86] и гидроксипролин [396] являются субстратами для синтеза глицина у животных. Он входит в состав глобулинов, гистонов, желатина, коллагена. Глицин является составной частью глутатиона – основного антиоксиданта в клетках [250], креатина, пуринов, гема в гемоглобине [263]. Эта аминокислота является медиатором центральной нервной системы, регулируя поведение, потребление пищи и гомеостаз всего тела. Глицин служит основной аминокислотой для конъюгации желчных кислот у млекопитающих, играя ключевую роль в переваривании и всасывании липидов и жирорастворимых витаминов.

Аланин (аминопропионовая кислота) играет важную роль в переносе азота из периферических тканей в печень и является основным субстратом синтеза глюкозы [357]. Эта аминокислота участвует в метаболизме аминокислот и их производных [115], витаминов (пантотеновой кислоты), кофактора, нуклеотидов, фенилаланина и тирозина [508], катаболизме триптофана [274]. Аланин усиливает иммунную систему, защищает от накопления токсичных веществ, которые высвобождаются в мышечных клетках при интенсивной аэробной нагрузке. Аргинин, аланин и глутамин являются мощными стимуляторами секреции глюкагона из  $\alpha$ -клеток поджелудочной железы.

Тирозин или  $\alpha$ -амино- $\beta$ -(*p*-гидроксифенил) пропионовая кислота, по своему химическому строению близка к фенилаланину, однако превращение в организме фенилаланина в тирозин – процесс необратимый. В результате переаминирования тирозина в печени образуется глутаминовая кислота. Тирозин служит субстратом для биосинтеза тиреоидного гормона (тироксина), нейротрансмиттера (дофамина), гормона надпочечников (адреналина) и пигментов кожи и волос (меланинов). Эта аминокислота также является предшественником получения ацетоацетил-СоА, участвует в механизме регуляции абсорбции в тонком кишечнике [235].

Пролин (пирролидин- $\alpha$ -карбоновая кислота) играет важную роль в формировании цепей полипептидов, является предшественником синтеза глутамата и оксипролина, основной аминокислоты соединительной

ткани млекопитающих. В тонком отделе кишечника глутамин, аспарат и пролин деградируют быстрее, чем другие белковые аминокислоты [68]. В последних исследованиях установлено, что комплексные добавки аргинина, глутамина, глицина и пролина модулируют экспрессию генов [244], усиливают рост скелетных мышц и развитие тонкого отдела кишечника [133; 396].

L-серин (2-амино-3-гидроксипропановая кислота) легко превращается в глицин, является субстратом для образования аланина, холина, пирувата, косвенно участвует в биосинтезе пуринов и пиримидинов [241]. Углеродная цепь серина может использоваться для синтеза цистеина. Обнаружено наличие в организме млекопитающих в свободном состоянии оптического изомера – D-серина, который синтезируется *de novo*. Максимальная концентрация D-серина (10-30 % от общего количества) установлена в передней части головного мозга [135]. Вместе с глицином, триптофаном, тирозином и D-формами аланина и серина он регулируют развитие нервной системы, контролирует её функции [237; 251]. Более трети всех протеолитических ферментов представляют собой сериновые протеазы, которые классифицируются на основе строения и функциональных признаков [292]. К самым распространённым относятся трипсин, химотрипсин и тромбин. Они производятся как растворимые, секретлируемые белки и локализованы внутри клеточных органелл.

Следует отметить, что все метаболиты, полученные из аминокислот, играют важную роль в физиологии живого организма, однако жизненно важные органы и системы нуждаются в очень незначительном количестве аминокислотных предшественников по сравнению с использованием аминокислот для синтеза белка.

**Концепция формирования «идеального протеина».** На протяжении многих лет рационы для свиней основывались на потребности в сыром протеине. В желудочно-кишечном тракте белок под действием протеолитических ферментов расщепляется до аминокислот, которые всасываются через кишечную стенку в кровь и разносятся по всем тканям и органам, где синтезируются белки мяса, молока, ферменты, гормоны, иммунные тела, нуклеиновые кислоты и другие биологически активные вещества. Поэтому протеин необходим животным не сам по себе, а как источник аминокислот [19; 50; 111].

Особое значение приобретает эффективное использование протеина корма, которое зависит от его биологической ценности, определяемое наличием и соотношением в нём незаменимых и заменимых аминокислот. Концепция «идеального протеина» была впервые опубликована в середине шестидесятых годов 20 века. Тем не менее, Н. Н. Mitchell и R. J. Vlock обсуждали концепцию идеального баланса аминокислот ещё в



1946 году. Изначально предпринимались попытки оценить идеальную потребность животных в аминокислотах с помощью анализа состава туши у крыс, цыплят и свиней, поскольку концентрация аминокислот в туше считалась постоянной, независимо от возраста или количества потребляемых питательных веществ. В 1980 году D. J. A. Cole сформулировал профиль незаменимых аминокислот в рационе, который соответствовал их количеству и соотношению в туше свиньи. Эта концепция была несовершенной, потому что некоторые аминокислоты могут быть метаболизируются в другие (например, синтез аргинина из пролина) в тонком отделе кишечника, концентрации поглощённых и циркулирующих в плазме аминокислот различны, различны и метаболические пути использования одних и тех же аминокислот в организме [81]. Рядом исследований было показано, что уровень белка и энергии, возраста [351], дефицит серосодержащих аминокислот [83], треонина [264] и генотип животных [16, 476] могут оказывать влияние на содержание аминокислот в тушах свиней. Аминокислотный анализ состава туш является отправной точкой для оценки их идеального соотношения в рационе, однако он не учитывает динамику развития животного и его потребностей в питательных веществах на рост. С тех пор начали широко использовать ростовые реакции свиней для установления идеальных профилей аминокислот [496]. Исследованиями [238] показано, что соотношение аминокислот, необходимое для поддержания жизненных процессов отличается от того, которое требуется для отложения белка. В результате общее количество аминокислот, то есть сумма этих двух составляющих, может варьировать в зависимости от скорости отложения белка. Чем выше скорость отложения, тем меньше влияния соотношения аминокислот на поддержание и тем ближе общий спектр аминокислот приближается к составу отложенного белка.

Другая группа учёных за основу идеального соотношения аминокислот принимала их количество в молоке свиноматки, которое было оптимизировано для поросят в ходе эволюции данного вида. К тому же аминокислотный профиль свиного молока очень постоянен и не зависит от состава рациона [493]. Во время подсосного периода потери эндогенного протеина в подвздошной кишке поросят являются низкими по большинству незаменимых аминокислот, кроме треонина, метионина и триптофана. Однако после отъёма потребности в этих аминокислотах возрастают из-за дополнительных потерь эндогенного белка, связанных с увеличением количества клетчатки и антипитательных факторов в рационе, а также повышением выработки гормонов [25; 226]. Причём, отмечена более высокая концентрация гистидина в депонированном белке, чем в молоке свиноматки, которая связана с его способностью накапливаться в карнозине при избытке корма. Поэтому использование

данной методологии в определении идеального соотношения аминокислот при выращивании свиней приводит к некоторым разногласиям относительно потребностей в этих аминокислотах, в частности серусодержащих аминокислот, уровень которых варьирует до 30 % у различных авторов [106]. Однако нет очевидных причин для дальнейшего снижения соотношения незаменимых аминокислот в идеальном протеине, чем их профиль в молоке свиноматки.

Результирующим фактором двух методологий явилось то, что лизин был выбран в качестве эталонной аминокислоты и потребности животного во всех других незаменимых аминокислотах выражаются в процентах к лизину [6; 75; 90; 377]. Поскольку лизин является первой лимитирующей аминокислотой в рационах свиней, не имеет метаболитов и используется только для отложения белка и поддержания, легко определяется в кормах [214]. Если потребность в лизине для данной группы свиней изменяется, то и потребность в других аминокислотах будет скорректирована в соответствии с идеальным соотношением белка. Другой условностью концепции является положение о том, что одновременно все незаменимые аминокислоты являются лимитирующими и такое соотношение должно точно удовлетворять потребности в них [489; 495]. Живой организм является динамической системой и для его развития теоретически необходимо неограниченное количество «идеальных» соотношений аминокислот. Если для определённого профиля аминокислот значение биологической ценности равно единице, и использование азота кормов полное, то это не означает максимальное использование каждой аминокислоты, поскольку незначительный избыток незаменимой аминокислоты служит источником азота для образования заменимых аминокислот. Поэтому в современном понимании «идеальный протеин» представляется как смесь аминокислот или протеин с полной доступностью составляющих аминокислот для пищеварения и метаболизма, идентичная по составу с потребностью в аминокислотах для роста и поддержания обменных процессов. При этом баланс незаменимых аминокислот обязательно должен обеспечиваться адекватным количеством азота для синтеза заменимых аминокислот.

Таким образом, подходы к составлению рационов для свиней с использованием идеального соотношения аминокислот являются важным шагом вперед, поскольку они позволяют оперативно уточнять нормы содержания незаменимых аминокислот для конкретных технологических групп животных путём определения их потребности в лизине. А также оценивать ингредиенты комбикормов на основе содержания в них незаменимых аминокислот и их адекватности идеальному аминокислотному профилю потребностей свиней.

**Метаболизм белка и аминокислот корма в организме свиней.** Основой рационального кормления животных является глубокое понимание физиологических и биохимических процессов, протекающих в организме и в том числе пищеварения как начального этапа обмена веществ. При нормальном пищеварении белки корма распадаются до аминокислот, то есть из коллоидного состояния переходят в кристаллическое. Деградация белковых веществ на более простые, лишённые видовой и тканевой специфичности соединения, способные всасываться в кровь через кишечную стенку, осуществляется в пищеварительных органах последовательным действием ряда ферментов.

Из-за отсутствия протеолитических ферментов в секрете слюнных желез и слюне переваривания белков в ротовой полости не происходит. Измельчённый корм попадает в желудок, где инициируется переваривание белка посредством секреции соляной кислоты и комплекса протеолитических ферментов, известных под общим названием пепсин. Функционально неактивную проформу пепсина (пепсиноген) вырабатывают секреторные гранулы главных клеток слизистой оболочки желудка, а его активация стимулируется соляной кислотой. Пепсиноген отличается от пепсина наличием 44 дополнительных аминокислот. В состав пепсина входят четыре желудочные аспарагиновые протеиназы – пепсин А, пепсин В, пепсин С (гастрицин) и химозин (ренин). Три первых фермента входят в состав желудочного сока взрослых животных, в то время как химозин встречается исключительно у новорождённых. Химозин обладает молокосвертывающей активностью. Его предшественник – прохимозин требует присутствия только ионов водорода для образования полностью активного химозина [416]. Для пепсина оптимальное значение рН составляет 2,0-3,0. Высокая кислотность желудочного сока имеет существенное значение, так как при рН 5,0-6,0 пепсин практически не влияет на белки [356]. Соляная кислота способствует набуханию белков, что увеличивает их объём и делает более доступными для действия пепсина. Сначала разрываются связи, ответственные за трёхмерную структуру белков. В результате пептического гидролиза белков корма образуются полипептиды, которые содержат до десяти аминокислотных остатков, а также свободные аминокислоты. Так, гидролиз фибрина кристаллическим пепсином сопровождается выделением некоторого количества свободных аминокислот, при этом пепсин в первую очередь расщепляет пептидные связи, образованные аминокислотными группами ароматических аминокислот. Лейцин, фенилаланин и тирозин являются концевыми аминокислотными остатками в пептидах.

Из желудка аминокислоты эвакуируются в виде «нерастворимого» и «растворимого» протеина, низкомолекулярных пептидов. Холецистокинин и соматостатин являются двумя основными желудочно-

кишечными пептидами, связанными с регуляцией моторики желудочно-кишечного тракта. Оба высвобождаются после кормления животных. Желудочная эвакуация имеет первостепенное значение, поскольку этот механизм регулирует продвижение питательных веществ в тонкий кишечник. Это в особенности относится к проксимальным сегментам, которые обеспечивают абсорбцию продуктов переваривания белка. Известно, что опорожнение желудка от белка у мужчин в норме обычно составляет 1000 мг / 20 мин, что на 3,5 г превышает его поступление с пищей. Голодание обуславливает опорожнение желудка и ускорение продвижения пищевых масс по пищеварительному тракту. Эвакуация белка, а также других компонентов рациона зависит от ряда факторов, таких как объём потребляемой пищи, плотность кормовой массы [227; 171], наличия углеводов [158], жиров, клетчатки [412], живой массы [256], осмотического давления, кислотности эндогенного или экзогенного происхождения [320], pH содержимого кишечника и кислотно-щелочного равновесия [439]. У исследователей нет единого мнения о влиянии качества кормового белка на скорость эвакуации его из желудка. Как правило, различия наблюдаются только при потреблении животными данного вида корма в первый раз и исчезают после адаптации к данному фактору кормления. В литературе имеются сведения о том, что при наличии в корме большого количества свободных аминокислот опорожнение желудка замедляется [349].

Основные процессы переваривания корма до веществ, которые могут усваиваться организмом, и процесс всасывания этих веществ в кровь и лимфу происходят в кишечнике. После того как белки и пептиды вместе с другими питательными веществами поступают из желудка в двенадцатиперстную кишку (duodenum), они смешиваются с ферментами поджелудочной железы – трипсином, химотрипсином и специфическими протеолитическими энзимами бруннеровых желёз. Здесь же, в дуоденуме, свободные пептиды гидролизуются карбоксипептидазами А и В. Механизм выделения протеаз поджелудочной железой обусловлен пищевой стимуляцией секреции энтерокиназы из верхних слоев мелкого кишечного эпителия. Энтерокиназа запускает процесс активации трипсиногена к трипсину [359]. Последовательность гидролиза белков и пептидов в тонком кишечнике зависит от специфики протеаз, пептидаз и очерёдности их действия. Например, комбикорм с включением рыбной муки претерпел гидролиз в следующей последовательности: сначала высвобождался треонин, затем изолейцин, лизин, валин, лейцин и фенилаланин, метионин и гистидин [419]. Время прохождения химуса через двенадцатиперстную кишку составляет 2-4 часа.

После потребления белков с рационом наблюдается увеличение количества азота в тонком кишечнике. Данная особенность зависит от

природы белков, чем выше растворимость белка, тем меньшее количество его находится в содержимом кишки, и от уровня протеина. Кишечная слизь, закреплённая белками муцина и секрет бокаловидных клеток, образуют защитный слой над поверхностью эпителия, чтобы предотвратить прилипание кишечных бактерий и обеспечить смазку для продвижения содержимого кишечника [242]. Чувствительные к аминокислотам рецепторы, экспрессируемые в желудочно-кишечном тракте, особенно рецептор умами и mGluR1, участвуют в регуляции секреции муцина и бикарбоната [67]. Подобный механизм действует для облегчения воздействия треонина на секрецию муцина у свиней [65], поскольку эта аминокислота у животных распознаётся отдельными рецепторами T1R1 и T1R3 [483]. На увеличение секреции муцина также оказывают влияние некрахмалистые полисахариды, включая галактоолигосахарид, фруктоолигосахарид и арабиноксилан [140; 193; 350].

В современном понимании понятие доступности аминокислот определяется как их способность высвобождаться белковой молекулы в желудочно-кишечном тракте под действием протеолитических ферментов и поступать через кишечную стенку в общий фонд обмена [52]. Поглощение аминокислот происходит главным образом в проксимальной области тонкого кишечника свиней [6]. Клетки слизистой оболочки кишечника поглощают аминокислоты посредством активного транспорта, простой диффузии и облегченной диффузии (Na<sup>+</sup> -зависимой). Большинство L-аминокислот проходит через клеточные мембраны кишечника против градиента концентрации, что свидетельствует о наличии активного транспорта их потоков. D-формы некоторых аминокислот также обладают способностью активного всасывания. В плазматической мембране клеток слизистой оболочки кишечника, ответственных за транспортировку аминокислот в цитоплазму, имеется по меньшей мере четыре натрийзависимых переносчика аминокислот. Известно, что пептидная фракция белков быстрее исчезает из просвета кишечника, чем свободные аминокислоты, что свидетельствует о том, что пептидазы в слизистой оболочке кишечника играют важную роль в процессе абсорбции аминокислот. Позднее J. Yen et al. [149], измеряя уровень аминокислот в плазме сосудов воротной вены после скармливания свиньям различных смесей белков и аминокислот, установили, что свободные аминокислоты, такие как лизин и треонин, быстрее поглощаются, чем связанные с белком. Сходные результаты отмечены в работе [498]. Способность к высокомолекулярной абсорбции очень важна для новорождённых поросят, поскольку пассивный иммунитет формируется на основе иммуноглобулинов молозива [311].

Тощая и подвздошная кишки не имеют чёткой границы раздела и функционально равноценны в отношении всасывания аминокислот.

Анатомические отличия состоят в том, что брыжеечный жир не доходит до края подвздошной кишки и она, в отличие от тощей, имеет более тонкие стенки и более узкий просвет. В нижней части подвздошной кишки в отличие от верхних её участков уменьшена активность ряда гидролитических ферментов, здесь уровень переваривания белка и всасывания аминокислот снижается. Таким образом, в илеуме происходит всасывание основной массы кормовых и эндогенных аминокислот [9]. По мере приближения к толстой кишке увеличивается количество микрофлоры, которая способна влиять на аминокислотный профиль химуса [226; 371; 402]. Следовательно, наиболее точная оценка переваримости аминокислот корма требует анализа образцов содержимого кишечника в конечном участке подвздошной кишки вплоть до илеоцекального сфинктера, а не по всему тракту [40; 71; 127].

На доступность аминокислот к всасыванию в желудочно-кишечном тракте животных с однокамерным желудком влияет ряд факторов. Так, структурные свойства белковой молекулы, препятствующие контакту пептидных связей с ферментами, могут быть причиной недостаточного проникновения протеолитических ферментов в белковую молекулу и неполного контакта их с аминокислотами. В кератиновых белках лизин глубоко погружён в белковую молекулу, в результате он не подвергается воздействию протеаз. Последовательность аминокислотных остатков в белковой молекуле, устойчивых к действию протеаз, является также ограничивающим фактором, снижающим их доступность [6]. Среди аминокислот есть активаторы всасывания: так, аланин и лейцин ускоряют скорость всасывания лизина [401], активируют всасывание других аминокислот, АТФ, ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . И наоборот, соли фитиновой кислоты (фитаты), в дополнение к вмешательству в переваривание белка, могут ингибировать поглощение аминокислот. Интенсивность всасывания аминокислот является также лимитирующим фактором. Когда рецепторы дистальной часть подвздошной кишки ощущают высокую концентрацию питательных веществ, организм посредством нескольких медиаторов-пептидов, секретлируемых L-клетками ворсинок, воспринимает сигнал о том, что частицы химуса находились в проксимальных участках слишком мало времени, чтобы обеспечить им полное переваривание и всасывание. Медиаторы YY (PYY), GLP-1 и GLP-2 при попадании по кровотоку в гипоталамус стимулируют нейроны, от которых зависит скорость прохождения кишечного содержимого [277; 487]. Механизм дистальной и проксимальной обратной связи называют «подвздошным тормозом». Результатом снижения скорости кишечного транзита является уменьшение потребления корма.

В исследованиях по биохимии и физиологии питания апробировано множество методов оценки доступности, каждый из которых имеет свои

преимущества и недостатки. Наиболее широко используется метод определения переваримости азотсодержащих веществ корма, предложенный в начале прошлого столетия К. Thomas и усовершенствованный в 1924 году Н. Mitchell [429]. Он основан на количественной оценке азота корма, оставшегося от переваривания в желудочно-кишечном тракте животных. К. Kuiken, С. Lyman в 1948 г., изучая доступность для моногастричных отдельных незаменимых аминокислот корма, впервые применили формулы Томаса и Митчелла для оценки кажущейся и истинной доступности аминокислот. Метод Куикена-Лимана в зарубежных публикациях известен как метод «фекального индекса» и принят в качестве стандартного для определения биологической ценности продуктов питания всемирными организациями ФАО и ВОЗ в 1966 году. Однако он подвергается критике, поскольку считается ненадёжным по причине переоценки получаемых показателей доступности, обусловленных влиянием микрофлоры толстого кишечника [183], особенно для растительных кормов с низкой биологической ценностью белка [515].

Усвоение аминокислот в подвздошной кишке считается более объективным методом оценки кормовых средств для свиней. Среди методов сбора перевариваемой части рациона из подвздошной кишки является забор химуса с помощью хирургически приспособленной, простой Т-образной канюли [71; 419], илео-колонического анастомоза, илеоректального анастомоза и других методов. Химус, собранный из подвздошной кишки, содержит как не перевариваемые части рациона, так и эндогенный белок, и аминокислоты. Источниками азота эндогенного происхождения являются пищеварительные секреты, отторгнутый эпителий желудочно-кишечного тракта, слизь, альбумины, глобулины, свободные аминокислоты плазмы [8]. Усвояемость аминокислот в подвздошной кишке, рассчитанная без учёта эндогенных потерь организма, называется кажущаяся переваримостью (AID), и она не является в полной мере объективной. Так, по данным Т. Zebrowska [397], у растущих свиней живой массой 40-50 кг потребность в аминокислотах покрывается за счёт эндогенных поступлений на 6-7 %. Значения кажущейся усвояемости аминокислот для различных кормовых ингредиентов были обобщены на основе экспериментов на свиньях весом от 25 до 120 кг [278; 378]. Большой диапазон массы тела может быть причиной того, что часто наблюдается значительная вариабельность коэффициентов перевариваемости одного и того же корма, оценённых в разных экспериментах [163].

При истинной перевариваемости аминокислот (TID) подвздошной кишки потери эндогенных аминокислот вычитаются из общего потока терминального участка подвздошной кишки, что является более точной оценкой перевариваемости аминокислот. Однако количественная

оценка азотсодержащих веществ эндогенного и экзогенного происхождения в кишечнике свиней до сих пор не завершена [62; 134; 511], поскольку эти методы являются трудоёмкими, дорогостоящими, требуют специализированного оборудования, поэтому исследования носят нерегулярный характер.

Альтернативой истинной переваримости является стандартизованная усвояемость аминокислот (SID), при которой усреднённые потери эндогенных аминокислот в базальной части кишечника вычитаются из общего потока аминокислот терминального участка подвздошной кишки. Усилиями исследователей ряда стран с развитым свиноводством стандартизованная усвояемость аминокислот установлена для широкого спектра кормовых ингредиентов [441; 470]. В литературе имеется ограниченная информация о влиянии массы тела на величину доступности аминокислот для свиней. В своих исследованиях Н. Stein et al. [433] не установили различий в усвояемости аминокислот между растущими свиньями и кормящими свиноматками.

Оценка доступности аминокислот *in vitro*, то есть вне живого организма, биохимическими методами используется учёными сравнительно недавно. Известен пепсин-панкреатиновый метод. В 1995 году S. Voisen и J. Fernandes модифицировали, а в 1998 г. S. Voisen усовершенствовал этот метод, основанный на переваривании изучаемого белка в различных средах с препаратами протеолитических энзимов пищеварительных желёз животных: пепсином, панкреатином, трипсином, химотрипсином, эрепсином, проназой, натуральными желудочным и кишечным соками [103; 107]. В результате ферментализации количественно определяются доступные аминокислоты, попадающие в диализат. Метод надёжен и имеет высокую степень корреляции коэффициентов доступности аминокислот, полученных этим способом, с данными прямых опытов *in vivo* [301; 513] и его можно использовать при оценке переваримости сырого протеина и аминокислот кормов.

В просвет толстого кишечника не выделяется пищеварительных ферментов, а поступившие из верхних отделов пищеварительного тракта расщепляются микрофлорой. Наличие микрофлоры и её активность зависят от времени пребывания непереваренных остатков корма в слепой кишке и нижних отделах кишечника. Скорость эвакуации кормовых остатков из толстого кишечника определяется значительным объёмом слепой и перистальтикой толстой кишок. Кислотность среды этого отдела кишечника зависит от количества образующихся летучих жирных кислот и обуславливает активность микрофлоры. Ей свойственна протеолитическая, дезаминирующая и декарбоксилирующая активность. Образующийся при полном расщеплении аминокислот аммиак через кишечную стенку частично диффундирует в кровь, причём



степень диффузии прямо пропорциональна рН среды. Бактериальный белок синтезируется из аммиака, а некоторые штаммы бактерий для этого используют пептиды и свободные аминокислоты. Изотопным методом установлено, что эндогенный азот не кормового происхождения у свиней составляет 60-90 % азота остатков от переваривания в кишечнике. Изучая эндогенные поступления азота у свиней с фистулами (канюлями) кишечника, Е. Головкин пришла к выводу, что от 50 до 80 % азота кала свиней не имеет прямого отношения к корму. Количество непереваренного кормового азота в кале практически постоянно [9]. Поэтому нормирование рационов по доступным аминокислотам представляет особый научный и практический интерес для снижения уровня сырого протеина в рационе, рационального использования местных не традиционных кормовых средств и экономии потребляемых кормов.

Увеличение количества мышечной массы в организме животного является результатом процессов синтеза и деградации белков в нём. Эти процессы изменяются в сходных или противоположных направлениях в зависимости от физиологических и пищевых факторов [130]. Теоретически, любые изменения в скорости оборота белка влияют на энергетический обмен, потому что как синтез белка, так и его деградация являются энергозатратными процессами. Совокупная стоимость энергии и аминокислот составляет более 80 % от конечной цены комбикормов [131].

Инсулин, гормон роста, глюкокортикоиды, инсулиноподобный фактор роста - 1 (IGF-1), гормоны щитовидной железы и некоторые другие гормоны регулируют метаболизм белков и энергии в организме, включая обмен мышечного белка [467]. Гормон роста, IGF-1, связанные с ними белки-носители и рецепторы работают вместе как многоуровневая гормональная система, называемая соматотропной осью [109]. Она считается ключевой системой, регулирующей рост мышц в организме. Предыдущие исследования показали, что на функциональность этой оси может существенно влиять уровень кормления, количество аминокислот в рационе и их концентрация в плазме [146], а также степень активации инсулина рибосомной белковой S6 киназой [316].

Понимание изменчивости энергетических затрат, связанных с поддержанием основных функций организма и отложением белка, а также взаимосвязь между ними являются основополагающими при определении потребностей в энергии интенсивно растущих свиней. Эта взаимосвязь наблюдается у молодых животных и может варьировать от таких факторов, как живая масса, пол, порода и условия окружающей среды [131; 319; 322; 332; 427; 446]. Классическая концепция роста тканей в ответ на потребление корма (энергии) предполагает, что мышечная ткань и скорость роста реагируют линейным образом с потреблением

энергии до точки, в которой отложение белка достигает максимума [342; 217; 501], а затем постепенно выходит на уровень плато [61; 383]. По мнению S. Mohn и C. de Lange [132], в свободной от стресса окружающей среде, когда свиньи обеспечены необходимым количеством питательных веществ, отложение белка определяется либо потреблением энергии, либо генетически определенным верхним пределом тела к его отложению. Из этого следует, что животному необходимо обеспечить потребление энергии больше количества, нужного для поддержания, но не меньше, чем количество, необходимое для достижения максимальной способности к отложению белка. В своих исследованиях на сильно различающихся по упитанности и живой массе свиньях J. Noblet et al. [283] пришли к выводу, что на затраты энергии для поддержания жизненных процессов оказывает влияние мышечная масса животного. Опытами N. Quiniou et al. [405] доказано, что у крупных белых свиней потребность на поддержание была на 10 % выше, чем у пьетрен. К аналогичным выводам пришли и другие исследователи [169; 347; 379; 387]. Таким образом, энергетическая оценка эффективности отложения белка также зависит и от количества энергии, направляемое на поддержание обменных процессов. Обеспечение организма интенсивно растущей свиньи дополнительной энергией приводит к значительному отложению жировой ткани, а не мышечной [398]. J. Patience et al. [380], используя специализированные линии свиней и учитывая различные уровни потребления энергии, обнаружил квадратичное увеличение отложения белка у свинок, тогда как у боровков эта зависимость была линейной. В недавнем исследовании R. King et al. [459] на помесных свиньях (крупная белая × ландрас) от 80 до 120 кг живой массы при различных уровнях потребления энергии установили линейное увеличение отложения белка и жира как у свинок, так и у боровков, что указывает на то, что внутренний предел отложения белка у данного генотипа не был достигнут. По сообщениям С. Whittimore [459], верхний предел ретенции (отложения) белка у свиней различного генетического происхождения находится в интервале 90-175 г/сут., а у хряков улучшенной селекции этот показатель может достигать 187 г/сут.

Потребность в энергии для отложения белка является по существу потребностью организма для синтеза АТФ. Образование одной пептидной связи в белковой молекуле требует пяти молей АТФ, в том числе четырех молей для образования связи и одного моля для транспорта через клеточную мембрану [219]. Чистое производство АТФ во время клеточного окисления зависит от субстрата [368]. Во время голодания энергия мобилизуется для генерирования АТФ, тогда как регулярно питающиеся растущие животные редко мобилизуют резервы организма (кроме гликогена) для выработки АТФ [492]. К. L. Blaxter [101]

подсчитал, что наибольшее количество молей АТФ – 112-146 образуется при окислении моля длинноцепочечной жирной кислоты по сравнению с 36 молями АТФ, полученными из моля глюкозы, и между 6-42 молями АТФ от моля аминокислоты. Хотя J. van Milgen [491] уточняет, что при окислении 1 моля глюкозы митохондриальным кислородом образуется 31 моль АТФ.

На протяжении ряда лет исследователями предпринимались попытки оценки доли производимого тепла, относящегося к синтезу белка всего тела у молодняка свиней. Оценка, приведённая M. Fuller [238] на основе энергетической стоимости синтезированного белка, составила 5,32 кДж/г. Минимальное значение, рассчитанное для энергетической стоимости синтеза с использованием стехиометрического подхода, составляет 3,56 кДж/г. Разница между теоретическим и измеренным значением объяснялась расходом вспомогательной энергии. Действительно,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  - АТФ-зависимое дыхание, как было показано, тесно связано со скоростью синтеза белка в мышцах свиньи. Однако даже при стехиометрическом подходе диапазон оценок может составлять от 3,0 до 7,3 кДж/г в зависимости от используемых допущений [362]. В более поздних исследованиях, проведённых J. Noblet et al. [363], сообщалось о предельной величине затрат на отложение белка в количестве 15,9 кДж/г.

Крахмал и сахара являются преобладающими источниками энергии в рационах свиней, но кормовой жир также может быть важным её источником. Оборудование для производства комбикормов ограничивает уровень включения жира в качестве источника энергии для свиней [130]. Следовательно, большинство потребностей в аминокислотах были определены на рационах с высоким содержанием крахмала. Тем не менее, сообщалось о положительном влиянии высоких уровней жира в рационе на усвоение сырого протеина и незаменимых аминокислот у свиней [313]. Опыты E. Bruininx et al. [110] продемонстрировали повышенное отложение азота у растущих свиней в ответ на изоэнергетическую замену крахмала жиром. Кроме того, как у молодых, так и у взрослых крыс обнаружен повышенный баланс N и прирост белка после кормления рационами с высоким содержанием жира.

При синтезе белка затраты энергии на связывание аминокислот относительно малы, если аминокислоты присутствуют в нужных пропорциях. Однако, если некоторые составляющие белки тела аминокислоты должны быть синтезированы, а другие дезаминированы, затраты энергии значительно возрастают [39; 41; 53]. Минимизация окисления дисбаланса аминокислот важна для максимальной эффективности использования кормовых ресурсов и уменьшением потерь азота. Дегградация белка зависит от катаболических гормонов, особенно уровня

глюкокортикоидов, которые, в свою очередь, изменяются с концентрацией глюкозы в плазме [91; 287]. Из этого следует вывод, что деградацией белка можно управлять. Однако большинство механизмов, которые связаны с деградацией белка, имеют низкую скорость регуляции (часы), в то время как ответная реакция на синтез белка почти мгновенна [316]. Этот аспект метаболического контроля может быть использован при реализации товарных животных на мясоперерабатывающие предприятия, поскольку нежность мяса связана со способностью к посмертному протеолизу и зависит от скорости оборота и, следовательно, от деградации белка *in vivo*. С целью минимизации данного эффекта необходимо в предубойный период обеспечить животному умеренные темпы роста.

Экскреция аминного азота из организма при распаде белков сопровождается дополнительными затратами энергии. Эти затраты при синтезе мочевины составляют две макроэнергетические фосфатные связи на каждый атом азота, перешедшие в мочевины. Однако необходимо учесть дополнительную потребность в энергии для транспорта орнитина через митохондриальную мембрану. Опыты с перфузированной печенью крыс, в которых определяли потребление кислорода для синтеза мочевины показали, что потребление энергии в связи этим процессом примерно в 3 раза превышает рассчитанную величину, равную 2 АТФ/г азота, перешедшего в мочевины. К. Vлахтер [101] показал, что для экскреции мочевины необходимо ещё 0,9 АТФ, следовательно, общие затраты энергии могут достигать 0,43 МДж/М. При этом в расчёт не принимались затраты на рециркуляцию мочевины с последующим её гидролизом до аммиака в пищеварительном тракте, что сопровождается дополнительными затратами энергии.

Соотношение аминокислот и энергии определяет скорость отложения белков и липидов в организме свиньи [167]. При этом лизин играет важную роль в аккреции белка и скорости роста. Было проведено множество испытаний для изучения влияния различных уровней отношения лизина и энергии на показатели роста. Однако при оценке потребностей в самом лизине выявлены значительные различия из-за многочисленных факторов, включая генотип животного [407], пол и возраст [137; 138; 465], баланс с другими незаменимыми и заменимыми аминокислотами [496; 512].

Увеличение соотношения лизина и энергии в рационе приводит к значительному повышению среднесуточных приростов живой массы и снижению конверсии корма откармливаемых свиней [60; 136; 200; 410]. В опытах A. Castell et al. [379] при увеличении количества лизина с 1,35 до 2,59 г на единицу потребленной энергии отмечено повышение интенсивности роста, в частности, постных тканей, при снижении толщины

подкожного жира. Аналогичные результаты отмечены в работах других учёных [95; 406]. В исследованиях, проведённых с использованием рационов на основе ячменя, M. Asmus et al. [205] наблюдали максимальный рост животных при содержании 2,97 г лизина, приходившихся на 1 Мкал потреблённой энергии. D. Witte et al. [175] продемонстрировали на рационах с высоким содержанием лизина улучшение конверсии корма отложение внутримышечного жира у свиней живой массой от 90 до 120 кг, однако среднесуточные приросты оставались на одном уровне. R. Hinson et al. [294] сообщили, что увеличение плотности энергии при постоянном уровне лизина в рационе молодняка живой массой от 29,5 до 72,6 кг способствовало повышению темпов роста и снижению ежедневного потребления корма. T. Van Lunen, D. Cole [488] установили, что оптимальная скорость роста достигается при 3,18 г лизина на 1 Мкал для свинок и соответственно 3,62 г для боровков. W. Chang et al. [374] конкретизировали оптимальное соотношение лизин/переваримая энергия для боровков и свинок живой массой от 16 до 67 кг соответственно в количестве 3,2 и 3,8 г/Мкал. R. King et al. [289] определили данный показатель в рационах свиней живой массой до 70 кг без учёта пола, равный 3,5 г/Мкал.

Мясо с высоким содержанием внутримышечного жира более привлекательно для потребителей свинины [236; 284]. Рядом исследований показано, что содержание жира в мышцах увеличивается при кормлении дефицитными по лизину рационами или рационами с низким соотношением лизин : энергия на протяжении периодов роста и откорма [187]. В более поздних работах R. Weis et al. [192] сообщалось о том, что уровень энергии в рационе линейно связан с накоплением внутримышечного жира по средствам активации м-РНК-синтетазой жирных кислот и гормоночувствительной липазы. В других случаях, главным образом связанных с генотипом животных, исследуемые рационы приводили к чрезмерному осаливанию всей туши [353]. В ряде исследований установлено увеличение площади «мышечного глазка» в ответ на увеличение соотношения переваримого лизина и энергии, а в некоторых случаях только за счёт увеличения обменной энергии или уровня лизина [245; 254, 282]. Y. Zhao et al. [168] использовали рационы с низким содержанием доступного лизина (0,40 г/МДж обменной энергии), что составляло приблизительно 70 % потребности в лизине для чистопородных свинок. Результаты показали, что содержание внутримышечного жира в *m. longissimus dorsi* свиней, получавших диету с низким содержанием лизина, было в два раза выше, чем у свинок, получавших контрольный рацион (0,65 г/МДж обменной энергии). Обеспечение конечного значения pH (спустя 24 ч после убоя) мяса ниже 6,0 единиц кислотности является одним из наиболее значимых факторов, влияющих на

определение срока его годности. Исходя из результатов, приведённых J. Zhang et al. [204], снижение содержания лизина в рационе достоверно увеличивало значение рН в мышцах животных спустя 45 мин и через 24 часа после убоя, при этом конечные значения рН были менее 6,0. В опытах К. F. Goerl et al. [391] увеличение соотношения доступного лизина и энергии в корме не оказало существенного влияния на рН, влагоёмкость и потери мясного сока при нагревании.

Вирус репродуктивного и респираторного синдрома свиней (PPC) является одним из наиболее экономически значимых патогенов для свиноводства. Недавно группа исследователей сообщила о том, что данное заболевание снижает темпы аккреции белка в мышечной ткани растущих свиней [390], но базальные эндогенные потери и стандартизированная иллеальная перевариваемость незаменимых аминокислот не отличались от значений здоровых животных [296]. N. Shelton et al. [197] установил, что у свиней живой массой 55 кг, инфицированных PPC, при увеличении соотношения доступного лизина к обменной энергии наблюдалось линейное увеличение среднесуточных приростов живой массы при снижении конверсии корма.

Хряки, сперму которых используют для искусственного осеменения, составляют относительно небольшую часть популяции свиней. Этим объясняется ограниченный и порой противоречивый объём данных о потребностях ремонтных и взрослых хряков в основных элементах питания. В рекомендациях NRC [367] сообщалось, что взрослому хряку необходим комбикорм с содержанием 13,66 МДж переваримой энергии, 6,0 г лизина и 4,2 г метионина с цистином в 1 кг корма. В Kemp, N. Soede [232] рассчитывали общую потребность в энергии для хряков, исходя из потребности на поддержание жизни в количестве 415 кДж/кг живой массы<sup>0,75</sup> в сутки для молодых особей и взрослых – 763 кДж/кг живой массы<sup>0,665</sup>. Учитывая затраты на поддержание, увеличение живой массы, спаривание и производство спермы, итоговый уровень обменной энергии составил 12,56 МДж/кг комбикорма. В производственных условиях положительный ответ наблюдался у хряков, получавших с комбикормом повышенное количество энергии и лизина (20 г против 14 г/сутки в контроле). С увеличением как энергии, так и лизина у животных наблюдалось достоверное увеличение количества сперматозоидов [102]. В исследованиях [447] резкое ограничение потребления белка в рационах хряков (с 17 г до 6 г лизина в сутки) снижало объём спермы и либидо уже на 7-й неделе опыта. Это может указывать на то, что существует достаточно чувствительный минимальный порог суточного потребления лизина для активно используемых хряков. D. Boyd et al. [369] установили, что более высокое потребление корма повышало либидо и выработку сперматозоидов у хряков отдельной генетической линии.

Увеличение количества поросят в помете в течение последних десятилетий уменьшило пространство в матке, доступное для роста и развития плодов, тем самым снижая среднюю живую массу поросят при рождении [213], это напрямую связано с их выживаемостью, массой при отъеме и реализуемой массой животных [276]. Данные последних исследований не подтверждают влияния повышенного потребления энергии с кормом на раннем или среднем сроках беременности на живую массу поросят при рождении [170; 461]. Однако увеличение потребления энергии [198, 199] и незаменимых аминокислот [318] на поздних сроках беременности, как показали опыты, способствует рождению более крупных поросят. Н. Yang et al. [188] наблюдали прибавку на 40 г живой массы поросят при рождении, когда свинки и свиноматки получали дополнительно 1,4 кг корма в день в последний триместр беременности.

S. Moehn et al. [80] оценили по балансу азота потребность в доступном лизине для свинок в конце супоросности в количестве 20 г/день. В другом исследовании, в котором использовалась методика окисления аминокислот, установлено, что потребность в доступном лизине на поздних сроках беременности составляет 17,4 г/день [144]. В опытах M. Gonsalves et al. [184] увеличение соотношения доступного лизина с 2,38 до 4,44 г на 1 Мкал нетто энергии способствовало повышению живой массы свиноматок, однако это не повлияло на вес поросят при рождении. D. Magnabosco et al. [331] наблюдали снижение количества мертворождённых поросят у маток, получавших комбикорма с более высоким на 1,1 % уровнем лизина. По мнению G. Almond et al., в рационах свиноматок высокий уровень незаменимых аминокислот в последующих репродуктивных циклах положительно влияет на тонус мышц матки и уменьшает осложнения при родах [155], а также незначительно увеличивает содержание белка в молоке [208]. Установлено, что увеличение на 5-7 % потребления энергии с кормом во время лактации связано с более высокими показателями выживаемости эмбрионов в последующей беременности и количеством поросят при опоросе [186].

Уровень обменной энергии и незаменимых аминокислот в рационе оказывает влияние на изменения живой массы свиноматок в течение подсосного периода и продолжительность интервала от отъема до появления эструса [315; 360, 404]. Ряд исследователей [230; 442] пришли к выводу, что потери у свиноматок более 7,5 % живой массы за время лактации приводят к увеличению этого интервала. Каждые четыре килограмма молока, продуцируемые свиноматкой, увеличивают на 1 кг массу гнезда [120]. В исследованиях M.S. Park et al. [186] уровень энергии 3365 ккал/кг комбикорма достоверно сокращал интервал сервис-периода свиноматок и способствовал увеличению живой массы поросят.

P. Hughes [370] сообщил, что у впервые родивших маток, получавших 3430 ккал энергии в одном килограмме рациона, интервал от отъёма до появления первых признаков охоты составил 12,7 дня, в то время как у животных, получавших комбикорма с более низким уровнем энергии, он ровнялся 19,3 дня. Однако количество обменной энергии в комбикормах подсосных маток, равное 3300 или 3400 ккал/кг в опытах M. Young et al. [172], не способствовало повышению продуктивности поросят. Об аналогичных результатах сообщали J. Pluske et al. [436]. В работах разных авторов [157; 177; 400; 464] приводятся аргументы, подтверждающие, что повышенное потребление лизина может минимизировать потерю массы тела у кормящих свиноматок. D. Cooper et al. [176] сообщали, что обеспечение в рационе основным свиноматкам потребления 74 г доступного лизина в сутки позволяло минимизировать потери живой массы в подсосный период. В других исследованиях сообщалось, что увеличение массы гнезда также улучшалось за счёт более высокого потребления лизина [208; 308; 329]. Однако K. Touchette et al. [472] установили, что добавление более 0,075 % в комбикорма подсосных свиноматок L-лизина-HCl может увеличить смертность сосунов и уменьшить количество отнимаемых поросят.

Концентрация мочевины и креатинина в плазме крови свиноматок являются объективным критерием использования белка в их теле [210]. При увеличении соотношения доступного лизина и энергии в рационах подсосных маток смещение этих показателей в сторону уменьшения свидетельствует о минимизации катаболизма белков тела для выработки молока [123; 428]. По данным A. Valros et al. [336], уменьшение концентрации незетерифицированных (свободных) жирных кислот в плазме крови является признаком низкой способности свиноматок использовать запасы жировой ткани организма в подсосный период и тем самым минимизировать потери своей живой массы. В других исследованиях [188; 490] концентрации инсулиноподобного фактора роста-1 (IGF-1) увеличивались с повышением уровня лизина в комбикормах подсосных свиноматок. Следовательно, нормализовать метаболическое состояние маток возможно путем оптимизации отношения доступного лизина к обменной энергии.

Полноценное развитие свинок имеет важное значение для проявления репродуктивных качеств и длительного использования свиноматок [182; 383]. По мнению J. Klindt et al. [317], снижение темпов роста развивающихся ремонтных свинок связано с улучшением их продуктивности. В доступной литературе имеются сведения о том, что скоростью роста свинок и составом тела можно управлять путём изменения в комбикормах уровня сырого протеина [177; 295; 468], незаменимых аминокислот [343], потребления энергии [246] или путём ограничения



суточного потребления корма [333; 334; 411; 413]. Однако опытами I. Han et al. [408] показано, что высокое потребление энергии во время выращивания может привести к снижению развития молочных желез у свинок. Последние исследования J. Calderon-Diaz et al. [66; 372] свидетельствуют о приоритетном влиянии соотношения доступного лизина к обменной энергии в рационах выращиваемых ремонтных свинок на скорость роста и возраст первого покрытия. Они установили, что свинки, получавшие соответственно по периодам выращивания низкий (0,68 и 0,52 %) и средний (0,79 и 0,60 %) уровень доступного лизина в расчёте на 1 Мкал обменной энергии имели достоверно меньшую живую массу в течение всего эксперимента по сравнению со свинками, получавшими высокий уровень доступного лизина (0,90 и 0,68 %). При этом свинки, которые питались рационами с высоким и средним соотношением доступного лизина и энергии, достигали половой зрелости на 10 и 6 дней раньше, чем свинки, которым скармливали рационы с низким содержанием лизина и энергии. Аналогичные результаты приведены и другими исследователями [136; 201]. Поэтому оптимальное соотношение лизина к энергии важно для поддержания репродуктивных качеств свиноматок и получения здорового молодняка.

Таким образом, теоретически обоснованы вопросы, которые требуют специального, более глубокого изучения, сравнения новых достижений с известными или их уточнения. Например, определение энергетической эффективности, с которой в организме свиньи синтезируются питательные вещества, в частности белок или жир. Необходимо отметить, что это осложняется тем, что животное неспособно откладывать энергию в форме отдельных веществ. Поэтому эффективность использования обменной энергии для продуктивных целей в большей мере зависит от протекания в организме интенсивности обменных процессов, происходящих при синтезе белка и жира тела из всосавшихся питательных веществ. При синтезе белка затраты энергии на связывание аминокислот в молекулы белков относительно малы при условии присутствия аминокислот в нужных пропорциях и достаточном количестве.

Существуют различные методы оценки трансформации и использования энергии в организме свиней. Тем не менее, ни одна из энергетических систем не в состоянии точно предсказать истинное значение энергии рациона из-за значительных динамических взаимодействий животного, характеристик кормов и окружающей среды. Следовательно, одним из важнейших условий решения этой задачи является полное обеспечение животных всех половозрастных и технологических групп свиней энергией, аминокислотами, минеральными веществами, витаминами. Необходимо точно установить, сколько требуется животным разводимых современных пород, линий, гибридов незаменимых элементов

питания и сколько их находится в используемых кормах, чтобы разрабатывать полноценные высокоэффективные комбикорма. Такой подход позволяет лучше их сбалансировать, а следовательно, увеличить потребление корма и за счёт этого повысить продуктивность животных, улучшить качество продукции и снизить затраты на ее производство.

В основе энергетической оценки любого вида корма заложен принцип переваримости и использования животным его органических веществ. Возделываемые в нашей стране злаковые, крестоцветные и бобовые культуры, используемые в рационах свиней, имеют широкий вариабельный состав питательных веществ, особенно углеводной и белковой части зерна. Дана зоотехническая оценка изменчивости энергетических затрат, связанных с поддержанием основных функций организма и отложением белка, и установлена взаимосвязь между показателями, являющимися основополагающими при определении потребностей в энергии интенсивно растущих свиней, которые не имеют специфической потребности в сыром протеине. Организму животных необходим широкий спектр питательных веществ, в том числе входящие в состав белка аминокислоты, из которых синтезируются практически все ткани организма. Незаменимые аминокислоты, которые не могут образовываться в организме называются, должны в полном объёме поступать в составе корма. Дефицит даже одной из них в рационе ведёт к прекращению синтеза белков в организме и, в конечном итоге, к различным заболеваниям и даже к гибели. Заменимые аминокислоты могут синтезироваться из незаменимых кислот, они также необходимы для нормальной жизнедеятельности организма. Поэтому своевременное обеспечение организма животного всем необходимым количеством аминокислот является определяющим условием поддержания здоровья, продуктивности и способности к воспроизводству.

Балансирование рационов с учётом оптимального количества и соотношения между аминокислотами («идеального» протеина) – важный шаг к оптимизации питания свиней, поскольку позволяет оперативно уточнять нормы содержания незаменимых аминокислот для конкретных технологических и половозрастных групп животных. Это осуществляется путём определения потребности животных в лизине и установлении соотношения между количеством аминокислот и обменной энергией. Эффективность использования обменной энергии для продуктивных целей в большей степени зависит от интенсивности обменных процессов, происходящих при синтезе белка и жира тела из всосавшихся питательных веществ. Повышение степени биологической трансформации питательных веществ кормов в мясную продукцию представляет огромный теоретический и практический интерес в решении вопросов оптимизированного кормления свиней.

## 2. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОНВЕРСИИ КОРМА В ПРОДУКЦИЮ СВИНОВОДСТВА

### 2.1 Определение содержания обменной энергии в кормах

Уровень обменной энергии в комбикормах не относится к гарантированным показателям их качества в связи со сложностью его определения в физиологических исследованиях, хотя он в большинстве случаев является определяющим величиной конверсии корма и в целом рентабельности свиноводства. В нашей республике в качестве основного показателя энергетической питательности кормов и комбикормов для свиней используют величину обменной энергии в единице натурального корма или сухого вещества, чаще всего в 1 кг. Обменная энергия определяется как количество энергии в кормах за вычетом энергии, выведенной с фекалиями, мочой и кишечными газами. Измерение всех трёх видов потерь энергии в процессе её усвоения животными в физиологических опытах требует специального лабораторного оборудования и продолжительного, кропотливого труда высококвалифицированных специалистов. Так как потери энергии с кишечными газами обычно не превышают 1 %, величиной потерь энергии с газами при расчётах содержания обменной энергии в кормах обычно пренебрегают. Поэтому на практике для определения количества обменной энергии используют уравнения регрессии, в основе которых заложены показатели химического состава кормов и переваримости питательных веществ. Наиболее подходящим для работы оказалось уравнение, принятое в 1985 году Научно-техническим советом Министерства сельского хозяйства СССР:

$$\text{ОЭ, МДж/кг} = 0,02085 \times \text{пП} + 0,03663 \times \text{пЖ} + 0,01427 \times \text{пКл} + 0,01695 \times \text{пБЭВ} \quad (1)$$

где пП – переваримый протеин, г;

пЖ – переваримый жир, г;

пКл – переваримая клетчатка, г;

пБЭВ – переваримые безазотистые экстрактивные вещества, г.

Концентрация обменной энергии зависит от количества и соотношения в рационе основных питательных веществ и их потерь при переваривании. При этом содержание в комбикормах для свиней зерновых ингредиентов, богатых бактериально-ферментируемыми углеводами, достигает 80 % и расчётное значение обменной энергии превышает фактическое. С большей точностью содержание обменной энергии в кормах можно рассчитать, используя данные о содержании в них легкопереваримых углеводов (сахара и крахмала), которые наиболее сильно подвергаются разрушительному действию микрофлоры желудочно-

кишечного тракта животных. Поэтому мы предлагаем для определения количества обменной энергии использовать новый, ранее не применявшийся алгоритм расчётов, куда входят количественные показатели содержания сырых питательных веществ (протеина, жира, клетчатки, крахмала и сахара), коэффициенты переваримости этих веществ и константы цифровых значений (таблица 1).

Таблица 1 – Алгоритм расчёта обменной энергии в 1 кг корма, МДж/кг сухого вещества (формула 2)

Питательные вещества	Кол-во, г/кг сухого вещества	Коэффициент переваримости	Переваренных питательных веществ, г/кг сухого вещества	Обменная энергия, МДж/кг сухого вещества
Сырой протеин	$X_1$	$Y_1$	$X_1 \times Y_1$	$0,0205 \times X_1 \times Y_1$
Сырой жир	$X_2$	$Y_2$	$X_2 \times Y_2$	$0,0398 \times X_2 \times Y_2$
Крахмал	$X_3$	-	-	$0,0173 \times X_3$
Сахар	$X_4$	-	-	$0,0160 \times X_4$
Органическое вещество	$1000 - X_5$	$Y_5$	$X_5 \times Y_5$	-
Поправка на клетчатку, Z	$Z = X_5 \times Y_5 - X_1 \times Y_1 - X_2 \times Y_2 - X_3 - X_4$			$0,0147 \times Z$
Обменная энергия = $(0,0205 \times X_1 \times Y_1) + (0,0398 \times X_2 \times Y_2) + (0,0173 \times X_3) + (0,0160 \times X_4) + (0,0147 \times Z)$				*

*Примечание:*  $X_1, X_2, X_3, X_4$  – фактическое содержание искомого вещества в образце корма, г/кг сухого вещества;  $X_5$  – фактическое содержание золы в образце, г/кг сухого вещества;  $Y_1, Y_2, Y_5$  – коэффициенты переваримости соответственно протеина, жира и органического вещества исследуемого корма; Z – поправка на клетчатку, г/кг сухого вещества; 0,0205; 0,0398; 0,0173; 0,0160 и 0,0147 – константы, полученные опытным путём; \* – количество обменной энергии, МДж/кг сухого вещества.

Переваримость корма наиболее точно определяется как та доля корма, которая не выделяется с калом и которая, следовательно, считается усвоенной животным. Обычно она выражается в процентах сухого вещества, и эта величина называется коэффициентом переваримости. Уточнённые в проведённых нами физиологических опытах данные по переваримости основных кормов для свиней приведены в таблице 2.

Сравнение коэффициентов переваримости питательных веществ кормов свидетельствует о высокой переваримости органического вещества, сырого протеина и безазотистых экстрактивных веществ всех без исключения кормов. Выявлены существенные различия в переваримости жира (от 32,6 в люпине до 85,0 в рапсовом жмыхе) и клетчатки (от 17,4 в вике и до 55,7 в зерне люпине). Проведёнными нами ранее исследованиями установлено, что каждый процент снижения содержания

клетчатки увеличивает переваримость органического вещества на 1,2-1,6 %. Так, при отделении пленок содержание обменной энергии повышается в ячмене с 12,8 до 14,0 МДж/кг, в овсе – с 11,1 до 14,0 МДж/кг.

Таблица 2 – Коэффициенты переваримости свиньями органических веществ основных ингредиентов комбикормов, %

Ингредиенты	Питательные вещества				
	Органическое вещество	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырые БЭВ
Пшеница	86,3	86,1	27,1	77,3	90,1
Рожь	89,0	82,0	22,0	44,0	89,9
Ячмень	84,1	76,0	26,0	45,1	85,0
Ячмень шелушённый	89,2	80,0	28,0	44,0	90,3
Тритикале	88,1	84,1	25,1	53,0	90,2
Овёс	70,4	76,8	49,6	83,6	83,4
Овёс шелушённый	89,5	89,0	39,0	73,5	95,5
Кукуруза	89,3	77,7	40,6	69,0	92,9
Семена рапса	84,1	76,0	26,0	45,1	85,0
Рапсовый шрот	74,3	82,1	51,1	61,0	51,4
Рапсовый жмых	76,0	79,0	44,0	85,0	82,0
Соевый шрот тостированный	87,7	89,6	32,5	43,6	80,2
Подсолнечный жмых	82,0	80,0	20,0	78,0	78,0
Подсолнечный шрот	87,0	86,0	28,0	50,0	75,0
Горох	89,3	85,0	51,0	46,0	92,3
Люпин	87,0	73,5	55,7	32,6	81,1
Вика	82,1	79,2	17,4	42,3	92,6

Совместно со специалистами ГУ «ЦНИЛхлебопродукт» проведён мониторинг содержания основных питательных веществ, в том числе и углеводных фракций, в зерновых и белковых ингредиентах комбикормов для свиней. В результате исследований установлено (таблица 3), что запасы сахара в 1 кг зерна злаковых культур составляют от 16,2 г в ржи до 43,9 г в пшенице. Количество крахмала колеблется от 352 г в зерне овса до 583 г в зерне кукурузы. Семена рапса содержат около 58 г сахара и 15 г крахмала. В эндосперме гороха обнаружено 59 г сахара и 422 г крахмала, соевых бобов соответственно 99 и 30 г.

Таблица 3 – Энергетическая ценность углеводных фракций комбикормового сырья

Вид сырья	Обменной энергии, кДж/кг (в среднем)	Содержится в 1 кг сырья			Обменной энергии, кДж			Доля энергии углеводов в общем балансе, %
		г		в сахаре	в крахмале		всего	
		сахара	крахмала		в сахаре	в крахмале		
		Зерно злаковых культур						
Кукуруза	13 600	21	583,0	689,0	347,8	10 214,2	10 562	77,7
Трипикале	12 700	43	478,5	678,8	712,1	8 383,3	9 095,4	71,6
Пшеница	13 500	43,9	493,7	679,7	727,0	8 649,6	9 376,6	69,5
Овес	10 700	2,5	352,0	591,2	414,0	6 165,3	6 579,3	61,5
Рожь	11 900	16,2	501,7	695,6	268,3	8 789,8	9 058,1	76,1
Ячмень	12 000	38	455,0	656,4	629,3	7 971,6	8 600,9	71,7
		Зернобобовые, масличные и продукты их переработки						
Горох	13 100	58,5	421,5	556,0	968,8	7 384,7	8 353,5	63,7
Рапс (семена)	15 100	58,0	15,0	192,0	960,5	262,8	1 223,3	8,1
Соевые бобы	16 300	99,0	30,0	259,8	1 639,4	525,6	2 165,0	13,3
Соевый шрот (СП=44-46 %)	13 890	48,0	22,1	334,0	794,9	5 851,7	6 646,6	47,9
Рапсовый жмых (СП=33,7 %)	12 600	92,0	19,0	245,7	1 523,5	4 304,7	5 828,2	46,3
Рапсовый шрот (СП=33,3 %)	11 900	88,0	27,0	333,0	1 457,3	5 834,2	7 291,5	61,3
Подсолнечный шрот (СП=36 %)	12 300	55,8	29,7	316,5	924,0	5 545,1	6 469,1	52,6

Из этого следует, что безазотистые экстрактивные вещества злаковых содержат около 72 % энергетических запасов зерна этих культур, в т. ч. около 4 % приходится на сахар и 68 % на крахмал. На долю углеводов масличных культур (рапса) приходится около 8 % запасов энергии, гороха – 64 %, соевых бобов – 13 %.

После извлечения жировой фракции из белковых кормов растительного происхождения доля энергии, извлекаемой из углеводной части сырья, увеличивается от 13,3 % в соевых бобах до 47,9 % в соевом шроте, а в семенах рапса – от 8,1 до 46,3 % в рапсовом жмыхе и до 61,3 % рапсовом шроте. Подсолнечные шрот и жмых содержат практически одинаковое количество обменной энергии, заключённое в углеводной части ингредиентов. Таким образом, содержание обменной энергии в отдельных видах кормов в большой степени зависит от наличия в них безазотистых экстрактивных веществ, главным образом сахара и крахмала. Поэтому, используя данные показатели в уравнениях регрессии, можно с большой точностью определять содержание обменной энергии в кормах. Нами проведены расчёты содержания обменной энергии отдельных зерновых ингредиентов селекции РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» по приведённым алгоритмам (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание обменной энергии в зерновых кормах, МДж/кг натурального корма

Вид зерна, сорт	Алгоритм расчёта		Погрешность вычислений	С, %
	Формула 1	Формула 2		
Кукуруза «Полесский 175СВ»	13,38	13,96	+0,38	3,00
Тритикале «Садко»	13,14	13,75	+0,61	3,21
Пшеница «Рассвет»	13,46	13,59	+0,13	0,68
Овёс «Дебют»	11,71	10,92	+0,21	4,94

Погрешность значений обменной энергии, вычисленная по двум алгоритмам, для кукурузы составила + 0,38 МДж/кг, коэффициент изменчивости (С) – 3,00 %, для тритикале соответственно +0,61 МДж, (С = 3,21 %); пшеницы +0,13 МДж, (С = 0,68 %) и овса +0,21 МДж и (С = 4,94 %) [48]. При расчёте рецепта количество недооценённой в различных зерновых ингредиентах энергии может достигать более 0,5 МДж, для восполнения которой потребуется дополнительно введение 1,0-1,5 % растительных масел или животных жиров на каждую тонну производимого комбикорма.

Шроты и жмыхи представляют собой остатки органических веществ (сырого протеина, сырой клетчатки и сырых БЭВ) после удаления большей части масла из семян масличных растений. Данные продукты могут значительно повышать содержание обменной энергии в рационе,

особенно если они содержат высокий процент масла. Это зависит от применяемого способа извлечения масла и от ботанического вида маслосемян.

Содержание масел в используемых для выработки комбикормов шротах составляет от 1,5 до 2,5 % в подсолнечном, от 2,5 до 3,5 % в рапсовом и не более 2,0 % в соевом. Количество масла в жмыхах значительно выше и достигает 6,5 % в подсолнечном и соевом и 10-12 % в рапсовом. Углеводная составляющая (сахар, крахмал и другие БЭВ) этих ингредиентов комбикормов как правило не превышает в общей сложности 35 % и естественно в меньшей мере сказывается на общем содержании обменной энергии в этих кормах. Проведённые нами расчеты содержания обменной энергии в используемых в республике шротах и жмыхах представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Содержание обменной энергии белковых кормах растительного происхождения, МДж/кг натурального корма

Вид зерна, сорт	Алгоритм расчёта		Погрешность вычислений	С, %
	Формула 1	Формула 2		
Семена рапса	14,16	15,49	+1,33	6,34
Шрот рапсовый	11,71	11,73	+0,02	0,12
Жмых рапсовый (СП=34,0%)	12,69	13,21	+0,52	2,84
Шрот соевый (СП=45,0%)	13,63	13,62	+0,02	0,05
Шрот подсолнечный (СП=38,0%)	11,64	11,91	+0,27	1,62

Установлено, что погрешность значений обменной энергии, вычисленная по двум алгоритмам, для семян рапса составила + 1,33 МДж/кг, коэффициент изменчивости (С) – 6,34 %, для рапсового шрота соответственно +0,02 МДж, (С = 0,12 %), для рапсового жмыха +0,52 МДж, (С = 2,48 %), соевого шрота +0,02 МДж, (С = 0,05 %) и для подсолнечного шрота +0,27 МДж (С = 1,62 %). Следует отметить, что ингредиенты комбикормов, представленные в таблицах в качестве примера, имеют фиксированный химический состав и соответствующее значение энергии. Тем не менее, на практике значительное улучшение прогнозирования энергетической ценности ингредиентов комбикормов для свиней будет возможно при более точной оценке химического состава каждой партии сырья, степени доступности (переваримости) питательных веществ в организме животного, которая в свою очередь зависит от его физиологического статуса (пол, масса тела, целей использования и т. д.), технологических обработок корма и взаимодействия между этими факторами. Поэтому в данном случае оценку содержания обменной энергии



в растительных кормах для свиней представляется возможным вести с учётом переваримости основных питательных веществ, крахмала и сахара. Использование данного алгоритма расчётов корректно при содержании в кормах сырого протеина в пределах 150-200 г/кг, сырого жира – менее 60 г/кг, сырой клетчатки – менее 80 г/кг сухого вещества.

## **2.2 Использование зернобобовых в рационах свиней**

Потребность свиней в протеине (аминокислотах) находится в прямой зависимости от уровня обеспеченности их обменной энергией. Основными источниками протеина в рационах являются корма растительного происхождения – зерно, жмыхи, шрота. Доля растительного белка в общем балансе кормового белка превышает 90 %. Однако, ориентируясь только на растениеводство, невозможно полностью удовлетворить потребности животноводства в кормовом белке. Белок растительного происхождения неполноценен, в нём недостает незаменимых аминокислот – лизина, треонина, метионина и триптофана. Поэтому растительные рационы необходимо дополнять кормами животного происхождения – рыбной и мясокостной мукой и продуктами отходов молочного производства. Однако производство этих кормов ограничено возможностями сырьевой базы.

Проблема обеспеченности животноводства протеином может решаться различными путями, одним из которых является производство кормовых дрожжей – провита. По своим кормовым достоинствам, содержанию и укомплектованности аминокислотами он близок к соевому шроту и незначительно уступает рыбной муке. Мы оценили комбикорма для откормочного поголовья с включением эквивалентного по протеину количества провита взамен соевого шрота [15]. В результате проведённых опытов установлена возможность замены половины белка соевого шрота провитом без снижения темпов роста молодняка свиней и качества получаемой мясной продукции.

Ситуацию возможно изменить, например, если значительно нарастить в республике объёмы производства зернобобовых культур (гороха, люпина, вики). Секретариат ФАО провёл анализ данных производства и использования гороха на кормовые цели. Её средняя урожайность составляет 30-40 ц/га. Специалисты считают, что горох может успешно конкурировать с соей: 3 т гороха заменяют 1,5 т соевого шрота. Его биологическая ценность составляет 70-88 % биологической ценности протеина сои [30]. Опыт показывает, что замена успешна, если отсутствуют антипитательный фактор и идентичны уровень, соотношение и доступность аминокислот. В зерне гороха содержатся ингибиторы протеолитических ферментов. Механизм действия ингибиторов заключается в

снижении скорости отщепления от молекулы протеина метионина, вследствие чего всасывание этой аминокислоты замедляется, и биологическая ценность белка снижается. Существует ряд способов влаготепловой обработки зерна бобовых, снижающих действие антипитательных факторов. Нами проведена серия технологических и научно-хозяйственных опытов по определению биологической ценности зерна гороха посевного сорта «Миллениум», подвергнутого различным видам влаготепловой обработки, а также эффективности его использования в рационах молодняка свиней. На первом этапе исследований на ОАО «Лошницкий комбикормовый завод» зерно гороха было подвергнуто экструдированию на экструдере КМЗ-2М и гранулированию на прессгрануляторе ДГ-1. Результаты лабораторных анализов (таблица 6) свидетельствуют о том, что влаготепловые обработки зерна гороха приводят к потере сырого протеина на 1,19-1,44 % и жира на 0,29-0,62 %, при этом увеличивается содержание безазотистых экстрактивных веществ на 3,79-5,01 %. После экструдирования гороха содержание ингибиторов трипсина уменьшилось на 19,7 %, а химотрипсина – на 28,1 %. Процесс гранулирования позволил снизить эти показатели соответственно на 18,2 и 27,5 %.

Таблица 6 – Химический состав гороха после влаготепловых обработок

Вид обработки	Сухое вещество, %	Содержится в СВ, %					
		Сырого протеина	Сырого жира	Сырой клетчатки	БЭВ	Ингибиторов	
						Трипсина	Химотрипсина
Горох без обработок	85,70	25,46	2,32	6,35	51,33	6,6	5,7
Экструдированный горох	89,95	24,02	2,03	6,08	56,34	5,3	4,1
Гранулированный горох	88,54	24,27	1,70	6,22	55,12	5,4	4,1

В Институте экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси проведён аминокислотный анализ обработанных образцов гороха (таблица 7). Полученные результаты свидетельствуют о том, что влаготепловые обработки приводят к незначительному снижению содержания сырого протеина в образцах. Так, процесс экструдирования уменьшил содержание протеина на 0,97 %, а гранулирования на –

1,62 %. Потери лизина составили при экструдировании 0,29 г/кг или 1,5 %, а при гранулировании – 0,35 г/кг или 1,73 %. Потери других незаменимых аминокислот составляли при экструдировании от 1,2 % триптофана до 4,5 % гистидина, а при гранулировании – от 0,8 % гистидина до 7,3 % метионина с цистином.

Таблица 7 – Содержание незаменимых аминокислот в белке гороха

Аминокислота	Содержится в образце, г/кг		
	Горох без обработок	Экструдированный горох	Гранулированный горох
Сырой протеин	21,82	21,61	21,49
Лизин	20,34	20,05	19,99
Метионин+ цистин	0,55	0,52	0,51
Треонин	8,06	7,96	7,98
Триптофан	1,72	1,70	1,69
Валин	8,53	8,36	8,41
Лейцин	17,37	16,88	16,79
Изолейцин	8,24	8,13	8,08
Фенилаланин	11,93	11,78	11,81
Аргинин	16,48	16,35	16,42
Гистидин	5,25	5,19	5,21

Для определения эффективности использования молодняком свиней комбикормов, в состав которых включено зерно гороха, прошедшее различные виды влаготепловых обработок, в условиях селекционного центра ОПХ «Будагово» Смолевичского района проведён научно-хозяйственный опыт на поросятах белорусской мясной породы. Согласно схеме опыта (таблица 8), было отобрано по принципу пар-аналогов 3 группы (по 18 голов в каждой) поросят в возрасте 2-4 месяцев и 3 группы по 16 голов на откорме. Средняя живая масса одной головы на дорастивании составила 18,0 кг, а на откорме – 37,8 кг. Особенностью комбикормов I (контрольной) группы было включение зерна гороха без обработок. В комбикорма II группы включали экструдированный, в III – гранулированный горох.

Таблица 8 – Схема опытов

Группы	Количество животных, гол		Особенности кормления	% ввода зерна гороха	
	Доращивание	Откорм		Доращивание	Откорм
1	2	3	4	5	6
I	18	16	Основной рацион (ОР) в т.ч. зерно гороха	15	20

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6
II	18	16	Основной рацион (ОР), в т. ч. экструдированное зерно гороха	15	20
III	18	16	Основной рацион (ОР) в т. ч. гранулированное зерно гороха	15	20

Для кормления молодняка на дорастивании использовались комбикорма СК-21, на откорме – СК-26 и СК-31, сбалансированные по основным питательным веществам в соответствии с СТБ-2111 (таблицы 9-11).

Таблица 9 – Состав и питательность комбикормов СК-21

Компоненты	СК-21		
	I	II	III
1	2	3	4
Ячмень, %	8,74	8,71	8,68
Ячмень шелушённый, %	35,00	35,00	35,00
Горох, %	15,00	-	-
Горох экструдированный, %	-	15,00	-
Горох гранулированный, %	-	-	15,00
Пшеница, %	16,00	16,00	16,00
Отруби пшеничные, %	4,50	4,50	4,50
СОМ, %	2,50	2,50	2,50
Шрот подсолнечный, %	3,00	3,00	3,00
Рыбная мука, %	5,20	5,20	5,20
Дрожжи кормовые, %	4,00	4,00	4,00
Масло рапсовое, %	3,50	3,50	3,50
Мел мелкогранулированный, %	0,70	0,70	0,70
Фосфат дефторированный, %	0,40	0,40	0,40
Соль поваренная, %	0,15	0,15	0,15
Премикс КС-3-1, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоридат, %	0,12	0,13	0,14
DL-метионин, %	0,09	0,10	0,11
L-треонин, %	0,09	0,10	0,11
L-триптофан, %	0,01	0,01	0,01
Итого, %:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,50	13,50	13,50
Сухое вещество, г	877,40	875,90	876,45
Сырой протеин, г	171,40	170,63	170,71
Сырая клетчатка, г	35,70	35,68	35,77
Сырой жир, г	59,70	59,81	58,96

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4
Лизин, г	11,01	11,00	11,02
Лизин доступный, г	9,39	9,40	9,38
Метионин+цистин, г	6,59	6,58	6,60
Триптофан, г	2,10	2,10	2,10
Треонин, г	7,29	7,32	7,30
Кальций, г	7,50	7,50	7,50
Фосфор, г	6,00	6,00	6,00
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,81	0,81	0,81

Таблица 10 – Состав и питательность комбикормов СК-26

Компоненты	СК-26		
	I	II	III
Ячмень, %	10,00	10,00	10,00
Кукуруза, %	15,90	15,54	15,51
Горох, %	20,00	-	-
Горох экструдированный, %	-	20,00	-
Горох гранулированный, %	-	-	20,00
Пшеница, %	39,5	39,50	39,50
Шрот соевый, %	6,00	6,00	6,00
Рыбная мука, %	3,00	3,00	3,00
Масло рапсовое, %	2,60	2,60	2,60
Мел мелкогранулированный, %	0,40	0,40	0,40
Фосфат дефторированный, %	1,20	1,20	1,20
Соль поваренная, %	0,40	0,40	0,40
Премикс КС-4-1, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоридат, %	0,18	0,19	0,20
DL-метионин, %	0,07	0,08	0,09
L-треонин, %	0,08	0,09	0,10
L-триптофан, %	0,02	0,02	0,03
Итого, %:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,01	13,00	13,01
Сухое вещество, г	862,40	865,20	861,5
Сырой протеин, г	160,10	160,63	160,71
Сырая клетчатка, г	35,70	35,74	35,67
Сырой жир, г	59,70	59,61	58,76
Лизин, г	9,50	9,52	9,51
Лизин доступный, г	8,20	8,18	8,19
Метионин+цистин, г	5,72	5,70	5,69
Триптофан, г	1,80	1,81	1,80
Треонин, г	6,29	6,30	6,30
Кальций, г	6,00	6,00	6,00
Фосфор, г	5,00	5,00	5,00
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,73	0,73	0,73

Таблица 11 – Состав и питательность комбикормов СК-31

Компоненты	СК-31		
	I	II	III
Ячмень, %	19,83	19,79	19,77
Кукуруза, %	10,00	10,00	10,00
Горох, %	20,00	-	-
Горох экструдированный, %	-	20,00	-
Горох гранулированный, %	-	-	20,00
Пшеница, %	31,60	31,60	31,60
Отруби пшеничные, %	10,00	10,00	10,00
Рыбная мука, %	2,30	2,30	2,30
Масло рапсовое, %	2,80	2,80	2,80
Мел мелкогранулированный, %	0,80	0,80	0,80
Фосфат дефторированный, %	0,80	0,80	0,80
Соль поваренная, %	0,40	0,40	0,40
Премикс КС-4-1, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоридрат, %	0,21	0,22	0,23
DL-метионин, %	0,11	0,12	0,13
L-треонин, %	0,13	0,13	0,14
L-триптофан, %	0,02	0,02	0,03
Итого, %:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,00	13,02	13,01
Сухое вещество, г	863,30	864,20	863,40
Сырой протеин, г	153,60	154,23	153,44
Сырая клетчатка, г	47,50	47,74	47,87
Сырой жир, г	59,70	59,61	58,76
Лизин, г	8,03	8,02	8,00
Лизин доступный, г	6,82	6,81	6,80
Метионин+цистин, г	5,44	5,43	5,41
Триптофан, г	1,60	1,61	1,60
Треонин, г	5,39	5,41	5,42
Кальций, г	6,00	6,00	6,00
Фосфор, г	4,80	4,80	4,80
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,62	0,62	0,62

Согласно полученным данным (таблица 12), наивысший среднесуточный прирост живой массы поросят на доращивании достоверно получен при скармливании комбикорма с экструдированным зерном гороха – 506 г. Несколько ниже (на 7,2 %) оказался прирост у животных I группы. Скармливание комбикорма с включением гранулированного зерна гороха не дало желаемого результата – прирост живой массы оказался ниже на 3,3 %, чем в контроле. Наименьшим потреблением кормов в расчёте на 1 кг прироста отличались животные II группы – 3,36 кг. В I и III группах затраты комбикорма оказались выше

соответственно на 2,1 и 4,7 %.

Таблица 12 – Продуктивность поросят на дорашивании

Группы	Средняя живая масса, кг		Среднесуточный прирост живой массы, г	Затраты корма на 1 кг прироста, кг
	в начале опыта	в конце опыта		
I	18,0±0,31	46,3±1,2	472±11,6	3,43
II	18,0±0,31	48,3±1,7	506±9,2*	3,36
III	18,0±0,31	45,4±1,5	457±8,8	3,52

Таким образом, комбикорма с включением экструдированного зерна гороха обладают более высоким продуктивным действием для молодняка 2-4-месячного возраста, чем с гранулированным горохом и горохом без обработок.

Анализ данных по динамике среднесуточных приростов откармливаемого молодняка свиней, получавших комбикорма с включением гороха различных технологических обработок (таблица 13), показал, что на протяжении всего периода откорма наивысший среднесуточный прирост живой массы получен во II группе, где скармливался экструдированный горох – 721 г. Практически одинаковыми, но на 5,0 % ниже оказались темпы роста животных в I и III группах.

Таблица 13 – Продуктивность свиней на откорме

Показатели	Группы		
	I	II	III
Средняя живая масса, кг:			
в начале опыта	37,8±0,3	37,8±0,3	37,8±0,3
в конце I периода откорма	79,8±3,1	81,4±2,8	77,8±3,6
в конце откорма	102,7±3,8	103,9±4,4	102,0±4,8
Среднесуточный прирост живой массы, г:			
I период откорма	683±27	705±24	658±40
II период откорма	687±45	736±21	709±37
За весь опыт	685±31	721±26	684±41
Затрачено комбикорма на 1 кг прироста живой массы, кг:			
I период откорма	3,78	3,58	3,99
II период откорма	4,46	4,21	4,35
За весь опыт	4,12	3,90	4,17

Животные II группы расходовали наименьшее количество комбикорма в расчёте на 1 кг прироста живой массы – соответственно 3,58 и 4,21 кг по периодам откорма. Гранулирование зерна гороха не способствовало экономии комбикорма откормочниками III группы. Расход

корма оказался на 0,41 и 0,14 кг выше, чем у животных II группы. Аналогичные затраты кормов на прирост живой массы отмечены в I группе, где использовался горох без влаготепловых обработок.

Переваримость питательных веществ находится в тесной взаимосвязи с уровнем поступления их в организм, качеством и количеством включенного в состав рациона компонента и уровнем их выделения в продуктах обмена. Нами оценены особенности переваримости животными комбикормов с включением зерна гороха, подвергнутого различным видам тепловых обработок. В условиях физиологического корпуса центра был проведен балансовый опыт на боровках живой массой 65-67 кг по методике [38]. Данные по переваримости основных питательных веществ опытных комбикормов представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Коэффициенты переваримости питательных веществ комбикормов с включением гороха, %

Показатели	Группы		
	I	II	III
Сухое вещество	82,6±0,7	85,7±0,6*	81,6±0,7
Органическое вещество	82,8±1,3	82,1±1,2	80,7±0,8
Сырой протеин	80,6±1,9	84,5±1,7	80,7±1,7
Сырой жир	66,0±1,1	67,4±1,5	67,7±3,1
Сырая клетчатка	28,4±3,9	38,3±2,5	27,7±3,6
БЭВ	82,5±1,1	85,8±1,5	81,7±0,7

Обращают на себя внимание высокие коэффициенты переваримости питательных веществ во всех группах. Включение в состав комбикорма экструдированного зерна гороха (II группа) привело к увеличению переваримости подопытными животными сухого вещества на 3,1 %, сырого протеина – на 3,9 %, жира – на 1,4 % и БЭВ – на 3,3 %. Следует отметить, что процессом гранулирования зерна гороха не удалось существенно повысить доступность питательных веществ для животных из этих комбикормов.

Баланс азота характеризует полноценность протеина изучаемых рационов. Данные по использованию азота корма молодым свиней представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Использование свиньями азота опытных комбикормов

Показатели	Группы		
	I	II	III
1	2	3	4
Потреблено с кормом, г	61,9±0,7	60,7±0,6	58,8±0,7
Выделено с калом, г	26,8±0,8	24,6±0,6	23,0±0,7
Переварено, г	35,1±0,6	36,1±1,1	35,8±0,6
Выделено с мочой, г	11,2±0,8	10,9±0,6	12,0±0,9



Продолжение таблицы 15

1	2	3	4
Отложено в теле, г	23,9±0,6	25,2±0,8	23,8±0,6
Отложено в теле, % от принятого	38,6±0,9	41,5±1,0	40,4±0,8
от переваренного	68,1±0,8	69,8±0,9	66,5±0,7

Скармливание комбикормов с экструдированным зерном гороха привело к увеличению отложения азота в теле животных от принятого на 3,5 п. п. и от переваренного – на 1,7 п. п., что свидетельствует о более высокой биологической ценности протеина комбикормов с экструдированным зерном гороха. Таким образом, проведёнными исследованиями установлено, что влаготепловые обработки зерна гороха позволяют снизить активность ингибиторов трипсина на 19,7 %, а химотрипсина – на 28,1 %, при этом происходят незначительные потери сырого протеина в экструдированном зерне на 0,21 и лизина на 0,29 г/кг, а в гранулированном соответственно на 0,33 и 0,35 г/кг зерна. Скармливание комбикормов, в состав которых введено 15 % экструдированного зерна гороха поросётам 2-4-месячного возраста, увеличивает среднесуточные приросты их живой массы на 7,2 % и снижает расход кормов на прирост на 2,1 %. Включение в состав комбикормов для свиней на откорме 20 % экструдированного зерна гороха улучшает переваримость животными сухого вещества на 3,1 %, сырого протеина – на 3,9 %, жира – на 1,4 % и БЭВ – на 3,3 %, что, следовательно, повышает темпы прироста живой массы на 5,2 % и уменьшает на 0,22 кг расход кормов на единицу прироста живой массы. Гранулирование гороха оказалось малоэффективным способом подготовки зерна к скармливанию молодняку свиней.

До недавнего времени к использованию зерна вики в рационах свиней уделялось недостаточно внимания. Причиной тому явилось наличие в ней антипитательных факторов, в первую очередь цианогенных глюкозидов. Несмотря на то, что вика по содержанию белка и первой незаменимой аминокислоты – лизина – превосходит горох, к её использованию в кормлении свиней относятся с осторожностью. Между тем, токсические вещества, содержащиеся в вике, под действием тепловой обработки разрушаются [30]. Таким образом, представляет большой научный и практический интерес оценка биологической ценности зерна вики, подвергнутого различным видам влаготепловой обработки, а также определение эффективности её использования в рационах откармливаемых свиней. На ОАО «Лошницкий комбикормовый завод» нами проведена технологическая подготовка зерна вики сорта Белоцерковская-88 с использованием экструдера КМЗ-2М и пресс-гранулятора ДГ-1. Результаты лабораторных анализов (таблица 16) свидетельствуют о том, что влаготепловые обработки зерна вики приводят к некоторой

потере сырого протеина (на 1,5-1,9 п. п.) и жира (на 1,4-1,6 п. п.), при этом увеличивается содержание безазотистых экстрактивных веществ (на 6,7-7,3 п. п.). Процесс экструдирования вики привел к снижению содержанию вицина на 14,7 %, ингибиторов трипсина – на 5,9 %, а химотрипсина – на 3,9 %. Процесс гранулирования позволил снизить эти показатели соответственно на 9,8 %, 17,7 и 11,6 %.

Таблица 16 – Химический состав зерна вики после влаготепловых обработок

Вид обработки	Сухое вещество, %	Содержится в СВ, %				Содержится мг/100 г СВ		
		Сырого протеина	Сырого жира	Сырой клетчатки	БЭВ	Вицина	Ингибиторов	
							Трипсина	Химотрипсина
Вика без обработки	85,1	28,8	2,5	4,9	45,4	4,1	8,5	7,8
Вика экструдированная	88,7	27,3	0,9	4,3	52,7	3,5	8,0	7,5
Вика гранулированная	87,9	26,9	1,1	4,3	52,1	3,7	7,0	6,9

В Институте экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси проведён аминокислотный анализ обработанных образцов зерна вики. Данные исследований приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Содержание незаменимых аминокислот в белке вики

Аминокислота	Содержится в образце, г/кг		
	Вика без обработки	Вика экструдированная	Вика гранулированная
Сырой протеин	24,51	24,22	23,65
Лизин	13,16	12,98	12,86
Метионин	2,72	2,63	2,59
Треонин	7,81	7,67	7,60
Триптофан	2,44	2,37	2,33
Валин	11,53	11,32	11,28
Лейцин	16,67	16,25	16,13
Изолейцин	9,88	9,75	9,69
Фенилаланин	13,06	12,61	12,56
Аргинин	15,47	15,32	15,27
Гистидин	10,53	10,34	10,21

Полученные результаты свидетельствуют о том, что влаготепловые обработки приводят к незначительному снижению содержания сырого протеина в образцах обработанной вики. Так, процесс экструдирования уменьшил содержание протеина на 1,5 %, а гранулирования на – 1,9 %. Потери лизина составили при экструдировании 0,18 г/кг или 1,4 %, а при гранулировании – 0,30 г/кг или 2,3 %. Потери других незаменимых аминокислот составляли: при экструдировании – от 1,8 % треонина до 3,5 % фенилаланина, а при гранулировании – от 1,9 % изолейцина до 4,8 % метионина.

Для определения эффективности использования молодняком свиней комбикормов, в состав которых включено зерно вики, прошедшее различные виды влаготепловых обработок, в условиях селекционного центра ОПХ «Будагово» Смолевичского района проведён научно-хозяйственный опыт на молодняке белорусской мясной породы. Согласно схеме опыта (таблица 18), по принципу пар-аналогов отобрано 3 группы (по 16 голов в каждой) подсвинков со средней живой массой 36 кг. Особенностью комбикормов I (контрольной) группы было включение зерна вики без обработок. В комбикорма II группы включали экструдированное, а в III – гранулированное зерно вики.

Таблица 18 – Схема опытов

Группы	Количество животных, гол.	Особенности кормления	% ввода зерна вики
I	16	Основной рацион (ОР) в т.ч. зерно вики без обработок	5
II	16	Основной рацион (ОР) в т.ч. экструдированное зерно вики	5
III	16	Основной рацион (ОР) в т.ч. гранулированное зерно вики	5

Для кормления молодняка использовались комбикорма СК-26 и СК-31, сбалансированные по основным питательным веществам в соответствии с СТБ-2111 (таблицы 19-20).

Таблица 19 – Состав и питательность комбикормов СК-26

Компоненты	СК-26		
	I	II	III
1	2	3	4
Ячмень, %	32,12	32,07	32,06
Кукуруза, %	15,00	15,00	15,00
Вика, %	5,00	-	-
Вика экструдированная, %	-	5,00	-
Вика гранулированная, %	-	-	5,00
Пшеница, %	33,50	33,50	33,50

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4
Дрожжи кормовые, %	2,00	2,00	2,00
Шрот соевый, %	6,00	6,00	6,00
Рыбная мука, %	3,00	3,00	3,00
Масло рапсовое, %	0,80	0,80	0,80
Мел мелкогранулированный, %	0,40	0,40	0,40
Фосфат дефторированный, %	0,40	0,40	0,40
Соль поваренная, %	0,24	0,24	0,24
Премикс КС-4-1, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоргидрат, %	0,31	0,33	0,34
DL-метионин, %	0,11	0,13	0,13
L-треонин, %	0,12	0,13	0,13
Итого, %:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,03	13,02	13,01
Сухое вещество, г	865,70	865,86	866,15
Сырой протеин, г	156,10	156,63	156,71
Сырая клетчатка, г	37,10	37,24	37,37
Сырой жир, г	33,00	33,08	33,12
Лизин, г	9,58	9,56	9,55
Лизин доступный, г	8,19	8,21	8,20
Метионин+цистин, г	5,72	5,71	5,72
Триптофан, г	1,86	1,83	1,83
Треонин, г	6,35	6,32	6,31
Соль поваренная, г	5,00	5,00	5,00
Кальций, г	6,00	6,00	6,00
Фосфор, г	5,00	5,00	5,00
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,74	0,73	0,73

Таблица 20 – Состав и питательность комбикормов СК-31

Компоненты	СК-31		
	I	II	III
1	2	3	4
Ячмень, %	11,14	11,12	11,07
Кукуруза, %	26,00	26,00	26,00
Вика, %	5,00	-	-
Вика экструдированная, %	-	5,00	-
Вика гранулированная, %	-	-	5,00
Пшеница, %	35,10	35,10	35,10
Отруби пшеничные, %	7,00	7,00	7,00
Дрожжи кормовые, %	1,30	1,30	1,30
Шрот соевый, %	4,00	4,00	4,00
Шрот подсолнечный, %	6,00	6,00	6,00
Масло рапсовое, %	1,30	1,30	1,30
Мел мелкогранулированный, %	0,85	0,85	0,85

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4
Фосфат дефторированный, %	0,66	0,66	0,66
Соль поваренная, %	0,29	0,29	0,29
Премикс КС-4-2, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоргидрат, %	0,28	0,29	0,30
L-треонин, %	0,06	0,07	0,08
DL-метионин, %	0,02	0,02	0,03
Итого, %:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,02	13,02	13,01
Сухое вещество, г	864,70	864,20	863,40
Сырой протеин, г	136,60	154,23	153,44
Сырая клетчатка, г	42,00	47,74	47,87
Сырой жир, г	39,40	59,61	58,76
Лизин, г	8,05	8,02	8,00
Лизин доступный, г	6,68	6,81	6,80
Метионин+цистин, г	4,80	5,43	5,41
Триптофан, г	1,79	1,61	1,60
Треонин, г	5,32	5,41	5,42
Соль поваренная, г	3,50	3,50	3,50
Кальций, г	6,00	6,00	6,00
Фосфор, г	4,80	4,80	4,80
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,62	0,62	0,62

Содержание питательных веществ в комбикормах подсвинков опытных групп по периодам выращивания было практически одинаковым.

Данные по динамике среднесуточных приростов откармливаемого молодняка свиней, получавших комбикорма с включением зерна вики различных технологических обработок (таблица 21), свидетельствуют о том, что на протяжении всего периода откорма, максимальный среднесуточный прирост живой массы получен во II группе, где скармливался комбикорм с включением экструдированной вики – 666 г. Отставание животных I (контрольной) группы составило 23 г или 3,5 %, а III группы – 38 г или 5,7 % в сутки. Имеются различия между группами по затратам комбикормов на 1 кг прироста живой массы. Подсвинки II группы потребляли соответственно по периодам откорма 3,74 и 4,31 кг комбикорма. Гранулирование зерна вики не способствовало экономному потреблению комбикорма свиньями III группы. В итоге расход корма составил на 0,35 и 0,15 кг выше, чем у животных II группы. Схожие показатели затрат комбикормов отмечены у животных I группы, где было включено зерно вики без предварительной подготовки.

Таблица 21 – Продуктивность свиней на откорме

Показатели	Группы		
	I	II	III
Средняя живая масса, кг:			
в начале опыта	36,2±0,3	36,1±0,3	36,3±0,3
в конце I периода откорма	73,8±3,4	76,8±4,8	70,7±3,6
в конце откорма	105,0±5,8	107,2±4,2	102,2±6,8
Среднесуточный прирост живой массы, г:			
I период откорма	633±17	623±26	594±20
II период откорма	653±24	688±18	662±26
За весь опыт	643±26	666±21	628±31
Затрачено комбикорма на 1 кг прироста живой массы, кг:			
I период откорма	3,96	3,74	4,09
II период откорма	4,49	4,31	4,46
за весь опыт	4,23	4,03	4,28

Переваримость основных питательных веществ рациона находится в прямой зависимости с уровнем поступления их в организм, качеством и количеством включенного в состав корма компонента и уровнем их выделения в продуктах обмена. Мы оценили переваримость животными комбикормов с включением зерна вики, подвергнутого различным видам тепловых обработок. В условиях физиологического корпуса центра проведён балансовый опыт на боровках живой массой 67-68 кг по общепринятым методикам [38]. Данные по переваримости основных питательных веществ опытных комбикормов представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Коэффициенты переваримости питательных веществ комбикормов с зерном вики, %

Показатели	Группы		
	I	II	III
Сухое вещество	84,1±1,2	84,0±0,4	79,3±0,7
Органическое вещество	83,3±1,3	86,0±1,2	80,1±0,7
Сырой протеин	83,8±0,9	84,3±1,3	81,0±1,1
Сырой жир	61,7±0,8	62,4±0,7	62,7±0,3
Сырая клетчатка	28,9±0,6	28,5±0,7	29,7±0,8
БЭВ	81,7±1,1	85,5±0,5*	80,8±0,7

В результате проведённых опытов получены высокие коэффициенты переваримости органического вещества, сырого протеина и безазотистых экстрактивных веществ. Включение в состав комбикормов II группы экструдированного зерна вики увеличило переваримость органического вещества на 2,7 п. п., сырого протеина – на 0,5 п. п. и БЭВ на 3,8 п. п. ( $P < 0,05$ ). К сожалению, процесс гранулирования не улучшил

доступность для организма свиней протеина и безазотистых экстрактивных веществ из зерна вики.

Баланс азота характеризует полноценность протеина изучаемых рационов. Данные по использованию молодым свиней азота комбикормов с включением зерна вики, прошедшего различные виды влаготепловых обработок, представлена в таблице 23.

Таблица 23 – Использование свиньями азота опытных комбикормов

Показатели	Группы		
	I	II	III
Потреблено с кормом, г	67,8±0,4	65,2±0,4	68,4±0,7
Выделено с калом, г	23,1±0,4	18,9±0,6	24,7±0,6*
Переварено, г	44,7±0,6	46,3±0,4	43,7±0,7
Выделено с мочой, г	15,1±0,8	15,4±0,7	14,7±1,0
Отложено в теле, г	29,6±0,4	30,9±0,4	29,0±0,9
Отложено в теле, % от принятого	43,7±0,5	47,4±0,8	42,4±0,6
от переваренного	66,2±0,7	66,7±0,7	66,4±0,6

Скармливание комбикормов с экструдированным зерном вики привело к увеличению отложения азота в теле животных на 1,3 г или на 3,7 п. п. от принятого и на 1,7 п. п. от переваренного, что свидетельствует о более высокой биологической ценности протеина комбикормов с экструдированным зерном гороха. Подсвинки I и III групп существенно не различались между собой по этому признаку.

Результаты контрольного убоя подопытных животных показывают, что включение в состав комбикормов зерна вики, прошедшее различные виды технологических обработок, не повлияло негативно на их убойные качества (таблица 24). Наметилась тенденция повышения площади «мышечного глазка» на 1,4 см<sup>2</sup> и содержания мяса в туше на 0,6 % в группе животных, где использовались комбикорма с экструдированным зерном вики. Качество туш животных I и III групп практически не различались между собой.

Таблица 24 – Убойные качества свиней (n=5)

Группы	Предубойная живая масса, кг	Убойный выход, %	Толщина шпика, мм	Площадь «мышечного глазка», см <sup>2</sup>	Содержится в туше, %	
					Мяса	Сала
I	101±1,1	64,4±0,8	26,8±1,2	35,0±1,8	57,9±0,9	19,8±0,4
II	103±1,0	65,4±0,7	26,0±0,8	36,4±1,7	58,5±0,7	19,5±0,4
III	101±1,2	64,2±0,6	26,2±0,9	34,8±1,8	57,5±0,8	20,4±0,4

Визуальная оценка внутренних органов подопытных свиней не

выявила морфологических изменений в них. Абсолютная и относительная массы внутренних органов существенно не различалась между группами и находилась в пределах статистической погрешности.

Таблица 25 – Развитие внутренних органов

Группы	Относительная масса внутренних органов, %									
	Сердце		Лёгкие		Печень		Почки		Селезёнка	
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
I	0,330	0,29	0,875	0,77	1,787	1,60	0,235	0,17	0,270	0,24
II	0,340	0,30	0,830	0,73	1,753	1,57	0,194	0,14	0,255	0,22
III	0,330	0,29	0,795	0,70	1,698	1,52	0,222	0,16	0,285	0,26

Таким образом, установлено, что экструдирование зерна вики позволяет снизить количество вицина на 14,6 %, активность ингибиторов трипсина – на 5,9 %, а химотрипсина – на 3,9 %, при этом отмечены незначительные потери сырого протеина в зерне (1,5 %) и лизина (1,4 %). Гранулирование зерна вики привело к уменьшению количества вицина на 9,8 %, ингибиторов протеолитических ферментов соответственно на 3,9 и 11,5 %. Скармливание комбикормов, в состав которых введено 5 % экструдированного зерна вики, молодняку свиней на откорме увеличило их живую массу к концу опыта на 2,2 кг, среднесуточный прирост – на 23 г или 3,5 %, а затраты кормов на единицу прироста снизились на 0,2 кг. При этом отмечено улучшение переваримости животными органического вещества на 2,7 п. п., сырого жира – на 0,7 п. п. и БЭВ – на 3,8 п. п. данных комбикормов, а также наметилась положительная динамика отложение азота в теле поросят. Гранулирование зерна вики оказалось малоэффективным способом повышения его протеиновой питательности при скармливании молодняку свиней.

Интерес к зерну люпина возрос в конце XX века в связи с дефицитом сои. В зерне люпина по сравнению со злаковыми содержится в 2-3 раза больше сырого протеина и в 3-5 раз лизина первой лимитирующей аминокислоты для моногастричных животных. Отечественными учёными создан ряд высокоурожайных сортов узколистного люпина. Однако основным препятствием в использовании зерна люпина в кормлении свиней и птицы является содержание в нём горьких хинолизидиновых алкалоидов. Наиболее распространены спартеин, лупанин и оксилупанин. Общее содержание их в семенах люпина колеблется от 0,005 до 0,18 %. Протеиновую питательность люпина в рационах свиней увеличивают путём снижения антипитательных свойств трипсинингибирующих веществ, повышения биологической полноценности протеина, а также ослабления факторов, понижающих вкусовые свойства корма. Хотя ингибиторы трипсина в зерне люпина не обнаружены, доказано, что действие трипсина на белки люпина менее эффективно, чем на белки



животного происхождения. переваримость белков угнеталась, как было установлено, наличием связей с сахарами.

Нами проведена большая исследовательская работа по оценке биологической ценности зерна узколистного люпина сорта «Гусляр», используемого в рационах свиней, путём использования технологических обработок на АО «Экомол» и Бобруйском КХП [57] (таблица 26).

Таблица 26 – Химический состав и содержание алкалоидов в зерне люпина

Виды обработок	Сухое вещество, %	Содержится в 1 кг сухого вещества, г				Количество алкалоидов, %
		Сырого протеина	Сырого жира	Сырой клетчатки	БЭВ	
Люпин без обработок	88,0	35,9	3,9	16,2	40,1	0,046
Люпин вструдированный	90,2	35,6	4,2	11,4	44,9	0,037
Люпин экструдированный	91,3	34,2	4,0	12,0	46,1	0,031
Люпин гранулированный	88,7	35,7	3,8	16,1	40,1	0,032
Люпин шелушённый	88,5	42,5	4,2	1,60	48,0	0,057

Лабораторными исследованиями не установлено существенного снижения количества алкалоидов при вструдировании люпина. Содержание сырой клетчатки уменьшилось на 13 %, а безазотистых экстрактивных веществ увеличилось на 12 % по сравнению с исходным образцом. Экструдирование зерна люпина привело к снижению содержания алкалоидов на 33 %, при этом количество сырого протеина уменьшилось на 5 %, а клетчатки – на 26 %. По завершению процесса гранулирования не установлено потерь сырого протеина в зерне, при этом количество алкалоидов снизилось на 31 %. Продолжая поиски путей повышения протеиновой питательности зерна люпина, мы провели его шелушение. При этом технологическом процессе содержание сырого протеина увеличилось на 18 %, а клетчатки снизилось в 10 раз. Однако количество алкалоидов при этом не уменьшилось. Далее было определено содержание аминокислот в зерне люпина (табл. 27).

Таблица 27 – Аминокислотный состав зерна люпина, г/кг

Показатель	Люпин		Люпин		Люпин
	без обра- боток	вструди- рованный	экструдир- рованный	гранули- рованный	шелушен- ный
Сырого протеина	359	356	342	357	425
Лизин	14,60	14,51	14,02	14,45	17,43
Метионин	3,61	3,56	3,42	3,58	4,24
Треонин	12,53	12,46	11,97	12,50	14,88
Триптофан	2,14	2,15	2,05	2,13	2,55
Валин	11,82	11,75	11,27	11,78	14,03
Лейцин	19,86	19,58	18,80	19,64	23,38
Изолейцин	12,23	12,10	11,63	12,14	14,45
Фенилала- нин	11,98	11,74	11,27	11,78	14,01
Аргинин	36,34	35,95	34,54	36,06	42,93
Гистидин	7,98	7,90	7,52	7,85	9,35

Полученные результаты свидетельствуют о том, что влаготепловые обработки приводят к некоторому снижению содержания незаменимых аминокислот в образцах обработанного зерна люпина. Процессы вSTRUдирования и гранулирования оказались менее губительными для белковой составляющей зерна. Потери лизина составили от 0,9 % при вSTRUдировании и до 1,1 % при гранулировании. Удаление оболочки зерна при шелушении значительно повысило концентрацию всех незаменимых аминокислот в образце. Так, количество лизина возросло на 2,83 г/кг, метионина – на 0,63 г/кг, треонина – на 2,35 г/кг, триптофана – на 0,41 г/кг.

Для определения эффективности использования растущими откармливаемыми свиньями комбикормов, в состав которых включено зерно люпина, прошедшее различные виды влаготепловых обработок, в условиях совхоза-комбината «Борисовский» Борисовского района проведено два научно-хозяйственных опыта по следующей схеме (таблица 28).

Таблица 28 – Схема опытов

Группы	Количество животных, гол		Особенности кормления
	Доращивание	Откорм	
I	18	20	ОР (комбикорм) в т.ч. зерно люпина без обработок
II	18	20	ОР (комбикорм) в т.ч. зерно гранулированное люпина
III	18	20	ОР (комбикорм) в т.ч. вSTRUдированное зерно люпина

Первый опыт проведён в условиях племфермы хозяйства на животных 2-4-месячного возраста. По принципу пар-аналогов сформировано три группы свиней крупной белой породы по 18 голов в каждой. Для кормления молодняка использовались комбикорма СК-21, сбалансированные по основным питательным веществам (таблица 29). В комбикорма I (контрольной) группы было введено 5 % необработанного зерна. При приготовлении комбикорма II группы использовалось гранулированное, а для III – вструдированное зерно в равном количестве.

Таблица 29 – Состав и питательность комбикормов СК-21

Компоненты	СК-21		
	I	II	III
Ячмень, %	17,74	17,69	17,74
Ячмень шелушённый, %	40,00	40,00	40,00
Люпин, %	5,00	-	-
Люпин гранулированный, %	-	5,00	-
Люпин вструдированный, %	-	-	5,00
Пшеница, %	18,00	18,00	18,00
СОМ, %	2,00	2,00	2,00
Рыбная мука, %	6,70	6,70	6,70
Дрожжи кормовые, %	4,50	4,50	4,50
Масло растительное, %	3,50	3,50	3,50
Мел мелкогранулированный, %	0,64	0,64	0,64
Фосфат дефторированный, %	0,28	0,28	0,28
Соль поваренная, %	0,11	0,11	0,11
Премикс КС-3-1, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоргидрат, %	0,34	0,36	0,34
DL-метионин, %	0,05	0,06	0,05
L-треонин, %	0,12	0,13	0,12
L-триптофан, %	0,02	0,03	0,02
Итого, %:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,51	13,50	13,51
Сухое вещество, г	877,80	875,10	875,60
Сырой протеин, г	175,50	174,80	174,70
Сырая клетчатка, г	31,40	31,60	30,70
Сырой жир, г	61,00	59,80	62,00
Лизин, г	11,03	11,02	11,03
Лизин доступный, г	9,39	9,41	9,399
Метионин+цистин, г	6,03	6,05	6,02
Триптофан, г	2,10	2,11	2,10
Треонин, г	7,37	7,32	7,35
Кальций, г	7,50	7,50	7,50
Фосфор, г	6,00	6,00	6,00
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,82	0,82	0,82

Второй опыт проведён в условиях промышленной зоны комплекса на откормочном поголовье свиней. Было отобрано три группы помесных животных (крупная белая × белорусская мясная породы) по 20 голов в каждой. Откормочникам I (контрольной) группы скармливались комбикорма СК-26 и СК-31 с включением 15 % зерна люпина без обработок (таблицы 30 и 31). При приготовлении комбикорма II группы использовалось гранулированное, а для III – вструдированное зерно в таком же количестве, что и в контроле. Существенных различий по содержанию основных питательных веществ в опытных партиях комбикормов не установлено.

Таблица 30 – Состав и питательность комбикормов СК-26

Компоненты	СК-26		
	I	II	III
Ячмень, %	49,34	49,30	49,34
Пшеница, %	25,00	25,00	25,00
Люпин, %	15,00	-	-
Люпин гранулированный, %	-	15,00	-
Люпин вструдированный, %	-	-	15,00
Дрожжи кормовые, %	1,80	1,80	1,80
Рыбная мука, %	2,30	2,30	2,30
Масло рапсовое, %	3,50	3,50	3,50
Мел мелкогранулированный, %	0,66	0,66	0,66
Фосфат дефторированный, %	0,53	0,53	0,53
Соль поваренная, %	0,26	0,26	0,26
Премикс КС-4-1, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоридат, %	0,37	0,38	0,37
DL-метионин, %	0,12	0,13	0,12
L-треонин, %	0,10	0,11	0,10
L-триптофан, %	0,02	0,03	0,02
Итого, %:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,01	13,00	13,01
Сухое вещество, г	862,40	865,20	861,5
Сырой протеин, г	160,10	161,33	162,61
Сырая клетчатка, г	35,70	35,60	34,70
Сырой жир, г	59,70	59,41	60,60
Лизин, г	9,50	9,52	9,51
Лизин доступный, г	8,20	8,18	8,21
Метионин+цистин, г	5,72	5,70	5,73
Триптофан, г	1,80	1,81	1,81
Треонин, г	6,30	6,30	6,31
Кальций, г	6,00	6,00	6,00
Фосфор, г	5,00	5,00	5,00
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,73	0,73	0,73

Таблица 31 – Состав и питательность комбикормов СК-31

Компоненты	СК-31		
	I	II	III
Ячмень, %	49,02	49,94	49,02
Пшеница, %	26,00	26,00	26,00
Люпин, %	15,00	-	-
Люпин гранулированный, %	-	15,00	-
Люпин вструдированный, %	-	-	15,00
Дрожжи кормовые, %	0,70	0,70	0,70
Шрот соевый, %	2,00	2,00	2,00
Масло рапсовое, %	3,40	3,40	3,40
Мел мелкогранулированный, %	0,72	0,72	0,72
Фосфат дефторированный, %	0,66	0,66	0,66
Соль поваренная, %	0,25	0,25	0,25
Премикс КС-4-2, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоргидрат, %	0,22	0,23	0,22
L-треонин, %	0,06	0,07	0,06
DL-метионин, %	0,02	0,03	0,02
Итого, %:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,00	13,02	13,01
Сухое вещество, г	870,10	872,20	863,40
Сырой протеин, г	152,80	154,23	153,44
Сырая клетчатка, г	46,10	47,74	47,87
Сырой жир, г	57,40	57,61	58,76
Лизин, г	8,03	8,02	8,01
Лизин доступный, г	6,80	6,81	6,80
Метионин+цистин, г	4,80	4,81	4,82
Триптофан, г	1,62	1,61	1,61
Треонин, г	5,32	5,34	5,32
Кальций, г	6,00	6,00	6,00
Фосфор, г	4,80	4,80	4,80
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,62	0,62	0,62

Полученные в ходе опыта данные продуктивности поросят от 2- до 4-месячного возраста свидетельствуют о том, что животные всех групп имели высокие показатели роста (таблица 32). Однако максимальный среднесуточный прирост живой массы получен в III группе – 508 г, где скармливались комбикорма со вструдированным зерном люпина. Незначительно отстали от них животные II опытной группы, потреблявшие комбикорма с гранулированным люпином: показатели их темпов роста снизились на 15 г. Затраты комбикормов на единицу прироста оказались наименьшими во III группе – всего 3,59 кг комбикорма. Несмотря на высокое содержание сырого протеина и аминокислот в цельном люпине, комбикорма с его включением имели наименьшее

продуктивное действие, а следовательно, и потребление его поросятами было максимальным – 3,81 кг на 1 кг прироста.

Таблица 32 – Продуктивность поросят на дорашивании

Группы	Средняя живая масса одной головы, кг		Продолжительность опыта, дней	Среднесуточный прирост живой массы, г	Затраты комбикорма на 1 кг прироста живой массы, кг
	в начале опыта	в конце опыта			
I	20,2±0,5	44,5±1,4	50	486±21,9	3,81
II	20,0±0,5	44,7±1,6	50	494±22,3	3,70
III	20,2±0,5	45,6±1,2	50	508±24,4	3,59

Анализ результатов откорма (таблица 33) свидетельствует о том, что наиболее эффективным способом подготовки зерна люпина к скармливанию является процесс встудирования, при котором потери питательных веществ, в том числе и незаменимых аминокислот, минимизированы, о чём свидетельствуют живая масса и темпы роста молодняка свиней. Животные III группы на протяжении как первого, так и второго периодов откормов характеризовались максимальной живой массой – соответственно 81,3 и 104,7 кг, при этом их среднесуточный прирост составил 700 г за опыт. Не удалось получить высоких показателей роста от животных II группы, потреблявших комбикорма с гранулированным зерном люпина. В итоге живая масса подвинков к концу опыта была наименьшей среди опытных групп – 101,2 кг.

Таблица 33 – Продуктивность молодняка свиней на откорме

Показатели	Группы		
	I	II	III
Живая масса одной головы, кг:			
в начале опыта	36,9±0,4	36,9±0,4	36,8±0,6
в конце I периода	78,0±2,6	78,6±3,2	81,3±3,6
в конце откорма	102,9±	101,2±	104,7±
Среднесуточный прирост живой массы, г			
I период откорма	623±16,3	532±18,5	674±19,2
II период откорма	803±34,0	729±27	754±43,8
всего за опыт	671±18,6	663±12,6	700±18,7
Затраты комбикормов на 1 кг прироста, кг:			
I период откорма	3,81	3,94	3,70
II период откорма	4,07	4,13	3,92
всего за опыт	3,99	4,04	3,81

Затраты кормов в некоторой степени характеризуют сбалансированность и доступность питательных веществ для животных из ингредиентов, входящих в состав комбикорма. Комбикорма с включением вступрированного зерна люпина в полной мере отвечали потребностям откармливаемого молодняка свиней. Животные III группы характеризовались умеренным потреблением комбикормов по периодам опыта – 3,70 и 3,92 кг соответственно. В целом суммарный расход кормов на прирост 1 кг живой массы в I и II группах оказался на 0,18 и 0,23 кг выше, чем у откормочников III группы.

С целью определения убойных и мясных качеств свиней, которым скармливались комбикорма с включением зерна люпина, различных технологических обработок, нами проведён контрольный убой животных на Борисовском мясокомбинате. Результаты убоя (таблица 34) свидетельствуют о том, что молодняк свиней всех групп имел относительно высокий убойный выход, который не зависел от процесса влаготепловой обработки люпина. Изучение морфологического состава туш показало, что наибольшее количество мяса содержалось в тушах свиней III группы – 59,3 %, это на 0,4 и 0,8 п. п. выше показателей I и II групп. По содержанию сала в тушах подопытных животных существенных различий не установлено.

Таблица 34 – Убойные качества свиней (n=5)

Группы	Предубойная живая масса, кг	Убойный выход, %	Толщина шпика, мм	Площадь «мышечного глазка», см <sup>2</sup>	Содержится в туше, %	
					Мяса	Сала
I	105±2,4	65,8±0,8	27,4±1,2	36,3±1,6	58,9±0,9	22,8±0,4
II	103±2,3	65,2±0,6	26,6±0,8	35,6±1,4	58,5±0,6	23,5±0,4
III	102±0,8	66,2±0,6	26,8±0,9	36,8±1,8	59,3±0,8	22,4±0,4

Введение в состав комбикормов зерна люпина, прошедшего различные виды влаготепловых обработок, не оказало существенного влияния на абсолютную и относительную массу внутренних органов животных.

Таблица 35 – Развитие внутренних органов

Группы	Относительная масса внутренних органов, %									
	Сердце		Лёгкие		Печень		Почки		Селезёнка	
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
I	0,340	0,30	0,920	0,81	1,899	1,70	0,250	0,18	0,162	0,14
II	0,360	0,31	0,865	0,76	1,764	1,58	0,222	0,16	0,171	0,15
III	0,340	0,30	0,945	0,83	1,876	1,68	0,236	0,17	0,175	0,15

Установлено, что наиболее эффективным способом влаготепловой обработки зерна люпина является вступрирование. Включение в состав

комбикормов поросят на дорашивании 5 % и на откорме 15 % встругированного зерна люпина повышает среднесуточные приросты живой массы молодняка соответственно на 4,5 и 4,3 % по сравнению с необработанным зерном. При этом снижаются затраты кормов на 1 кг прироста живой массы поросят 2-4-месячного возраста на 5,2 % и откормочников – на 4,6 %. Процесс гранулирования зерна люпина оказался малоэффективным способом повышения питательной ценности при включении в рационы молодняка свиней. Таким образом, в результате проведённых исследований установлена питательная ценность и содержание незаменимых аминокислот в зерне гороха, вики и узколистного люпина отечественных сортов селекции. Определены оптимальные нормы ввода в рационы и оценена эффективность скармливания молодняку свиней комбикормов с включением зерна бобовых культур, прошедших различные виды влаготепловых обработок.

### **2.3 Уровень обменной энергии и количество незаменимых аминокислот в комбикормах для молодняка свиней**

Зоотехническая наука о кормлении свиней накопила большое количество экспериментальных данных о влиянии питательных веществ – протеина (аминокислот), жиров, углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов, других факторов на обмен веществ, эффективность использования корма и образование продукции. Эти данные являются основой для разработки и дальнейшего совершенствования норм кормления всех половозрастных групп свиней, осуществления всего комплекса мероприятий по обеспечению полноценного высокоэффективного кормления животных.

Обменная энергия и сырой протеин (аминокислоты) являются основными факторами, определяющими уровень продуктивности животных, поэтому вопросы энергетического и аминокислотного питания находятся в центре внимания учёных и практиков уже много лет. Предыдущими исследованиями сотрудников нашей лаборатории [13] установлено, что для растущих поросят живой массой 30-60 кг оптимальным является уровень обменной энергии в 13,23 МДж и содержания сырого протеина 178 г в 1 кг комбикорма, а для животных от 61 до 100 кг соответственно 13,15 МДж и 143 г сырого протеина.

В Республике Беларусь используется малое количество высокоэнергетических зерновых компонентов, таких как кукуруза и пшеница, поэтому для обеспечения высокого уровня обменной энергии в комбикормах для моногастричных животных приходится добавлять при их выработке растительные масла или животные жиры. При включении полножировой сои в комбикорма отпадает необходимость в использовании



дополнительного количества масел и жиров. Считается, что правильно обработанные полножировые бобы выступают как ценный ингредиент в кормах для свиней на стадиях дорашивания и откорма. В условиях свинокомплекса агрокомбината «Снов» мы оценили эффективность комбикормов для поросят 2-4-месячного возраста при адекватной замене протеина соевого шрота на протеин полножировой сои [17]. Поросята контрольной группы (30 голов) получали комбикорма рецепта СК-21 с включением соевого шрота. В опытной группе протеин соевого шрота был заменён протеином соевых бобов. На протяжении всего периода опыта наивысший среднесуточный прирост живой массы получен в опытной группе – 441 г ( $P < 0,05$ ). В контроле этот показатель оказался на 2,5 % ниже. Отмечено более экономное потребление корма на единицу прироста в опытной группе – 3,61 против 3,76 кг в контроле. Исследованиями показана возможность замены соевого шрота полножировой соей без снижения продуктивности животных. При этом отпадает необходимость ввода энергонасыщенных ингредиентов (жиров и масел).

В то же время, свиньи современных специализированных мясных пород отличаются повышенным обменом веществ, более высокими требованиями к полноценности кормления, особенно белкового [29]. Это одна из биологических особенностей таких свиней – их большая потребность в полноценном белке, то есть в наличии и соотношении отдельных аминокислот, как и способность к активному его синтезу. Таким образом, целью наших экспериментов явилось установление оптимального уровня обменной энергии и незаменимых аминокислот в комбикормах растущего откармливаемого молодняка свиней для проявления их максимальной продуктивности при высоком её качестве и экономном использовании высокобелковых кормов.

У новорождённых поросят и поросят-сосунов почти нет комплекса пепсин-НСI, амилазы, мальтазы и сахаразы. Основные пищеварительные ферменты у поросят-сосунов – трипсин, лактаза и липаза. С другой стороны, рост и развитие поросят-сосунов происходит настолько быстро, что практически невозможно разработать определённый рецепт комбикорма и использовать его в неизменном виде весь подсосный период. Ранее скармливание зерновых кормов вызывает у поросят значительное повышение секреторных функций желудка, усиливает отделение соляной кислоты, а следовательно, период возрастной нестабильности (неполноценности) сокращается, желудок скорее приспособляется к перевариванию концентрированных кормов.

С целью определения уровня обменной энергии, количества и соотношения незаменимых аминокислот в комбикормах для поросят-сосунов, поросят-отъёмшей и поросят на дорашивании проведена серия

научно-хозяйственных опытов в условиях товарной фермы свиного комплекса агрокомбината «Снов» Несвижского района. Рецепты комбикормов для подопытного молодняка разрабатывались с учётом максимального использования ингредиентов местного производства с целью оптимального обеспечения потребностей животных в незаменимых аминокислотах и минимальным включением их синтетических препаратов. Расчётным путём, используя стандартизированные коэффициенты переваримости (SID) аминокислот в подвздошной кишке для отдельных кормов [77], определено количество доступных аминокислот в опытных комбикормах.

По содержанию питательных веществ комбикорма для животных контрольной группы рассчитывались в соответствии с детализированными нормами кормления [37]. Комбикорма для свиней I опытной группы (таблицы 36 и 37) были сбалансированы по уровню обменной энергии и количеству общего лизина, наиболее часто встречающееся в литературе [367; 386]. Количество метионина с цистином в рецептах составило 55-60 % от уровня лизина, треонина – 60-64 %, триптофана – 18-20 %. Животные II опытной группы в наших исследованиях получали комбикорма, сбалансированные по тому же принципу, что и в I опытной группе, но и с увеличенным ещё на 5-7 % уровнем лизина. Отличительной особенностью комбикормов для опытных групп было более широкое отношение обменной энергии к лизину. С увеличением количества лизина пропорционально возрастало и количество других незаменимых аминокислот. Необходимо отметить, что суммарное содержание обменной энергии в комбикормах рассчитывалось по её содержанию в отдельных ингредиентах. Допускалось, что взаимное положительное или отрицательное влияние кормовых ингредиентов на суммарное содержание обменной энергии в комбикорме несущественно. Для балансирования аминокислот были использованы синтетические аминокислоты: L-лизин, DL-метионин, L-треонин и L-триптофан, которые вводились в комбикорма в составе премиксов. В комбикормах всех групп использовался один и тот же рецепт премикса КС-3, поэтому содержание макро- и микроэлементов, а также витаминов было одинаковым.

Таблица 36 – Рецепты опытных комбикормов СК-11-1 для поросят в возрасте от 7 до 24 дней

Компоненты	Группы		
	Контроль-ная	I опытная	II опытная
1	2	3	4
Кукуруза, %	13,12	12,86	12,59
Ячмень шелушённый, %	30,00	30,00	30,00

Продолжение таблицы 36

1	2	3	4
Шрот подсолнечный, %	5,50	5,50	5,50
Шрот соевый кормовой тостир., %	13,15	13,15	13,15
Мука рыбная, %	8,00	8,00	8,00
Сыворотка сухая молочная, %	15,79	15,79	15,79
Заменитель сухого молока «Микро-мель», %	7,30	7,30	7,30
Масло подсолнечное, %	3,50	3,50	3,50
Мел мелко гранулированный, %	0,28	0,28	0,28
Фосфат дефторированный, %	1,36	1,36	1,36
Премикс КС-3, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоргидрат, %	-	0,15	0,29
DL-метионин, %	-	0,06	0,13
L-треонин, %	-	0,03	0,06
L-триптофан, %	-	0,02	0,05
Асидлак, %	0,50	0,50	0,50
Сол Карб, %	0,30	0,30	0,30
Молд Карб, %	0,20	0,20	0,20
Итого:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,81	13,80	13,80
Сухое вещество, г	903,70	903,90	904,00
Сырой протеин, г	220,00	221,50	222,30
Сырая клетчатка, г	26,70	26,60	26,60
Сырой жир, г	60,10	60,10	60,00
Лизин, г	13,20	14,00	15,00
Лизин доступный, г	11,29	11,83	12,90
Метионин+цистин, г	7,50	8,12	9,20
Метионин+цистин доступные, г	6,33	6,86	7,77
Триптофан, г	2,62	2,72	2,92
Триптофан доступный, г	2,23	2,31	2,48
Треонин, г	8,75	8,94	9,13
Треонин доступный, г	7,47	7,63	7,80
Лактоза, г	100,00	100,00	100,00
Кальций, г	10,00	10,00	10,00
Фосфор, г	8,00	8,00	8,00
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,96	1,01	1,09

Таблица 37 – Рецепты опытных комбикормов СК-11-2 для поросят в возрасте от 25 до 42 дней

Компоненты	Группы		
	Кон- трольная	I опытная	II опыт- ная
1	2	3	4
Кукуруза, %	13,20	13,79	13,60

Продолжение таблицы 37

1	2	3	4
Пшеница, %	8,18	8,00	8,00
Ячмень шелушённый, %	30,00	30,00	30,00
Шрот подсолнечный, %	5,55	5,55	5,55
Шрот соевый кормовой тостир., %	13,05	13,05	13,05
Мука рыбная, %	8,00	8,00	8,00
Заменитель сухого молока «Микро-мель», %	7,30	7,30	7,30
Масло подсолнечное, %	3,50	3,50	3,5
Сыворотка сухая молочная, %	7,61	7,61	7,61
Мел мелкогранулированный, %	0,39	0,29	0,29
Фосфат дефторированный, %	1,22	0,67	0,67
Премикс КС-3, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоргидрат, %	-	0,34	0,39
DL-метионин, %	-	0,05	0,13
L-треонин, %	-	0,03	0,06
L-триптофан, %	-	0,02	0,05
Асидлак, %	0,50	0,50	0,50
Сол Карб, %	0,30	0,30	0,30
Молд Карб, %	0,20	0,20	0,20
Итого:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,86	13,92	13,95
Сухое вещество, г	896,30	895,70	895,70
Сырой протеин, г	220,00	223,80	224,30
Сырая клетчатка, г	28,90	28,90	28,90
Сырой жир, г	61,30	61,40	61,40
Лизин, г	12,33	14,75	15,30
Лизин доступный, г	10,79	13,00	13,50
Метионин+цистин, г	7,52	8,11	9,20
Метионин+цистин доступные, г	6,35	6,85	7,76
Триптофан, г	2,60	2,72	2,91
Триптофан доступный, г	2,21	2,30	2,55
Треонин, г	8,10	8,79	9,86
Треонин доступный, г	6,90	7,50	8,41
Лактоза, г	55,00	55,00	55,00
Кальций, г	10,00	8,00	8,00
Фосфор, г	8,00	7,00	7,00
Лизин/обменная энергия, г/Мдж	0,89	1,06	1,10

Живая масса поросят и скорость их роста являются основными хозяйственными показателями, которые находятся в прямой зависимости от количества и качества потребляемого корма. Результаты опыта по оценке стартерных комбикормов СК-11-1 и СК-11-2 представлены в

таблице 38.

Таблица 38 – Динамика живой массы и сохранность поросят (n=99)

Группа	Живая масса одного поросёнка, кг			Сохранность поросят, %		
	в 7 дней	в 25 дней	в 43 дня	7 дней	25 дней	43 дня
Контроль-ная	2,38±0,14	6,02±0,32	11,94±0,29	100	99,0	90,1
I опытная	2,44±0,24	6,58±0,33	13,41±0,24***	100	98,0	91,6
II опытная	2,53±0,15	6,82±0,46	14,08±0,38***	100	97,9	92,3

Здесь и далее: \*P <0,05; \*\*P <0,01; \*\*\* P <0,001

Из приведённых данных видно, что наибольшая средняя живая масса одного поросёнка к 25-дневному возрасту (когда использовался в качестве подкормки комбикорм СК-11-1) отмечена у животных II опытной группы – 6,82 кг. Эта тенденция сохранилась в последующем при скармливании комбикормов СК-11-2. По сравнению с контролем преимущество животных этой группы составило 2,14 кг или 17,9 % (P<0,001). Поросята I опытной группы имели также достаточно высокие показатели развития. Концу опыта средняя живая масса одного поросёнка составила 13,41 кг, что на 12,3 % выше, чем в контроле. Сохранность поросят в течение опыта во всех группах находилась примерно на одном уровне (90-92 %). Выбытие животных было связано в основном с технологическими факторами (отъём, стрессы) и не связано с кормлением.

Представленные в таблице 39 данные свидетельствуют о том, что максимальный уровень обменной энергии и лизина, а вместе с тем и других незаменимых аминокислот, в том числе и доступных, в комбикормах II опытной группы поспособствовал получению наивысших приростов живой массы в течение всего опыта – 318 г.

Таблица 39 – Продуктивность поросят и потребление комбикормов

Группы	Среднесуточный прирост, г			Потреблено комби-корма на голову, кг	
	7-24 день	25-43 день	всего за опыт	СК-11-1	СК-11-2
Контрольная	214	311	263	0,913	7,990
I опытная	244	359	302	0,880	7,810
II опытная	253	382	318	0,863	7,550

Темпы роста животных контрольной и I опытной группы оказались на 17,3 и 5,1 % ниже. Также поросята II опытной группы наиболее экономно потребляли комбикорма – соответственно 0,863 и 7,55 кг по

периодам выращивания. Затраты питательных веществ комбикормов на получение 1 кг прироста живой массы в первых двух группах был выше соответственно на 5,8 и 3,4 %.

Одним из важнейших и в тоже время узких звеньев промышленной технологии производства свинины является проведение отъёма и выращивание поросят-сосунов. Это связано, в первую очередь, с особенностями развития отдельных участков желудочно-кишечного тракта и пищеварительных желез (поджелудочной железы и печени) молодняка. Поэтому из состава комбикормов СК-16 (таблица 40) практически исключаются источники молочного сахара (лактозы), а их место занимают растительные ингредиенты, богатые крахмалом, для гидролиза которых необходима амилаза, синтезируемая и выделяемая поджелудочной железой. Принцип нормирования обменной энергии и незаменимых аминокислот, в том числе и доступных, в опытных группах был соблюден, как и в комбикормах СК-11.

Таблица 40 – Рецепты опытных комбикормов СК-16 для поросят в возрасте от 43 до 62 дней

Компоненты	Группы		
	Контрольная	I опытная	II опытная
1	2	3	4
Кукуруза, %	13,00	13,00	13,00
Пшеница, %	15,83	16,21	15,80
Ячмень шелушённый, %	30,00	30,00	30,00
Шрот подсолнечный, %	5,50	5,50	5,50
Шрот соевый кормовой тостир., %	13,11	13,00	13,20
Мука рыбная, %	8,00	8,00	8,00
Заменитель сухого молока «Микромель», %	7,30	7,30	7,30
Масло подсолнечное, %	3,40	3,50	3,50
Мел мелко гранулированный, %	1,04	0,67	0,67
Монокальцийфосфат I сорт, %	0,82	0,40	0,40
Премикс КС-3, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоргидрат, %	-	0,29	0,36
DL-метионин, %	-	0,06	0,14
L-треонин, %	-	0,04	0,07
L-триптофан, %	-	0,03	0,06
Асидлак, %	0,50	0,50	0,50
Сол Карб, %	0,30	0,30	0,30
Молд Карб, %	0,20	0,20	0,20
Итого:	100,00	100,00	100,00

Продолжение таблицы 40

1	2	3	4
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,86	13,99	14,00
Сухое вещество, г	889,60	889,00	889,00
Сырой протеин, г	220,00	223,80	224,40
Сырая клетчатка, г	30,90	31,00	31,00
Сырой жир, г	61,30	62,40	62,30
Лизин, г	12,30	14,20	15,30
Лизин доступный, г	9,20	12,20	13,00
Метионин+цистин, г	7,50	8,10	9,20
Метионин+цистин досдост., г	6,33	6,84	7,76
Триптофан, г	2,60	2,71	2,90
Триптофан доступный, г	2,20	2,28	2,45
Треонин, г	8,10	8,80	9,90
Треонин доступный, г	6,90	7,51	8,36
Кальций, г	10,00	8,00	8,00
Фосфор, г	8,00	7,00	7,00
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,89	1,01	1,09

Данные о динамике живой массы на протяжении эксперимента свидетельствуют о том, что начальная живая масса животных во всех группах была выровнена и составила 14,0-14,1 кг. Увеличение количества лизина, а вместе с ним и других незаменимых аминокислот, к уровню обменной энергии в комбикормах СК-16 II опытной группы сопровождалось изменением скорости роста подопытных поросят. Превосходство животных этой группы над контролем к концу опыта составило 1,18 кг или 5,1 %. Не установлено существенных различий между показателями конечной живой массы животных I опытной и контрольной группами (таблица 41).

Таблица 41 – Живая масса поросят в возрасте от 43 до 62 дней

Группы	Количество голов	Средняя живая масса одного поросёнка, кг	
		в 43 дня	в 62 дня
Контрольная	14	14,0±0,24	23,28±1,57
I опытная	14	14,1±0,27	23,50±1,84
II опытная	14	14,1±0,30	24,46±1,42

Следует отметить, что поросята II опытной группы по величине среднесуточного прироста живой массы достоверно превосходили не только сверстников контрольной группы, но и аналогов I опытной группы соответственно на 11,6 и 10,2 %. Увеличение концентрации

незаменимых аминокислот на 1 МДж обменной энергии в опытных группах способствовало снижению затрат кормов на единицу прироста живой массы молодняка свиней (таблица 42). Однако наиболее эффективно использовали питательные вещества корма для своего роста поросята II опытной группы. В итоге затраты комбикорма на 1 кг прироста у них составил 2,259 г, или на 5,8 % меньше контрольных показателей.

Таблица 42 – Продуктивность поросят в возрасте 43-62 дня

Группы	Среднесуточный прирост, г	Затраты комбикормов на 1 кг прироста живой массы, кг
Контрольная	464±7,8	2,396
I опытная	470±5,9	2,318
II опытная	518±4,8***	2,259

Питательность рациона оказывает влияние, в первую очередь, на поедаемость комбикормов животными. С целью изучения особенностей потребления питательных веществ корма проведено контрольное кормление подопытного молодняка. Количество поглощаемого корма при постоянном доступе свиней к нему характеризует взаимосвязь между потребностью животного и свойствами корма, адекватными этой потребности. Аминокислоты играют значительную роль в регулировании аппетита. Данные, полученные в ходе научно-хозяйственного опыта (таблица 43), показывают, что увеличение количества лизина, приходящееся на 1 МДж обменной энергии, до 1,09 г способствовало снижению потребления комбикорма во II опытной группе в среднем на 88 г или 7,6 % в сутки. Несмотря на то, что животными этой группы с комбикормом поступало несколько большее количество незаменимых аминокислот, они экономнее использовали обменную энергию корма – на 1,07 МДж меньше, чем в контроле. Потребление комбикормов поросятами I опытной группы составило 1,089 кг, обменной энергии – 15,24 МДж, общего лизина – 15,5 г.

Таблица 43 – Суточное потребление питательных веществ поросятами в возрасте 56 дней

Компоненты	Группы		
	Контроль-ная	I опытная	II опытная
1	2	3	4
Количество комбикорма, кг	1,158	1,089	1,070
Обменная энергия, МДж	16,05	15,24	14,98
Сухое вещество, г	1030,2	968,1	951,2
Сырой протеин, г	254,8	243,7	240,1
Сырая клетчатка, г	35,8	33,8	33,2



Продолжение таблицы 43

1	2	3	4
Сырой жир, г	71,0	68,0	66,7
Лизин, г	14,2	15,5	16,4
Лизин доступный, г	10,7	13,3	13,9
Метионин+цистин, г	8,7	8,8	9,8
Метионин+цистин доступные, г	7,3	7,4	8,3
Триптофан, г	3,0	3,0	3,1
Триптофан доступный, г	2,5	2,5	2,6
Треонин, г	9,4	9,6	10,6
Треонин доступный, г	8,0	8,2	8,9
Кальций, г	11,6	8,7	8,6
Фосфор, г	9,3	7,6	7,5

По потреблению поросятами доступных незаменимых аминокислот колебания между группами были незначительные. Выбытия животных в группах в течение опыта не отмечено.

Дорашивание поросят является одним из самых сложных периодов в технологическом процессе производства свинины. В это время происходит формирование мышечной ткани молодняка и синтез белка протекает гораздо интенсивнее, чем синтез жировой ткани. Стратегия нормированного кормления поросят на дорашивании должна основываться на получении максимального прироста живой массы. Вместе с тем, стоит отметить малый объём и недостаточное развитие их желудочно-кишечного тракта. Поэтому уровень обменной энергии и незаменимых аминокислот в комбикормах для этой половозрастной группы – одни из самых высоких. Дефицит аминокислот в кормах в это время ведёт к ощущению отставанию в росте, отклонениям в онтогенезе. Недоразвитие мышечной ткани становится необратимым, вызывая в последующем ухудшение качества туш и получение жирной свинины. В соответствии с целями и задачами исследований комбикорма различались по уровню обменной энергии и количеству незаменимых, в том числе и доступных аминокислот (таблица 44). Количество лизина, приходящееся на 1 Мдж обменной энергии в комбикормах для поросят контрольной группы, составило 0,62 г, в I опытной – 0,85 г, а во II опытной – 0,90 г.

Таблица 44 – Рецепты опытных комбикормов СК-21 для поросят в возрасте от 61 до 104 дней

Компоненты	Группы		
	Контрольная	I опытная	II опытная
1	2	3	4
Кукуруза, %	10,00	10,00	10,00
Пшеница, %	18,00	18,00	18,00

Продолжение таблицы 44

1	2	3	4
Ячмень, %	14,37	10,20	10,52
Ячмень шелушённый, %	22,00	23,00	22,00
Тритикале, %	10,00	10,00	10,00
Шрот подсолнечный, %	5,00	5,00	5,00
Шрот соевый кормовой тостир., %	11,60	13,00	13,50
Мука рыбная, %	1,50	1,50	1,50
Мука мясо-костная II сорт, %	2,77	2,77	2,77
Масло рапсовое, %	2,00	3,20	3,20
Соль поваренная, %	0,06	0,06	0,06
Мел мелко гранулированный, %	0,77	0,44	0,44
Фосфат дефторированный, %	0,43	0,80	0,80
Премикс КС-3, %	1,00	1,00	1,00
L-лизин монохлоргидрат, %	-	0,39	0,45
DL-метионин, %	-	0,06	0,12
L-треонин, %	-	0,08	0,13
L-триптофан, %	-	-	0,01
Асидлак, %	0,50	0,50	0,50
Итого:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,11	13,45	13,46
Сухое вещество, г	873,10	877,10	877,40
Сырой протеин, г	175,60	179,90	180,10
Сырая клетчатка, г	38,30	35,90	36,10
Сырой жир, г	43,70	59,70	59,60
Лизин, г	8,13	11,48	12,07
Лизин доступный, г	6,63	9,97	10,54
Метионин+цистин, г	5,90	6,56	7,18
Метионин+цистин доступ., г	4,78	5,44	6,06
Триптофан, г	2,18	2,23	2,35
Триптофан доступный, г	1,75	1,80	1,91
Треонин, г	6,24	7,16	7,71
Треонин доступный, г	4,75	5,61	6,84
Кальций, г	8,00	8,00	8,00
Фосфор, г	6,00	6,60	6,60
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,62	0,85	0,90

Показатели эффективности роста поросят, содержащихся на рационах с различным уровнем обменной энергии и незаменимых аминокислот, свидетельствуют о том, что изменение количественного и качественного аминокислотного состава оказало неоднозначное влияние на рост, развитие и конверсию корма у животных. Использование комбикормов с оптимальным на наш взгляд соотношением энергии и незаменимых аминокислот (II опытная группа) способствовало достоверному

увеличению 9,8 % ( $P < 0,05$ ) живой массы поросят к концу периода доращивания. При этом живой массы в 40 кг поросята достигали уже к 97-100 дню жизни. Не удалось достигнуть существенного увеличения показателей живой массы животных I опытной группы, в итоге их преимущество над контрольной группой составило 3,6 %.

Таблица 45 – Динамика живой массы поросят на доращивании

Группы	Количество голов	Средняя живая масса одного поросёнка, кг:	
		65 дней	103 дня
Контрольная	14	23,70±0,40	40,49±1,20
I опытная	14	23,76±0,42	41,93±1,57
II опытная	14	23,78±0,42	44,47±1,41*

Среднесуточный прирост молодняка контрольной группы составил 453 г. Повышение уровня лизина до 0,85 г на 1 МДж обменной энергии в комбикормах для животных I опытной группы достоверно увеличило темпы их роста на 38 г или 8,3 % ( $P < 0,01$ ). Корректирование количества лизина до 0,90 г, а вместе с ним и других незаменимых аминокислот на единицу обменной энергии в кормах II опытной группы привело к ещё более значительному повышению среднесуточных приростов живой массы – на 106 г или 23,3 % ( $P < 0,001$ ). При этом затраты комбикорма на 1 кг прироста живой массы снизились в I опытной группе на 0,08 кг, а во II – на 0,2 кг.

Таблица 46 – Среднесуточные приросты поросят на доращивании

Группы	Среднесуточный прирост, г	Затраты комбикормов на 1 кг прироста живой массы, кг
Контрольная	453±5,6	3,42
I опытная	491±8,8**	3,34
II опытная	559±7,3***	3,22

Увеличение концентрации незаменимых аминокислот в расчете на 1 МДж обменной энергии способствовало снижению среднесуточного потребления корма в опытных группах (таблица 47). Так, поросята I опытной группы потребляли меньше комбикорма, по сравнению с контрольными аналогами, на 0,14 кг или 0,9 %, а II опытной – на 0,43 кг или 2,8 % соответственно. Однако потребление незаменимых аминокислот, в том числе и доступных, возросло. Окончательная оценка эффективности использования незаменимых аминокислот и обменной энергии на синтез мышечной ткани выращиваемого молодняка свиней будет дана в следующих главах.

Таблица 47 – Суточное потребление питательных веществ поросятами в возрасте 84 дней

Компоненты	Группы		
	Контроль-ная	I опытная	II опытная
Количество комбикорма, кг	1,549	1,535	1,506
Обменная энергия, МДж	20,31	20,65	20,27
Сухое вещество, г	1352,4	1346,3	1324,4
Сырой протеин, г	272,0	276,1	271,2
Сырая клетчатка, г	59,3	55,1	54,4
Сырой жир, г	67,7	91,6	89,8
Лизин, г	12,6	17,6	18,2
Лизин доступный, г	10,3	15,3	15,9
Метионин+цистин, г	9,1	10,1	10,8
Метионин+цистин доступные, г	7,4	8,4	9,1
Триптофан, г	3,4	3,4	3,5
Триптофан доступный, г	2,7	2,8	2,9
Треонин, г	9,7	11,0	11,6
Треонин доступный, г	7,4	8,6	9,2
Кальций, г	12,4	12,3	12,0
Фосфор, г	9,3	10,1	9,9

Таким образом, на основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы.

Определяющим фактором высокой продуктивности растущего молодняка свиней является уровень обменной энергии и соответствующее ему количество и соотношение незаменимых аминокислот, в том числе и доступных. Скармливание поросётам-сосунам комбикормов с содержанием 14,0 МДж обменной энергии, 220 г сырого протеина и не менее 14,0 г лизина, в т. ч. 12,5 г переваримого, 9,2 г метионина с цистином, в т. ч. 7,8 г переваримого, 9,1 г треонина, в т. ч. 7,8 г переваримого, 2,9 г триптофана, в т. ч. 2,5 г переваримого, и 150 г лактозы достоверно увеличивает живую массу поросят к 43-дневному возрасту на 17,9 % ( $P < 0,001$ ) по сравнению с комбикормами, сбалансированными по существующим нормам, и позволяет получать молодняк со средней живой массой более 14,0 кг.

Использование для поросят-отъёмышей комбикормов с содержанием 14,0 МДж обменной энергии, 200 г сырого протеина, 13,5 г лизина, в т. ч. 12,0 г переваримого, 9,0 г метионина с цистином, в т. ч. 7,5 г переваримого, 9,0 г треонина, в т. ч. 7,9 г переваримого, и 2,7 г триптофана, в т. ч. 2,4 г переваримого, способствовало увеличению среднесуточных приростов живой массы животных на 54 г или на 11,6 % ( $P < 0,001$ ) и снижению затрат кормов на 1 кг прироста на 5,8 % по сравнению с детализированными нормами кормления.

Установлено, что обеспечение поросят 2-4-месячного возраста комбикормами с уровнем обменной энергии в 13,5 МДж, сырого протеина – 180 г, лизина – 12,0 г, в т. ч. 10,5 г переваримого, метионина с цистином – 7,2 г, в т. ч. 6,1 г переваримого, треонина – 7,7 г, в т. ч. 6,8 г переваримого, и триптофана – 2,4 г, в т. ч. 1,9 г переваримого, приводит к повышению среднесуточных темпов роста на 106 г или 23,3 % ( $P < 0,001$ ). При этом затраты комбикормов на 1 кг прироста живой массы снижаются на 0,2 кг по сравнению с детализированными нормами кормления.

Взаимосвязь между процессами роста и развития – это взаимосвязь между количественными и качественными изменениями, происходящими в организме в процессе онтогенеза. Нельзя говорить об изолированности процессов роста и развития животных, оба они взаимосвязаны и взаимообусловлены. Процессы роста не однообразны в течение всей жизни особи. Растущие животные характеризуются ярко выраженной способностью синтезировать белок своего тела. С возрастом эта способность постепенно уменьшается и, в конечном итоге, наступает азотистое равновесие [16]. Оно выражается в том, что количество азота, а, следовательно, и аминокислот, поступивших с кормом, становится равным количеству азота, выделяемого с продуктами обмена. Исследованиями [449] показано, что балансирование рационов растущих откармливаемых свиней в возрастном интервале от 25 до 162 дней по лизину и другим незаменимым аминокислотам (метионину, треонину и триптофану) повышает эффективность использования комбикормов и снижает затраты корма на единицу прироста живой массы. На улучшение конверсии корма, убойного выхода, толщины шпика при надлежащей укомплектованности рационов по обменной энергии и незаменимым аминокислотам в возрастном интервале от 20 до 173 кг указывают [164; 168; 196; 306]. Поэтому установление взаимосвязи между живой массой растущих животных и максимально возможной скоростью отложения белка и энергии имеет определяющее значение в понимании того, как потребности в питательных веществах могут изменяться по мере роста, для прогнозирования состава тела и способности к росту на любой стадии онтогенеза животного.

Возрастные количественные и качественные изменения в обмене веществ у свиней являются процессами, при помощи которых развивающийся организм непрерывно осуществляет связь с внешней средой, строит себя из элементов внешней среды в соответствии со своей природой, то есть наследственностью. Совершенствование генотипа животного в поколениях должно идти параллельно улучшению условий среды. Поэтому очевидна необходимость оценки возрастных аспектов использования свиньями в рационе питательных веществ и в первую

очередь обменной энергии и незаменимых аминокислот. Нами разработано с использованием программы «Кормоптима - v 5.0» (Воронеж, ВНИИКП) шесть лабораторных рецептов комбикормов для дорашивания и откорма молодняка свиней – контрольные СК-21, СК-26 и СК-31 в соответствии с нормами [36], и опытные – по тем же нормам, но уровень обменной энергии был повышен на 1,3-1,5 %, в то время как количество незаменимых аминокислот было оставлено на уровне контрольной группы (таблицы 48-50). Требуемый уровень аминокислот в комбикормах обеих групп обеспечивается за счёт введения синтетических аминокислот в премиксы. Научно-хозяйственные опыты проведены в условиях контрольно-испытательной станции СПЦ «Заднепровский» Оршанского района на помесном молодняке свиней (КБ х БМП).

Таблица 48 – Рецепты комбикормов СК-21 для дорашивания поросят

Компоненты	СК-21	
	Контрольный	Опытный
1	2	3
Пшеница, %	27,00	15,80
Ячмень, %	14,10	5,00
Кукуруза, %	25,48	44,77
Шрот соевый (СП=46%), %	14,00	15,60
Шрот подсолнечный (СП=35%), %	6,40	5,50
Заменитель сухого молока, %	5,00	5,00
Масло рапсовое, %	3,00	3,30
L-лизин монохлоргидрат, %	0,28	0,26
DL-метионин, %	0,09	0,11
L-треонин, %	0,16	0,16
Соль поваренная пищевая, %	0,33	0,33
Монокальцийфосфат I сорт, %	0,88	0,92
Мел мелкогранулированный высший сорт, %	1,18	1,15
Биотроник Се форте, %	0,50	0,50
Токсфин, %	0,60	0,60
Премикс КС-3-1, %	1,00	1,00
Итого:	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:		
Обменная энергия, МДж	13,50	13,70
Сухое вещество, г	880,05	878,30
Сырой протеин, г	182,3	180,20
Сырая клетчатка, г	39,4	35,20
Сырой жир, г	54,50	60,90
Лизин, г	10,91	10,90
Лизин доступный, г	9,29	9,30
Метионин+цистин, г	6,73	6,70
Метионин+цистин доступный, г	5,62	5,60

Продолжение таблицы 48

1	2	3
Триптофан, г	2,30	2,30
Триптофан доступный, г	1,81	1,80
Треонин, г	7,72	7,70
Треонин доступный, г	6,11	6,10
Кальций, г	8,00	8,00
Фосфор, г	6,00	6,00
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,81	0,80

В 1 кг комбикорма СК-21 для контрольной группы содержалось: обменной энергии – 13,50 МДж, лизина – 10,91 г, в т. ч. доступного – 9,29 г, метионина с цистином – 6,73 г, в т. ч. доступного – 5,62, триптофана – 2,30 г, в т. ч. доступного – 1,81, треонина – 7,72 г, в т. ч. доступного – 6,11, сырого протеина – 182,3 г, сырой клетчатки – 39,4 г, сырого жира – 54,5 г, кальция – 8,0 г, фосфора – 6,0 г. На 1 МДж обменной энергии приходилось 0,81 г лизина.

В 1 кг комбикорма СК-26 для этой же группы животных содержалось: обменной энергии – 13,3 МДж, лизина – 9,51 г, в т. ч. доступного – 8,21 г, метионина с цистином – 6,5 г, в т. ч. доступного – 4,70, триптофана – 2,01 г, в т. ч. доступного – 1,62, треонина – 6,52 г, в т. ч. доступного – 5,00, сырого протеина – 166,1 г, сырой клетчатки – 36,7 г, сырого жира – 58,5 г, кальция – 6,5 г, фосфора – 5,1 г. На 1 МДж обменной энергии приходилось 0,71 г лизина.

Таблица 49 – Рецепты комбикормов СК-26 для I периода откорма

Компоненты	СК-26	
	Контрольный	Опытный
1	2	3
Пшеница, %	19,72	20,41
Кукуруза, %	40,00	40,00
Тритикале, %	15,00	13,00
Шрот соевый (СП= 46%), %	12,50	12,50
Шрот подсолнечный (СП=35%), %	7,84	7,84
Масло рапсовое, %	1,40	2,70
L-лизин монохлоргидрат, %	0,29	0,30
DL-метионин, %	0,04	0,04
L-треонин, %	0,08	0,08
Соль поваренная пищевая, %	0,43	0,43
Монокальцийфосфат I сорт, %	0,60	0,60
Мел мелко гранулированный в/с сорт, %	0,70	0,70
Биотроник Се форте, %	0,40	0,50
Премикс КС-4-1, %	1,00	1,00
Итого:	100,00	100,00

Продолжение таблицы 49

1	2	3
В 1 кг комбикорма содержится:		
Обменная энергия, МДж	13,30	13,50
Сухое вещество, г	869,60	871,40
Сырой протеин, г	166,10	164,70
Сырая клетчатка, г	36,70	36,40
Сырой жир, г	58,50	62,40
Лизин, г	9,51	9,52
Лизин доступный, г	8,21	8,20
Метионин+цистин, г	6,52	6,49
Метионин+цистин доступный, г	4,70	4,70
Триптофан, г	2,01	2,01
Триптофан доступный, г	1,62	1,60
Треонин, г	6,52	6,40
Треонин доступный, г	5,00	5,01
Кальций, г	6,50	6,50
Фосфор, г	5,10	5,10
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,71	0,70

В 1 кг контрольного комбикорма СК-31 содержалось: обменной энергии – 13,30 МДж, лизина – 8,12 г, в т. ч. доступного – 7,00 г, метионина с цистином – 4,90 г, в т. ч. доступного – 4,02, триптофана – 1,56 г, в т. ч. доступного – 1,21, треонина – 5,32 г, в т. ч. доступного – 4,21 г, сырого протеина – 153,7 г, сырой клетчатки – 39,9 г, сырого жира – 44,9 г, кальция – 5,6 г, фосфора – 5,5 г. На 1 МДж обменной энергии приходилось 0,61 г лизина. Отличительной особенностью комбикормов для опытной группы свиней были комбикорма с повышенным на 1,5 % уровнем обменной энергии. При этом на 1 МДж обменной энергии в СК-21 приходилось 0,79 г лизина, в СК-26 – 0,69 г, а в СК-31 – 0,60 г.

Таблица 50 – Рецепты комбикормов СК-31 для II периода откорма

Наименование	СК-31	
	Контрольный	Опытный
1	2	3
Пшеница, %	25,00	26,00
Кукуруза, %	20,00	20,00
Тритикале, %	33,20	32,00
Шрот соевый (СП= 46%), %	4,70	4,70
Шрот подсолнечный (СП=35%), %	11,25	11,67
Масло растительное (рапсовое), %	2,00	2,3
L-лизин монохлоргидрат, %	0,29	0,26
DL-метионин, %	0,23	0,20
L-треонин, %	0,12	0,09



Продолжение таблицы 50

1	2	3
Соль поваренная пищевая, %	0,40	0,40
Монокальцийфосфат I сорт, %	0,75	0,73
Мел мелко гранулированный в/с, %	0,66	0,65
Премикс КС-4-2, %	1,00	1,00
Итого:	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:		
Обменная энергия, МДж	13,30	13,50
Сухое вещество, г	869,60	871,40
Сырой протеин, г	153,70	154,60
Сырая клетчатка, г	39,90	38,40
Сырой жир, г	44,90	52,40
Лизин, г	8,12	8,10
Лизин доступный, г	7,00	7,02
Метионин+цистин, г	4,90	4,90
Метионин+цистин доступный, г	4,02	4,00
Триптофан, г	1,56	1,57
Триптофан доступный, г	1,21	1,20
Треонин, г	5,32	5,31
Треонин доступный г	4,21	4,20
Кальций, г	5,60	5,60
Фосфор, г	5,50	5,50
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,61	0,60

Живая масса свиней и скорость их роста являются основными хозяйственными показателями откармливаемых животных, которые находятся в прямой зависимости от количества и качества потребляемого корма. В таблице 51 представлены показатели развития поросят в течение 48 дней периода доращивания. В результате проведенных исследований установлено, что максимальная живая масса поросят отмечена у животных опытной группы – 45,8 кг, что выше контрольных аналогов на 1,7 кг или на 3,8 % ( $P>0,01$ ). Наивысший среднесуточный привес живой массы отмечен также у животных опытной группы – 560 г против 525 г в контроле.

Таблица 51 – Показатели развития поросят на доращивании (n=31)

Группы	Живая масса, кг			Среднесуточный прирост, г	
	На начало опыта	Через 30 дней	По окончании опыта	За 30 дней	За весь опыт
Контрольная	18,9±1,31	34,2±2,48	44,1±2,71	510±28	525±34
Опытная	18,9±1,31	35,0±2,53	45,8±3,16	536±31	560±42

С целью изучения особенностей потребления питательных веществ корма (с интервалом 10-12 дней) проводилось контрольное кормление подопытного молодняка, в ходе которого в течение двух смежных дней индивидуально учитывалось потребление комбикорма и его остатков. Потребление комбикормов подсвинками представлено в таблице 52.

Таблица 52 – Потребление питательных веществ комбикормов на доразивании

Группы	Потреблено					
	Комбикорма, кг/гол/сутки		Обменной энергии, МДж/гол/сутки		Лизина, г/гол/сутки	
	за пер- вые 30 дней	за весь опыт	за пер- вые 30 дней	за весь опыт	за пер- вые 30 дней	за весь опыт
Контроль- ная	1,36	1,75	18,36	23,63	14,82	19,09
Опытная	1,38	1,89	18,91	25,89	15,04	20,60

Из приведённых данных видно, что имеются различия как по уровню потреблённых животными комбикормов, так и по количеству питательных веществ, в первую очередь обменной энергии и незаменимых аминокислот. Так, подсвинки контрольной группы съедали в среднем за период опыта по 1,75 кг комбикормов, в которых содержалось 23,63 МДж обменной энергии и 19,09 г лизина. Молодняк опытной группы за такой же период потребил по 1,89 кг комбикорма, 25,89 МДж обменной энергии и 20,60 г лизина, что соответственно на 6,7 %, 8,3 и 6,9 % выше, чем в контроле.

Опытные группы откорма были сформированы из животных, которые использовались в предыдущем опыте. Начальная живая масса составила 46,9 кг (таблица 53). Спустя 30 дней у животных определили живую массу, которая в контрольной группе составила 69,5 кг, что на 1,2 % ниже, чем в опытной. Второй период откорма составил 45 дней. По окончании учётного периода средняя живая масса контрольных животных составила 105,4 кг, что на 1,1 кг ниже, чем у опытных. Молодняк опытной группы имели незначительное превосходство также и по темпам роста, их среднесуточные приросты составили соответственно 780 и 804 г по периодам откорма. У животных контрольной группы прирост оказался соответственно на 3,6 и 0,7 % ниже. В целом, за период откорма повышение уровня обменной энергии на 0,2 МДж/кг в комбикормах животных опытной группы привело к увеличению их среднесуточных приростов на 15 г или на 1,9 %.

Таблица 53 – Показатели развития молодняка свиней на откорме (n=19)

Группы	Живая масса, кг			Среднесуточный прирост, г		
	В начале опыта	По окончании		I период откорма	II период откорма	За весь опыт
		I периода откорма	II периода откорма			
Контрольная	46,9±2,9	69,5±3,3	105,4±4,9	753±18	798±27	780±38
Опытная	46,9±3,1	70,3±3,2	106,5±6,0	780±15	804±32	795±30

Данные о потреблении питательных веществ за период откорма представлены в таблице 54. Так, среднесуточное потребление комбикормов животными контрольной группы составило соответственно 3,02 и 3,36 кг, с которыми в организм поступало 40,17 и 44,69 МДж обменной энергии, 28,7 и 27,2 г лизина. Поросята опытной группы за это же время съедали соответственно по 3,06 и 3,47 кг комбикормов, энергетическая ценность которых составляла 41,31 и 46,85 МДж, а общее количество лизина – 29,1 и 28,1 г. Таким образом, по общему количеству потреблённых за опыт комбикормов, обменной энергии и лизина животные опытной группы превосходили контрольных соответственно на 1,3-3,3 %, 2,8-4,8 и 1,4-3,3 %.

Таблица 54 – Потребление питательных веществ комбикормов молодняком свиней на откорме

Группы	Потреблено комбикорма, кг/гол/сутки		Потреблено ОЭ, МДж/гол/сутки		Потреблено лизина, г/гол/сутки	
	за I период откорма	за II период откорма	за I период откорма	за II период откорма	за I период откорма	за II период откорма
Контрольная	3,02	3,36	40,17	44,69	28,7	27,2
Опытная	3,06	3,47	41,31	46,85	29,1	28,1

При анализе использования обменной энергии рациона на прирост живой массы (таблица 55) учитывали результаты контрольных убоев животных в изучаемые периоды роста. Количество затрачиваемой энергии на поддержание обменных процессов в организме был рассчитан по формуле:

$$ОЭ_{\text{подд}} (\text{КДж/сутки}) = 719 \times \text{ЖМ}^{0,63} \times 1,1$$

Суммарное количество потреблённой с кормами обменной энергии на одного поросёнка в период дорастивания в контрольной группе составило 1134,0 МДж, в т. ч. на поддержание жизни 179,50 МДж или 15,6 %. При этом получено 25,2 кг прироста живой массы.

Таблица 55 – Использование молокаком свиной обменной энергии рациона (n=5)

Группы	Возраст, дней	Живая масса, кг		Получено прироста живой массы, кг			Потреблено ОЭ за учетный период, МДж		Заграмено ОЭ, МДж	
		в начале опыта	в конце опыта	всего	в т. ч.		всего	в т. ч. на поддержание жизни	на 1 кг прироста живой массы	на синтез 1 кг мясосальной продукции
					мяса	сала				
Доращивание										
Контроль	53-100	18,9	44,1	25,2	7,6	3,2	1134,0	179,50	45,0	105,0
Опытная	53-100	18,9	45,8	26,9	8,0	3,5	1242,8	188,08	46,2	108,1
I период откорма										
Контроль	101-130	46,9	69,5	22,6	9,0	4,3	1205,1	243,48	53,3	90,6
Опытная	101-130	46,9	70,3	23,4	9,3	4,5	1239,3	254,96	53,0	89,8
II период откорма										
Контроль	131-176	69,5	105,4	35,9	16,9	5,0	2011,1	506,97	56,0	91,8
Опытная	131-176	70,3	106,5	36,2	16,8	5,2	2108,3	510,50	58,2	98,4

Несмотря на более высокую энергонасыщенность комбикормов опытной группы, потребление обменной энергии в среднем на одно животными составило 1242,8 МДж, в т. ч. 188,08 МДж или 15,1 % на поддержание жизни. Прирост живой массы одной головы в этой группе составил 26,9 кг. Общие затраты обменной энергии на единицу прироста живой массы оказались наименьшими в контрольной группе – 45,0 МДж/кг или на 1,2 МДж меньше, чем в опытной. При определении затрат энергии на синтез 1 кг мышечной и жировой тканей установлено, что увеличение уровня обменной энергии в комбикормах опытной группы привело к повышению её количества, расходуемого на наращивание мясосальной продукции в опытной группе в среднем на 3,1 МДж или на 2,9 % по сравнению с контролем.

Затраты обменной энергии на прирост живой массы в I период откорма в контрольной группе составили 1205,1 МДж, в т. ч. на поддержание жизни 243,48 МДж или 20,2 % общего количества энергии. За этот период опыта прирост живой массы составил 22,6 кг. У молодняка опытной группы, несмотря на более высокий уровень обменной энергии в комбикормах (13,5 против 13,3 МДж в контроле), общие затраты обменной энергии за учётный период составили 1239,3 МДж, в т. ч. 254,96 МДж или 20,6 % на поддержание жизни. Прирост живой массы в этой группе составил 23,4 кг. Отсюда затраты обменной энергии на единицу прироста живой массы оказались наименьшими в опытной группе – 53,0 МДж/кг или на 0,3 МДж меньше, чем в контроле. При расчёте затрат энергии на синтез съедобных частей туши (мясо, сало) не установлено существенных различий в затратах энергии на наращивание 1 кг мясосальной продукции: так, в опытной группе в среднем затрачивалось по 89,8 МДж обменной энергии или на 0,9 % меньше, чем в контроле.

Во второй период откорма затраты обменной энергии на прирост живой массы в контрольной группе составили 2011,1 МДж, в т. ч. на поддержание жизни – 506,97 МДж или 25,2 % общего количества энергии. При этом получено 35,9 кг прироста живой массы. Молодняку опытной группы потребовалось большее количество обменной энергии кормов для построения своего тела. В итоге общие затраты обменной энергии за учётный период составили 2108,3 МДж, в т. ч. 510,50 МДж или 24,2 % на поддержание обменных процессов в организме. Прирост живой массы в этой группе составил 36,2 кг. Отсюда затраты обменной энергии на единицу прироста живой массы оказались наименьшими в контрольной группе – 56,0 МДж/кг или на 2,2 МДж меньше, чем в опыте. При расчёте затрат энергии на синтез мышечной и жировой тканей туши прослеживается схожая закономерность на наращивание единицы мясосальной продукции в опытной группе в среднем

затрачивалось по 87,9 МДж обменной энергии, или на 5,6 % меньше, чем в контроле. Таким образом, оценивая энергетические потребности свиней на рост и развитие можно сделать вывод о том, что повышение уровня обменной энергии в комбикормах для поросят на дорастивании и откорме приводит к увеличению количества её потребления животными на 2,8-8,8 %, при этом затраты собственно на прирост живой массы имеют тенденцию к увеличению на 1,5-3,9 %, а следовательно, и затраты на синтез 1 кг мясосальной продукции увеличиваются на 3,1-6,6 МДж. Схематично отложение мышечной ткани у свиней представлено на рисунке 1, где по оси абсцисс указаны периоды выращивания животных в днях, а по оси ординат – суточное отложение мышечной ткани в граммах.

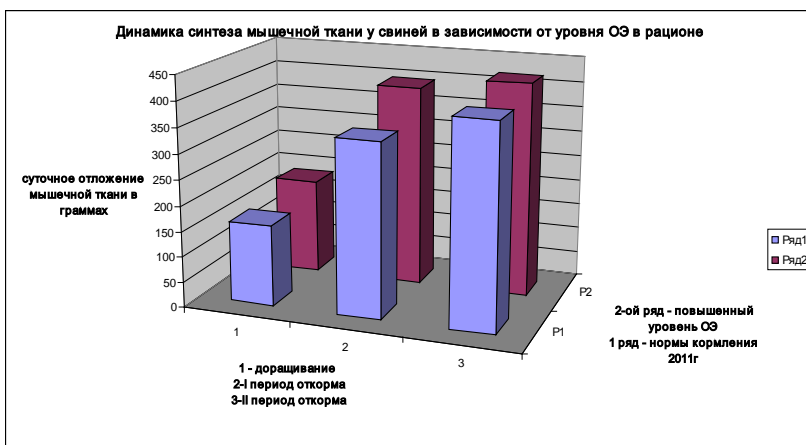


Рисунок 1 – Динамика отложения мышечной ткани свиней в зависимости от уровня обменной энергии в рационе

Из приведённых данных наглядно видно, что при скармливании животным комбикормов с повышенным уровнем обменной энергии на 1,5 % процесс отложения мышечной ткани идёт значительно интенсивнее, нежели в контрольной группе. Процесс отложения жировой ткани в обеих группах не столь интенсивен, как мышечной, и находится в пределах 60-90 г в сутки, но в контрольной группе идёт несколько медленнее, чем у животных опытной группы.

Основываясь на количестве потребленных свиньями комбикормов за опыт, были рассчитаны затраты лизина – первой лимитирующей аминокислоты на прирост живой массы (таблица 56).

Таблица 56 – Использование молоднякам свиной лизина рациона (n=5)

Группы	Живая масса, кг		Получено прироста живой массы, кг			Потреблено за учётный период, кг/гол			Заграчено лизина, г	
	в начале опыта	в конце опыта	всего	в т. ч.		Комби-корма	Лизина		на 1 кг прироста живой массы	на синтез 1 кг мясо-сальной продукции в т. ч. до-ступного
				мяса	сала		всего	в т. ч. до-ступного		
<b>Дорашивание (возраст 53-100 дней)</b>										
Контроль	18,9	44,1	25,2	7,6	3,2	84,0	0,916	0,780	36,3	84,8
Опытная	18,9	45,8	26,9	8,0	3,5	90,7	0,989	0,844	36,8	86,0
<b>I период откорма (возраст 101-130 дней)</b>										
Контроль	46,9	69,5	22,6	9,0	4,3	90,6	0,861	0,743	38,1	64,7
Опытная	46,9	70,3	23,4	9,3	4,5	91,8	0,872	0,753	37,3	63,2
<b>II период откорма (возраст 131-176 дней)</b>										
Контроль	68,1	105,4	35,9	16,9	5,0	151,2	1,225	1,058	34,1	55,9
Опытная	71,1	106,5	36,2	17,0	5,1	156,2	1,265	1,093	34,9	57,2
										49,5

Обращает на себя внимание возрастной фактор потребностей в лизине животными по периодам выращивания. Увеличение уровня обменной энергии в рационах опытной группы на 71,5 % привело к повышению потребления подсвинками комбикормов на 6,7 кг, 1,2 и 5,0 кг соответственно по периодам выращивания. Вместе с увеличением количества потребляемых кормов возросло и количество потребленного лизина. Однако использование его организмом на прирост 1 кг живой массы во всех группах на протяжении всего периода выращивания находилось в пределах 34,1-38,1 г и не зависело от концентрации обменной энергии в комбикорме.

Детальное изучение качественных и количественных характеристик продуктов убоя является одним из этапов совершенствования основ энерго-аминокислотного питания молодняка свиней. Оценка мясо-сальных качеств свиней не ограничивается только установлением соотношений основных тканей в тушах. Пищевая ценность продуктов убоя в значительной мере зависит от того, в каких пропорциях находятся в них основные компоненты: влага, белок, жир. Химический состав мышечной ткани (ДМС и фарша из мышечной ткани после обвалки) опытных животных приведён в таблице 57.

Таблица 57 – Химический состав мышечной ткани растущих откармливаемых свиней, (n=5)

Показатели	Живая масса, кг	Группы			
		Контрольная		Опытная	
		ДМС	Фарш	ДМС	Фарш
Влага, %	40	74,74±0,36	73,60±0,52	75,03±0,52	73,91±0,48
	70	73,90±0,28	73,04±0,38	74,05±0,45	73,10±0,36
	100	72,87±0,25	72,46±0,22	72,18±0,26	72,34±0,33
Протеин, %	40	21,68±0,44	21,24±0,45	21,76±0,50	21,12±0,26
	70	22,21±0,88	21,57±0,62	22,00±0,51	21,32±0,34
	100	21,87±0,52	21,66±0,54	22,20±0,48	22,08±0,32
Жир, %	40	2,89±0,62	4,42±0,48	2,52±0,48	4,25±0,54
	70	3,18±0,98	4,68±0,66	3,32±0,19	4,82±0,72
	100	4,36±0,21	4,99±0,43	4,67±0,38	4,65±0,44
Зола, %	40	0,69±0,08	0,74±0,08	0,69±0,06	0,72±0,06
	70	0,71±0,04	0,71±0,06	0,63±0,02	0,76±0,04
	100	0,90±0,12	0,89±0,06	0,95±0,06	0,93±0,10

Химический состав мышечной и жировой тканей свиней имеет определённую возрастную и породную специфичность. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что в начале опыта в мясе подсвинков обеих групп отмечено несколько большее количество воды (до 1 %). По мере роста животных химический состав длиннейшей мышцы спины



практически не изменился, а вот общее количество жира в мышечной ткани увеличилось в контроле с 4,42 до 4,99 %. Такая же закономерность прослеживается и в опытной группе, при увеличении уровня обменной энергии на 4,25-4,65 %, однако данные статистически недостоверны, поэтому об этом можно говорить как о тенденции. Содержание незаменимых аминокислот в мышечной ткани приведено в таблице 58.

Установлены различия между группами по содержанию аминокислот в мышечной ткани животных. Так, с возрастом, у подсвинков контрольной группы содержалось наибольшее количество валина – 4,99 %, треонина – 5,11 %, лейцина – 8,37 % и изолейцина – 4,70 %. Увеличение уровня обменной энергии на 3-3,5 % в комбикормах опытной группы способствовало накоплению в мышцах растущих откармливаемых свиней количества лизина на 0,6 п. п. и метионина на 0,62 п. п. ( $P < 0,05$ ).

Физиология питания свиней призвана выявлять факторы, лимитирующие повышение эффективности трансформации корма в продукцию. Так, по данным Рядчикова В.Г. [55], конверсия кормового белка в белок мяса свиней составляет 20-25 %. Значительный перерасход белка обусловлен потерями неутилизованных аминокислот по причине их избытка относительно уровня наиболее лимитирующей аминокислоты, чаще всего лизина.

Имеющиеся в литературе данные исследований по использованию комбикормов со сниженным уровнем протеина в кормлении свиней, добавлением синтетических аминокислот и сбалансированными в соответствии с концепцией «идеального протеина» противоречивы относительно среднесуточных приростов живой массы, темпов роста, отложения белка и азота в организме животных. Так, опытами S. Powel et al. [260] установлено, что снижение уровня сырого протеина с 18,2 до 13,4 % и добавлении незаменимых и заменимых аминокислот не повлияло на продуктивность поросят живой массой 19-44 кг. Рядом других исследований [178; 203] подтверждается факт, что снижение сырого протеина от 2 до 6 % не влияет на среднесуточные приросты и конверсию корма свиней живой массой от 23 до 111 кг при условии необходимого баланса всех незаменимых аминокислот и обменной энергии. В опытах J. H. Lee et al. [202] установлено, что снижение сырого протеина на 2 % не повлияло на продуктивность поросят с живой массой от 20 до 72 кг. Однако авторы отметили улучшение конверсии корма.

В ряде работ указывается на неблагоприятное влияние снижения уровня сырого протеина на продуктивность свиней. Так, F. Guay et al. [261] сообщили о том, что снижение содержания сырого протеина на 3, 6 и 8 % ухудшило среднесуточные приросты живой массы и конверсию корма у поросят живой массой 37-60 кг по сравнению с животными, получавшими рацион с 16 % сырого протеина, несмотря на соблюдение

Таблица 58 – Содержание некоторых аминокислот в мышечной ткани свиной живой массой от 40 до 90 кг, % в 100 г белка. (n=5)

Группы	Аминокислота									
	Лизин	Валин	Метионин	Изолейцин	Лейцин	Фенилаланин	Треонин	Сумма всех аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот	
	Живая масса 40 кг									
Контрольная	8,29±0,24	4,92±0,16	3,31±0,30	4,98±0,40	7,74±0,18	4,43±0,46	4,66±0,28	95,33±0,34	38,33±0,24	
Опытная	7,98±0,1	5,01±0,22	3,36±0,20	4,72±0,12	7,82±0,14	4,52±0,22	4,57±0,18	94,89±0,28	37,98±0,18	
	Живая масса 70 кг									
Контрольная	8,36±0,32	4,80±0,17	3,16±0,15	4,53±0,22	8,26±0,09	4,15±0,30	4,94±0,30	95,16±0,28	38,20±0,22	
Опытная	8,13±0,12	4,95±0,10	3,21±0,08	4,49±0,08	8,35±0,06	4,49±0,10	4,83±0,12	94,75±0,32	38,45±0,26	
	Живая масса 90 кг									
Контрольная	8,37±0,06	4,99±0,03	3,76±0,17	4,70±0,01	8,37±0,04	3,99±0,04	5,11±0,04	94,97±0,08	37,28±0,06	
Опытная	8,58±0,18*	4,70±0,06	3,98±0,04*	4,34±0,09	8,23±0,09	3,91±0,06	4,75±0,07	94,91±0,06	37,02±0,19	

баланса незаменимых аминокислот и уровня обменной энергии. В опытах D. Deng et al. [359] установлено неблагоприятное влияние на темпы роста, убойный выход туш свиней живой массой от 55 до 121 кг при снижении содержания сырого протеина в рационе на 2-5 %.

Снижение уровня сырого протеина в рационе до определённых границ приводит к сокращению выведения азота из организма. По данным S. Nitrayova et al. [163], снижение на один процент количества сырого протеина в рационе приводит к сокращению на 10 % экскреции азота у свиней. Уменьшение выделения азота приводит к снижению выбросов аммиака и запаха амбры и способствует повышению продуктивности животного. Авторы также показали, что при снижении в рационе свиней уровня сырого протеина уменьшается потребление воды животными, что приводит к сокращению объёмов суспензии. Поэтому представляет большой научный и практический интерес вопрос установления минимального содержания сырого протеина (при оптимальном уровне обменной энергии и балансе незаменимых аминокислот) в рационах молодняка свиней обеспечив сохранение их высокой мясной продуктивности. С этой целью нами в условиях физиологического двора РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» проведена серия балансовых опытов на подсвинках породы йоркшир по методике [38]. Схема опыта представлена в таблице 59.

Таблица 59 – Схема балансовых опытов

Группы	Количество голов	Сырой протеин, г/кг комбикорма	Особенности кормления
I	4	165	Комбикорм СК-26, сбалансированный по обменной энергии и незаменимым аминокислотам в соответствии с СТБ - 2111
II	4	160	Комбикорм СК-26, сбалансированный по обменной энергии и незаменимым аминокислотам, количество сырого протеина снижено на 5 г в кг корма
III	4	155	Комбикорм СК-26, сбалансированный по обменной энергии и незаменимым аминокислотам количество сырого протеина снижено на 10 г в кг корма

В ходе опытов определялись темпы роста, динамика отложения азота в теле подопытных животных, его выделение в окружающую

среду, а, следовательно, особенности отложения и использования его на синтез мышечной ткани в организме растущих откармливаемых свиней при использовании низкопротеиновых рационов. С использованием программы «Кормоптима v 5.0» (Воронеж, ВНИИКП) разработано три лабораторных рецепта комбикормов СК-26 для первого периода откорма (таблица 60). Комбикорм для животных I (контрольной) группы был сбалансирован по содержанию обменной энергии, сырому протеину и незаменимым аминокислотам в соответствии с требованиями СТБ – 2111, для II группы – по тем же нормам, но уровень сырого протеина был снижен на 5 г в 1 кг корма, а для III группы – на 10 г в 1 кг корма, в то время как количество и соотношение незаменимых аминокислот осталось на уровне контрольной группы. Требуемый уровень аминокислот в комбикормах обеспечивается за счёт использования синтетических аминокислот L-лизина, DL-метионина, L-треонина и L-триптофана.

Таблица 60 – Рецепты комбикормов СК-26 с пониженным уровнем сырого протеина

Компоненты	Группы		
	I	II	III
1	2	3	4
Тритикале, %	18,15	20,60	21,20
Овёс, %	6,80	7,20	8,20
Ячмень, %	34,70	36,28	32,66
Отруби пшеничные, %	2,90	3,90	4,10
Шрот подсолнечный, %	3,80	3,10	3,30
Пшеница, %	15,50	18,00	18,00
Жмых рапсовый I сорт, %	4,60	4,60	3,35
Продукт соевый кормовой, %	7,55	4,30	2,32
Масло рапсовое, %	2,90	3,30	3,45
L-лизин гидрохлорид, %	0,07	0,16	0,23
DL-метионин, %	0,20	0,23	0,27
L-треонин, %	0,13	0,16	0,15
L-триптофан, %	-	0,05	0,09
Мел кормовой в/сорт, %	0,85	0,83	0,80
Монокальцийфосфат I сорт, %	0,55	0,58	0,57
Премикс КС-4-1, %	1,00	1,00	1,00
Соль поваренная, %	0,26	0,27	0,27
Микофикс, %	0,04	0,04	0,04
Итого:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,01	13,03	13,00
Сухое вещество, г	883,90	882,40	881,20
Сырой протеин, г	165,20	160,70	155,30

Продолжение таблицы 60

1	2	3	4
Сырая клетчатка, г	46,40	47,60	48,70
Сырой жир, г	67,10	68,00	69,60
Лизин, г	9,51	9,56	9,53
Метионин+цистин, г	5,73	5,75	5,71
Триптофан, г	1,81	1,80	1,81
Треонин, г	6,30	6,35	6,33
Лизин переваримый, г	8,17	8,22	8,20
Метионин+цистин перевар., г	4,92	4,95	4,91
Триптофан переваримый, г	1,55	1,54	1,55
Треонин переваримый, г	5,41	5,46	5,44
Кальций, г	7,50	7,50	7,50
Фосфор, г	5,60	5,60	5,60
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,73	0,73	0,73

В 1 кг комбикорма для I (контрольной) группы при натуральной влажности содержалось: обменной энергии – 13,01 МДж, лизина – 9,51 г, метионина с цистином – 5,73 г, триптофана – 1,81 г, треонина – 6,30 г, сырого протеина – 165,2 г, сырой клетчатки – 46,4 г, сырого жира – 67,1 г, кальция – 7,5 г, фосфора – 5,6 г. В 1 кг комбикорма для II группы содержалось: обменной энергии – 13,03 МДж, лизина – 9,56 г, метионина с цистином – 5,75 г, триптофана – 1,80 г, треонина – 6,35 г, сырого протеина – 160,7 г, сырой клетчатки – 47,6 г, сырого жира – 68,0 г, кальция – 7,5 г, фосфора – 5,6 г. В 1 кг комбикорма для III опытной группы содержалось: обменной энергии – 13,00 МДж, лизина – 9,53 г, метионина с цистином – 5,71 г, триптофана – 1,81 г, треонина – 6,33 г, сырого протеина – 155,3 г, сырой клетчатки – 48,70 г, сырого жира – 69,6 г, кальция – 7,5 г, фосфора – 5,6 г.

Содержание сырого протеина в комбикормах не отражает его истинную аминокислотную ценность, поскольку включает в себя существенное количество различных азотистых соединений небелкового происхождения. Полноценность кормового протеина для выращиваемых свиней определяется его аминокислотным составом.

Снижение уровня сырого протеина на 5 г в 1 кг комбикорма при тщательном балансировании по основным незаменимым аминокислотам для животных II опытной группы способствовало увеличению переваримости органического вещества (таблица 61) на 1,5 %, протеина – на 1,5 % и клетчатки – на 1,7 %. Дальнейшее его снижение в рационе на 10 г/кг корма (III группа) привело к повышению доступности протеина на 3,1 %, в том время как усвоение других питательных веществ осталось практически на одном уровне по сравнению с I группой (контролем).

Таблица 61 – Коэффициенты переваримости основных питательных веществ комбикормов с различным уровнем сырого протеина, %

Группы	Сухое в-во	Органическое в-во	Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ
I	73,4± 0,97	78,2± 1,01	79,1± 1,48	82,0± 1,24	22,4± 1,65	84,3± 0,68
II	77,6± 0,26	79,6± 0,28	80,6± 0,30	82,7± 0,51	23,2± 1,18	84,5± 0,46
III	75,3± 0,79	79,3± 0,71	82,2± 0,77	80,3± 0,69	21,5± 0,81	82,8± 0,87

Переваримость питательных веществ корма (в т. ч. аминокислот) находится в тесной взаимосвязи с количеством поступления их в организм, соотношения между отдельными компонентами рациона и уровнем их выделения в продуктах обмена. Баланс азота характеризует в некоторой степени питательную ценность изучаемых рационов. Данные по использованию азота комбикормов с различным содержанием сырого протеина представлены в таблице 62.

Таблица 62 – Использование подвинками азота комбикормов с различным уровнем сырого протеина

Показатели	Группы		
	I	II	III
1	2	3	4
Метаболическая живая масса (Ж.М. <sup>0,75</sup> ), кг	23,18	23,42	23,42
Потреблено комбикорма, г/сутки	1995,9	1997,0	2080,9
Потреблено азота с кормом, г/сутки	52,69±0,11	51,35±0,16	51,71±0,45
Потреблено азота с кормом на 1 кг метаболической живой массы, г/сутки	2,27±0,12	2,19±0,18	2,20±0,22
Выделено, г:			
с калом	9,89±0,70	8,83±0,14	8,59±0,55
с мочой	16,82±0,26	15,92±1,22	15,05±1,10
Переварено:			
г	42,80±0,69	42,52±0,14	43,12±1,03
%	81,22	82,80	81,06
Отложено, %			
от принятого	49,3±1,95	51,8±2,69	54,3±2,62
от переваренного	60,7±1,57	62,5±2,95	65,0±2,10

Продолжение таблицы 62

1	2	3	4
Отложено в теле, г	25,98±0,92	26,60±1,26	28,07±1,38
Отложено азота, на 1 кг метаболической живой массы, г/сутки	1,12±0,52	1,15±0,57	1,20±0,34
Отложено белков в теле на 1 кг метаболической живой массы, г/сутки	7,00±0,54	7,19±0,62	7,50±0,48

Различный уровень сырого протеина (при балансе незаменимых аминокислот) в комбикормах для свиней в опытных группах отразился на количестве потребленного ими азота. Так, снижение сырого протеина на 5 г/кг в комбикормах II группы привело к уменьшению потребления общего количества азота на 2,6 %. Дальнейшее снижение уровня сырого протеина в комбикормах животных III группы способствовало повышению потребления животными комбикормов на 4,2 %, однако общее количество поступившего с кормом эндогенного азота при этом уменьшилось на 1,9 % по сравнению с контролем. На 1 кг метаболической живой массы в опытных группах приходилось соответственно 2,19 и 2,20 г азота в сутки. Если рацион у моногастричных животных сохраняется постоянным, можно предположить, что экскреция азота с мочой отражает общую картину утилизации протеина. В наших исследованиях различный уровень протеина в комбикормах при балансе незаменимых аминокислот привел к уменьшению выведения остатков азота с мочой у подопытных животных III опытной группы на 1,8 г. Однако снижение уровня сырого протеина в опытных группах способствовало повышению эффективности использования принятого с кормом азота в III группе на 5,0 п. п. и переваренного – на 4,3 п. п. Относительное количество отложенного в теле животных II опытной группы азота по сравнению с контролем находилось на менее значимом уровне – соответственно 2,5 и 1,8 п. п. Установлена закономерность по увеличению отложения азота, а, следовательно, и белка, в 1 кг обменной живой массы у животных II и III групп – соответственно на 2,7 и 7,1 п. п.

При проведении физиологических опытов оценили ростовые показатели развития свиней породы йоркшир при использовании комбикормов с различным уровнем сырого протеина и балансе незаменимых аминокислот в соответствии с концепцией «идеального протеина». В результате проведённых исследований установлено, что снижение уровня сырого протеина в комбикормах для откармливаемых свиней не оказало негативного влияния на темпы их роста. Так, при содержании в

комбикормах животных III группы 155 г сырого протеина увеличение живой массы составило 1,7 %, а среднесуточных приростов – на 34 г или 3,2 % по сравнению с животными I группы ( $P<0,01$ ). Продуктивность животных II опытной группы практически сохранилась на уровне контрольных животных (таблица 63).

Таблица 63 – Показатели развития подопытных животных (n=4)

Группы	Живая масса, кг		Среднесуточный прирост, г
	Начало опыта	Окончание опыта	
I	66,1±1,9	80,8±2,4	1050±8,2
II	67,0±2,5	81,2±1,2	1014±7,9
III	67,0±2,1	82,2±2,2	1084±3,4**

Кровь – среда организма, которая отражает физиологическое состояние организма. Наиболее полно о влиянии опытных рационов на обмен веществ и физиологическое состояние животных можно судить по некоторым данным, характеризующим её морфологический и биохимический состав. В результате исследований крови подопытных животных (таблица 64) установлено, что морфологические показатели находились в пределах физиологической нормы. Следует отметить незначительное снижение содержания гемоглобина (на 6,9 %) и эритроцитов (на 6,1 %) в III группе.

Таблица 64 – Содержание форменных элементов в крови свиней (n=4)

Группы	Гемоглобин, ммоль/л	Лейкоциты, $10^9$ /л	Эритроциты, $10^{12}$ /л
I	11,6±0,06	16,9±0,70	6,86±0,15
II	11,5±0,09	18,2±0,60	7,28±0,07
III	10,8±0,58	17,3±0,78	6,44±0,23

Ряд биохимических показателей, определяемых в сыворотки крови свиней, отражает полноценность их протеинового питания. Так, увеличение содержания общего белка у животных III группы на 1,3 г/л, альбуминов – на 2,6 г/л и глобулинов – на 3,2 г/л по сравнению с контролем свидетельствует об активизации белкового обмена. Подтверждением этому является, с одной стороны, лучшая переваримость сырого протеина, его депонирование в теле и, с другой стороны, более низкая концентрация мочевины в крови – 5,0 г/л (таблица 65).

Поскольку интенсивность процессов переаминирования аминокислот в организме свиней сопровождается изменениями уровня сывороточных аминотрансфераз (АлАТ и АсАТ), определение их активности имеет большое значение при оценке протеиновой питательности комбикормов. Установлено некоторое повышение (на 1,1-1,2 %) активности



данных показателей у животных III группы. У подсвинков II опытной группы имело место некоторое увеличение содержания глобулинов (на 6,7 %), креатинина (на 6,1 %) и общего билирубина (на 9,1 %), однако эти показатели не выходили за рамки физиологической нормы.

Таблица 65 – Биохимические показатели сыворотки крови подопытных свиней (n=4)

Показатели	Группы		
	I	II	III
Общий белок, г/л	72,5±0,63	72,6±0,57	73,8±0,43
Альбумины, г/л	39,9±0,40	38,6±0,61	42,5±0,32
Глобулины, г/л	32,4±0,68	34,6±0,80	35,6±0,44
АлАТ, ед./л	54,6±0,06	53,7±0,09	55,2±0,06
АсАТ, ед./л	42,8±0,04	42,9±0,04	43,3±0,05
Мочевина, ммоль/л	5,4±0,12	5,1±0,14	5,0±0,11
Глюкоза, ммоль/л	4,3±0,31	3,7±0,24	4,2±0,21
Холестерин, ммоль/л	2,6±0,01	2,7±0,01	2,8±0,01
Креатинин ммоль/л	149,9±6,1	159,0±5,23	150,1±0,92
Билирубин общий, ммоль/л	3,3±0,62	3,6±0,36	2,9±0,05
Кальций, ммоль/л	2,6±0,09	2,7±0,04	2,8±0,02
Фосфор, ммоль/л	3,1±0,10	3,1±0,01	2,5±0,08**

Таким образом, физиологическими и биохимическими исследованиями показано, что использование при откорме молодняка свиней живой массой 40-80 кг низкопротеиновых комбикормов с содержанием 13,0 МДж обменной энергии, 9,5 г лизина, 5,7 г метионина с цистином, 1,8 г триптофана, 6,3 г треонина и 155-160 г сырого протеина позволяет экономить высокобелковые корма, снизить расход протеина на единицу продукции и экскрецию азота в окружающую среду.

Синтез белков в теле животного требует затрат энергии, тогда как сам протеин может использоваться в качестве источника энергии в процессе его роста. Поэтому установление минимального содержания сырого протеина (при балансе незаменимых аминокислот) в рационах растущего откармливаемого молодняка свиней при сохранении их высокой мясной продуктивности является актуальной задачей. В серии научно-хозяйственных опытов изучалось влияние комбикормов с пониженным на 5-10 % по сравнению с действующими нормами, уровнем сырого протеина на продуктивность молодняка свиней.

С этой целью в СПК «Первомайский» ОАО «БЕЛАЗ» Смолевичского района Минской области в возрасте 65 дней по принципу пар-аналогов было сформировано две группы помесных поросят (КБ×БМП) по 50 голов живой массой 16,7-16,8 кг. Комбикорма произведены на ОАО «Лошницкий комбикормовый завод». По уровню обменной энергии и содержанию незаменимых, в том числе и доступных, аминокислот они

не имели существенных различий. Однако количество сырого протеина в комбикормах опытных групп (СК-21, СК-26 и СК-31) было уменьшено на 3,0-9,4 % за счёт тщательного подбора ингредиентов. Питательность комбикормов приведена в таблице 66.

Таблица 66 – Питательная ценность комбикормов с пониженным уровнем сырого протеина

Показатели	Группы	
	I (контрольная)	II (опытная)
<b><i>Поросята на доразивании</i></b>		
Содержалось в 1 кг комбикорма:		
Обменная энергия, МДж	12,98	12,99
Сырого протеина, г	177,7	162,8
Лизин, г	11,07	11,05
Лизин доступный, г	9,56	9,53
Метионин+цистин, г	6,60	6,62
Треонин, г	7,33	7,39
Триптофан, г	2,10	2,13
Валин, г	8,03	7,56
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,85	0,85
<b><i>I период откорма</i></b>		
Обменная энергия, МДж	12,99	12,98
Сырого протеина, г	155,2	150,6
Лизин, г	9,47	9,48
Лизин доступный, г	8,14	8,16
Метионин+цистин, г	5,80	5,76
Треонин, г	6,36	6,38
Триптофан, г	1,80	1,81
Валин, г	6,44	6,59
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,73	0,73
<b><i>II период откорма</i></b>		
Обменная энергия, МДж	13,01	13,04
Сырого протеина, г	152,1	145,6
Лизин, г	8,03	8,07
Лизин доступный, г	6,88	6,90
Метионин+цистин, г	4,76	4,79
Треонин, г	5,33	5,32
Триптофан, г	1,51	1,51
Валин, г	6,34	6,48
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,62	0,62

В течение 61 дня периода выращивания выявлены различия в показателях живой массы между поросятами контрольной и опытной групп. Снижение уровня сырого протеина в комбикормах опытной группы при тщательном балансировании количества незаменимых аминокислот не

ухудшило темпы роста молодняка (таблица 67). В итоге живая масса животных контрольной группы к концу опыта составила в среднем 46,1 кг, а поросят опытной группы – 50,7 кг или на 3,5 % выше ( $P < 0,05$ ). При этом среднесуточные приросты живой массы составили соответственно по группам 482 и 507 г.

Таблица 67 – Продуктивность молодняка свиней на дорастивании ( $n=50$ )

Показатели	Группы	
	I контрольная	II опытная
Средняя живая масса одной головы, кг: при постановке на опыт при снятии	16,7±0,42	16,8±0,50
	46,1±4,46	47,7±6,32
Прирост живой массы, г/сутки	482±8,40	507±9,26*
Затраты на 1 кг прироста: комбикорма, кг обменной энергии, МДж сырого протеина, г	2,581	2,533
	34,07	33,43
	464,6	444,8
Сохранность, %	98,1	98,1

Питательность рациона оказывает влияние, в первую очередь, на поедаемость комбикормов животными. Уровень потребления при постоянном доступе свиней к корму характеризует взаимосвязь между потребностью животного и свойствами корма, адекватными этой потребности. В нашем опыте не установлено существенных различий по количеству потребляемого корма. Снижение уровня сырого протеина в комбикормах опытной группы незначительно (на 48 г или на 1,9 %) сократило затраты комбикормов на единицу прироста живой массы. Несмотря на примерно равное потребление комбикормов за период выращивания, животные II опытной группы более эффективно использовали питательные вещества корма на наращивание собственной живой массы. Так, ими затрачено на 0,30 МДж обменной энергии и на 19,8 г сырого протеина меньше, чем поросятами контрольной группы. Сохранность поросят в группах находилась на одном уровне.

В течение первого периода откорма установлены различия в группах по показателям живой массы. По окончании первого периода откорма животные I опытной группы в среднем весили 68,6 кг, а II опытной, получавшие комбикорма с содержанием 150,6 г сырого протеина в 1 кг корма, имели живую массу выше на 1,2 кг или на 1,7 %. Среднесуточный прирост в этой группе составил 697 г или на 29 г выше, чем в I опытной ( $P < 0,05$ ). В течение второго периода откорма сохранилась та же динамика роста, что и в первый период откорма. При скармливании комбикормов с уровнем сырого протеина 152,1 г/кг корма живая масса животных I группы в среднем составила 100,9 кг, а во II опытной, где

содержание сырого протеина равнялось 145,6 г/кг корма, имели живую массу на 1,7 кг или на 1,7 % выше. При этом среднесуточный прирост откормочников составил 713 г. В итоге за период опыта в I опытной группе получено 685 г среднесуточного привеса живой массы, а во второй – 705 г, или на 2,9 % выше (таблица 68).

Таблица 68 – Продуктивность молодняка свиней на откорме (n=48)

Показатели	Группы	
	I контрольная	II опытная
Средняя живая масса, кг:		
при постановке	39,2±0,36	39,1±0,28
в конце I периода откорма	68,6±11,60	69,8±8,04
при снятии с откорма	100,9±12,61	102,6±13,24
Прирост живой массы, г/сутки		
за I период откорма	668±9,38	697±11,05*
за II период откорма	702±10,20	713±12,71
всего за опыт	685±14,58	705±19,62

Снижение в комбикормах для откорма свиней концентрации сырого протеина при обеспечении уровня обменной энергии, а также количества и соотношения незаменимых аминокислот незначительно снизило потребление корма и затраты энергии на прирост живой массы животных (таблица 69).

Таблица 69 – Эффективность использования комбикормов молодняком свиней за период откорма

Показатели	Группы	
	I (контрольная)	II (опытная)
<b><i>I период откорма</i></b>		
Потреблено на 1 кг прироста:		
комбикорма, кг	3,384	3,331
обменной энергии, МДж	43,96	43,23
сырого протеина, г	525,2	501,6
<b><i>II период откорма</i></b>		
Потреблено на 1 кг прироста:		
комбикорма, кг	3,376	3,343
обменной энергии, МДж	43,92	43,59
сырого протеина, г	513,4	486,7

Так, за I период откорма на единицу прироста живой массы было затрачено в I группе 3,384 кг комбикорма и 43,96 МДж обменной энергии, а во II соответственно 3,331 кг комбикорма и 43,23 МДж. Экономия по сырому протеину у откормочников II опытной группы составила 23,6 г. Данная тенденция сохранилась и при скармливании комбикормов СК-

31. В течение II периода откорма в опытной группе на 1 кг прироста было затрачено на 0,033 кг комбикорма, 0,33 МДж обменной энергии и на 26,7 г сырого протеина меньше, чем в контрольной группе.

Результаты контрольного убоя (таблица 70) показывают, что снижение количества сырого протеина в комбикормах растущих откармливаемых свиней при оптимальном уровне обменной энергии и балансировании по незаменимым аминокислотам не ухудшило показатели мясной продуктивности животных. Установлены некоторые различия в пользу II опытной группы по содержанию в тушах животных мышечной ткани на 0,7 %, площади «мышечного глазка» на 1,3 см<sup>2</sup> и уменьшению количества сала на 0,5 % и толщины шпика на 0,4 мм (P>0,05). Экономическая эффективность применения комбикормов со сниженным на 5-10 % уровнем сырого протеина складывается из стоимости дополнительно полученного прироста живой массы и стоимости сэкономленных комбикормов. Дополнительная прибыль по группе в 50 голов на доращивании составила 3 933,7 тыс. руб. или 225 у.е. (1 у.е.=17500 руб.) и на откорме – 2289 или 136,5 у. е. в ценах на 20.10.2015 г.

Таблица 70 – Показатели контрольного убоя свиней (n=4)

Показатели	Группы	
	I контрольная	II опытная
Предубойная живая масса, кг	101,3±0,52	102,1±0,40
Масса парной туши, кг	64,8±1,02	65,6±0,96
Убойный выход, %	63,7±0,78	64,4±0,59
Содержится в туше, %:		
мясо	57,8±0,88	58,5±0,92
сало	21,2±0,34	20,7±0,44
кости	12,8±0,28	12,5±0,30
кожа	8,2±0,24	8,3±0,18
Толщина шпика, мм	28,1±0,36	27,8±0,22
Площадь «мышечного глазка», см <sup>2</sup>	35,1±0,96	36,0±1,02

Проведёнными исследованиями установлено, что на протяжении всех периодов опыта молодняк свиней II группы, получавший комбикорма с одинаковым уровнем обменной энергии, адекватным количеством и соотношением незаменимых аминокислот, но со сниженным на 3,0-9,4 % количеством сырого протеина имели лучшие показатели по живой массе, среднесуточным приростам, конверсии корма и убойным показателям. Использование низкопротеиновых рационов с вводом синтетических аминокислот позволяет сэкономить высокобелковые ингредиенты, снизить затраты обменной энергии на 1,2-1,9 %, сырого протеина на 4,3-5,3 % на единицу продукции. Таким образом, соблюдая оптимальный уровень обменной энергии, количество и соотношение

незаменимых аминокислот в рационе, имеется возможность снизить количество сырого протеина в 1 кг комбикорма для растущего откармливаемого поголовья свиней без снижения их продуктивности на 5-10 г.

Доступность незаменимых аминокислот из различных ингредиентов комбикорма различна, поэтому представляет большой практический интерес сравнительная оценка комбикормов, имеющих одинаковое содержание основных питательных веществ, в том числе и незаменимых аминокислот, но спроектированных из различных ингредиентов.

Разработаны по два лабораторных рецепта комбикормов (таблица 71) для откорма молодняка свиней – контрольные СК-26 и СК-31 в соответствии с требованиями СТБ-2111, на основе использования местных источников белка – рапсового жмыха, и опытные – по тем же нормам, но уровень незаменимых аминокислот сбалансирован за счёт использования синтетических аминокислот. Дефицит незаменимых аминокислот в комбикормах опытной группы устранялся за счёт введения их синтетических аналогов в премиксы.

Таблица 71 – Рецепты комбикормов СК-26 с рапсовым жмыхом

Наименование	Рецепт комбикорма	
	Контроль-ный	Опытный
1	2	3
Ячмень, %	29,48	28,50
Ячмень шелушённый, %	14,20	17,00
Кукуруза, %	13,00	13,00
Овёс, %	12,60	13,50
Рожь, %	5,00	5,00
Шрот подсолнечный (СП=35%), %	5,70	6,40
Шрот соевый (СП=45%), %	5,53	9,00
Мука мясокостная 2 сорта, %	4,30	-
Масло растительное, %	2,40	2,86
Жмых рапсовый (СП=33,9 %), %	4,00	-
Соль поваренная, %	0,29	0,33
Мел мелко гранулированный 1 сорт, %	1,45	1,47
Монокальцийфосфат 1 сорт, %	0,44	0,50
L-лизин монохлоргидрат, %	0,09	0,36
DL-метионин, %	-	0,32
L-треонин, %	0,02	0,26
Премикс КС-4-1, %	1,00	1,00
Ультрацид, %	0,50	0,50
Итого:	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:		
Обменная энергия, МДж	13,02	13,03
Сухое вещество, г	862,10	868,40

Продолжение таблицы 71

1	2	3
Сырой протеин, г	158,40	159,10
Сырая клетчатка, г	46,6	44,9
Сырой жир, г	57,4	55,1
Лизин, г	9,51	9,50
Лизин доступный, г	8,23	8,21
Метионин+цистин, г	5,73	5,70
Триптофан, г	1,82	1,82
Треонин, г	6,34	6,31
Кальций, г	6,00	6,00
Фосфор, г	5,00	5,00
Соотношение: лизин / ОЭ, г/МДж	0,73	0,73

В 1 кг комбикормов СК-26 содержалось: обменной энергии – 13,0 МДж, лизина – 9,50 г, в т. ч. доступного – 8,2 г, метионина с цистином – 5,7 г, триптофана – 1,8 г, треонина – 6,3 г, сырого протеина – 158-159 г, сырой клетчатки – 46,6-44,9 г, сырого жира – 57,4-55,1 г, кальция – 6,0 г, фосфора – 5,0 г, отношение лизина к обменной энергии – 0,73 г/МДж.

В 1 кг комбикормов СК-31 содержалось: обменной энергии – 13,0 МДж, лизина – 8,0 г, в т. ч. доступного – 6,8 г, метионина с цистином – 4,8 г, триптофана – 1,5 г, треонина – 5,3 г, сырого протеина – 148,4-147,6 г, сырой клетчатки – 53,9-51,1 г, сырого жира – 49,2– 47,1 г, кальция – 6,0 г, фосфора – 4,8 г, отношение лизина к обменной энергии – 0,62 г/МДж. Таким образом, было составлено по два рецепта комбикормов для контрольной и опытных групп с одним и тем же уровнем питательных веществ, но с различным набором ингредиентов (таблица 32).

Таблица 72 – Рецепты комбикормов СК-31 с рапсовым жмыхом

Ингредиенты	Количество	
	Контрольный	Опытный
1	2	3
Пшеница, %	24,13	28,60
Ячмень, %	48,70	47,16
Шрот соевый (СП=46%), %	13,20	15,30
Сахар, %	0,50	0,50
Жмых рапсовый (СП=33,9 %), %	4,50	-
Мука мясокостная 2 сорт, %	2,90	1,90
Масло растительное, %	2,80	2,95
L-лизин монохлоргидрат, %	0,14	0,24
DL-метионин, %	-	0,18

Продолжение таблицы 72

1	2	3
L-треонин, %	0,03	0,09
Монокальцийфосфат I сорт, %	0,30	0,28
Эсцент S, %	0,20	0,20
Ультрацид, %	0,10	0,10
Витаминно-минеральная смесь Стартет/Гроуэр, %	2,50	2,50
Итого:	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:		
Обменная энергия, МДж	13,00	13,02
Сухое вещество, г	865,20	868,30
Сырой протеин, г	148,42	147,66
Сырая клетчатка, г	53,90	51,10
Сырой жир, г	49,25	47,08
Лизин, г	8,03	8,01
Лизин доступный, г	6,82	6,80
Метионин+цистин, г	4,83	4,81
Триптофан, г	1,62	1,61
Треонин, г	5,40	5,42
Кальций, г	6,00	6,00
Фосфор, г	4,80	4,80
Соотношение: лизин / ОЭ, г/МДж	0,62	0,62

Определение аминокислотного состава корма современными методами анализа не позволяют судить о том, насколько полно аминокислоты могут отщепляться из протеинов под действием пищеварительных ферментов, всасываться в желудочно-кишечном тракте и использоваться организмом для биосинтеза белка и различных метаболических превращений. Переваримость питательных веществ корма, в т. ч. и аминокислот, находится в тесной взаимосвязи с количеством поступления их в организм, соотношения между отдельными компонентами рациона и уровнем их выделения в продуктах обмена. Баланс азота характеризует питательную ценность изучаемых рационов. Данные по использованию азота комбикормов, одинаковых по питательности, но составленных из различных ингредиентов подсвинками белорусской мясной породы, представлены в таблице 73. В балансовых опытах установлено, что при постоянном уровне обменной энергии балансирование рациона по незаменимым аминокислотам с использованием местных источников белка и синтетических аминокислот отложение в теле свиней азота было различным. Так, в контрольной группе ежедневное потребление азота в течение учётного периода в среднем на одну голову составило 65,54 г, а в опытной – 64,58 г, что на 1,5 % ниже, чем в контроле, в том числе на единицу метаболической живой массы соответственно 2,62 и 2,59 г. В то же время, при добавлении в рацион синтетических



аминокислот количество азота, выделяемого с мочой, уменьшилось на 8,2 %, о чём свидетельствует и показатель «отношения азота мочи к азоту корма» - 0,28 против 0,30 в контроле.

Таблица 73 – Использование азота корма, г/сутки

Показатели	Группы	
	Контрольная	Опытная
Живая масса <sup>0,75</sup> , кг	24,974	24,974
Потреблено азота с кормом, г	65,54±0,3	64,58±0,2
Потреблено азота с кормом, г на кг живой массы <sup>0,75</sup> в сутки	2,62±0,06	2,59±0,03
Выделено, г:		
с калом	13,38±0,4	12,47±0,6
с мочой	19,78±0,8	18,17±0,5
Переварено:		
г	52,16±0,3	52,11±0,5
%	79,58	80,69
Отложено, г	32,38±0,6	33,94±0,3
% от потребленного	49,40	52,55
% от переваренного	62,07	65,13
Отложено азота, г на кг живой массы <sup>0,75</sup> в сутки	1,23±0,05	1,31±0,03
Отложено белков в теле, г на кг живой массы <sup>0,75</sup> в сутки	7,68±0,7	8,18±0,8*
Отношение азот мочи/ азот потребленного корма	0,30	0,28

Среднесуточное отложение азота в теле животных контрольной группы составило 32,38 г, а в опытной – 33,94 г, или на 4,8 % выше, при этом потребление азота на возобновление белков органов и тканей у животных контрольной группы находилось на уровне 2,62 г на 1 кг живой массы<sup>0,75</sup>, а в опыте – 2,59 г, в то время как белка отложилось в кг живой массы<sup>0,75</sup> у опытных животных больше на 6,5 % (P <0,05). Это свидетельствует о том, что при всех равных условиях, таких как живая масса животных, общее содержание питательных веществ в скармливаемых рационах, источники незаменимых аминокислот, содержащиеся в ингредиентах комбикорма или синтетические, оказывают влияние на степень усвояемости этих самых аминокислот.

Научно-хозяйственный опыт проводился в условиях агрокомбината «Снов» Несвижского района на откормочном поголовье. По принципу пар-аналогов было сформировано две группы животных по 25 голов. Скармливание различных по составу комбикормов, но равноценных по питательности сказалось на динамике живой массы подопытных животных. В начале опыта живая масса поросят в группах составляла 37,5 кг.

В течение первого периода откорма (42 дней) выявлены различия в показателях живой массы между подсвинками контрольной и опытной групп. Живая масса животных контрольной группы, где использовался рапсовый жмых, в среднем составила 74,2 кг, а опытной, получавшие комбикорма, сбалансированные с использованием синтетических аминокислот, имели живую массу ниже на 1,4 кг или на 1,9 %. При этом темпы роста в этой группе составили 840 г, или на 33 г ниже, чем в контроле (таблица 74).

Таблица 74 – Продуктивность молодняка свиней на откорме (n=25)

Показатели	Группы	
	Контрольная	Опытная
Средняя живая масса одной головы, кг		
при постановке	37,5±0,38	37,5±0,36
в конце I периода откорма	72,8±3,46	74,2±2,14
при снятии с откорма	105,6±2,32	106,9±5,26
Прирост живой массы, г/сутки		
за I период откорма	840±11,37	873±10,50
за II период откорма	911±16,21	908±14,03
всего за опыт	873±16,62	890±17,28

В течение второго периода откорма, продолжительностью 36 дней, сохранилась та же динамика роста, что и в первый период откорма. По окончании опыта живая масса животных контрольной группы в среднем составила 105,6 кг, а опытной – на 1,3 кг меньше. При этом темпы роста контрольных животных за опыт составили 873 г в сутки. Балансирование комбикормов по незаменимым аминокислотам с использованием синтетических препаратов в комбикормах опытной группы позволило получить 890 г среднесуточного прироста или на 2,0 % ниже.

Потребление комбикормов, обменной энергии и лизина представлено в таблице (таблица 75). Так, в I период откорма на 1 кг прироста было затрачено в контрольной группе 3,418 кг комбикорма, 44,54 МДж обменной энергии, 543,8 г сырого протеина и 32,5 г лизина. Откормочники опытной группы более эффективно использовали питательные вещества комбикорма для наращивания живой массы – 3,366 кг комбикорма, 43,83 МДж обменной энергии, 5331 г сырого протеина и 32,0 г лизина или соответственно на 1,5 %, 1,6, 2,0 и 1,6 % больше. Во II период откорма затраты питательных веществ на прирост живой массы животными опытной группы стали ещё более экономным. Превосходство животных над контрольной группой увеличилось: по количеству комбикорма – на 3,3 %, по обменной энергии – на 3,4 %, по сырому протеину – на 2,8 % и по лизину – на 3,2 %.

Таблица 75 – Затраты питательных веществ на 1 кг прироста живой массы за период откорма

Показатели	Группы	
	Контрольная	Опытная
<b><i>I период откорма</i></b>		
Затрачено на 1 кг прироста:		
комбикорма, кг	3,418	3,366
обменной энергии, МДж	44,54	43,83
сырого протеина, г	543,8	533,1
лизина, г	32,5	32,0
<b><i>II период откорма</i></b>		
Затрачено на 1 кг прироста:		
комбикорма, кг	3,581	3,467
обменной энергии, МДж	46,62	45,07
сырого протеина, г	528,8	514,6
лизина, г	28,7	27,8

Таким образом, установлены различия в отложении азота в теле подсосунков, получавших комбикорма с различными источниками незаменимых аминокислот. Балансирование комбикормов по незаменимым аминокислотам с использованием белковых кормов способствует высокому депонированию азота в теле молодняка свиней. Однако использование кормовых синтетических незаменимых аминокислот для нивелирования их количества в рационе способствует более эффективному на 4,8 % отложению азота в организме животных. Данное положение подтверждается результатами научно-хозяйственного опыта, где наметилась тенденция в повышении среднесуточных привесов живой массы молодняка свиней на 1,9 % и снижении затрат обменной энергии на 0,98-1,55 МДж, лизина – на 0,5-0,9 г на 1 кг прироста при скармливании комбикормов с включением синтетических аминокислот.

Реализация концепции «идеального протеина» в практику кормления позволяет установить потребность животных в незаменимых аминокислотах и их содержание в кормах рациона или комбикорма. При этом необходимо обеспечить и наличие достаточного количества заменимых аминокислот. Суточная потребность в заменимых аминокислотах несколько выше, чем в незаменимых. По мнению Т. Wang, М. Fuller [496], для свиней считается оптимальным соотношение в протеине суммы незаменимых аминокислот к сумме заменимых как 1:1,22. Однако в литературе имеются и другие мнения по соотношению аминокислот. Так, Негер et al. [268] оценили шесть уровней отношения азота незаменимых аминокислот к общему количеству азота аминокислот в диапазоне от 0,25 до 0,86. Максимальное отложение азота у свиней отмечено при соотношении 0,61. Соблюдать это соотношение важно с двух точек зрения. Во-первых, и это самое важное, обеспечить максимальное

использование всех аминокислот для синтеза белков организма и, во-вторых, не допустить использование незаменимых аминокислот в качестве источника энергии, не самого дешёвого и доступного. Кроме того, при дефиците заменимых аминокислот для их синтеза используются незаменимые аминокислоты. Поэтому необходим поиск оптимального соотношения суммы незаменимых аминокислот и заменимых. В то же время, потребность в незаменимых аминокислотах (в первую очередь, в лизине) изменяется прямо пропорционально уровню отложения протеина и по этой причине потребность в аминокислотах меняется при изменении уровня энергии, а рационы поросят в период интенсивного роста должны составляться на основании соотношения лизин/энергия [60]. Рекомендации по нормам лизина в комбикорме для поросят на доращивании варьируют от 0,77 до 1,07 %, для свиней первого периода откорма – от 0,7 до 0,83 %, для свиней второго периода откорма – от 0,63 до 0,83 [37; 367]. Следовательно, и количество и соотношение незаменимых и заменимых аминокислот в рационе растущих свиней изменяется. В связи с этим, определение суммы и соотношения незаменимых и заменимых аминокислот в комбикормах для молодняка свиней с высокой мясной продуктивностью позволит максимально эффективно использовать азот корма растущим организмом свиней и существенно сократить затраты аминокислот на синтез мяса свиней современных пород и типов.

Для определения оптимального соотношения азота незаменимых и заменимых аминокислот в протеине для молодняка свиней мясного направления продуктивности в условиях школы-фермы РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» проведён научно-хозяйственный опыт методом контрольных животных на подсвинках белорусской мясной породы по общепринятой методике [38]. Схема опыта представлена в таблице 76.

Таблица 76 – Схема научно-хозяйственного опыта

Группы	Количество голов	Особенности кормления
Контрольная	25	Комбикорм СК-21, СК-26, СК-31 соотношение азота незаменимых и заменимых аминокислот составляет 1:1,22.
I опытная	25	Комбикорм СК-21, СК-26, СК-31 соотношение азота незаменимых и заменимых аминокислот составляет 1:1,32.

При формировании опытных групп животные отбирались из одних и тех же гнёзд с учётом происхождения и живой массы. Было сформировано две группы по 25 голов в каждой. Живая масса подопытных животных составляла 25-26 кг.

В ходе опытов определялась интенсивность роста подопытного молодняка, затраты кормов. При постановке на опыт проведён контрольный убой четырёх типичных (по два хрячка и две свинки). По достижении подсвинками живой массы 40, 70 и 100 кг проведено ещё три контрольных убоя подопытных животных из каждой группы. При проведении контрольного убоя оценивался морфологический состав туш, отбирались образцы мяса (длиннейшей мышцы спины) и сала для изучения их химического и аминокислотного состава туш.

Рецепты комбикормов СК-21, СК-26 и СК-31 для животных контрольной группы (таблицы 77-79) рассчитаны в соответствии с рекомендациями [36], соотношение азота незаменимых и заменимых аминокислот составило 1:1,22. Причём, соотношение незаменимых аминокислот между собой соответствовало «идеальному протеину». Доля азота незаменимых аминокислот в общем количестве всех аминокислот составила около 45 %. В комбикормах для животных I опытной группы соотношение азота незаменимых и заменимых аминокислот несколько уже и составляет 1:1,32 или 43 % в общем количестве всех аминокислот корма.

В 1 кг комбикорма СК-21 для контрольной группы содержалось: обменной энергии – 13,48 МДж, лизина – 11,00 г, метионина с цистином – 6,59 г, триптофана – 2,10 г, треонина – 7,33 г, валина – 9,53 г, изолейцина – 5,00 г, лейцина – 11,56 г, гистидина – 3,94 г, фенилаланина – 6,29 г, аргинина – 10,00 г. Сумма незаменимых аминокислот составила 73,98 г или 45 % от сырого протеина (172,10 г/кг) за вычетом 4,5 % небелкового азота. Количество сырой клетчатки составило 32,70 г, сырого жира – 44,50 г, кальция – 7,50 г, фосфора – 6,0 г. Питательная ценность 1 кг комбикорма СК-21 для I опытной группы содержал: обменной энергии – 13,46 МДж, лизина – 11,04 г, метионина с цистином – 6,59 г, триптофана – 2,05 г, треонина – 7,38 г, валина – 6,8 г, изолейцина – 5,38 г, лейцина – 9,76 г, гистидина – 3,52 г, фенилаланина – 7,35 г, аргинина – 9,53 г. Сумма незаменимых аминокислот составила 69,40 г или 43 % от сырого протеина (169,0 г/кг) за исключением 4,5 % небелкового азота. Количество сырой клетчатки составило 32,30 г, сырого жира – 47,50 г, кальция – 7,50 г, фосфора – 6,0 г (таблица 77).

Таблица 77 – Рецепты комбикормов для поросят на дорашивании

Компоненты	Комбикорм СК-21	
	Контроль-ный	Опытный
1	2	3
Ячмень шелушённый, %	17,50	18,19
Кукуруза, %	30,00	30,00
Пшеница, %	24,00	24,00

Продолжение таблицы 77

1	2	3
Шрот подсолнечный (СП= 35,9%), %	3,82	3,82
Шрот соевый (СП=44-46%), %	15,00	14,00
Микромель, %	3,00	3,00
Соль поваренная кормовая, %	0,34	0,34
Масло рапсовое, %	1,95	2,20
Мел мелкогранулированный в/сорт, %	1,28	1,28
Монокальцийфосфат I сорт, %	0,93	0,94
L-лизин гидрохлорид, %	0,40	0,43
DL-метионин, %	0,13	0,13
L-треонин, %	0,15	0,17
Премикс КС-3-1, %	1,00	1,00
СолдКарб, %	0,50	0,50
Итого, %	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:		
Обменная энергия, МДж	13,48	13,46
Сухое вещество, г	873,40	873,60
Сырой протеин, г	172,10	169,00
Сырая клетчатка, г	32,70	32,30
Сырой жир, г	44,50	47,50
Лизин, г	11,00	11,04
Метионин+цистин, г	6,69	6,59
Триптофан, г	2,10	2,05
Треонин, г	7,33	7,38
Валин, г	7,79	6,8
Кальций, г	7,50	7,50
Фосфор, г	6,00	6,00
Сумма незаменимых аминокислот, г	73,98	69,40
Лизин/ОЭ, г/МДж	0,82	0,82

В 1 кг комбикорма СК-26 для контрольной группы содержалось: обменной энергии – 13,00 МДж, лизина – 9,38 г, метионина с цистином – 5,77 г, триптофана – 1,77 г, треонина – 6,20 г, валина – 9,53 г, изолейцина – 5,00 г, лейцина – 8,56 г, гистидина – 6,34 г, фенилаланина – 7,12 г, аргинина – 8,75 г. Сумма незаменимых аминокислот составила 68,67 г или 45 % от сырого протеина (164,20 г/кг) за вычетом 4,5 % небелкового азота. Количество сырой клетчатки составило 50,20 г, сырого жира – 46,90 г, кальция – 6,0 г, фосфора – 5,0 г.

Питательная ценность 1 кг комбикорма СК-26 для животных I опытной группы составила: обменной энергии – 13,00 МДж, лизина – 8,92 г, метионина с цистином – 5,75 г, триптофана – 1,75 г, треонина – 5,88 г, валина – 9,47 г, изолейцина – 5,68 г, лейцина – 10,1 г, гистидина – 4,04 г, фенилаланина – 10,1 г, аргинина – 4,57 г. Сумма незаменимых

аминокислот составила 67,34 г или 43 % от сырого протеина (162,30 г/кг) за исключением 4,5 % небелкового азота. Количество сырой клетчатки составило 50,20 г, сырого жира – 46,90 г, кальция – 6,0 г, фосфора – 5,0 г (таблица 78).

Таблица 78 – Рецепты опытных комбикормов для I периода откорма

Компоненты	Комбикорм СК-26	
	Контрольный	Опытный
Ячмень, %	14,90	15,17
Шрот рапсовый (СП=32), %	3,00	3,00
Пшеница, %	30,00	30,00
Тритикале, %	20,00	20,00
Овес шелушенный, %	8,90	8,90
Масло рапсовое, %	2,40	2,40
Шрот подсолнечный (СП=34,8), %	10,00	10,00
Пелюшка, %	5,00	5,00
Соль поваренная кормовая, %	0,35	0,35
Монокальцийфосфат I сорт, %	0,46	0,46
Масло рапсовое, %	2,40	2,40
L-лизин гидрохлорид, %	0,43	0,38
L-треонин, %	0,06	0,04
Премикс КС-4, %	1,00	1,00
Добавка кормовая белковая «Экстра», %	2,50	2,30
Итого, %	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:		
Обменная энергия, МДж	13,00	13,00
Сухое вещество, г	870,60	867,00
Сырой протеин, г	164,20	162,30
Сырая клетчатка, г	50,20	50,20
Сырой жир, г	46,80	46,90
Лизин, г	9,38	8,92
Метионин+цистин, г	5,77	5,75
Триптофан, г	1,77	1,75
Треонин, г	6,2	5,88
Валин, г	9,53	9,47
Кальций, г	6,00	6,00
Фосфор, г	5,00	5,00
Сумма незаменимых аминокислот, г	68,67	67,34
Лизин/ОЭ, г/МДж	0,72	0,69

В 1 кг комбикорма СК-31 для контрольной группы содержится: обменной энергии – 13,21 МДж, лизина – 8,08 г, метионина с цистином – 4,85 г, триптофана – 1,74 г, треонина – 5,41 г, валина – 9,31 г, изолейцина – 4,52 г, лейцина – 7,72 г, гистидина – 5,63 г, фенилаланина – 8,70 г,

аргинина – 8,44 г. Сумма незаменимых аминокислот составила 64,40 г или 45 % от сырого протеина (146,40 г/кг) за вычетом 4,5 % небелкового азота. Количество сырой клетчатки составило 51,00 г, сырого жира – 69,30 г, кальция – 6,0 г, фосфора – 4,8 г.

Питательная ценность 1 кг комбикорма СК-31 для I опытной группы составила: обменной энергии – 13,23 МДж, лизина – 7,82 г, метионина с цистином – 4,79 г, триптофана – 1,65 г, треонина – 5,13 г, валина – 8,06 г, изолейцина – 4,68 г, лейцина – 7,21 г, гистидина – 5,06 г, фенилаланина – 7,61 г, аргинина – 8,35 г. Сумма незаменимых аминокислот составила 60,36 г или 43 % от сырого протеина (145,60 г/кг) за исключением 4,5 % небелкового азота. Количество сырой клетчатки составило 50,90 г, сырого жира – 69,10 г, кальция – 6,0 г, фосфора – 4,8 г. Опытные партии комбикормов выработаны на ОАО «Борисовский КХП» (таблица 79).

Таблица 79 – Рецепты опытных комбикормов для II периода откорма

Компоненты	Комбикорм СК-31	
	Контрольный	Опытный
1	2	3
Ячмень, %	38,23	39,81
Ячмень шелушённый, %	9,90	9,00
Пшеница, %	14,00	14,00
Тритикале, %	15,00	15,00
Жир животный I сорт, %	2,00	2,00
Отруби пшеничные, %	1,30	1,30
Жмых рапсовый I сорт, %	3,00	3,00
Шрот подсолнечный (СП=35,9%), %	10,00	10,00
Мука мясо-костная 3 сорт, %	2,50	2,30
Масло рапсовое, %	2,10	2,10
Соль поваренная кормовая, %	0,15	0,15
L-треонин, %	0,05	0,02
Премикс КС-4, %	1,00	1,00
Итого, %	100,0	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:		
Обменная энергия, МДж	13,21	13,23
Сухое вещество, г	872,20	874,40
Сырой протеин, г	146,40	145,90
Сырая клетчатка, г	51,00	50,90
Сырой жир, г	69,30	69,10
Лизин, г	8,08	7,82
Метионин+цистин, г	4,85	4,79
Триптофан, г	1,74	1,65
Треонин, г	5,41	5,13
Валин, г	9,31	8,06



Продолжение таблицы 79

1	2	3
Кальций, г	6,00	6,00
Фосфор, г	4,80	4,80
Сумма незаменимых аминокислот, г	64,4	60,36
Лизин/ОЭ, г/МДж	0,61	0,59

В организме растущих животных наряду с процессами восстановления происходит формирование новых клеток и тканей, для чего в качестве пластического материала используются белки и их составляющие – аминокислоты. Поэтому растущие животные характеризуются ярко выраженной способностью отлаживать в своём теле белок (таблица 80).

Таблица 80 – Показатели развития поросят на дорастивании (n=25)

Группы	Живая масса, кг		Среднесуточный прирост, г
	на начало опыта	по окончании опыта	
Контрольная	25,6±1,31	45,1±4,71	557±16
Опытная	25,6±1,31	44,2±3,50	531±12

Данные о среднесуточных приростах подопытных животных свидетельствуют о том, что более высокими темпами роста отличались животные контрольной группы – 557 г, получавшие комбикорма, где доля незаменимых аминокислот составила 43 % от общего количества сырого протеина. Среднесуточные приросты поросят опытной группы в итоге оказались менее интенсивными, по сравнению с контрольными аналогами на 26 г, или на 4,7 %. Потребление свиньями питательных веществ комбикормов представлено в таблице 81.

Таблица 81 – Потребление свиньями на дорастивании питательных веществ комбикормов

Группы	Потреблено на одну голову в сутки, в среднем				
	Комби-корма, кг	ОЭ, МДж	Сырого протеина, г	Незаменимых аминокислот, г	Заменимых аминокислот, г
Контрольная	1,67	22,51	287,4	123,5	163,9
Опытная	1,75	23,56	295,8	121,5	174,3

На основании учёта потреблённых комбикормов, данных контрольных убоев было рассчитано количество аминокислот, которые затрачивают поросята породы йоркшир на стадии дорастивания на образование мышечной ткани. Как показывают данные, приведённые в таблице 82, что у подсвинков контрольной группы при выращивании с 25 до 45 кг

живой массы было отложено в теле 5,21 кг мышечной ткани, при этом было потреблено в среднем на голову 58,45 кг комбикорма, 10,06 кг сырого протеина и 4,52 кг незаменимых аминокислот. Животными опытной группы, где доля незаменимых аминокислот в общем количестве протеина составляла 43 %, для отложения 4,91 кг мышечной ткани потреблено 61,25 кг комбикорма, в котором содержалось 10,35 кг сырого протеина и 4,45 кг незаменимых аминокислот. На синтез 1 кг мышечной ткани животными контрольной группы затрачено 0,867 кг незаменимых аминокислот. Подсвинки опытной группы менее экономно использовали протеин кормов на наращивание своей массы тела, потреблено соответственно 0,906 кг лимитирующих аминокислот.

Таблица 82 – Затраты незаменимых аминокислот на прирост живой массы в период доращивания, (n=4)

Группы	Получено прироста живой массы, кг			Потреблено за учётный период, кг/гол			Затрачено незаменимых аминокислот, г		
	Всего	В т. ч.		Комбикорма	В т. ч.			На 1 кг прироста живой массы	На синтез 1 кг мышечной ткани
		Мяса	Сала		Сырого протеина	Незаменимых аминокислот	Заменимых аминокислот		
Контроль	19,5	5,21	3,18	58,45	10,06	4,52	5,54	0,232	0,867
Опытная	18,6	4,91	3,01	61,25	10,35	4,45	5,90	0,239	0,906

Исследования продолжились на откормочном поголовье. В 127-дневном возрасте по принципу пар-аналогов было сформировано две группы животных по 20 голов. Соотношение в протеине комбикорма незаменимых и заменимых аминокислот сказалось на динамике живой массы подопытных животных (таблица 83). В начале опыта живая масса поросят в группах составляла 40,1 кг. В течение первого периода откорма (46 дней) выявлены различия в показателях живой массы между подсвинками контрольной и опытной групп. Живая масса животных контрольной группы в среднем составила 71,8 кг, а опытной, получавшие комбикорма, где доля незаменимых аминокислот в протеине составляла 43 %, имели живую массу ниже на 1,9 кг или на 2,7 %. При этом темпы роста в этой группе составили 648 г, или на 41 г ниже, чем в контроле.

Таблица 83 – Продуктивность молодняка свиней на откорме (n=20)

Показатели	Группы	
	Контрольная	Опытная
Средняя живая масса одной головы, кг:		
при постановке	40,1±0,46	40,1±0,38
в конце I периода откорма	71,8±1,53	69,9±1,40
при снятии с откорма	103,8±1,26	101,6±2,32
Прирост живой массы, г/сутки:		
за I период откорма	689±10,50	648±11,37
за II период откорма	727±13,07	720±12,21
всего за опыт	716±12,28	691±10,62

В течение второго периода откорма (продолжительность 44 дня) сохранилась та же динамика роста, что и в первый период откорма. По окончании опыта живая масса животных контрольной группы в среднем равнялась 103,8 кг, а опытной, где использовались комбикорма с меньшей долей незаменимых аминокислот, имели живую массу на 2,2 кг или на 2,1 % ниже. При этом темпы роста опытных животных составили 727 г прироста в сутки. Сокращение доли незаменимых аминокислот в общем балансе аминокислот в комбикормах опытной группы позволило получить 720 г среднесуточного прироста. В целом за период опыта в контрольной группе получено 716 г среднесуточного привеса живой массы, а в опытной – 691 г.

Увеличение количества незаменимых аминокислот способствовало снижению затрат кормов на единицу прироста живой массы (таблица 84).

Таблица 84 – Затраты питательных веществ на 1 кг прироста живой массы за период откорма

Показатели	Группы	
	Контрольная	Опытная
<b><i>I период откорма</i></b>		
Затрачено на 1 кг прироста:		
комбикорма, кг	3,426	3,518
обменной энергии, МДж	44,54	45,73
сырого протеина, г	562,5	571,0
<b><i>II период откорма</i></b>		
Затрачено на 1 кг прироста:		
комбикорма, кг	3,577	3,681
обменной энергии, МДж	47,29	48,70
сырого протеина, г	523,6	536,0

Так, в I период откорма на 1 кг прироста было затрачено в контрольной группе 3,426 кг комбикорма, 44,54 МДж обменной энергии и 562,5 г

сырого протеина. Откормочники опытной группы менее эффективно использовали питательные вещества комбикорма для наращивания живой массы – 3,518 кг комбикорма, 45,73 МДж обменной энергии и 571,0 г сырого протеина или, соответственно, на 2,7 %, 2,6 и 1,5 % больше. Во II период откорма потребление питательных веществ животными между группами практически выровнялось. Превосходство животных контрольной группы составило: по количеству комбикорма – на 2,9 %, по обменной энергии – на 3,0 % и по сырому протеину – на 2,4 %.

На основании учёта потреблённых кормов, данных контрольных убоев было рассчитано количество незаменимых аминокислот, которые затрачивают подвинки йоркширской породы в период откорма на образование мышечной ткани. Из таблицы 85 видно, что у поросёнка контрольной группы при выращивании с 40,1 до 71,8 кг живой массы отложено в теле 12,8 кг мышечной ткани, при этом потреблено в среднем на голову 157,6 кг комбикорма, 25,88 кг сырого протеина и 11,12 кг незаменимых аминокислот. Животными опытной группы, где доля незаменимых аминокислот в общем количестве протеина составляла 43 %, для отложения 29,8 кг мышечной ткани потребовалось 161,8 кг комбикорма, в котором содержалось 26,26 кг сырого протеина и 10,78 кг лимитирующих аминокислот. На синтез 1 кг мышечной ткани животными контрольной группы затрачено 0,871 кг незаменимых аминокислот.

Таблица 85 – Расчёт затрат аминокислот на прирост живой массы в период откорма, (n=4)

Группы	Получено прироста живой массы, кг			Потреблено за учётный период, кг/гол				Затрачено незаменимых аминокислот, г	
	Всего	В т. ч.		Комбикорма	В т. ч.			На 1 кг прироста живой массы	На синтез 1 кг мышечной ткани
		Мяса	Сала		Сырого протеина	Незаменимых аминокислот	Заменимых аминокислот		
<b><i>I период откорма</i></b>									
Контроль	31,7	12,8	4,39	157,6	25,88	11,12	13,60	0,350	0,871
Опытная	29,8	12,0	4,13	161,8	26,26	10,78	14,30	0,362	0,898
<b><i>II период откорма</i></b>									
Контроль	33,3	12,5	4,31	164,5	24,08	10,35	12,64	0,323	0,804
Опытная	31,1	12,4	4,52	169,3	24,65	10,12	13,17	0,340	0,843

Подвинки опытной группы несколько хуже использовали протеин

кормов на наращивание массы своего тела – соответственно 0,898 кг лимитирующих аминокислот. В течение заключительного периода откорма сохранилась аналогичная закономерность. Молодняк, потреблявший комбикорма с большей долей незаменимых аминокислот (контрольная группа), эффективнее использовал эти аминокислоты для синтеза мышечной ткани – в среднем 804 г на 1 кг мышечной ткани. Снижение доли незаменимых аминокислот в общем балансе протеина в комбикормах опытной группы не позволило животным рационально использовать сырой протеин в своем организме. Таким образом, нашими исследованиями установлено оптимальное соотношение суммы незаменимых и заменимых аминокислот в протеине комбикормов растущих откармливаемых свиней – 1:1,22.

Современные теории кормления направлены на достижение максимальной скорости роста и минимизации выделения азота в окружающую среду. В доступной литературе очень мало сведений об использовании азота незаменимых и заменимых аминокислот для поддержания основных функций организма, в т. ч. воспроизводительной, процессах, не связанных с белковым обменом. Тем не менее, очевидно, что относительная потребность в заменимых аминокислотах на обеспечение жизнедеятельности организма значительно выше, чем непосредственно на его рост.

Эффективность отрасли, высокая продуктивность и отличные мясные качества свиней обеспечиваются тем, насколько гармонично сочетаются и реализуются в процессе производства генетически обусловленная мясная продуктивность современных пород свиней и их полноценное, сбалансированное в соответствии с нормами потребности, кормление. Большой прогресс в области изучения этих факторов позволяет ставить задачи достижения молодняком свиней живой массы 100 кг в 155-160-дневном возрасте при затратах на 1 кг прироста до 2,5 кг комбикорма и конверсии в 1,8-2,0 кг кормового протеина на синтез 1 кг белка мяса [3].

Каждая порода и тип свиней характеризуется комплексом биологических свойств и способностями использования питательных веществ в рационах, детерминированный геномом. И наоборот, питательные и биологически активные вещества влияют на гены, вызывая их так называемую экспрессию. Эти вещества могут увеличивать экспрессию благоприятных генов и снижать экспрессию генов, негативно влияющих на здоровье и продуктивность животных. Установлено положительное влияние низкобелковых рационов на усвояемость аминокислот подвздошной кишки и экспрессию генов пищеварительных ферментов у растущих и откармливаемых свиней [328]. В литературе очень мало данных по использованию питательных веществ рационов отдельными

генотипами свиней, однако известно, что потенциал синтеза постного мяса в значительной степени различается между генотипами. J. Fabian et al. [129] установили различия между линиями в породе Дюрок по эффективности использования лизина из низкопротеиновых комбикормов животными живой массой от 80 до 108 кг. А. Taylor et al. [454] установили, что поросята гемпширской породы росли быстрее, чем крупные белые, когда им скармливали рацион с адекватным уровнем энергии и лизина. S. Schiavon et al. [258] пришли к выводу, что при ограниченном количестве питательных веществ в рационе их распределение между синтезом мышечной ткани (приростом) и жизненно важными функциями организма, как правило, одинаковы у разных генотипов, поэтому для выявления различий между генотипами необходимы высокие, неограничивающие уровни протеина. L. Chiba et al. [166] наблюдали взаимодействия генотипа и рациона питания, предполагая, что быстрорастущие мясные свиньи нуждаются в обеспечении адекватными концентрациями незаменимых аминокислот. Авторы сделали вывод, что компенсаторные реакции роста зависят от генотипа свиньи. Таким образом, представляет большой практический и научный интерес изучение особенностей использования питательных веществ, в первую очередь обменной энергии и сырого протеина (незаменимых аминокислот) молодняком разводимых в республике генотипов свиней.

На основании данных, полученных на контрольно-испытательной станции РУСП «СГЦ “Заднепровский”», мы проанализировали показатели контрольного откорма свиней пяти пород и двух- и трёхпородных помесей 1951 головы. Состав и питательность комбикормов для контрольного откорма представлены в таблице 86.

Таблица 86 – Рецепт комбикорма для контрольного откорма свиней

Ингредиенты	Количество
1	2
Ячмень, %	6,20
Ячмень шелушённый, %	20,60
Кукуруза, %	15,00
Пшеница, %	22,06
Овёс, %	4,00
Рожь, %	4,00
Шрот подсолнечный (СП=36,5%) %	7,40
Шрот соевый (СП=45,6%), %	11,60
Масло соевое, %	1,70
Жмых рапсовый (СП=27,0%), %	4,00
Соль поваренная, %	0,40
Мел мелкогранулированный, 1 сорт, %	1,46
Монокальц. фосфат I сорт, %	0,60

Продолжение таблицы 86

1	2
L-лизин монохлоргидрат, %	0,44
DL-метионин, %	0,04
L-треонин, %	0,04
Премикс КС-4-1, %	1,00
Роксазим G-2 G, %	0,01
Целлобактерин, %	0,05
Итого, %	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:	
Обменная энергия, МДж	12,50
Сухое вещество, г	864,3
Сырой протеин, г	179,9
Сырая клетчатка, г	4,67
Сырой жир, г	4,55
Лизин, г	9,01
Лизин доступный, г	7,50
Метионин+цистин, г	5,59
Триптофан, г	1,80
Изолейцин, г	5,42
Треонин, г	6,14
Валин, г	7,31
Кальций, г	8,70
Фосфор, г	5,50
Лизин/обменная энергия, г/Мдж	0,72

Как показывают данные таблицы 87, все генотипы имели высокую скорость роста (среднесуточный прирост живой массы находился в пределах 711-726 г) при затратах от 3,2 до 3,47 кг натурального корма. Следует отметить, что наиболее эффективно использовали питательные вещества комбикорма (обменную энергию, сырой протеин и лизин) на образование мышечной ткани трёхпородные и двухпородные помеси – соответственно 85,13 МДж, 1226 г, 61,36 г и 85,38 МДж, 1229 г, 61,53 г. Среди чистопородных животных наиболее высокую трансформацию питательных веществ корма в продукцию имели подсвинки белорусской мясной породы – 87,63 МДж обменной энергии, 1262 г сырого протеина, 63,16 г лизина в расчёте на 1 кг прироста мышечной ткани. Свиным белорусской чёрно-пестрой породы и ландрасам потребовалось на 4-6,4 % больше обменной энергии, сырого протеина и лизина на наращивание мышечной массы. Животные крупной белой породы с затратами питательных веществ соответственно 91,25 МДж, 1314 г и 65,77 г занимали промежуточное положение между вышеназванными генотипами.

Таблица 87 – Результаты контрольного откорма свиней

Генотип	Количество голов	Среднесуточный прирост живой массы, г	Затраты корма на 1 кг прироста живой массы		Содержание мяса в туше		Затрачено на 1 кг мышечной массы					
			комбинированная корма, кг	обменной энергии, МДж	сырого протеина, г	лизины, г	%	кг	комбинированная корма, кг	обменной энергии, МДж	сырого протеина, г	лизина, г
Крупная белая порода	930	722±86	3,23	40,38	581	29,10	59,0	44,3	7,30	91,25	1314	65,77
Белорусская мясная порода	166	719±62	3,26	40,75	587	29,37	62,0	46,5	7,01	87,63	1262	63,16
Белорусская чёрнопёстрая порода	169	726±52	3,20	40,00	576	28,83	57,5	43,1	7,42	92,75	1336	66,85
Эстонская беконная порода	116	711±66	3,26	40,75	657	29,37	60,0	45,0	7,24	90,50	1303	65,23
Ландрас	22	663±73	3,47	43,37	465	31,26	62,0	46,5	7,46	93,25	1343	67,21
Двухпородные помеси	270	723±48	3,20	40,00	576	28,83	62,4	46,8	6,83	85,38	1229	61,53
Трёхпородные помеси	278	721±79	3,22	40,25	580	29,01	63,0	47,3	6,81	85,13	1226	61,36



Таким образом, результаты контрольного откорма свиней по использованию питательных веществ кормов на образование мясной продукции свидетельствуют о значительной изменчивости этого признака между разводимыми в республике породами и гибридами.

Совершенствование современных пород свиней должно идти параллельно улучшению условий среды, важнейшим из которых является необходимый уровень в рационе питательных веществ и в первую очередь энергии и аминокислот. Поэтому изучение особенностей использования азота корма свиньями мясных генотипов при различном соотношении обменной энергии и доступного лизина является актуальной задачей при разработке норм их аминокислотного питания.

В лаборатории кормления свиней РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» нами проведена серия балансовых опытов методом латинского квадрата и по общепринятым методикам [38]. В ходе опытов определена динамика отложения азота в теле животных, его выделение в окружающую среду, а, следовательно, особенности отложения и использования его на синтез мышечной ткани в организме откармливаемых свиней. Для экспериментов в группу было отобрано по 4 боровка крупной белой породы (КБ), белорусской мясной (БМП) и породы дюрок (Д) живой массой 70-73 кг. Животным I группы скармливали комбикорма, сбалансированные по всем нормируемым питательным веществам, где на 1 МДж обменной энергии приходилось 0,56 г доступного лизина, количество и соотношение других незаменимых аминокислот (метионина, триптофана, треонина) было укомплектовано в соответствии с оптимизированным соотношением их к лизину (таблица 88). Комбикорма для откормочников II и III опытных групп отличались лишь тем, что на единицу энергии приходилось в первом случае 0,68, а во втором – 0,71 г доступного лизина. Дефицит незаменимых аминокислот восполняли за счёт введения в комбикорма кормовых препаратов L-лизина, L-треонина и DL-метионина.

Таблица 88 – Состав и питательность опытных комбикормов

Компоненты	Группы		
	I	II	III
1	2	3	4
Ячмень, %	27,37	27,01	27,35
Кукуруза, %	30,00	30,00	30,00
Пшеница, %	20,00	20,00	20,00
Люпин, %	4,00	4,00	4,00
Шрот подсолнечный (СП=35,5%) 58%), %	6,00	5,00	4,00
Шрот соевый (СП=44,3%), %	8,00	9,00	9,50
Масло рапсовое, %	1,30	1,30	1,30
Мел молотый I сорт, %	1,04	1,06	1,08

Продолжение таблицы 88

1	2	3	4
Соль поваренная, %	0,26	0,23	0,22
Монокальцийфосфат, I сорт, %	0,55	0,55	0,57
L- лизин гидрохлорид, %	0,30	0,47	0,52
DL- метионин, %	0,06	0,15	0,19
L- треонин, %	0,10	0,19	0,22
L- триптофан, %	0,02	0,04	0,05
Премикс КС-4, %	1,00	1,00	1,00
Итого:	100,00	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:			
Обменная энергия, МДж	13,00	13,02	13,03
Сырой протеин, г	153,10	156,90	157,20
Сырая клетчатка, г	46,70	45,60	44,60
Сырой жир, г	39,50	39,40	39,40
Лизин, г	8,64	10,12	10,55
Метионин+цистин, г	5,48	6,33	6,65
Триптофан, г	1,97	2,18	2,27
Треонин, г	6,15	7,06	7,32
Лизин доступный, г	7,31	8,79	9,22
Метионин+цистин доступные, г	4,40	5,26	5,59
Триптофан доступный, г	1,51	1,73	1,82
Треонин доступный, г	4,83	5,72	5,99
Доступный лизин / ОЭ, г/МДж	0,56	0,68	0,71

Детальный анализ химического состава комбикормов, продуктов выделений проведён по общепринятым методикам. Суммарное содержание обменной энергии в комбикормах рассчитывалось по её содержанию в отдельных ингредиентах, допуская несущественным фактор положительного или отрицательного влияния на суммарное количество всей обменной энергии в комбикорме.

Накопление мышечной массы сопряжено с активной трансформацией азота корма в структурные элементы организма. По балансу азота у животного можно судить о его способности к интенсивному росту. Данные по использованию свиньями различных генотипов азота комбикормов, в которых на 1 МДж обменной энергии приходилось 0,56 г доступного лизина, представлены в таблице 89. Проведёнными исследованиями установлены породные различия по потреблению и использованию азота корма животными различных генотипов. Из-за большого количества ежедневно съедаемого комбикорма отмечено более высокое потребление азота животными пород дюрок и белорусская мясная – соответственно на 4,5 и 9,6 %, по сравнению с подсвинками КБ. Об эффективности использования азотистых веществ в метаболических процессах свиней свидетельствуют данные по отложению белков,

рассчитанные на 1 кг метаболической живой массы. Так, на 1 кг ЖМ<sup>0,75</sup> у животных БМП отложено по 5,50 г белка, что соответственно на 6,0 и 3,5 % выше, чем у сверстников породы дюрок и КБ.

Таблица 89 – Использование азота корма животными I группы, г/сутки

Показатели	Генотип		
	дюрок	крупная белая	белорусская мясная
Метаболическая живая масса (ЖМ <sup>0,75</sup> ), кг	25,09±0,64	25,23±0,52	25,16±0,63
Потреблено азота с кормом, г	46,63±0,97	44,50±0,67	48,84±1,44
Потреблено азота с кормом, г на кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	1,85±0,05	1,77±0,04	1,94±0,05
Выделено с калом, г	12,69±0,45	10,03±0,38	11,18±0,80
Выделено с мочой, г	12,57±0,52	13,60±0,65	15,40±0,58
Усвоено, г	33,94±1,27	34,47±0,72	37,66±0,81
%	72,8	77,5	77,1
Отложено, г	21,37±0,69	20,87±0,78	22,26±0,85
% от потреблённого	45,8	46,9	45,6
% от усвоенного	63,0	60,5	59,1
Отложено азота, г на 1 кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	0,85±0,10	0,83±0,08	0,88±0,06
Отложено белков в теле, г на 1 кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	5,31±0,14	5,19±0,12	5,50±0,22
Отношение азот мочи/ азот потреблённого корма	0,27	0,30	0,32

Особенности использования молодняком свиней азота корма, в котором на 1 МДж обменной энергии приходилось 0,68 г доступного лизина, представлены в таблице 90.

Таблица 90 – Использование азота корма животными II группы, г/сутки

Показатели	Генотип		
	дюрок	крупная белая	белорусская мясная
1	2	3	4
Метаболическая живая масса (ЖМ <sup>0,75</sup> ), кг	27,43±0,64	27,16±0,52	27,28±0,63
Потреблено азота с кормом, г	48,00±0,97	46,90±0,67	49,30±1,44
Потреблено азота с кормом, г на кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	1,74±0,06	1,72±0,04	1,80±0,05
Выделено с калом, г	10,10±1,16	8,70±0,38	10,92±0,80
Выделено с мочой, г	14,12±0,52	14,30±0,64	13,31±0,58
Усвоено, г	37,90±1,27	38,30±0,72	38,38±0,80
%	79,0	81,6	77,8

Продолжение таблицы 90

1	2	3	4
Отложено, г	23,78±1,04	24,00±0,78	25,07±0,86
% от потреблённого	49,5	51,2	50,8
% от усвоенного	62,7	62,7	64,1
Отложено азота, г на 1 кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	0,86±0,12	0,88±0,06	0,91±0,24
Отложено белков в теле, г на 1 кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	5,37±0,82	5,50±0,64	5,68±0,58
Отношение азот мочи/ азот потреблённого корма	0,29	0,30	0,27

Увеличение количества переваримого лизина до 0,68 г при неизменном уровне энергии в комбикормах II опытной группы способствовало повышению потребления азота с кормом и его отложению (ретенции) в теле всех генотипов. Так, животные БМП характеризовались максимальным потреблением азота среди сверстников – 49,3 г, и отложением – 25,07 г/сутки. Несмотря на более низкое потребление азота подсвинками КБ, эффективность его использования в организме возросла на 2,4 % по сравнению с породой дюрок и составила 5,50 г на каждый кг метаболической живой массы. Прослеживается тенденция по дальнейшему увеличению поступления азота с кормом и его накоплению в теле животных III группы при повышении уровня доступного лизина до 0,71 г/МДж. Так, в теле животных БМП и породы дюрок отложено в сутки по 5,81 г белка на единицу метаболической живой массы, у подсвинков КБ этот показатель оказался на 3,2 % ниже.

Таблица 91 – Использование азота корма животными III группы, г/сутки

Показатели	Генотип		
	дюрок	крупная белая	белорусская мясная
1	2	3	4
Метаболическая живая масса (ЖМ <sup>0,75</sup> ), кг	29,56±0,38	29,20±0,52	29,92±0,63
Потреблено азота с кормом, г	51,91±0,97	50,26±0,67	52,46±1,44
Потреблено азота с кормом, г на кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	1,76±0,10	1,72±0,06	1,75±0,08
Выделено с калом, г	11,90±0,68	11,13±0,38	11,04±0,80
Выделено с мочой, г	12,51±0,52	12,71±0,66	13,73±0,58
Усвоено, г	40,01±1,02	39,13±0,72	41,42±0,80
%	77,0	77,8	78,9
Отложено, г	27,50±0,68	26,42±0,78	27,69±0,82
% от потреблённого	53,0	52,6	52,8
% от усвоенного	68,7	67,5	66,8

Продолжение таблицы 91

1	2	3	4
Отложено азота, г на 1 кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	0,93±0,08	0,90±0,12	0,93±0,04
Отложено белков в теле, г на 1 кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	5,81±0,18	5,63±0,14	5,81±0,22
Отношение азот мочи/ азот потреблённого корма	0,24	0,25	0,26

Влияние различного содержания доступного лизина в комбикормах в среднем по трем породам представлены в таблице 92.

Таблица 92 – Влияние соотношения доступного лизина и обменной энергии на эффективность синтеза белка у свиней мясных генотипов

Показатели	Группы		
	I	II	III
Количество доступного лизина, приходящегося на 1 МДж обменной энергии, г	0,56	0,68	0,71
Метаболическая живая масса (ЖМ <sup>0,75</sup> ), кг	25,16±0,04	27,29±0,08	29,56±0,21
Потреблено азота с кормом, г	46,66±1,25	48,07±0,69	51,54±0,66
Потреблено азота с кормом, г на кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	1,85±0,04	1,75±0,02	1,74±0,04
Выделено азота с калом, г	11,30±0,77	9,91±0,65	11,35±0,27
Выделено с мочой, г	13,86±0,83	13,91±0,30	12,98±0,38
Усвоено азота, г	35,36±1,16	38,19±0,58	40,19±0,67**
%	75,80±1,50	79,47±1,12	77,90±0,55
Отложено азота, г	21,50±0,52	24,28±0,40	27,20±0,86***
% от потреблённого	46,10±0,40	50,50±0,51	52,80±0,42
% от усвоенного	60,87±1,14	63,17±0,47	67,67±0,56
Отложено азота, г на 1 кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	0,85±0,08	0,88±0,02	0,92±0,06
Отложено белков в теле, г на 1 кг ЖМ <sup>0,75</sup> в сутки	5,33±0,09	5,52±0,09	5,75±0,06**
Отношение азот мочи/ азот потреблённого корма	0,30±0,02	0,29±0,01	0,25±0,04

Результаты учёта потреблённых в течение опыта кормов свидетельствуют о том, что несмотря на увеличение количества доступного лизина в комбикорме потребление азота с кормом на 1 кг метаболической живой массы всеми генотипами животных уменьшилось с 1,85 до 1,74 г в сутки. Более эффективное использование аминокислот в биосинтетических процессах, имевшее место у откормочников, получавших рационы, где на 1 МДж обменной энергии приходилось 0,71 г доступного

лизина. Это связано с более интенсивным наращиванием живой массы и её количеством у животных III группы. Так, ежедневно ими было отложено по 5,75 г белка на 1 кг метаболической живой массы или больше на 7,8 % ( $P < 0,01$ ), чем у животных I опытной группы. Животные, получавшие комбикорма с соотношением 0,68 г доступного лизина на 1 МДж обменной энергии, синтезировали в своём организме по 5,52 г белка или на 3,6 % больше по сравнению с I группой, в которой это соотношение было минимальным. Наглядно влияние соотношения доступного лизина и обменной энергии на отложение белка в организме свиней представлено на рисунке 2.

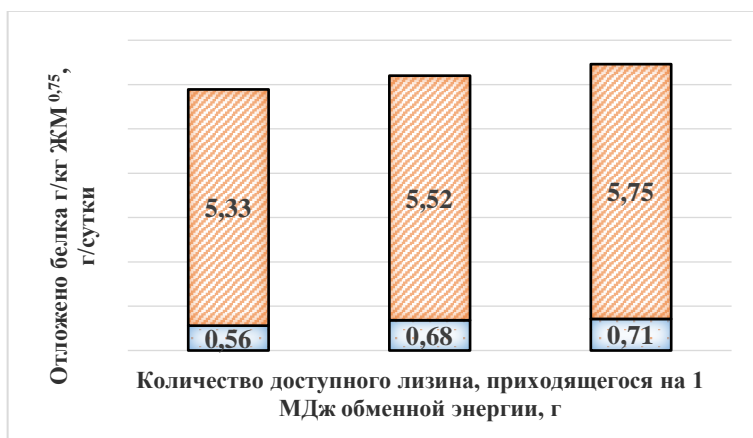


Рисунок 2 – Влияние соотношения доступного лизина и обменной энергии на отложение белка в организме свиней

Представляет большой практический интерес оценка мясных генотипов свиней к их высокой способности трансформировать обменную энергию и незаменимые аминокислоты в мясную продукцию. С этой целью в условиях КИС «СГЦ “Заднепровский”» Оршанского района мы провели научно-хозяйственный опыт на подсвинках крупной белой породы, белорусской мясной и породы дюрок по методике контрольного откорма с использованием контрольных животных. Сущность метода заключалась в том, что в начале и в конце опытного периода определяют общее количество незаменимых аминокислот (по данным контрольного убоя) в мясе туш двух сходных животных (преимущественно двоен). Количество незаменимых аминокислот в мышечной части туш определяют по разности между количеством аминокислот одного животного в конце опыта и количеством аминокислот второго животного в начале опыта. Ошибка определения тем меньше, чем больше животных в группе.

Для контрольного откорма использовали полнорационные комбикорма, содержащие в 1 кг корма 13,50-13,0 МДж обменной энергии, 17,3-16,5 % сырого протеина, 0,95-0,85 % лизина, 0,58-0,55 % метионина с цистином, 0,19-0,18 % триптофана, 0,66-0,60 % треонина и не более 4,5 % клетчатки. Соотношение незаменимых аминокислот в комбикормах соответствовало концепции «идеального протеина». На 1 г лизина приходилось 0,7-0,65 МДж обменной энергии. Комбикорма были изготовлены на ОАО «Экомол» (таблица 93).

Таблица 93 – Рецепты комбикормов для контрольного откорма свиней

Наименование	Живая масса, кг	
	30-80	81-100
1	2	3
Ячмень, %	9,68	7,12
Ячмень шелушённый, %	24,20	22,90
Кукуруза, %	13,00	15,00
Пшеница, %	22,00	22,00
Овёс, %	-	4,00
Рожь %	-	4,00
Шрот подсолнечный (СП=35%), %	6,70	7,40
Шрот соевый (СП=45%), %	11,53	9,02
Мука рыбная (СП=60-65%), %	1,30	-
Заменитель сухого молока «Супермель», %	1,00	-
Масло растительное, %	3,20	1,50
Жмых рапсовый, %	4,00	4,00
Соль поваренная, %	0,29	0,27
Мел мелко гранулированный 1 сорт, %	0,86	1,05
Монокальцийфосфат I сорт, %	0,42	0,56
L-лизин монохлоридрат, %	0,17	0,18
L-треонин, %	-	-
Премикс КС-3 *, %	1,00	-
Премикс КС-4-1 **, %	-	1,00
Ультрацид, %	0,50	-
Адими́кс, %	0,05	-
Токсинил, %	0,10	-
Итого, %	100,00	100,00
В 1 кг комбикорма содержится:		
Обменная энергия, МДж	13,50	13,00
Сухое вещество, г	877,00	875,20
Сырой протеин, г	178,30	165,40
Сырая клетчатка, г	39,50	42,40
Сырой жир, г	55,5	39,70
Лизин, г	9,53	8,50
Лизин доступный, г	8,05	7,50
Метионин+цистин, г	5,81	5,50

Продолжение таблицы 93

1	2	3
Триптофан, г	1,90	1,82
Треонин, г	6,62	6,08
Валин, г	7,09	7,44
Кальций, г	6,00	6,00
Фосфор, г	5,00	5,00
Лизин/обменная энергия, г/МДж	0,70	0,65

Живая масса подсвинков на начало опыта составила соответственно по породам: крупная белая порода – 30,4 кг, белорусская мясная – 31,0 кг и дюрок – 30,1 кг. Для определения общего количества незаменимых аминокислот, содержащихся в тушах подопытных животных в начале учётного периода, проведён контрольный убой 5-ти подсвинков каждого генотипа (таблица 94). Максимальный убойный выход (отношение массы парной туши без головы, ног, внутренних органов, жира и шкуры к живой массе животного) отмечен у свиней породы дюрок – 57,0 %, далее следуют крупная белая – 56,4 % и белорусская мясная – 56,2 %. В результате проведённой обвалки туш вышеназванных генотипов установлены следующие показатели содержания мяса: крупная белая порода – 50,7 %, белорусская мясная – 53,1 %, дюрок – 54,0 %. Средняя толщина шпика на уровне 6-7 грудного позвонков: крупная белая порода – 8,2 мм, белорусская мясная – 8,0 мм и дюрок – 7,7 мм.

Таблица 94 – Контрольный убой свиней, (n=5)

Ге-но-тип	Живая масса, кг перед убоем	Выход туши, %	Толщина шпика, мм	Содержится в туше, кг		Содержится в туше, %	
				мясо	сало	мясо	сало
<b>Живая масса 30 кг</b>							
КБ	30,4±0,2	56,4±1,2	8,2±0,7	8,44±0,4	4,9±0,1	50,7±1,6	29,5±1,2
БМП	33,0±0,3	56,2±0,8	8,0±0,3	9,55±0,3	5,1±0,3	53,1±1,7	28,1±1,3
Д	30,8±0,4	57,0±0,2	7,8±0,3	9,4±0,2	4,5±0,2	54,0±0,6	26,0±1,1

Аминокислотный анализ образцов мышечной ткани длиннейшей мышцы спины проведён в ГУ «ЦНИЛхлебопродукт». Установлены породные различия в содержании аминокислот в мышечной ткани свиней. Так, в мясе подсвинков крупной белой породы содержалось наибольшее количество лизина – 6,63 %, фенилаланина – 3,24 %, изолейцина – 3,56% и метионина – 2,37 %. Мясо животных белорусской мясной породы характеризовалось максимальным содержанием лейцина (5,89 %) и треонина (3,53 %). В мясе свиней породы дюрок отмечено наибольшее количество аргинина (5,02 %), валина (3,55 %) и гистидина (1,99 %).



Результаты контрольного откорма (таблица 95) показали, что все оцениваемые животные имели высокую скорость роста. Максимальные среднесуточные приросты живой массы отмечены у животных породы дюрок – 712 и 857 г соответственно по периодам выращивания. Темпы роста свиней крупной белой породы оказались в итоге ниже на 25 г, белорусской мясной – на 35 г ниже сверстников породы дюрок.

Таблица 95 – Продуктивность молодняка свиней на контрольном откорме

Генотип	I период откорма	II период откорма	Всего за опыт
Крупная белая порода (n=43)	693±28,4	815±24,2	756±18,6
Белорусская мясная порода (n=24)	707±20,8	811±28,9	746±16,7
Дюрок (n=11)	712±32,0	857±36,6	781±22,5

С целью изучения особенностей потребления питательных веществ корма (с интервалом 10-12 дней) проводилось контрольное кормление подопытного молодняка. В ходе которого в течение двух смежных дней индивидуально учитывалось потребление комбикорма и его остатков. Как показывают данные таблицы 96, имеются породные различия по уровню потребления животными питательных веществ комбикормов, в т. ч. и незаменимых аминокислот. Так, подвинки породы дюрок потребовали в среднем за период опыта по 278,4 кг комбикормов на одну голову, в которых содержалось 49,12 кг сырого протеина и 2,659 кг лизина. Свиньи белорусской мясной породы за такой же период потребовали по 283,2 кг комбикорма, 49,30 кг сырого протеина и 2,603 кг лизина, или на 1,7 % больше, чем аналоги породы дюрок. Потребление питательных веществ свиньями крупной белой породы оказалось в конечном итоге на 4,0 % выше, чем у породы дюрок.

Таблица 96 – Потребление комбикормов в течение опыта, в среднем на одну голову, кг

Живая масса, кг	Генотип		
	крупная белая	белорусская мясная	дюрок
30-40	32,4	32,0	31,7
41-50	36,7	35,9	35,1
51-60	38,8	37,7	37,0
61-70	42,1	41,1	40,8
71-80	45,2	43,9	42,7
81-90	45,6	44,2	43,5
91-100	48,8	48,4	47,6
Итого:	259,6	283	278,4

По достижении животными живой массы 80 и 100 кг выполнено ещё два контрольных убоя (таблица 97). В результате проведённой обвалки туш установлены следующие закономерности мясной продуктивности подсвинков различных генотипов. Туши животных белорусской мясной породы и дюрока отличались более высоким содержанием мышечной ткани – соответственно 69,9 и 76,1 %, при этом толщина шпика над 6-7 грудными позвонками составила 22,0-24,2 мм. В тушах свиней крупной белой породы содержалось соответственно 67,8 % мяса при толщине шпика 22,8 мм.

Таблица 97 – Контрольный убой свиней, (n=5)

Генотип	Живая масса, кг перед убоем	Выход туши, %	Толщина шпика, мм	Содержится в туше, кг		Содержится в туше, %	
				мясо	сало	мясо	сало
<b>Живая масса 80 кг</b>							
КБ	80,5±3,1	58,3±1,3	20,0±3,8	34,1±2,1	9,1±2,7	67,4±4,5	17,5±4,8
БМП	80,3±1,3	61,8±1,7	22,5±1,8	34,7±0,7	6,6±1,0	72,2±1,8	13,6±1,8
Д	86,0±3,3	64,0±0,7	22,2±1,2	38,3±1,8	7,0±0,4	71,6±0,5	13,2±1,0
<b>Живая масса 100 кг</b>							
КБ	100,8±1,1	59,6±0,4	22,8±1,7	39,4±0,6	10,2±0,3	67,8±1,4	18,1±0,6
БМП	100,2±1,6	63,9±1,0	24,2±1,4	43,4±0,8	9,4±0,1	69,9±0,4	15,3±0,5
Д	96,3±0,7	64,5±1,1	22,0±2,6	45,9±0,3	8,4±0,3	76,1±0,4	14,0±0,4

Количество незаменимых аминокислот в мышечной ткани опытных животных приведено в таблице 98. Прослеживается тенденция постоянства в содержании отдельных аминокислот в мясе молодняка различных генотипов. Так, на протяжении всего периода выращивания с 30 до 100 кг живой массы максимально высокий уровень лизина, валина, триптофана и аргинина отмечен в мышечной ткани животных крупной белой породы, метионина – у свиней породы дюрок. Следовательно, каждый генотип характеризуется определённым, постоянным аминокислотным составом мышечной ткани.

На основании учёта потреблённых кормов, данных контрольных убоев было рассчитано количество питательных веществ, которые затрачивают животные мясных генотипов на синтез мышечной ткани. Из данных таблицы 99 видно, что подсвинки породы дюрок затрачивали при выращивании, как с 30 до 80 кг живой массы, так и до 100 кг живой массы, 1,155 кг сырого протеина и 0,063 кг лизина. Животные белорусской мясной и крупной белой пород расходовали равное количество протеина – 1,350 и 0,072 кг лизина.

Таблица 98 – Содержание аминокислот в мышечной ткани свиней

Генотип	Содержится в мышечной ткани, в % от сырого протеина								
	Аргинина	Валина	Гистидина	Лейцина	Лизина	Треонина	Фенилаланина	Изолейцина	Метионина
КБ	4,82±0,5	3,52±0,1	1,79±0,3	5,53±0,2	6,63±0,5	3,33±0,2	3,24±0,1	3,56±0,1	2,17±0,1
	4,25±0,4	3,43±0,1	1,98±0,4	5,89±0,3	5,89±0,5	3,53±0,3	2,97±0,3	3,24±0,2	2,26±0,1
	5,02±0,4	3,55±0,1	1,99±0,4	5,58±0,2	6,30±0,3	3,10±0,1	2,81±0,3	3,34±0,2	2,29±0,1
БМП	4,48±0,1	3,80±0,2	3,64±0,05	6,59±0,08	7,14±0,4	3,08±0,1	2,93±0,1	3,44±0,1	2,24±0,3
	4,15±0,2	3,24±0,2	2,92±0,2	5,76±0,4	5,90±0,2	2,57±0,2	2,65±0,2	3,07±0,3	2,16±0,1
	3,87±0,7	3,32±0,6	3,18±0,5	6,14±0,4	6,65±1,32	3,08±0,3	2,57±0,4	3,26±0,3	2,34±0,2
Дюрок	4,30±0,5	3,60±0,3	2,82±0,2	5,74±0,5	7,33±0,5	2,65±0,2	2,83±0,3	3,74±0,1	2,36±0,1
	4,11±0,3	3,23±0,4	3,26±0,3	5,84±0,5	7,11±0,5	2,83±0,2	2,46±0,1	3,17±0,4	2,24±0,1
	4,09±0,5	3,56±0,2	2,85±0,3	6,04±0,3	7,18±0,3	2,94±0,2	2,93±0,2	3,63±0,2	2,39±0,2
	Живая масса 30 кг								
	Живая масса 80 кг								
	Живая масса 100 кг								

Таблица 99 – Отложение в теле свиней белка (живая масса 30–80 кг)

Генотип	Содержится мышечной ткани в теле животного живой массой, кг	Отложено в теле за период роста с 30 до 80 кг			Потреблено за учетный период, кг			Затрачено на синтез 1 кг мяса (с 30 до 80 кг живой массы), кг	
		мышечной ткани	сырого протеина	лизина	комбикорма	сырого протеина	лизина	сырого протеина	лизина
КБ	8,44	34,2	25,75	5,53	195,2	33,80	1,860	1,351	0,072
	9,55	34,7	25,16	5,41	190,6	33,98	1,816	1,350	0,072
	9,40	38,3	28,90	6,21	187,3	33,39	1,785	1,155	0,063
БМП	8,44	39,4	30,96	6,65	289,6	49,12	2,659	1,586	0,086
	9,55	43,4	33,85	7,28	283,2	49,30	2,603	1,456	0,077
	9,40	45,9	36,50	7,84	278,4	48,46	2,490	1,328	0,068
Дюрок	8,44	34,2	25,75	5,53	195,2	33,80	1,860	1,351	0,072
	9,55	34,7	25,16	5,41	190,6	33,98	1,816	1,350	0,072
	9,40	38,3	28,90	6,21	187,3	33,39	1,785	1,155	0,063
	Живая масса 30–80 кг								
	Живая масса 30–100 кг								

При анализе затрат питательных веществ рационов в целом за опыт установлено, что животные породы дюрок сохранили свою высокую способность наращивания мышечной ткани при минимальных затратах сырого протеина – 1,328 кг и лизина – 0,068 кг на 1 кг мяса. Откормочники двух других генотипов к окончанию теста характеризовались несколько повышенным отложением жировой ткани, что в конечном итоге снизило эффективность использования питательных веществ рационов на синтез мышечной ткани. Затраты сырого протеина и лизина у животных белорусской мясной породы составили 1456 и 0,077 кг, а у крупной белой породы – 1,586 и 0,086 кг соответственно. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что чем выше содержание мышечной ткани в организме животного, тем меньшее количество незаменимых аминокислот (в первую очередь лизина) используется организмом для наращивания ее массы.

Таким образом, каждый генотип свиней характеризуется комплексом биологических особенностей, степенью развития пищеварительной системы, различным уровнем обменных процессов. Следовательно, и количество питательных веществ в рационе должно быть различным, поэтому представляется возможным на основе полученных нами материалов разработка для отдельных высокопродуктивных генотипов индивидуальных норм потребности в обменной энергии и незаменимых аминокислотах, что позволит значительно увеличить их генетически обусловленную мясную продуктивность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производство свинины в мире за последние десятилетия возросло в несколько раз, что является следствием увеличения численности населения планеты. Однако невозможность расширения сельскохозяйственных угодий для производства продуктов питания и кормов обязывает производство свинины развиваться, в первую очередь, за счёт повышения эффективности использования комбикормов без существенного увеличения их потребления.

Для реализации генетического потенциала мясной продуктивности современных пород свиней необходимо не просто увеличивать уровень потребления кормов, но и повышать в определённых пределах концентрацию обменной энергии, оптимизировав её соотношение с незаменимыми аминокислотами, в том числе и с учётом их доступности. Уровень обменной энергии в комбикормах не относится к гарантированным показателям их качества в связи со сложностью его определения в физиологических исследованиях, хотя он в большинстве случаев является определяющим величину конверсии корма и в целом рентабельность свиноводства.

Энергия генерируется при окислении органических соединений – углеводов, липидов, протеинов кормовых ингредиентов. В питании животных энергия представляет собой общий показатель, связанный со всеми питательными веществами кормовых ингредиентов. Количество присутствующей в корме химической энергии определяется путём её превращения в тепловую энергию и определения количества образующегося тепла. В нашей республике в качестве основного показателя энергетической питательности кормов и комбикормов для свиней используют величину обменной энергии в единице натурального корма или сухого вещества, чаще всего в 1 кг. Обменная энергия определяется как количество энергии в кормах за вычетом энергии, выведенной с фекалиями, мочой и кишечными газами. Поэтому разрабатываются уравнения регрессии на основе данных по содержанию в кормах переваримых питательных веществ, а в комбикормах – сырых питательных веществ.

Для уточнения количества обменной энергии в отдельных партиях ингредиентов комбикормов для свиней мы предлагаем использовать алгоритм расчётов, куда входят количественные показатели содержания сырых питательных веществ (протеина, жира, клетчатки, крахмала и сахара), коэффициенты переваримости этих веществ и константы энергетических значений. Значения обменной для кукурузы составили 13,96, тритикале – 13,75, пшеницы – 13,59 и овса – 10,92 МДж/кг натурального корма. Для семян рапса – 15,49 МДж/кг, продуктов его переработки:

рапсового шрота – 11,73, жмыха – 13,21, соевого шрота – 13,62 и подсолнечного шрота – 11,66 МДж/кг. Коэффициенты изменчивости данного показателя не превышают 5 %, что свидетельствует об объективности данного алгоритма расчётов при оценке значений обменной энергии в кормах для свиней.

Анализ производства зернофуража показывает, что помимо разумной сортовой и технологической политики постоянно придаётся огромное значение использованию зерна бобовых культур для сокращения дефицита растительного белка в кормовом балансе страны. В результате проведённых исследований установлена питательная ценность и содержание незаменимых аминокислот в зерне гороха, вики и узколистной люпина отечественных сортов селекции. Определены оптимальные нормы ввода в рационы и оценена эффективность скармливания молодняку свиней комбикормов с включением зерна бобовых культур, прошедших различные виды влаготепловых обработок.

Апробирован механизм снижения затрат сырого протеина в рационах молодняку свиней за счёт физиологически обоснованной оптимизации количества и усвояемости потребляемых ими незаменимых аминокислот. Сущность его заключается в нормировании количества лизина на 1 МДж обменной энергии рационов при условии соблюдения соотношений между общими незаменимыми аминокислотами. В 1 кг комбикорма влажностью 14 % для поросят на доращивании на 1 МДж обменной энергии необходимо не менее 0,81 г, в I период откорма – 0,70 г, во II период – 0,65 г лизина. Нормирование остальных (в т. ч. и доступных) незаменимых аминокислот рассчитывается в процентах по отношению к лизину: метионин с цистином – 62 %, треонин – 68 %, триптофан – 20 %. Такой принцип обеспечивает потребность организма растущего животного в незаменимых аминокислотах без их избытка и позволяет снизить уровень сырого протеина в комбикормах на 5-10 % при достоверном увеличении среднесуточных приростов живой массы поросят на доращивании на 74 г или на 13,4 % ( $P < 0,001$ ), в I период откорма – на 54 г и во II период – на 41 г ( $P < 0,05$ ). Снижение уровня сырого протеина при оптимизации соотношений энергии, незаменимых и заменимых аминокислот в комбикормах для молодняку свиней привело к экономии потребляемого корма на доращивании, в I и II периоды откорма – соответственно на 1,9 %, 2,3 и 6,7 %, обменной энергии – 1,9 %, 2,7 и 6,1 % и сырого протеина – 1,3 %, 0,8, и 6,1 %. Оптимизация аминокислотного состава и снижение уровня сырого протеина в комбикормах увеличивает переваримость питательных веществ корма: органического вещества – на 1,5 %, протеина – на 3,1 % и клетчатки – на 1,7 %. При этом уменьшается выведение азота из организма на 9 %.

Установлены возрастные особенности потребления и использования

растущим откармливаемым молодняком обменной энергии и незаменимых аминокислот. Так, количество энергии, расходуемое на поддержание обменных процессов, зависит от живой массы животного и интегрированно увеличивается с его ростом. Эффективность использования обменной энергии на прирост живой массы уменьшается с возрастом – соответственно 45,0 МДж, 53,3 и 56,0 МДж по периодам выращивания. В то же время повышение уровня обменной энергии на 1,5 % в комбикормах для поросят на дорастивании и откорме приводит к увеличению количества её потребления животными на 2,8-8,8 %, при этом затраты собственно на прирост живой массы имеют тенденцию к увеличению на 1,5-3,9 %, а, следовательно, и затраты на синтез 1 кг мясосальной продукции увеличиваются на 3,1-6,6 МДж.

Выявлены породные различия в потреблении и использовании на рост отдельных питательных веществ кормов. Молодняк породы дюрок затрачивал на единицу живой массы при выращивании, как с 30 до 80 кг, так и до 100 кг живой массы соответственно 1,161 и 1,366 кг сырого протеина, 0,066 и 0,077 кг лизина, в т. ч. 0,051 и 0,060 кг доступного. Животные белорусской мясной породы потребляли соответственно 1,356 и 1,498 кг сырого протеина, 0,079 и 0,085 кг лизина, в т. ч. 0,064 и 0,069 кг доступного. Затраты питательных веществ на прирост мышечной ткани у свиней крупной белой породы оказались наибольшими – 1,358 и 1,675 кг сырого протеина, 0,077 и 0,095 кг лизина, в т. ч. 0,062 и 0,076 кг доступного.

Установлено, что животные породы дюрок характеризовались более высокими темпами роста на протяжении всего периода выращивания – в среднем 781 г или на 4,7 % выше, чем у животных белорусской мясной породы. Порода дюрок отличалась от других генотипов и по содержанию мяса в тушах: превосходство над белорусской мясной породой составило 2,5 кг ( $P < 0,01$ ), а над крупной белой – 6,5 кг. Таким образом, прослеживается закономерность: чем выше содержание мышечной ткани в теле животных, тем меньшее количество незаменимых аминокислот (в первую очередь лизина) используется организмом для его роста.

Для совершенствования системы энерго-аминокислотного питания молодняка свиней предлагается использовать установленные нормы лизина и его соотношения с другим незаменимым аминокислотами - метионином, треонином и триптофаном (концепция «идеального» протеина), которые позволяют значительно снизить затраты протеина на единицу продукции и уточнить количество аминокислот, используемых для отложения белка в организме животного. На основе данной концепции разработаны наиболее эффективные уровни содержания обменной энергии в комбикормах молодняка свиней и её отношение к лизину.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аминокислотное питание животных и проблема белковых ресурсов : материалы конф. / Кубанский ГАУ. – Краснодар, 2005. – 410 с.
2. Биохимия и молекулярная биология : учеб. пособие / под ред. Ю. П. Фролова. – Самара, 2004. – 501 с.
3. Брыло, И. В. Нормы обменной энергии и незаменимых аминокислот в комбикормах для свиней с высокой мясной продуктивностью / И. В. Брыло, Н. А. Попков, В. М. Голушко // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2021. – Т. 56, ч. 2. – С. 146–157.
4. Буров, С. Аминокислотность корма влияет на качество мяса свиней / С. Буров, Ю. Гак, А. Луганцев // Животноводство России. – 2005. – № 9. – С. 33.
5. Гак, Ю. М. Продуктивность и особенности обмена веществ мышечной ткани свиней крупной белой породы в связи с возрастом и уровнем протеинового питания : дисс. ... канд. с.-х. наук : 06.02.02 / Ю. М. Гак. – Персиановский, 2003. – 182 с.
6. Головко, Е. Н. Доступность аминокислот в белковом питании моногастричных животных : монография / Е. Н. Головко, В. Г. Рядчиков, Н. Н. Забашта. – Краснодар : ФГБНУ СКНИИЖ, 2014. – 300 с.
7. Головко, Е. Н. Доступность аминокислот в кормлении свиней / Е. Н. Головко, М. О. Омаров, В. Г. Рядчиков // Научные основы ведения животноводства и кормопроизводства : сб. науч. тр. – Краснодар : СКНИИЖ, 1999. – С. 234–243.
8. Головко, Е. Н. Оценка эндогенных поступлений аминокислот в терминальном илеуме у растущих свиней методом перевода низкобелковую диету / Е. Н. Головко // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2009. – № 2. – С. 70–77.
9. Головко, Е. Н. Физиолого-биохимическое обоснование коррекции рационов для свиней по количеству истинно доступных аминокислот кормов на уровне терминального илеума : автореф. дисс. ... д-ра биол. наук : 03.03.01 / Е. Н. Головко. – Боровск, 2011. – 48 с.
10. Голозерный овёс в комбикормах для поросят / В. М. Голушко [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Минск : БИТ «Хата», 1999. – Т. 34. – С. 223–232.
11. Голушко, В. М. Динамический параметрический анализ аминокислотного питания свиней / В. М. Голушко, А. Я. Райхман, А. В. Голушко // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2016. – Т. 51, ч. 1. – С. 233–243.
12. Голушко, В. М. Приготовление влажного консервированного зерна кукурузы для свиноводства / В. М. Голушко, А. Н. Бич, С. А. Линкевич // Сельское хозяйство Беларуси. – 2008. – № 2(70). – С. 80–86.



13. Голушко, В. М. Совершенствование системы энерго-протеинового питания ремонтного и откармливаемого молодняка свиней : дисс. ... д-ра с.-х. наук в форме науч. докл. : 06.02.02 / В. М. Голушко. – Жодино, 1992. – 62 с.
14. Голушко, В. М. Сравнительная оценка различных пород и типов свиней по переваримости и эффективности использования кормов / В. М. Голушко, Г. Л. Папковский, Л. Н. Винник // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Минск, 1985. – Т. 26. – С. 27–32.
15. Голушко, В. М. Эффективность провита в составе комбикормов для свиней / В. М. Голушко, С. А. Линкевич, А. В. Голушко // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2008. – Т. 43, ч. 2. – С. 34–44.
16. Еримбетов, К. Т. Метаболизм белков у растущих бычков и свиней и факторы его регуляции : автореф. дисс... д-ра биол. наук : 03.00.13 / К. Т. Еримбетов. – Боровск, 2007. – 35 с.
17. Интенсификация производства продуктов животноводства : материалы Междунар. науч.-производств. конф., г. Жодино, 30-31 окт. 2002 г. / Ин-т животноводства НАН Беларуси. – Жодино, 2002. – 250 с.
18. Казанцев, А. А. Оптимизация рационов с учётом концепции «идеального протеина» / А. А. Казанцев, С. О. Османова, О. А. Слесарева // Свиноводство. – 2012. – № 2. – С. 52–54.
19. Каширина, М. «Идеальный протеин» для свиней / М. Каширина, Е. Головкин, М. Омаров // Животноводство России. – 2005. – № 9. – С. 29–30.
20. Клименко, Т. Оптимальное соотношение валина и лизина в рационах поросят в стартовый период / Т. Клименко // Свиноводство. – 2015. – № 2. – С. 25–26.
21. Клименко, Т. Сравнение разных источников метионина в рационах поросят / Т. Клименко // Свиноводство. – 2013. – № 1. – С. 56–57.
22. Коваленко, Б. П. Аккумуляция энергии в свинине как показатель методов разведения / Б. П. Коваленко // Современные тенденции и технологические инновации в свиноводстве : материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. – Жодино-Горки, 2012. – С. 83–87.
23. Кононенко, С. И. Тритикале в кормлении свиней / С. И. Кононенко // Научн. журнал КубГАУ. – 2011. – № 73(09). – С. 1–12.
24. Кулинцев, В. В. Потребность в лизине молодняка свиней / В. В. Кулинцев, С. О. Османова, М. О. Омаров // Аграрная наука. – 2011. – № 9. – С. 25–27.
25. Лизин монохлоридат в рационах кур-несушек / А. Лаврентьев [и др.] // Комбикорма. – 2014. – № 2. – С. 51–52.
26. Лучшее качество протеина – выше продуктивность / В. М. Голушко [и др.] // Животноводство России. – 2017. – № 5. – С. 29–32.

27. Махаев, Е. Протеиновое питание свиней мясного типа / Е. Махаев // Животноводство России. – 2009. – № 8. – С. 35–36.
28. Махаев, Е. А. Рекомендации по детализированному кормлению свиней мясного типа : рекомендации / Е. А. Махаев, А. Т. Мысик, Н. И. Стрекозов. – Подольск-Дубровицы : ВИЖ, 2016. – 118 с.
29. Махаев, Е. А Энергетическая ценность прироста и качества мяса у свиней мясного типа при разных уровнях кормления / Е. А. Махаев // Зоотехния. – 2003. – № 9. – С. 17–19.
30. Мошкучело, И. Вика в составе комбикормов для ремонтных свинок / И. Мошкучело, В. Николаев // Свиноводство. – 1988. – № 4. – С. 23–24.
31. Ниязов, Н. С.-А. Использование низкопротеинового комбикорма с добавками аминокислот у растущих свиней / Н. С.-А. Ниязов // Проблемы биологии продуктивных животных. — Боровск, 2009. – № 4. – С. 39–45.
32. Ниязов, Н. С.-А. Истинная иллеальная доступность аминокислот высокобелковых кормов у молодняка свиней / Н. С.-А. Ниязов, Е. В. Пьянкова // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2021. – №2. – С. 83–91.
33. Ниязов, Н. С.-А. Комбикорма для растущих свиней с различными уровнями сырого протеина и истинной доступности аминокислот для всасывания в кишечнике / Н. С.-А. Ниязов // Проблемы биологии продуктивных животных. – Боровск, 2021. – № 3. – С. 69–81.
34. Ниязов, Н. С.-А. Низкопротеиновые комбикорма, сбалансированные по доступным аминокислотам, в кормлении растущих свиней мясного типа / Н. С.-А. Ниязов, Д. Е. Панюшкин, Е. В. Пьянкова // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2022. – № 2. – С. 79–89.
35. Ниязов, Н. С.-А. Полнорационные комбикорма с различным уровнем протеина и аминокислот для свиней / Н. С.-А. Ниязов, В. Ф. Мишин, Ю. П. Мурашкин // Зоотехния. – 2007. – № 7. – С. 11–13.
36. Нормированное кормление свиней : рекомендации / В. М. Голушко [и др.]. – Жодино, 2019. – 96 с.
37. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных : справ. пособие / А. П. Калашников [и др.]. – 3-е изд. – Москва, 2003. – 456 с.
38. Овсянников, А. И. Основы опытного дела в животноводстве / А. И. Овсянников. – Москва : Колос, 1976. – 304 с.
39. Омаров, М. О. Влияние сбалансированности рационов по незаменимым аминокислотам на продуктивность молодняка свиней / М. О. Омаров, Е. Н. Головатко, В. Г. Рядчиков // Научные основы ведения животноводства и кормопроизводства : сб. науч. тр. / СКНИИЖ. – Краснодар, 1999. – С. 244–251.

40. Омаров, М. О. Определение доступности аминокислот зерна злаков для всасывания в кишечнике у молодняка свиней / М. О. Омаров, О. А. Слесарева, С. О. Османова // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2016. – № 3. – С. 82–90.
41. Омаров, М. О. Эффективность использования корма при разных уровнях триптофана в рационах молодняка свиней / М. О. Омаров // Актуальные проблемы научного обеспечения увеличения качества кормов и эффективного их использования : сб. науч. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. – Краснодар, 2001. – С. 254–255.
42. Перспективы развития свиноводства : материалы 10-й Международ. науч.-производств. конф., г. Гродно, 8-9 июля 2003 г. / Гродненский гос. аграрный ун-т. – Гродно, 2003. – 274 с.
43. Подобед, Л. И. Протеиновое и аминокислотное питание сельскохозяйственной птицы: структура, источники, оптимизация / Л. И. Подобед, Ю. Н. Вовкотруб, В. В. Боровик. – Одесса : Печатный дом, 2006. – 280 с.
44. Привалов, Ф. И. Достижения и проблемы селекции высокопродуктивных сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / Ф. И. Привалов, Э. П. Урбан // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. Аграрных навук. – 2016. – № 3. – С. 41–49.
45. Прошлое, настоящее и будущее зоотехнической науки : материалы междунар. науч.-практ. конф., 7-10 сент. 2004 г. / Всерос. гос. НИИ животноводства. – Дубровицы : ВИЖ, 2004. – 377 с.
46. Редкозубов, О. Рожь для снижения затрат в животноводстве / О. Редкозубов, А. Бирюкова, И. Высоцкий // Комбикорма. – 2018. – № 9. – С. 64–68.
47. Родионова, О. Н. Азотистый обмен и продуктивность свиней при выращивании на низкопротеиновых рационах с различными уровнями обменной энергии и лимитирующих аминокислот : автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.01.04 / О. Н. Родионова. – Боровск, 2011. – 25 с.
48. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика. – Минск : Высшая школа, 1973. – 327 с.
49. Рядчиков, В. Г. Аминокислотное питание свиней / В. Г. Рядчиков, М. О. Омаров, Б. Д. Кальницкий. – Москва, 2000. – 46 с.
50. Рядчиков, В. Г. Идеальный белок в рационах свиней и птиц / В. Г. Рядчиков, М. О. Омаров, С. Н. Полежаев // Животноводство России. – 2010. – № 2. – С. 49–51.
51. Рядчиков, В. Г. Нормы потребности свиней мясных пород и кроссов в энергии и переваримых аминокислот / В. Г. Рядчиков // Животноводство. – 2007. – № 11. – С. 21–24.
52. Рядчиков, В. Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных : учеб.-практ. пособие / В. Г. Рядчиков. – Краснодар :

КГАУ, 2013. – 616 с.

53. Рядчиков, В. Г. Потребность в лизине и эффективность его препаратов при кормлении свиней / В. Г. Рядчиков, М. О. Омаров, В. И. Лесных // Эффективность использования кормовых средств : сб. науч. тр. / СКНИИЖ. – Краснодар, 1987. – С. 5–16.

54. Рядчиков, В. Г. Потребность растущих свиней в переваримых аминокислотах / В. Г. Рядчиков // Животноводство России. – 2007. – №11. – С. 21–24.

55. Рядчиков, В. Г. Производство и рациональное использование белка / В. Г. Рядчиков, С. Л. Полежаев // Научные основы повышения продуктивности сельскохозяйственных животных : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., г. Краснодар, 22-23 апр. 2008 г. – Краснодар : СКНИИЖ, 2008. – С. 55-65.

56. Ситько, В. А. Повышение эффективности использования питательных веществ комбикормов для цыплят-бройлеров путём применения ферментных препаратов : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.02.02 / В. А. Ситько. – Горки, 2000. – 24 с.

57. Современные проблемы развития свиноводства : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Жодино, 23-24 авг. 2000 г. / Ин-т животноводства : редкол.: И. П. Шейко [и др.]. – Жодино, 2000. – 156 с.

58. Тарасенко, О. А. Улучшение конверсии белка жмыхов и шротов у растущих свиней / О. А. Тарасенко, Е. Н. Головки. С. И. Кононенко // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2009. – № 1. – С. 49–56.

59. Хохлов, А. М. Конверсионная способность генотипов свиней в зависимости от паратипических факторов / А. М. Хохлов, Г. С. Походня // Свиноводство. – 2006. – № 6. – С. 7–8.

60. Хту, Дж. Уровень доступного лизина, чистой энергии и продуктивность свиней / Дж. Хту, А. Клименко // Свиноводство. – 2018. – № 4. – С. 33–35.

61. Черепанов, Г. Г. Проблема взаимосвязи протеина и энергии при оценке в нутриентах и разработке систем питания продуктивных животных / Г. Г. Черепанов, Б. Д. Кальницкий // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2013. – № 2. – С. 5–35.

62. Additivity of values for apparent and standardized ileal digestibility of amino acids in mixed diets fed to growing pigs / Н. Н. Stein [et al.] // J. Anim. Sci. – 2005. – Vol. 83. – P. 2387–2395.

63. Adedokun, S. Metabolizable energy value of meat and bone meal for pigs / S. Adedokun, O. Adeola // J. Anim. Sci. – 2005. – Vol. 83. – P. 2519–2526.

64. Adeola, O. Hypothalamic neurotransmitter concentrations and meat quality in stressed pigs offered excess dietary tryptophan and tyrosine / O.

Adeola, R. O. Ball // *J. Anim. Sci.* – 1992. – Vol. 70. – P. 1888–1894.

65. Adequate oral threonine is critical for mucin production and gut function in neonatal piglets / G. Law [et al.] // *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver. Physiol.* – 2007. – Vol. 292. – P. 1293–1301.

66. Age at puberty, ovulation rate, and uterine length of developing gilts fed two lysine and three metabolizable energy concentrations from 100 d to 260 d of age / J. A. Calderon Diaz [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2015. – Vol. 93. – P. 3521–3527.

67. Akiba, Y. Duodenal chemosensing and mucosal defenses / Y. Akiba, J. D. Kaunitz // *Digest.* – 2011. – Vol. 83(1). – P. 25–31.

68. Alpha-ketoglutarate inhibits glutamine degradation and enhances protein synthesis in intestinal porcine epithelial cells / K. Yao [et al.] // *Amino Acids.* – 2012. – Vol. 42. – P. 2491–2500.

69. Al Sarraj, J. Regulation of asparagine synthetase gene transcription by the basic region leucine zipper transcription factors ATF5 and CHOP / J. Al Sarraj, C. Vinson, G. Thiel // *Biol. Chem.* – 2005. – Vol. 386(9). – P. 873–879.

70. Amino acids and immune function / P. Li. [et al.] // *Brit. J. Nutr.* – 2007. – Vol. 98. – P. 237–252.

71. Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application / H. H. Stein [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2007. – Vol. 85. – P. 172–180.

72. Amino acid: Biochemistry and nutrition / ed. G. Wu. – London - New York : CRC Press, 2010. – 482 p.

73. Amino acid digestibility of single cell protein from *Corynebacterium ammoniacum* genes in growing pigs / J. P. Wang [et al.] // *Anim. Feed Sci. Tech.* – 2013. – Vol. 180. – P. 111–114.

74. Amino acid metabolism in the portal-drained viscera of young pigs: effects of dietary supplementation with chitosan and pea hull / Y. L. Yin [et al.] // *Amino Acids.* – 2010. – Vol. 39. – P. 1581–1587.

75. Amino Acids in Animal Nutrition / ed. J. P. F. D'Mello. – 2nd ed. – Edinburgh, 2003. – 513 p.

76. Amino acids in swine nutrition // *Swine Nutrition* / A. J. Lewis ; ed. : L. L. Southern. – 2nd ed. Boca Raton. – Florida : CRC Press, 2001. – P. 131–150.

77. AmiPig. Ileal standardized digestibility of amino acid in feedstuffs for pigs / AFZ, Aginomoto Eurolysine, Aventis Animal Nutrition, INRA, ITCF // *FeedBase.com* [Electronic resource]. – 2000-2013. – Mode of access: <http://www.feedbase.com/downloads/amipeng.pdf>.

78. Amylolysis of large and small granules of native triticale, wheat and corn starches using a mixture of  $\alpha$ -amylase and glucoamylase / S. Naguleswaran [et al.] // *Carbohydr. Polym.* – 2012. – Vol. 88. – P. 864–874.

79. A note on the effect of the composition of barley produced at different locations on performance of growing pigs / M. E. Ball [et al.] // *Irish. J. Agric. Food Res.* – 2010. – Vol. 49. – P. 87–92.
80. Applying new research to sow feed costs // *Advances in Pork Production* / S. Moehn [et al.] ; ed. R. O. Ball. – Banff : Univ. Alberta, 2009. – P. 83–94.
81. Arginine, ornithine, and proline interconversion is dependent on small intestinal metabolism in neonatal pigs / R. F. P. Bertolo [et al.] // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* – 2003. – Vol. 284. – P. 915–922.
82. A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality / C. M. McGoverin [et al.] // *J. Sci. Food Agric.* – 2011. – Vol. 91. – P. 1155–1165.
83. A sulfur amino acid deficiency changes the amino acid composition of body protein in piglets / J. Conde-Aguilera [et al.] // *Anim.* – 2010. – Vol. 4(08). – P. 1349–1358.
84. A survey of aspartate-phenylalanine and glutamate-phenylalanine interactions in the protein data bank: searching for anion-pi pairs / V. Philip [et al.] // *J. Biochem.* – 2011. – Vol. 50(14). – P. 2939–2950.
85. A systems biology approach using transcriptomic data reveals genes and pathways in porcine skeletal muscle affected by dietary lysine / T. Wang [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2017. – Vol. 18. – P. 885–889.
86. A weak link in metabolism: the metabolic capacity for glycine biosynthesis does not satisfy the need for collagen synthesis / E. Melendez-Hevia [et al.] // *J. Biosci.* – 2009. – Vol. 34. – P. 853–872.
87. Bach Knudsen, K. E. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets / K. E. Bach Knudsen // *J. Poult. Sci.* – 2014. – Vol. 93. – P. 2380–2393.
88. Bach Knudsen, K. E. Triennial growth symposium: effects of polymeric carbohydrates on growth and development of pigs / K. E. Bach Knudsen // *J. Anim. Sci.* – 2011. – Vol. 89. – P. 1965–1980.
89. Baidoo, S. K. Hull-less barley for swine: Ileal and fecal digestibility of proximate nutrients, amino acids and non-starch polysaccharides / S. K. Baidoo, Y. G. Liu // *J. Sci. Food Agric.* – 1998. – Vol. 76. – P. 397–403.
90. Baker, D. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry / D. Baker // *Amino Acids.* – 2009. – Vol. 37(1). – P. 29–41.
91. Baldwin, R. L. Nutritional energetic of animals / R. L. Baldwin, A. C. Bywater // *Annu. Rev. Nutr.* – 1984. – Vol. 4. – P. 101–114.
92. Barley and oat cultivars with diverse carbohydrate composition alter ileal and total tract nutrient digestibility and fermentation metabolites in weaned piglets / R. Jha [et al.] // *Anim.* – 2010. – Vol. 4. – P. 724–731.
93. Battezzati, A. Amino acids: fuel, building blocks for proteins, and signals / A. Battezzati, P. Riso // *J. Nutr.* – 2002. – Vol. 18. – P. 773–774.

94. Bauchart-Thevret, C. Sulfur amino acid deficiency upregulates intestinal methionine cycle activity and suppresses epithelial growth in neonatal pigs / C. Bauchart-Thevret // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* – 2009. – Vol. 296 (6). –P. 1239–1250.
95. Beaulieu, A. Response to dietary digestible energy concentration in growing pigs fed cereal grain-based diets / A. Beaulieu, N. Williams, J. Patience // *J. Anim. Sci.* – 2009. – Vol. 87. – P. 965–976.
96. Bellengo, L. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets / L. Bellengo, J. Noblet // *Livest. Prod. Sci.* – 2002. – Vol. 4. – P. 5–11.
97. Bioavailability: the energy component of a ration for monogastric animals // *Feed evaluation: Principle and Practice* / J. L. Black ; ed. P. J. Moughan, M. W. A. Verstegen, M. I. Visser-Reyneveld. – Wageningen : Wageningen Press, 2000. – P. 133–152.
98. Bioefficacy of L-lisine sulfate compared with feed-grade L-lisine HCl in young pigs / M. R. Smiricky-Tjardes [et. al.]. // *J. Anim. Sci.* – 2004. – Vol. 82. – P. 2610–2614.
99. Bioenergetics: The role of ATP // *Harper's Biochemistry* / P. A. Mayes ; ed. : R. K Murry [et al.]. – 25th ed. – NY : McGraw-Hill, 2000. – P. 123–129.
100. Birkett, S. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals / S. Birkett, K. de Lange // *Br. J. Nutr.* – 2001. – Vol. 86. – P. 647–659.
101. Blaxter, K. L. Energy metabolism in animals and man / K. L. Blaxter. – Cambridge : Cambridge Univer. Press. – 1989. – P. 336.
102. Boar Nutrition for Optimum Sperm Production / M. E. Wilson [et al.] // *Adv. Pork Prod.* – 2004. – Vol. 15. – P. 295–306.
103. Boisen, S. A new protein evaluation system for pig feeds and its practical application / S. Boisen // *Anim. Sci.* – 1998. – Vol.48. – P. 1–11.
104. Boisen, S. Evaluation of feedstuffs and pig diets. Energy or nutrient-based evaluation systems? / S. Boisen, M.W.A Verstegen // *J. Anim. Sci.* – 1998. –Vol. 48. –P 86–94.
105. Boisen, S. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation / S. Boisen, T. Hvelpund, M. R. Weisbjerg // *Livest. Produc. Sci.* – 2000. – Vol. 64. –P. 239–251.
106. Boisen, S. Ideal protein and its suitability to characterize protein quality in pig feeds / S. Boisen // *Anim. Sci.* – 1997. – Vol. 47. – P. 31–38.
107. Boisen, S. Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyses / S. Boisen, J. A. Fernandez // *Anim. Feed Sci. Techn.* – 1995. – Vol. 51. – P. 29–43.
108. Branched-chain amino acids are beneficial to maintain growth

performance and intestinal immune-related function in weaned piglets fed protein restricted diet / M. Ren [et al.] // *Asian-Austral. J. Anim. Sci.* – 2015. – Vol. 28. – P. 1742.

109. Breier, B. H. Regulation of protein and energy metabolism by the somatotrophic axis / B. H. Breier // *Domest. Anim. Endocrinol.* – 1999. – Vol. 17. – P. 209–218.

110. Bruininx, E. Oxidation of dietary stearic, oleic and linoleic acids in growing pigs follows a biphasic pattern / E. Bruininx // *J. Nutr.* – 2011. – Vol. 141. – P. 1657–1663.

111. Boye, J. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method / J. Boye, R. Wijesinha-Bettoni, B. Burlingame // *Brit. J. Nutr.* – 2012. – Vol. 108. – P. 183–211.

112. Calder, P. C. Branched-chain amino acid and immunity / P. C. Calder // *J. Nutr.* – 2006. – Vol. 136. – P. 288–293.

113. Carbohydrates and carbohydrate utilization in swine // *Sustainable swine nutrition* / K. E. Bach Knudsen, H. N. Laerke, H. Jørgensen ; ed. L. I. Chiba. – Ames, US : Wiley, 2013. – P. 109–137.

114. Carbohydrates // *Modern nutrition in health and disease* / N. L. Kiem, R. J. Levin, P. J. Havel ; eds. A. C. Ross [et al.]. – 11-th ed. – Baltimore : Lippincott Williams & Wilkins, 2014. – P. 36–57.

115. c-DNA cloning, genomic structure, chromosomal mapping, and functional expression of a novel human alanine aminotransferase / R. Z. Yang [et al.] // *Genomics.* – 2002. – Vol. 79(3). – P. 445–450.

116. Cervantes-Pahm, S. K. Comparative digestibility of energy and nutrients and fermentability of dietary fiber in eight cereal grains fed to pigs / S. K. Cervantes-Pahm, Y. Liu, H. H. Stein // *J. Sci. Food Agric.* – 2014. – Vol. 94. – P. 841–849.

117. Chung, T. K. Utilization of methionine isomers and analogs by the pig. / T. K. Chung, D. H. Baker // *Can. J. Anim. Sci.* – 1992. – Vol. 72. – P. 185–188.

118. Chwalibog, A. Energetics of animal production / A. Chwalibog // *Acta Agric. Scand.* – 1991. – Vol. 41. – P. 147–160.

119. Ciftci, I. Use of triticale alone and in combination with wheat or maize: effects of diet type and enzyme supplementation on hen performance, egg quality, organ weights, intestinal viscosity and digestive system characteristics / I. Ciftci, E. Yenice, H. Eleroglu // *Anim. Feed Sci. Tech.* – 2003. – Vol. 105. – P. 149–161.

120. Close, W. H. Nutrition of sows and boars / W. H. Close, D. J. A. Cole. Trumpton, UK : Nottingham Univ., 2000. – 258 p.

121. Coffey, M. T. Digestibility and feeding value of b858 triticale for swine / M. T. Coffey, W. J. Gerrits // *J. Anim. Sci.* – 2009. – Vol. 66. – P.



2728–2735.

122. Cole, M. Energy systems in pig feed formulation / M. Cole // *Feed*. – 1995. – Vol. 15. – P. 18–19.

123. Coma, J. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs / J. Coma, D. Carrion, D. R. Zimmerman // *J. Anim. Sci.* – 1995. – Vol. 73. – P. 472–481.

124. Corns with different nutritional profiles on growing and finishing pigs feeding (30 to 90 kg) / G. C Oliveira [et al.]. // *Asian-Austral. J. Anim. Sci.* – 2011. – Vol. 24(7). – P. 982–992.

125. Cowieson, A. J. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers / A. J. Cowieson // *Anim. Feed Sci. Tech.* – 2005. – Vol. 115. – P. 293–305.

126. Dai, Z. L. Amino acid metabolism in intestinal bacteria: Links between gut ecology and host health / Z. L. Dai, G. Wu, W. Y. Zhu // *Front. Biosci.* – 2011. – Vol. 16. – P. 1768–1786.

127. Darragh, A. J. Quantifying the digestibility of dietary protein / A. J. Darragh, S. M. Hodgkinson // *J. Nutr.* – 2000. – Vol. 130. – P. 1850–1856.

128. Deficiency or excess of dietary threonine reduces protein synthesis in jejunum and skeletal muscle of young pigs / X. Wang [et al.]. // *J. Nutr.* – 2007. – Vol. 137(1). – P. 442–446.

129. Degree of amino acid restrictions during the grower phase and compensatory growth in pigs selected for lean growth efficiency / J. Fabian [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 80. – P. 2610–2618.

130. De la Llata, M. Effects of dietary fat on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs reared in a commercial environment / M. De la Llata, S. S. Dritz, M. D. Tokach // *J. Anim. Sci.* – 2001. – Vol. 79. – P. 2643–2650.

131. de Lange, C. F. M. Application of pig growth models in commercial pork production / C. F. M. de Lange, B. J. Marty, S. Birkett // *Can. J. Anim. Sci.* – 2001. – Vol. 81. – P. 1–8.

132. de Lange, C. F. M. Characterization of useful energy content in swine and poultry feed ingredients / C. F. M. de Lange, S. H. Birkett // *Can. J. Anim. Sci.* – 2005. – Vol. 85. – P. 269–280.

133. De Lange, C. F. M. The effect of protein status of the pig on the recovery and amino acid composition of endogenous protein in digesta collected from the distal ileum / C. F. M. De Lange, W.C. Sauer, W.B. Souffrant // *J. Anim. Sci.* – 1989. – Vol. 67. – P. 755–762.

134. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in pigs: effect of dietary amino acid level / M. Z. Fan [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1994. – Vol. 72. – P. 2851–2859.

135. Determination of D-serine and D-alanine in the tissues and physiological fluids of mice with various D-amino-acid oxidase activities using two-

dimensional high-performance liquid chromatography with fluorescence detection / Y. Miyoshi [et al.] // *J. Anal. Technol. Biomed. Sci.* – 2009. – Vol. 877. – P. 2506–2512.

136. Determining an optimum lysine: calorie ratio for barrows and gilts in a commercial finishing facility / R. G. Main [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2008. – Vol. 86. – P. 2190–2207.

137. Determining the effect of lysine: calorie ratio on growth performance of ten- to twenty- kilogram of body weight nursery pigs of two different genotypes / J. D. Schneider [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2010. – Vol. 88. – P. 137–146.

138. Determining the optimal Lys: calorie ratio for growth performance for 10 to 25 kg nursery pigs / J. D. Schneider [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2005. – Vol. 83. – P. 70.

139. Dietary arginine supplementation alleviates intestinal mucosal disruption induced by *Escherichia coli* lipopolysaccharide in weaned pigs / Y. L. Liu [et al.] // *Bri. J. Nutr.* – 2008. – Vol. 100. – P. 552–560.

140. Dietary indigestible components exert different regional effects on luminal mucin secretion through their bulk-forming property and fermentability / H. Tanabe [et al.] // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* – 2006. – Vol. 70. – P. 1188–1194.

141. Dietary L-arginine supplementation enhances intestinal development and expression of vascular endothelial growth factor in weanling piglets / K. Yao [et al.] // *Br. J. Nutr.* – 2011. – Vol. 105. – P. 703–709.

142. Dietary L-arginine supplementation enhances the reproductive performance of gilts / R. D. Mateo [et al.] // *J. Nutr.* – 2007. – Vol. 137. – P. 652–656.

143. Dietary L-arginine supplementation enhances the immune status in early-weaned piglets / B. Tan [et al.] // *Amino Acids* – 2009. – Vol. 37(2). – P. 323–331.

144. Dietary lysine requirement of sows increases in late gestation / R. S. Samuel [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2012. – Vol. 90. – P. 4896–4904.

145. Dietary requirements of «nutritionally nonessential amino acids» by animals and humans / G. Wu [et al.] // *Amino Acids*. – 2013. – Vol. 44. – P. 1107–1113.

146. Dietary restriction of single essential amino acids reduces plasma insulin-like growth factor-I but does not affect plasma IGF-binding protein-1 in rats / A. Takenaka [et al.] // *J. Nutr.* – 2000. – Vol. 130. – P. 2910–2914.

147. Dietary supplementation of branched-chain amino acids increases muscle net amino acid fluxes through elevating their substrate availability and intramuscular catabolism in young pigs / L. Zheng [et al.] // *Brit. J. Nutr.* – 2017. – Vol. 117. – P. 911–922.

148. Dietary threonine restriction specifically reduces intestinal mucin

synthesis in rats / M. Faure [et al.] // *J. Nutr.* – 2005. – Vol. 135. – P. 486–491.

149. Difference in rates of net portal absorption between crystalline and protein-bound lysine and threonine in growing pigs fed once daily / J. T. Yen [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2004. – Vol. 82(4). – P. 1079–1090.

150. Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran / A. Wilfart [et al.] // *Brit. J. Nutr.* – 2007. – Vol. 98. – P. 54–62.

151. Digestible lysine and threonine levels in sorghum-soybean meal diets for growing pigs / M. Lopez [et al.] // *Arch. Zootechnia* – 2010. – Vol. 59. – P. 205–216.

152. Digestible lysine levels in low-protein diets supplemented with synthetic amino acids for nursery, growing, and finishing barrows / J. L. Figueroa [et al.] // *Irish J. Agri. Food Res.* – 2012. – Vol. 51. – P. 33–44.

153. Digestion and balance techniques in pigs // *Swine Nutrition* / O. Adeola ; ed. : A. J. Lewis, L. L. Southern. – 2nd ed. – Washington : CRC Press, 2001. – P. 903–916.

154. Digestive and metabolic utilization of dietary energy in pig feeds: Comparison of energy systems // *Recent advances in animal nutrition* / J. Noblet ; ed. : P. C. Garnsworthy, J. Wiseman, W. Haresign. – Nottingham : Nottingham Univ. Press, 1996. – P. 207–231.

155. Disease of the reproductive system // *Diseases of swine* / G. Almond [et al.] ; ed. : B. E. Straw [et al.]. – 9th ed. – Ames : Blackwell Publish, 2006. – P. 113–147.

156. Dourmad, J. Y. Dietary lysine and threonine requirements of the pregnant sow estimated by nitrogen balance / J. Y. Dourmad, M. Etienne // *J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 80(8). – P. 2144–2150.

157. Dourmad, J. Y. Effect of protein and lysine supply on performance, nitrogen balance, and body composition changes of sows during lactation / J. Y. Dourmad, J. Noblet, M. Etienne // *J. Anim. Sci.* – 1998. – Vol. 76(2). – P. 542–550.

158. Drew, M. D. Glycemic index of starch affects nitrogen retention in grower pigs / M. D. Drew, T. C. Schafer, R. T. Zijlstra // *J. Anim. Sci.* – 2012. – Vol. 90. – P. 1233–1241.

159. Dy, M. Histamine-cytokine connection in immunity and hematopoiesis / M. Dy, E. Schneider // *Cytok. Grow. Factor Rev.* – 2004. – Vol. 15(5). – P. 393–410.

160. Dynkowska, W. M. Rye (*Secale Cecale* L.) arabinoxylans: molecular structure, physicochemicals properties and their resulting pro-health effects / W. M. Dynkowska // *Plant Breeding and Seed Sci.* – 2020. – Vol. 81. – P. 13–32.

161. Eder, K. Studies on the tryptophan requirement of piglets / K. Eder

- S. Peganova, H. Kluge // Arch. Anim. Nutr. – 2001. – Vol. 55. – P. 281–297.
162. Effect of arginine on development, mucosal morphology and IL-2 gene expression levels of digestive tract in early-weaned piglets / B. E. Tan [et al.] // Sci. Agr. Sin. – 2008. – Vol. 41(9). – P. 2783–2788.
163. Effect of body weight and pig individuality on apparent ileal digestibility of amino acids and total nitrogen / S. Nitrayova [et al.] // Slovak J. Anim. Sci. – 2006. – Vol. 39. – P. 65–68.
164. Effect of dietary crude protein levels in a commercial range, on the nitrogen balance, ammonia emission and pollutant characteristics of slurry in fattening pigs / F. Hernandez [et al.] // Animal. – 2011. – Vol. 5(8). – P. 1290–1298.
165. Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork / D. P. Witte [et al.] // J. Anim. Sci. – 2000. – Vol. 78. – P. 1272–1276.
166. Effect of dietary restrictions on growth performance and carcass quality of pigs selected for lean growth efficiency / L.I. Chiba [et al.] // Livestock Prod. Sci. – 2002. – Vol. 74. – P. 93–102.
167. Effect of dietary source and lysine: DE ratio on growth performance, meat quality, and body composition of growing-finishing pigs / C. Szabó [et al.] // J. Anim. Sci. – 2001. – Vol. 79. – P. 2857–2865.
168. Effect of different dietary protein levels and amino acids supplementation patterns on growth performance, carcass characteristics and nitrogen excretion in growing-finishing pigs / Y. Zhao [et al.] // J. Anim. Sci. Biotech. – 2019. – Vol. 10. – P. 75-84.
169. Effect of energy intake and body weight on physical and chemical body composition in growing entire male pigs / R. N. Weis [et al.] // J. Anim. Sci. – 2004. – Vol. 82. – P. 109–121.
170. Effect of extra maternal feed supply in early gestation on sow and piglet performance and production and meat quality of growing finishing pigs / A. Heyer [et al.] // Acta Agric. Scand. – 2004. – Vol. 54. – P. 44–55.
171. Effect of feed texture, meal frequency and pre-slaughter fasting on behaviour, stomach content and carcass microbial quality in pigs / L. Saucier [et al.] // Can. J. Anim. Sci. – 2007. – Vol. 87. – P. 479–487.
172. Effect of gestation feeding method on sow performance in lactation / M. G. Young [et al.] // J. Anim. Sci. – 2003. – Vol. 81(1). – P. 59.
173. Effect of glutamine and spray-dried plasma on growth performance, small intestinal morphology, and immune responses of E.coli challenged weaned pigs / G. F. Yi [et al.] // J. Anim. Sci. – 2005. – Vol. 83. – P. 634–643.
174. Effect of increasing lysine: net energy ratio on growth performance and plasma urea nitrogen concentration of late-finishing barrows fed low-protein amino acid- supplemented diets and ractopamine // Nebraska Swine

Report / R. Moreno, P. S. Miller ; ed. T. E. Burkey. – Lincoln : University of Nebraska, 2008. – P. 30–32.

175. Effect of lysine and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork / D. P. Witte [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 78. – P. 1272–1276.

176. Effect of nutrient intake in lactation on sow performance: Determining the threonine requirement of the high-producing lactating sow / D. R. Cooper [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2001. – Vol. 79. – P. 2378–2387.

177. Effect of protein intake during gestation and lactation on the lactational performance of primiparous sows / J. Kusina [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 77. – P. 931–941.

178. Effect of reduced crude protein on ammonia, methane, and chemical odorants emitted from pig houses / M. J. Hansen [et al.] // *Livestock Sci.* – 2014. – Vol. 169. – P. 118–124.

179. Effect of reducing dietary protein and lysine on growth performance, carcass characteristics, intramuscular fat, and fatty acid profile of finishing barrows / N. Tous [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2014. – Vol. 92. – P. 129–140.

180. Effect of supplemental tryptophan, vitamin E, and herbal product on responses by pigs to vibration / E. Peeters [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2004. – Vol. 82. – P. 2410–2420.

181. Effects of acidifier added to diets containing graded levels of tryptophan on growth performance, protein digestibility, and on brain serotonin level in broiler chickens / S. Smulikowska [et al.] // *J. Anim. Feed Sci.* – 2004. – Vol. 13. – P. 289–300.

182. Effects of a growth-altering pre-pubertal feeding regimen on gilt growth and reproductive longevity / P. A. Lyvers-Peffer [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2003. – Vol. 81(1). – P. 112–124.

183. Effects of amino acid-derived luminal metabolites on the colonic epithelium and physiopathological consequences / F. Blachier [et al.] // *Amino Acids.* – 2007. – Vol. 33(4). – P. 547–562.

184. Effects of amino acids and energy intake during late gestation of high-performing gilts and sows on litter and reproductive performance under commercial conditions / M. A. D. Gonsalves [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2016. – Vol. 94. – P. 1993–2003.

185. Effects of amino acids and their derivatives on meat quality of finishing pigs / Ma. Xianying [et al.] // *J. Food Sci. Technol.* – 2019. – Vol. 57(1). – P. 12–19.

186. Effects of dietary fat inclusion at two energy levels on reproductive performance, milk compositions and blood profiles in lactating sows / M. S. Park [et al.] // *Acta Agr. Scand.* – 2008. – Vol. 58. – P. 121–128.

187. Effects of dietary lysine and energy density on performance and carcass characteristics of finishing pigs fed ractopamine / J. K. Apple [et al.] //

J. Anim. Sci. – 2004. – Vol. 82. – P. 3277–3287.

188. Effects of dietary lysine intake during lactation on blood metabolites, hormones, and reproductive performance in primiparous sows / H. Yang [et al.] // J. Anim. Sci. – 2000. – Vol. 78. – P. 1001–1009.

189. Effects of dietary lysine levels on growth performance and nutrient digestibility of boar and gilt / S. H. Bae [et al.] // J. Anim. Nutr. Feed. – 1998. – Vol. 22. – P.157–164.

190. Effects of dietary soybean oil on pig growth performance, retention of protein, lipids, and energy, and on the net energy of corn in diets fed to growing or finishing pigs / D. Y. Kil [et al.] // J. Anim. Sci. – 2013. – Vol. 91. – P. 3283–3290.

191. Effects of different dietary threonine levels on growth and slaughter performance in finishing pigs / C. Plitzner [et al.] // Czech. Anim. Sci. – 2007. – Vol. 52. – P. 447–455.

192. Effects of energy intake and body weight on physical and chemical body composition in growing entire male pigs / R. N. Weis [et al.] // J. Anim. Sci. – 2004. – Vol. 82. – P. 109–121.

193. Effects of galacto-oligosaccharide ingestion on the mucosa-associated mucins and sucrose activity in the small intestine of mice / G. Leforestier [et al.] // Eur. J. Nutr. – 2009. – Vol. 48. – P. 457–464.

194. Effects of genotype and harvest year on content and composition of dietary fibre in rye (*Secale cereale* L.) grain / H. Boskov Hansen [et al.] // J. Sci. Food Agric. – 2003. – Vol. 83(1). – P. 76–85.

195. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs / A. Owusu-Asiedu [et al.] // J. Anim. Sci. – 2006. – Vol. 84. – P. 843–852.

196. Effects of high fibre and low protein diets on performance, digestibility, nitrogen excretion and ammonia emission in the heavy pig / G. Galassi [et al.] // Anim. Feed Sci. Techn. – 2010. – Vol. 161. – P. 140–148.

197. Effects of increasing dietary standardized ileal digestible lysine for gilts grown in a commercial finishing environment / N. W. Shelton [et al.] // J. Anim. Sci. – 2011. – Vol. 89. – P. 3587–3595.

198. Effects of increasing feeding level during late gestation on sow and litter performance / N. W. Shelton [et al.] ; ed. B. Goodband [et al.]. – NY : Agric. Exper., 2009. – P. 38–50.

199. Effects of increasing feeding levels in sows during late gestation on piglet birth weights / J. Soto [et al.] // J. Anim. Sci. – 2011. – Vol. 89. – P.86–92.

200. Effects of increasing lysine to calorie ratio and added fat for growing-finishing pigs reared in a commercial environment. Growth performance and carcass characteristics / M. De la Llata [et al.] // J. Anim. Sci. – 2007. –

Vol. 23. – P. 417–428.

201. Effects of increasing standard ileal digestible (SID) lysine to metabolizable energy ratios on performance of 55 to 80 kg gilts in a commercial finishing environment / N. W. Shelton [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2009. – Vol. 87. – P. 86–89.

202. Effects of low crude protein diets supplemented with synthetic amino acid on performance, nutrient utilization and carcass characteristics in finishing pigs reared using a phase feeding regimen / J. H. Lee [et al.] // *Asuan-Austral. J. Anim. Sci.* – 2001. – Vol. 14. – P. 655–667.

203. Effects of low protein diets on growth performance, carcass traits and ammonia emission of barrows and gilts / J. Madrid [et al.] // *Anim. Prod. Sci.* – 2013. – Vol. 53. – P. 146–153.

204. Effects of lower dietary lysine and energy content on carcass characteristics and meat quality in growing-finishing pigs / J. Zhang [et al.] // *Asian–Aust. J. Anim. Sci.* – 2008. – Vol. 21, No. 12. – P. 1785–1793.

205. Effects of lowering dietary fiber before marketing on finishing pig growth performance, carcass characteristics, carcass fat quality, and intestinal weights / M. Asmus [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2014. – Vol. 92. – P. 119–128.

206. Effects of lysine: calorie ratio on growth performance of 10 to 25 kilogram pigs / J. W. Smith [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 77. – P. 3000–3006.

207. Effects of lysine: DE ratio on growth performance and nutrients digestibilities in growing pigs / H. J. Jung [et al.] // *Korean. J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 41. – P. 435–439.

208. Effects of lysine intake during late gestation and lactation on blood metabolites, hormones, milk composition and reproductive performance in primiparous and multiparous sows / Y. X. Yang [et al.] // *Anim. Reprod. Sci.* – 2009. – Vol. 112. – P. 199–214.

209. Effects of porcine somatotropin and dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of finishing swine / R. D. Goodband [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1990. – Vol. 68. – P. 3261–3276.

210. Effects of protein deprivation on subsequent growth performance, gain of body components, and protein requirements in growing pigs / K. Y. Wang [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2003. – Vol. 81. – P. 705–716.

211. Effects of standardized ileal digestible tryptophan: lysine in diets containing 30 % dried distillers grains with solubles on finishing pig performance and carcass traits / J. A. Salyer [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2013. – Vol. 91. – P. 3244–3252.

212. Effects of supplemental L-tryptophan on serotonin, cortisol, intestinal integrity, and behaviour in weanling piglets / S. J. Koopmans [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2006. – Vol. 84. – P. 963–971.

213. Embryonic and fetal development in a commercial dam-line

genotype / S. C. Town [et al.] // *Anim. Reprod. Sci.* – 2005. – Vol. 85. – P. 301–316.

214. Emmert, J. L. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets / J. L. Emmert, D. H. Baker // *J. Appl. Poultry Res.* – 1997. – Vol. 6. – P. 462–470.

215. Endogenous synthesis of amino acids limits growth, lactation and reproduction of animals / Y. Hou [et al.] // *Adv. Nutr.* – 2016. – Vol. 7. – P. 331–42.

216. Energetische Futterbewertung und Energienormen / ed. R. Schiemann[et al.]. – Berlin : VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1972. – 344 p.

217. Energy-amino acid interaction in modern pig genotypes // *Recent developments in pig nutrition* / T. A. Van Lunen, D. J. A. Cole ; ed. P. C. Garnsworthy, J. Wiseman. – Nottingham : Nottingham University Press, 2001. – P. 439–466.

218. Energy flows // *A quantitative biology of the pig* / G. C. Emmans ; ed. I. Kyriazakis. – Wallingford : CABI Publis., 1999. – P. 363–377.

219. Energy metabolism. In: *Basic animal nutrition and feeding* / W. G. Pond [et al.] ; ed. R. Hope. – 5th ed. – New York : Wiley & Sons, 2005. – P. 242–258.

220. *Energy Metabolism. Vol. 11* / K. Nehring [et al.]. ; ed. K. L. Blaxter. – London : Academic Press, NY : E.A.A.P. Publis. – 1965. – 249 p.

221. *Energy metabolism in animals* // *Proceedings of the 15th Symposium on energy metabolism in animals* / ed. : A. Chwalibog, K. Jakobsen. – Wageningen, NL : Wageningen Pers, 2000. – 466 p.

222. *Energy metabolism of farm animals* // *Energy metabolism in farm animals* / A. J. H. Van Es, H. A. Boekholt ; ed. : M. W. A. Verstegen, A. M. Henken. Dordrecht, NL : Martinus Nijhoff Publish., 1987. – P. 3–19.

223. *Energy requirements for maintenance and production* // *Modeling ruminant digestion and metabolism* / R. L. Baldwin ; ed. R. L. Baldwin. – London : Chapman and Hall, 1995. – P. 148–188.

224. Englyst, K. N. *Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates* / K. N. Englyst, S. Liu, H. N. Englyst // *Eur. J. Clin. Nutr.* – 2007. – Vol. 61. – P. 19–39.

225. Estimation of the optimum ratio of standardized ileal digestible isoleucine to lysine for eight- to twenty-five-kilogram pigs in diets containing spray-dried blood cells or corn gluten feed as a protein source / M. K. Wiltafsky [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2009. – Vol. 87. – P. 2554–2564.

226. Evaluation through literature data of the amount and amino acid composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs / A. Jansman [et al.] // *Anim. Feed Sci. Tech.* – 2002. – Vol. 98. – P. 49–60.

227. Exploring gastric emptying rate in minipigs: Effect of food type and pre-dosing of metoclopramide / L. J. Henze [et al.]. // *Eur. J. Pharm. Sci.* –



2018. – Vol. 118. – P. 183–190.

228. Extensive gut metabolism limits the intestinal absorption of excessive supplemental dietary glutamate loads in infant pigs / M. J. Janeczko [et al.] // *J. Nutr.* – 2007. – Vol. 137. – P. 2384–2390.

229. Farran, M. T. Effect of excess leucine in low protein diet on ketosis in 3-week-old male broiler chicks fed different levels of isoleucine and valine / M. T. Farran, E. K. Barbour, V. M. Ashkarian // *Anim. Feed Sci. Techn.* – 2002. – Vol. 103. – P. 171–176.

230. Feed intake pattern during lactation and subsequent reproductive performance of sows / Y. Koketsu [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1996. – Vol. 74. – P. 2875–2884.

231. Feeding diets based on barley or triticale during fattening of high-meat PIC pigs: effects on carcass characteristics and meat quality parameters / T. Zofia [et al.] // *J. Acta Vet.* – 2011. – Vol. 61. – P. 67–75.

232. Feeding of developing and adult boars // *Swine Nutrition* / B. Kemp, N. M. Soede ; ed. : A. J. Lewis, L. L. Southern. – 2nd ed. – Boca Raton, Florida : CRC Press LLC, 2001. – P. 771–782.

233. Fernstrom, J. D. Tyrosine, phenylalanine, and catecholamine synthesis and function in the brain / J. D. Fernstrom, M. H. Fernstrom // *J. Nutr.* – 2007. – Vol. 137. – P. 1539–1547.

234. Ferrier, D. R. *Biochemistry* / D. R. Ferrier. – 6th ed. – Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2014. – P. 137–145.

235. Fitzpatrick, P. F. Mechanism of aromatic amino acid hydroxylation / P. F. Fitzpatrick // *Biochem.* – 2003. – Vol. 42(48). – P. 14083–14091.

236. Fortin, A. The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat / A. Fortin, W. M. Robertson, A. K. Wong // *Meat Sci.* – 2005. – Vol. 69. – P. 297–305.

237. Friedman, M. Nutritional and medicinal aspects of d-amino acid / M. Friedman, C. E. Levin // *Amino Acids.* – 2012. – Vol. 42. – P. 1553–1582.

238. Fuller, M. F. The amino acid requirements of pigs for maintenance and for growth / M. F. Fuller, R. William, T. C. Wang // *Anim. Prod.* – 1987. – Vol. 44. – P. 486.

239. Functional amino acids in swine nutrition and production // *Dynamics in animal nutrition* / G. Wu [et al.] ; ed. : J. Döppenberg, P. van der Aar. – Wageningen : Acad. Publish., 2010. – P. 69–98.

240. Functional and molecular analysis of D-serine transport in retinal Muller cells / Y. Dun [et al.] // *Exp. Eye Res.* – 2007. – Vol. 84(1). – P. 191–199.

241. Furuya, S. An essential role for de novo biosynthesis of L-serine in CNS development / S. Furuya // *As. Pac. J. Clin. Nutr.* – 2008. – Vol. 17(S1). – P. 312–315.

242. Gareau, M. G. Intestinal defenses - Maintenance of intestinal barrier

function in host defense / M. G. Gareau, M. H. Perdue, P. M. Sherman // *US Gastroenterol. Rev.* – 2007. – Vol. – P. 57–58.

243. Gender-associated impact of early leucine supplementation on adult predisposition to obesity in rats / N. Lopez [et al.] // *J. Nutr.* – 2018. – Vol. 10. – P. 76.

244. Gene expression is altered in piglet small intestine by weaning and dietary glutamine supplementation / J. Wang [et al.] // *J. Nutr.* – 2008. – Vol. 138(6). – P. 1025–1032.

245. Genotype with nutrition interactions for carcass composition and meat quality in pig genotypes selected for components of efficient lean growth rate / N. D. Cameron [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 69. – P. 69–80.

246. Gill, B. P. Body composition of breeding gilts in response to dietary protein and energy balance from thirty kilograms of body weight to completion of first parity / B. P. Gill // *J. Anim. Sci.* – 2006. – Vol. 84. – P. 1926–1934.

247. Glutamate reduces experimental intestinal hyperpermeability and facilitates glutamine support of gut integrity / M. A. Vermeulen [et al.] // *J. Gastroenterol.* – 2011. – Vol. 17. – P. 1569–1573.

248. Glutamine supplementation in serious illness: a systematic review of the evidence / F. Novak [et al.] // *Crit. Care Med.* – 2002. – Vol. 30(9). – P. 2022–2029.

249. Glutamine, gene expression, and cell function / R. Curi [et al.] // *Front Biosci.* – 2007. – Vol. 12. – P. 344–357.

250. Glutathione metabolism and its implications for health / G. Wu [et al.] // *J. Nutr.* – 2004. – Vol. 134(3). – P. 489–492.

251. Glycine metabolism in animals and humans: implications for nutrition and health / W. Wang [et al.] // *Amino Acids.* – 2013. – Vol. 45(3). – P. 463–477.

252. Gomes, J. Production of L-methionine by submerged fermentation / J. Gomes, D. Kumar // *Enzyme and Microbial Technology.* – 2005. – Vol. 37(1). – P. 3–18.

253. Gotterbarm, G. Influence of the ratio of indispensable:dispensable amino acids on whole-body protein turnover in growing pigs / G. Gotterbarm, F. Roth, M. Kirchgessner // *J. Anim. Phys. and Nutr.* – 1998. – Vol. 79. – P. 174–183.

254. Grandhi, R. R. Effects of selection for lower back fat, and increased levels of dietary amino acids to digestible energy on growth performance, carcass merit and meat quality in boars, gilts, and barrows / R. R. Grandhi, R. L. Cliplef // *Can. J. Anim. Sci.* – 1997. – Vol. 77. – P. 487–496.

255. Graham, H. Circadian variation in composition of duodenal and ileal digesta from pigs fitted with T-cannulas / H. Graham, P. Aman // *Anim. Prod.*

– 1986. – Vol. 43. – P. 133–140.

256. Gregory, P. C. Pattern of gastric emptying in the pig: relation to feeding / P. C. Gregory, M. Mc Fadyen, D. V. Rayner // *Brit. J. Nutr.* – 1990. – Vol. 64(1). – P. 45–58.

257. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine / J. L. Figueroa [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2003. – Vol. 81. – P. 1529–1537.

258. Growth performance, and carcass and raw ham quality of crossbred heavy pigs from four genetic groups fed low protein diets for dry-cured ham production / S. Schiavon [et al.] // *Anim. Feed Sci. Technol.* – 2015. – Vol. 208. – P. 170–181.

259. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels / R. S. Gomez [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 80. – P. 644–653.

260. Growth performance of 20 to 50-kilogram pigs fed low-crude-protein diets supplemented with histidine, cystine, glycine, glutamic acid, or arginine / S. Powel [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2011. – Vol. 89. – P. 3643–3650.

261. Guay, F. Biochemical and morphological developments are partially impaired in intestinal mucosa from growing pigs fed reduced-protein diets supplemented with crystalline amino acids / F. Guay, S. M. Donovan, N. L. Trottier // *J. Anim. Sci.* – 2006. – Vol. 84. – P. 1749–1760.

262. Gut morphology of young pigs fed diets differing in standardized ileal digestible threonine and wheat gluten used as a source of non-essential amino acids / E. Switchn [et al.] // *J. Anim. Feed Sci.* – 2016. – Vol. 25. – P. 226–234.

263. Hall, J. C. Glycine / J. C. Hall // *J. Parenter. Enteral. Nutr.* – 1998. – Vol. 22. – P. 393–398.

264. Hamard, A. A moderate threonine deficiency differently affects protein metabolism in tissues of early-weaned piglets / A. Hamard, B. Seve, N. Le Floch // *Bioch. Physiol. Part A : Molecul. Integrative Physiol.* – 2009. – Vol. 152(4). – P. 491–497.

265. Hamard, A. Intestinal development and growth performance of early-weaned piglets fed a low-threonine diet / A. Hamard, B. Seve, N. Le Floch // *Anim.* – 2007. – Vol. 1. – P. 1134–1142.

266. Han, I. K. The role of synthetic amino acids in monogastric animal production Asian-Australasian / I. K. Han., J. H. Lee // *J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 13. – P. 543–560.

267. Havrlentova, M. Content of beta-D-glucan in cereal grains / M. Havrlentova, J. Kraic // *J. Food. Nutr. Res.* – 2006. – Vol. 45. – P. 97–103.

268. Heger, J. Effect of essential : total nitrogen ratio on protein utilization

in the growing pig / J. Heger, S. Mengesha, D. Vodehnal // *Brit. J. Nutr.* – 1998. – Vol. 80. – P. 537–544.

269. High concentration of branched-chain amino acids promotes oxidative stress, inflammation and migration of human peripheral blood mononuclear cells via mtorc1 activation / O. Zhenyukh [et al.] // *Free Radic. Biol. Med.* – 2017. – Vol. 104. – P. 165–177.

270. Hoffmann, L. The energy metabolism of growing swine in a live weight range of 10-50 kg. / L. Hoffmann, M. Beyer, W. Jentsch // *Arch. Tierernähr.* – 1992. – Vol. 42. – P. 235–248.

271. Holtekjolen, A. K. Barley carbohydrate composition varies with genetic and abiotic factors / A. K. Holtekjolen, A. K. Uhlen, S. H. Knutsen // *Soil and Plant Sci.* – 2008. – Vol. 58. – P. 27–34.

272. Hou, Y. Dietary essentiality of «nutritionally nonessential amino acids» for animals and humans / Y. Hou, Y. Yin, G. Wu // *Exp. Biol. Med.* – 2015. – Vol. 240. – P. 997–1007.

273. Hulless barley as an alternative energy source for growing-finishing pigs on growth performance, carcass quality, and nutrient digestibility / J. F. Wu [et al.] // *Livestock Prod. Sci.* – 2000. – Vol. 65. – P. 155–160.

274. Human alanine-glyoxylate aminotransferase 2 lowers asymmetric dimethylarginine and protects from inhibition of nitric oxide production / R. N. Rodionov [et al.] // *J. Biol. Chem.* – 2010. – Vol. 285(8). – P. 5385–5391.

275. Hypothalamic m-TOR signaling regulates food intake / D. Cota [et al.] // *Sci.* – 2006. – Vol. 312. – P. 927–930.

276. Identification of risk factors associated with poor lifetime growth performance in pigs / S. L. Douglas [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2013. – Vol. 91. – P. 4123–4132.

277. Ileal brake: A sensible food target for appetite control / P. W. J. Maljaars [et al.] // *Physiol. Behav.* – 2008. – Vol. 95. – P. 271–281.

278. Ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs / ed. : C. Jondreville, J. van den Broecke, F. Gâtel. – Paris : Eurolysine ITCF, 1995. – 53 p.

279. Increased levels of standardized ileal digestible threonine attenuate intestinal damage and immune responses in *E. coli* challenged weaned piglets / M. Ren [et al.] // *Anim. Feed Sci. Tech.* – 2014. – Vol. 195. – P. 67–75.

280. Influence of diet and microbial activity in the digestive tract on digestibility, and nitrogen and energy metabolism in rats and pigs / B. O. Eggum [et al.] // *Brit. J. Nutr.* – 1982. – Vol. 48(1). – P. 161–75.

281. Influence of dietary lysine level, pre-slaughter fasting, and rendement napole genotype on fresh pork quality / B. S. Bidner [et al.] // *Meat Sci.* – 2004. – Vol. 68. – P. 53–60.

282. Influence of dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of late-finishing gilts / J. A. Loughmiller [et al.] // *J. Anim. Sci.* –

1998. – Vol. 76. – P. 1075–1080.

283. Influence of energy supply on growth characteristics in pigs and consequences for growth modelling / N. Quiniou [et al.] // *Livestock Prod. Sci.* – 1999. – Vol. 60. – P. 317–328.

284. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of *m. longissimus lumborum* / X. Fernandez [et al.] // *Meat Sci.* – 1999. – Vol. 53. – P. 59–65.

285. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs / J. van Milgen [et al.] // *Anim. Feed Sci. Technol.* – 2008. – Vol. 143. – P. 387–405.

286. Interactions among the branched-chain amino acids and their effects on methionine utilization in growing pigs: effects on plasma amino- and keto-acid concentrations and branched-chain keto-acid dehydrogenase activity / S. Langer [et al.] // *Brit. J. Nutr.* – 2000. – Vol. 83. – P. 49–58.

287. Interactions of amino acids and insulin in the regulation of protein metabolism in growing animals / T. A. Davis [et al.] // *Can. J. Anim. Sci.* – 2003. – Vol. 83. – P. 357–364.

288. Interactive effects of dietary levels of tryptophan and protein on voluntary feed intake and growth performance in pigs, in relation to plasma free amino acids and hypothalamic serotonin / Y. Henry [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1992. – Vol. 70. – P. 1873–1887.

289. Inter relationships between dietary lysine, sex, and performance and porcine somatotropin administration on growth performance and protein deposition in pigs between 80 and 120 kg live weight / R. H. King [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 78. – P. 2639–2651.

290. Intestinal transport of peptides and amino acids // *Current topics in membranes* / V. Ganapathy, M. E. Ganapathy, F. H. Leibach ; ed. : K. E. Barrett, M. Donowitz. – Washington : Acad. Press, 2000. – P. 379–412.

291. Introduction to the principles of nutrient partitioning for growth // *Modelling growth in the pig* / J. L. C. Black, F. M. de Lange ; ed. P. J. Moughan. – Wageningen : Wageningen Press, 1995. – P. 115–122.

292. Introduction: serine peptidases and their clans // *Handbook of proteolytic enzymes* / N. D. Rawlings, A. J. Barrett ; ed. : A. J. Barrett, N. D. Rawlings, J. F. Woessner. – 2nd ed. – London : Elsevier, 2004. – Vol. 2. – P. 1417–1439.

293. In vitro evaluation of the fermentation characteristics of the carbohydrate fractions of hullless barley and other cereals in the gastrointestinal tract of pigs / R. Jha [et al.] // *Anim. Feed Sci. Technol.* – 2011. – Vol. 163. – P. 185–193.

294. Impact of dietary energy level and ractopamine on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs / R. Hinson

[et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2011. – Vol. 89. – P. 3572–3579.

295. Impacts of dietary protein level and feed restriction during prepuberty on mammogenesis in gilts / C. Farmer [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2004. – Vol. 82. – P. 2343–2351.

296. Impact of PRRSV infection and dietary soybean meal on ileal amino acid digestibility and endogenous amino acid losses in growing pigs / W. P. Schweer [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2018. – Vol. 96. – P. 1846–1859.

297. Important roles for arginine-family amino acids in swine nutrition and production / G. Wu [et al.] // *Livestock Sci.* – 2007. – Vol. 122. – P. 8–22.

298. Intestinal degradation in pigs of rye dietary fibre with different structural characteristics / L. V. Glitso [et al.] // *Brit. J. Nutr.* – 1998. – Vol. 80. – P. 457–468.

299. Isoleucine or valine deprivation stimulates fat loss via increasing energy expenditure and regulating lipid metabolism in WAT / Y. Du [et al.] // *Amino Acids.* – 2012. – Vol. 43. – P. 725–734.

300. Isoleucine prevents the accumulation of tissue triglycerides and up-regulates the expression of PPAR $\alpha$  and uncoupling protein in diet-induced obese mice / J. Nishimura [et al.] // *J. Nutr.* – 2010. – Vol. 140. – P. 496–500.

301. Is the rat a reliable model for the growing pig for estimating standardized digestibility of protein and amino acids? // *Proceedings of the 8-th Symposium. Swedish University of Agricultural Science* / K. M. Balle, S. Boisen, T. Larsen ; ed. : J. E. Lindberg, B. Ogle. – Uppsala, 2002. – P. 160–162.

302. Izquierdo, O. A. Histidine requirement of the young pig / O. A. Izquierdo, K. J. Wedekind, D. H. Baker // *J. Anim. Sci.* – 1988. – Vol. 66. – P. 2886–2892.

303. Jackson, M. A closer look at lysine sources: L-lysine sulfate plus fermentation co-products / M. Jackson // *Feed Int.* – 2001. – Vol. 22. – P. 18–20.

304. Jansman, A. J. M. Effects of the level of branch chain amino acids and thryptofan in the diet on the performance of piglets / ed. : A. J. M. Jansman, C. W. P. Kemp, S. van Canwenberghe // *Book of Abstr. of the 51st EAAP Congress.* – Nederlands : Hague, 2000. – P. 396.

305. Jansman, A. J. M. The Effect of diet composition on tryptophan requirement of young piglets / A. J. M. Jansman, J. T. M. van Diepen, D. Melchior // *J. Anim. Sci.* – 2010. – Vol. 88. – P. 1017–1027.

306. Jiao, X. Effects of amino acids supplementation in low crude protein diets on growth performance, carcass traits and serum parameters in finishing gilts / X. Jiao, W. Ma, Y. Chen // *J. Anim. Sci.* – 2016. – Vol. 87(10). – P. 1252–1257.

307. Jones, A. L. Histidine-rich glycoprotein: a novel adaptor protein in

plasma that modulates the immune, vascular and coagulation systems / A. L. Jones, M. D. Hulett, C. R. Parish // *Immunol. Cell Biol.* – 2005. – Vol. 83 (2). – P. 106–118.

308. Jones, D. B. Impact of amino acid nutrition during lactation on body nutrient mobilization and milk nutrient output in primiparous sows / D. B. Jones, T. S. Stahly // *J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 77. – P. 1513–1522.

309. Jorgensen, H. The influence of dietary fiber and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs / H. Jorgensen, X. Q. Zhao, B. O. Eggum // *Brit. J. Nutr.* – 1996. – Vol. 75. – P. 365–378.

310. Kai, S. Effect of dietary histidine on contents of carnosine and anserine in muscles of broilers / S. Kai [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2015 – Vol. 86(5). – P. 541–546.

311. Kelly, D. A. Development of digestive and immunological functions in neonates: role of early nutrition / D. A. Kelly, G. P. Coutts // *Livestock Prod. Sci.* – 2000. – Vol. 66(2). – P. 161–167.

312. Kerr, B. J. Tryptophan: Effects on neurotransmitters, behavior, meat quality and the results of current requirement studies in nursery pigs / B. J. Kerr, A. C. Guzik, L. L. Southern // *Biokyowa Tech. Rev.* – 2002. – № 13. – P. 48–53.

313. Kil, D. Y. Dietary soybean oil and choice white grease improve apparent ileal digestibility of amino acids in swine diets containing corn, soybean meal, and distillers dried grains with solubles / D. Y. Kil, H. Stein // *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* – 2011. – Vol. 24. – P. 248–253.

314. Kil, D. Y. Feed energy evaluation for growing pigs / D. Y. Kil, B. G. Kim, H. H. Stein // *Asian. Austral. J. Anim. Sci.* – 2013. – Vol. 26 (9). – P. 1205–1217.

315. Kim, J. S. Relationship between body weight of primiparous sows during late gestation and subsequent reproductive efficiency over six parities / J. S. Kim, X. Yang, S. K. Baidoo // *Asian-Austral. J. Anim. Sci.* – 2016. – Vol. 29. – P. 768–774.

316. Kimball, S. R. Regulation of global and specific mRNA translation by amino acids / S. R. Kimball // *J. Nutr.* – 2002. – Vol. 132. – P. 883–886.

317. Klindt, J. Level of dietary energy during prepubertal growth and reproductive development of gilts / J. Klindt, J. T. Yen, R. K. Christenson // *J. Anim. Sci.* – 2001. – Vol. 79. – P. 2513–2523.

318. Knauer, M. T. Effect of soybean meal supplementation during gestation on piglet quality / M. T. Knauer, E. van Heugten // *J. Anim. Sci.* – 2018. – Vol. 96(2). – P. 180–181.

319. Kolstad, K. Genetic differences in energy partitioning in growing pigs / K. Kolstad, U. T. Brenae, O. Vangen // *J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 52. – P. 213–220.

320. Landers, B. R. Effect of duodenal amino acid infusion on solid gastric emptying in pigs / B. R. Landers, P. G. Devitt, G. G. Jamieson // *Am. J. Physiol.* – 1990. – Vol. 259(1). – P. 676–680.
321. Langer, S. Interactions among the branched-chain amino acids and their effects on methionine utilization in growing pigs: effects on nitrogen retention and amino acid utilization / S. Langer, M. F. Fuller // *Brit. J. Nutr.* – 2000. – Vol. 83. – P. 43–48.
322. Le Bellego, L. Effects of high ambient temperature on protein and lipid deposition and energy utilization in growing pigs / L. Le Bellego, J. van Milgen, J. Noblet // *J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 75. – P. 85–96.
323. Le Floc'h, N. Biological roles of tryptophan and its metabolism: Potential implications for pig feeding / N. Le Floc'h, B. Seve // *Livest. Sci.* – 2007. – Vol. 112. – P. 23–32.
324. Le Floc'h, N. Modifications of protein amino acid metabolism during inflammation and immune system activation / N. Le Floc'h, D. Melchior, C. Obled // *Livestock Prod. Sci.* – 2002. – Vol. 87. – P. 37–45.
325. Leterme, P. Nutritional value of high-fat oat groats fed to weaned pigs / P. Leterme, C. Montoya, B. Rossnagel // *Can. J. Anim. Sci.* – 2010. – Vol. 90 (1). – P. 65–67.
326. Le Goff, G. Comparative digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows / G. Le Goff, J. Noblet // *J. Anim. Sci.* – 2001. – Vol. 79. – P. 2418–2427.
327. Lien, R. F. Mucin output in ileal digesta of pigs fed a protein-free diet / R. F. Lien, W.C. Sauer, M. Fenton // *Z. Ernährungswiss.* – 1997. – Vol. 36. – P. 182–190.
328. Low-protein diets affect ileal amino acid digestibility and gene expression of digestive enzymes in growing and finishing pigs / L. He [et al.] // *Amino Acids.* – 2016. – Vol. 48. – P. 21–30.
329. Lysine requirement of lactating primiparous sows / P. Srichana [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2007. – Vol. 84(2). – P. 182–189.
330. Lysine requirement of 1.5-5.5 kg pigs fed liquid diets / J. H. Eise-mann [et al.] // *Anim. Prod. Sci.* – 2014. – Vol. 54(5). – P. 608–615.
331. Lysine supplementation in late gestation of gilts: Effects on piglet birth weight, and gestational and lactational performance / D. Magnabosco [et al.] // *Cienc. Rural.* – 2013. – Vol. 43. – P. 1464–1470.
332. Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination / J. van Milgan [et al.] // *Br. J. Nutr.* – 1998. – Vol. 79. – P. 509–517.
333. Mammary development, growth and plasma levels of IGF-I and IGF-binding proteins in gilts provided different energy levels from weaning to puberty / M. T. Sorensen [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 80(1). – P.



52–61.

334. Mammary development in prepubertal gilts fed restrictively or ad libitum in two sub-periods between weaning and puberty / M. T. Sorensen [et al.] // *Livestock Sci.* – 2006. – Vol. 99. – P. 249–255.

335. Measurement of energy metabolism // *Feeding systems and feed evaluation models* / C. K. Reynolds ; ed. : M. K. Theodorou, J. France. – Oxon : CAB Intern., 2000. – P. 87–107.

336. Metabolic state of the sow, nursing behaviour and milk production / A. Valros [et al.] // *Livestock Prod. Sci.* – 2003. – Vol. 79. – P. 155–167.

337. Metabolism and functions of L-glutamate in the epithelial cells of the small and large intestines / F. Blachier [et al.] // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2009. – Vol. 90(3). – P. 814–821.

338. Metabolomic analysis of the response of growing pigs to dietary L-arginine supplementation / Q. He [et al.] // *Amin. Acid.* – 2009. – Vol. 37(1). – P. 199–208.

339. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: Effects of sex and genotype / J. Noblet [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 77. – P. 1208–1216.

340. Metabolism of proteins and amino acids // *Protein metabolism in farm animals. evaluation, digestion, absorption and metabolism* / O. Simon, ed. H.D. Bock [et al.]. – Oxford : Oxford Sci. Publ., 1989. – P. 273–366.

341. Meyer, A. Wie wirkt sich ein Mischfutter mit Roggen als alleinige Getreidekomponente auf die Leistung und die Fettqualität von Mastschweinen aus? / A. Meyer // *Proc. Forum angewandte Forschung in der Rinder- u. Schweine- fütterung.* – Fulda, Deutschland : VLK. DLG, 2003. – P. 13–14.

342. Modelling the growing pig: Predicting nutrient needs and responses // *Biotechnology in the feed industry* / W. H. Close ; ed. : T. P. Lyons, K. A. Jacques. – Nottingham : Nottingham Univer. Press., 1996. – P. 289–297.

343. Modification of body composition by altering the dietary lysine to energy ratio during rearing and the effect on reproductive performance of gilts / M. C. Cia [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1998. – Vol. 66. – P. 457–463.

344. Moehn, S. Lessons learned regarding symptoms of tryptophan deficiency and excess from animal requirement studies / S. Moehn, P. B. Pencharz, R. O. Ball // *J. Nutr.* – 2012. – Vol. 142 (12). – P. 2231–2235.

345. Moehn, S. Using net energy for diet formulation: Potential for the Canadian pig industry / S. Moehn, J. Atakora, R.O. Ball // *Adv. Pork Prod.* – 2005. – Vol. 16. – P. 119–129.

346. Moffett, J.R. Tryptophan and the immune response / J. R. Moffett, M.A. Nambodiri // *Immunol. Cell Biol.* – 2003. – Vol. 81. – P. 247–265.

347. Mohn, S. The effect of body weight on the upper limit to protein deposition in a defined population of growing gilts / S. Mohn, C. F. M. de

Lange // *J. Anim. Sci.* – 1998. – Vol. 76. – P. 124–133.

348. Monitoring tryptophan metabolism in chronic immune activation / K. Schrocksnadel [et al.] // *Clin. Chem.* – 2006. – Vol. 364. – P. 82–90.

349. Monosodium L-glutamate added to a high-energy, high-protein liquid diet promotes gastric emptying / H. Zai [et al.] // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2009. – Vol. 89. – P.431–435.

350. Morel, P. C. H. Effects of nonstarch polysaccharides on mucin secretion and endogenous amino acid losses in pigs / P. C. H. Morel, R. M. Padilla, G. Ravindran // *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* – 2003. – Vol. 16. – P. 1332–1338.

351. Moughan, P. J. Whole-body amino acid composition of the growing pig / P. J. Moughan, W. C. Smith // *New Zealand J. Agr. Res.* – 1987. – Vol. 30. – P. 301–303.

352. Muscle metabolism and PSE pork / B. Bowker [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 79. – P. 1–8.

353. Nam, D. S. The effects of lysine: energy ratio on the performance of weanling pigs / D. S. Nam, F. X. Aherne // *J. Anim. Sci.* – 1994. – Vol. 72. – P. 1247–1256.

354. Neis, E. P. Human splanchnic amino-acid metabolism / E. P. Neis, S. Sabrkhanly, I. Hudscheid // *Amino Acids.* – 2017. – Vol. 49. – P. 161–172.

355. Net energy of soybean oil and choice white grease in diets fed to growing and finishing pigs / D. Y. Kil [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2011. – Vol. 89. – P. 448–459.

356. Neu, J. Gastrointestinal development and meeting the nutritional needs of premature infants / J. Neu // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2007. – Vol. 85. – P. 629–634.

357. Newsholme, P. Rates of utilization of glucose, glutamine and oleate and formation of end-products by mouse peritoneal macrophages / P. Newsholme, E. A. Newsholme // *J. Biochem.* – 1989. – Vol. 261. – P. 211–218.

358. Nieves, C. Jr. Arginine and immunity: a unique perspective / C. Jr. Nieves, B. Langkamp-Henken // *Biomed. Pharm.* – 2002. – Vol. 56(10). – P. 471–482.

359. Nitrogen balance in barrows fed low-protein diets supplemented with essential amino acids / D. Deng [et al.] // *Livestock Sci.* – 2007. – Vol. 109. – P. 220–223.

360. Noblet, J. Effect of energy level in lactating sows on yield and composition of milk and nutrient balance of piglets / J. Noblet, M. Etienne // *J. Anim. Sci.* – 1986. – Vol. 63. – P. 1888–1896.

361. Noblet, J. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system / J. Noblet, J. van Milgen // *J. Anim. Sci.* – 2004. – Vol. 82. – P. 229–238.

362. Noblet, J. Estimation of energy values of feeds for pigs / J. Noblet,

- G. Tran // *Feed Mix.* – 2004. – Vol. 11(4). – P. 16–19.
363. Noblet, J. Recent developments in net energy research for swine / J. Noblet // *Adv. Pork Prod.* – 2007. – Vol. 18. – P. 149–156.
364. Nonstarch polysaccharides and oligosaccharides in swine nutrition // *Swine Nutrition* / C. M. Grieshop, D. E. Reece, G. C. Fahey ; ed. : A. J. Lewis, L. L. Southern. – 2nd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2001. – P. 107–130.
365. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en energie digestible, metabolisable et nette des aliments pour le pore / ed. J. Noblet [et al.]. – Paris : INRA, 1989. – 106 p.
366. Novel metabolic and physiological functions of branched chain amino acids: a review / S. Zhang [et al.] // *J. Anim. Sci. Biotech.* – 2017. – Vol. 8. – P. 10–16.
367. NRC. Nutrient requirements of swine. – 11th edition. – Washington : Natl. Acad. Press, 2012. – 396 p.
368. Nutrient requirements and metabolism // *Biology of the domestic pig* / D. C. Burrin ; ed. : W. G. Pond, H. J. Mersmann. – Ithaca, New York : Cornell Univer. Press, 2001. – P. 309–389.
369. Nutrition of the working boar // *Recent developments in pig nutrition* / W. H. Close, F. G. Roberts ; ed. : D. J. A. Cole, W. Haresing, P. C. Garnsworthy. – Nottingham : Nottingham Univer. Press, 1993. – P. 347–368.
370. Nutrition-reproduction interactions in the breeding sow // *Manipulating pig production* / P. E. Hughes ; ed. : J. L. Barnett, D. P. Hennessy. – Werribee : APSA, 1989. – P. 277–280.
371. Nyachoti, C. M. Estimating endogenous amino acid flows at the terminal ileum and true ileal amino acid digestibility's in feedstuffs for growing pigs using the homoarginine method / C. M. Nyachoti, C. F. de Lange, H. Schulze // *J. Anim. Sci.* – 1997. – Vol. 75. – P. 3206–3213.
372. Optimal dietary energy and amino acids for gilt development: growth, body composition, feed intake, and carcass composition traits / J. A. Calderon Diaz [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2015. – Vol. 93. – P. 1187–1199.
373. Optimal dietary true ileal digestible threonine for supporting the mucosal barrier in small intestine of weaning pigs / W. Wang [et al.] // *J. Nutr.* – 2010. – Vol. 140. – P. 981–986.
374. Optimal lysine: DE ratio for growing pigs of different sexes / W. H. Chang [et al.] // *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 13. – P. 31–38.
375. Pahn, A. A. Application of the reactive lysine procedure to estimate lysine digestibility in distillers dried grains with solubles fed to growing pigs / A. A. Pahn, C. Pedersen, H. H. Stein // *J. Agric. Food Chem.* – 2008. – Vol. 56. – P. 9441–9446.
376. Paulicks, B. R. Studies on the tryptophan requirement of lactating sows / B. R. Paulicks, F. G. Pampuch, D. A. Roth-Maier // *J. Anim. Physiol. Nutr.* – 2006. – Vol. 90. – P.474–481.

377. Pedersen, C. Determination of the optimal dietary threonine: lysine ratio for finishing pigs using three different methods / C. Pedersen, J. E. Lindberg, S. Boisen // *Livestock Prod. Sci.* – 2003. – Vol. 82(2). – P. 233–243.
378. Pedersen, C. Establishment of tabulated values for standardized ileal digestibility of crude protein and essential amino acids in common feedstuffs for pigs / C. Pedersen, S. Boisen // *J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 52. – P. 121–140.
379. Performance and body composition of finishing gilts (45 to 85 kilograms) as affected by energy intake and nutrition in earlier life / P. Bikker [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1996. – Vol. 74. – P. 806–816.
380. Performance and body compositional responses to changes in dietary energy intake by offspring of line 65 sires / J. F. Patience [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 81. – P. 226.
381. Personalities in female domesticated pigs: Behavioural and physiological indications / M. Ruis [et al.] // *Appl. Anim. Behav. Sci.* – 2000. – Vol. 66. – P. 31–47.
382. Petersen, G. I. Estimation of the ideal tryptophan: lysine ratio in 10- to 20-kg pigs / G. I. Petersen, H. H. Stein // *J. Anim. Sci.* – 2012. – Vol. 90. – P. 153–159.
383. Phenotypic and genetic correlations between gilt estrus, puberty, growth, composition, and structural conformation traits with first-litter reproductive measures / M. T. Knauer [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2011. – Vol. 89. – P. 935–942.
384. Phenylalanine utilization by the gut and liver measured with intravenous and intragastric tracers in pigs / B. Stoll [et al.] // *Am. J. Physiol.* – 1997. – Vol. 273. – P. 1208–1217.
385. Physicochemical and structural characteristics of flours and starches from waxy and nonwaxy wheats / E. -S. M. Abdel-Aal [et al.] // *Cereal Chem.* – 2002. – Vol. 79. – P. 458–464.
386. PIC USA : Nutrient Specifications // *J. Nutr.* – 2003. – Vol. 1. – P. 57-79.
387. Pig Breeding for Improved Feed Efficiency // *Feed Efficiency in Swine.* / P. Knapp, L. Wang. ; ed. J. Patience. – Wageningen : Wageningen Acad. Press, 2012. – P. 167–181.
388. Plant cell walls. From chemistry to biology / ed. : P. Albersheim [et al.]. – NY : Garland Science, 2010. – 430 p.
389. Plasma urea concentration and growth performance of nursery pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets / J. E. Trujillo [et al.] // *Agrociencia.* – 2007. – Vol. 41. – P. 597–607.
390. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus reduces feed efficiency, digestibility, and lean tissue accretion in grow-finish pigs / W. P. Schweer [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2017. – Vol. 1. – P. 480-488.

391. Pork characteristics as affected by two populations of swine and six crude protein levels / K. F. Goerl [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1995. – Vol. 73. – P. 3621–3626.
392. Portal hyperglutamatemia after dietary supplementation with monosodium glutamate in pigs / F. Blachier [et al.] // *Digestion* – 1999. – Vol. 60(4). – P. 349–357.
393. Postprandial intestinal and whole body nitrogen kinetics and distribution in piglets fed a single meal / C. Bos [et al.] // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* – 2005. Vol. – 288(2). – P. 436–446.
394. Prediction of net energy of feeds for growing pigs / J. Noblet [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1994. – Vol. 72. – P. 344–354.
395. Previous feeding level influences plateau heat production following a 24 h fast in growing pigs / C. F. M. de Lange [et al.] // *Brit. J. Nutr.* – 2006. – Vol. 95. – P. 1082–1087.
396. Proline and hydroxyproline metabolism: implications for animal and human nutrition / G. Wu [et al.] // *Amino Acids.* – 2011. – Vol. 40. – P. 1053–1063.
397. Protein digestion and absorption in the stomach and the small intestine of pigs // *Current concepts of digestion and absorption in pigs* / T. Zebrowska ; ed. : A. G. Low, J. G. Partridge. – Nat. Inst. Res. Diarving : Reading, UK. – 1979. – P. 52–62.
398. Protein, Fat, and Bone Tissue Growth in Swine. In : *Swine nutrition* / C. F. M. de Lange, S. Birket, P. Morel ; ed. : A. Lewis, L. Southern. – Boca Raton : CRC Press, 2000. – P. 65–81.
399. Protein kinetics in callipyge lambs / C. L. Lorenzen [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 78. – P. 78–87.
400. Protein (lysine) restriction in primiparous lactating sows: Effects on metabolic state, somatotrophic axis, and reproductive performance after weaning / C. A. Mejia-Guadarrama [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 80. – P. 3286–3300.
401. Protein-phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal / P. H. Selle [et al.] // *Nutr. Res. Rev.* – 2012. – Vol. 25(1). – P. 1–17.
402. Proteins in the digesta of the pig: amino acid composition of endogenous: bacterial and fecal fractions / J. P. Laplace [et al.] // *Reprod. Nutr. Dev.* – 1985. – Vol. 25. – P. 1083–1099.
403. Providing a diet deficient in valine but with excess leucine results in a rapid decrease in feed intake and modifies the postprandial plasma amino acid and alpha-keto acid concentrations in pigs / M. Gloaguen [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2012. – Vol. 90. – P. 3135–3142.
404. Quantitative influence of lysine and energy intake on yield of milk components in the primiparous sow / M. D. Tokach [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1992. – Vol. 70. – P. 1864–1872.

405. Quiniou, N. Effect of energy intake on the performance of different types of pig from 45 to 100 kg body weight / N. Quiniou, J.-Y. Dourmad, J. Noblet // *J. Anim. Sci.* – 1996. – Vol. 63. – P. 277–288.
406. Quiniou, N. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pigs housed individually / N. Quiniou, J. Noblet. // *J. Anim. Sci.* – 2012. – Vol. 90. – P. 4362–4372.
407. Rao, D. S. Effect of protein intake on energy and nitrogen balance and chemical composition of gain in growing boars of high genetic potential / D. S. Rao, K. J. McCracken // *J. Anim. Prod.* – 1990. – Vol. 51. – P. 389–397.
408. Recent advances in sow nutrition to improve reproductive performance / I. K. Han [et al.] // *As.-Aust. J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 13. – P. 335–355.
409. Reconstitution into liposomes of the glutamine/amino acid transporter from renal cell plasma membrane: functional characterization, kinetics and activation by nucleotides / F. Oppedisano [et al.] // *Biochim. Biophys. Acta.* – 2004. – Vol. 1667(2). – P. 122–131.
410. Regression analysis to predict growth performance from dietary net energy in growing-finishing pigs / S. Nitikanchana [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2015. – Vol. 93. – P. 2826–2839.
411. Relationship between body tissue accretion and mammary development in pregnant gilts / K. A. Howard [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1994. – Vol. 72. (1). – P. 334–339.
412. Relationships between nutrient digestibility,  $\beta$ -glucan content and ileal digesta viscosity in pigs fed different Australian barley cultivars : Proc. 8th Symp. Depart. Anim. Nutr. Manag. Swedish Univ. Agric. Sci. / J. E. Lindberg ; ed. : B. Ogle. – Uppsala, 2002. – 250 p.
413. Replacement gilt and boar nutrient recommendations and feeding management // *National Swine Nutrition Guide* / M. H. Whitney, C. Masker ; ed. : D. J. Mesinger. – Ames : US Pork. Center of Excell, 2010. – 127 p.
414. Response of piglets to the standardized ileal digestible isoleucine, histidine and leucine supply in cereal-soybean meal-based diets / M. Gloaguen [et al.] // *Anim.* – 2013. – Vol. 7(6). – P. 901–908.
415. Response of piglets to the valine content in diet in combination with the supply of other branched-chain amino acids / M. Gloaguen [et al.] // *Anim.* – 2011. – Vol. 5. – P. 1734–1742.
416. Richter, C. Mechanism of activation of the gastric aspartic proteinases: pepsinogen, progastricsin and prochymosin / C. Richter, T. Tanaka, R. Y. Yada // *Biochem. J.* – 1998. – Vol. 335. – P. 481–490.
417. Roth, F. X. Biological efficiency of dietary methionine or cystine supplementation with growing pigs / F. X. Roth, M. Kirchgessner // *J. Anim. Physiol. Nutr.* – 1987. – Vol. 58. – P. 267–280.
418. Roy, N. Whole-body protein metabolism and plasma profiles of

amino acids and hormones in growing barrows fed diets adequate or deficient in lysine / N. Roy, H. Lapierre, J. F. Bernier // *Can. J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 80. – P. 585–595.

419. Sauer, W. C. Digestibility of amino acids in swine: Results and their practical applications / W. C. Sauer, L. Ozimek // *Livestock Prod. Sci.* – 1986. – Vol. 15. – P. 367–388.

420. Schiemann, R. Studies on the energy maintenance requirement of growing pigs of both sexes with normal and high protein supply. Experiments with barrows / R. Schiemann, W. Jentsch, L. Hoffmann // *Arch. Anim. Nutr.* – 1989. – Vol. 39. – P. 5–24

421. Screening of toxicity biomarkers for methionine excess in rats / S. Toue [et al.] // *J. Nutr.* – 2006. – Vol. 136 (6) – P. 1716–1721.

422. Simon, J. Choline, betaine and methionine interactions in chickens, pigs and fish / J. Simon // *World Poultry Sci. J.* – 1999. – Vol. 55. – P. 353–374.

423. Shelepina, N. V. Amino acid composition and biological value of protein of new pea morphotypes / N. V. Shelepina, A. N. Zelenov, L.S. Bolshakova // *Indian J. Sci. Techn.* – 2016. – Vol. 9(5). – P. 11–15.

424. Shi, X. S. Digestible and metabolizable energy values of 10 ingredients in growing pigs fed ad libitum and sows fed at maintenance level comparative contribution of the hindgut / X. S. Shi, J. Noblet // *Anim. Feed Sci. Technol.* – 1993. – Vol. 42. – P. 223–236.

425. Shimomura, Y. Metabolism and physiological function of branched-chain amino acids: discussion of session 1 / Y. Shimomura, R. A Harris // *J. Nutr.* – 2006. – Vol. 136. – P. 232–233.

426. Signaling pathways involved in translational control of protein synthesis in skeletal muscle by leucine / J. C. Anthony [et al.] // *J. Nutr.* – 2001. – Vol. 131. – P. 856–860.

427. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig / J. L. Black [et al.] // *Res. Develop. Agric.* – 1986. – Vol. 3. – P. 121–146.

428. Soltwedel, K. T. Evaluation of the order of limitation of lysine, threonine, and valine, as determined by plasma urea nitrogen, in corn-soybean meal diets of lactating sows with high body weight loss / K. T. Soltwedel, R. A. Easter, J. E. Pettigrew // *J. Anim. Sci.* – 2006. – Vol. 84. – P. 1734–1741.

429. Species and age differences in amino acid requirements // Protein and amino acid nutrition / H. H. Mitchell ; ed. : A. A. Albanese. – NY, London : Acad. Press, 1959. – 604 p.

430. Starch from hull-less barley: In vitro susceptibility of waxy, normal, and high amylose starches towards hydrolysis by alpha-amylases and amyloglucosidase / J. H. Li [et al.] // *Food Chemistr.* – 2004. – Vol. 84. – P. 621–632.

431. Starch swelling power and amylose content of triticale and Triticum

timopheevii germplasm / A. L. Dennett [et al.] // *J. Cereal Sci.* – 2009. – Vol. 49. – P. 393–397.

432. Stein, H. H. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs / H. H. Stein, M. L. Gibson, C. Pedersen // *J. Anim. Sci.* – 2006. – Vol. 84. – P. 853–860.

433. Stein, H. H. Comparative protein and amino acid digestibilities in growing pigs and sows / H. H. Stein, S. Aref, R. A. Easter // *J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 77. – P. 1169–1179.

434. Stevnebo, A. Starch structure and degree of starch hydrolysis of small and large starch granules from barley varieties with varying amylose content / A. Stevnebo, S. Sahlström, B. Svihus // *Anim. Feed Sci. Techn.* – 2006. – Vol. 130. – P. 23–38.

435. Stoll, B. Intestinal uptake and metabolism of threonine : nutritional impact / B. Stoll // *Pork Prod.* – 2006. – Vol. 17. – P. 257–263.

436. Stomach cannulation of pregnant gilts for nutrition studies during lactation / J. R. Pluske [et al.] // *Can. J. Anim. Sci.* – 1995. – Vol. 75. – P. 497–500.

437. Structure, nomenclature, and properties of carbohydrates // *Biochemical, physiological, and molecular aspects of human nutrition* / J. L. Slavin ; eds. : M. H. Stipanuk, M. A. Caudill. – St. Louis : Elsevier, 2013. – 368 p.

438. Substrate oxidation by the portal drained viscera of fed piglets / B. Stool [et al.] // *Am. J. Physiol.* – 1999. – Vol. 277(1). – P. 168–175.

439. Supplementing monosodium glutamate to partial enteral nutrition slows gastric emptying in preterm pigs / C. Bauchart-Thevret [et al.] // *J. Nutr.* – 2013. – Vol. 143. – P. 563–570.

440. Svihus, B. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch / B. Svihus, A. K. Uhlen, O. M. Harstad // *Anim. Feed Sci. Techn.* – 2005. – Vol. 122. – P. 303–320.

441. Tables of composition and nutritional value of feed materials / eds. : D. Sauvant, J.-M. Perez, G. Tran. – Wageningen : Acad. Publ, 2004. – 126 p.

442. Thaker, M. Y. C. Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows / M. Y. C. Thaker, G. Bilkei // *J. Anim. Sci.* – 2005. – Vol. 88. – P. 309–318.

443. Thacker, P. A. Performance of growing-finishing pigs fed barley-based diets containing graded levels of number 1 wheat screenings / P. A. Thacker // *Can. Veter. J.* – 2004. – Vol. 84(3). – P. 403–409.

444. Thacker, P. A. Performance of growing-finishing pigs fed diets based on normal or low viscosity rye fed with and without enzyme supplementation / P. A. Thacker, J. G. McLeod, G. L. Campbell // *Arch. Tierernähr.* – 2002. – Vol. 56. – P. 361–370.

445. The effect of age on the enzyme activation of tryptophan metabolism



along the kynurenine pathway in rats / S. Comai [et al.] // *Clin. Chem.* – 2005. – Vol. 360. – P. 67–80.

446. The effect of body weight and energy intake on the composition of deposited tissue in pigs / K. H. de Greef [et al.] // *Anim. Prod.* – 1994. – Vol. 8. – P. 263–270.

447. The effect of energy and protein intakes on boar libido, semen characteristics and plasma hormone concentrations / G. F. Louis [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1994. – Vol. 72. – P. 2051–2060.

448. The effect of glutamine supplement on small intestinal morphology and xylose absorptive ability of weaned piglets / C. B. Hsu [et al.] // *J. Biotechnol.* – 2010. – Vol. 9. – P. 7003–7008.

449. The effect of level of crude protein and available lysine on finishing pig performance, nitrogen balance and nutrient digestibility / M. E. E. Ball [et al.] // *Asian-Austral. J. Anim. Sci.* – 2013. – Vol. 26. – P. 564–572.

450. The effect of the ratio of standardized ileal digestible lysine to metabolizable energy on growth performance, blood metabolites and hormones of lactating sows / L. Xue [et al.] // *J. Anim. Sci. Biotech.* – 2012. – Vol. 3(1). – P. 11–16.

451. The effect of source of fiber on ileal and fecal amino acid digestibility and bacterial nitrogen excretion in growing pigs / W.C. Sauer [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1991. – Vol. 69. – P. 4070–4077.

452. The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance, blood metabolites, enzyme kinetics and transcriptomics in weaned pigs / M. K. Wiltafsky [et al.] // *Brit. J. Nutr.* – 2010. – Vol. 103. – P. 964–976.

453. The effects of branched-chain amino acids on sow and litter performance / S. Moser [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 78. – P. 658–667.

454. The effects of genotype and dietary lysine concentration on the production of weaner pigs / A. E. Taylor [et al.] // *Livestock Sci.* – 2012. – Vol. 149. – P. 180–184.

455. The effects of SID Trp: Lys ratio and Trp source in diets containing DDGS on growth performance and carcass characteristics of finishing pigs / S. Nitikanchana [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2013. – Vol. 91(2). – P. 73–80.

456. The energy content of barley fed to growing pigs: characterizing the nature of its variability and developing prediction equations for its estimation / S. L. Fairbairn [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 77. – P. 1502–1512.

457. The gastrointestinal tract and its microflora // *Nondigestible carbohydrates and digestive health* / W. R. Aimutis, K. Polzin ; ed. : T. M. Paeschke, W. R. Aimutis. – Ames : Blackwell Publish. Ltd., 2011. – P. 15–36.

458. Theil, P. K. Valine requirement for maximal growth rate in weaned pigs / P. K. Theil, J. A. Fernandez, V. Danielsen // *Livestock Prod. Sci.* – 2004. – Vol. 88. – P. 99–106.

459. The influence of dietary energy intake on growth performance and tissue deposition in pigs between 80 and 120 kg liveweight / R. H. King [et al.] // *Aust. J. Agric. Res.* – 2004. – Vol. 55. – P. 1271–1281.
460. The influence of dietary energy on feed efficiency in grow-finish swine // *Feed efficiency in swine* / J. F. Patience ; ed. : J. F. Patience. – Wageningen : Wageningen Acad. Press, 2012. – 169 p.
461. The influence of increasing energy intake during gestation on litter size, piglet growth and within litter variation from birth to weaning // *Book of Abstracts of the 58th Annual Meeting of the EAAP* / L. B. McNamara [et al.]. – Dublin : Wageningen Acad. Publ., 2007. – P. 47–50.
462. The influence of short-term feeding of amino acid deficient diets and high dietary leucine level on the intramuscular fat content of pig muscle / F. Cineros [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1996. – Vol. 63. – P. 517–522.
463. The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter weight, feeding regime and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties of fresh pork / M. Ellis [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1996. – Vol. 62. – P. 521–530.
464. The lysine requirement of lactating primiparous sows / K. J. Touchette [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1998. – Vol. 76. – P. 1091–1097.
465. The optimal true ileal digestible lysine and threonine requirement for nursery pigs between 10 and 20 kg / N. A. Lenehan [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2004. – Vol. 82. – P. 571–575.
466. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion / M. F. Fuller [et al.] // *Brit. J. Nutr.* – 1989. – Vol. 62. – P. 255–267.
467. The regulation of body and skeletal muscle protein metabolism by hormones and amino acids / Z. Q. Liu [et al.] // *J. Nutr.* – 2006. – Vol. 136. – P. 212–217.
468. The response of first-litter sows to dietary protein level during lactation / R. H. King [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1993. – Vol. 71. – P. 2457–2463.
469. The role of efficacy of carbohydrase enzymes in pig nutrition // *Enzymes in farm animal nutrition* / G. G. Partridge ; eds. : M. R. Bedford, G. G. Partridge. – Wallingford : CABI Publish., 2001. – 198 p.
470. The standardized ileal digestible valine-to-lysine requirement ratio is at least seventy percent in post weaned piglets / R. Barea [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2009. – Vol. 87. – P. 935–947.
471. The tryptophan requirement of growing and finishing barrows / A. C. Guzik [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2005. – Vol. 83. – P. 1303–1311.
472. The use of synthetic lysine in the diet of lactating sows / K. J. Touchette [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1998. – Vol. 76. – P. 1437–1442.
473. Threonine requirement of neonatal piglets receiving total parenteral nutrition is considerably lower than that of piglets receiving an identical diet

intragastrically / R. Bertolo [et al.] // *J. Nutr.* – 1998. – Vol. 128. – P. 1752–1759.

474. Torrallardona, D. Pigs gastrointestinal microflora provide them with essential amino acids / D. Torrallardona, C. I. Harris, M. F. Fuller // *J. Nutr.* – 2003. – Vol. 133. – P. 1127–1131.

475. Torres, N. Leucine affects the metabolism of valine by isolated perfused rat hearts: relation to branched-chain amino acid antagonism / N. Torres, A. Tomar, A. E. Harper // *J. Nutr.* – 1995. – Vol. 125. – P. 1884–1893.

476. Total body amino acid composition of two genetic lines of barrows and gilts from twenty to one hundred twenty-five kilograms of body weight / P. Xue [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2016. – Vol. 94(2). – P. 91–92.

477. Triticale as a replacement for wheat in diets for weaned pigs / E. Beltranena [et al.] // *Can. J. Anim. Sci.* – 2008. – Vol. 88. – P. 631–635.

478. Triticale in animal feed // *Triticale improvement and production* / R. Myer, A. J. Lozano del Río ; ed. : M. Mergoum, H. Gómez-Macpherson. – Rome : FAO, 2004. – P. 49–58.

479. True ileal digestible tryptophan to lysine ratios in ninety- to one hundred twenty-five-kilogram barrows / D. C. Kendall [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2007. – Vol. 85. – P. 3004–3012.

480. Tryptophan enhances ghrelin expression and secretion associated with increased food intake and weight gain in weanling pigs / H. Zhang [et al.] // *Domest. Anim. Endocrinol.* – 2007. – Vol. 33. – P. 47–61.

481. Tryptophan metabolism and oxidative stress in patients with chronic brain injury / G.M. Mackay [et al.] // *Eu. J. Neur.* – 2006. – Vol. 13. – P. 30–42.

482. Tryptophan requirement of growing pigs at various body weights / K. Eder [et al.] // *J. Anim. Physiol. Nutr.* – 2003. – Vol. 87. – P. 336–346.

483. Unfolding the codes of short-term feed appetite in farm and companion animals. A comparative oronasal nutrient sensing biology review / E. Roura [et al.] // *Can. J. Anim. Sci.* – 2008. – Vol. 88. – P. 535–558.

484. Utilization of spray-dried blood cells and crystalline isoleucine in nursery pig diets / B. J. Kerr [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2004. – Vol. 82. – P. 2397–2404.

485. Valine requirement of nursery pigs / I. Mavromichalis [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2001. – Vol. 79. – P. 1223–1229.

486. Valine requirement of the high-producing lactating sow / M. D. Richert [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1996. – Vol. 74. – P. 1307–1313.

487. Van Citters, G. W. The ileal brake: A fifteen-year progress report / G. W. Van Citters, H. C. Lin // *Curr. Gastroenterol. Rep.* – 1999. – Vol. 1. – P. 404–409.

488. Van Lunen, T. A. The effect of lysine/digestible energy ratio on

growth performance and nitrogen deposition of hybrid boars, gilts and castrated male pigs / T. A. Van Lunen, D. J. A. Cole // *J. Anim. Sci.* – 1996. – Vol. 63. – P. 465–475.

489. van Milgen, J. Concept and application of ideal protein for pigs / J. van Milgen, J.-Y. Dourmad // *J. Anim. Sci. Biotechnol.* – 2015. – Vol. 6. – P. 15–26.

490. van Milgen, J. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs / J. van Milgen, J. Noblet, S. Dubois // *J. Nutr.* – 2001. – Vol. 131. – P. 1309–1318.

491. van Milgen, J. Modeling biochemical aspects of energy metabolism in mammals / J. van Milgen // *J. Nutr.* – 2002. – Vol. 132. – P. 3195–3202.

492. van Milgen, J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs / J. van Milgen, J. Noblet // *J. Anim. Sci.* – 2003. – Vol. 2. – P. 86–93.

493. Van Zanten, A. R. Glutamine and antioxidants: Status of their use in critical illness / A. R. Van Zanten // *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab.* – 2015. – Vol. 18. – P. 179–186.

494. Variability of amino acid digestibility in pigs: in herent factors in feedstuffs and considerations in methodology / W. Sauer [et al.] // *J. Anim. Feed Sci.* – 2001. – Vol. 10. – P. 115–138.

495. Wang, J. P. Effects of dietary barley on amino acid digestibility, growth performance, pork quality and longissimus dorsi muscle fatty acid profiles in pigs / J. P. Wang, I. H. Kim // *J. Anim. Sci.* – 2014. – Vol. 85. – P. 942–950.

496. Wang, T. C. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs / T. C. Wang, M. F. Fuller // *Anim. Prod.* – 1990. – Vol. 50. – P. 155–164.

497. Wang, X. A deficiency or excess of dietary threonine reduces protein synthesis in jejunum and skeletal muscle of young pigs / X. Wang [et al.] // *J. Nutr.* – 2007. – Vol. 137(6). – P. 1442–1446.

498. Webb, K. E. Intestinal absorption of protein hydrolysis products / K. E. Webb // *J. Anim. Sci.* – 1990. – Vol. 8(9). – P. 3011–3022.

499. Wheat-barley-rye- or corn-fed growing pigs respond differently to dietary supplementation with a carbohydrase complex / J. Willamil [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2012. – Vol. 90 (3). – P. 824–832.

500. White, C. R. Allometric estimation of metabolic rates in animals / C. R. White // *J. Biochem. Mol. Physiol.* – 2011. – Vol. 158(3). – P. 346–357.

501. Whittemore, C. T. Theoretical aspects of a flexible model to simulate protein and lipid growth in pigs / C. T. Whittemore, R. H. Fawcett // *J. Anim. Prod.* – 1976. – Vol. 22. – P. 87–96.

502. Wiltafsky, M. K. The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance, blood metabolites, enzyme kinetics and

transcriptomics in weaned pigs / M. K. Wiltafsky, M. W. Pfaffl, F. X. Roth // *Br. J. Nutr.* – 2010. – Vol. 103. – P. 964–976.

503. Wiseman, J. Correlation between physical measurements and dietary energy values of wheat for poultry and pigs / J. Wiseman // *Anim. Feed Sci. Technol.* – 2000. – Vol. 84. – P. 1–11.

504. Wu, G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition / G. Wu // *Amino Acids.* – 2009. – Vol. 37. – P. 1–17.

505. Wu, G. Arginine metabolism: nitric oxide and beyond / G. Wu, S. M. Morris // *J. Biochem.* – 1998. – Vol. 336. – P. 1–17.

506. Wu, G. Arginine nutrition in neonatal pigs / G. Wu, D. A. Knabe, S. W. Kim // *J. Nutr.* – 2004. – Vol. 134(10). – P. 2783–2790.

507. Wu, G. Dietary glutamine supplementation prevents jejunal atrophy in weaned pigs / G. Wu, S. A. Meier, D. A. Knabe // *J. Nutr.* – 1996. – Vol. 126. – P. 2578–2584.

508. Wu, G. Intestinal mucosal amino acid catabolism / G. Wu // *J. Nutr.* – 1998. – Vol. 128(8). – P. 1249–1252.

509. Wu, G. Recent advances in swine amino acid nutrition / G. Wu // *J. Anim. Sci. Biotechnol.* – 2010. – Vol. 1. – P. 49–61.

510. Wu, G. Regulation of nitric oxide synthesis by dietary factors / G. Wu, C. J. Meininger // *An. Rev. Nutr.* – 2002. – Vol. 22. – P. 61–86.

511. Xue, P.C. Determination of additivity of apparent and standardized ileal digestibility of amino acids in diets containing multiple protein sources fed to growing pigs / P. C. Xue, D. Ragland, O. Adeola // *J. Anim. Sci.* – 2014. – Vol. 92. – P. 3937–3944.

512. Yen, H. T. Amino acid requirements of growing pigs. The response of pigs from 25 to 55 kg live weight to dietary ideal protein / H. T. Yen, D. J. A. Cole, D. Lewis // *Anim. Prod.* – 1986. – Vol. 43. – P. 141–154.

513. Yin, Y. L. Studies on cannulation method and alternative indigestible markers and the effect of food enzyme supplementation in barley-based diets on ileal and overall digestibility in growing pigs / Y. L. Yin, J. D. G. McEvoy, H. Schulze // *J. Anim. Sci.* – 2000. – Vol. 70. – P. 63–72.

514. Zaghari, M. Standardized ileal digestible threonine requirements and its effects on performance and gut morphology of broiler chicks fed two levels of protein / M. Zaghari, F. Zaefarian, M. Shivazad // *J. Agr. Sci. Techn.* – 2011. – Vol. 13. – P. 541–552.

515. Zebrowska, T. Digestion and absorption in the small intestine of pigs. Digestion and absorption of dry matter and nitrogen / T. Zebrowska, L. Buraczewska, S. Buraczewski // *Rocz. Nauk Roln.* – 1985. – Vol. 96(3). – P. 79–90.

516. Zijlstra, R. T. Nutritional value of wheat for growing pigs: chemical composition and digestible energy content / R. T. Zijlstra, C. F. M. de Lange, J. F. Patience // *Can. J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 79. – P. 187–194.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Зоотехническая оценка энергетического и аминокислотного питания свиней .....	6
2. Пути повышения конверсии корма в продукцию свиноводства .....	50
2.1 Определение содержания обменной энергии в кормах .....	50
2.2 Использование зернобобовых в рационах свиней .....	56
2.3 Уровень обменной энергии и количество незаменимых аминокислот в комбикормах для молодняка свиней .....	79
Заключение .....	148
Литература .....	151

Научное издание

**Рощин** Василий Антонович

**ЭНЕРГО-АМИНОКИСЛОТНОЕ ПИТАНИЕ МОЛОДНЯКА  
СВИНЕЙ**

монография

Ответственный за выпуск, ведущий редактор М.В. Джумкова  
Набор, вёрстка В.А. Рощин, М.В. Джумкова

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 22 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Усл.-печ. л. 11,04. Уч.-изд. л. 10,18.  
Тираж 100 экз. Заказ № .....

Издатель – Республиканское унитарное предприятие  
«Научно-практический центр Национальной академии наук  
Беларуси по животноводству».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/409 от 14 августа 2014 г.  
222160, Минская обл., г. Жодино, ул. Фрунзе, 11.

Республиканское унитарное предприятие  
«Информационно-вычислительный центр Министерства финансов  
Республики Беларусь».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 2/41 от 29 января 2014 г.  
Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.



Эффективность свиноводства обусловлена высокой продуктивностью и отличными мясными качествами свиней, которые зависят от полного обеспечения потребности животных обменной энергией и сырым протеином. Важным достижением в решении белковой проблемы является практическое применение синтетических аминокислот промышленного производства, позволяющих повысить полноценность рационов с дешёвыми растительными кормами до уровня рационов с кормами животного происхождения.

В монографии представлены результаты научной работы по изучению зависимости уровня обменной энергии комбикормов и их аминокислотной сбалансированности с учётом региональных особенностей кормопроизводства. Исследования проводились согласно современным принципам нормирования количества обменной энергии и незаменимых аминокислот в комбикормах для всех растущего откармливаемого молодняка свиней с высокой, генетически обусловленной мясной продуктивностью.

Книга предназначена для научных сотрудников, руководителей и специалистов областных и районных комитетов по сельскому хозяйству и продовольствию, сельскохозяйственных предприятий, преподавателей и студентов сельскохозяйственных и ветеринарных учреждений образования.

ISBN 978-985-6895-34-3



9 789856 895343

