

УДК 636.4.087:612.015

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2026.3.91-100

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОДУКТИВНОСТИ, ПЕРЕВАРИМОСТИ ЖИРНЫХ КИСЛОТ И БИОХИМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ КРОВИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УРОВНЯ ОБМЕННОЙ ЭНЕРГИИ В РАЦИОНЕ СВИНЕЙ МЯСНЫХ ПОРОД

Панюшкин Д.Е., Ушаков А.С., Ниязов Н.С.-А.

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

Опыт проведён на помесных боровках мясных пород (♂ датский йоркшир × ♀ датский ландрас). Были сформированы три группы свиней по 10 голов, с исходной живой массой 18 кг. Эксперимент был разделён на два периода: выращивание и откорм. В период выращивания поросята I группы получали комбикорма с концентрацией обменной энергии – 12,98, II группы – 13,16 и III группы – 13,34 МДж, а в период откорма – 12,78, 12,96 и 13,14 МДж/кг корма. Уровень обменной энергии в комбикормах регулировали за счёт ввода подсолнечного масла в количестве 1, 1,5 и 2 % от СВ комбикорма, соответственно в I, II и III группах в период выращивания, и 0,5, 1,0 и 1,5 % в период откорма. Было проведено два балансовых опыта на трёх животных из каждой группы, массой 25-30 кг в период выращивания и 45-50 кг в период откорма. Установлено, что повышение уровня обменной энергии в комбикормах на 1,4 % и 2,8 % за счёт ввода подсолнечного масла (10 и 18 г/кг) увеличивает среднесуточные приросты живой массы свиней на 2,1–11,5 % и снижает затраты корма на 1 кг прироста в периоды выращивания и откорма. Выявлен выраженный синергетический эффект влияния подсолнечного масла на липидный обмен. Высокое содержание ненасыщенных жирных кислот (C18:1, C18:2) в рационе не только обеспечивает их собственную высокую переваримость, но и повышает усвояемость насыщенных жирных кислот корма. Повышение уровня обменной энергии в комбикормах способствует более эффективному использованию азота корма для синтеза мышечной ткани, а не для энергетического катаболизма. Таким образом, оптимальный уровень концентрации обменной энергии у поросят составляет: 13,34 МДж/кг корма в период выращивания и 13,14 МДж/кг в период откорма. Добавление подсолнечного масла оказывает положительный эффект на переваримость жирных кислот и оптимизацию белкового и энергетического обмена.

Ключевые слова: свиньи, обменная энергия, подсолнечное масло, продуктивность, переваримость жирных кислот, биохимические показатели крови

Проблемы биологии продуктивных животных. 2026. 3: 91-100

Введение

Оптимизация энергетической питательности комбикормов является важным фактором повышения экономической эффективности свиноводства. Включение в рационы свиней дополнительных источников липидов, в частности растительных масел (подсолнечного, соевого, льняного), позволяет существенно повысить энергетическую плотность корма, снизить его потребление на единицу прироста и целенаправленно корректировать жирнокислотный профиль мясной продукции (Duran-Montgé et al., 2007). Однако, повышение энергетической ценности рациона требует точного балансирования по остальным питательным веществам (Engel et al., 2001).

Жиры и масла традиционно рассматриваются как источники легкоусвояемой энергии, и их фактическая усвояемость и метаболизм зависят от источника, уровня включения и распределения насыщенных и ненасыщенных ЖК в липидах. Переваривание кормового жира

происходит в тонком отделе кишечника при участии липазы и фосфолипазы. Липолиз протекает в три этапа – от триглицерида через диглицерид и моноглицерид до свободных жирных кислот и глицерина, всасываемых в этой форме. Поскольку насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты существенно различаются по температуре плавления и способности эмульгироваться, их совместное присутствие в химусе может влиять на формирование смешанных мицелл и, соответственно, на общую эффективность усвоения липидной фракции рациона (Mitchaothai et al., 2008; Wealleans et al., 2021).

Несмотря на очевидную практическую значимость регулирования жирнокислотного состава рациона, вопрос о том, как изменение уровня обменной энергии за счёт ввода растительного масла отражается не только на продуктивности, но и на переваримости отдельных жирных кислот и метаболическом статусе организма, остаётся недостаточно изученным. Целью настоящего исследования было оценить влияние рационов с разным уровнем обменной энергии, формируемым за счёт добавления подсолнечного масла, на продуктивные показатели, кажущуюся фекальную переваримость общих липидов и индивидуальных жирных кислот, а также на биохимический профиль сыворотки крови свиней мясных пород в периоды выращивания и откорма.

Материал и методы

Опыт проводился в условиях вивария института на помесных боровках мясных пород (♂ датский йоркшир × ♀ датский ландрас). Группы животных комплектовались по принципу аналогов, с учётом живой массы. Были сформированы три группы свиней по 10 голов. Эксперимент был разделён на два периода: выращивание и откорм, каждый из которых соответствовал разному составу и питательности кормов (табл. 1). В период выращивания поросята I группы получали комбикорма с концентрацией обменной энергии – 12,98, II группы – 13,16 и III группы – 13,34 МДж, а в период откорма – 12,78, 12,96 и 13,14 МДж/кг корма. Уровень обменной энергии в комбикормах регулировали за счёт ввода подсолнечного масла в количестве 1, 1,5 и 2 % от СВ комбикорма, соответственно в I, II и III группах в период выращивания, и 0,5, 1,0 и 1,5 % в период откорма. Жирнокислотный состав комбикормов приведён, в таблице 2; кала в таблице 3.

Комбикорма были приготовлены на предприятии ОАО «Детчинский комбикормовый завод» (пос. Детчино, Малоярославецкий р-н, Калужская область).

Кормление свиней осуществлялось 2 раза в сутки, общепринятым методом (Нормы и рационы кормления с/х животных, 2003). Содержание групповое в клетках, поение из автопоилок. В ходе эксперимента учитывалось потребление комбикормов, их химический состав и расход корма, обменная энергия на единицу прироста. При оценке интенсивности роста, поросят взвешивали в начале и в конце каждого периода эксперимента. Для характеристики переваримости питательных веществ корма и эффективности их использования были проведены два балансовых опыта на трёх животных из каждой группы, при живой массе 25–30 кг в период выращивания и 45–50 кг в период откорма. Учитывали количество потреблённых и оставшихся комбикормов, а также количество выделенного кала. По окончании баланса отбирали образцы крови.

Проведён анализ кормов и кала на содержание сухого вещества (ГОСТ Р 31640-2012) и общих липидов по методу Фолча (Folch et al., 1957). Жирнокислотный состав корма и кала проводили на газожидкостном хроматографе Цвет-800. В сыворотке крови определяли концентрацию общего белка, альбуминов, глобулинов, мочевины, креатинина, АСТ, АЛТ, щелочной фосфатазы, глюкозы, общего холестерина на автоматическом биохимическом анализаторе Zybio EXC 200 (Китай).

Таблица 1. Питательность комбикормов для свиней, на 1 кг корма

Показатели	Группы					
	Период выращивания			Период откорма		
	I	II	III	I	II	III
ЭКЕ	1,27	1,32	1,33	1,26	1,28	1,30
Обмен. энергии, МДж	12,98	13,16	13,34	12,78	12,96	13,14
Сухого вещества, %	89,18	89,18	89,18	90,88	90,88	90,88
Сырого протеина, г	170,0	170,0	170,0	155,0	155,0	155,0
Лизина, г	9,0	9,0	9,0	8,7	8,7	8,7
Метионин+цистин, г	6,5	6,5	6,5	5,7	5,7	5,7
Треонина, г	6,0	6,0	6,0	5,8	5,8	5,8
Триптофана, г	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
Сырого жира, г	37,0	42,0	47,0	29,1	34,1	39,1
Сырой клетчатки, г	45,7	45,7	45,7	57,0	57,0	57,0
Кальция, г	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0
Фосфора, г	5,9	5,9	5,9	5,1	5,1	5,1

Примечание: премикс КС-4, в 1 кг содержится: витамины: А, 14,43 тыс. МЕ; D₃, 2,31 тыс. МЕ; Е 92,3 мг; К 1,16 мг; В₁ 1,38 мг; В₂ 6,93 мг; В₃ 17,31 мг; В₄ 309 мг; В₅ 28,85 мг; В₆ 2,88 мг; В₁₂ 0,2 г; В_с 2,31 мг; микроэлементы: Fe 138 мг; Zn 115 мг; Mn 92,3 мг; Cu 57,4 мг; J 0,92 мг; Se 0,35; премикс КС-5: А, 12,5 тыс. МЕ; D₃, 2,0 тыс. МЕ; Е 80 мг; К 1,1 мг; В₁ 1,8 мг; В₂ 6,0 мг; В₃ 15,0 мг; В₄ 268 мг; В₅ 28,0 мг; В₆ 2,0 мг; В₁₂ 0,03 г; В_с 2,0 мг; микроэлементы: Fe 120 мг; Zn 100 мг; Mn 80,0 мг; Cu 100 мг; J 1,0 мг; Se 0,3.

Таблица 2. Жирнокислотный состав комбикормов для свиней, г/кг СВ корма

Показатели	Группы					
	Период выращивания			Период откорма		
	I	II	III	I	II	III
Общие липиды	49,95	56,7	63,45	36,66	42,97	49,27
C14:0	0,06	0,07	0,07	0,05	0,06	0,06
C16:0	4,94	5,34	5,75	4,15	4,54	4,93
C18:0	1,51	1,78	2,05	1,11	1,37	1,63
C18:1	9,55	10,82	12,10	7,59	8,82	10,05
C18:2	27,95	32,06	36,17	22,03	26,01	29,99
C18:3	1,62	1,64	1,66	1,30	1,32	1,33

Таблица 3. Жирнокислотный состав кала свиней, г/кг СВ кала

Показатели	Группы					
	Период выращивания			Период откорма		
	I	II	III	I	II	III
Общие липиды	44,8±1,7	51,2±1,4	54,4±1,3	32,5±1,2	37,1±1,1	40,7±0,9
C14:0	0,15±0,01	0,16±0,01	0,16±0,01	0,10±0,01	0,10±0,01	0,10±0,01
C16:0	5,85±0,31	6,19±0,25	6,26±0,31	3,75±0,28	3,93±0,52	3,81±0,12
C18:0	4,80±0,16	5,08±0,17	5,14±0,25	3,08±0,18	3,23±0,18	3,13±0,15
C18:1	6,91±0,30	7,31±0,21	7,40±0,18	4,43±0,14	4,64±0,18	4,50±0,19
C18:2	4,97±0,27	5,26±0,32	5,32±0,25	3,19±0,26	3,34±0,21	3,24±0,20
C18:3	0,65±0,11	0,69±0,15	0,70±0,14	0,42±0,10	0,44±0,10	0,43±0,10

Результаты и обсуждение

Экспериментальные рационы с увеличенным содержанием обменной энергии, положительно повлияли на прирост живой массы, эффективность использования корма, усвоение питательных веществ и обменные процессы в организме животных.

За период выращивания наблюдались: общее увеличение живой массы поросят на 6,4 и 11,7 %, среднесуточного прироста – 6,4 и 11,5 %; снижение расхода корма – 5,8 и 10,4 %, расхода

сырого протеина – 6,0 и 10,5 % и обменной энергии – 3,3 и 6,5 %, на единицу прироста живой массы, соответственно во II и III группах сравнительно контроля (табл. 4).

В конце периода откорма у подопытных свиней, получавшие комбикорм с различной концентрацией обменной энергии за счёт добавления подсолнечного масла, тенденция полностью сохранялась. Выявлено общее увеличение живой массы поросят на 2,1 и 4,6 %, а также среднесуточного прироста – 2,1 и 4,5 %. Происходило снижение расхода корма на единицу прироста живой массы – 1,9 и 4,1 %, сырого протеина – 1,9 и 4,2 % и обменной энергии – 0,6 и 1,6 %, соответственно во II и III группах относительно контроля.

Таблица 4. Продуктивные показатели у подопытных свиней ($M \pm m$, $n=10$)

Показатели	Группы					
	Период выращивания			Период откорма		
	I	II	III	I	II	III
Ж.М. в начале опыта, кг	18,2±1,4	18,24±1,4	18,32±1,1	38,4±1,6	39,7±1,9	40,9±1,6*
Ж.М. в конце опыта, кг	38,4±1,6	39,74±1,3	40,88±1,6*	95,2±1,3	97,8±1,5	100,3±1,8*
Прирост жив. массы, кг	20,2±1,9	21,5±1,6	22,56±1,5	56,8±0,4	58,0±0,6	59,4±0,3*
Среднесуточ. прирост, г	470±16	500±15	524±12*	800±9	817±9	836±6*
Затрачено на 1 кг прироста:						
корма, кг	3,46	3,26	3,10	3,69	3,62	3,54
сырого протеина, г	548	515	490	572	561	548
обмен. энергии, МДж	44,29	42,84	41,39	47,21	46,91	46,45

Примечание: здесь и далее в таблицах: * $P \leq 0,05$, по t -критерию при сравнении с контролем

Динамика переваримости общих липидов и отдельных жирных кислот

Результаты балансовых опытов показали, что повышение уровня обменной энергии за счёт ввода подсолнечного масла сопровождалось последовательным увеличением кажущейся фекальной переваримости (КФП) общих липидов. Так в период выращивания коэффициент переваримости общих липидов увеличился на 0,7 и 2,3 отн. %, а в период откорма – на 1,4 и 2,9 отн. % в II и III группах, соответственно по сравнению с контролем (табл. 5).

Таблица 5. Кажущаяся фекальная переваримость жирных кислот корма у свиней, %, ($M \pm m$, $n=3$)

Показатели	Группы					
	Период выращивания			Период откорма		
	I	II	III	I	II	III
Общие липиды	78,6±0,5	79,2±0,4	80,4±0,5	81,6±0,5	82,8±0,7	84,0±0,8
C14:0	52,4±2,0	57,5±2,5	60,8±2,8	51,9±2,7	57,6±3,1	61,9±2,2
C16:0	76,7±3,2	79,3±2,9	80,9±4,2	75,9±3,2	78,9±3,7	81,1±3,7
C18:0	37,5±2,3	48,9±2,8	55,9±2,5	26,1±3,2	42,6±3,6	53,1±3,2
C18:1	85,8±4,6	87,9±4,1	89,3±4,6	84,5±3,4	87,2±3,8	89,0±3,4
C18:2	96,5±2,6	97,1±3,7	97,4±4,1	96,2±4,6	96,9±4,9	97,4±4,4
C18:3	92,1±3,6	92,4±6,4	92,6±4,5	91,4±5,4	91,9±5,3	92,2±4,3

Несмотря на сравнительно небольшую величину прироста общей переваримости липидов, изменения переваримости отдельных жирных кислот были значительно более выраженными, что указывает на различную чувствительность отдельных липидных компонентов к изменению состава рациона.

Наиболее выраженные изменения при увеличении доли подсолнечного масла в рационе коснулись насыщенных жирных кислот, тогда как ненасыщенные ЖК реагировали на изменение энергетической ценности минимально.

Ненасыщенные ЖК (олеиновая C18:1, линолевая C18:2 и α -линоленовая C18:3), в большом количестве присутствующие в подсолнечном масле, обладали изначально высокой базовой переваримостью. Этот показатель увеличивался незначительно (в пределах 1-4 отн. %), что свидетельствует о том, что данные кислоты практически полностью усваиваются уже при базовом уровне энергетической обеспеченности рационов, что согласуется с данными других авторов (Duran-Montgé et al., 2007).

Наиболее чувствительным компонентом липидной фракции к изменению жирнокислотного состава оказалась стеариновая кислота. В период выращивания её переваримость увеличилась на 49,3 отн. %, в III группе относительно контроля. В время откорма, при введении подсолнечного масла в рацион, переваримость C18:0 возросла в 2 раза, что полностью нивелировало снижение сырого жира в комбикорме в этот период. Менее выраженное, но устойчивое увеличение КФП отмечено для пальмитиновой кислоты (C16:0): 3,3-5,4 отн. % в период выращивания и 3,8-6,8 отн. % при откорме, в II и III группах, соответственно по сравнению с контролем. Такая же тенденция сохранялась для миристиновой кислоты (C14:0) 9,7-16,0 отн. % при выращивании и 11,1-19,4 отн. % при откорме. Эти изменения свидетельствуют о том, что переваримость насыщенных жирных кислот является наиболее лабильным фактором при изменении жирнокислотного состава рациона.

Следует отметить, что при переходе от периода выращивания к периоду откорма наблюдалось некоторое снижение абсолютных коэффициентов КФП отдельных жирных кислот. Несмотря на рост общей переваримости липидов во всех группах (табл. 5), абсолютные коэффициенты переваримости отдельных жирных кислот (ЖК) снизились, особенно – для стеариновой кислоты. В контрольной группе её переваримость упала на 30,4 отн. %. Данное явление объясняется комплексом факторов. Во-первых, в период откорма концентрация сырого жира в рационах была существенно ниже, а при снижении доли экзогенного жира постоянные базальные эндогенные потери липидов (слущенный эпителий, эндогенная жёлчь) начинают пропорционально сильнее занижать показатель кажущейся переваримости. Во-вторых, изменение рецептуры, возраста животных и физических свойств липидной смеси модифицирует процесс формирования смешанных мицелл в кишечнике.

Способность подсолнечного масла резко повышать усвояемость трудноплавких насыщенных жиров объясняется физико-химическими процессами в желудочно-кишечном тракте. Известно, что ненасыщенные ЖК имеют более низкую температуру плавления, легче эмульгируются и быстрее включаются в смешанные мицеллы, вследствие чего обладают высокой доступностью для панкреатической липазы. Увеличение доли подсолнечного масла повышает соотношение ненасыщенных ЖК к насыщенным в химусе. Это улучшает эмульгацию не только экзогенного, но и эндогенного насыщенного жира, снижает вязкость кишечного содержимого и стимулирует выброс жёлчных кислот. Подобный синергетический эффект, при котором растительные масла «подтягивают» переваримость базовых насыщенных жиров, неоднократно описан в литературе (Mitchaiothai et al., 2008; Wealleans et al., 2021; Wang et al., 2024).

Полученные данные наглядно демонстрируют, что использование только показателя общей переваримости липидов не позволяет в полной мере оценить влияние источников жира на эффективность их использования. Если переваримость линолевой кислоты увеличивалась менее чем на 1 отн. %, то переваримость стеариновой возрастала на порядок. Анализ переваримости индивидуальных ЖК является значительно более информативным показателем, что полностью согласуется с современными подходами к оценке питательной ценности жиров (Mitchaiothai et al., 2008).

В целом, повышение обменной энергии комбикормов за счёт включения подсолнечного масла оказывает комплексное положительное влияние на липидный обмен. Помимо прямой энергетической ценности, происходит улучшение использования отдельных жирных кислот,

прежде всего насыщенных, которые являются наиболее трудноусвояемой частью липидной фракции. Именно повышение их переваримости и нивелирование эндогенных потерь вносит существенный вклад в улучшение продуктивности животных и снижение затрат корма на единицу продукции.

Биохимические показатели сыворотки крови

При изучении биохимических показателей сыворотки крови (табл. 6) установлено, что большинство исследуемых параметров находилось в пределах физиологических норм для свиней мясных пород. Однако выявленные изменения отдельных маркёров отражали адаптационные перестройки метаболизма в ответ на повышение энергетической плотности рационов.

В период доращивания, уровень общего белка у поросят подопытных групп варьировал незначительно. Однако, отмечалась тенденция к повышению уровня альбуминов и глобулинов в опытных группах, что указывает на активизацию белкового синтеза.

Показатели азотистого обмена демонстрировали положительную динамику. Концентрация мочевины в сыворотке крови свиней II и III групп была на 1,4 и 8,0 % ниже, чем в контроле, что свидетельствует о более эффективном использовании азота корма и снижении его катаболизма. Одновременно повышалась концентрация креатинина – маркёра мышечного анаболизма. Подобные изменения характерны для животных с высоким генетическим потенциалом продуктивности при оптимизации энергетического питания, когда аминокислоты в большей мере направляются на построение тканей, а не окисляются для энергетических целей (Liu et al., 2022; Гриценко и др., 2023).

Таблица 6. Биохимические показатели сыворотки крови свиней ($M \pm m$, $n=3$)

Показатели	Группы		
	I	II	III
Период выращивания			
Общий белок, г/л	54,75±3,25	54,95±3,45	55,40±1,0
Альбумин, г/л	35,70±0,30	38,05±0,65	39,6±1,40
Глобулины, г/л	15,00±2,0	17,50±0,50	18,00±3,0
Мочевина, ммоль/л	3,75±0,25	3,70±0,90	3,45±0,15
Креатинин, мкмоль/л.	126,35±5,85	127,70±1,90	131,95±3,35
АСТ, Е/л	28,50±4,90	27,10±9,90	27,60±10,30
АЛТ, Е/л	62,50±4,40	62,90±4,90	68,75±7,35
Щелочная фосфатаза, Е/л	335,5±26,3	370,9±21,3	389,5±30,0*
Глюкоза, ммоль/л	6,80±0,49	5,34±0,42	6,04±0,61
Общий холестерин, ммоль/л	2,74±0,06	3,04±0,17	2,95±0,30
Триглицериды, ммоль/л	0,64±0,09	0,66±0,03	0,65±0,05
Липаза	6,12±1,12	7,04±0,15	7,19±0,27
Период откорма			
Общий белок, г/л	52,15±0,05	57,25±2,05	59,05±0,05*
Альбумин, г/л	34,90±0,20	36,80±0,20	37,95±0,05*
Глобулины, г/л	17,50±0,50	20,50±1,50	21,00±0,7
Мочевина, ммоль/л	4,20±0,05	3,60±0,05	3,55±0,05
Креатинин, мкмоль/л.	149,05±0,75	160,45±0,5	162,30±0,40*
АСТ, Е/л	14,75±0,05	20,35±0,25	19,75±0,05
АЛТ, Е/л	47,65±0,35	53,70±0,30	60,40±1,00*
Щелочная фосфатаза, Е/л	213,1±0,20	232,50±0,30	298,05±2,45 *
Глюкоза, ммоль/л	4,29±0,08	4,37±0,07	4,58±0,02
Об. холестерин, ммоль/л	2,43±0,02	2,57±0,03	2,63±0,01
Триглицериды, ммоль/л	0,48±0,09	0,69±0,01	0,72±0,01

Активность трансаминаз (АСТ и АЛТ) не имела достоверных различий. Однако активность щелочной фосфатазы (ЩФ) в III группе была достоверно выше контроля на 16,1 % ($P \leq 0,05$). Поскольку, у растущего молодняка этот фермент преимущественно отражает интенсивность остеогенеза и минерального обмена, его повышение подтверждает усиление костного роста и тканевого ремоделирования при достаточном энергообеспечении (Гамко и др., 2021). Показатели углеводного и липидного обмена (глюкоза, холестерин, триглицериды) оставались стабильными (без статистически значимых различий), что типично для физиологически здорового организма.

В период откорма, метаболические сдвиги стали более выраженными. У свиней III группы зафиксировано достоверное повышение уровня общего белка (на 13,2 %, $P \leq 0,05$) и альбуминов (на 8,7 %, $P \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Это объективно указывает на усиление синтетической функции печени и более эффективное включение питательных веществ в структуру мышечной ткани (Контэ и др., 2023).

Наблюдалась тенденция по снижению уровня мочевины, тогда как концентрация креатинина в III группе достоверно превышала контрольные значения на 8,9 % ($P \leq 0,05$), что подтверждает интенсификацию роста мышечной массы.

Активность ферментов в период откорма также претерпела изменения. Так в III группе отмечено достоверное повышение активности АЛТ и ЩФ ($P \leq 0,05$). Учитывая, что абсолютные значения оставались в пределах физиологической нормы, это следует трактовать не как цитоллиз или патологию печени, а как усиление её метаболической активности (АЛТ) и продолжение интенсивного роста костной ткани (ЩФ) в условиях скармливания рационов с повышенным содержанием обменной энергии.

Показатели углеводного и липидного обмена характеризовались умеренным повышением уровня глюкозы, общего холестерина и триглицеридов от I к III группе, что отражает адаптацию липидного метаболизма к повышенному поступлению энергии с кормом.

Повышение переваримости липидов, наблюдаемое при увеличении доли подсолнечного масла в рационе, непосредственно отражается на биохимических показателях сыворотки крови, характеризующих метаболический статус организма. Улучшение эмульгации и мицеллообразования за счёт ненасыщенных жирных кислот подсолнечного масла обеспечивает не только более полное всасывание насыщенных липидов, но вероятно существенно повышает биодоступность жирорастворимых витаминов (в частности, витамина Е), присутствующих в премиксе. Оптимизация усвоения липидной фракции напрямую влияет на системные физиологические процессы (через усиление энергетического обмена), включая интенсивность остеогенеза и минерального обмена, что объективно отражается в достоверном росте активности щелочной фосфатазы у растущего молодняка (Lauridsen, 2020). Кроме того, возросшая абсорбция жиров создаёт выраженный эффект сохранения белка, при котором высокодоступная энергия липидов снижает катаболизм аминокислот для нужд глюконеогенеза, улучшая их общую усвояемость и направляя азот на синтез мышечных структур, что подтверждается снижением концентрации мочевины и одновременным достоверным ростом уровня креатинина в сыворотке крови (Liu et al., 2022). Таким образом, повышение переваримости жирных кислот создаёт энергетическую основу для усиления анаболических процессов, что отражается в изменениях биохимического профиля крови.

Заключение

Повышение уровня обменной энергии в комбикормах на 1,4 % и 2,8 % за счёт ввода подсолнечного масла (10 и 18 г/кг) увеличивает среднесуточные приросты живой массы свиней на 2,1–11,5 % и снижает затраты корма на 1 кг прироста в периоды выращивания и откорма. Оптимальный уровень концентрации обменной энергии в период выращивания поросят составляет – 13,34, а в период откорма – 13,14 МДж/кг корма.

Установлен выраженный синергетический эффект влияния подсолнечного масла на липидный обмен. Высокое содержание ненасыщенных жирных кислот (C18:1, C18:2) в рационе не только обеспечивает их собственную высокую переваримость, но и повышает усвояемость насыщенных жирных кислот корма. Переваримость стеариновой кислоты (C18:0) значительно увеличилась в период выращивания и откорма, что нивелирует эндогенные потери и повышает общую энергетическую ценность рациона.

Повышение уровня обменной энергии в комбикормах способствует оптимизации белкового и энергетического обмена. У животных III группы, в период откорма, отмечено снижение уровня мочевины при одновременном достоверном росте концентрации креатинина и общего белка. Это свидетельствует о более эффективном использовании азота корма для синтеза мышечной ткани, а не для энергетического катаболизма, что подтверждает зависимость метаболического статуса от энергетической ценности рациона.

При разработке комбикормов для свиней необходимо учитывать дифференцированный подход к включению жиров: использование подсолнечного масла целесообразно не только для коррекции энергетической питательности, но и для улучшения общего профиля усвояемости ЖК корма, что особенно критично для липидов с преобладающей фракцией насыщенных жирных кислот.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки, проект № 124020200032-4. на 2023–2026 гг.

Список литературы

1. Гамко Л.Н., Менякина А.Г., Подольников В.Е. Продуктивность, обмен энергии и морфо-биохимические показатели крови под воздействием мергелесывороточной добавки у молодняка свиней на дорастивании // Вестник Брянской гос. с/х академии. 2021. № 3. С. 31–37. doi: 10.52691/2500-2651-2021-85-3-31-37
2. Гриценко С.А., Дерхо М.А., Ребезов М.Б., Соломаха С.В. Характеристика изменчивости показателей крови свинок родительских пород, используемых для промышленного скрещивания // Аграрная наука. 2023. № 5. С. 42–48. doi: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-42-48
3. Контэ А.Ф., Белоус А.А., Воронина О.А., Боголюбова Н.В., Зайцев С.Ю. Изменчивость биохимических показателей крови свиней породы дюрок на основе модели смешанного уравнения // Свиноводство. 2023. № 1. С. 25–29. doi: 10.37925/0039-713X-2023-1-25-29
4. Duran-Montgé P., Lizardo R., Torrallardona D., Esteve-Garcia E. Fat and fatty acid digestibility of different fat sources in growing pigs. // Livestock Sci. 2007. Vol. 109. nr 1-3. P. 66-69. doi: 10.1016/j.livsci.2007.01.067
5. Mitchaothai J., Everts H., Yuangklang C., Wittayakun S., Vasupen S., Wongsuthavas R., et al. Meat quality, digestibility and deposition of fatty acids in growing-finishing pigs fed restricted, iso-energetic amounts of diets containing either beef tallow or sunflower oil. // Asian-Austral. J Anim. Sci. 2008. Vol. 21. nr 7. P. 1015-1026. doi: 10.5713/ajas.2008.70515
6. Wang L, Chen Y., Yang Y., Xiao N., Lai C. Oils with different degree of saturation: effects on ileal digestibility of fat and corresponding additivity and bacterial community in growing pigs. // J Anim Sci. Biotechnol. 2024. Vol. 15. nr 1. P. 21. doi: 10.1186/s40104-023-00990-6
7. Wealleans A.L., Bierinckx K, di Benedetto M. Fats and oils in pig nutrition: Factors affecting digestion and utilization. // Animal Feed Sci. Tech. 2021. Vol. 277. Article 114950. doi: 10.1016/j.anifeeds.2021.114950
8. Liu H., Chen Y., Wang W., Jiang Z., Ma X., Wang F. Comparison of global metabolite for growing pigs fed at metabolizable energy requirement for maintenance // Front. Vet. Sci. 2022. Vol. 9. Article 917033. doi: 10.3389/fvets.2022.917033
9. Lauridsen C. Effects of dietary fatty acids on gut health and function of pigs pre- and post-weaning. // J Anim. Sci. 2020. Vol. 98. nr 4. Article skaa086. doi: 10.1093/jas/skaa086

10. Liu H., Chen Y., Wang W., Jiang Z., Ma X., Wang F. Comparison of global metabolite for growing pigs fed at metabolizable energy requirement for maintenance. // *Front. Vet. Sci.* 2022. Vol. 9. Article 917033. doi: 10.3389/fvets.2022.917033
11. Engel J.J., Smith J.W., Unruh J.A., Goodband R.D., O'Quinn P.R., Tokach M.D., Nelssen J.L. Effects of choice white grease or poultry fat on growth performance, carcass leanness, and meat quality characteristics of growing-finishing pigs. // *J Anim Sci.* 2001. Vol. 79. nr 6. P. 1491-501. doi: 10.2527/2001.7961491x

References (for publications in Russian)

1. Gamko L.N., Menyakina A.G., Podol'nikov V.E. [Productivity, energy metabolism, and morpho-biochemical blood parameters under the influence of a Mergel serum additive in piglets on rearing]. *Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii (Bulletin of the Bryansk State University. agricultural academy)*. 2021. 3: 31–37. doi: 10.52691/2500-2651-2021-85-3-31-37
2. Gricenko S.A., Derho M.A., Rebezov M.B., Solomaha S.V. [Characteristics of the variability of blood parameters in sows of parent breeds used for industrial crossbreeding]. *Agrarnaya nauka (Agricultural science)*. 2023. 5: 42-48. doi: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-42-48
3. Konteh A.F., Belous A.A., Voronina O.A., Bogolyubova N.V., Zajcev S.Yu. [Variability of biochemical blood parameters in Duroc pigs based on a mixed equation model]. *Svinovodstvo (Pig breeding)*. 2023. 1: 25-29. doi: 10.37925/0039-713X-2023-1-25-29

UDC 636.4.087:612.015

Correlation of productivity, digestibility of fatty acids, and biochemical profile of blood in changing the level of metabolic energy in the diet of meat pigs

Panyushkin D.E., Ushakov A.S., Niyazov N.S.-A.

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

ABSTRACT. The experiment was conducted on crossbred boars of meat breeds (♂ Danish Yorkshire × ♀ Danish Landrace). Three groups of 10 pigs were formed, with an initial live weight of 18 kg. The experiment was divided into two periods: rearing and fattening. During the growing period, piglets of Group I received feed with an exchange energy concentration of 12.98 MJ, Group II received 13.16 MJ, and Group III received 13.34 MJ, and during the fattening period, they received 12.78 MJ, 12.96 MJ, and 13.14 MJ/kg of feed. The level of metabolizable energy in the compound feed was regulated by adding sunflower oil at a rate of 1, 1.5, and 2 % of the dry matter of the compound feed, respectively, in groups I, II, and III during the growing period, and 0.5, 1.0, and 1.5 % during the fattening period. Two balance experiments were conducted on three animals from each group, weighing 25-30 kg during the growing period and 45-50 kg during the fattening period. It has been established that an increase in the level of metabolic energy in compound feed by 1.4 % and 2.8 % due to the addition of sunflower oil (10 and 18 g/kg) increases the average daily gain in live weight of pigs by 2.1-11.5 % and reduces the feed consumption per 1 kg of gain during the growing and fattening periods. A pronounced synergistic effect of sunflower oil on lipid metabolism has been identified. The high content of unsaturated fatty acids (C18:1, C18:2) in the diet not only ensures their own high digestibility, but also increases the digestibility of the feed's saturated fatty acids. Increasing the level of metabolizable energy in the feed promotes more efficient utilization of feed nitrogen for muscle tissue synthesis rather than for energy catabolism. Therefore, the optimal level of metabolizable energy concentration for piglets is 13.34 MJ/kg of feed during the growing period and 13.14 MJ/kg during the fattening period. The addition of sunflower oil has a positive effect on the digestibility of fatty acids and the optimization of protein and energy metabolism.

Keywords: pigs, metabolic energy, sunflower oil, productivity, fatty acid digestibility, biochemical blood parameters

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh (Productive Animal Biology). 2026. 3: 91-100

Поступило в редакцию: 15.07.2026

Получено после доработки: 05.09.2026

Сведения об авторах:

Панюшкин Дмитрий Евгеньевич, к.б.н., м.н.с., panyshkin@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4658-9626 ;

Ушаков Александр Сергеевич, к.б.н., с.н.с., asu2004@bk.ru;

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