

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР «ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПТИЦЕВОДСТВА»**

На правах рукописи



КИЯШКО АНАТОЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ

**КСИЛАНАЗА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В
КОМБИКОРМАХ ДЛЯ БРОЙЛЕРОВ И КУР-НЕСУШЕК**

4.2.4 – частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и
производства продукции животноводства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор РАН
Егорова Татьяна Анатольевна

Сергиев Посад – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	9
1.1 Общие сведения о кормлении домашней птицы, а также роль пшеницы как зерновой основы рациона.....	9
1.2 Некрахмалистые полисахариды (НКП), в частности арабиноксиланы, как антипитательные соединения.....	15
1.3 Определение, классификация и производство ксиланазы.....	18
1.4 Механизм действия ксиланазы.....	29
1.5 Эффективность от применения ксиланазы в кормлении сельскохозяйственной птицы.....	31
2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	41
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	51
3.1 Исследование 1. Результаты выращивания цыплят-бройлеров на комбикормах пшеничного типа при включении нового концентрированного ферментного препарата Берзайм X с ксиланазной активностью.....	51
3.1.1 Производственная проверка эффективности использования концентрированного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм X в комбикормах для бройлеров.....	62
3.2 Исследование 2. Результаты применения нового концентрированного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм X в комбикормах пшеничного типа для кур-несушек.....	65
3.2.1 Производственная проверка эффективности использования нового концентрированного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм X в комбикормах для кур-несушек.....	76

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	85
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	86
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	109

ВВЕДЕНИЕ

В связи с неуклонным ростом спроса на мясо и яйцо современное птицеводство сталкивается с необходимостью повышения продуктивности сельскохозяйственной птицы и улучшения эффективного преобразования корма в продукцию [1].

Достоверно известно, что в наибольшей степени генетический потенциал птицы реализуется при использовании рационов, в основе которых заложена кукуруза, однако, из-за нехватки сырья, поражения её микотоксинами и роста цен, на территории Российской Федерации важным и основным источником энергии в комбикормах для сельскохозяйственной птицы является пшеница [14, 62]. Стоит отметить, что эффективность использования пшеницы ниже, чем у кукурузы, поскольку она содержит в своём составе больше антипитательных факторов, особенно некрахмалистых полисахаридов (НКП, или NSP). Арбиноксилановые фракции являются основными НКП в пшенице, которые увеличивают вязкость пищевого комка, снижают усвояемость питательных веществ, уменьшают эффективность кормления и рост птицы [88, 104]. Более того, НКП в рационе также могут ускорять ферментацию в тонком кишечнике, оказывая воздействие на состав кишечной микрофлоры, что может негативно сказаться на переваривании и усвоении питательных веществ у кур [89, 92, 154].

В настоящее время нет сомнений в том, что введение экзогенных микробных ферментов, гидролизующих НКП, в рационы птицы на основе пшеницы, оказывают положительное влияние на продуктивность. Ксиланаза широко добавляется в коммерческие комбикорма на основе пшеницы для бройлеров, чтобы преодолеть антипитательные эффекты НКП. Предыдущие исследования показали, что добавление ксиланазы в рационы на основе пшеницы может снизить вязкость кишечного содержимого за счёт частичного гидролиза НКП пшеницы, что приводит к улучшению усвояемости питательных веществ и росту бройлеров [87, 106, 189]. Более того, некоторые другие исследования показали, что добавление

ксиланазы в рацион на основе пшеницы улучшает иммунитет кур, снижает негативные последствия после инфекции *Salmonella Typhimurium* и уменьшает повреждение слизистой оболочки кишечника у бройлеров, подвергшихся воздействию *Clostridium perfringens* [105, 131, 190].

Общепризнано, что положительные эффекты кормовой ксиланазы в первую очередь связаны со снижением вязкости содержимого желудочно-кишечного тракта. Способность ксиланазы предотвращать образование вязкого пищевого комка, по-видимому, связана с частичным гидролизом НКП в верхних отделах пищеварительного тракта, что приводит к снижению вязкости пищевого комка в тонком кишечнике и устранению эффекта капсулирования питательных веществ полисахаридами клеточной стенки, а также высвобождению заключенных питательных веществ [74, 88, 139]. Стимулирующий рост эффект ксиланазы может также быть связан с некоторыми олигосахаридами в пищевом комке, образующимися в кишечнике под воздействием экзогенных или эндогенных ферментов [106]. Однако информации о влиянии добавления ксиланазы в рацион на деградацию НКП и высвобождение некоторых простых сахаров и олигосахаридов в различных отделах желудочно-кишечного тракта бройлеров, питающихся рационами на основе пшеницы, гораздо меньше.

Цель и задачи исследований. Цель диссертационной работы – изучить влияние различных уровней высококонцентрированного ферментного препарата Берзайм X на продуктивность бройлеров и кур-несушек при использовании пшеничных рационов.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

- оценить продуктивность бройлеров и кур-несушек, эффективность использования ими питательных веществ из комбикормов пшеничного типа с различным содержанием фермента Берзайм X;
- изучить влияние разных уровней ферментного препарата на физиолого-биохимические показатели цыплят-бройлеров и кур-несушек;

– определить экономическую эффективность включения ксиланазы в рационы для бройлеров и кур-несушек.

Научная новизна исследований заключается в том, что впервые дано физиолого-биохимическое обоснование рационального уровня включения в комбикорма пшеничного типа для бройлеров и кур-несушек российского ферментного препарата с ксиланазной активностью – Берзайм Х.

Теоретическая и практическая значимость работы. Проведённые исследования по изучению эффективности нового отечественного ферментного препарата с ксиланазной активностью в составе комбикормов пшеничного типа способствуют расширению и углублению знаний об обмене веществ у сельскохозяйственной птицы, об использовании ею питательных веществ корма. В ходе экспериментов были определены рациональные уровни включения концентрированной ксиланазы, позволяющие повысить продуктивность птицы и эффективность кормления.

Установлено, что ферментный препарат Берзайм Х отечественного производства обладает высокой ксиланазной активностью, что подтверждается улучшением показателей продуктивности и конверсии корма.

Методология и методы исследований. Экспериментальные исследования выполнены на птице кроссов «Смена 9» и «СП-789» в соответствии с методологией, принятой при изучении питания, обмена веществ и физиологического состояния сельскохозяйственной птицы. В рамках работы применён комплекс современных методов: зоотехнических, биохимических, морфологических и экономических.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Обоснование норм внесения новой отечественной ксиланазы в комбикорма пшеничного типа для бройлеров и кур-несушек.
2. Переваримость и использование питательных веществ корма, биохимические показатели крови, продуктивность цыплят-бройлеров и кур-несушек, а также качество мяса и яиц при обогащении комбикормов с высоким содержанием пшеницы новым отечественным концентрированным ферментным препаратом Берзайм Х с ксиланазной активностью.
3. Экономическая эффективность применения новой отечественной ксиланазы в рационах на основе пшеницы для бройлеров и кур-несушек.

Степень достоверности и апробации результатов. Исследования проводились с использованием воспроизводимых методик, что обеспечивает надёжность и повторяемость полученных данных. Статистическая обработка результатов выполнена методами вариационной статистики с оценкой уровня значимости различий.

Результаты работы были апробированы в производственных условиях и подтвердили эффективность использования ксиланазы в птицеводстве. Основные положения диссертации обсуждались на профильных семинарах (Сергиев Посад, 2023–2025 гг.) и конференциях, в том числе на: Международной научно-практической конференции «Мясное животноводство: интеграция науки и производства» (13–14 ноября 2025 г., г. Оренбург), II Международной научно-практической конференции «Достижения и перспективы развития птицеводства» (27 ноября 2025 г., г. Санкт-Петербург).

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном личном участии в получении исходных данных в научных экспериментах, их производственной проверке, в обработке и интерпретации экспериментальных данных и подготовке публикаций по выполненной работе.

Публикации результатов исследований. По материалам диссертации опубликовано 4 научные работы, в том числе 2 в рецензируемом журнале «Птицеводство», рекомендованном Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 114 страницах машинописного текста, содержит 37 таблиц, 4 рисунка и включает следующие разделы: введение, обзор литературы, материал и методика исследований, результаты исследований и их обсуждение, заключение, предложения производству, список использованной литературы и 2 приложения. Библиографический список включает 203 источника, из них 139 – на иностранных языках.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Общие сведения о кормлении домашней птицы, а также роль пшеницы как зерновой основы рациона

Цыплята-бройлеры являются основным и наиболее важным объектом мирового птицеводства, выступая в качестве одного из основных источников животного белка в питании человека. Быстрый рост и высокая эффективность откорма современных бройлеров в значительной степени обусловлены достижениями в области генетики, методов содержания и кормления [129].

Кормление, в частности, играет ключевую роль в продуктивности птицы, так как оно напрямую влияет на скорость роста, эффективность кормления и общее состояние здоровья. Важность правильно сбалансированного рациона становится очевидной уже на самых ранних этапах жизни бройлеров. Престартерные рационы, используемые в первую неделю после вылупления оказывают значительное воздействие на развитие желудочно-кишечного тракта, иммунной системы и общего потенциала роста [110]. Правильно подобранный рацион может укрепить здоровье желудочно-кишечного тракта, улучшить усвоение питательных веществ и создать фундамент для повышения продуктивности на протяжении всего производственного цикла. Главной целью при составлении кормов для бройлеров является обеспечение сбалансированного рациона, удовлетворяющего потребности птиц в энергии, белках, витаминах и минералах.

Энергия и белок представляют собой два ключевых компонента рациона бройлеров. Энергия, получаемая преимущественно из углеводов и жиров, обеспечивает поддержание метаболических процессов, физической активности и стимулирует рост [150]. В свою очередь, посредством белка организм получает аминокислоты, необходимые для развития оперения, роста мышечной массы, а также для синтеза ферментов и гормонов. Баланс между энергией и белком имеет критическое значение в откорме птицы, поскольку его нарушение может привести к нарушениям роста и избыточному накоплению жира [101].

Немаловажную роль в кормлении птицы играют и витамины, например витамин А и витамин Е, а также минералы, например цинк и селен, необходимые для поддержания иммунной функции и снижения риска возникновения инфекционных болезней [125].

Кроме того, некоторые кормовые добавки, такие как пробиотики и пребиотические вещества, могут влиять на микрофлору кишечника бройлеров, что ещё больше повышает их способность противостоять патогенам [160].

Оптимизация жирнокислотного состава рациона, могут значительно улучшить вкусовые и питательные свойства мяса, включая его нежность, сочность и содержание в нём омега-3 жирных кислот [167]. Это не только повышает рыночную стоимость конечного продукта, но и способствует укреплению здоровья человека.

Зерновые культуры, такие как кукуруза, пшеница и ячмень, являются основными источниками энергии в рационах сельскохозяйственной птицы благодаря высокому содержанию углеводов и их доступности [165]. Пшеница широко используется во многих регионах, особенно в России, Европе и в странах Азии, в качестве экономичной альтернативы кукурузе.

Зерновые обеспечивают примерно 60-70% обменной энергии (ОЭ) в рационе птицы, что делает их незаменимыми для удовлетворения высоких энергетических потребностей современных бройлеров [129]. В частности, содержание ОЭ в пшенице колеблется от 12,5 до 14,0 МДж/кг, в зависимости от её качества и состава [150]. Эта энергетическая ценность обеспечивается в основном крахмалом, который хорошо усваивается и эффективно используется бройлерами. Крахмал, содержащийся в пшенице, в процессе переваривания расщепляется до глюкозы, обеспечивая птицу быстрым источником энергии для роста и метаболических процессов.

Зерно злаковых культур является основным источником легко усваиваемых и легко ферментируемых углеводов. В среднем в зернах злаковых содержится 85-90% сухого вещества. Эта группа кормов также богата протеином, который составляет 10-14%, однако может варьироваться от 8% до 20%. Содержание масла в зерне злаковых невысоки – от 2 до 5%, причем наибольшее количество масла находится в зародыше зерна, где оно достигает 10-17%.

Жирные кислоты масла не насыщены и быстро окисляются. Это следует учитывать, особенно при использовании в корм овса и кукурузы в размолотом виде, поэтому запас их не должен превышать 10 дней. Злаковые, покрытые цветковыми чешуйками (плёнками), содержат значительное количество клетчатки. При этом злаки бедны минеральными элементами, их содержание составляет 1,5-5%.

По содержанию влаги злаковые подразделяются на категории: сухие (до 14%), средней сухости (14-15,5%), влажные (15,5-17%) и сырые (свыше 17%). Сухие и зерна средней сухости могут храниться длительное время и легко измельчаются, в то время как влажные требуют предварительной сушки, иначе их хранение будет недолговечным, а измельчение – затруднительным. Сырые злаки непригодны для хранения и должны использоваться в первую очередь.

Пшеница является одной из самых важных продовольственных культур в большинстве стран мира, её культивируют более чем в 80 странах. Химический состав пшеницы сильно изменчив. Например, содержание сырого протеина в зерне может варьироваться в зависимости от сорта, климатических условий и плодородия почвы. Для мягкой зимней пшеницы содержание белка составляет 11,6%, для яровой – 12,7%, для твердой – 12,5%, с возможными колебаниями от 8% до 22%. Основу массы зерна пшеницы составляют углеводы, играющие важную энергетическую роль в питании животных.

Углеводы в основном представлены крахмалом, который составляет в среднем 54% и может варьироваться от 48% до 63%, весь крахмал сосредоточен в

эндосперме. Кроме того, в зерне пшеницы присутствуют сахара и клетчатка. Содержание сахара варьируется от 2% до 7%, а клетчатки – в среднем 2,7% (с колебаниями от 2,08% до 4,3%). Клетчатка входит в состав плёнок и клеточных стенок оболочек, ее механическая прочность высока, она не растворяется в воде и не усваивается организмом, но играет важную роль в пищеварении, регулируя кишечную моторику и препятствуя сердечно-сосудистым заболеваниям. Поэтому отруби, полученные при переработке зерна пшеницы, используются как лечебное средство.

Жиры и липиды в зерне пшеницы составляют в среднем 1,6% и изменяются от 0,6% до 3%. Жиры сосредоточены в зародыше и могут негативно сказываться на сохранности зерна, так как неустойчивы при хранении. Под воздействием ферментов они разлагаются, образуя свободные жирные кислоты, которые окисляются. Это может привести к потере качества зерна, поэтому при производстве муки зародыш удаляют.

Пшеница, как и кукуруза, является одним из лучших ингредиентов для производства комбикормов, но в отличие от кукурузы в ней содержится значительно больше белка. Обычно используют зерно пшеницы с пониженной хлебопекарной способностью, с примесью зёрен других культур, но пригодное для кормовых целей.

При этом мягкая и твердая пшеница 1-4 классов предназначена для использования на продовольственные цели, в то время как пшеница 5 класса используется для выработки комбикормов или просто на кормовые цели. В соответствии с ГОСТом, зерно, предназначенное для производства комбикормов, должно иметь влажность не более 14,5% и находиться в негреющемся состоянии.

Здоровое зерно пшеницы не должно иметь затхлого, солодового, плесневого или других посторонних запахов. При этом наличие сорной примеси

ограничивается 5%. Сорной примесью считается все, что прошло через сито с отверстиями диаметром 1,0 мм.

В остатке на сите с отверстиями 1,0 мм в число сорной примеси входят минеральные части, состоящие из частиц шлака, земли, гальки и руды. Также в этом остатке могут присутствовать органические примеси, включая части стеблей, стержней колоса, остей, пленок и листьев. Кроме того, сюда относятся семена всех дикорастущих растений и испорченные зерна пшеницы, ржи, ячменя и полбы с явно поврежденным эндоспермом, который может иметь коричневый или темный цвет, включая фузариозное зерно.

Хотя для зерна 5 класса требования не так строги, следует учитывать, что зерно 1-4 классов должно соответствовать определённым показателям плотности, которые должны составлять не менее 770 г/л для 1 класса, 745 г/л для 2 класса и 710 г/л для 3 класса. Однако плотность пшеницы может варьироваться от 530 до 811 г/л, что, безусловно, сказывается на питательности зерна.

Пшеница 5 класса активно используется в составе комбикормов: для крупного рогатого скота и свиней пшеницу добавляют до 30%, а для птицы — до 60% от общего объема комбикорма. Смесь белков зерна пшеницы часто называют глютенем (клейковина). Глютенны обладают эластичностью, поэтому пшеница тонкого помола в зобе птицы образует клейкую массу, что приводит к нарушениям пищеварения.

Пшеница является не только отличным источником энергии, но и содержит умеренное количество белка, витаминов и минералов. Содержание сырого белка в пшенице обычно колеблется от 10 до 15%, однако в ней часто не хватает незаменимых аминокислот, таких как лизин и метионин [165]. Чтобы устранить эти недостатки, рационы, основанные на пшенице, обычно дополняются синтетическими аминокислотами или источниками белка, такими как соевый шрот.

Кроме того, пшеница содержит витамины группы В и минералы, такие как фосфор и калий, необходимые для продуктивности птицы.

В формировании рационов сельскохозяйственной птицы у пшеницы можно выделить следующие преимущества:

– *Экономическая эффективность.* В некоторых регионах пшеница часто более доступна по цене, чем другие зерновые культуры, такие как кукуруза, что делает её экономически выгодным источником энергии для рациона домашней птицы [181].

– *Доступность.* Пшеница широко культивируется и легко доступна во многих частях мира, что обеспечивает её бесперебойное использование в рецептурах кормов.

– *Гибкость рецептур.* Пшеницу можно использовать как основное зерновое зерно или в сочетании с другими зерновыми культурами, такими как кукуруза или ячмень, для создания сбалансированных рационов с учетом конкретных потребностей в питательных веществах.

Несмотря на свои преимущества, пшеница имеет определенные ограничения, которые необходимо учитывать, чтобы максимизировать её питательную ценность. Одной из основных проблем является наличие в ней некрахмалистых полисахаридов, в частности арабиноксиланов (АК, или АХ), которые не усваиваются домашней птицей из-за недостатка эндогенных ферментов [88]. Эти компоненты повышают вязкость пищевого кома, ухудшая усвоение питательных веществ и снижая эффективность кормления.

Следует отметить, что правильно составленный рацион представляет собой фундамент в выращивании бройлеров, оказывая прямое влияние на их рост, эффективность кормления, здоровье и качество мяса. Кормление, соответствующее потребностям птицы в питательных веществах на каждом этапе её развития, является необходимым условием для достижения максимальной продуктивности и обеспечения устойчивости в птицеводстве. А злаки, в особенности пшеница,

играют важную роль в рационе птицы как основной источник энергии. Высокое содержание крахмала, экономичность и высокая доступность делают их незаменимыми для современного птицеводства. Однако наличие в зерновых культурах антипитательных веществ, таких как НКП, требует использования кормовых ферментов для увеличения питательной ценности рационов на их основе. Решая эти задачи, пшеница может продолжать служить надёжным и эффективным источником энергии в кормлении сельскохозяйственной птицы.

1.2 Некрахмалистые полисахариды (НКП), в частности арабиноксиланы, как антипитательные соединения

В кормлении животных под некрахмалистыми полисахаридами понимаются сложные углеводы, которые не могут быть расщеплёнными эндогенными ферментами пищеварительного тракта животных и птиц и, следовательно, достигают толстого отдела кишечника почти не переваренными [83]. Иначе говоря, НКП – это полисахариды, не поддающиеся расщеплению α -амилазой животных и птиц [103]. Среди НКП, содержащихся в пшенице, арабиноксиланы являются наиболее распространёнными, на их долю приходится примерно 6-8% сухого вещества зерна [74]. Эти соединения оказывают существенное влияние на питание и продуктивность птицы.

Арабиноксиланы представляют собой остов из остатков ксилозы с боковыми цепями арабинозы, образуя сильно разветвленную и вязкую структуру. Такая структура обуславливает влагоудерживающую способность арабиноксиланов, что повышает вязкость перевариваемой пищи в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) бройлеров [67]. Высокая вязкость химуса ухудшает смешивание пищеварительных ферментов с питательными веществами, снижает скорость усвоения питательных веществ и отрицательно сказывается на эффективности откорма.

Химическая структура арабиноксиланов представлена на рисунке 1.

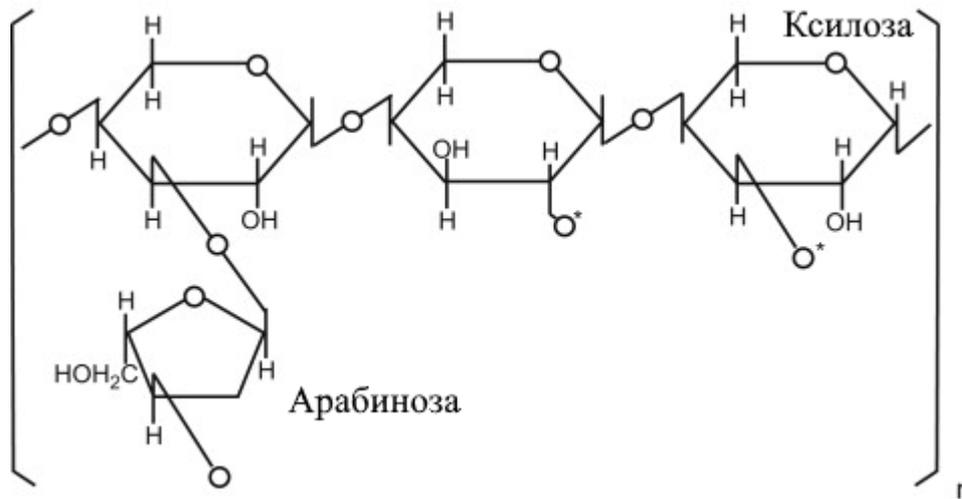


Рис. 1. Структура арабиноксиланов

Например, высокая вязкость перевариваемого продукта ограничивает доступ амилазы к крахмалу, снижая его расщепление на глюкозу, что к снижению обменной энергии и снижению показателей роста у бройлеров, корма которых составлены на основе пшеницы. Аналогичным образом нарушается усвоение белков и жиров, что чревато снижением доступности аминокислот и жирных кислот, необходимых для роста и обмена веществ.

Кроме того, арабиноксиланы могут связываться с минералами и желчными кислотами, что приводит не только к снижению их доступности, но и нарушает метаболические процессы, такие как эмульгирование и всасывание жиров, которые зависят от желчных кислот [73].

Присутствие арабиноксиланов в ЖКТ также может повлиять на здоровье кишечника и состав микробиоты. Высокая вязкость содержимого кишечника создает анаэробную среду, благоприятствующую размножению патогенных бактерий, таких как *Clostridium perfringens*, при одновременном подавлении полезной микрофлоры [68]. Этот дисбаланс в микробиоте кишечника может привести к субклиническим инфекциям и снижению иммунного статуса. Кроме того, при ферментации непереваренных НКП кишечной микробиотой образуются короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК) и газы, которые могут изменять pH

кишечной среды и усугублять проблемы со здоровьем кишечника [67]. Хотя КЦЖК могут служить источником энергии для клеток кишечника, чрезмерное их накопление может привести к осмотической диарее и дальнейшему снижению всасывания питательных веществ.

Совокупный эффект снижения усвояемости питательных веществ и ухудшения состояния кишечника в конечном итоге приводит к снижению общей продуктивности бройлеров. Исследования показали, что рационы с высоким содержанием НКП приводят к снижению прироста массы тела, повышению коэффициента конверсии корма (ККК или FCR) и увеличению смертности [74]. Например, у цыплят-бройлеров, получающих рационы с высоким содержанием некрахмалистых полисахаридов, часто замедляются темпы роста из-за недостаточной доступности энергии и питательных веществ, а также повышенной восприимчивости к таким заболеваниям, как некротический энтерит.

Кроме того, нельзя упускать из виду экономический эффект от наличия в корме НКП. Низкая эффективность использования кормов и высокий уровень смертности увеличивают производственные затраты, в то время как потребность в дополнительных кормовых добавках или альтернативных ингредиентах ещё больше снижает рентабельность [66].

Чтобы нейтрализовать антипитательные свойства арабиноксиланов, в рационы на основе пшеницы обычно добавляют кормовые ферменты, такие как ксиланаза. Ксиланаза расщепляет арабиноксиланы на более мелкие и менее вязкие фрагменты, снижая вязкость продуктов переваривания и улучшая усвояемость питательных веществ [74]. Исследования показали, что добавление ксиланазы может значительно повысить эффективность рационов на основе пшеницы, что приводит к улучшению показателей роста и эффективности кормления бройлеров [66].

Арабиноксиланы являются основными антипитательными веществами, содержащимися в пшенице, и негативно влияют на усвояемость питательных веществ, здоровье кишечника и продуктивность кур. Способность арабиноксиланов повышать вязкость корма и связывать питательные вещества создает серьёзные проблемы в кормлении птицы. Однако использование кормовых ферментов, таких как ксиланаза, предлагает эффективное решение для смягчения этих последствий, полностью раскрывая питательный потенциал рационов на основе пшеницы и поддерживая оптимальную продуктивность бройлеров.

1.3 Определение, классификация и производство ксиланазы

Ксиланазы представляют собой группу гидролитических ферментов, катализирующих расщепление ксиланов – основных компонентов клеточных стенок растений, относящихся к классу некрахмалистых полисахаридов [93].

Ксиланазы подразделяются по ряду критериев, включая источник происхождения, каталитическую активность и принадлежность к семействам гликозил-гидролаз.

Грибные ксиланазы. Грибы считаются наиболее продуктивными продуцентами ксиланаз. Роды *Aspergillus*, *Trichoderma* и *Penicillium* прочно закрепились в биотехнологии благодаря способности секретировать значительные количества внеклеточных ферментов, способных работать в кислых и нейтральных средах [161]. Чаще всего грибные ксиланазы принадлежат к семействам гликозил-гидролаз GH10 и GH11, причём ферменты семейства GH11 особенно ценятся за компактность и высокую субстратную специфичность [179].

Бактериальные ксиланазы. Бактериальные ксиланазы не менее разнообразны и обнаружены у таких родов, как *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Streptomyces* и *Cellulomonas*. В отличие от грибов, бактерии продуцируют более широкий спектр ферментов, адаптированных к различным условиям pH и температуры [152]. Многие бактерии синтезируют несколько изоферментов, часто в модульной форме

с углеводсвязывающими доменами (CBM), что усиливает их активность в отношении нерастворимых субстратов ксилана [187]. Такая структурная гибкость делает бактериальные ксиланазы востребованными в кормах и кормопроизводстве.

Архейные ксиланазы. Ксиланазы архей встречаются реже, однако привлекают значительное внимание благодаря своей экстремальной стабильности. Представители родов *Thermococcus*, *Pyrococcus* и *Sulfolobus* продуцируют гипертермофильные и кислотоустойчивые ксиланазы, сохраняющие активность в условиях, при которых ферменты грибов и бактерий денатурируют [168, 183]. Для архейных ксиланаз характерны уникальные структурные особенности — усиленные ионные взаимодействия и плотная гидрофобная упаковка, обеспечивающие устойчивость при высоких температурах и низком pH. Их перспективность в высокотемпературных биореакторах и производстве биотоплива особенно велика, хотя потенциал этих ферментов до сих пор используется ограниченно.

Ксиланазы также классифицируются на основе механизма их действия: по характеру разрыва связей (эндо- или экзо-действующие ферменты) и по типу каталитического механизма (удерживающий или инвертирующий). Эти характеристики определяют субстратную специфичность, спектр продуктов реакции и взаимодействие с дополнительными гемицеллюлазами в процессе деструкции клеточной стенки растений.

— Эндо-ксиланазы осуществляют случайный гидролиз внутренних β -1,4-ксилозидных связей в основной цепи ксилана, образуя гетерогенную смесь ксилоолигосахаридов. Эти ферменты инициируют быструю деполимеризацию и создают новые цепные концы для дальнейшего расщепления [171, 136].

— Экзо-ксиланазы расщепляют ксилан с восстановительного или невосстановительного конца, постепенно высвобождая короткие олигомеры или мономеры ксилозы. Например, экзо-олигоксиланазы (КФ 3.2.1.156) и β -ксилозидазы (КФ 3.2.1.37) участвуют в терминальной деградации [133]. Хотя эндо-

ксиланазы являются основными катализаторами фрагментации ксилана, экзодействующие ферменты обеспечивают полную сахарификацию за счёт конверсии растворимых олигомеров в мономеры.

Совместное действие эндо- и экзо-ферментов обеспечивает эффективный гидролиз как полимерного остова ксилана, так и продуктов его расщепления.

Ксиланазы реализуют два основных механизма гидролиза гликозидных связей:

- Удерживающие ксиланазы действуют по механизму двойного замещения, в котором участвуют два каталитических остатка глутаминовой кислоты: один выполняет роль нуклеофила, другой — кислоты/основания. В результате сохраняется исходная аномерная конфигурация субстрата [137]. Большинство ксиланаз семейств GH10 и GH11 относится к этому типу.
- Инвертирующие ксиланазы используют механизм однократного замещения с кислотно-основным катализом, при котором конфигурация на аномерном центре инвертируется. Такой тип механизма наблюдается у ряда ферментов семейств GH5 и GH43 [144].

Хотя оба механизма катализируют гидролиз β -1,4-ксилозидных связей, они существенно различаются по переходным состояниям, ориентации субстрата и промежуточным продуктам, что определяет направления белковой инженерии для промышленного применения.

Классификация по системе Комиссии по ферментам. Система классификации ферментов (Enzyme Commission, EC или КФ), разработанная Международным союзом биохимии и молекулярной биологии (IUBMB), представляет собой стандартизованную реакционно-ориентированную номенклатуру, группирующую ферменты по типу катализируемых химических превращений. Ксиланазы и родственные ксиланолитические ферменты относятся к

классу КФ 3.2.1 – гликозидазы, катализирующие гидролиз гликозидных связей в углеводах и их производных [71].

Наиболее значимыми для деградации ксилана являются ферменты, отнесённые к КФ 3.2.1.8, КФ 3.2.1.37 и КФ 3.2.1.156, каждый из которых выполняет специфическую, но взаимодополняющую функцию в разрушении гемицеллюлоз.

Эндо-1,4-β-ксилазы (КФ 3.2.1.8). Эндо-ксилазы являются основными ферментами, ответственными за гидролиз ксилана. Они случайным образом расщепляют внутренние β-1,4-ксилозидные связи в полимерной цепи ксилана, образуя смесь ксилоолигосахаридов различной длины [93]. Эти ферменты играют ключевую роль в инициации деполимеризации ксилана и повышении доступности субстрата для других ферментов.

Большинство эндо-1,4-β-ксилаз принадлежит к семействам GH10 и GH11, хотя представители обнаружены и в GH5, GH30, GH43 [158]. Их активность определяет скорость и эффективность деградации гемицеллюлоз в целом. Благодаря этим свойствам они широко применяются в промышленности: кормопроизводстве и биоэтанольной технологии [136].

Экзо-олигоксилазы (КФ 3.2.1.156) катализируют последовательное удаление коротких ксилоолигомеров с концов ксилановой цепи. В отличие от β-ксилозидаз, выделяющих отдельные мономеры ксилозы, эти ферменты образуют олигомеры с чётко определённой длиной, такие как ксилобиоза и ксилотриоза [133].

Такое свойство делает их перспективными для биотехнологии, поскольку ксилоолигосахариды востребованы в качестве функциональных пищевых добавок и пребиотиков. Экзо-олигоксилазы встречаются реже, чем эндо-ксилазы и β-ксилозидазы, но были идентифицированы, например, у *Paenibacillus barengoltzii*. Их структурная специфика подчёркивает разнообразие ксиланолитической системы [117].

β-Ксилозидазы (КФ 3.2.1.37) завершают процесс деградации ксилана, расщепляя ксилоолигосахариды и ксилобиозу до мономерной ксилозы. Эти ферменты дополняют эндо-ксилаказы, обеспечивая полное расщепление растворимых продуктов деградации [161].

Они часто подвержены ингибированию продуктом реакции (ксилозой), что ограничивает их применение в промышленных условиях. Тем не менее *β*-ксилозидазы незаменимы при получении моносахаридов для биоэнергетики и при производстве пребиотических ксилоолигосахаридов [176]. Современные исследования направлены на повышение устойчивости этих ферментов к высоким концентрациям ксилозы [135].

Функциональная иерархия ксиланолитической системы представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Функциональная иерархия ксиланаз в деградации ксилана

Фермент (КФ)	Тип действия	Продукты реакции	Основная роль в деградации ксилана
Эндо-1,4- <i>β</i> -ксилаза (КФ 3.2.1.8)	Эндо-фермент	Ксилоолигосахариды различной длины	Инициация деполимеризации ксилана, образование новых точек атаки для других ферментов
Экзо-олигоксилаза (КФ 3.2.1.156)	Экзо-фермент	Короткие олигомеры (ксилобиоза, ксилотриоза)	Продуцирует строго определённые олигосахариды.
<i>β</i> -Ксилозидаза (КФ 3.2.1.37)	Экзо-фермент	Ксилоза (мономеры)	Завершает расщепление олигосахаридов, обеспечивает полную утилизацию субстрата

Таким образом, эндо-1,4-*β*-ксилазы (КФ 3.2.1.8) выступают в качестве ключевых ферментов, инициирующих разрушение полисахаридного остова ксилана. Их действие дополняется экзо-ферментами: экзо-олигоксилазами (КФ 3.2.1.156), формирующими короткоцепочечные олигосахариды, и *β*-ксилозидазами

(КФ 3.2.1.37), обеспечивающими полное расщепление олигосахаридов до мономерных звеньев. Согласованное действие указанных ферментов позволяет достичь глубокой деполимеризации гемицеллюлоз, что имеет принципиальное значение как для процессов пищеварения у птицы, так и для кормопроизводства.

Классификация по семействам гликозил-гидролаз (GH). Ксиланазы, представляющие собой важное подмножество гемицеллюлаз, преимущественно классифицируются на основании гомологии аминокислотных последовательностей и каталитических механизмов с использованием базы данных Carbohydrate-Active enZymes (CAZy). Эта база классифицирует ксиланазы по семействам гликозил-гидролаз (GH) в зависимости от их эволюционных взаимосвязей и консервативных каталитических механизмов [135]. Среди многочисленных семейств GH наиболее значимыми для деградации ксилана являются GH10 и GH11, хотя ксиланолитическая активность также отмечается в семействах GH5, GH30 и GH43.

Ксиланазы семейства GH10 характеризуются относительно крупными молекулами (30–50 кДа) и широкой субстратной специфичностью. Они имеют структуру $(\beta/\alpha)_8$ -TIM-barrel и способны расщеплять сильно замещённые ксиланы благодаря открытому и пространственно ёмкому активному центру [158]. Эти ферменты преимущественно образуют короткие ксилоолигосахариды и проявляют высокую каталитическую активность в диапазоне от кислых до нейтральных значений pH и при умеренных температурах.

Ферменты GH10 широко встречаются у бактерий, однако продуцируются также многими видами грибов. Благодаря их устойчивости и субстратной универсальности ксиланазы GH10 находят широкое применение в производстве кормов для животных и биотоплив [124, 187].

Ксиланазы семейства GH11. В отличие от GH10, ксиланазы GH11, как правило, имеют меньший размер (20–30 кДа), β -jelly roll укладку и более узкую щель активного центра, что ограничивает их активность преимущественно слабо

замещёнными ксиланами. Эти ферменты образуют длинноцепочечные ксилоолигосахариды и функционируют оптимально при нейтральных и щелочных значениях pH [158]. Ксиланазы GH11 часто называют «истинными ксиланазами» благодаря их высокой субстратной специфичности. Основными продуцентами ферментов данного семейства являются грибы рода *Trichoderma*, *Aspergillus* и *Penicillium* [130].

Несмотря на то, что ксиланазы GH11, как правило, менее термостабильны по сравнению с ферментами GH10, современные методы белковой инженерии направлены на повышение их термостабильности и устойчивости к промышленным условиям [151, 157].

Другие семейства GH с ксиланазной активностью. Хотя GH10 и GH11 доминируют в функциональном спектре ксиланаз, ряд других семейств GH также проявляет ксиланолитическую активность:

- GH5 включает мультифункциональные ферменты, разрушающие как целлюлозу, так и гемицеллюлозу.
- GH30, в частности подсемейство GH30_8, обладает уникальной эндоксиланазной активностью, зависящей от глюкуроновой кислоты, что делает эти ферменты ключевыми для деградации сильно замещённых глюкуроноксиланов [162].
- GH43 включает β -ксилозидазы и арабинофуранозидазы, участвующие в расщеплении основной цепи ксилана и удалении боковых цепей.

Несмотря на то, что данные семейства изучены менее подробно, их значение возрастает благодаря развитию метагеномики и поиску белков в экстремальных экологических нишах [172].

Классификация на основе оптимальных pH и температуры. Экстремофильные микроорганизмы, обитающие в условиях предельно низких или высоких значений pH и температур, являются богатым источником устойчивых и

промышленных значимых ксиланаз. Эти ферменты представляют особый интерес благодаря способности функционировать в жёстких технологических условиях, таких как высокие температуры, щелочные или кислые значения pH, а также в присутствии денатурантов или органических растворителей. Основными группами экстремофильных продуцентов ксиланаз являются термофилы, алкалифилы и ацидофилы, каждая из которых формирует ферменты с уникальными структурными и функциональными характеристиками.

Термофильные ксиланазы. Термофильные микроорганизмы, включая некоторые виды *Bacillus*, *Thermotoga* и *Dictyoglomus*, продуцируют ксиланазы с высокой термостабильностью и оптимальной активностью при температурах выше 60 °C. Эти ферменты находят применение в таких отраслях, как производство биоэтанола и отбеливание целлюлозы, где высокотемпературные процессы способствуют ускорению реакций и снижению риска контаминации. Например, GH11-ксиланазы из *Dictyoglomus thermophilum* и *Thermobifida fusca* проявляли высокую активность при температурах свыше 80 °C, а их эффективность дополнительно возрастала при слиянии с углеводсвязывающими модулями [188]. Аналогично, ксиланазы из термофильного гриба *Malbranchea flava* показали высокую продуктивность и эффективность биоконверсии при сахаризации лигноцеллюлозного сырья [177].

Алкалифильные ксиланазы. Алкалифильные микроорганизмы продуцируют ксиланазы с оптимальной активностью в щелочной среде (обычно при pH выше 9). Они особенно востребованы в текстильной и целлюлозно-бумажной промышленности, где доминируют щелочные условия. Алкалифильные ксиланазы нередко сочетают щелочеустойчивость с термостабильностью — свойство, крайне ценное для промышленности. Например, штамм *Bacillus* sp. TAR-1 синтезирует ксиланазу с оптимальной активностью при 75 °C и pH 9,0, показывая потенциал для высокотемпературных щелочных процессов [149]. Структурные исследования GH10-ксиланаз алкалифильного происхождения выявили увеличение числа кислых

остатков на поверхности белка, что способствует их стабильности и активности при высоком pH [138]. В совокупности с отсутствием целлюлазной активности это делает их особенно привлекательными для экологически безопасного отбеливания целлюлозы [127].

Ацидофильные ксиланазы. Ацидофильные грибы, такие как *Aspergillus* и *Penicillium* spp., продуцируют ксиланазы с оптимальной активностью при низких значениях pH (обычно ниже pH 5). Эти ферменты особенно важны в пищевой промышленности и кормопроизводстве, где преобладают кислые условия. Ацидофильные ксиланазы характеризуются уникальными каталитическими механизмами и структурными особенностями, включая повышенное содержание заряженных аминокислотных остатков, что обеспечивает их стабильность в кислой среде [99]. Они перспективны и для биорафинации, так как позволяют избирательно разрушать гемицеллюлозу без повреждения целлюлозного каркаса.

Полиэкстремофильные адаптации и промышленное значение. Некоторые экстремофильные ксиланазы, особенно из родов *Bacillus* и *Dictyoglomus*, сочетают сразу несколько типов устойчивости — термостабильность, алкалофильность и устойчивость к растворителям, что делает их исключительно ценными для различных отраслей промышленности. Так, ксиланаза Xyn11 из *Pseudothermotoga thermarum* показала выдающуюся активность при 90 °C и pH 10,5 [189]. Эти свойства тесно связаны со структурными особенностями ферментов: плотной упаковкой гидрофобного ядра, большим числом ионных взаимодействий и обогащённостью поверхности кислым аминокислотным составом [138].

Производство ксиланазы. Твердофазная ферментация (SSF – solid state fermentation) – это экономически эффективный и экологически безопасный метод производства ксиланазы, основанный на использовании агропромышленных отходов в качестве субстратов. В этом процессе микроорганизмы растут на увлажнённых твёрдых материалах при отсутствии свободной воды, что

обеспечивает такие преимущества, как высокий выход фермента, низкие энергозатраты и сокращение объёма сточных вод [159].

Преимущества SSF при производстве ксиланазы:

1. Использование субстратов: SSF позволяет применять лигноцеллюлозные отходы (например, пшеничные отруби, рисовую солому, багассу сахарного тростника) в качестве источников углерода, снижая производственные затраты на 30–50% по сравнению с синтетическими средами [84].

2. Высокие титры фермента: грибы, такие как *Aspergillus niger* и *Trichoderma reesei*, продуцируют в 2–3 раза больше ксиланазы при SSF по сравнению с глубинной ферментацией (SmF) благодаря лучшему доступу кислорода и контакту с субстратом [76].

3. Упрощенная очистка: сырой ферментный экстракт, полученный методом SSF, требует минимальной очистки для промышленного применения, так как загрязняющие его протеазы присутствуют в меньших количествах [180].

Субстраты и микроорганизмы-продуценты. Агропромышленные отходы:

– Пшеничные отруби: богаты арабиноксиланом (15–20%) и поддерживают рост *Aspergillus terreus*, обеспечивая выход ксиланазы 1 200–1 500 ед/г [169].

– Багасса сахарного тростника: Щелочная обработка повышает продукцию ксиланазы *Trichoderma harzianum* на 40% [141].

При производстве ксиланазы данным методом важна оптимизация следующих факторов:

– Содержание влаги: оптимальный уровень – 60–70% для роста грибов; превышение этого уровня ухудшает аэрацию [180].

– Температурный режим: поддерживается в диапазоне 25–30°C для мезофилов (*Trichoderma*), в то время как термофильные виды, такие как *Thermomyces lanuginosus*, оптимально функционируют при 50–55°C [77].

– Контроль pH: Исходный pH 5,0–6,0 благоприятен для грибных ксиланаз, тогда как щелочной pH (8,0–9,0) подходит для бактерий рода *Bacillus* [121].

Ксиланазы, продуцируемые методом SSF грибами *Trichoderma viride* на пшеничных отрубях, применяются как кормовые добавки в рационах для птицы, повышая их усвояемость.

Глубинная ферментация (SmF – submerged fermentation) – это широко используемый промышленный метод получения ксиланазы, характеризующийся ростом микроорганизмов в жидкой среде с наличием свободной воды. SmF обеспечивает точный контроль параметров ферментации (например, pH, температуры, растворённого кислорода) и предпочтителен для крупномасштабного производства ферментов благодаря высокой воспроизводимости и однородности процесса [121].

Преимуществами SmF для получения ксиланазы является:

– Контроль процесса: мониторинг в реальном времени и корректировка pH, температуры и аэрации позволяют оптимизировать выход фермента [78].

– Высокая чистота: SmF упрощает этапы очистки, обеспечивая выделение ксиланазы с чистотой >90% с использованием ультрафильтрации и хроматографии [179].

– Воспроизводимость: гомогенное перемешивание обеспечивает стабильную ферментативную активность в разных партиях, что критично для биотопливной и пищевой промышленности [76].

Сравнение глубинной ферментации с твердофазной представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение глубинной ферментации (SmF) с твердофазной ферментацией (SSF) [159, 180]

Параметр	SmF	SSF
Затраты на субстрат	Высокие (синтетические среды)	Низкие (агропромышленные отходы)
Выход фермента	500–1 500 ед/мл (грибы)	1 000–3 000 ед/г (грибы)
Энергозатраты	Высокие (стерилизация, перемешивание)	Низкие (минимальное потребление воды, отсутствие перемешивания)
Применения	Высокоочищенные ферменты (фармацевтика, пищевая промышленность)	Сырой фермент (кормовые добавки, отбеливание целлюлозы)

1.4 Механизм действия ксиланазы

Ксиланазы обладают специфичностью к субстрату, обусловленной структурной гетерогенностью ксилана – разветвлённого гетерополисахарида, состоящего из основной цепи, образованной остатками ксилозы, связанными по β -1,4-связям, и дополнительными боковыми группами, такими как арабиноза, связанная по α -1,2/1,3-связям, α -1,2-глюкуроновая кислота и ацетильные группы [81]. Способность ксиланаз гидролизовать определённые участки ксилана зависит от их принадлежности к семействам гликозилгидролаз (GH), архитектуры активного центра и устойчивости к заместителям [93].

Ксиланазы преимущественно гидролизуют β -1,4-гликозидные связи между остатками ксилозы, однако характер расщепления варьирует в зависимости от семейства GH:

– Ксиланазы семейства GH10 преимущественно воздействуют на замещённые участки ксилана, расщепляя внутренние связи рядом с боковыми группами арабинозы или глюкуроновой кислоты. Например, Xyn10A из

Cellulomonas fimi гидролизует арабиноксилан в замещённых позициях, образуя короткие, разветвлённые ксилоолигосахариды [100].

– Ксиланазы семейства GH11 действуют исключительно на незамещённые линейные участки ксилана. Ксиланазы XynII (GH11) из *Aspergillus niger* гидролизует только гомоксилановые сегменты, образуя удлинённые КОС [161].

– Структурные исследования показали, что ферменты GH10 обладают широким активным центром, способным связывать разветвлённые субстраты, в то время как GH11-ксилианазы имеют более узкий и глубокий каталитический участок, адаптированный для линейного ксилана [81].

Взаимодействие с боковыми группами. Наличие боковых групп влияет на активность ксиланаз за счёт стерических или электростатических эффектов:

– Замещения арабинозой. α -L-арабинофуранозидазы семейства GH43 часто действуют синергично с ксиланазами, удаляя остатки арабинозы и повышая доступность субстрата. Например, β -ксилозидаза из *Selenomonas ruminantium* (GH43) расщепляет арабинозу в составе КОС, увеличивая эффективность гидролиза на 40% [119].

– Ацетильные группы. Ацетилксилианэстеразы (семейства CE1, CE4, CE5) удаляют ацетильные остатки, устраняя ингибирование ксиланаз. Эстераза CE1 из *Trichoderma reesei* повышает активность GH11-ксилианазы на ацетилированном ксилане на 70% [81].

Ксиланазы катализируют гидролиз β -1,4-гликозидных связей в ксилане посредством кислотно-основных механизмов, различающихся в зависимости от принадлежности фермента к семейству гликозидгидролаз. Эти механизмы классифицируются как сохраняющие или инвертирующие, в зависимости от стереохимического выхода реакции, и опираются на консервативные каталитические остатки, стабилизирующие переходные состояния [97].

Гидролиз β -1,4-гликозидных связей. Расщепление β -1,4-гликозидных связей в ксилане заключается в реакции нуклеофильного замещения (nucleophilic attack) аномерного углерода (C1) остатка ксилозы. Для сохраняющих механизмов (типичных для ксиланаз семейств GH10 и GH11) реакция протекает в два этапа:

- Гликозилирование. Каталитический нуклеофил (например, остаток глутаминовой кислоты) вступает реакцию с C1, формируя ковалентный гликозил-ферментный интермедиат.
- Дегликозилирование. Молекула воды, активированная кислотным катализом, гидролизует интермедиат, высвобождая продукт реакции с сохранением β -конфигурации [81].

В отличие от сохраняющего, инвертирующие механизмы (редкие для ксиланаз) предполагают одностадийную реакцию, при которой каталитическое основание отщепляет протон от воды, способствуя прямой нуклеофильной атаке на C1, в результате чего образуется продукт с α -конфигурацией [93].

1.5 Эффективность от применения ксиланазы в кормлении сельскохозяйственной птицы

Ксиланаза – карбогидраза, разрушающая β -1,4-гликозидные связи в арабиноксиланах, – является важным инструментом для нейтрализации их антипитательных эффектов. Гидролизуя арабиноксилан до коротких олигосахаридов, ксиланаза снижает вязкость химуса, разрушает клеточные стенки и высвобождает инкапсулированные питательные вещества [73]. Это ферментативное действие увеличивает обменную энергию рационов, основанных на пшенице, и улучшает биодоступность питательных веществ, напрямую влияя на продуктивность бройлеров. Однако, эффективность ксиланазы выходит за рамки расщепления углеводов. Её способность влиять на физиологию кишечника и активность микрофлоры дополнительно усиливает усвоение питательных веществ. Например, снижение вязкости химуса ускоряет прохождение корма, уменьшая микробную ферментацию непереваренных субстратов в переднем отделе

кишечника и снижая риск избыточного роста патогенных бактерий [140]. Кроме того, образующиеся при действии ксиланазы арабиноксилоолигосахариды (АКОС, или АХОС) проявляют пребиотическую активность, стимулируя рост полезной микрофлоры слепой кишки и повышая выработку короткоцепочечных жирных кислот, что способствует улучшению состояния кишечника и усвоению минеральных веществ [94].

На основе данных по кормлению птицы показано, как ксиланаза трансформирует питательную ценность пшеницы, решая как физиологические, так и экономические задачи в выращивании сельскохозяйственной птицы.

Повышение доступности питательных веществ. Арабиноксиланы в составе рационов на основе пшеницы являются растворимыми НКП способными образовывать вязкие гели в желудочно-кишечном тракте [74]. Эти гели захватывают крахмал, белки и липиды в матрице клеточной стенки, делая их недоступными для эндогенных пищеварительных ферментов [73].

Ксиланаза разрушает β -1,4-гликозидные связи в ксилановой цепи, фрагментируя сеть арабиноксилана и освобождая заключённые нутриенты:

– Крахмал: инкапсулированные крахмальные гранулы становятся доступными для амилазы, повышая доступность глюкозы. В *in vitro* исследованиях добавление ксиланазы повышало переваримость крахмала на 12–15% в рационах пшеничного типа [96].

– Белок: гидролиз арабиноксиланов увеличивает переваримость сырого протеина на 8–10%, снижая поступление непереваренного белка в толстый отдел кишечника [166].

– Липиды: высвобождаемые липиды легче эмульгируются, что приводит к лучшему усвоению жирных кислот [203].

Благодаря высвобождению питательных веществ и снижению вязкости, ксиланаза повышает показатель обменной энергии. Например, в исследовании

Meng и соавт. (2005) сообщили об увеличении ОЭ на 7% у бройлеров кросса Арбор Айкрес, получавших рационы пшеничного типа с добавлением ксиланазы в возрасте от 5 до 18 суток, что отразилось на их росте и конверсии корма [139]. Согласно мета-анализам, добавление ксиланазы улучшает коэффициент конверсии корма на 4–6% у бройлеров, получающих рационы с повышенным содержанием зерна пшеницы, что имеет значительный экономический эффект [96].

Снижение вязкости химуса. Растворимые арабиноксилановые полимеры, особенно с высоким соотношением арабинозы к ксилозе, взаимодействуют с водой, образуя вязкие гели в тонком кишечнике. Ксиланаза разрушает β -1,4-гликозидные связи в ксилановой цепи, фрагментируя АК до арабиноксилоолигосахаридов и уменьшая длину полимерной цепи [67]. Также исследования Kiarie et al. (2014), проведённые на бройлерах кросса Росс 308, показали, что добавка ксиланазы (1250 ед/кг) снижает вязкость содержимого тощей кишки с 5,22 мПа·с до 2,22 мПа·с в пшеничных рационах для бройлеров [123]. Это ферментативное действие восстанавливает текучесть содержимого просвета, способствуя эффективному смешиванию ферментов с субстратами.

Кроме того, высокая вязкость содержимого желудочно-кишечного тракта способствует росту патогенных бактерий (например, *Clostridium perfringens*) в тонком кишечнике за счёт создания анаэробных условий [69]. Снижение вязкости восстанавливает аэробную среду и способствует развитию полезной микрофлоры, такой как *Lactobacillus* spp. Кроме того, образующиеся АКOC обладают пребиотической активностью, стимулируя рост *Bifidobacterium* и *Faecalibacterium* в слепых отростках толстого отдела кишечника [94]. Это способствует увеличению продукции короткоцепочечных жирных кислот (например, бутирата), которые поддерживают здоровье эпителия кишечника и иммунную функцию [123].

Влияние на усвоение белка. Инкапсуляция белков в матрице арабиноксилана ограничивает их доступность для протеолитических ферментов, что снижает переваримость белков и усвояемость аминокислот. Ксиланаза разрушает эту

матрицу, высвобождая заключённый белок и увеличивая переваримость сырого протеина на 4-5%.

Многочисленные исследования зарубежных авторов подтверждают, что добавление ксиланазы существенно повышает илеальную переваримость (apparent ileal digestibility – AID, что определяется путём вычитания из общего количества белка, попавшего в организм с кормом, белка, который был обнаружен в содержимом подвздошной кишки) протеина и аминокислот, особенно при комбинировании с другими ферментами, такими как фитаза.

Selle и соавт. (2009) в исследовании на бройлерах кросса Росс 308 установили, что добавление ксиланазы (2 000 ед/кг) увеличивало AID 17 аминокислот на 4,8%, тогда как комбинация ксиланазы с фитазой повышала этот показатель на 8,6% по сравнению с негативным контролем в рационе на основе пшеницы [174].

Jasek и соавт. (2018) отметили, что мультикарбогидраза, содержащая ксиланазу, увеличивала общую переваримость аминокислот на 3,8% у бройлеров кросса Кобб 500; также значительно возрастала ($P < 0,05$) переваримость отдельных аминокислот, таких как метионин (+3,4%), лизин (+2,6%) и цистин (+9,3%) [116].

В более раннем исследовании Mulyantini и Bryden (2010) включение ксиланазы в рацион пшеничного типа улучшало усвояемость всех незаменимых аминокислот, при этом использование треонина, валина и лейцина увеличивалось на 5–7%, что также подчёркивает влияние на разветвлённые и полярные аминокислоты [146].

Использование азота, являющееся ключевым индикатором использования белка и наращивания мышечной массы, также положительно реагирует на включение ксиланазы в рацион:

Selle и соавт. (2003) в исследованиях на бройлерах кросса Кобб 500 сообщили, что комбинация ксиланазы и фитазы увеличивала использование азота

на 6,8% в рационах на основе пшеницы и сорго, что объясняется снижением вязкости химуса и повышением доступности субстратов для эндогенных протеаз [175].

В рационах с пониженным уровнем белка у бройлеров кросса Росс 308 Cowieson и соавт. (2019) было показано, что добавление протеазы к рациону с ксиланазой и фитазой дополнительно улучшало усвояемость аминокислот и эффективность азотного обмена, что привело к снижению конверсии корма на 4% и увеличению чистой энергии на 107 ккал/кг [95].

Влияние на усвоение минеральных веществ. Добавление ксиланазы в рационы для бройлеров на основе пшеницы оказывает значительное влияние на биодоступность и всасывание жизненно важных минералов, особенно кальция и фосфора. Эти минералы играют ключевую роль в формировании скелета, образовании скорлупы яиц (у несушек), регуляции метаболизма и общем состоянии здоровья. Однако их доступность в растительных кормах для птицы часто ограничена из-за комплексообразования с фитатом и инкапсуляции в полисахаридах клеточной стенки.

Недавний мета-анализ, проведённый Inayah и соавт. (2022), включавший данные из 53 исследований, показал, что ксиланаза значительно улучшает не только усвоение сырого протеина и энергии, но также увеличивает усвоение фосфора на 5,4% и кальция на 6,2% в среднем. Фермент также был ассоциирован с сокращением длины кишечных сегментов и глубины крипт, что указывает на повышение эффективности пищеварения и минерализации [115].

Кроме того, Walker и соавт. (2024) проводили исследование комплекса ферментов на бройлерах Росс 308, содержащего ксиланазу, фитазу и другие карбогидразы, в рационах для бройлеров с пониженной обменной энергией и сниженным содержанием кальция и фосфора. В результате их эксперимента было выявлено:

- увеличение зольности большеберцовой кости на 7,8%,
- повышение использования фосфора на 12,4%,
- повышение использования кальция на 9,6%.

Все изменения были статистически достоверны ($p < 0,05$) и сопровождались снижением экскреции фосфора на ~15%.

Включение этого комплекса значительно повысило удержание кальция и фосфора, о чём свидетельствовало улучшение минерализации большеберцовой кости и снижение выведения фосфора с помётом. Эти результаты свидетельствуют не только о повышении биоэффективности минералов, но и о снижении экологической нагрузки за счёт уменьшения потерь фосфора [197].

Gilbert (2017) также изучал взаимодействие фитазы и ксиланазы в рационах на бройлерах кросса Кобб 500 и установил, что ксиланаза повышает использование фосфора на 9–16% в зависимости от уровня фитазы. Хотя ксиланаза сама по себе не оказала выраженного влияния на продуктивность, она усиливала действие фитазы, облегчая доступ к фитату и тем самым способствуя более эффективному высвобождению и усвоению минералов [109].

В кормлении кур-несушек добавление ксиланазы также показывает значительное влияние на усвоение минералов и связанные с ними показатели.

Kaуan и соавт. (2025) показали, что комбинированное применение ксиланазы и фитазы в рационе с пониженным содержанием энергии и фосфора позволяет сохранить продуктивность и одновременно достоверно повысить прочность яичной скорлупы на 11,3% ($P < 0,05$), а также снизить себестоимость кормления. Хотя усвояемость Са и Р напрямую не измерялась, улучшение качества скорлупы явно свидетельствует о повышении доступности минералов [122].

Walker и соавт. (2024) в эксперименте с несушками породы Новоген Браун выявили, что добавление ксиланазы и фитазы повысило илеальную перевариваемость фосфора на 18%, а его общее удержание — на 22%, при этом

эксекреция фосфора снизилась на 14%. Эти изменения подтверждают как улучшение минерального обмена, так и положительный экологический эффект [196].

У кур старшего возраста породы Новоген Браун Walker и соавт. (2025) сообщили, что добавление комплекса Allzyme® Spectrum (включающего ксиланазу и фитазу) повысило илеальную перевариваемость фосфора на 19%, а его удержание — на 21%. Также была отмечена прибавка на 5,7% в перевариваемости валовой энергии [195].

Для наглядности, литературные данные об усвояемости минералов у кур-несушек и цыплят-бройлеров представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Усвояемость минералов у кур-несушек и бройлеров

Параметр	Бройлеры	Куры-несушки
Усвояемость фосфора	↑ 5,4–16% с ксиланазой (результат улучшается при комбинировании с фитазой) [109, 115]	↑ 18–21% в комбинации ксиланазы+фитаза [195, 196]
Усвояемость кальция	↑ 6,2–9,6% [115, 196]	Косвенное улучшение на основании усиления прочности яичной скорлупы на 11,3% [122]
Зольность костей	↑ 7,8–10% [197]	↑ минеральной плотности кости [147, 156]
Выделение фосфора	↓ 10–15% комбинации ксиланаз+фитаза [109]	↓ 14% фосфора в помёте [196]

Совокупность описанных данных подчёркивает, что ксиланаза играет ключевую роль не только в разрушении клеточной инкапсуляции питательных веществ, но и в синергетическом улучшении всасывания минералов — особенно при сочетании с фитазой. При применении как в одиночку, так и в комбинации с фитазой, ксиланаза способствует значительному увеличению удержания минералов, минерализации костей и снижению экологической нагрузки за счёт снижения выделения фосфора.

Влияние ксиланазы на морфологию желудочно-кишечного тракта. Ксиланаза улучшает структуру кишечника за счёт снижения вязкости химуса и повышения

доступности питательных веществ вдоль слизистой оболочки. Ряд исследований отметили значительное улучшение морфологических показателей, таких как высота ворсинок (ВВ, VH – villus height) и соотношение высоты ворсинок к глубине крипт (ВВ:ГК или VH:CD, где CD – crypt depth), что отражает рост всасывающей способности кишечника.

Wang и соавт. (2021) обнаружили, что добавление 4000 ед/кг ксиланазы увеличило высоту ворсинок в подвздошной кишке на 14,7% и показатель ВВ:ГК — на 18,2% у 42-дневных бройлеров кросса Арбор Айкрес ($P < 0,05$). Кроме того, были значительно снижены уровни воспалительных цитокинов ИЛ-1 β и ФНО- α [198].

В 21-дневном эксперименте Vasanthakumari и соавт. (2022) введение ксиланазы в дозах 45 000 и 90 000 ед/кг в рационы бройлеров кросса Росс 308 способствовало достоверному увеличению высоты ворсинок в тощей кишке и снижению глубины крипт ($P < 0,05$), а показатель ВВ:ГК повысился на ~20–25% [192].

Wang и соавт. (2024) показали, что добавление 150 мг/кг ксиланазы увеличивает высоту ворсинок и соотношение ВВ:ГК ($p < 0,05$), а также улучшает целостность слизистой за счёт повышения экспрессии белков плотных контактов, таких как ZO-1 и окклюдин [199].

Результаты исследования разных авторов о влиянии ксиланазы на морфологию кишечника представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние ксиланазы на морфологию кишечника

Исследованные птицы	Добавленный фермент	Высота ворсинок, %	Глубина крипт, %	Отношение ВВ:ГК, %	Источник
Бройлеры	Ксиланаза	↑ на 14	↓ на 8	↑ на 22	[128]
Бройлеры	Ксиланаза	↑ на 11	↓ на 10	↑ на 24	[108]
Несушки	Ксиланаза	↑ на 12	↓ на 9	↑ на 23	[65]
Несушки	Ксиланаза	↑ на 15	↓ на 10	↑ на 28	[98]
Несушки	Ксиланаза + глюконаза	↑ на 9	↓ на 7	↑ на 17	[201]

Все приведённые выше эффекты включения ксиланазы в рацион птицы представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Сводка влияния ксиланазы на ключевые физиологические и экономические показатели у сельскохозяйственной птицы

Показатель	Бройлеры	Куры-несушки	Источник
Вязкость химуса	↓ на 20–23%	↓ на 22,6%	[115, 142]
Конверсия корма (FCR)	↓ на 4–5%	↓ затрат на корм/яйцо на 7,8%	[122, 196]
Переваримость крахмала	↑ на 4,1–6,3%	Н/Д	[115]
Переваримость белка	↑ на 4,8–6,2%	↑ на 5,6%	[145, 174]
Доступность аминокислот	↑ на 3–9% (метионин, лизин, цистин)	Н/Д	[116, 153]
Переваримость фосфора	↑ на 5,4–16%	↑ на 18%	[109, 195]
Переваримость кальция	↑ на 6,2–9,6%	↑ (предположительно, опираясь на показатели качества яичной скорлупы)	[196]
Использование фосфора	↑ на 12,4%	↑ на 15%	[195, 196]
Качество яичной скорлупы	Н/Д	Прочность ↑ на 11,3%, толщина ↑ на 3,2–4,1%	[120, 122]
Зольность костей	↑ на 7,8–10%	↑ на ~24,2% минеральной плотности кости,	[147, 156]

Таким образом можно сделать заключение, что добавление ксиланазы в рационы птицы, особенно на основе пшеницы или других злаков с высоким содержанием некрахмалистых полисахаридов, — стабильно улучшает эффективность использования корма, переваримость питательных веществ и биодоступность минералов. Количественные данные показывают повышение переваримости белка и усвояемости аминокислот (до 9%), удержания фосфора (до 15%) и улучшение показателей, связанных с кальцием, таких как минеральная плотность костей и качество яичной скорлупы. Эти эффекты опосредованы

снижением вязкости химуса, улучшением морфометрических показателей кишечника и благоприятными изменениями в микробиоте. Кроме того, ксиланаза способствует более устойчивому производству за счёт снижения затрат на корм и уменьшения выведения фосфора. В целом, её включение способствует как оптимизации продуктивности, так и экологической устойчивости в системах содержания бройлеров и кур-несушек.

Вместе с тем, несмотря на значительное количество публикаций, посвящённых применению ксиланазы в кормлении сельскохозяйственной птицы, большинство исследований выполнено с использованием импортных ферментных препаратов и в условиях, отличающихся по составу комбикормов и технологии содержания. В литературе ограничено представлены данные об эффективности ферментов отечественного производства, а также об их влиянии на продуктивность и физиологические показатели у бройлеров и кур-несушек при различных уровнях включения в рацион. Это обуславливает необходимость проведения комплексных исследований, направленных на оценку эффективности применения отечественного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм X в комбикормах для птицы.

2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись в отделе кормления Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства», в виварии СГЦ «Загорское ЭПХ» и ООО «Майские просторы» в период 2022–2024 гг.

Целью исследования являлось изучение эффективности использования нового высококонцентрированного ферментного препарата Берзайм Х отечественного производства ООО ПО «Сиббиофарм». Ферментный препарат Берзайм Х обладает ксиланазной активностью в пределах 180000-200000 ед/г.

В ходе исследований было проведено два научно-производственных опыта: на бройлерах кросса «Смена 9» и на курах-несушках кросса «СП 789», две производственные проверки на бройлерах кросса «Смена 9» и курах-несушках кросса «СП-789». В каждой группе было по 30 голов цыплят и по 30 кур-несушек. Птицу содержали в клеточных батареях с соблюдением рекомендуемых параметров микроклимата.

Задачей первого научно-производственного опыта являлось: определить оптимальный уровень введения нового концентрированного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм Х в комбикормах для цыплят-бройлеров, основу которых составляла пшеница.

Опыт проводили на бройлерах кросса «Смена 9» с суточного до 36-дневного возраста. Цыплят содержали в клеточных батареях в количестве 30 голов в каждой группе. Плотность посадки, световой режим, фронт кормления и поения, а также другие зоогигиенические требования во всех возрастных периодах птицы соответствовали рекомендациям для кросса [22] и для всех групп были одинаковыми. Корм и воду птица получала вволю.

Кормление птицы осуществлялось в два периода: первый – с 6 по 21 день, второй – с 22 дня до конца выращивания. Первые 5 дней цыплята всех групп получали одинаковые гранулированные престартерные комбикорма, в дальнейшем – рассыпные. Питательность полнорационных комбикормов (далее – ПК) соответствовала рекомендациям ВНИТИП, они были выровнены по содержанию питательных веществ [22]. Группы были сформированы методом аналогов, без разделения по полу. Раздача кормов осуществляли вручную. Фермент включали в комбикорма методом ступенчатого смешивания.

Схема научно-производственного опыта 1 представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Схема первого научно-производственного опыта на бройлерах

Группа	Особенности кормления бройлеров по периодам	
	6-21 день	С 22 дня – до конца выращивания
1 – контрольная	Полнорационный комбикорм пшеничного типа с питательностью согласно рекомендациям ВНИТИП, 2021г. (ПК)	
2 – опытная	ПК + Берзайм X в количестве 5г на 1 тонну корма (1000 ед.ксилаказы на 1 кг корма)	
3 – опытная	ПК + Берзайм X в количестве 8г на 1 тонну корма (1600 ед.ксилаказы на 1 кг корма)	
4 – опытная	ПК + Берзайм X в количестве 12г на 1 тонну корма (2400 ед.ксилаказы на 1 кг корма)	

Состав и питательность ПК для бройлеров приведены в таблице 7.

Задачей второго научно-производственного опыта являлось: определить рациональный уровень ввода нового концентрированного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм X в комбикормах пшеничного типа для кур-несушек промышленного стада.

Таблица 7 – Состав и питательность комбикормов для бройлеров, %

Компонент, %	Периоды выращивания.	
	6-21 день	С 22 дня – до конца выращивания
Пшеница	54,73	55,99
Соевый шрот	14,64	7,49
Соя полножирная	10,00	25,0
Жмых подсолнечный	9,74	1,32
Рыбная мука	4,00	2,00
Соевое масло	3,47	4,63
Монокальций фосфат	1,14	1,00
Известняк	0,70	0,99
Лизин	0,36	0,26
Метионин	0,30	0,30
Соль поваренная	0,28	0,33
Холин хлорид	0,08	0,08
Треонин	0,06	0,11
Премикс	0,50	0,50
Итого	100,0	100,0
В 100 г комбикорма содержится, %		
Обменной энергии, ккал/100 г	300,0	320,0
Сырого протеина	22,5	20,5
Сырой клетчатки	5,00	4,05
Лизина усвояемого	1,23	1,09
Метионина усвояемого	0,64	0,57
Метионина + цистина усвояемых	0,93	0,84
Треонина усвояемого	0,71	0,71
Триптофана усвояемого	0,24	0,23
Кальция	0,96	0,90
Фосфора общего	0,84	0,71
Фосфора доступного	0,48	0,40
Натрия	0,15	0,15

Опыт проводили на курах-несушках кросса «СП 789» 21-недельного возраста. Было сформировано 4 группы по 30 кур. Содержание птицы осуществлялось в переоборудованной клеточной батарее БКН с соблюдением всех технологических параметров. Кормление птицы осуществлялось полнорационными комбикормами с питательностью, соответствующей нормам ВНИТИП [63], корм и воду птица получала вволю, кормление проводилось вручную. Продолжительность опыта – 6 месяцев продуктивного периода.

Схема научно-производственного опыта 2 представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Схема второго научно-производственного опыта на курах-несушках

Группа	Особенности кормления
1 – контрольная	Полнорационный комбикорм пшеничного типа, сбалансированный в соответствии с нормами ВНИТИП, 2021г. (ПК)
2 – опытная	ПК + Берзайм Х в количестве 5г на 1 тонну корма (1000 ед. ксиланазы на 1 кг корма)
3 – опытная	ПК + Берзайм Х в количестве 8г на 1 тонну корма (1600 ед. ксиланазы на 1 кг корма)
4 – опытная	ПК + Берзайм Х в количестве 12г на 1 тонну корма (2400 ед. ксиланазы на 1 кг корма)

Состав и питательность ПК для кур-несушек приведены в таблице 9.

С целью изучения мясных качеств, а также исследования биохимических показателей печени, ножных и грудных мышц убивали по три петушка и три курочки от каждой группы. Химический состав кормов, помёта, мышц, а также содержание витаминов А, Е и В₂ в печени определяли в биохимической лаборатории ФНЦ «ВНИТИП».

В конце каждого научно-производственного эксперимента проводили балансовые опыты на трех головах из группы, состоящей из петушков-бройлеров (в возрасте 28-35 суток) и кур-несушек (на пике яйцекладки), для определения

переваримости и использования питательных веществ корма. Схемы проведения балансовых опытов соответствовали схемам научно-производственных.

Таблица 9 – Состав и питательность комбикормов для кур-несушек, %

Компонент, %	Группа
	1к, 2о, 3о, 4о.
Пшеница	63,69
Жмых подсолнечный	16,33
Соя полуобезжиренная	6,09
Рыбная мука	2,00
Соевое масло	1,14
Метионин	0,10
Лизин	0,17
Известняк	8,66
Монокальций фосфат	0,92
Холин хлорид	0,08
Соль поваренная	0,32
Премикс	0,50
Итого	100,0
В 100 г комбикорма содержится, %	
Обменной энергии, ккал/100 г	270,0
Сырого протеина	17,0
Сырой клетчатки	5,00
Лизина усвояемого	0,69
Метионина усвояемого	0,38
Метионина + цистина усвояемых	0,64
Треонина усвояемого	0,55
Триптофана усвояемого	0,21
Кальция	3,60
Фосфора общего	0,70
Фосфора доступного	0,40
Натрия	0,16

В ходе научно-производственных экспериментов вёлся учёт следующих показателей:

- сохранность поголовья (%) ежедневно с выявлением причин отхода;
- живую массу (г) бройлеров: в суточном, 5, 14, 21, 28, 36 -дневном возрасте, кур-несушек – в начале и конце опыта;
- яйценоскость (шт.) кур путем ежедневного учета снесенных яиц;
- интенсивность яйценоскости (%);
- потребление корма (г) – ежедневно, путем учета заданного количества комбикорма и остатков;
- затраты корма (кг) на 1 кг прироста живой массы, 10 шт. яиц, 1 кг яичной массы;
- мясные качества бройлеров;
- морфологические показатели яиц – в конце опыта (от каждой группы по 10 шт. яиц);
- переваримость и использование (%) питательных веществ корма – по рекомендациям ФНЦ «ВНИТИП» (2013 г) в физиологических опытах;
- содержание общего азота (%) в кормах, помёте, мышцах (методом Кьельдаля); аминокислот (%) в кормах, помёте, мышцах (методом ионообменной хроматографии на автоматическом анализаторе ААА Т339); сырого жира (%) в кормах, помёте (в аппарате Сокслета); сырой клетчатки (%) в кормах, помёте (методом кислотнo-щелочной обработки, описанным П. Т. Лебедевым и др. (1976); кальция (%) (на атомно-абсорбционном спектрометре) и фосфора (%) (фотометрическим методом) в кормах и помёте; сырой золы (%) в мышцах (методом сухого озоления образца); уровень витаминов А, Е, В2 (мкг/г) в яйце и печени (методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на аппарате «Милихром-1»).

Для выполнения гематологических и биохимических исследований у бройлеров и несушек брали кровь в состоянии натощак после 16- часового

голодания из подкрыльцовой вены, в количестве 2-3 мл в отдельные пробирки с добавлением гепарина и КЗ-ЭДТА. С целью проведения биохимических исследований кровь центрифугировали при скорости 5000 оборотов в минуту на протяжении 5 минут.

Для определения экономической эффективности использования отечественного ферментного препарата Берзайм Х в комбикормах для бройлеров и кур-несушек были проведены производственные проверки полученных результатов.

Схема производственной проверки на бройлерах приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Схема производственной проверки

Группа	Особенности кормления бройлеров по периодам	
	6-21 день	С 22 дня – до конца выращивания
Базовый вариант	Полнорационный комбикорм пшеничного типа, сбалансированный в соответствии с нормами ВНИТИП, 2021г. (ПК)	
Новый вариант	ПК+ Берзайм Х в количестве 12г/т (2400 ед. ксиланазы на 1 кг корма)	

Было сформировано 2 группы птицы по 105 голов в каждой. Цыплята содержались в клеточных батареях Р-15. Кормление птицы осуществлялось вручную в соответствии с установленным режимом. До пятидневного возраста цыплята всех групп получали одинаковый престартовый комбикорм.

Первая группа (базовый вариант) являлась контрольной и получала комбикорма с питательностью, соответствующей рекомендациям для кросса. Вторая группа (новый вариант) получала комбикорма, обогащённые ксиланазой в дозе 12 г/т (2400 ед. ксиланазы на 1 кг корма).

Состав и питательность комбикормов первого и второго периодов выращивания бройлеров приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Состав и питательность комбикормов для бройлеров, %
(производственная проверка на бройлерах)

Компонент, %	Периоды выращивания.	
	6-21 день	С 22 дня – до конца выращивания
Пшеница	58,05	58,39
Соевый шрот	25,16	23,73
Соя полножирная	5,00	5,00
Рыбная мука	4,00	2,00
Масло подсолнечное	3,98	7,15
Монокальций фосфат	1,30	1,10
Известняк	0,82	1,00
Премикс 0,5% Агрофид	0,50	0,50
Лизин сульфат	0,41	0,36
Метионин	0,31	0,27
Соль поваренная	0,24	0,30
Треонин	0,15	0,12
Холин хлорид	0,08	0,08
Итого	100,0	100,0
В 100 г комбикорма содержится, %		
Обменной энергии, ккал/100 г	300,0	320,0
Сырого протеина	22,50	20,50
Сырой клетчатки	3,75	3,66
Лизина усвояемого	1,23	1,09
Метионина усвояемого	0,62	0,54
Метионина + цистина усвояемых	0,93	0,84
Треонина усвояемого	0,81	0,71
Триптофана усвояемого	0,25	0,23
Кальция	0,96	0,90
Фосфора общего	0,79	0,69
Фосфора усвояемого	0,48	0,40
Натрия	0,15	0,15

Производственную проверку на курах проводили на несушках со 150-дневного возраста в течение 6 месяцев продуктивного периода. Было сформировано 2 группы по 150 голов в каждой. Куры базового варианта получали комбикорма пшеничного типа с питательностью, соответствующей рекомендациям ВНИТИП [63]. В рационах несушек опытной группы комбикорма были обогащены ферментным препаратом Берзайм Х в количестве 8 г на 1 тонну корма, что соответствует ксиланазной активности 1600 ед./кг.

Схема производственной проверки на курах-несушках представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Схема производственной проверки

Группа	Особенности кормления кур-несушек
Базовый вариант	Полнорационный комбикорм пшеничного типа, сбалансированный в соответствии с нормами ВНИТИП, 2021г. (ПК)
Новый вариант	ПК+ Берзайм Х в количестве 8 г/т (1600 ед. ксиланазы на 1 кг корма)

Состав и питательность полнорационных комбикормов для кур-несушек приведены в таблице 13.

Экономическая эффективность была рассчитана в соответствии с «Методикой определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений» [45].

Обработка цифрового материала, полученного в экспериментах, проведена методом вариационной статистики по Н. А. Плохинскому [49] на персональном компьютере с использованием программного обеспечения Microsoft Excel. Достоверные различия обозначали:

$$a - p < 0,05; b - p < 0,01; c - p < 0,001$$

Таблица 13 – Состав и питательность комбикормов для кур-несушек, %

Компонент, %	Группа
	1к, 2о.
Пшеница	64,00
Соевый шрот	11,25
Известняк	8,60
Жмых подсолнечный	7,80
Масло подсолнечное	2,55
Соя полножирная	2,00
Мука рыбная	1,50
Монокальций фосфат	1,16
Премикс 0,5% Агрофид	0,50
Соль поваренная	0,31
Лизин сульфат	0,12
Метионин	0,11
Холин хлорид	0,08
Треонин	0,01
Фекорд	0,01
Итого	100,0
В 100 г комбикорма содержится, %	
Обменной энергии, ккал/100 г	270,0
Сырого протеина	17,00
Сырой клетчатки	3,76
Лизина усвояемого	0,69
Метионина усвояемого	0,37
Метионина + цистина усвояемых	0,64
Треонина усвояемого	0,49
Триптофана усвояемого	0,19
Кальция	3,60
Фосфора общего	0,70
Фосфора доступного	0,40
Натрия	0,15

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованиях использовали пшеницу, имеющую следующую питательность (табл.14).

Таблица 14 – Химический состав пшеницы, используемой в научно-производственных опытах, %

Показатель	Исследование 1	Исследование 2
Влага	12,0	12,0
Сырой протеин	11,8	12,5
Сырой жир	1,60	1,60
Сырая клетчатка	2,70	2,70
Сырая зола	1,80	1,80
Кальций	0,05	0,05
Фосфор	0,33	0,33
Натрий	0,01	0,01
Лизин	0,33	0,34
Метионин	0,19	0,20
Цистин	0,27	0,28
Метионин+цистин	0,46	0,48
Треонин	0,33	0,35
Обменная энергия в 100 г, ккал	306,7	306,6
МДж	16,24	16,29
Вязкость, сПз	10	5

3.1 Исследование 1. Результаты выращивания цыплят-бройлеров на комбикормах пшеничного типа при включении нового концентрированного ферментного препарата Берзайм X с ксиланазной активностью

ООО ПО "Сиббиофарм" – ведущая на территории России наукоемкая биотехнологическая компания, осуществляющая крупнотоннажное производство продукции по современным технологиям с поддержанием технологических параметров в автоматическом режиме и имеющая более 60-летний опыт практической деятельности. Разработанный данной компанией ферментный препарат Берзайм X (стандартизированный по ксиланазной активности – 180000-

200000 ед/г) термостабилен и хорошо смешивается со всеми ингредиентами комбикормов.

Для оценки эффективности применения ферментного препарата Берзайм Х в рационах бройлеров были проанализированы физиологические и продуктивные показатели птицы. Сохранность цыплят-бройлеров за 36 дней выращивания была 100%-ной во всех группах и не зависела от условий кормления.

Сохранность поголовья и динамика живой массы цыплят-бройлеров при выращивании до 36-дневного возраста представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Сохранность поголовья и динамика живой массы

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Начальное поголовье, гол.	30	30	30	30
Пало, гол.	–	–	–	–
Сохранность поголовья, %	100,0	100,0	100,0	100,0
Живая масса (г) в возрастах: суточном	45,2±0,20	45,4±0,18	45,3±0,16	45,2±0,24
5-дневном	157,8±2,11	157,9±1,92	158,8±2,05	158,7±1,94
14-дневном	350,8±6,89	352,1±6,11	353,6±7,14	357,0±5,99
% к контролю	100,0	100,4	100,8	101,8
21-дневном	880,0±14,93	908,3±8,93	938,1 ^b ±13,70	957,4 ^c ±9,99
% к контролю	100,0	103,2	106,6	108,8
28-дневном	1251,7±31,22	1296,6±24,36	1326,8±20,68	1355,0±23,21
% к контролю	100,0	103,6	106,0	108,3
36-дневном	2124,6	2211,2	2245,7	2272,4
% к контролю	100,0	104,1	105,7	107,0
в т.ч. курочки	2020,5±36,01	2123,6 ^a ±29,37	2140,4 ^a ±36,60	2157,9 ^a ±32,00
% к контролю	100,0	105,1	105,9	106,8
в т.ч. петушки	2228,6±42,33	2298,8±39,0	2351,0 ^a ±25,6	2386,8 ^b ±24,28
% к контролю	100,0	105,1	105,9	106,8

a – p <0,05; b – p <0,01;

Живая масса птицы зависела от уровня введения ферментного препарата в комбикорма. По живой массе в 21-дневном возрасте птица опытных групп превосходила контрольную на 3,2; 6,6 и 8,8% ($p < 0,01$, $p < 0,001$). К концу выращивания бройлеров закономерность осталась прежней. Так, разность по живой массе курочек по отношению к контролю составила 5,1-6,8% и была достоверной, петушков – 3,1-7,1%.

Показатели абсолютного и среднесуточного прироста бройлеров представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Прирост живой массы бройлеров, г

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Абсолютный прирост, г	2079,4	2165,8	2200,4	2227,2
% к контролю	100,0	104,2	105,8	107,1
Среднесуточный прирост живой массы, г	57,76	60,20	61,10	61,90
% к контролю	100,0	104,2	105,8	107,2

Среднесуточный прирост живой массы был выше в опытных группах на 4,2-7,2%, наибольшим он был в опытной группе 4, в комбикорма которой добавляли испытуемый ферментный препарат в дозе 12 г на 1 т корма.

Расход и затраты корма при выращивании бройлеров до 36-дневного возраста представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Расход и затраты корма у бройлеров, кг

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Расход корма на 1 гол. за период выращивания, кг	3,565	3,584	3,560	3,575
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,714	1,654	1,618	1,605
% к контролю	100,0	96,5	94,4	93,6

Опытные группы отличались от контрольной меньшими затратами кормов на 1 кг прироста живой массы за весь период выращивания. Они были ниже на 3,5-6,4%. Лучшие результаты по данному показателю были получены в опытной группе 4, получавшей 12г ферментного препарата на 1т корма.

Полученные результаты выращивания бройлеров зависели от переваримости и использования питательных веществ и энергии корма бройлерами, на которые оказали влияние различные уровни внесения ксиланазы, что подтверждается данными из таблицы 18.

Таблица 18 – Переваримость и использование питательных веществ корма бройлерами, %

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Переваримость:				
сухого вещества корма	70,9	74,1	75,1	76,0
протеина	89,8	92,0	93,2	94,0
жира	80,8	84,4	85,6	86,2
клетчатки	11,4	17,9	19,8	21,3
Использование:				
азота	58,4	62,2	63,2	63,9
кальция	40,3	41,2	41,4	41,9
фосфора	37,7	38,1	38,4	38,8
лизина	90,4	92,2	92,5	92,9
метионина	88,6	90,1	90,6	91,2
валовой энергии корма	74,4	76,7	77,9	78,5

Согласно приведённым данным, при использовании ферментного препарата Берзайм X в количестве 5 г на 1 т корма (опытная группа 2) цыплята лучше переваривали сухое вещество корма на 3,2%, протеин на 2,2%, жир на 3,6%,

клетчатку на 6,5%, чем аналоги контрольной группы. Использование азота было выше на 3,8%, лизина – на 1,8%, метионина – на 1,5%.

Более высокая дозировка препарата в количестве 8г на 1т корма (опытная группа 3) способствовала улучшению переваримости бройлерами сухого вещества корма на 4,2%, протеина – на 3,4%, жира – на 4,8%, клетчатки – на 8,4%, использования азота на 4,8%, лизина – на 2,1%, метионина – на 2,0%.

Наиболее высокая переваримость питательных веществ корма: сухого вещества, протеина, жира и клетчатки была у цыплят опытной группы 4, которая получала энзим в количестве 12г на 1т полнорационного комбикорма. Так, данные показатели были выше, чем в группе 1, на 5,1%, 4,2; 5,4 и 9,9% соответственно. Использование азота цыплятами данной группы было выше на 5,5%, лизина на 2,5%, метионина на 2,6%. По использованию кальция и фосфора значительных различий между группами не выявлено, они были в пределах 0,4-1,6%).

Установлено, что бройлеры опытных групп лучше использовали валовую энергию корма на 2,3-4,1%. Наиболее высоким оно было в опытной группе 4.

На рисунке 2 наглядно видна разница по переваримости питательных веществ корма в контрольной и опытных группах под влиянием ферментного препарата ксиланазной активности.

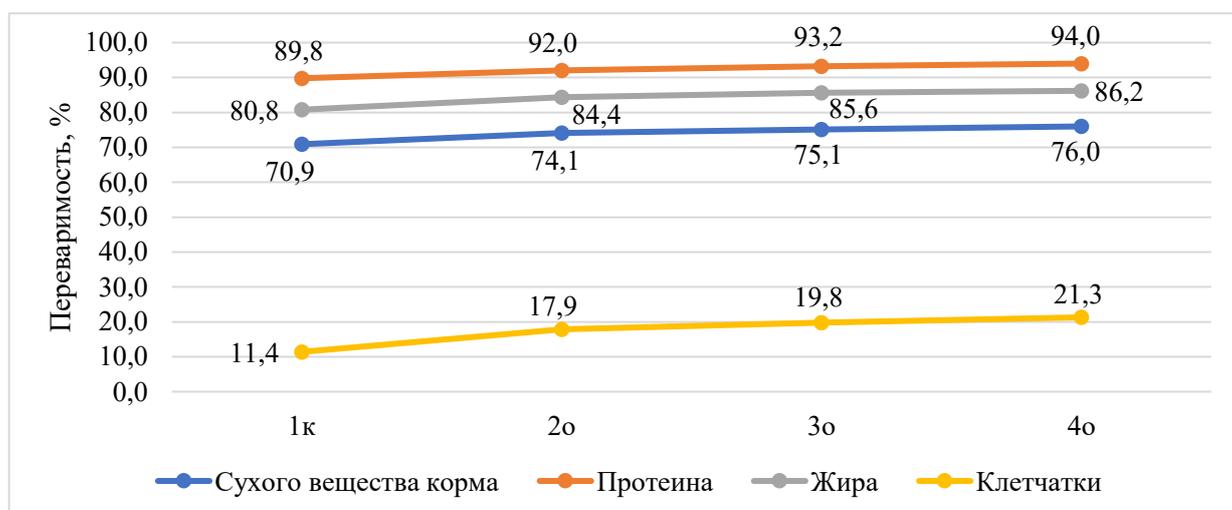


Рис. 2. Переваримость питательных веществ корма бройлерами, %

Исследования мясных качеств цыплят показали, что по убойному выходу мяса опытная группа 4 была лучшей по данному показателю, разница с контролем составила 0,4%. Выход наиболее ценной части тушек – грудных мышц – в опытных группах превысил аналогичный показатель контрольной группы на 0,1-0,4% (табл. 19).

Таблица 19 – Результаты контрольного убоя цыплят (петушки) (37 дней)

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Живая масса птицы, г	2253,1±25,14	2319,3±19,18	2366,4±14,62	2390,4±26,42
Масса потрошёной тушки, г	1619,98±17,88	1669,90±21,63	1703,81±16,74	1728,26±19,18
Убойный выход потрошёной тушки, %	71,9	72,0	72,0	72,3
Выход грудных мышц к потрошёной тушке, %	24,1	24,2	24,4	24,5

Анатомическая разделка тушки цыплят показала, что относительная масса некоторых внутренних органов цыплят (мышечный желудок, печень, сердце) во всех группах находилась в пределах физиологической нормы и не зависела от уровней ввода изучаемого энзима в комбикорма (табл.20).

Таблица 20 – Масса некоторых внутренних органов бройлеров, г

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Масса мышечного желудка, г	24,33±0,31	24,74±0,32	25,77±0,61	24,96±0,39
Относительная масса, г /100 г живой массы	0,011	0,011	0,011	0,011
Масса печени, г	44,38±0,20	44,53±0,49	46,18±0,68	45,07±0,29
Относительная масса, г /100 г живой массы	0,022	0,022	0,022	0,022
Масса сердца, г	10,18±0,25	10,51±0,31	10,29±0,14	10,41±0,09
Относительная масса, г /100 г живой массы	0,005	0,005	0,005	0,005

Для оценки влияния кормовых факторов на качество мяса бройлеров был изучен химический и аминокислотный состав их грудных и ножных мышц (табл. 21, 22, 23).

Таблица 21 – Химический состав мышц бройлеров (в сухом веществе), %

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Грудные мышцы				
Белок	84,32	83,84	84,02	84,60
Жир	3,65	3,80	4,02	4,10
Зола	4,05	4,24	4,29	4,26
Ножные мышцы				
Белок	67,19	68,73	67,75	68,51
Жир	18,88	18,88	18,29	18,71
Зола	4,03	4,17	4,04	3,90

Установлено, что изученные показатели на петушках-бройлерах не претерпели существенных изменений под влиянием внесения в комбикорма ферментной добавки. Общая сумма аминокислот варьировала незначительно и не зависела от уровня включения энзима.

Изучение калорийности грудных и ножных мышц петушков-бройлеров показало, что различия между группами по данному показателю были незначительными – в пределах 0,9-1,0%. Полученные данные свидетельствуют о том, что значительных различий по исследуемым показателям грудных и ножных мышц цыплят контрольной и опытных групп не было.

Таблица 22 – Аминокислотный состав грудных мышц бройлеров (на естественную влажность), %

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Незаменимые аминокислоты				
Аргинин	1,48	1,50	1,44	1,47
Валин	1,04	1,03	1,11	1,08
Гистидин	0,94	0,94	0,88	0,93
Изолейцин	1,05	1,15	1,09	1,18
Лейцин	1,77	1,62	1,68	1,71
Лизин	1,89	1,92	1,96	2,01
Метионин	0,61	0,60	0,60	0,63
Треонин	0,92	0,94	0,88	0,89
Фенилаланин	1,40	1,44	1,47	1,41
Заменимые аминокислоты				
Аланин	1,48	1,50	1,38	1,46
Аспарагиновая кислота	1,86	1,89	1,89	1,92
Глицин	0,87	0,90	0,97	0,96
Глутаминовая кислота	3,11	3,22	3,26	3,21
Пролин	0,93	0,86	0,89	0,97
Серин	0,96	0,92	0,99	0,88
Тирозин	0,90	0,97	0,97	0,94
Цистеин	0,30	0,31	0,28	0,32
Сумма аминокислот	21,51	21,71	21,74	21,97
% к контролю	100,0	100,9	101,1	102,1
Незаменимые аминокислоты	11,10	11,14	11,11	11,31
Заменимые аминокислоты	10,41	10,57	10,63	10,66
Соотношение аминокислот	1,07	1,05	1,05	1,06

Таблица 23 – Аминокислотный состав ножных мышц бройлеров (на естественную влажность), %

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Незаменимые аминокислоты				
Аргинин	1,06	0,92	0,93	0,98
Валин	0,62	0,71	0,74	0,64
Гистидин	0,42	0,42	0,39	0,46
Изолейцин	0,67	0,63	0,65	0,65
Лейцин	1,11	1,09	1,24	1,19
Лизин	1,16	1,13	1,18	1,32
Метионин	0,50	0,47	0,48	0,47
Треонин	0,74	0,73	0,65	0,69
Фенилаланин	0,55	0,69	0,65	0,64
Заменимые аминокислоты				
Аланин	0,89	0,85	0,90	0,94
Аспарагиновая кислота	1,13	1,14	1,07	1,01
Глицин	0,72	0,69	0,77	0,86
Глутаминовая кислота	2,63	2,51	2,55	2,39
Пролин	0,60	0,74	0,71	0,79
Серин	0,56	0,51	0,52	0,57
Тирозин	0,49	0,53	0,55	0,49
Цистеин	0,16	0,16	0,16	0,15
Сумма аминокислот	14,01	13,92	14,14	14,24
% к контролю	100,0	99,4	100,9	101,6
Незаменимые аминокислоты	6,83	6,79	6,91	7,04
Заменимые аминокислоты	7,18	7,13	7,23	7,20
Соотношение аминокислот	0,95	0,95	0,96	0,98

Гематологические показатели птиц во всех группах соответствовали физиологической норме и не зависели от уровней ввода исследуемой добавки в комбикорма. По активности ферментов печени и поджелудочной железы (АСТ, АЛТ, щелочной фосфатазы и липазы) в плазме крови значительных различий между группами не выявлено, они были в пределах физиологической нормы и не зависели от особенностей кормления.

Результаты биохимических и гематологических исследований крови бройлеров представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Биохимические и гематологические показатели крови бройлеров в возрасте 36 дней (n=6)

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Биохимические показатели крови				
АЛТ, ед/л	73	68	65	65
АСТ, ед/л	521	514	567	352
Липаза, ед/л	18	19	17	17
Щелочная фосфатаза, ед/л	2321	1780	2304	1742
Гематологические показатели крови				
Гематокрит (HCT), %	38,8	38,3	37,4	37,3
Гемоглобин (HGB), г/л	149	150	145	143
Эритроциты (RBC), $10^{12}/л$	3,06	3,00	2,93	2,80
Лейкоциты (WBC), $10^9/л$	54,50	57,26	55,14	49,91
Гетерофилы (Het), %	35,1	32,8	36,0	36,0
Эозинофилы (Eos), %	5,0	4,4	6,0	8,1
Базофилы (Bas), %	0,3	0,2	0,2	0,4
Моноциты (Mon), %	0,3	0,3	0,5	0,6
Лимфоциты (Lym), %	59,4	62,3	57,4	55,0

Содержание витаминов А, Е и В₂ в печени цыплят бройлеров представлено в таблице 25.

Таблица 25 – Содержание витаминов в печени цыплят-бройлеров, мкг/г

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Витамин А	131,82	135,97	145,97	168,24
Витамин Е	12,33	12,65	13,54	15,30
Витамин В ₂	11,18	11,18	11,72	11,92

Содержание витаминов в печени цыплят соответствовало физиологической норме, хотя отмечена тенденция к большему накоплению витамина А и Е у бройлеров опытных групп 3 и 4.

Исследования показали, что использование отечественного ферментного препарата Берзайм Х в комбикормах пшеничного типа повышает прирост живой массы бройлеров к 36-дневному возрасту на 4,1-7,0% по сравнению с контрольной группой. При этом затраты корма на 1 кг прироста живой массы снижаются на 3,5-6,4% за счёт повышения переваримости и использования питательных веществ и энергии корма. Рациональным уровнем фермента следует считать 12 г на 1 т корма. Учитывая его высокую активность и, следовательно, небольшую дозу ввода в комбикорма, необходимо использовать его при 2-3-кратном ступенчатом смешивании или путем ввода в премиксы при их изготовлении.

3.1.1 Производственная проверка эффективности использования концентрированного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм X в комбикормах для бройлеров

В ходе проведённых исследований был установлен рациональный уровень включения ферментного препарата Берзайм X в комбикорма пшеничного типа для бройлеров. Оптимальная дозировка составила 12 г/т комбикорма, что соответствует ксиланазной активности 2400 ед/кг корма. На основании полученных результатов для проведения производственной проверки была сформирована опытная группа (новый вариант), цыплята которой получали комбикорм с указанной дозировкой ферментного препарата. Птица контрольной группы (базовый вариант) получала аналогичный по питательности рацион без добавления ксиланазы, составленный в соответствии с нормативами для применяемого кросса.

Установлено, что сохранность поголовья в обеих группах составила 100%, что указывает на высокую биологическую безопасность применяемого ферментного препарата.

При этом в новом варианте наблюдалось повышение живой массы бройлеров к 37-дневному возрасту на 4,4% по сравнению с базовым вариантом. Конверсия корма улучшилась на 5,2%, что свидетельствует об эффективном использовании питательных веществ рациона. За счёт повышения продуктивности и снижения удельной стоимости корма была достигнута экономическая эффективность: себестоимость 1 кг мяса снизилась на 5,4% по сравнению с базовым вариантом.

Результаты производственной проверки представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Результаты производственной проверки на бройлерах

Показатель	Вариант	
	Базовый	Новый
Срок выращивания, дней	37	37
Принято на выращивание, гол.	105	105
Средняя живая масса суточных цыплят, г	42,03	41,91
Валовая живая масса суточных цыплят, кг	4,41	4,40
Сохранность поголовья, %	100,0	100,0
Средняя живая масса в конце выращивания, г	2157,1	2253,0
Валовая живая масса, кг	226,5	236,6
Прирост живой массы, кг	222,08	232,16
Среднесуточный прирост живой массы, г	57,16	59,76
Общее потребление корма, кг	383,09	379,82
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,73	1,64
Стоимость потребленного комбикорма, руб.	14025,00	13910,72
Прочие производственные расходы, руб.	7952,03	7952,03
Общие затраты на производство, руб.	21977,03	21862,75
Убойный выход, %	71,5	72,0
Валовый выход мяса, кг	161,94	170,33
Себестоимость 1 кг мяса, руб.	135,71	128,36
Цена реализации 1 кг мяса, руб.	162,28	162,28
Выручка от реализации мяса, руб.	26280,32	27640,63
Прибыль, руб.	4303,29	5777,88
Экономическая эффективность, руб.		1251,93
Экономическая эффективность в пересчёте на 1000 гол., руб.		11923,14
Уровень рентабельности, %	19,58	26,43

Экономическая эффективность рассчитывалась по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_6 - C_n) \times A_n, \text{ где:}$$

\mathcal{E} – экономическая эффективность, руб.;

C_6 – себестоимость 1 кг мяса бройлеров в базовом варианте, руб.;

C_n – себестоимость 1 кг мяса бройлеров в новом варианте, руб.;

A_n – количество произведенной продукции в новом варианте, кг.

$$\mathcal{E} = (135,71 - 128,36) \times 170,33 = 1251,93 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономическая эффективность использования отечественной ксиланызы в количестве 12 граммов на 1 тонну корма для бройлеров, основным компонентом которого является пшеница, составила 1251,93 рубля, учитывая производственные затраты на содержание птицы.

В пересчёте на 1000 голов цыплят-бройлеров экономическая эффективность в новом варианте, по сравнению с базовым вариантом, составила 11923,14 (в ценах 2024 года).

Акт производственной проверки приведён в приложении А.

3.2 Исследование 2. Результаты применения нового концентрированного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм X в комбикормах пшеничного типа для кур-несушек

На основании проведённых исследований на бройлерах было установлено, что оптимальной дозой ферментного препарата Берзайм X в комбикормах пшеничного типа является 2400 ед. ксиланазы на 1 кг корма, что соответствует 12 г препарата на 1 тонну корма. Следующим этапом экспериментальной работы стало изучение эффективности применения данного ферментного препарата в рационе кур-несушек.

В течение всего продуктивного периода опытов сохранность кур-несушек во всех группах оставалась на уровне 100%.

Показатели сохранности и динамика живой массы кур-несушек представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Сохранность и живая масса кур-несушек

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Начальное поголовье, гол.	30	30	30	30
Пало, гол.	–	–	–	–
Сохранность поголовья, %	100,0	100,0	100,0	100,0
Живая масса в начале опыта, г	1417,3±10,20	1404,5±11,58	1435,7±15,16	1430,1±14,24
Живая масса в конце опыта, г	1861,8±36,42	1845,0±31,15	1887,9±27,36	1876,7±35,17
% к контролю	100,0	99,1	101,4	100,8

По завершении экспериментального периода, несмотря на отмеченную в таблице 27 тенденцию к повышению продуктивности в опытных группах, живая масса кур-несушек практически не отличалась от контрольной группы, что свидетельствует об отсутствии влияния добавки на данный показатель.

Интенсивность яйценоскости кур-несушек по месяцам продуктивности представлена в таблице 28.

Таблица 28 – Интенсивность яйценоскости кур-несушек, %

Месяц продуктивности	Группа			
	1к	2о	3о	4о
1	77,8	80,6	81,7	80,4
2	80,2	83,3	84,6	83,1
3	88,3	92,2	93,5	91,8
4	86,8	90,8	92,1	90,2
5	84,0	87,3	88,8	87,1
6	82,7	83,6	84,9	84,0
В среднем за 6 месяцев	83,3±0,72	86,3±0,67 ^b	87,6±0,64 ^c	86,1±0,67 ^b
% к контролю	100,0	103,0	104,3	102,8
Яйценоскость на начальную несушку, шт.	150,9	156,3	158,7	155,9
% к контролю	100,0	103,6	105,2	103,4

b – p < 0,01; c – p < 0,001

Интенсивность яйценоскости кур зависела от дозировки введения ферментного препарата в рацион. Так, при обогащении комбикорма энзимом в количестве 5 г/т (опытная группа 2) она увеличилась на 3,0% (p < 0,001), 8 г/т (опытная группа 3) – на 4,3% (p < 0,001), 12 г/т (опытная группа 4) – 2,8% (p < 0,001). Таким образом, использование изучаемого энзима в комбикормах с пшеничной основой обеспечило достоверное повышение яйценоскости несушек по сравнению с контролем на 2,8-4,3%.

Потребление и затраты кормов на единицу продукции кур-несушек представлены в таблице 29.

На основании данных таблицы, показано, что включение ферментного препарата Берзайм X в рацион кур-несушек не оказало существенного влияния на суточное потребление корма. Среднее значение потребления корма на 1 голову в сутки во всех опытных группах варьировало в пределах 115,0–115,6 г, не превышая показатель от контрольной группы (114,7 г) более чем на 0,8%. При этом затраты

корма на 10 шт. яиц в опытных группах были на 3,6; 5,1 и 2,9% ниже, чем в контрольной группе 1.

Таблица 29 – Потребление и затраты корма на единицу продукции кур-несушек

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Потребление корма на 1 голову в сутки, г	114,7	115,2	115,0	115,6
% к контролю	100,0	100,4	100,3	100,8
Затраты корма на 10 шт. яиц, кг	1,38	1,33	1,31	1,34
% к контролю	100,0	96,4	94,9	97,1
Затраты корма на 1 кг яичной массы, кг	2,19	2,15	2,10	2,15
% к контролю	100,0	98,2	95,9	98,2

Наиболее объективным критерием оценки расхода корма на продукцию в птицеводстве служат затраты корма на 1 кг яичной массы, поскольку данный показатель отражает не только объём потреблённого комбикорма, но и массу полученной продукции (яиц) в динамике продуктивного периода.

Учитывая различия по количеству полученной яичной массы между группами, что связано с повышением яйценоскости несушек, получавших добавку энзима, затраты корма на получение 1 кг яичной массы в опытных группах 2, 3 и 4 оказались ниже, чем в контроле, на 1,8; 4,1 и 1,8% соответственно.

Таким образом, наиболее высокие результаты по продуктивности кур-несушек были получены в опытной группе 3, получавшей комбикорма, обогащенные Берзайм X, в количестве 8 г на 1 т корма.

На рисунке 3 наглядно видна разница по интенсивности яйценоскости несушек и по затратам корма на 10 шт. яиц курами-несушками контрольной и опытных групп, которые зависели от дозировки используемого ферментного препарата.

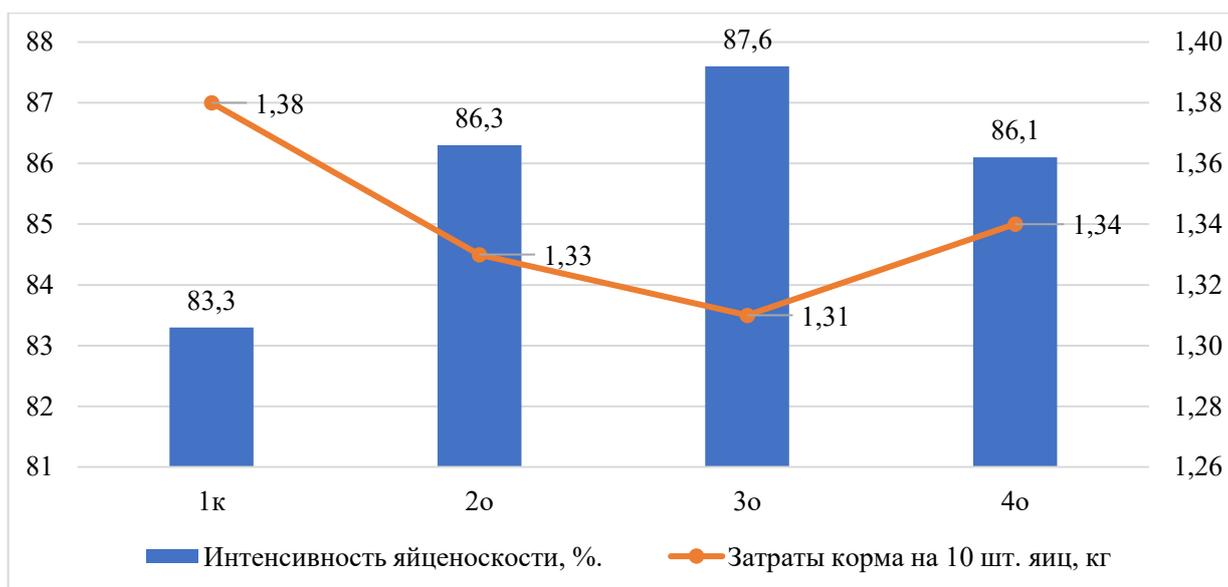


Рис. 3. Продуктивность кур-несушек и затраты кормов.

Анализ данных за шестимесячный период продуктивности кур показал, что достоверных различий по массе яиц между группами установлено не было, следовательно, различия в величине полученной яичной массы обусловлены преимущественно интенсивностью яйценоскости.

Средняя масса яиц по месяцу продуктивности и выход яичной массы представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Средняя масса яиц и выход яичной массы

Месяц продуктивности	Группа			
	1к	2о	3о	4о
1	57,42	57,81	57,97	58,20
2	61,23	61,56	61,32	61,27
3	63,20	63,27	64,20	63,33
4	66,25	64,55	66,05	65,37
5	64,50	63,04	64,31	63,84
6	63,60	61,65	61,27	62,81
Средняя масса яиц, г	62,70±0,46	61,98±0,51	62,52±0,64	62,47±0,83
% к контролю	100,0	98,9	99,7	99,6
Яичная масса, кг	9,5	9,7	9,9	9,7
% к контролю	100,0	102,1	104,2	102,1

С целью объяснения изучения причины выявленных различий по продуктивности и эффективности использования корма был проведён балансовый опыт (таблица 31). Было установлено, что добавление ферментного препарата Берзайм X в состав комбикормов оказывает положительное влияние на переваримость основных питательных веществ и на усвоение жизненно важных нутриентов у кур-несушек.

Таблица 31 – Переваримость и использование питательных веществ корма курами-несушками, %

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Переваримость: сухого вещества корма	72,1	74,8	76,3	73,9
протеина	90,6	91,7	92,5	91,4
жира	81,3	84,3	85,4	83,5
клетчатки	10,6	14,4	15,6	14,1
Использование: азота	41,7	44,2	45,5	43,8
кальция	44,5	45,7	46,2	45,4
фосфора	36,6	37,8	38,0	37,4
лизина	83,9	85,0	86,1	85,6
метионина	83,6	84,9	85,9	85,4

Так, переваримость сухого вещества корма в опытных группах, получавших различные уровни ферментного препарата, была выше, чем в контрольной группе 1: на 2,7; 4,2 и 1,8% соответственно группам 2, 3 и 4. Куры-несушки в данных группах лучше переваривали протеин на 1,1; 1,9 и 0,8%, жир – на 3,0; 4,1 и 2,2%, клетчатку – на 3,8; 5,0 и 3,5%. Использование азота корма в данных группах было также выше, чем в контрольной группе, на 2,5; 3,8 и 2,1%. Значительных различий по использованию кальция и фосфора не было получено. Таким образом, наиболее

высокие показатели по переваримости и использованию питательных веществ корма были получены в опытной группе 3, в которой уровень ввода Берзайма X в комбикорма составлял 8 г на 1 т корма. Данная группа отличалась и более высокой по сравнению с остальными группами продуктивностью птицы.

На рисунке 4 наглядно видна разница по переваримости питательных веществ корма под влиянием препарата Берзайм X с ксиланазной активностью.

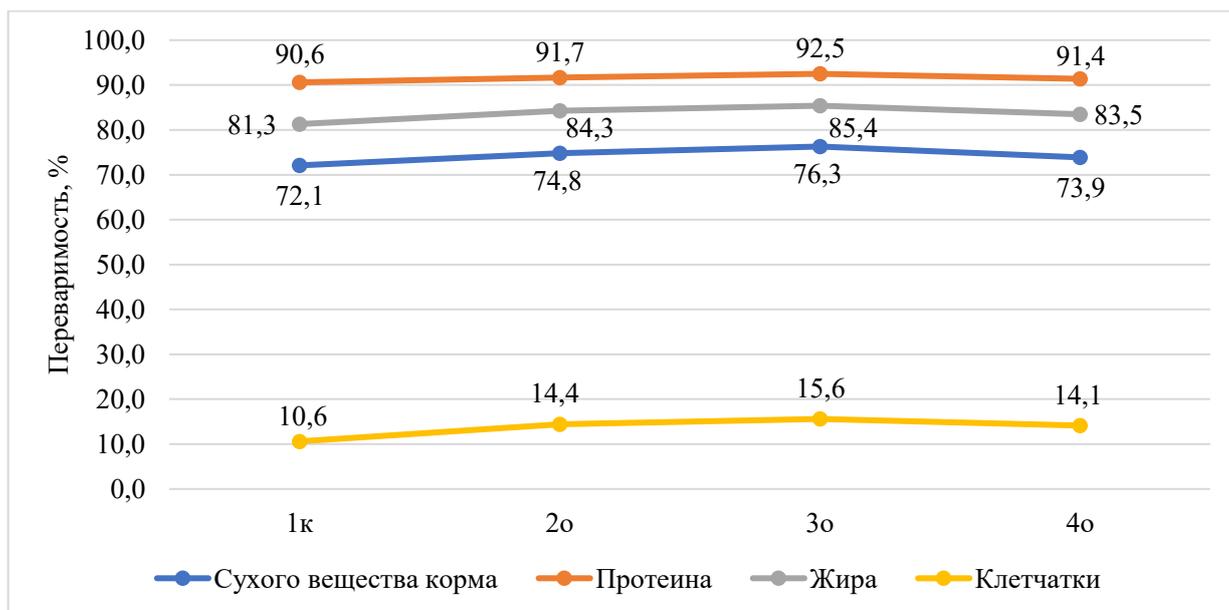


Рис. 4. Переваримость питательных веществ корма курами-несушками, %

Важное значение имеет качество произведенной продукции. В связи с этим был изучен витаминный состав яиц (таблица 32).

Анализ содержания витаминов в желтке и белке яиц показал, что значительных различий между контролем и опытными группами не было. Вследствие отсутствия в составе комбикорма кукурузы, глютена, травяной муки или специальных красителей количество каротиноидов в желтке яиц было невысоким, однако между группами особых различий по данному показателю не было. Содержание остальных витаминов было в пределах физиологической нормы, значительные различия между группами отсутствовали.

Таблица 32 – Содержание витаминов в яйце, мкг/г

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Содержание в 1г желтка: каротиноидов	7,86	8,08	8,12	8,05
ретинола (вит. А)	5,09	5,13	5,99	5,33
рибофлавина (вит. В ₂)	5,74	5,93	6,20	6,06
токоферола (вит. Е)	57,02	59,44	62,06	61,95
Содержание в 1г белка: рибофлавина (вит. В ₂)	3,78	4,04	4,58	4,37

Результаты морфологического анализа яиц показали, что удельная плотность во всех опытных и контрольной группах находилась на одинаковом уровне и соответствовала установленным физиологическим нормам (таблица 33). Индекс формы яиц также варьировал в пределах нормативных значений (76,6–77,0). Показатели массы белка и желтка, их относительное содержание, а также масса скорлупы оставались в пределах нормы и не показывали зависимости от состава рационов кормления.

Анализ упругой деформации яиц, характеризующей прочность скорлупы, показал, что во всех группах данный параметр находился в диапазоне от 19,15 до 20,44 мкм при норме не более 25 мкм, что свидетельствует о хорошем состоянии скорлупы. Минимальные значения упругой деформации были отмечены у кур опытной группы 3.

Толщина скорлупы яиц соответствовала нормативам и не зависела от рационов кормления птицы.

Таблица 33 – Морфологический анализ яиц в конце опыта

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Масса яиц, г	62,62±0,81	62,90±0,91	63,28±0,74	63,10±0,77
Толщина скорлупы, мкм:				
в тупом конце	360,2±0,73	356,8±0,64	360,0±0,35	358,8±0,84
на экваторе	364,0±0,77	358,6±0,82	358,8±0,76	354,6±0,58
в остром конце	348,6±0,87	362,4±0,91	358,6±0,84	360,3±0,62
в среднем	357,6	359,3	359,1	357,9
Упругая деформация, мкм	20,44±0,24	19,48±0,36	19,15±0,42	19,32±0,28
Прочность скорлупы, кг	4,24±0,12	4,32±0,14	4,34±0,16	4,31±0,13
Удельная плотность, г/см ³	1,08	1,08	1,08	1,08
Индекс формы яиц, %	77,0	76,8	77,0	76,6
Индекс белка, %	6,23	6,18	5,94	6,06
Индекс желтка, %	42,27	41,90	41,71	42,05
Масса скорлупы, г	6,32	6,23	6,45	6,31
% от массы яйца	10,1	9,9	10,2	10,0
Масса белка, г	38,95	39,50	39,93	39,37
% от массы яйца	62,2	62,8	63,1	62,4
Масса желтка, г	17,35	17,17	16,90	17,42
% от массы яйца	27,7	27,3	26,7	27,6
Отношение массы белка к массе желтка, %	2,25	2,30	2,36	2,26

Анализ упругой деформации яиц, характеризующей прочность скорлупы, показал, что во всех группах данный параметр находился в диапазоне от 19,15 до 20,44 мкм при норме не более 25 мкм, что свидетельствует о хорошем состоянии скорлупы. Минимальные значения упругой деформации были отмечены у кур опытной группы 3.

Толщина скорлупы яиц соответствовала нормативам и не зависела от рационов кормления птицы.

Содержание кальция и фосфора в скорлупе яиц представлено в таблице 34. Отмечено некоторое увеличение содержания кальция и фосфора в скорлупе яиц опытных групп.

Таблица 34 – Содержание кальция и фосфора в скорлупе яиц, %

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Кальций	0,197	0,202	0,206	0,200
Фосфор	0,84	0,87	0,90	0,88

Перед убоем были проведены гематологические и биохимические исследования крови кур-несушек. Было определено, что гематологические показатели кур-несушек во всех группах соответствовали физиологической норме и не зависели от уровней включения исследуемой добавки в комбикорма. Активность ферментов печени и поджелудочной железы (АСТ, АЛТ, щелочной фосфатазы и липазы) в плазме крови не имела значительных различий между группами, была в пределах физиологической нормы и не зависела от особенностей кормления.

Результаты биохимических и гематологических исследований крови кур-несушек представлены в таблице 35.

Таблица 35 – Биохимические и гематологические показатели крови кур-несушек в возрасте 45 недель (n=6)

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Биохимические показатели крови				
АЛТ, ед/л	61	66	71	67
АСТ, ед/л	476	544	511	489
Липаза, ед/л	18	16	16	17
Щелочная фосфатаза, ед/л	2252	2123	1968	2071
Гематологические показатели крови				
Гематокрит (HCT), %	37,8	37,6	38,2	37,0
Гемоглобин (HGB), г/л	145	143	150	141
Эритроциты (RBC), $10^{12}/л$	3,01	2,94	3,09	2,84
Лейкоциты (WBC), $10^9/л$	51,45	46,69	48,74	54,95
Гетерофилы (Het), %	33,6	38,2	31,8	34,5
Эозинофилы (Eos), %	5,3	4,8	5,9	5,1
Базофилы (Bas), %	0,2	0,2	0,3	0,3
Моноциты (Mon), %	0,4	0,5	0,5	0,3
Лимфоциты (Lym), %	60,5	56,3	61,5	59,8

После убоя птицы был проведён анализ накопления витаминов в печени птицы (таблица 36). Установлено, что содержание витаминов в исследованных образцах находилось в пределах физиологической нормы для данного вида и возраста кур. При этом отмечалась тенденция к более высокому уровню витаминов у птицы опытных групп по сравнению с контролем, что может свидетельствовать о положительном влиянии кормовой добавки на процессы усвоения и депонирования микронутриентов.

Таблица 36 – Содержание витаминов в печени кур-несушек, мкг/г

Показатель	Группа			
	1к	2о	3о	4о
Ретинол (вит. А)	384,83	407,20	436,64	424,38
Рибофлавин (вит. В ₂)	11,24	11,92	12,04	12,15
Токоферол (вит. Е)	6,68	7,42	8,34	8,30

Таким образом, результаты исследований позволяют сделать заключение о высокой эффективности ферментного препарата Берзайм Х при его использовании в комбикормах для кур-несушек, содержащих повышенный уровень зерна пшеницы. Все три используемых дозировки энзима оказали влияние на повышение интенсивности яйценоскости птицы, увеличив её на 2,8 – 4,3% ($P < 0,001$). Затраты корма на 10 шт. яиц оказались ниже, чем в контроле, в опытных группах на 2,9 – 5,1%, на 1 кг яичной массы – на 1,8 – 4,1%. Наиболее высокая продуктивность кур-несушек наблюдалась при использовании добавки в количестве 8г на 1т корма. Использование изучаемой кормовой добавки способствовало улучшению переваримости и использования питательных веществ корма. В опытной группе 3 куры лучше, чем аналоги контрольной группы, переваривали сухое вещество корма на 4,2%, протеин – на 1,9%, жир – на 4,1%, клетчатку – на 5,0%. Использование азота было выше на 3,8%. Качественные показатели яиц во всех группах не имели значительных различий с контролем.

3.2.1 Производственная проверка эффективности использования нового концентрированного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм X в комбикормах для кур-несушек

Производственная проверка применения ферментного препарата проводилась на курах-несушках со 150-дневного возраста на протяжении шести месяцев продуктивного периода. В качестве основной кормовой базы использовались полнорационные комбикорма пшеничного типа. Птица базового варианта получала комбикорма, питательность которых соответствовала нормам, рекомендованным ФНЦ «ВНИТИП» [63].

Вторая группа (новый вариант), рассматриваемая в качестве нового варианта, получала аналогичные по составу комбикорма, но с добавлением ферментного препарата Берзайм X в количестве 8 г на 1 тонну корма, что соответствует ксиланазной активности 1600 ед./кг.

Анализ результатов, представленных в таблице 35, свидетельствует, что обогащение комбикормов препаратом ксиланазы оказывало положительное влияние на продуктивные качества кур-несушек.

Так, применение ферментного препарата в рационах с высоким содержанием пшеницы позволило сохранить 100% поголовья птицы на протяжении всего периода испытаний, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния кормовой добавки на здоровье птицы и её жизнеспособность.

Кроме того, включение в комбикорма концентрированной ксиланазы обеспечило повышение интенсивности яйценоскости кур на 3,9% по сравнению с базовым вариантом питания. Одновременно наблюдалось снижение расхода кормов: затраты корма на производство 10 штук яиц уменьшились на 2,9%, а расход кормов на 1 кг яичной массы сократился на 2,3%.

Результаты производственной проверки на курах-несушках представлены в таблице 37.

Таблица 37 – Результаты производственной проверки на курах-несушках

Показатель	Вариант	
	Базовый	Новый
Поголовье на начало, гол.	150	150
Поголовье на конец опыта, гол.	150	150
Среднее поголовье, гол.	150	150
Сохранность, %	100,0	100,0
Кормодни (180 дней)	27150	27150
Валовое производство яиц, шт.	22417	23302
Снесено яиц на среднюю несушку, шт.	149,4	155,3
Интенсивность яйценоскости, %	82,57	85,83
Затраты комбикорма, кг:		
в т.ч.: всего	3115,91	3145,74
на 10 яиц	1,39	1,35
Средняя масса яйца, г	62,58	62,31
Выход яичной массы всего, кг	1402,83	1451,93
Выход яичной массы на сред. несушку, кг	9,35	9,68
Средняя цена реализации 10 яиц, руб.	67,00	67,00
Стоимость 1 кг комбикорма, руб.	25,30	25,30
Общие затраты, руб	129233,50	130470,7
в т.ч.: стоимость кормов всего	78832,46	79587,13
прочие затраты	50401,08	50883,57
Себестоимость 10 шт. товарных яиц, руб.	57,65	55,99
Выручка от реализации яиц, руб.	150193,9	156123,4
Прибыль, руб.	20960,4	25652,7
Рентабельность производства яиц, %	16,22	19,66
Экономическая эффективность, руб:		
общая		3868,13
на 1000 яиц		166,00

Экономическая эффективность для кур-несушек рассчитывалась по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_6 - C_n) \times A_n, \text{ где:}$$

\mathcal{E} – экономическая эффективность, руб.;

C_6 – себестоимость товарных яиц в базовом варианте, руб.;

C_n – себестоимость товарных яиц в новом варианте, руб.;

A_n – валовое производство яиц в новом варианте, шт.

$$\mathcal{E} = (57,65 - 55,99) \times 2330,20 = 3868,13 \text{ руб.}$$

Расчёт экономической эффективности использования концентрированной ксиланазы в количестве 8 г на 1 тонну корма на в комбикормах пшеничного типа показал, что с учетом производственных затрат на содержание кур-несушек экономическая эффективность в новом варианте по сравнению с базовым вариантом составила 3868,13 рублей, или 166 рублей в расчёте на 1000 яиц (в ценах 2024 года).

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность применения ферментного препарата Берзайм X в составе комбикормов пшеничного типа для промышленного птицеводства и показывают его положительное влияние на продуктивность и увеличение прибыли.

Акт производственной проверки приведён в приложении Б.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В научной литературе неоднократно отмечено положительное влияние ферментных добавок, в частности ксиланазы, при использовании в рационах бройлеров и кур-несушек. Предыдущие исследования показали, что включение ксиланазы улучшает продуктивность птицы и конверсию корма, а также повышает усвояемость питательных и минеральных веществ [115, 116, 139, 146, 174]. Эти эффекты связывают с гидролизом антипитательных полисахаридов — арабиноксиланов, содержащихся в зерне пшеницы, вследствие чего снижается вязкость химуса в желудочно-кишечном тракте и высвобождаются заключённые в матриксе арабиноксиланов питательные вещества [67, 123]. На фоне снижения вязкости также отмечают нормализацию микрофлоры кишечника, что, в свою очередь, может снижать смертность птицы [69, 94]. В настоящем исследовании мы также выявили положительные эффекты при использовании нового отечественного концентрированного препарата ксиланазы Берзайм Х у бройлеров кросса «Смена-9» и кур-несушек кросса «СП-789».

В исследовании на бройлерах птицы опытных групп превосходили птиц контрольной группы по живой массе с 21-го дня и до конца выращивания. К концу выращивания разница по живой массе составила 5,1–6,8 % у курочек и 3,1–7,1 % у петушков и была статистически достоверной. Закономерно, среднесуточный прирост живой массы также был выше у птиц опытных групп и превышал показатели контрольной группы на 4,2–7,2 %. Наиболее выраженный эффект отмечен у птиц, получавших 12 г ферментного препарата на 1 т корма (2400 ед ксиланазы на 1 кг корма). Полученные результаты согласуются с данными, полученными на других кроссах бройлеров, таких как «Росс-308» и «Кобб-500», а также с мета-анализом Inayah et al. (2022), основанным на 53 научных статьях: по его данным добавление ксиланазы статистически значимо ($p < 0,05$) повышает абсолютный и среднесуточный прирост живой массы у бройлеров, способствует снижению затрат корма и, соответственно, приводит к снижению коэффициента

конверсии корма, однако на этот показатель также оказывал влияние и состав рациона [115, 116, 123, 139].

В исследовании на курах-несушках птицы опытных групп превосходили птиц контрольной группы по средней за 6 месяцев интенсивности яйценоскости на 3,4–5,2 % и по полученной валовой яичной массе — на 2,3–4,6 %. Наиболее выраженный эффект наблюдался у птиц, получавших 8 г изучаемого энзима на 1 т корма, что соответствует 1600 ед ксиланазной активности на 1 кг корма. Следует отметить, что суточное потребление корма курами-несушками всех групп варьировало в пределах 114,7–115,6 г, не превышая показатель контрольной группы (114,7 г) более чем на 0,8 %, что укладывается в пределы естественных колебаний и не свидетельствует о существенном влиянии ферментной добавки на данный показатель. В то же время анализ данных за шестимесячный период продуктивности кур-несушек показал отсутствие достоверных различий по массе яиц между группами, что позволяет заключить: различия в величине полученной яичной массы обусловлены преимущественно повышением интенсивности яйценоскости. Выявленные различия в продуктивности между опытными и контрольной группами можно связать с увеличением переваримости и использования питательных веществ корма. Наблюдаемые эффекты согласуются с результатами исследования Abdollahi et al. (2021), проведённого на 540 курах-несушках породы «Ломанн LSL-Лайт» в возрасте 90 недель: при включении 16 000 ед ксиланазы на 1 кг корма интенсивность яйценоскости повысилась на 2,13 % при отсутствии достоверных различий в массе яиц и суточном потреблении корма.

В рамках настоящего исследования наблюдалось снижение кормовых затрат на единицу продукции как в опыте на бройлерах, так и в опыте на несушках. Так, у опытных групп бройлеров затраты корма на 1 кг прироста живой массы были ниже, чем у контрольной на 3,0–6,4 %. У несушек расход корма на 10 шт. яиц в опытных группах снизился на 2,9–5,1 %. Полученные результаты зависели от переваримости и использования питательных веществ и энергии корма. Согласно полученным в

опытах данным, переваримость сухого вещества корма у бройлеров увеличилась на 3,2–5,1 %, протеина – на 2,2–4,2 %, жира – на 3,6–5,4 %, клетчатки – на 6,5–9,9 %, использование лизина выросло на 1,8–2,5 %, метионина – на 1,5–2,6 %. У несушек данные показатели выросли на 1,8–4,2 %; 0,8–1,9 %; 2,2–4,1 %; 3,5–5,0 %; 1,1–2,2 % и 1,3–2,3 % соответственно. Полученные результаты, особенно по повышению переваримости клетчатки, соответствуют ожидаемым и описанным в литературе [67, 123].

В химическом и аминокислотном составе грудных и ножных мышц петушков бройлеров не было выявлено существенных изменений при включении в корма ферментного препарата Берзайм Х. Полученные результаты сопоставимы с исследованием Sta Cruz et al. (2024) на бройлерах кросса «Росс-308», где включение 2000 и 3000 ед. ксиланазы на 1 кг корма так же не оказало влияния на химический состав мышц [182].

Гематологические показатели птиц опытов 1 и 2 во всех группах соответствовали физиологической норме и не зависели от уровней включения ксиланазы в комбикорма. Активность ферментов печени и поджелудочной железы (АСТ, АЛТ, щелочной фосфатазы и липазы) в плазме крови не имела значительных различий между группами, она была в пределах физиологической нормы и не зависела от особенностей кормления. Содержание витаминов в печени цыплят соответствовало физиологической норме, хотя и в опыте на бройлерах, и у несушек отмечена тенденция к большему накоплению витаминов А и Е у опытных групп. Аналогичные данные представлены в исследовании Wu et al. (2005), проведённом на бройлерах кросса «Арбор Айкрес», – включение ксиланазы не оказало значительного влияния на активность ферментов печени в сыворотке крови. В исследовании Dänicke et al. (1999), проведённом на бройлерах Ломанн, так же наблюдалась тенденция к накоплению витамина Е в печени птиц при добавлении ксиланазы в рационы [102, 200].

Эффективность использования ферментной добавки Берзайм Х также наблюдалась при расчёте экономической эффективности. Так, в производственной проверке на бройлерах при включении 12 г ферментной добавки на 1 т комбикорма наблюдался более высокий прирост живой массы и убойный выход у нового варианта, что повысило валовый выход мяса на 8,39 кг. Высокий относительный прирост живой массы цыплят-бройлеров нового варианта способствовал снижению затрат корма на 1 кг прироста живой массы на 0,07 кг. В итоге себестоимость 1 кг мяса в новом варианте оказалась ниже, чем в базовом 7,35 рублей в ценах 2024 года.

В производственной проверке на курах-несушках при включении 8 г энзима на 1 т комбикорма наблюдалась более высокая интенсивность яйценоскости у нового варианта, что при незначительной разнице в средней массе яйца повысило итоговый выход яичной массы на 49,1 кг. Хотя общие затраты комбикорма у нового варианта выше на 3,5 %, возросшая интенсивность яйценоскости способствовала снижению затрат корма на 10 яиц на 0,04 кг. В итоге себестоимость 10 штук товарных яиц в новом варианте оказалась ниже, чем в базовом 1,66 рублей в ценах 2024 года.

Таким образом, расчёт экономической эффективности показывает, что включение ферментного препарата Берзайм Х в комбикорма позволяет повышать рентабельность производства яиц и мяса цыплят-бройлеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследований можно сделать следующие выводы:

1. Рациональным уровнем включения высококонцентрированного ферментного препарата с ксиланазной активностью Берзайм X 200 000 в комбикорма пшеничного типа следует считать 12 г на 1 тонну корма для бройлеров и 8 г на 1 тонну корма для кур-несушек. Учитывая высокую активность ферментной добавки и, соответственно, небольшую дозу ввода в комбикорма, её необходимо использовать методом ступенчатого смешивания или в составе премиксов.

2. Введение отечественного энзима с ксиланазной активностью в комбикорма пшеничного типа способствовало увеличению прироста живой массы бройлеров на 4,1 – 7,0% и снижению затрат кормов на 1 кг прироста живой массы на 3,5 – 6,4% за счёт более полного использования питательных веществ. В частности, переваримость сухого вещества корма повысилась на 3,2 – 5,1%, протеина – на 2,2 – 4,2%, жира – на 3,6 – 5,4%, клетчатки – на 6,5 – 9,9%, использование азота – на 3,8 – 5,5%, кальция – на 0,9 – 1,6% и фосфора – на 0,4 – 1,1%.

3. Обогащение комбикормов для кур-несушек концентрированной ксиланазой Берзайм X обеспечивало повышение переваримости сухого вещества корма на 1,8 – 4,2%, протеина – на 0,8 – 1,9%, жира – на 2,2 – 4,1%, клетчатки – на 3,5 – 5,0%, использование азота – на 2,1 – 3,8%, кальция – на 0,9 – 1,7% и фосфора – на 0,8 – 1,4%. Это способствовало увеличению интенсивности яйценоскости кур на 2,8 – 4,3% при одновременном снижении затрат кормов на производство 10 штук яиц на 2,9–5,1% и на 1 кг яичной массы на 1,8 – 4,1%, без отрицательного влияния на морфологические и качественные показатели яиц.

4. Экономическая эффективность использования концентрированной ксиланазы в количестве 12 г на 1 тонну комбикорма с высоким уровнем включения пшеницы составила 11 923,14 рублей (в ценах 2024 года) на 1000 голов бройлеров.

5. Экономическая эффективность использования концентрированной ксиланазы в количестве 8 г на 1 тонну комбикорма пшеничного типа составила 166 рублей (в ценах 2024 года) в расчёте на 1000 яиц кур-несушек.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для повышения эффективности производства мяса бройлеров и яиц рекомендуется использовать в комбикормах пшеничного типа концентрированный отечественный ферментный препарат ксиланазы Берзайм X в дозировке 12 г на 1 тонну корма для бройлеров и 8 г на 1 тонну корма для несушек.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение ксиланазы Берзайм X в комбинации с другими ферментами, а также при использовании пшеницы нового урожая с повышенной вязкостью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин, К.Г. Основные тенденции развития российского рынка мяса: анализ факторов спроса / К.Г. Бородин // Достижения науки и техники АПК. — 2020. — Т. 34, № 4. — С. 10–14.
2. Вертипрахов, В.Г. Морфо-биохимические исследования крови у сельскохозяйственной птицы: учебное пособие / В.Г. Вертипрахов, А.А. Грозина, С.В. Овчинникова и др. — Благовещенск: Дальневосточный ГАУ. — 2021. — 133 с.
3. Вильямс, П. Рекомендации по аминокислотному составу / П. Вильямс // Комбикормовая промышленность. — 1995. № 1. С. 16–20.
4. Вишняков, А.И. Последствия антропогенного влияния на состав крови цыплят-бройлеров / А.И. Вишняков, А.А. Торшков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2009. Т. 4. № 24/1. С. 166–167.
5. Волков, С. Ксиланаза-потенцирующий фактор — эстераза феруловой кислоты: повышение усвояемости рационов для бройлеров / С. Волков // Животноводство России. — 2019. — № 10. — С. 3–6.
6. Волчок, А.А. Активность глюкеназ и ксиланаз кормовых ферментных препаратов в ЖКТ птицы / А.А. Волчок, О.Г. Короткова, Е.Г. Кондратьева и др. // Птицеводство. — 2018. — № 4. — С. 39–45.
7. ГОСТ 31488–2012. Препараты ферментные. Методы определения ферментативной активности ксиланазы. — М.: Стандартинформ, 2012. — 16 с.
8. Григорьева, Ж.А. Оценка влияния иммобилизации пробиотика и ксиланазы на продуктивность бройлеров / Ж.А. Григорьева, Д.Ф. Гараева, Р.А. Тузиков и др. // Птицеводство. — 2020. — № 12. — С. 21–25.
9. Гусаков, В.К. Подсчет форменных элементов крови у кур: учебно-методическое пособие. / В.К. Гусаков, Е.Н. Кудрявцева, А.В. Островский. — Витебск: Витебская ордена «Знак Почёта» государственная академия ветеринарной медицины. — 2002. — 12 с.

10. Дорожкин, В.И. Изучение биологического действия кормовых добавок на основе ферментов / В.И. Дорожкин, Г.И. Павленко, Н.С. Павлова // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. — 2018. — № 3 (27). — С. 101–106.
11. Дорожкин, В.И. Определение токсичности кормовых добавок на основе ферментов / В.И. Дорожкин, Г.И. Павленко, Н.С. Павлова // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. — 2018. — № 3 (27). — С. 118–122.
12. Егоров, И.А. Альтернативный источник кормового белка и энергии для цыплят-бройлеров / И.А. Егоров, Т.В. Егорова, Л.И. Криворучко // Птицеводство. — 2020. — № 11. — С. 12–17.
13. Егоров, И.А. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.Н. Ленкова и др. — Сергиев Посад: ВНИТИП. — 2013. — 51 с.
14. Егоров, И.А. Методическое пособие по кормлению сельскохозяйственной птицы / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.Н. Ленкова и др. — Сергиев Посад: ООО «Гран-При». — 2021. — 360 с.
15. Егоров, И.А. Наставления по использованию нетрадиционных кормов в рационах птицы / И.А. Егоров, Т.Н. Ленкова, В.А. Манукян и др. — Сергиев Посад: ЗАО «Лика». — 2016. — 58 с.
16. Егоров, И.А. Ферментные препараты в комбикормах на фоне кормов свежего урожая (бройлеры) / И.А. Егоров, Т.В. Егорова, П.А. Мосеев // Птицеводство. — 2020. — № 5–6. — С. 17–23.
17. Егоров, И.А. Ферментные препараты отечественного производства в комбикормах для цыплят-бройлеров / И.А. Егоров, Т.В. Егорова, П.А. Мосеев и др. // Птицеводство. — 2018. — № 1. — С. 16–19.
18. Егоров, И.А. Ферментные препараты отечественного производства в низкоэнергетических комбикормах для цыплят-бройлеров / И.А. Егоров, Т.В. Егорова, А.И. Панин и др. // Птицеводство. — 2021. — № 7–8. — С. 27–31.

19. Егоров, И.А. Ферментный препарат для улучшения конверсии корма и продуктивности бройлеров / И.А. Егоров, Т.В. Егорова // Комбикорма. — 2015. — № 11. — С. 62–65.
20. Егоров, И.А. Ферментный препарат нового поколения в комбикормах для птицы / И.А. Егоров, Т.В. Егорова, А.И. Панин // Комбикорма. — 2021. — № 6. — С. 57–61.
21. Егорова, Т.А. Эндогенные антипитательные факторы растительных ингредиентов комбикормов для птицы и методы их нейтрализации: современные представления: монография / Т.А. Егорова. — Сергиев Посад: ВНИТИП. — 2022. — 280 с.
22. Ефимов, Д.Н. Руководство по работе с птицей мясного кросса «Смена 9» с аутосексной материнской родительской формой / Д.Н. Ефимов, А.В. Егорова, Ж.В. Емануйлова и др.; под общ. ред. В.И. Фисина. — Сергиев Посад: ФНЦ «ВНИТИП» РАН. — 2021. — 96 с.
23. Зиновьев, С.В. О матрицах кормовых ферментных препаратов / С.В. Зиновьев, В.С.Крюков, О.В. Крюков // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. — 2021. — № 10. — С. 33–38.
24. Иванова, Е.Ю. Влияние ферментных препаратов на яйценоскость и массу яиц кур-несушек / Е.Ю. Иванова, А.Ю. Лаврентьев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. — 2015. — № 1(29). — С. 94–97.
25. Иванова, Е.Ю. Отечественные ферменты в комбикормах для кур-несушек / Е.Ю. Иванова, А.Ю. Лаврентьев // Комбикорма. — 2014. — № 7–8. — С. 70–71.
26. Иванова, Е.Ю. Эффективность включения ферментных препаратов в комбикорма для кур-несушек / Е.Ю. Иванова, А.Ю. Лаврентьев // Птица и птицепродукты. — 2015. — № 2. — С. 43–45.
27. Калоев, Б.С. Эффективность комплексного использования ферментных препаратов и лецитина в кормлении бройлеров / Б.С. Калоев, В.Т. Хаджиев, И.Т. Тлехучев и др. // Птицеводство. — 2022. — № 1. — С. 7–10.

28. Клетикова, Л.В. Динамика обмена кальция и фосфора у высокопродуктивных кур в зависимости от периода яйцекладки / Л.В. Клетикова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. № 1. С. 57–58.

29. Короткова, О.Г. Активность ферментов, предназначенных для деструкции некрахмалистых полисахаридов / О.Г. Короткова, О.А. Сеницына, Е.Г. Кондратьева и др. // Птицеводство. — 2016. — № 5. — С. 8–13.

30. Короткова, О.Г. Новые кормовые ферментные препараты для деструкции некрахмалистых полисахаридов и фитатов / О.Г. Короткова, А.М. Рожкова, В.Ю. Кислицин и др. // Вестник Московского университета. Сер. 2: Химия. — 2023. — Т. 64, № 2. — С. 178–186.

31. Короткова, О.Г. Сравнительный анализ активности кормовых ферментных препаратов, предназначенных для деструкции некрахмалистых полисахаридов / О.Г. Короткова, О.А. Сеницына, Е.Г. Кондратьева и др. // Птицеводство. — 2016. — № 5. — С. 8–13.

32. Короткова, О.Г. Сравнительный анализ состава и свойств кормовых ферментных препаратов / О.Г. Короткова, Е.А. Рубцова, И.А. Шашков и др. // Катализ в промышленности. — 2018. — Т. 18, № 4. — С. 72–78.

33. Кощев, И.А. Биологическая эффективность источников фосфора в рационах сельскохозяйственной птицы / И.А. Кощев, Ю.Н. Литвинов, О.С. Кощева // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. — 2018. № 3(9). С. 36–40.

34. Кротова, Н.Ю. Продуктивность цыплят-бройлеров при использовании мультиэнзимного препарата / Н.Ю. Кротова, А.Ю. Лаврентьев, В.С. Шерне // Птицеводство. — 2020. — № 2. — С. 27–30.

35. Крюков, В.С. Полиферментные препараты в кормлении моногастричных животных / В.С. Крюков, С.В. Зиновьев, Р.В. Некрасов и др. // Аграрная наука. — 2021. — № 4 (348). — С. 35–43.

36. Крюков, В.С. Проблемы методологии конструирования полиферментных препаратов и повышения эффективности их применения в животноводстве / В.С. Крюков, С.В. Зиновьев, О.В. Крюков // Проблемы биологии продуктивных животных. — 2021. — № 4. — С. 5–39.
37. Лаврентьев, А.Ю. Комбикорма с отечественными ферментными препаратами в кормлении кур-несушек / А.Ю. Лаврентьев, Е.Ю. Иванова // Аграрная наука. — 2016. — № 1. — С. 20–21.
38. Лавриненко, К.В. Применение ксиланазы в рационах цыплят-бройлеров / К.В. Лавриненко, И.А. Кощачев, А.А. Рядинская и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. — 2022. — № 4(68). — С. 310–318.
39. Ленкова, Т.Н. Как повысить усвояемость фосфора из комбикормов для цыплят-бройлеров / Т.Н. Ленкова, И.А. Егоров, Т.А. Егорова и др. // Птица и птицепродукты. — 2019. № 1. С. 30–32.
40. Ленкова, Т.Н. Мультиэнзимный препарат для птицы / Т.Н. Ленкова, Т.А. Егорова, И.Г. Сысоева // Птица и птицепродукты. — 2018. — № 6. — С. 30–33.
41. Ленкова, Т.Н. Новый отечественный энзим / Т.Н. Ленкова, Т.А. Егорова, И.Г. Сысоева // Птицеводство. — 2016. — № 6. — С. 17–20.
42. Ленкова, Т.Н. Отечественная ксиланаза нового поколения в комбикормах для бройлеров / Т.Н. Ленкова, Т.А. Егорова, А.Н. Кияшко // Птицеводство. — 2023. — № 9. — С. 41–45.
43. Лютых, О. Пищеварительная формула / О. Лютых // Эффективное животноводство. — 2020. № 3(160). С. 80–85.
44. Медведский, В.А. Биологические основы минерального питания сельскохозяйственной птицы / В.А. Медведский, М.В. Базылев, Л.П. Большакова и др. // Научное обозрение. Биологические науки. — 2016. № 2. С. 93–108.
45. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-

конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений / ВАСХНИЛ. Москва. — 1980. — 112 с.

46. Околелова, Т.М. Болезни, возникающие при неправильном кормлении и содержании птицы / Т.М. Околелова, Р.И. Шарипов. Т.Р. Шарипов. — Алматы: Нур-Принт. — 2018. — 262 с.

47. Околелова, Т.М. Научные основы кормления и содержания сельскохозяйственной птицы: монография / Т.М. Околелова, С.В. Енгашев. — Москва: РИОР. — 2021. — 439 с.

48. Околелова, Т.М. Российские ферментные препараты для импортозамещения зарубежных аналогов / Т.М. Околелова, Р.Ш. Мансуров, С.Н. Гаврилов и др. // Птицеводство. — 2016. № 1. С. 30–33.

49. Плохинский, Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников / Н.А. Плохинский. — Москва: Колос. — 1969. — С. 49, 54–58.

50. Подобед, Л.И. Руководство по минеральному питанию сельскохозяйственной птицы / Л.И. Подобед, А.Н. Степаненко, Е.А. Капитонова. — Одесса: Акватория. — 2016. — 360 с.

51. Пономарев, В.А. Клинические и биохимические показатели крови птиц: монография / В.А. Пономарев, В.В. Пронин, Л.В. Клетикова и др. — Иваново: ПресСто. — 2014. — 287 с.

52. Пономаренко, Ю.А. Корма, биологически активные вещества, безопасность: монография / Ю.А. Пономаренко, В.И. Фисинин, И.А. Егоров. — Минск; Москва: Белстан. — 2014. — 872 с.

53. Пономаренко, Ю.А. Корма, кормовые добавки и продукты питания / Ю.А. Пономаренко. — Минск. — 2010. — 314 с.

54. Прытков, Ю.Н. Влияние мультиэнзимного препарата «Хостазим Комби» на продуктивность кур-несушек при скармливании зерна свежего урожая / Ю.Н. Прытков, Б.В. Агеев, Е.В. Бочкарева и др. // Птицеводство. — 2020. — № 5–6. — С. 43–45.

55. Прытков, Ю.Н. Использование ферментного препарата «Хостазим Комби» на птицефабрике ООО «Авангард» / Ю.Н. Прытков, Б.В. Агеев, Е.В. Бочкарева и др. // Аграрный научный журнал. — 2021. — № 6. — С. 59–62.
56. Сеницын, А.П. Активность ферментных препаратов — важнейший критерий их свойств / А.П. Сеницын, О.А. Сеницына, Е.Г. Кондратьева и др. // Птицеводство. — 2014. — № 12. — С. 36–40.
57. Сеницын, А.П. Влияние водных экстрактов ржи и ячменя на активность кормовых ферментов / А.П. Сеницын, И.А. Шашков, Е.А. Рубцова и др. // Птицеводство. — 2018. — № 11–12. — С. 34–37.
58. Сеницын, А.П. Метод определения степени ингибирования ксиланаз белковыми ингибиторами злаков / А.П. Сеницын, И.Н. Зоров, О.Г. Короткова и др. // Птицеводство. — 2016. — № 1. — С. 19–24.
59. Спиридонов, И.П. Кормление сельскохозяйственной птицы от А до Я / И.П. Спиридонов, А.Б. Мальцев, В.М. Давыдов. — Омск: Сиб. НИИ птицеводства. — 2002. — 696 с.
60. Темников, В. Подтверждённая эффективность полиферментного препарата в рационах птицы / В. Темников, С. Зиновьев // Комбикорма. — 2021. — № 12. — С. 47–49.
61. Фисинин В.И. Методические наставления по использованию в комбикормах для птицы новых биологически активных, минеральных и кормовых добавок / В.И. Фисинин, Т.М. Околелова, И.А. Егоров и др.; под общ. ред. Т.М. Околеловой — Сергиев Посад: ВНИТИП. — 2011. — 98 с.
62. Фисинин, В.И. Кормление сельскохозяйственной птицы / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.М. Околелова и др. — Сергиев Посад: ВНИТИП. — 2000. — 375 с.
63. Фисинин, В.И. Руководство по оптимизации рецептов комбикормов для сельскохозяйственной птицы / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.Н. Ленкова и др. — Сергиев Посад: ВНИТИП. — 2021. — 359 с.

64. Чернышев, Н.И. Компоненты комбикормов. 3-е изд. / Н.И. Чернышев, И.Г. Панин. — Воронеж: ГУП ВО «Воронежская областная типография». — 2012. — 154 с.
65. Abdollahi, A. The effects of the fiber source and xylanase supplementation on production, egg quality, digestibility, and intestinal morphology in the aged laying hen / A. Abdollahi, A. Karimi, A. Sadeghi et al. // *Poultry Science*. — 2021. Vol. 100, No. 3. Art. 100936.
66. Adeola, O. Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production / O. Adeola, A.J. Cowieson // *Journal of Animal Science*. — 2011. Vol. 89, No. 10. P. 3189–3218.
67. Annison, G. The role of wheat non-starch polysaccharides in broiler nutrition / G. Annison // *Australian Journal of Agricultural Research*. — 1993. Vol. 44, No. 3. P. 405–422.
68. Apajalahti, J. Improve bird performance by feeding its microflora / J. Apajalahti, M.R. Bedford // *World Poultry*. — 1999. Vol. 15, No. 2. P. 20–23.
69. Apajalahti, J. Interaction between chicken intestinal microbiota and protein digestion / J. Apajalahti, K. Vienola // *Animal Feed Science and Technology*. — 2016. Vol. 221. P. 323–330.
70. Ashaolu, T.J. Extremophilic microorganisms as a source of emerging enzymes for the food industry: a review / T.J. Ashaolu, T. Malik, R. Soni et al. // *Food Science & Nutrition*. — 2025. Vol. 13, No. 1. Art. e4540.
71. Bairoch, A. The ENZYME database in 2000 / A. Bairoch // *Nucleic Acids Research*. — 2000. Vol. 28, No. 1. P. 304–305.
72. Bajpai, P. *Xylanolytic Enzymes* / P. Bajpai. — Amsterdam: Elsevier. — 2014. 120 p.
73. Bedford, M.R. Exogenous enzymes for pigs and poultry / M.R. Bedford, H. Schulze // *Nutrition Research Reviews*. — 1998. Vol. 11, No. 1. P. 91–114.
74. Bedford, M.R. Reduction of intestinal viscosity through manipulation of dietary rye and pentosanase concentration is affected through changes in the carbohydrate

composition of the intestinal aqueous phase and results in improved growth rate and food conversion efficiency of broiler chicks / M.R. Bedford, H.L. Classen // *Journal of Nutrition*. — 1992. Vol. 122, No. 3. P. 560–569.

75. Bedford, M.R. The use of enzymes in poultry diets / M.R. Bedford, A.J. Morgan // *World's Poultry Science Journal*. — 1996. Vol. 52, No. 1. P. 61–68.

76. Behera, S.S. Solid state fermentation for production of microbial cellulases: recent advances and improvement strategies / S.S. Behera, R.C. Ray // *International Journal of Biological Macromolecules*. — 2016. Vol. 86. P. 656–669.

77. Bhalla, A. Improved lignocellulose conversion to biofuels with thermophilic bacteria and thermostable enzymes / A. Bhalla, N. Bansal, S. Kumar et al. // *Bioresource Technology*. — 2013. Vol. 128. P. 751–759.

78. Bhardwaj, N. A detailed overview of xylanases: an emerging biomolecule for current and future prospective / N. Bhardwaj, B. Kumar, P. Verma // *Bioresources and Bioprocessing*. — 2019. Vol. 6. Art. 40.

79. Bhat, M.K. Enzymology and other characteristics of cellulases and xylanases / M.K. Bhat, G.P. Hazlewood // *Enzymes in Farm Animal Nutrition* / ed. by M.R. Bedford, G.G. Partridge. Wallingford: CABI Publishing. — 2001. P. 11–60.

80. Biely, P. Microbial xylyanolytic systems / P. Biely // *Trends in Biotechnology*. — 1985. Vol. 3, No. 11. P. 286–290.

81. Biely, P. Towards enzymatic breakdown of complex plant xylan structures: State of the art / P. Biely, S. Singh, V. Puchart // *Biotechnology Advances*. — 2016. Vol. 34, No. 7. P. 1260–1274.

82. Butt, M.S. Xylanases and their applications in baking industry / M.S. Butt, M. Tahir-Nadeem, Z. Ahmad et al. // *Food Technology and Biotechnology*. — 2008. Vol. 46, No. 1. P. 22–31.

83. Capriță, R. Biochemical aspects of non-starch polysaccharides / R. Capriță, A. Capriță, C. Julean // *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*. — 2010. Vol. 43, No. 1. P. 368–375.

84. Chandra, R. Substrate pretreatment: the key to effective enzymatic hydrolysis of lignocellulosics? / R. Chandra, R. Bura, W. Mabee et al. // *Biofuels* / ed. by L. Olsson. Springer. — 2007. Vol. 108. P. 67–93.
85. Chávez, R. The xylanolytic enzyme system from the genus *Penicillium* / R. Chávez, P. Bull, J. Eyzaguirre // *Journal of Biotechnology*. — 2006. Vol. 123, No. 4. P. 413–433.
86. Chen, H. *Modern Solid-State Fermentation: Theory and Practice* / H. Chen. — Dordrecht: Springer. — 2013. 324 p.
87. Choct, M. A comparison of three xylanases on the nutritive value of two wheats for broiler chickens / M. Choct, A. Kocher, D.L.E. Waters et al. // *British Journal of Nutrition*. — 2004. Vol. 92, No. 1. P. 53–61.
88. Choct, M. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora / M. Choct, G. Annison // *British Poultry Science*. — 1992. Vol. 33, No. 4. P. 821–834.
89. Choct, M. Effects of a xylanase on individual bird variation, starch digestion throughout the intestine, and ileal and caecal volatile fatty acid production in chickens fed wheat / M. Choct, R.J. Hughes, M.R. Bedford // *British Poultry Science*. — 1999. Vol. 40, No. 3. P. 419–422.
90. Choct, M. Enzymes for the feed industry: past, present and future / M. Choct // *World's Poultry Science Journal*. — 2004. Vol. 60, No. 1. P. 5–16.
91. Choct, M. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance / M. Choct // *Feed Milling International*. — 1997. June. P. 13–26.
92. Choct, M. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens / M. Choct, R.J. Hughes, J. Wang et al. // *British Poultry Science*. — 1996. Vol. 37, No. 3. P. 609–621.
93. Collins, T. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases / T. Collins, C. Gerday, G. Feller // *FEMS Microbiology Reviews*. — 2005. Vol. 29, No. 1. P. 3–23.

94. Courtin, C.M. Dietary inclusion of wheat bran arabinoxyloligosaccharides induces beneficial nutritional effects in chickens / C.M. Courtin, W.F. Broekaert, K. Swennen et al. // *Cereal Chemistry*. — 2008. Vol. 85, No. 5. P. 607–613.
95. Cowieson, A.J. A mono-component microbial protease improves performance, net energy, and digestibility of amino acids and starch, and upregulates jejunal expression of genes responsible for peptide transport in broilers fed corn/wheat-based diets supplemented with xylanase and phytase / A.J. Cowieson, M. Toghyani, S.K. Kheravii et al. // *Poultry Science*. — 2019. Vol. 98, No. 3. P. 1321–1332.
96. Cowieson, A.J. Interactions between xylanase and glucanase in maize–soy-based diets for broilers / A.J. Cowieson, M. Hruby, M. Faurschou Isaksen // *British Poultry Science*. — 2010. Vol. 51, No. 2. P. 246–257.
97. Davies, G. Structures and mechanisms of glycosyl hydrolases / G. Davies, B. Henrissat // *Structure*. — 1995. Vol. 3, No. 9. P. 853–859.
98. de Souza, K.M.R. Performance and morphometry of the intestinal mucosa of laying hens fed diets containing xylanase / K.M.R. de Souza, D.E. de Faria, R.B. Araujo et al. // *Brazilian Journal of Poultry Science*. — 2014. Vol. 16, No. 3. P. 241–248.
99. Dey, P. Molecular structure and catalytic mechanism of fungal family G acidophilic xylanases / P. Dey, A. Roy // *3 Biotech*. — 2018. Vol. 8, No. 2. Art. 78.
100. Dodd, D. Enzymatic deconstruction of xylan for biofuel production / D. Dodd, I.K.O. Cann // *Global Change Biology Bioenergy*. — 2009. Vol. 1, No. 1. P. 2–17.
101. Dozier, W.A. Dietary apparent metabolizable energy and amino acid density effects on growth and carcass traits of heavy broilers / W.A. Dozier, A. Corzo, M.T. Kidd et al. // *Journal of Applied Poultry Research*. — 2008. Vol. 17, No. 2. P. 192–205.
102. Dänicke, S. Effects of dietary fat type, pentosan level, and xylanases on digestibility of fatty acids, liver lipids, and vitamin E in broilers / S. Dänicke, H. Jeroch, W. Böttcher et al. // *Fett-Lipid*. — 1999. 101(3), 90–100.
103. Englyst, H.N. Starch and non-starch polysaccharides in some cereal foods / H.N. Englyst, V. Anderson, J.H. Cummings // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. — 1983. Vol. 34, No. 12. P. 1434–1440.

104. Friesen, O.D. The effect of enzyme supplementation on the apparent metabolizable energy and nutrient digestibilities of wheat, barley, oats, and rye for the young broiler chick / O.D. Friesen, W. Guenter, R.R. Marquardt et al. // *Poultry Science*. — 1992. Vol. 71, No. 10. P. 1710–1721.

105. Gao, F. The effects of xylanase supplementation on growth, digestion, circulating hormone and metabolite levels, immunity and gut microflora in cockerels fed on wheat-based diets / F. Gao, Y. Jiang, G.H. Zhou et al. // *British Poultry Science*. — 2007. Vol. 48, No. 4. P. 480–488.

106. Gao, F. The effects of xylanase supplementation on performance, characteristics of the gastrointestinal tract, blood parameters and gut microflora in broilers fed on wheat-based diets / F. Gao, Y. Jiang, G.H. Zhou et al. // *Animal Feed Science and Technology*. — 2008. Vol. 142, No. 1–2. P. 173–184.

107. Gedrovica, I. The non-starch polysaccharides quantity changes in pastry products where Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) added / I. Gedrovica, D. Karklina, A. Fras et al. // *Procedia Food Science*. — 2011. Vol. 1. P. 1638–1644.

108. Ghaffar, O.R. The effects of corncob and xylanase supplementation on performance, ileal digestibility, intestinal morphology, gastrointestinal pH, and serum biochemical traits in the broiler chickens / O.R. Ghaffar, A. Abdollahi // *Canadian Journal of Animal Science*. — 2025. Vol. 105, No. 1. P. 1–14.

109. Gilbert, P. Influence of exogenous phytase level and interaction with supplemental xylanase on live performance and phosphorus retention of broilers: Thesis (M.S., Poultry Science) / P. Gilbert. — Fayetteville: University of Arkansas. — 2017.

110. Gonzalez-Alvarado, J.M. Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice / J.M. Gonzalez-Alvarado, E. Jimenez-Moreno, D.G. Valencia et al. // *Poultry Science*. — 2008. Vol. 87, No. 9. P. 1779–1795.

111. Herpoël-Gimbert, I. Comparative secretome analyses of two *Trichoderma reesei* RUT-C30 and CL847 hypersecretory strains / I. Herpoël-Gimbert, A. Margeot, A. Dolla et al. // *Biotechnology for Biofuels*. — 2008. Vol. 1. Art. 18.

112. Hetland, H. Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition / H. Hetland, B. Svihus, M. Choct // *World's Poultry Science Journal*. — 2004. Vol. 60, No. 4. P. 415–422.
113. Horikoshi, K. Alkaliphiles: some applications of their products for biotechnology / K. Horikoshi // *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. — 1999. Vol. 63, No. 4. P. 735–750.
114. Hurlbert, J.C. Functional characterization of a novel xylanase from a corn strain of *Erwinia chrysanthemi* / J.C. Hurlbert, J.F. Preston 3rd // *Journal of Bacteriology*. — 2001. Vol. 183, No. 6. P. 2093–2100.
115. Inayah, S.R. Effects of xylanase supplementation on the performance, nutrient digestibility, and digestive organ profiles of broiler chickens: a meta-analysis / S.R. Inayah, R. Mutia, A. Jayanegara et al. // *Journal of World's Poultry Research*. — 2022. Vol. 12, No. 3. P. 199–211.
116. Jasek, A. Impact of a multicarbohydase containing α -galactosidase and xylanase on ileal digestible energy, crude protein digestibility, and ileal amino acid digestibility in broiler chickens / A. Jasek, R.E. Latham, A. Mañón et al. // *Poultry Science*. — 2018. Vol. 97, No. 9. P. 3149–3155.
117. Ji, S. Computational design and structure dynamics analysis of bifunctional chimera of endoxylanase from *Clostridium thermocellum* and xylosidase from *Bacteroides ovatus* / S. Ji, P.V. Gavande, B. Choudhury et al. // *3 Biotech*. — 2023. Vol. 13, No. 2. Art. 59.
118. Jordan, D.B. Properties and applications of microbial β -D-xylosidases / D.B. Jordan, K. Wagschal // *Applied Microbiology and Biotechnology*. — 2010. Vol. 86, No. 6. P. 1647–1658.
119. Jordan, D.B. β -d-Xylosidase from *Selenomonas ruminantium* of glycoside hydrolase family 43 / D.B. Jordan, X.-L. Li, C.A. Dunlap et al. // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. — 2007. Vol. 137. P. 93–104.
120. Juan, J.J. The effect of multicarbohydase-phytase complex supplementation on the egg production performance, egg quality, and economics of laying hens / J.J. Juan,

E.A. Martin, C.N. Mingala et al. // *Cogent Food & Agriculture*. — 2024. Vol. 10, No. 1. Art. 2398122.

121. Juturu, V. Microbial xylanases: engineering, production and industrial applications / V. Juturu, J.C. Wu // *Biotechnology Advances*. — 2012. Vol. 30, No. 6. P. 1219–1227.

122. Kayan, A. Diet supplementation with phytase and xylanase on laying performance, egg quality, apparent metabolizable energy, and phosphorus use in laying hens / A. Kayan, S. Prasongsook, T. Poeikhampha // *Veterinary World*. — 2025. Vol. 18, No. 1. P. 155–161.

123. Kiarie, E. Growth performance, nutrient utilization, and digesta characteristics in broiler chickens fed corn or wheat diets without or with supplemental xylanase / E. Kiarie, L.F. Romero, V. Ravindran // *Poultry Science*. — 2014. Vol. 93, No. 5. P. 1186–1196.

124. Kim, I.J. Characterization and structural analysis of the endo-1,4- β -xylanase GH11 from the hemicellulose-degrading *Thermoanaerobacterium saccharolyticum* / I.J. Kim, S.R. Kim, K.H. Kim et al. // *Scientific Reports*. — 2023. Vol. 13. Art. 17332.

125. Klasing, K.C. Nutrition and the immune system / K.C. Klasing // *British Poultry Science*. — 2007. Vol. 48, No. 5. P. 525–537.

126. Kulkarni, N. Molecular and biotechnological aspects of xylanases / N. Kulkarni, A. Shendye, M. Rao // *FEMS Microbiology Reviews*. — 1999. Vol. 23, No. 4. P. 411–456.

127. Kumar V. Extremophilic bacterial xylanases: production, characteristics and applications / V. Kumar, D. Verma, T. Satyanarayana // *Current Biotechnology*. — 2013. Vol. 2, No. 4. P. 380–399.

128. Lee, J.H. PSII-19: Effect of dietary supplementation of xylanase alone or combination of xylanase and β -glucanase on growth performance and intestinal measurements in broiler chickens / J.H. Lee, D.Y. Kim, H.W. Kim et al. // *Journal of Animal Science*. — 2024. Vol. 102, Suppl. 3. P. 708–709.

129. Leeson, S. Commercial Poultry Nutrition. 3rd ed. / S. Leeson, J.D. Summers. — Nottingham: Nottingham University Press. — 2005. 398 p.
130. Li, X. GH10 and GH11 endoxylanases in *Penicillium subrubescens*: comparative characterization and synergy with GH51, GH54, GH62 α -L-arabinofuranosidases / X. Li, D. Kouzounis, M.A. Kabel et al. // *New Biotechnology*. — 2022. Vol. 70. P. 84–92.
131. Liu, D. Xylanase supplementation to a wheat-based diet alleviated the intestinal mucosal barrier impairment of broiler chickens challenged by *Clostridium perfringens* / D. Liu, S. Guo, Y. Guo // *Avian Pathology*. — 2012. Vol. 41, No. 3. P. 291–298.
132. Liu, M.-Q. Expression of recombinant *Bacillus licheniformis* xylanase A in *Pichia pastoris* and xylooligosaccharides released from xylans by it / M.-Q. Liu, G.-F. Liu // *Protein Expression and Purification*. — 2008. Vol. 57, No. 2. P. 101–107.
133. Liu, X. Biochemical characterization of a novel exo-oligoxyylanase from *Paenibacillus barengoltzii* suitable for monosaccharification from corncobs / X. Liu, Z. Jiang, Y. Liu et al. // *Biotechnology for Biofuels*. — 2019. Vol. 12. Art. 190.
134. Löbs, A.-K. CRISPR–Cas9-enabled genetic disruptions for understanding ethanol and ethyl acetate biosynthesis in *Kluyveromyces marxianus* / A.-K. Löbs, R. Engel, C. Schwartz et al. // *Biotechnology for Biofuels*. — 2017. Vol. 10. Art. 164.
135. Lombard, V. The carbohydrate-active enzymes database (CAZy) in 2013 / V. Lombard, H. Golaconda Ramulu, E. Drual et al. // *Nucleic Acids Research*. — 2014. Vol. 42, No. D1. P. D490–D495.
136. Malgas, S. A mini review of xylanolytic enzymes with regards to their synergistic interactions during hetero-xylan degradation / S. Malgas, M. S. Mafa, L. Mkabayi et al. // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. — 2019. Vol. 35, No. 12. Art. 187.
137. Malgas, S. Unraveling synergism between various GH family xylanases and debranching enzymes during hetero-xylan degradation / S. Malgas, M.S. Mafa, B.N. Mathibe et al. // *Molecules*. — 2021. Vol. 26, No. 22. Art. 6770.

138. Manikandan, K. Crystal structures of native and xylosaccharide-bound alkali thermostable xylanase from an alkaliphilic *Bacillus* sp. NG-27: structural insights into alkalophilicity and implications for adaptation to polyextreme conditions / K. Manikandan, A. Bhardwaj, N. Gupta et al. // *Protein Science*. — 2006. Vol. 15, No. 8. P. 1951–1960.
139. Meng, X. Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilization and broiler chicken performance / X. Meng, B.A. Slominski, C.M. Nyachoti et al. // *Poultry Science*. — 2005. Vol. 84, No. 1. P. 37–47.
140. Meng, X. Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal, and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes / X. Meng, B.A. Slominski // *Poultry Science*. — 2005. Vol. 84, No. 8. P. 1242–1251.
141. Menon, V. Trends in bioconversion of lignocellulose: biofuels, platform chemicals & biorefinery concept / V. Menon, M. Rao // *Progress in Energy and Combustion Science*. — 2012. Vol. 38, No. 4. P. 522–550.
142. Mirzaie, S. Effects of wheat inclusion and xylanase supplementation of the diet on productive performance, nutrient retention, and endogenous intestinal enzyme activity of laying hens / S. Mirzaie, M. Zaghari, S. Aminzadeh et al. // *Poultry Science*. — 2012. Vol. 91, No. 2. P. 413–425.
143. Mitchell, D.A. *Solid-State Fermentation Bioreactors: Fundamentals of Design and Operation* / D.A. Mitchell, N. Krieger, M. Berovic (eds.). — Berlin: Springer. — 2006. 448 p.
144. Morais, M.A.B. Two distinct catalytic pathways for GH43 xylanolytic enzymes unveiled by X-ray and QM/MM simulations / M.A.B. Morais, J. Coines, M.N. Domingues et al. // *Nature Communications*. — 2021. Vol. 12. Art. 367.
145. Morgan, N. Impact of fermentable fiber, xylo-oligosaccharides and xylanase on laying hen productive performance and nutrient utilization / N. Morgan, A. Wallace, M.R. Bedford et al. // *Poultry Science*. — 2022. Vol. 101, No. 12. Art. 102210.

146. Mulyantini, N.G.A. The effect of enzyme supplementation on apparent ileal amino acid digestibility of broilers fed sorghum or wheat / N.G.A. Mulyantini, W.L. Bryden // *Animal Production*. — 2010. Vol. 12, No. 3. P. 169–174.
147. Muszyński, S. The effect of dietary rye inclusion and xylanase supplementation on structural organization of bone constitutive phases in laying hens fed a wheat-corn diet / S. Muszyński, M. Arczewska, S. Świątkiewicz et al. // *Animals*. — 2020. Vol. 10, No. 11. Art. 2010.
148. Nagar, S. Production and optimization of cellulase-free, alkali-stable xylanase from *Bacillus pumilus* SV-85S in submerged fermentation / S. Nagar, V.K. Gupta, D. Kumar et al. // *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. — 2010. Vol. 37, No. 1. P. 71–83.
149. Nakamura, S. Thermophilic alkaline xylanase from newly isolated alkaliphilic and thermophilic *Bacillus* sp. strain TAR-1 / S. Nakamura, R. Nakai, K. Wakabayashi et al. // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. — 1994. Vol. 58, No. 1. P. 78–81.
150. National Research Council (NRC). *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th ed. Washington, D.C.: National Academy Press. — 1994. 155 p.
151. Neri, L.C.M. Identification and characterization of endo-xylanases from families GH10 and GH11 sourced from marine thermal environments / L.C.M. Neri, H. Guðmundsson, G. Meurrens et al. // *Enzyme and Microbial Technology*. — 2025. Vol. 187. Art. 110592.
152. Nguyen, S.T.C. Function, distribution, and annotation of characterized cellulases, xylanases, and chitinases from CAZy / S.T.C. Nguyen, H.L. Freund, J. Kasanjian et al. // *Applied Microbiology and Biotechnology*. — 2018. Vol. 102, No. 4. P. 1629–1637.
153. Nguyen, X.H. Dietary soluble non-starch polysaccharide level and xylanase supplementation influence performance, egg quality and nutrient utilization in laying hens fed wheat-based diets / X.H. Nguyen, H.T. Nguyen, N. Morgan // *Animal Nutrition*. — 2021. Vol. 7, No. 2. P. 512–520.

154. Nian, F. Effect of exogenous xylanase supplementation on the performance, net energy and gut microflora of broiler chickens fed wheat-based diets / F. Nian, Y.M. Guo, Y.J. Ru et al. // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. — 2011. Vol. 24, No. 3. P. 400–406.

155. O'Neill, H.V.M. Multicarbohydase enzymes for non-ruminants / H.V.M. O'Neill, J.A. Smith, M.R. Bedford // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. — 2014. Vol. 27, No. 2. P. 290–301.

156. Olgun, O. Effects of carbohydrase enzyme supplementation on performance, eggshell quality, and bone parameters of laying hens fed on maize- and wheat-based diets / O. Olgun, Y. Altay, A.Ö. Yildiz // *British Poultry Science*. — 2018. Vol. 59, No. 2. P. 211–217.

157. Orlando, M. Polysaccharide degradation in an Antarctic bacterium: discovery of glycoside hydrolases from remote regions of the sequence space / M. Orlando, A. Marchetti, L. Bombardi et al. // *International Journal of Biological Macromolecules*. — 2025. Vol. 299. Art. 140113.

158. Paës, G. GH11 xylanases: structure/function/properties relationships and applications / G. Paës, J.-G. Berrin, J. Beaugrand // *Biotechnology Advances*. — 2012. Vol. 30, No. 3. P. 564–592.

159. Pandey, A. Solid-state fermentation for the production of industrial enzymes / A. Pandey, P. Selvakumar, C.R. Soccol et al. // *Current Science*. — 1999. Vol. 77, No. 1. P. 149–162.

160. Patterson, J.A. Application of prebiotics and probiotics in poultry production / J.A. Patterson, K.M. Burkholder // *Poultry Science*. — 2003. Vol. 82, No. 4. P. 627–631.

161. Polizeli, M.L.T.M. Xylanases from fungi: properties and industrial applications / M.L.T.M. Polizeli, A.C.S. Rizzatti, R. Monti et al. // *Applied Microbiology and Biotechnology*. — 2005. Vol. 67, No. 5. P. 577–591.

162. Puchart, V. Xylanases of glycoside hydrolase family 30 — an overview / V. Puchart, K. Šuchová, P. Biely // *Biotechnology Advances*. — 2021. Vol. 47. Art. 107704.

163. Rashamuse, K. Metagenomic mining of glycoside hydrolases from the hindgut bacterial symbionts of a termite (*Trinervitermes trinervoides*) and the characterization of a multimodular β -1,4-xylanase (GH11) / K. Rashamuse, W.T. Sanyika, K. Mathiba et al. // *Biotechnology and Applied Biochemistry*. — 2017. Vol. 64, No. 2. P. 174–186.
164. Ravindran V. Apparent ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broiler chickens / V. Ravindran, W.L. Bryden // *Animal Science*. — 1999. Vol. 68, No. 3. P. 361–368.
165. Ravindran, V. Feed enzymes: the science, practice, and metabolic realities / V. Ravindran // *Journal of Applied Poultry Research*. — 2013. Vol. 22, No. 3. P. 628–636.
166. Ravindran, V. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers / V. Ravindran, S. Cabahug, G. Ravindran et al // *Poultry Science*. — 1999. Vol. 78, No. 5. P. 699–706.
167. Ryu, Y.C. Comparing the histochemical characteristics and meat quality traits of different pig breeds / Y.C. Ryu, Y.M. Choi, S.H. Lee et al // *Meat Science*. — 2008. Vol. 80, No. 2. P. 363–369.
168. Saavedra-Bouza, A. Xylanases from thermophilic archaea: a hidden treasure / A. Saavedra-Bouza, J.-J. Escuder-Rodríguez, M.-E. deCastro et al. // *Current Research in Biotechnology*. — 2023. Vol. 5. Art. 100116.
169. Sadaf, A. Production of xylanase by *Aspergillus terreus* using wheat bran under solid-state fermentation / A. Sadaf, S.K. Khare // *Journal of Biochemical Technology*. — 2014. Vol. 5, No. 1. P. 676–680.
170. Saha, B.C. Hemicellulose bioconversion / B.C. Saha // *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. — 2003. Vol. 30, No. 5. P. 279–291.
171. Saha, B.C. α -L-Arabinofuranosidases: biochemistry, molecular biology and application in biotechnology / B.C. Saha // *Biotechnology Advances*. — 2000. Vol. 18, No. 5. P. 403–423.

172. Sathya, T.A. Diversity of glycosyl hydrolase enzymes from metagenome and their application in food industry / T.A. Sathya, M. Khan // *Journal of Food Science*. — 2014. Vol. 79, No. 11. P. R2149–R2156.
173. Schomburg, I. The BRENDA enzyme information system — from a database to an expert system / I. Schomburg, L. Jeske, M. Ulbrich et al. // *Journal of Biotechnology*. — 2017. Vol. 261. P. 194–206.
174. Selle, P.H. Beneficial effects of xylanase and/or phytase inclusions on ileal amino acid digestibility, energy utilisation, mineral retention and growth performance in wheat-based broiler diets / P.H. Selle, V. Ravindran, G.G. Partridge // *Animal Feed Science and Technology*. — 2009. Vol. 153, No. 3–4. P. 303–313.
175. Selle, P.H. Influence of phytase and xylanase supplementation on growth performance and nutrient utilisation of broilers offered wheat-based diets / P.H. Selle, V. Ravindran, C. Ravindran et al. // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. — 2003. Vol. 16, No. 3. P. 394–402.
176. Shallom, D. Microbial hemicellulases / D. Shallom, Y. Shoham // *Current Opinion in Microbiology*. — 2003. Vol. 6, No. 3. P. 219–228.
177. Sharma, M. Profiling and production of hemicellulases by thermophilic fungus *Malbranchea flava* and the role of xylanases in improved bioconversion of pretreated lignocellulosics to ethanol / M. Sharma, C. Mahajan, M.S. Bhatti et al. // *3 Biotech*. — 2016. Vol. 6, No. 1. Art. 30.
178. Silva, V.T.F. Xylan, xylooligosaccharides, and aromatic structures with potential antioxidant activity from alkaline-sulfite-pretreated sugarcane bagasse / V.T.F. Silva, R.A. de Freitas, B.D. Fonseca et al. // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. — 2022. Vol. 10. Art. 940712.
179. Singh, S. Fungal xylanases: sources, types, and biotechnological applications / S. Singh, G.K. Sidhu, V. Kumar et al. // *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi. Vol. 1: Diversity and Enzymes Perspectives* / ed. by A.N. Yadav, S. Mishra, S. Singh, A. Gupta. Cham: Springer. — 2019. P. 405–428.

180. Singhanian, R.R. Recent advances in solid-state fermentation / R.R. Singhanian, A.K. Patel, C.R. Soccol et al. // *Biochemical Engineering Journal*. — 2009. Vol. 44, No. 1. P. 13–18.
181. Slominski B.A. Recent advances in research on enzymes for poultry diets / B.A. Slominski // *Poultry Science*. — 2011. Vol. 90, No. 9. P. 2013–2023.
182. Sta Cruz, B.G. Xylanase Supplementation in Energy-deficient Corn-based Diets: Impact on Broiler Growth, Nutrient Digestibility, Chyme Viscosity and Carcass Proximates / B.G. Sta Cruz, J.S. Hong, M. Yu et al. // *Animal Bioscience*. — 2024.
183. Subramaniyan, S. Biotechnology of microbial xylanases: enzymology, molecular biology, and application / S. Subramaniyan, P. Prema // *Critical Reviews in Biotechnology*. — 2002. Vol. 22, No. 1. P. 33–64.
184. Suleiman, M. Biomass-degrading glycoside hydrolases of archaeal origin / M. Suleiman, A. Krüger, G. Antranikian // *Biotechnology for Biofuels*. — 2020. Vol. 13. Art. 153.
185. Sunna, A.A gene encoding a novel extremely thermostable 1,4- β -xylanase isolated directly from an environmental DNA sample / A. Sunna, P.L. Bergquist // *Extremophiles*. — 2003. Vol. 7, No. 1. P. 63–70.
186. Svihus, B. Effect of intermittent feeding, structural components and phytase on performance and behaviour of broiler chickens / B. Svihus, V.B. Lund, B. Borjgen et al. // *British Poultry Science*. — 2013. Vol. 54, No. 2. P. 222–230.
187. Talamantes, D. Natural diversity of cellulases, xylanases, and chitinases in bacteria / D. Talamantes, N. Biabini, H. Dang et al. // *Biotechnology for Biofuels*. — 2016. Vol. 9. Art. 133.
188. Talens-Perales, D. In silico screening and experimental analysis of family GH11 xylanases for applications under conditions of alkaline pH and high temperature / D. Talens-Perales, P. Sánchez-Torres, J. Marín-Navarro // *Biotechnology for Biofuels*. — 2020. Vol. 13. Art. 198.
189. Talens-Perales, D. Phylogenetic, functional and structural characterization of a GH10 xylanase active at extreme conditions of temperature and alkalinity / D. Talens-

Perales, E. Jiménez-Ortega, J. Marín-Navarro et al. // *Computational and Structural Biotechnology Journal*. — 2021. Vol. 19. P. 2676–2686.

190. Vandeplass, S. Effect of the bacterial or fungal origin of exogenous xylanases supplemented to a wheat-based diet on performance of broiler chickens and nutrient digestibility of the diet / S. Vandeplass, R.D. Dauphin, P. Thonart et al. // *Canadian Journal of Animal Science*. — 2010. Vol. 90, No. 2. P. 221–228.

191. Vandeplass, S. Efficiency of a *Lactobacillus plantarum*–xylanase combination on growth performances, microflora populations, and nutrient digestibilities of broilers infected with *Salmonella Typhimurium* / S. Vandeplass, R.D. Dauphin, C. Thiry et al. // *Poultry Science*. — 2009. Vol. 88, No. 8. P. 1643–1654.

192. Vasanthakumari, B.L. A new monocomponent xylanase improves performance, ileal digestibility of energy and nutrients, intestinal morphology, and intestinal microbiota in young broilers / B.L. Vasanthakumari, K.R. Gedye, M.R. Abdollahi et al. // *Journal of Applied Poultry Research*. 2023. Vol. 32, No. 1. Art. 100301.

193. Verma, D. Extremophilic prokaryotic endoxylanases: diversity, applicability, and molecular insights / D. Verma // *Frontiers in Microbiology*. — 2021. Vol. 12. Art. 728475.

194. Wakarchuk, W.W. Mutational and crystallographic analyses of the active site residues of the *Bacillus circulans* xylanase / W.W. Wakarchuk, R.L. Campbell, W.L. Sung et al. // *Protein Science*. — 1994. Vol. 3, No. 3. P. 467–475.

195. Walker, H. Allzyme® Spectrum supplementation improves apparent ileal phosphorus digestibility and retention in older laying hens / H. Walker, K. Bauer, D. Cvejić et al. // *Journal of Applied Animal Nutrition*. — 2025. Vol. 13, No. 1. P. 25–36.

196. Walker, H. Phytase and Xylanase Supplementation Improves Phosphorus Digestibility in Laying Hens / H. Walker, K. Bauer, D. Cvejić et al. // *Preprints*. — 2024.

197. Walker, H. The effect of including a mixed-enzyme product in broiler diets on performance, metabolizable energy, phosphorus and calcium retention / H. Walker, S. Vartiainen, J. Apajalahti et al. // *Animals*. — 2024. Vol. 14, No. 2. Art. 328.

198. Wang, J. Changes in growth performance and ileal microbiota composition by xylanase supplementation in broilers fed wheat-based diets / J. Wang, S. Liu, J. Ma et al. // *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. Art. 706396.
199. Wang, X. Xylanase supplement enhances the growth performance of broiler by modulating serum metabolism, intestinal health, short-chain fatty acid composition, and microbiota / X. Wang, D. Li, Y. Xu et al. // *Animals*. 2024. Vol. 14, No. 8. Art. 1182.
200. Wu, Y. Properties of Aspergillar xylanase and the effects of xylanase supplementation in wheat-based diets on growth performance and the blood biochemical values in broilers / Y. Wu, C. Lai, S. Qiao et al. // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. — 2005. 18(1), 66–74.
201. Yaghobfar, A. Effects of enzyme supplement on nutrient digestibility, metabolizable energy, egg production, egg quality and intestinal morphology of the broiler chicks and layer hens fed hull-less barley based diets / A. Yaghobfar, F. Boldaji, S.D. Shrifi // *Pakistan Journal of Biological Sciences*. — 2007. Vol. 10, No. 14. P. 2257–2266.
202. Yan, S. Rational engineering of xylanase hyper-producing system in *Trichoderma reesei* for efficient biomass degradation / S. Yan, Y. Xu, X.-W. Yu // *Biotechnology for Biofuels*. — 2021. Vol. 14. Art. 90.
203. Zijlstra, R.T. Starch and fiber properties affect their kinetics of digestion and thereby digestive physiology in pigs / R.T. Zijlstra, R. Jha, A.D. Woodward et al. // *Journal of Animal Science*. — 2012. Vol. 90, Suppl. 4. P. 49–58.

109

ПРИЛОЖЕНИЕ А

УТВЕРЖДАЮ:

Директор

ООО «Майские просторы»

 Китаева Ю.В.

«02» сентября 2024г.



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной
работе ФНЦ «ВНИТИП»

 Егорова Т.А.

«02» сентября 2024г.



АКТ

О результатах производственной проверки по теме:

«Ксиланаза отечественного производства в комбикормах для бройлеров»

Комиссия в составе: директор ООО «Майские просторы» Китаева Ю.В., ветеринарный врач ООО «Майские просторы» Тищенко Д.И., заместитель директора по научной работе ФНЦ «ВНИТИП», доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН Егорова Т.А., аспирант отдела кормления ФНЦ «ВНИТИП» Кияшко А.Н. составили настоящий акт о том, что в 2024 г. в ООО «Майские просторы» была проведена производственная проверка использования ксиланазы отечественного производства в комбикормах для цыплят-бройлеров. Объектом исследований являлся высококонцентрированный ферментный препарат нового поколения – Берзайм Х отечественного производства (ООО ПО «Сиббиофарм»).

Для производственной проверки в суточном возрасте было сформировано 2 группы цыплят-бройлеров по 105 голов в каждой. Птица содержалась в клеточных батареях Р-15. До пятидневного возраста цыплята всех групп получали одинаковый престартерный комбикорм.

Первая группа (базовый вариант) получала комбикорма пшеничного типа с питательностью, соответствующей рекомендациям ВНИТИП. Вторая группа (новый вариант) получала комбикорма, обогащенные ксиланазой в дозе 12 г/т (2400 ед. ксиланазы на 1 кг корма). Схема производственной проверки приведена в таблице 1.

Таблица 1- Схема производственной проверки

Вариант	Особенности кормления
Базовый	Полнорационный комбикорм пшеничного типа с питательностью согласно рекомендациям ВНИТИП (ПК)
Новый	ПК+12г/т препарата Берзайм Х (2400 ед. фитазы на 1 кг корма)

Результаты производственной проверки приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты производственной проверки

Показатель	Варианты	
	Базовый	Новый
Срок выращивания, дней	37	37
Принято на выращивание, гол.	105	105
Средняя живая масса суточных цыплят, г	42,03	41,91
Валовая живая масса суточных цыплят, кг	4,41	4,40
Сохранность поголовья, %	100,0	100,0
Средняя живая масса в конце выращивания, г	2157,1	2253,0
Валовая живая масса, кг	226,5	236,6
Прирост живой массы, кг	222,08	232,16
Среднесуточный прирост живой массы, г	57,16	59,76
Общее потребление корма, кг	383,09	379,82
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,73	1,64
Стоимость потребленного комбикорма, руб.	14025,00	13910,72
Прочие производственные расходы, руб.	7952,03	7952,03
Общие затраты на производство, руб.	21977,03	21862,75
Убойный выход, %	71,5	72,0
Валовый выход мяса, кг	161,94	170,33
Себестоимость 1 кг мяса, руб.	135,71	128,36
Цена реализации 1 кг мяса, руб.	162,28	162,28
Выручка от реализации мяса, руб.	26280,32	27640,63

Прибыль, руб.	4303,29	5777,88
Экономическая эффективность, руб.		1251,93
Экономическая эффективность в пересчете на 1000 гол., руб.		11923,14
Уровень рентабельности, %	19,58	26,43

Экономическую эффективность выращивания бройлеров рассчитывали по формуле: $(C_6 - C_n) \times A_n = Э$, где:

Э- экономическая эффективность, руб.;

C_6 - себестоимость 1 кг мяса бройлеров в базовом варианте, руб.;

C_n - себестоимость 1 кг мяса бройлеров в новом варианте, руб.;

A_n - количество произведенной продукции в новом варианте, кг

$$Э=(135,71-128,36) \times 170,33=1251,93 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономическая эффективность использования отечественной ксиланазы в количестве 12 граммов на 1 тонну корма для бройлеров, основным компонентом которого является пшеница, составила 1251,93 рубля, учитывая производственные затраты на содержание птицы.

В пересчете на 1000 голов цыплят-бройлеров экономическая эффективность в новом варианте, по сравнению с базовым вариантом, составила 11923,1 (в ценах 2024 года).

Подпись членов комиссии:

от ООО «Майские просторы»:

Директор



Ю.В. Китаева

Ветеринарный врач



Д.И. Тищенко

от ФНЦ «ВНИТИП»:

Заместитель директора
по научной работе,
доктор сельскохозяйственных наук
профессор РАН



Т.А. Егорова

Аспирант

А.Н. Кияшко

112

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

УТВЕРЖДАЮ:

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Заместитель директора по научной

ООО «Майские просторы»

работе ФНЦ «ВНИТИП»

Китаева Ю.В.

Егорова Т.А.

«10» сентября 2024г.

«10» сентября 2024г.



АКТ

О результатах производственной проверки по теме:

«Ксиланаза отечественного производства в комбикормах для кур-несушек»

Комиссия в составе: директор ООО «Майские просторы» Китаева Ю.В., ветеринарный врач ООО «Майские просторы» Тищенко Д.И., заместитель директора по научной работе ФНЦ «ВНИТИП», доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН Егорова Т.А., аспирант отдела кормления ФНЦ «ВНИТИП» Кияшко А.Н. составили настоящий акт о том, что в 2024 г. в ООО «Майские просторы» была проведена производственная проверка использования ксиланазы отечественного производства в комбикормах для кур-несушек. Объектом исследований являлся высококонцентрированный ферментный препарат нового поколения – Берзайм Х отечественного производства (ООО ПО «Сиббиофарм»).

Было сформировано 2 группы кур-несушек промышленного стада кросса «СП 789» по 150 голов в каждой. Птицу содержали в переоборудованной клеточной батарее БКН при соблюдении всех технологических параметров со 150-дневного возраста в течение 6 месяцев продуктивного периода.

Птица первой группы (базовый вариант) получала комбикорма пшеничного типа с питательностью, соответствующей рекомендациям ВНИТИП. В рационах несушек второй группы (новый вариант) комбикорма были обогащены ферментным препаратом Берзайм Х в количестве 8 г на 1 тонну корма, что соответствует ксиланазной активности 1600 ед./кг. Схема производственной проверки приведена в таблице 1.

Таблица 1- Схема производственной проверки

Вариант	Особенности кормления
Базовый	Полнорационный комбикорм с питательностью согласно рекомендациям ВНИТИП (ПК)
Новый	ПК+8 г/т препарата Берзайм Х (1600 ед. фитазы на 1 кг корма)

Результаты производственной проверки приведены в таблице 2.

Таблица 2- Результаты производственной проверки

	Вариант	
	Базовый	Новый
Поголовье на начало, гол.	150	150
Поголовье на конец опыта, гол.	150	150
Среднее поголовье, гол.	150	150
Сохранность, %	100,0	100,0
Кормодни (180 дней)	27150	27150
Валовое производство яиц, шт.	22417	23302
Снесено яиц на среднюю несушку, шт.	149,4	155,3
Интенсивность яйценоскости, %	82,57	85,83
Затраты комбикорма, кг		
в.т. ч.: всего	3115,91	3145,74
на 10 яиц	1,39	1,35
Средняя масса яйца, г	62,58	62,31
Выход яичной массы всего, кг	1402,83	1451,93
Выход яичной массы на сред. несушку, кг	9,35	9,68
Средняя цена реализации 10 яиц, руб.	67	67
Стоимость 1 кг комбикорма, руб.	25,30	25,30
Общие затраты, руб. в.т.ч.:	129233,5	130470,7
стоимость кормов всего	78832,46	79587,13
прочие затраты	50401,08	50883,57
Себестоимость 10 шт. товарных яиц, руб.	57,65	55,99
Выручка от реализации яиц, руб.	150193,9	156123,4
Прибыль, руб.	20960,4	25652,7
Рентабельность производства яиц, %	16,22	19,66
Экономическая эффективность, руб.:		
общая		3868,13
на 1000 яиц		166

114

Экономический эффект для кур-несушек рассчитывается по формуле:

$(C_6 - C_n) \times A_n = \Delta$, где:

Δ - экономическая эффективность, руб.;

C_6 - себестоимость товарных яиц в базовом варианте;

C_n - себестоимость товарных яиц в новом варианте;

A_n -валовое производство яиц в новом варианте, шт.;

$\Delta = (57,65 - 55,99) \times 2330,2 = 3868,13$ руб.

Расчет экономической эффективности использования концентрированной ксиланазы в количестве 8 г на 1 тонну корма на в комбикормах пшеничного типа показал, что с учетом производственных затрат на содержание кур-несушек экономическая эффективность в новом варианте по сравнению с базовым вариантом составила 3868,13 рублей, или 166 рублей в расчете на 1000 яиц (в ценах 2024 года).

Подпись членов комиссии:
от ООО «Майские просторы»:
Директор

Ю.В. Китаева

Ветеринарный врач

Д.И. Тищенко

от ФНЦ «ВНИТИП»:
Заместитель директора
по научной работе,
доктор сельскохозяйственных наук
профессор РАН

Т.А. Егорова

Аспирант

А.Н. Кияшко