

# Влияние кормовых ферментов на здоровье кишечника птицы

Л. Ромеро, д-р биол. наук, «Даниско Анимал Н्यूтришн» (часть компании DuPont), Великобритания

## Связь между использованием ферментов, вариативностью ингредиентов и здоровьем кишечника

Применение ферментов в птицеводстве началось в 1980-х гг., а сейчас они используются более чем в 90% всех рационов бройлеров. Использование ферментов в рационах птицы является одним из наиболее изученных направлений в современном птицеводстве: только на бройлерах было проведено более 2500 независимых экспериментов по изучению ферментов (Rosen, 2010).

Предметом большого количества исследований являлась фитаза, поэтому ее механизм действия изучен сравнительно хорошо. Применение карбогидраз и протеаз в кормах птицы внедрялось более медленно, особенно на рынках, где мало использовались «вязкие» ингредиенты — пшеница и ячмень.

Однако ситуация меняется по мере того, как производители начинают прилагать усилия для максимизации эффективности птицеводства с целью удовлетворения растущего спроса и минимизации отрицательного влияния вариативности стоимости и качества кормов на прибыльность. Использование более дешевых ингредиентов, богатых белком, но содержащих большее количество клетчатки, например подсолнечного или рапсового шрота и сухой послеспиртовой барды, в ситуации непредсказуемых колебаний цен на сырье приводит к увеличению вариативности качества кормов. Например, при сушке сухой послеспиртовой барды повреждаются белки, что приводит к снижению переваримости отдельных аминокислот, например лизина (Parsons и соавт., 2006). Также происходит изменение профиля переваримых аминокислот, поскольку значительное количество белка рациона поступает из этих богатых клетчаткой ингредиентов, у которых переваримость белка ниже, чем переваримость белка традиционных источников. Увеличение содержания нерастворимых полисахаридов приводит к потерям энергии, поскольку организм птицы безуспешно пытается разрушить антипитательные вещества таких более сложных рационов при помощи собственных ферментов. Увеличение количества непереваренного белка в желудочно-кишечном тракте также может быть фактором, predisposing к развитию патогенной микрофлоры (мы рассмотрим это далее в данной статье). По мере того как появляются услуги по сравнению качества сырья на региональном уровне, а также между отдельными странами, растет понимание влияния условий выращивания и уборки урожая на состав даже простых высококачественных рационов на основе кукурузы. Результаты сравнений свидетельствуют о том, что кормовая ценность кукурузы варьирует иногда столь же значительно, как и кормовая ценность «вязких» зерновых, например пшеницы.

Воздействие на субстраты с помощью экзогенных ферментов — это не новая концепция: ксиланазы и бета-глюканызы с успехом использовались с начала 1980-х гг. для повышения переваримости питательных веществ и устранения негативных свойств «вязких» зерновых. Около 20 лет назад на рынке появились и первые фитазы, хотя

в то время фитат был изучен в меньшей степени. Сегодня мы больше знаем о сложной структуре таких субстратов, как арабиноксилан — основной компонент некрахмалистых полисахаридов (НКП), входящих в состав многих ингредиентов. Накопление растворимых арабиноксиланов в пищеварительном тракте приводит к удержанию воды и повышению вязкости содержимого. В литературе подробно описано, что повышение вязкости химуса отрицательно сказывается на переваримости и усвоении питательных веществ из рационов на основе пшеницы (Choct & Annison, 1992a). Растворимые арабиноксиланы составляют около 30% всех арабиноксиланов, содержащихся в пшенице и ржи (табл. 1), и именно они обуславливают повышение вязкости содержимого кишечника при потреблении этих типов зерновых. Повышение вязкости отрицательно влияет на количество и состав микрофлоры кишечника; этот эффект больше выражен у птицы, чем у свиней.

Таблица 1

### Общее содержание и растворимость арабиноксиланов, содержащихся в различном сырье для приготовления кормов, %

Сырье	Общее содержание арабиноксиланов	Растворимые арабиноксиланы от общего содержания арабиноксиланов
Кукуруза	3,9	8
Пшеница	6,0	25
Рис	8,5	33
Ячмень	7,4	12
Пшеничная крупка	16,5	10
Пшеничные отруби	20,9	7
Кукурузная сухая послеспиртовая барда	12,7	10
Соевый шрот	3,8	21
Рапсовый шрот / шрот канола	6,5	22
Подсолнечный шрот	7,9	13

Еще одним фактором повышенной вариативности, о котором мы узнали больше в последние годы, является фитат. Фитат сейчас рассматривается как мощный антипитательный фактор, способный образовывать комплексы с минералами и пептидами, что приводит к снижению использования птицей белка и энергии. Исследования также указывают на то, что фитат вызывает увеличение эндогенных потерь минералов и аминокислот (Opungo и соавт., 2009). Сочетание этих факторов и неспособность птицы эффективно разрушать фитат при помощи собственных ферментов часто приводит к различным отрицательным для продуктивности последствиям при неправильном применении фитазы даже при достаточном содержании доступного фосфора.

Рационы стали более сложными и более вариативными; в некоторых рационах повысилось содержание фитата (см. рис. 1), поэтому возросла потребность в поиске более эффективных способов нейтрализации фитиновой кислоты в рационе. Новейшие фитазы, продуцируемые

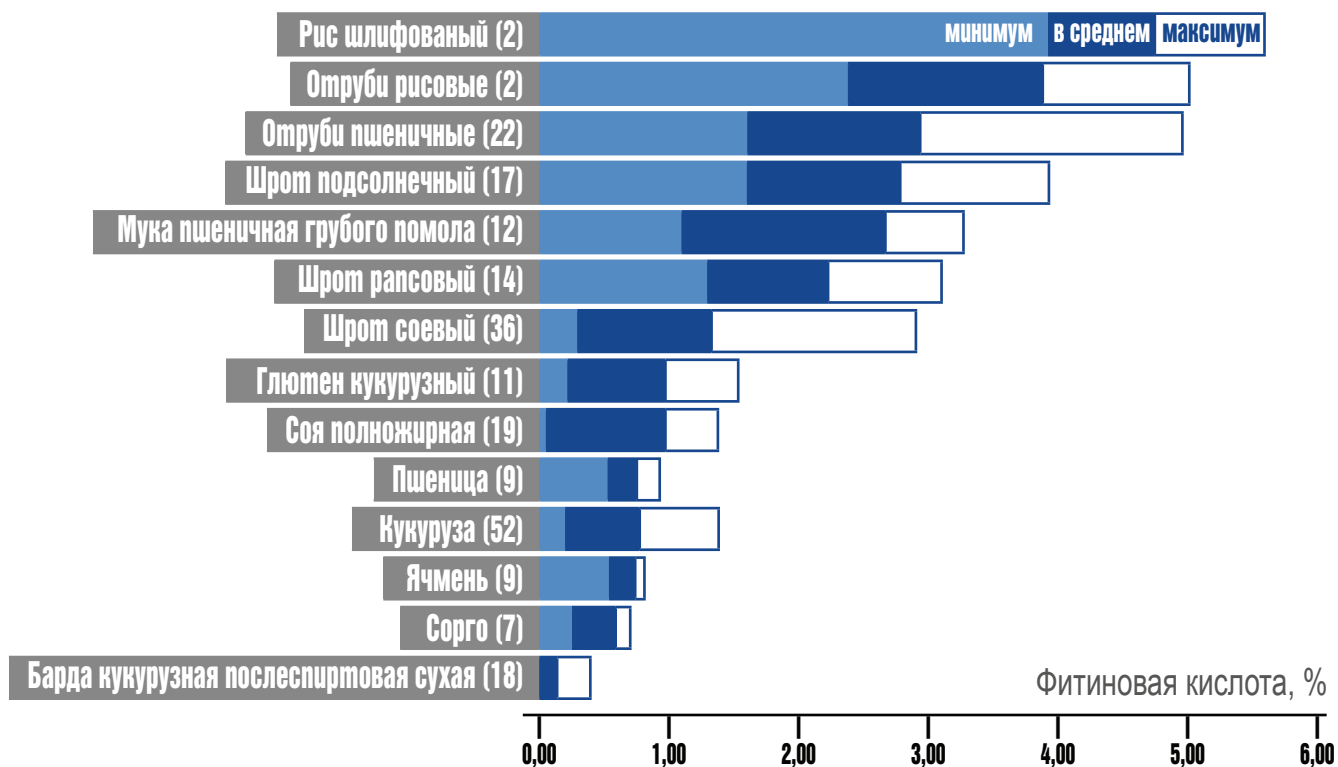


Рис. 1. Содержание фитата в сырье для производства кормов. В скобках приведены данные о количестве образцов (данные «Даниско Анимал Ньютришн» об урожае 2013)

*Buttiauxella*, обладают рядом преимуществ в сравнении с фитазами, продуцируемыми *E. Coli*, например имеют более высокую активность в верхних отделах пищеварительного тракта, минимизируют антипитательные эффекты фитата и максимизируют время переваривания и усвоения питательных веществ. Вопреки распространенному мнению, производители теряют больше, применяя стандартные нормы ввода (300 FTU/кг для несушек и 500 FTU/кг для бройлеров), чем при применении повышенных дозировок таких усовершенствованных ферментов (>1000 FTU/кг). Это обусловлено тем, что экономическая эффективность от применения фитаза кажется более высокой даже при низких дозировках из-за быстрого уменьшения первоначальной ответной реакции.

Таким образом, не используется потенциал значительного увеличения прибыльности от повышенной нормы ввода данной фитазы, особенно в тех случаях, когда приходится иметь дело с выраженной вариабельностью рациона и птица нуждается в дополнительных питательных веществах для достижения максимальной продуктивности. Например, в недавнем опыте на несушках, получавших рацион на основе пшеницы с добавлением альтернативных ингредиентов и фитазы, продуцируемой *Buttiauxella*, наилучшие результаты были получены при значительно увеличенной дозировке фитазы, равной 580–985 FTU/кг (Barnard и соавт., 2014, рис. 2).

## Влияние вариабельности на микрофлору кишечника

Вариабельность рациона по количеству и доступности непереваримых питательных веществ (субстратов) в определенных отделах желудочно-кишечного тракта не только отрицательно сказывается на пищеварении и скорости роста (Romero и соавт., 2013, 2014), но и нарушает состав микрофлоры, способствуя росту нежелательных бактерий. По данным Dahiya и соавт. (2007) и Drew и соавт. (2004), увеличение количества неусвоенных белковых субстратов является предрасполагающим фактором для развития дисбактериоза и некротического энтерита. Многие ученые, в том числе Chost (2009) and Hoerr (2010), утверждают, что достижение оптимальной структуры и функции пищеварительного тракта посредством правильного кормления способствует полной реализации потенциала роста при сохранении здоровья, а также повышению прибыльности.

Кормовые ферменты позволяют производителям добиваться измеримого и стандартизированного гидролиза субстратов, который может происходить в кишечнике животного при потреблении гранулированных кормов. В результате более глубокого понимания механизма действия карбогидраз и протеаз были созданы дополняющие эндогенные

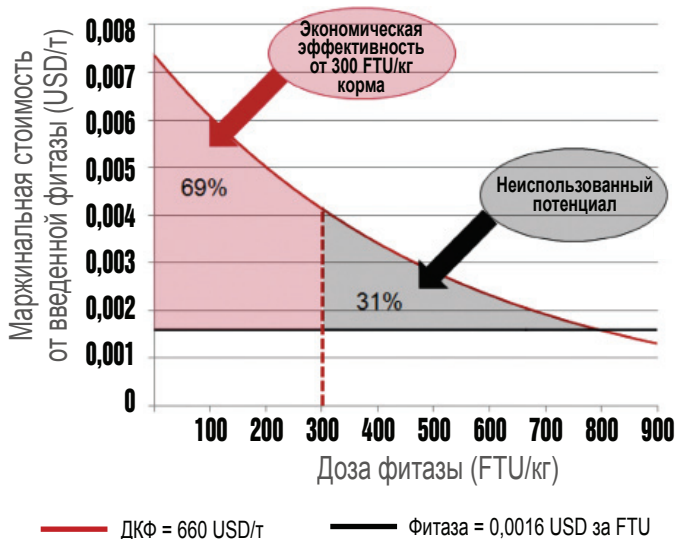


Рис. 2. Определение наиболее прибыльной нормы ввода фитазы при кормлении несушек рационом на основе пшеницы с добавлением альтернативных ингредиентов (Barnard и соавт., 2014)

ферменты животных биологически эффективные комбинации экзогенных ферментов, при воздействии которых на субстраты наблюдается эффект синергизма.

Известно, что ксиланаза эффективно разрушает нерастворимые арабиноксиланы (гемицеллюлозу) в рационах на основе кукурузы и пшеницы (Kiarie, Romero и Ravindran, 2014). Также в экспериментах было установлено, что протеаза улучшает переваримость клетчатки, возможно, за счет разрушения структурных белков клеточной стенки (Colombatto и Beauchemin, 2009). Недавно также было продемонстрировано наличие аддитивного эффекта при высвобождении пентозанов и белков из кукурузной сухой послеспиртовой барды комбинацией ксиланазы и протеазы (Pedersen и соавт., неопубликованные данные). Olukolsi и соавт. (2012) в эксперименте на бройлерах продемонстрировали увеличение скорости разрушения ксиланы и арабинозы при добавлении протеазы. Хотя традиционно считается, что эффект протеазы ограничивается перевариванием протеина, сейчас уже известно, что протеаза также влияет на процесс пищеварения благодаря повышению растворимости клетчатки, а также способствует росту полезной микрофлоры в кишечнике цыплят.

В недавнем исследовании (рис. 3) было установлено, что ксиланаза, амилаза и протеаза дополняют действие друг друга.

- Ксиланаза разрушает некрахмалистые полисахариды (НКП), в том числе растворимые и нерастворимые арабиноксиланы в волокнистой фракции клеточной стенки растений (Barletta, 2010), а также снижает вязкость химуса и улучшает пищеварение, высвобождение питательных веществ и скорость продвижения корма (Choct, 2006; Mirzaie и соавт., 2012). Благодаря этому «открывающему» эффекту компоненты клетки становятся более доступными для других ферментов (Cowieson, 2005).
- Амилазы повышают гидролиз крахмала, таким образом улучшая его переваримость. Они дополняют действие эндогенных амилаз, высвобождая дополнительную энергию для роста птицы (Gracia и соавт., 2003; Barletta, 2010). Повышение переваримости крахмала также снижает концентрацию глюкозы, являющейся потенциальным субстратом для роста нежелательных бактерий в нижележащих отделах желудочно-кишечного тракта (Anguita и соавт., 2006).
- Протеазы повышают переваримость структурных и запасных белков, а также разрушают связи между белками и крахмалом или клетчаткой. Кроме того, они повышают переваримость питательных веществ за счет воздействия на другие антипитательные факторы рациона, например остаточные ингибиторы трипсина и лектины в соевом шроте и некоторые другие растительные белки (Yu и соавт., 2012).

Синергизм, наблюдающийся при использовании комбинаций ферментов, объясняется тем, что ферменты воздействуют не только на свой специфический субстрат. Например, ксиланаза разрушает волокнистые фракции, и при этом повышается переваримость белков, поскольку облегчается доступ к ним других ферментов. Это приводит не только к повышению скорости роста, но и к уменьшению количества непереваренных фракций, которые могли бы служить субстратом для нежелательных бактерий. Благодаря снижению вязкости облегчается доступ других эндогенных и экзогенных ферментов к ранее недоступным субстратам, что приводит к улучшению переваримости питательных веществ (Satchithanandam и соавт., 1990).

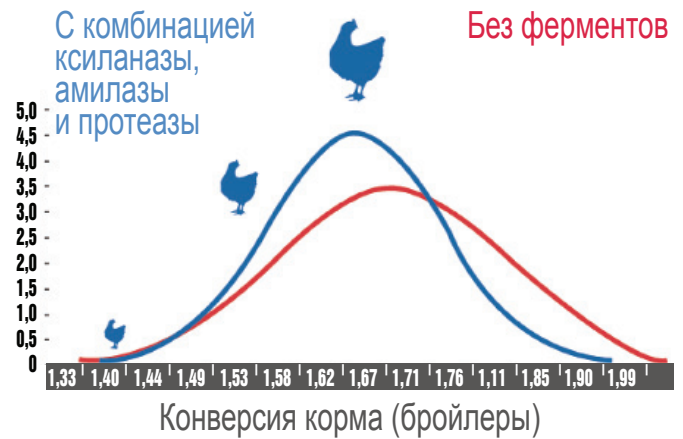


Рис. 3. Добавление ксиланазы, амилазы и протеазы к 56 различным образцам кукурузы, вводимой в корма для бройлеров, позволило снизить вариабельность продуктивности (по показателю конверсии корма) (Romero и соавт., 2011)

В недавнем исследовании эффективности комбинации ксиланазы, амилазы и протеазы в рационах, богатых клетчаткой, также были продемонстрированы положительные результаты от совместного применения карбогидраз и протеазы. Наблюдалось увеличение переваримой энергии крахмала, жира и белка в подвздошной кишке; эффект от применения ферментов был значительнее, чем при их использовании в простом кукурузно-соевом рационе. Также был продемонстрирован аддитивный эффект от введения протеазы в дополнение к содержащимся в рационе ксиланазе и амилазе (Romero и соавт., 2014, рис. 4).

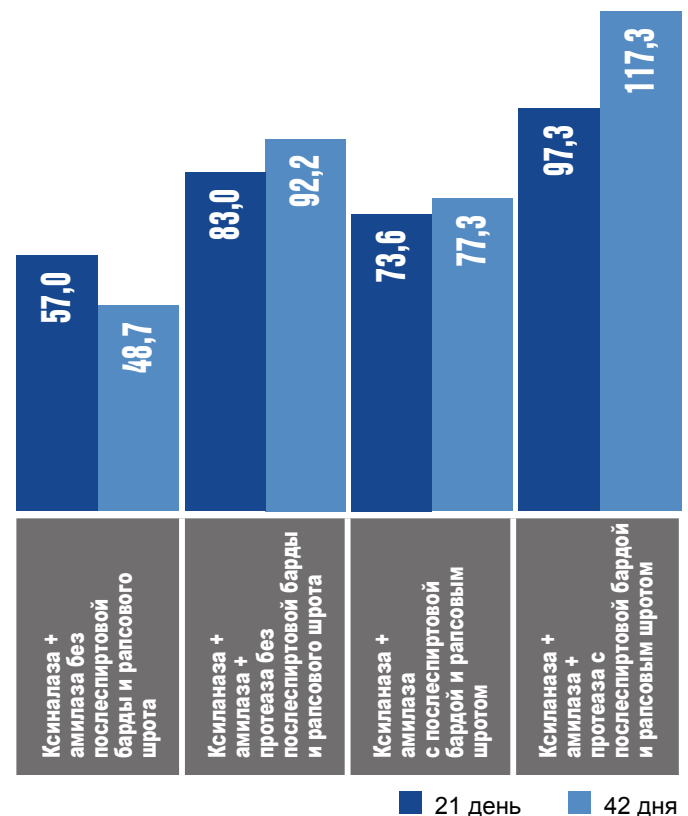


Рис. 4. Увеличение истинной переваримой в подвздошной кишке энергии за счет увеличения переваримости белка, крахмала и жира при введении в рационы бройлеров на основе пшеницы и кукурузы экзогенной ксиланазы и амилазы с добавлением или без добавления протеазы (Romero и соавт., 2014)

Использование фитазы — это относительно недорогой способ устранения антипитательных эффектов фитата, максимизации усвоения питательных веществ и переваримости в подвздошной кишке белка и аминокислот. На основании большого количества проведенных исследований можно сделать вывод, что фитаза, карбогидразы и протеаза обладают значительным потенциалом повышения переваримости энергии и аминокислот в рационах бройлеров.

Также очевидно, что этим ферментам не должны присваиваться произвольные фиксированные матричные значения, не зависящие от содержания субстратов и переваримости рациона, к которому они добавляются. При использовании правильных дозировок комбинаций карбогидраз и протеаз с продуцируемой *Buttiauxella* фитазой можно добиться еще большего эффекта улучшения качества корма и конверсии энергии в привес, что позволяет за счет оптимизации доступности питательных веществ сэкономить ~80,000–100,000 USD на миллион голов птицы (в ценах 2013 г.).

Очевидно, что на переваримость влияют и другие факторы помимо качества сырья и наличия антипитательных веществ, например состояние здоровья и возраст животного, но, как правило, вариабельность питательной ценности ингредиентов и продуктивности птицы уменьшается при использовании комбинаций ферментов.

## Положительное влияние ферментов на здоровье

Ферменты работают как в верхних, так и в нижних отделах кишечника цыплят. По мере продвижения химуса по двенадцатиперстной, тощей и подвздошной кишкам они удаляют ферментируемые субстраты, которые могли бы нарушить пищеварение и баланс микрофлоры.

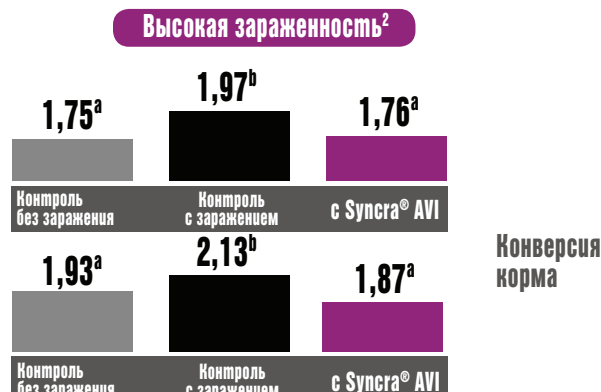
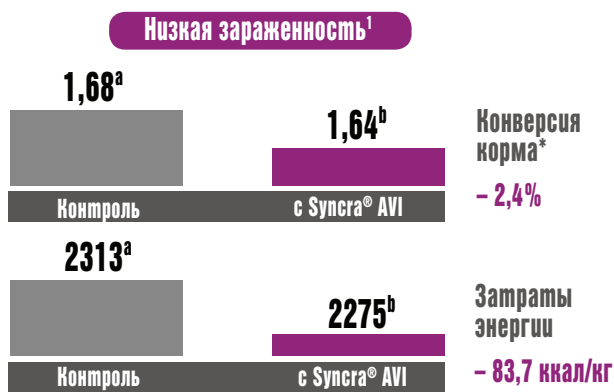
В слепых кишках продукты распада сахара, например ксилозы и ксило-олигомеров, ферментируются бактериями. Такие ферменты, как ксиланаза, не только снижают вязкость химуса за счет гидролиза растворимых арабиноксиланов в тонком кишечнике, но в результате их действия также образуются арабино-ксило-олигосахариды (АКОС), подвергающиеся ферментации в слепых кишках. Они действуют как пребиотики, избирательно стимулируя рост полезных бактерий. При этом также образуются короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК), которые могут быть использованы организмом в качестве источника энергии. Имеется большое количество публикаций о влиянии образующихся из зерновых АКОС на здоровье людей. У цыплят

они также приводят к снижению количества сальмонелл в слепых кишках, клоаке и селезенке (Eeckhaut и соавт., 2008). Kiarie и соавт. (2014) продемонстрировали увеличение образования летучих жирных кислот (ЛЖК) при введении ксиланазы в рационы на основе пшеницы и кукурузы. Также наблюдалось увеличение образования КЦЖК в слепых кишках бройлеров при кормлении их рационами на основе пшеницы с добавлением ксиланазы, продуцируемой *Trichoderma reesei*, и протеазы, продуцируемой *B. subtilis* (Choct и соавт., 2009). Fernandez и соавт. (2000) продемонстрировали, что ксиланаза обладает пребиотическим эффектом, и отметили, что ее использование в рационах на основе пшеницы позволяет улучшить продуктивность птицы при заражении *Campylobacter jejuni*.

Протеаза или ее комбинации с ксиланазой способствуют снижению уровня непереваренного белка, который может являться фактором, предрасполагающим к колонизации кишечника *Clostridium perfringens*, развитию кокцидиоза и некротического энтерита у цыплят (Williams, 2005). Dahiya и соавт. (2007) обсуждали роль непереваренного белка и крахмала в развитии дисбактериоза, приводящего к некротическому энтериту, а Peek и соавт. (2009) отмечали, что добавление протеазы улучшает продуктивность бройлеров, зараженных *Eimeria* (один из предрасполагающих к развитию некротического энтерита факторов). Некоторые авторы предполагают, что в механизме повышения продуктивности птицы при использовании протеазы, помимо опосредованного эффекта, связанного со снижением количества непереваренного белка, может иметь место и прямой эффект, связанный со стимуляцией протеазой выделения слизи при заражении кокцидиозом (Peek и соавт., 2009), однако эта гипотеза пока не доказана.

## Ферменты — не единственный инструмент для поддержания здоровой микрофлоры кишечника

В последних исследованиях, направленных на развитие концепции поддержания здоровой микрофлоры кишечника при помощи комбинаций ферментов, изучалась возможность взаимодополняющего действия карбогидраз и протеаз с пробиотиками, в результате которого могла бы улучшиться не только переваримость рациона, но и сохранность поголовья. В экспериментах, проведенных в 2013 г. Southern Poultry Research (Джорджия, США) на незараженных бройлерах, получавших кукурузно-соевый рацион с добавлением богатых клетчаткой отходов переработки



<sup>1</sup> Мета-анализ 6 испытаний, 1–42-й дни.

<sup>2</sup> Испытания с птицей, зараженной *Clostridium perfringens*.

a, b Значения, не отмеченные общим надстрочным индексом, существенно различаются (P<0,05).

\* Конверсия скорректирована на 3 пункта по каждому (10 г) различию веса тушки в сравнении с контролем. Syncra® AVI — препарат, содержащий 3 штамма бактерий *Bacillus subtilis* и комбинацию ферментов ксиланазы, амилазы и протеазы.

Рис. 5 и 6. Прирост и конверсия корма у незараженной птицы в сравнении с птицей, зараженной *Clostridium perfringens*, в возрасте 20–22 дней с добавлением или без добавления в корм пробиотика, содержащего 3 штамма бактерий рода *Bacillus*, а также комбинацию ферментов — ксиланазы, амилазы и протеазы

зерновых, Romero и соавт. (2013) наблюдали значительное увеличение скорректированной по азоту истинной обменной энергии при добавлении пробиотика, содержащего 3 штамма бактерий рода *Bacillus*, и ферментов — ксиланазы, амилазы и протеазы.

На следующем этапе изучалась возможность получения положительных результатов при заражении некротическим энтеритом. Благодаря улучшению скорректированной по живому весу конверсии корма, в обоих экспериментах применение комбинированного продукта позволило на 14% снизить относительные затраты на килограмм привеса в сравнении с зараженными бройлерами контрольной группы при текущих ценах на корма, что свидетельствует об экономической целесообразности данной концепции в условиях экспериментального заражения некротическим энтеритом (рис. 5 и 6).

В другом эксперименте проводилось изучение экономической эффективности использования комбинации фитазы, ксиланазы, амилазы, протеазы и бактерий *Bacillus* в сравнении с антибиотиками — стимуляторами роста

(на основании текущей стоимости живого веса и кормов). По результатам эксперимента комбинация ферментов и пробиотика позволила получить на 2,5% более высокую валовую прибыль (внутренние данные компании DuPont). Запреты на использование антибиотиков — стимуляторов роста уже введены в ЕС и Корею, и под давлением рынка их использование в птицеводстве, скорее всего, сократится и в других странах, например в США. Поэтому уже сейчас следует рассматривать альтернативные способы повышения сохранности, продуктивности и прибыльности.

В связи с постоянной потребностью в снижении производственных затрат в птицеводстве при сохранении продуктивности и здоровья кишечника птицы, использование комбинаций ферментов с другими добавками, например, с пробиотиками или без них, позволяет раскрыть весь потенциал питательной ценности корма и его положительного влияния на здоровье, при этом также снизить затраты.

*Список используемой литературы предоставляется по запросу на адрес электронной почты [monica.hart@dupont.com](mailto:monica.hart@dupont.com)*