**Фермент маннаназа в рационах птицы**

**Маннаны-** природные полисахариды, в составе которых остаток D-маннозы является единственным или преобладающим моносахаридом. Встречаются в высших и низших растениях и грибах, характеризуются большим разнообразием структур, физико-химических свойств и биологических функций. Линейные b-1 : 4-М. (рисунок 1), подобно целлюлозе, не растворимы в воде и в качестве структурных полисахаридов входят в состав клеточных стенок некоторых высших растений и водорослей; они также участвуют в построении защитных оболочек плодов и семян, напр. скорлупы орехов. Химически близкие линейные глюкоманнаны (содержат наряду с маннозой остатки глюкозы) с тем же типом связей между моносахаридными остатками, часто содержащие ацетильные группы, относятся благодаря растворимости в воде к растит. слизям и запасаются в качестве резервного материала рядом однодольных растений (луковицы лилиецветных и клубни орхидных).



Рисунок 1. Участок β-1,4- линейного маннана

В меньших количествах аналогичные полисахариды встречаются как компоненты гемицеллюлоз древесины. Известны разветвленные галактоманнаны, в которых к b-1 : 4-связанным остаткам D-маннопиранозы центр. линейной цепи присоединены связями a-1 : 6 единичные остатки D-галактопиранозы и галактоглюкоманнаны, к-рые в отличие от галактоманнанов содержат в главной цепи остатки D-глюкопиранозы, связанные с остатками маннопиранозы b-1 : 4-связями. Соотношение между тремя моносахаридами в галактоглюкоманнанах может варьировать в широких пределах. Галактоглюкоманнаны - компоненты гемицеллюлоз хвойной и лиственной древесины, галактоманнаны - резервные в-ва семян бобовых; нек-рые из них, напр. гуаран из семян гуара [Cyamofsis tetragonoloba (guar gum)] или полисахарид цареградских рожков [Ceratonia siliqua (locust bean gum)], производят в промышленных масштабах и широко используют в качестве загустителей и стабилизаторов суспензий и эмульсий, в первую очередь в пищевой, бумажной, текстильной и нефтедобывающей промышленности.

Разнообразные по структуре маннаны содержатся в грибах. Наиболее изучены дрожжевые маннаны, в частности компонент клеточных стенок пекарских дрожжей Saccharomyces cerevisiae, который в нативном виде является маннопротеином. Его углеводные цепи, построенные из остатков D-маннозы, присоединены через остаток N,N-диацетилхитобиозы N-гликозидной связью к амидным группам остатков аспарагина белковой части молекулы. В жестких условиях щелочной экстракции, применяемых для выделения маннанов из дрожжей, белковая часть молекул разрушается. Полисахарид содержит центральную цепь из a-1 : 6-связанных остатков D-маннопиранозы и многочисленные ответвления в виде коротких олигосахаридных цепочек со связями a-1:2, присоединенных в положения 2 главной цепи; некоторые олигосахариды присоединены с помощью фосфодиэфирных связей. Другие дрожжи могут содержать маннаны, существенно отличающиеся степенью разветвленности, типами связей, наличием остатков b-D-маннопиранозы, содержанием остатков фосфорной к-ты и т. д. Структурой маннанов. определяются свойства поверхности клеток дрожжей, в частности их антигенная специфичность [Хим. энциклопедия].

Некрахмалистые полисахариды (НКП), такие как гемицеллюлоза, целлюлоза и пектин, могут снижать усвояемость питательных веществ у домашней птицы [6]. Среди NSP β-маннаны представляют собой группу гемицеллюлоз, которые присутствуют во многих ингредиентах, используемых в кормах для птицы, таких как семена сои и других бобовых. Маннаны встречаются в виде галактоманнанов и глюкоманнанов в клеточных стенках растения. Соевая мука и полножирная соя как источники белка являются наиболее важными кормовыми ингредиентами в рационах птицы. β-маннан присутствует в большинстве кормов для птицы, включая пальмоядровую муку, соевую муку, муку из копры, кунжутную муку и другие бобовые [10, 20].

Кормовые растительные β-маннаны являются одним из основных антипитательных факторов в кормлении моногастричных животных. Присутствие ß-маннанов в рационе домашней птицы связано со многими негативными особенностями, начиная от высокой вязкости содержимого кишечника и низкой усвояемости питательных веществ и заканчивая неблагоприятным воздействием на врожденный иммунный ответ и размножение патогенных микробов в кишечнике [Shastak, 2015]. Добавление ß-маннаназы в корм домашней птицы является одной из стратегий оптимизации питательной ценности рационов, содержащих ß-маннаны.

Было обнаружено, что β-маннаны снижают продуктивность и здоровье птицы, ухудшая конверсию корма и прирост массы, абсорбцию воды и глюкозы, секрецию инсулина. Негативное воздействие β-маннанов на продуктивность птицы объясняется низкой усвояемостью питательных веществ и высокой вязкостью содержимого кишечника, что негативно влияет на иммунный ответ и микробную пролиферацию в кишечнике, а также на рост и характеристики тушки.

Для решения этой проблемы можно включать в рацион птицы ферменты, такие как протеаза, фитаза, авизим, ß-манназа и β-глюконаза, которые способствуют перевариванию клетчатки и уменьшают негативное влияние β-маннанов на продуктивность и здоровье птицы [6, 7].

В одном из ранних исследований [20, CrossRef] было обнаружено, что вес яйца, яйценоскость и потребление корма значительно снижаются при включении β-маннана в рацион кур-несушек. Ранее опубликованные данные исследований показывают, что фермент β-маннаназа способен улучшать врожденный иммунитет и стимулировать реакцию иммунной системы, что приводит к увеличению пролиферации моноцитов и макрофагов и повышению продукции цитокинов. С другой стороны, многие исследователи обнаружили положительное влияние ферментативной деградации β-маннана за счет добавления β-маннаназы в рацион цыплят-бройлеров и кур-несушек [14, 24]. Jackson et al. (2003) сообщили, что продуктивность птиц, экспериментально инокулированных Clostridium perfringens и Eimeria spp. улучшается при добавлении β-маннаназы.

Исследования показали положительное влияние добавок ß-маннаназы на продуктивность и усвояемость питательных веществ у домашней птицы, при кормлении рационами на основе кукурузно-соевой муки, а также рационами, содержащие гуаровую муку, муку из копры и пальмоядровую муку. Такие улучшения усвояемости питательных веществ и продуктивности птицы являются результатом одиночного или комбинированного действия добавки ß-маннаназы. Изучение механизмов, с помощью которых добавка ß-маннаназы влияет на переваривание питательных веществ, обмен веществ, общую продуктивность и здоровье птиц, имеет важное значение для оптимизации и расширения применения этого фермента в кормлении птиц.

Некоторые вещества корма могут рассматриваться как антипитательные факторы, которые снижают уровень переваримости корма и препятствуют усвоению питательных веществ у видов птиц: гемицеллюлозы, ксилан, арабинан, галактан и маннан. Среди них маннан как гемицеллюлозный полисахарид наиболее распространен в природе после ксилана.

Ферменты маннаназы считаются вторым по важности ферментом после ксиланаз для гидролиза гемицеллюлозы [5]. Таким образом, использование ß-маннаназы для снижения вязкости рационов, содержащих маннаны (гуаровый и кокосовый шрот), аналогично использованию ксиланаз в рационах, содержащих ксиланы (их больше в пшенице).

ß -маннан в сильно снижает питательные свойства кормов для птицы. ß-маннан всегда содержится в муке из косточек пальмы, соевой муке, кунжутной муке, гуаровой муке и копровой муке. Гуаровая мука и гуаровая камедь также имеют высокие концентрации β-маннана. Содержание β-маннана в соевом шроте имеет среднее соотношение галактоза: манноза от 1 до 1,8, что аналогично гуаровой камеди от 1 до 1,7). Наличие галактоманнана в шелухе соевых бобов было показано еще в 1950-х годах. При этом больше всего маннанов содержится во фракциях НКП. Определенные второстепенные смешанно-связанные маннаны также присутствуют во фракции соевого белка в качестве основного N-связанного углевода β-конглицинина (7S), гликопротеина.

**Таблица 1 (по Kiarie 2021)** Концентрация растворимых β-маннанов в стандартных кормах, %

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Корм** | **n** | **Мин** | **Макс** | **Среднее** |
| Пшеница | 15 | 0.07 | 0.28 | 0.18 |
| Кукуруза | 33 | 0.06 | 0.15 | 0.09 |
| Кукуруза DDGS | 12 | 0.15 | 0.73 | 0.38 |
| Ячмень | 5 | 0.25 | 0.31 | 0.28 |
| Овес | 1 | – | – | 0.21 |
| Овес очищенный | 2 | 0.06 | 0.15 | 0.11 |
| Рис | 1 | – | – | 0.18 |
| Рапс, целый | 2 | 0.05 | 0.06 | 0.05 |
| Рапс, экспеллер | 1 | – | – | 0.09 |
| Подсолнечник, жмых | 1 | – | – | 0.56 |
| Горох | 5 | 0.06 | 0.08 | 0.07 |
| Бобы Фаба | 3 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Чечевица | 2 | 0.10 | 0.11 | 0.11 |
| Сорго | 3 | 0.09 | 0.12 | 0.11 |
| Соевый жмых | 3 | 0.43 | 0.72 | 0.53 |
| Соевый шрот, 44% СП, с шелухой | 7 | 0.25 | 0.87 | 0.53 |
| Соевый шрот, полножирный, с шелухой | 15 | 0.28 | 0.70 | 0.47 |
| Соевый шрот, 48% СП, без шелухи | 58 | 0.19 | 0.67 | 0.39 |
| Соевый шрот, ферментированный | 2 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| Шрот подсолнечный, ≤32% CП, с шелухой | 7 | 0.35 | 0.46 | 0.41 |
| Рапсовый шрот | 11 | 0.09 | 0.25 | 0.12 |
| Подсолнечник, >32% СП, лущеный | 15 | 0.28 | 0.50 | 0.38 |
| Шрот из пальмового ядра | 4 | 3.56 | 7.27 | 4.83 |
| Гуаровый шрот, ~40% СП | 8 | 3.33 | 5.83 | 4.62 |
| Кокосовый шрот | 1 | – | – | 3.36 |
| Гуаровый шрот, >47% CП | 3 | 1.33 | 2.38 | 1.79 |
| Соевая лузга | 2 | 4.29 | 4.61 | 4.45 |
| Пшеничная крупка | 2 | 0.17 | 0.20 | 0.19 |
| Пшеничные отруби | 4 | 0.14 | 0.23 | 0.17 |
| Рисовые отруби | 1 | – | – | 0.13 |
| Маниока/тапиока | 2 | 0.12 | 0.18 | 0.15 |
| Свекловичный жом | 1 | – | – | 0.15 |
| Кукурузный глютен | 2 | 0.07 | 0.16 | 0.11 |
| Кукурузная мука (кукурузные отсевы) | 3 | 0.05 | 0.14 | 0.10 |
| Мука из зародышей кукурузы | 1 | – | – | 0.10 |
| Мамалыга | 2 | 0.08 | 0.12 | 0.10 |

1. Данные из внутренних исследований Elanco. CП - сырой протеин

**Анализ содержания β-маннанов в кормах**

Было установлено, если содержание β-маннанов превышает 0,2–0,25 %, а корм содержит не менее 12 % соевого шрота/жмыха и (или) подсолнечного шрота/жмыха, можно ожидать снижения производительности примерно на 3 % [1]. В сущности, все рационы для стандартных бройлеров или индюшек превышают эти критерии содержания β-маннана, поэтому данная проблема весьма актуальна.

Нежелательные эффекты бета-маннанов зависят от двух факторов: содержание бета-маннанов в корме и уровень их проникновения через стенку кишечника или выраженность воспаления кишечника. Проницаемость стенки кишечника является более важным критерием, поскольку скорее всего, β-маннаны безвредны при отсутствии проницаемости стенки кишечника или воспаления. Но в условиях коммерческого производства кормов и выращивания птицы на птицефабрике часто есть факторы, которые способствуют повышенной проницаемости стенки кишечника и развитию воспаления. В исследованиях in vitro было установлено, что всего лишь 0,05% β-маннанов может вызвать мощный ответ врожденного иммунитета.

Методика количественного анализа, применяемая для определения β-маннанов в ингредиентах корма достаточно трудоёмкая и весьма дорогостоящая. Поэтому, производителям кормов не рентабельно проводить собственные анализы, так как серии корма, образцы которых будут взяты на анализ, будут съедены к тому моменту, когда появятся результаты испытаний. Можно применять таблицу значений для оценки содержания β-маннанов в рационе и определения необходимости добавления β-маннаназы, что является на сегодняшний день стандартной практикой (таблица 1). При отсутствии возможности точной оценки кормов на содержание β-маннанов, можно добавлять терапевтическую дозу фермента β-маннаназы во все корма со значительным содержанием β-маннанов.

**Виды активности β-маннаназы**

β-маннаны, встречающиеся в природе в гуаровой муке в количестве от 60 до 80 г/кг, связывают большое количество воды, что, в свою очередь, увеличивает вязкость содержимого пищеварительного тракта животных. Повышение вязкости может уменьшить поглощение воды и глюкозы, как показано, что приводит к снижению показателей роста и коэффициента конверсии корма. Включение эндо-β-D-маннаназы в рационы с гуаровой мукой снизило вязкость кишечного содержимого и улучшило эффективность корма и показатели роста. Было показано, что кормление рационом, обогащенным ферментами β-глюканазы и β-маннаназы, с градуированным уровнем энергии может изменить некоторые морфологические признаки желудочно-кишечного тракта. Рацион с добавлением β-маннаназы может привести к повышению устойчивости к патогенным бактериям, таким как Salmonella enteritidis [12].

Механизм действия β-маннаназы заключается в гидролизе β-1,4-гликозидных связей в β-маннанах. Фермент случайным образом расщепляет ключевые цепи 1,4-β-D-маннана галактоглюкоманнана, галактоманнана и маннана, снижая их концентрацию в кишечном содержимом.

Виды активности β-маннаназы можно разделить на следующие основные группы [21]:

1) Влияние на вязкость кишечного содержимого

2) Высвобождение некоторых сахаров, таких как D-манноза, в качестве

источник энергии

3) Ингибирование размножения патогенных бактерий в кишечнике

4) Влияние на иммунный ответ и высвобождение связанных питательных веществ.

Стимуляция врожденного иммунитета происходит за счет абсорбции β-маннана из содержимого кишечника и тем самым улучшает пролиферацию моноцитов и макрофагов, а также продукцию цитокинов.

**Влияние на вязкость кишечного содержимого**

Бобовые растения могут поглощать воду в больших количествах. Высокомолекулярные растворимые галактоманнаны бобовых могут растворяться в кишечнике и увеличивать вязкость химуса, подобно другим растворимым ß-глюканам и арабиноксиланам, что может негативно влиять на доступность и усвояемость питательных веществ корма.

Этот нежелательный эффект можно устранить, добавляя в корм β-маннаназу. В исследовании [9] добавление ß-маннаназы снижало потребление воды на единицу корма у цыплят-бройлеров. В другом исследовании цыплята, которых кормили рационом из кукурузы, сои и копры с добавлением ß-маннаназы, статистически достоверно увеличивали использование белков, липидов и обменной энергии корма [22]. Результаты исследований также показали, что добавление ß-маннаназы усиливает гидролиз шротов (кокосовый шрот), что приводит к увеличению уровня использования питательных веществ и потока кишечного пищеварения.

**Ингибирование размножения патогенных бактерий в кишечнике**

Корма, богатые ß-1-4-маннанами, можно предварительно обрабатывать ферментами и обогащать ß-1-4-МОС (манноолигосахаридами) перед скармливанием домашней птице. В исследовании in vivo [3], корма для цыплят с добавками MOС снижали колонизацию слепой кишки Salmonella enteric у цыплят-несушек и цыплят-бройлеров [21]. В другом исследовании, касающемся бройлеров, добавление 20% ß-маннаназы к рациону, уменьшило популяцию Salmonella и Escherichia coli в экскрементах по сравнению с группой, получавшей кокосовый шрот, не обработанный ферментом [15]. β-маннаназы обнаружили микробно-модулирующее действие у цыплят-бройлеров, которых кормили кукурузно-соевым рационом и подвергали заражению Clostridium perfringens и Eimeria. ß-маннаназа снижала тяжесть инфекции Eimeria и Clostridium, что подтверждается значительным увеличением массы тела и снижением некоторых поражений в кишечнике по сравнению с диетой, не содержащей ферментов [14].

**Влияние на иммунный ответ и высвобождение связанных питательных веществ**

Молекулярная структура ß-маннана аналогична некоторым патогенам, и может вызывать иммунную стимуляцию. Ацетоманнан (ß-1,4-ацетилированный маннан) индуцировал активацию макрофагов за счет повышения уровня синтазы оксида азота на уровне транскрипции, при этом что оксид азота действует как цитостатический эффектор при подавлении репликации вируса и предположительно токсичен для опухолевых клеток. Реакция этого комплекса на соединения, содержащие ß-маннан, может привести к снижению использования энергии с кормом.

Добавление ß-маннаназы улучшило использование энергии корма в кукурузно-соевом рационе у цыплят-бройлеров [17], а также у кур-несушек [24]. Воздействие ß-маннаназы на использование энергии было частичным из-за снижения иммунной нагрузки, вызванной ß-маннаном в рационе, что позволяло использовать больше энергии продуктивным образом. Было показано, что ß-маннаназы смягчают ингибирующее воздействие на пищеварительные ферменты и тем самым улучшают усвояемость питательных веществ и уменьшают экскрецию питательных веществ. В дополнение к более низкой концентрации сывороточных IgG и IgM из-за добавления бета-маннаназы в рацион бройлеров, было показано снижение концентрации белков острой фазы в плазме [8], что указывает на снижение иммунной функции в результате исключения сои или добавления ß-маннаназы в рационы бройлеров. Ferreira et al., (2016) [11] изучали влияние добавления β-маннаназы в рацион бройлеров на рост, использование корма, метаболическую энергию, усвояемость аминокислот и иммунные параметры, и они обнаружили, что иммунный ответ, энергетическая ценность и рост улучшались при кормлении рационом с добавлением β-маннаназы.

**Значение ß-маннаназы в кормлении птицы**

Сообщалось также, что усвояемость шрота повышается при обработке крма бактериальной маннаназой (использовали гуаровый и кокосовый шрот). Результаты были лучше при кормлении цыплят-бройлеров низкокалорийными рационами с добавлением ß-маннаназы, чем при кормлении высококалорийными рационами без фермента. Добавление β-маннаназы на уровне 200 и 400 Ед/млн в рацион птицы положительно улучшило уровень глюкозы в крови и гомеостаз анаболических гормонов, корнверсию корма, усвояемую энергию и усвояемые аминокислоты [4]. Недавно опубликованное исследование показало, что добавление β-маннаназы на уровне (200 или 400 Ед на тонну) улучшает переваривание корма в подвздошной кишке, снижает вязкость кишечного содержимого и улучшает показатели роста цыплят-бройлеров [16] .

Результаты нескольких исследователей показали повышенное использование питательных веществ в кормах с низким содержанием β-маннанов, содержащих кукурузу и сою, и других кормовых ингредиентах, таких как копра и гуаровая мука, которые богаты маннаном, в ответ на добавление ß-маннаназы (Hemicell). Добавление ß-маннаназы к рациону, обогащенному рапсовой мукой, увеличивает потребление корма, прирост массы и коэффициент конверсии корма [23]. У цыплят-бройлеров, получавших рацион с ферментом, статистически значимо повышался уровень IgM в сыворотке бройлеров в возрасте 3 и 6 недель. Было показано, что маннаназа может улучшать иммунные функции и показатели роста бройлеров.

Добавление β-маннаназы в рацион с низким содержанием энергии оказывает благотворное влияние на живую массу и коэффициент конверсии корма. Муссини и соавт. [11] провели исследование реакции на дозу с различными уровнями β-маннаназы (CTCzyme) 0, 0,025%, 0,05% (рекомендуемый уровень) и 0,1% и обнаружили, что общая энергия экскрементов снижается с увеличением уровня фермента, демонстрируя лучшее использование азота птицами [18]. β-маннаназы улучшают морфологический статус кишечника и иммунологический статус в плазме у цыплят-бройлеров, что может привести к улучшению состояния здоровья птиц. В другом исследовании добавление эндо-β-D-маннаназы, коммерчески доступной в рационах на основе гуаровой муки, способствовало росту бройлеров [10]. E цыплят-бройлеров, получавших добавку ß-маннаназы в рационах на основе кукурузно-соевой муки, также увеличивали среднесуточный прирост массы. Более высокие показатели продуктивности могут быть связаны с большей доступностью энергии корма за счет добавления ферментов, поскольку они уменьшают вязкость кишечного содержимого, воздействуя на НКП и обеспечивая лучшее всасывание питательных веществ.

Цыплята-бройлеры, которые получали рацион с соевыми бобами с добавлением β-маннаназы в дозе 350 г/кг, показали улучшение продуктивности и иммунитета. Было также показано, что гуаровый шрот может использоваться в рационах бройлеров в количестве 5% с ферментом β-маннаназой без негативного влияния на скорость роста, эффективность корма и параметры крови [20 Cross Ref].

Исследование Hashim et al. (2020) показало, что снижение ОЭ рациона на 80 ккал/кг отрицательно повлияло на продуктивность бройлеров, а добавление β-маннаназы либо Lycell®, либо Hemicell® к рациону с низким содержанием энергии улучшило конечную живую массу, среднесуточные приросты, конверсию корма, характеристики тушки, здоровье цыплят и гистоморфологию кишечника [13]. Однако значимого влияния β-маннаназы на переваримость сухого вещества и органической составляющей рациона у бройлеров не наблюдалось. Таким образом, при составлении рациона с низким содержанием ОЭ следует учитывать влияние β-маннаназы. Сходные результаты были получени Yakoob et al. (2022) [25]. Они показали, что снижение ОЭ рациона в сочетании с добавлением β-маннаназы не оказало отрицательного влияния на показатели роста бройлеров на этапах выращивания и откорма. β-маннаназа улучшала усвояемость питательных веществ, что позволяло снизить уровень калорийности рациона без ущерба для продуктивности птицы, качества туши и качества мяса бройлеров.

В исследовании Олияр и соавт. [19] основу рациона составляли пшеница, кукуруза, подсолнечный шрот, экструдированная соя, соевый шрот, отруби и белково-витаминный комплекс. В экспериментальный рацион добавляли 0,05% Hemicell. По результатам исследований было установлено, что использование в рационе ферментной добавки β-маннаназы повышало продуктивность цыплят-бройлеров, не вызывало выраженных патологических изменений и положительно влияло на морфофункциональное состояние иммунных органов. Производственные показатели группы цыплят-бройлеров, которым в рацион вводили ферментную добавку, количество птицы при убое, выживаемость, средняя масса одной птицы при убое, среднесуточный прирост и выход мяса были несколько выше, чем в контрольной группе. При этом общие затраты корма и количество корма на 1 кг живой массы были меньше, чем у цыплят-бройлеров на рационе без маннаназы.

Использование в рационе ферментной добавки не повлияло на макроскопические параметры клоакальной сумки и селезенки птицы. Активное морфофункциональное состояние клоакальной сумки и селезенки сохранялось на протяжении всего периода выращивания птиц обеих групп, что проявлялось высокими показателями абсолютной и относительной массы органов, умеренным уровням развития тканевых компонентов, гистологических структур клоакальной сумки (количество, форма, размер лимфатических узелков, плотность лимфоцитов в корковом и мозговом веществе) и селезенки (количество лимфатических узелков и периартериальных лимфатических влагалищ, их абсолютные размеры). Большинство морфометрических показателей клоакальной сумки и селезенки, в частности размер узелков, ширина коры и морфометрический потенциал, были выше у цыплят опытной группы. Таким образом, введение в рацион цыплят-бройлеров ферментной добавки β-маннаназы не только повышает продуктивность, но и положительно влияет на морфофункциональное состояние клоакальной сумки.

**Список литературы:**

1. Пулсен К. Решение проблемы содержания бета-маннанов в кормах может открыть путь к значительным достижениям в индустрии производства кормов / К. Пулсен// Elanco via FeedInfo, 11.05.2020.
2. Химическая энциклопедия под ред. М.Л. Кнунянца. М.: Советская энциклопедия, 1988.
3. Agunos A. Effect of dietary beta1-4 mannobiose in the prevention of Salmonella enteritidis infection in broilers / A. Agunos, M. Ibuki, F. Yokomizo, Y. Mine // Bristish Poultry Science. – 2007.- Vol. 48. – P. 331-341.
4. Caldas J.V. The effect of β-mannanase on nutrient utilization and blood parameters in chicks fed diets containing soybean meal and guar gum / J.V. Caldas, K. Vignale, N. Boonsinchai, J. Wang, M. Putsakum, J.A. England et al. // Poultry Science.- 2018.- Vol. 97(8). – P. 2807-2817.
5. Chauhan P.S. Mannanases: microbial sources, production, properties and potential biotechnological applications / P.S. Chauhan, N. Puri, P. Sharma, N. Gupta // Applied Microbiology and Biotechnology. - 2012. – Vol. 93. – P. 1817-1830.
6. Choct M. Enzymes for the feed industry: past, present and future / M. Choct // World’s Poultry Science Journal. – 2006. – Vol. 62. – P. 5-16.
7. Choct M. Soluble non-starch polysaccharides affect net utilisation of energy by chickens / M.Choct //Recent Advances in Animal Nutrition in Australia. -1999. – Vol. 12. -P. 31-36.
8. Dale N. Identification of an inflammatory compound for chicks in soybean meal / N. Dale, D. Anderson, H. Hsiao //Poultry Science. – 2008. – Vol. 87. -N.153. Supplement.
9. Daskiran M. An evaluation of endo-β-D- mannanase (Hemicell) effects on broiler performance and energy use in diets varying in β-mannan content / M. Daskiran, R.G. Teeter, D. Fodge, H.Y. Hsiao // Poultry Science. - 2004. – Vol. 83. – Vol. 662-668.
10. Kiarie E.G. Significance of single β-mannanase supplementation on performance and energy utilization in broiler chickens, laying hens, turkeys, sows, and nursery-finish pigs: a meta-analysis and systematic review / E.G. Kiarie, S. Steelman, M. Martinez, K. Livingston // Translational Animal Science. – October 2021. - Vol. 5(4). - txab160, <https://doi.org/10.1093/tas/txab160>.
11. Ferreira H.C., Jr. Effect of the addition of beta-mannanase on the performance, metabolizable energy, amino acid digestibility coefficients, and immune functions of broilers fed different nutritional levels / H.C. Ferreira, Jr., M.I. Hannas,L.F. Albino, H.S. Rostagno, R. Neme, B.D. Faria et al.// Poultry Science. – 2016. – Vol. 95. – P. 1848-1857.
12. Gutierrez O. Guar meal diets as an alternative approach to inducing molt and improving Salmonella enteritidis resistance in late-phase laying hens / O. Gutierrez, C. Zhang, D.J. Caldwell, J.B. Carey, A.L. Cartwright, C.A. Bailey // Poultry Science. - 2008.- Vol. 87.- P. 536-540.
13. Hashim M.M. Effect of β-mannanase enzymes supplementation to energy deficient diets on productive performance, physiological and carcass traits of broilers / M.M. Hashim et al. // Int. J. Poult. Sci. – 2020. – Vol. 19.- P.455-466.
14. Jackson M.E. Beneficial effect of beta-mannanase feed enzyme on performance of chicks challenged with Eimerla sp. and Clostridium perfringens / M.E. Jackson, D.M. Anderson, H.Y. Hsiao, G.F. Mathis, D.W. Fodge // Avian Diseases. - 2003. – Vol. 47. – P. 759-763.
15. Khanongnuch C. Quality of β-Mannanase Treated Copra Meal in Broiler Diets and Effectiveness on Some Fecal Bacteria / C. Khanongnuch, C. Sanguansook, S. Lumyong // International Journal of Poultry Science. - 2006. – Vol. 5. – P. 1087-1091.
16. Latham R.E. Efficacy of β-mannanase on broiler growth performance and energy utilization in the presence of increasing dietary galactomannan / R.E. Latham, M.P. Williams, H.G. Walters, B. Carter, J.T. Lee // Poultry Science. - 2018 – Vol. 97(2). – P. 549-556. https://doi.org/10.3382/ps/pex309.
17. Li Y. Effects of β-mannanase expressed by Pichia pastoris in corn–soybean meal diets on broiler performance, nutrient digestibility, energy utilization and immunoglobulin levels / Y. Li, X. Chen, Y. Chen, Z. Li, Y. Cao // Animal Feed Science and Technology. - 2010. – Vol. 159. - P. 59-67.
18. Mussini S.C. Effect of CTCzyme 8-Mannanase on broiler performance and dry matter output using corn-soybean meal based diets / S.C. Mussini, C.A. Coto, S. Goodgame, C. Lu, A.J. Karimi, J. Lee, P.W. Waldroup // International Journal of Poultry Science. – 2011. – Vol. 10(10). – P. 778-781.
19. Oliyar A.V. Effect of β-mannanase enzyme supplementation on the morphofunctional state of broiler chickens’ immunocompetent organs / A.V. Oliyar, P.M. Skliarov, D.M. Masiuk, D.D. Bilyi, V.V. Logvinova, M.A. Lieshchova // Regulatory Mechanisms in Biosystems. - 2020. - №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/effect-of-mannanase-enzyme-supplementation-on-the-morphofunctional-state-of-broiler-chickens-immunocompetent-organs.
20. Saeed M. The role of ß-Mannanase (Hemicell) in improving poultry productivity, health and environment / M. Saeed, T. Aysan, M. Alagawany, M.E.A. El-Hack, M.A. Abdel-Latif, A.K. Patra // Brazilian Journal of Poultry Science . - 2019. – Vol. 21. – No. 3 :001-008. http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1001.
21. Shastak Y. ß-Mannan and mannanase in poultry nutrition / Y. Shastak, P. Ader, D. Feuerstein, R. Ruehle, M. Matuschek // World's Poultry Science Journal. – 2015. – Vol. 71(1). – P. 161-174. doi:10.1017/S0043933915000136.
22. Sundu B. Palm kernel meal in broiler diets: effect on chicken performance and health / B. Sundu, A. Kumar, J. Dingle // World’s Poultry Science Journal 2007;62:316-325.
23. Torki M. Evaluation of dietary replacement of soybean meal by canola meal supplemented by β-mannanase (Hemicell) on performance of broiler chicks / M. Torki, A. Chegeni // Proceedings of the 16th European Symposium on Poultry Nutrition. – 2007. - Aug 26-30, Strasbourg. France. Netherlands: World Poultry Science Association; 2007. p.637-640.
24. Wu G. Effects of beta-mannanase in corn-soy diets on commercial leghorns in second-cycle hens / G. Wu, M.M. Bryant, R.A. Voitle, D.A. Roland, Sr. // Poultry Science. – 2005.-Vol. 84. – P. 894-897.
25. Yaqoob, M.U. Effect of β-Mannanase Supplementation on Growth Performance, Ileal Digestibility, Carcass Traits, Intestinal Morphology, and Meat Quality in Broilers Fed Low-ME Diets / M.U. Yaqoob, M. Yousaf, M.I. Khan, M. Wang // Animals. – 2022.- Vol. 12.-No. 1126. https://doi.org/ 10.3390/ani12091126.