

Влияние различных типов связующих компонентов на показатели качества корма

И. В. Ткачева[✉], доктор биологических наук, доцент
М. М. Оганисян, магистрант 2 года обучения,
Н. Д. Недина, магистрант 2 года обучения
Донской государственный технический университет
344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1,
[✉]tkacheva-irina85@mail.ru

Резюме. Исследования проводили в 2024 г. с целью изучения влияния связующих веществ на качество корма. В роли связующих веществ были выбраны закрепитель гранул «СинерджиСорб Лиграфикс» и «Каппа каррагинан полурафинированный Е407а», которые добавлялись в комбинирование корма для африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) и австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*). В ходе эксперимента получили 4 партии корма, из которых две были с добавлением 1 % «СинерджиСорб Лиграфикс» и две с использованием 1 % «Каппа каррагинан полурафинированный Е407а». Изготовление кормов происходило с помощью дисковой мельницы VLM-300, смесителя, молотковой дробилки, гранулятора комбикорма ГДР-125-380В и сушильного шкафа. После чего экспериментальные партии кормов прошли органолептическую оценку – запах соответствовал норме; анализ водостойкости – корма для африканского сома с «СинерджиСорб Лиграфикс» сохраняли свою форму в течении 25...30 минут, а с добавлением «Каппа каррагинан полурафинированный Е407а» – 40 минут, корма для австралийского рака с добавлением «СинерджиСорб Лиграфикс» оставались целыми 60 минут, а с «Каппа каррагинан полурафинированный Е407а» – 2 ч; а также оценено влияние на гидрохимические показатели воды – все показатели находились в пределах нормы для обоих видов; проведен анализ питательности кормов, по результатам которого энергетическая ценность составила 4860 ккал/кг для сомов и 4390 ккал/кг для раков. Связующие вещества положительно влияют на качество производимых кормов, так закрепитель гранул «СинерджиСорб Лиграфикс» лучше всего использовать для рыб, а «Каппа каррагинан полурафинированный Е407а» больше подходит для ракообразных, которым необходимы более прочные гранулы.

Ключевые слова: аквакультура, африканский клариевый сом, австралийский красноклешневый рак, связующие компоненты, комбикорма.

Для цитирования: Ткаченко И. В., Оганисян М. М., Недина Н. Д. Влияние различных типов связующих компонентов на показатели качества корма // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №2 (70). С. 188-195. doi:10.18286/1816-4501-2025-2-188-195

The effect of different types of binding components on feed quality indicators

I. V. Tkacheva, M. M. Oganisyan, N. D. Nedina
Don State Technical University
344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square 1,
[✉]tkacheva-irina85@mail.ru

Abstract. The research was conducted in 2024 in order to study the effect of binders on feed quality. The fixative granules "Synergisorb Ligrafix" and "Kappa carrageenan semi-refined E407a" were selected as binders, which were added to the combination of feed for the African clariate catfish (*Clarias gariepinus*) and the Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*). During the experiment, 4 batches of feed were obtained, of which two were with the addition of 1% Synergisorb Ligrafix and two using 1% Kappa carrageenan semi-refined E407a. The feed was produced using a VLM-300 disc mill, a mixer, a hammer crusher, a GDR-125-380V feed granulator and a drying cabinet. After that, the experimental batches underwent an organoleptic assessment – the smell corresponded to the norm; water resistance analysis – feeds for African catfish with "Synergisorb Ligrafix" retained their shape for 25-30 minutes, and with the addition of "Kappa carrageenan semi-refined E407a" – 40 minutes, feeds for Australian crayfish with the addition of "Synergisorb Ligrafix" remained for 60 minutes, and with "Kappa carrageenan semi-refined E407a" – 2 hours; and the effect on the hydrochemical parameters of water was assessed – all indicators were within the normal range for both species; an analysis of feed nutrition was carried out, according to which the energy value was 4860 kcal / kg for catfish and 4390 kcal / kg for crayfish. According to the results of the experiment, it can be argued that binders have a positive effect on the quality of the feed produced, so the "Cinergisorb Ligrafix" pellet fixative is best used for fish, and "Kappa carrageenan semi-refined E407a" is more suitable for crustaceans that need more durable pellets.

Keywords: aquaculture, African clary catfish, Australian red-clawed crayfish, binders, compound feed.

For citation: Tkacheva I.V., Oganisyan M. M., Nedina N. D. The effect of different types of binding components on feed quality indicators // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;2(70): 188-195 doi:10.18286/1816-4501-2025-2-188-195

Работа проведена в рамках выполнения проекта «Разработка персонифицированных кормов нового поколения с растительными и пробиотическими добавками для повышения выживаемости и улучшения здоровья рыб» (FZNE-2023-0003).

Введение

В последние годы объем мирового рынка связующих компонентов значительно вырос, увеличившись с 5,62 миллиарда долларов в 2023 г. до 6,01 миллиарда в 2024 г. Это вызвано возрастанием потребности в комбинированных кормах для сельскохозяйственных животных и аквакультуры вследствие роста численности населения, которое приводит к увеличению потребления продуктов животного происхождения, а это в свою очередь, подталкивает к росту производства кормов и потреблению связующих веществ, необходимых для достижения нужной структуры и качества кормовых гранул.

В себестоимости рыбной продукции корм занимает самый большой удельный вес, иногда до 60...70 %. Следует отметить, что цены на кормовые компоненты продолжают расти, особенно на рыбную муку, зерновые и масличные культуры [1]. Основные компоненты, которые входят в состав комбикормов: рыбная, мясная, мясокостная, кровяная мука, а также пшеница, ячмень, рожь, кукуруза, люпин, рис, жом свекловичный и яблочный, соевый и подсолнечниковый шроты.

Важное место в кормах для рыб имеют различные кормовые добавки, которые включают витамины, минералы, аминокислоты и жирные кислоты. Такие ценные в питательном отношении добавки в кормах для рыб являются жизненно важными компонентами, обеспечивающими питание и экстерьерный вид, а также служат профилактикой заболеваний объектов аквакультуры. Премиксы и различные добавки занимают небольшую долю в рецепте, но они способствуют сбалансированности кормовых смесей [2, 3]. Помимо основных компонентов, есть необходимые вещества для изготовления и хранения комбинированного корма, своего рода связующие добавки, которые применяют как в сухих гранулированных, так и пастообразных кормах. Связующие кормосмеси веществ используются для придания нужной консистенции самого теста, формы и повышения прочности крупки и гранул сухих комбикормов, предотвращения размываемости питательных веществ, а также загрязнения воды, в которой содержится выращиваемый объект [4].

На сегодняшний день аквакультура становится все более важным источником белка, требуя от кормов, предназначенных для рыбы и водных обитателей, использования связующих веществ для образования устойчивых к разложению в воде гранул. Производители кормов продолжают улучшать качество и эффективность своих продуктов, используя

связующие вещества для повышения усвояемости питательных элементов и снижения потерь. Также возрастает внимание к качеству и безопасности кормов; связующие вещества помогают сохранить их целостность и предотвратить развитие плесени [5]. Новые, более эффективные и экологически безопасные связующие компоненты [6] продолжают разрабатываться, что способствует их распространению в кормовой промышленности.

Цель исследований – изучение влияния различных типов связующих компонентов на водостойкость как наиболее важного показателя для кормов гидробионтов, наряду с энергетической ценностью, как главным критерием оценки качества кормов.

Материалы и методы

Исследование направлено на сравнение двух связующих веществ, используемых в кормах, и определение наиболее подходящего закрепления гранул под специфические особенности кормления гидробионтов. Были выбраны лигнин от компании ООО «СинерджиКом» и «Каппа каррагинан полурафинированный E407a» производителя «Zhejiang Top Hydrocolloids Co Ltd», которые добавляли в корма для двух видовых групп гидробионтов в количестве 1% от общей массы рецепта в сухом виде на этапе смешивания всех компонентов корма.

В качестве первой видовой группы выступает австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus*), который в последнее время получил широкую известность в мире [7]. Этот вид нетребователен к качеству воды – активная реакция среды (pH) при культивировании должна находиться на уровне 6,5...8,5, жесткость – от 5 до 20. Оптимальная температура воды составляет 26...28 °C.

Второй объект – африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*), встречающийся по всей Африке, включая водоёмы Сахары, в бассейне реки Иордан, в Южной и в Юго-Восточной Азии. Оптимальной средой обитания африканского сома является вода с pH 6,5...8,0 и температурой 25...30 °C, но также хорошо он переносит температуру от 18 °C, устойчив к перепадам температуры, переносит уровень соли в воде до 10 промилле. Этот вид достаточно всеяден, но в природных условиях является, главным образом, хищником [8, 9].

Рецепт корма составляли в специализированной лаборатории «Технологическая линия производства кормов» Донского государственного технического университета. Корректировка рецептов проводилась с использованием специальной кормовой программы Allix3, исходя из требований по

соблюдению технологического процесса и всех производственных параметров, для выпуска корма с заданными характеристиками.

Для стабилизации формы и структуры гранул использовали закрепитель «СинерджиСорб Лиграфикс» – органическую добавку, производимую из 100 % модифицированного лигнина [10]. Его получают из растительного сырья, преимущественно из древесины [11], а также из других растений, таких как льняное семя, конопля и другие. Процесс получения лигнина обычно включает в себя химическую обработку растительного сырья. Данный полимер можно использовать в качестве связующего вещества в комбикормах для всех видов животных и рыб [12]. Он обладает способностью связывать различные компоненты кормовой смеси в однородную массу. Кроме того, лигнин может улучшать структуру комбикорма, способствуя его гранулированию и улучшая форму и прочность гранул. Использование лигнина в комбикормах также может способствовать улучшению усвояемости питательных веществ животными и гидробионтами, а также воздействовать на их пищеварительную систему благоприятным образом [13, 14].

Вторым связующим веществом применялся «Каппа каррагинан полурафинированный Е407а» – природный гелеобразователь, получаемый при переработке красных морских водорослей методом экстракции с последующей очисткой от органических и других примесей – многократным осаждением, фильтрацией и промывкой в воде и спирте. В зависимости от степени очистки различают рафинированные и полурафинированные каррагинаны [15].

Экспериментальная линия для изготовления лабораторных кормов состоит из следующего оборудования: дисковая мельница VLM-300, смеситель, молотковая дробилка, гранулятор комбикорма ГДР-125-380В (с производительностью до 100 кг/час) и сушильный шкаф.

Процесс производства на экспериментальной линии для лабораторных кормов начинается с подготовки сырья для комбикорма. Все компоненты проходят проверку на соответствие качеству с использованием инфракрасного анализатора "Инфра Люмфт-12" и метода мокрой химии. Если сырье не соответствует установленным характеристикам, оно не используется. Для производства комбикорма применяется двухшнековый экструдер, при этом рекомендуемая температура составляет 110...120 °С. Соблюдение температурного режима позволяет сохранить незаменимые аминокислоты и витамины в компонентах как животного, так и растительного происхождения.

Для тщательного измельчения компонентов использовали молотковую дробилку с ситом, позволяющим достигать размера частиц от 300 до 600 микрон. Грубо измельченные ингредиенты проходят предварительную подготовку на вибростоле с ячейкой сита 2 мм. Этот процесс позволяет оценить качество сырья и удалить остатки пуха, пера, ниток, шерсти, металла, пластика и других посторонних

предметов. После просеивания компоненты смешиваются по рецепту в двухвальном горизонтальном смесителе до достижения однородной массы. Затем смесь дополнительно измельчается на молотковой дробилке, которая предназначена для тонкого измельчения, смешивания и механохимической активации твердых материалов. В нижней части бункера установлена электрическая задвижка ЗН-200, которая при открывании позволяет измельченной кормосмеси в количестве, заданном по рецепту, поступать во второй двухвальный лопастной горизонтальный смеситель. Там смесь смешивается с компонентами, не требующими измельчения, в течение 3...5 минут. После завершения смешивания дно смесителя открывается, и кормосмесь попадает в бункер под смесителем. Далее кормосмесь перемещается в накопительные бункеры над экструдерами через шнековый транспортер диаметром 200 мм, а затем поступает в экструдер РЗ-КЭД-88. В процессе продвижения по шнековым валам сырье подвергается интенсивному перемешиванию, измельчению и гидротермической обработке под повышенным давлением.

Гранулы, выходящие из отверстий матрицы гранулятора, нарезаются вращающимся ножом. После выхода из экструдера гранулы направляются на дальнейшую обработку для удаления избыточной влаги, которая составляет 20...25 %. Затем гранулы поступают на ленточный Z-образный транспортер с гофрированным бортом шириной 600 мм, где происходит предварительное охлаждение и удаление влаги перед инфракрасной сушилкой Агрохит-1.

После сушки гранулы проходят просеивание на вибросите ВК-2, что позволяет удалить некондиционные гранулы и пыль из технологического процесса. Сразу после вибросита гранулы направляются в бункер перед добавлением жиров. Для этого используется устройство, называемое ожиривателем. Масло-жировую смесь необходимо распылять через форсунки для равномерного покрытия гранул. После добавления жира гранулы через Z-образный транспортер поступают в колонну охлаждения с вибростолом для окончательного охлаждения и просеивания перед упаковкой в мешки. Основой фасовщика является транспортер с шевронной резинотканевой лентой, установленной в желобе и поддерживаемой роликами.

Взвешивание осуществляется прямо в таре, которая закрепляется на специальной корзине с помощью пневматического зажима. При производстве лабораторных кормов использовались методики и требования к качеству комбикормов, установленные ГОСТ Р 52054-2003 «Корма для животных. Методы определения питательных веществ», ГОСТ 32964-2014 «Корма для животных. Общие технические требования», ГОСТ Р 53781-2010 «Корма для животных. Метод определения содержания влаги».

Необходимым условием выполнения эксперимента было проведение органолептической оценки

качества кормов, которую осуществляли в соответствии с методическими указаниями ГОСТ 13496.13-75 «Комбикорма. Методы определения запаха, зараженности вредителями хлебных запасов».

После изготовления корма гранулы были проверены на содержание влаги при помощи анализатора влажности «ЭВЛАС-2М», использующегося для экспресс-измерения массовой доли влаги в корме. Диапазон измерения влажности – от 0 % до 100 %, погрешность составляет не более $\pm 0,2$.

Для определения времени погружения гранул комбикорма в воду эксперименты проводили в специализированных бассейнах, в которых содержались гидробионты. Время погружения оценивали путем наблюдения за поведением гранул в воде, что позволяло фиксировать момент их полного погружения на дно емкости. Высота воды в бассейне для сомов составляла 30 см, а для раков – 25 см. Гранулы комбикорма были помещены в воду, и время их погружения фиксировалось.

Водостойкость экспериментальных кормов оценивали по времени, в течение которого они сохраняли свою первоначальную форму в воде.

Анализ питательности проводился в аналитической лаборатории по специальным методикам по ГОСТ 10385-2014 «Комбикорма для рыб. Общие технические условия» и ГОСТ 32040-2012 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и влаги с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области».

Таблица 1. Рецепты экспериментального корма для австралийского красноклещевого рака

Компонент	Рецепт 1	Рецепт 2
	Содержание, %	Содержание, %
Мука рыбная	20	20
Мука из гаммарусов	10	10
Пшеница	15	15
Горох	15	15
Кормовые дрожжи	10	10
Листья дуба	6	6
Морковь вареная	6	6
Петрушка	6	6
Кальций	6	6
Опока	4	4
«СинерджиСорб Лиграфикс»	1	-
«Каппа каррагинан полурафинированный E407a»	-	1
Витаминно-терапевтический премикс	1	1

Результаты

В ходе эксперимента было изготовлено 4 варианта корма с двумя типами связующей добавки (табл. 1, 2). Первый вид представлял из себя экспериментальный корм с добавлением закрепителя гранул «СинерджиСорб Лиграфикс», его применяли для кормления австралийского красноклещевого

рака (K1) и африканского клариевого сома (C1). Второй тип экспериментального корма был с добавлением «Каппа каррагинан полурафинированный E407a», им так же кормили австралийского красноклещевого рака (K2) и африканского клариевого сома (C2) (табл. 3).

Таблица 2. Рецепты экспериментального корма для африканского клариевого сома

Компонент	Рецепт 1	Рецепт 2
	Содержание, %	Содержание, %
Мука рыбная	35	35
Мясокостная мука	6	6
Кровяная мука	5	5
Дрожжи кормовые	5	5
Шрот соевый	10	10
Глютен кукурузный	8	8
Соевый изолят	6	6
Пшеничная клейковина	7	7
Пшеница	10	10
Жир рыбий	2,4	2,4
Масло соевое	3	3
Жидкая добавка для рыбы 14Л	0,5	0,5
Витаминно-терапевтический премикс	1	1
«СинерджиСорб Лиграфикс»	1	-
«Каппа каррагинан полурафинированный E407a»	-	1
Консервант	0,05	0,05
Антиоксидант	0,05	0,05

Таблица 3. Схема эксперимента по кормлению гидробионтов

Группа	Характеристика кормления
Опытная группа австралийского красноклещевого рака (K1)	Экспериментальный корм + закрепитель гранул «СинерджиСорб Лиграфикс»
Опытная группа африканского клариевого сома (C1)	Экспериментальный корм + закрепитель гранул «СинерджиСорб Лиграфикс»
Опытная группа австралийского красноклещевого рака (K2)	Экспериментальный корм с добавлением «Каппа каррагинан полурафинированный E407a»
Опытная группа африканского клариевого сома (C2)	Экспериментальный корм с добавлением «Каппа каррагинан полурафинированный E407a»

Рецептура экспериментальных кормов была практически идентична для каждого объекта, за исключением связующего вещества, а также в схеме эксперимента отсутствовал контроль, представляемый промышленным кормом.

Полученные экспериментальные корма не имели посторонних запахов, соответствовали естественному запаху компонентов, входящих в состав, форма гранул была цилиндрической, матовой и без трещин. Однако для ракообразных нет стандартных

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (биологические науки)

показателей по крошимости и водостойкости комбикорма. Они поедают корм постепенно и медленно, поэтому плотность и водостойкость гранул были выше, чем для сомовых.

Процент массовой доли влаги в экспериментальных кормах был равен 9, а время погружения гранул в воду для сомов составило 7 сек., для раков – 4 сек. Эти различия могут быть обусловлены разными физико-химическими свойствами кормов, так

как рецептура для этих двух объектов аквакультуры разная.

Гранулы опытной партии, содержащие закрепитель «СинерджиСорб Лиграфикс», продемонстрировали высокую водостойкость: они сохраняли свою форму 25...30 минут у сомов и 60 минут у раков (рис. 1). В то же время гранулы, содержащие «Каппа каррагинан полурафинированный E407a», показали еще лучшие результаты: 40 минут у сомов и 2 часа у ракообразных (рис. 2).

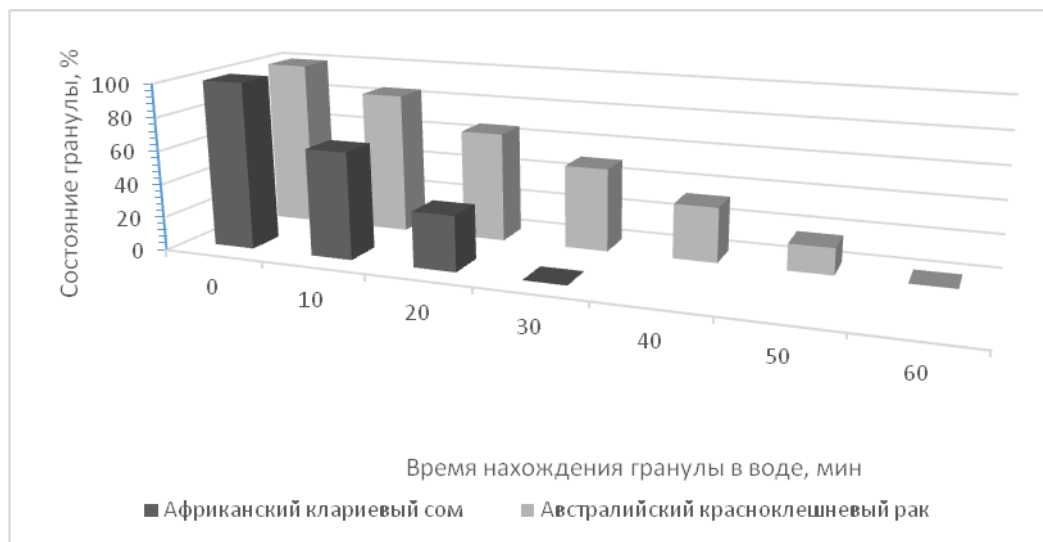


Рис. 1. График растворимости гранул корма с добавлением «СинерджиСорб Лиграфикс»

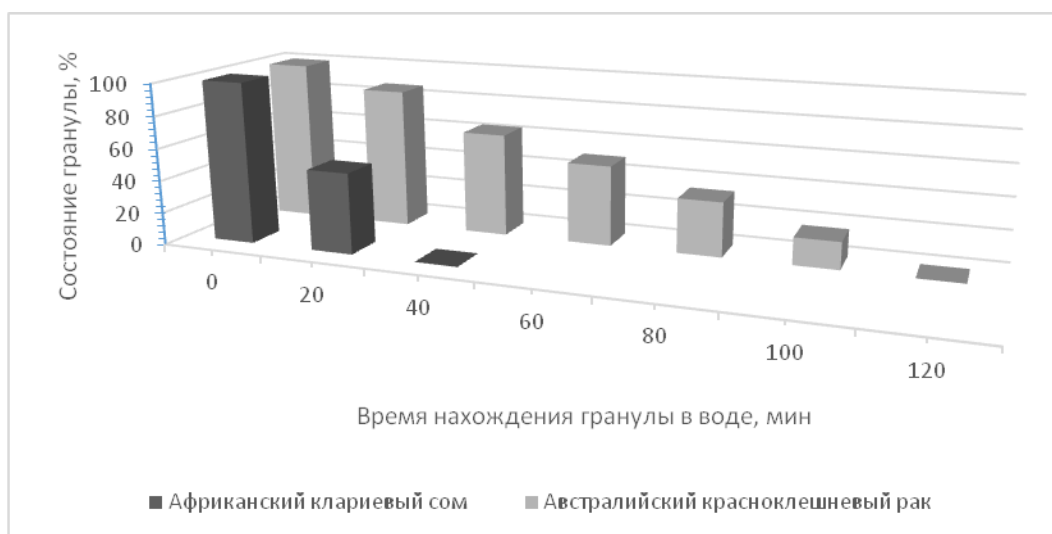


Рис. 2. График растворимости гранул корма с добавлением «Каппа каррагинан полурафинированный E407a»

Исходя из графиков можно уже на этом этапе эксперимента утверждать о том, что по растворимости в воде корма с добавлением «СинерджиСорб Лиграфикс» больше подходят для африканского клариевого сома, нежели для австралийского красноклешневого рака.

В ходе исследований также проводили замеры гидрохимических показателей (табл. 4).

Из представленных замеров (табл. 4) можно сделать вывод о том, что показатели соответствовали нормам содержания африканских клариевых сомов и австралийских красноклешневых раков.

В соответствии с полным потреблением корма гидробионтами было решено провести анализ питательности изготовленных экспериментальных гранул (табл. 5).

Таблица 4. Гидрохимические показатели воды во время эксперимента

Показатель	Объект	
	Африканский клариевый сом	Австралийский красноклешневый рак
Температура воды	22±3°C	25±2°C
Содержание кислорода	7,82±0,8 мг/л	7,2±0,6 мг/л
pH	7,8±0,2	8,1±0,3
Общий аммонийный азот	0,05±0,01 мг/л	0,07±0,03 мг/л
Нитриты	0,1±0,05 мг/л	0,1±0,05 мг/л
Нитраты	2±0,8 мг/л	1,35±0,6 мг/л
Фосфаты	4,0 ≥ мг/л	4,0 ≥ мг/л

Таблица 5. Показатели питательности экспериментального рецепта корма

Показатель	Питательная ценность	
	Африканский клариевый сом	Австралийский красноклешневый рак
Сырой протеин, %	45±0,8	45,7±0,6
Сырой жир, %	13±0,5	14,5±0,9
Сырая клетчатка, %	2,6±0,4	5,5±0,7
Общий фосфор, %	1,6±0,7	1,3±0,7
Зола, %	11,6±0,3	6,4±0,8
Углеводы (БЭВ), %	22±0,2	26±0,3
Энергетическая ценность, ккал/кг	4860	4390

Связующие вещества не оказывают влияние на показатели питательности кормов, поэтому в таблице представлены обобщенные данные, из которых видно, что в кормах для рака содержание сырой клетчатки на 2,9 % больше, чем у сомовых. В то время, как содержание золы на 5,2 % выше у сомов. В целом энергетическая ценность полученных кормов удовлетворяет потребностям гидробионтов. Изучив и проанализировав полученные данные, можно утверждать о пригодности экспериментальных комбинированных кормов к применению в кормлении для сомовых и ракообразных.

Обсуждение

Ранее в качестве основных связующих веществ в кормах широко применялись компоненты

животного происхождения. Однако, в связи с повышением значимости устойчивого развития и этических норм в производстве ученые ведут активный поиск альтернативных вариантов, основанных на растительных ингредиентах [16, 17, 18]. Наше исследование также основано на использовании связующих веществ растительного происхождения в комбинированных кормах для объектов аквакультуры. В отличие от крахмальных связующих веществ [5] закрепител гранул «СинерджиСорб Лиграфикс» и «Каппа каррагинан полурафинированный Е407а» лучше скрепляют между собой компоненты корма, и гранулы держат свой первоначальный вид при попадании в воду от 25 минут до двух часов. Однако существуют исследования [19], где водостойкость гранул для австралийского красноклешневого рака достигает 3 ч. (180 минут) с использованием каррагинана в количестве 5% от общего рецепта. Сравнивая результаты, можно заметить закономерность, что при увеличении количества связующего вещества, водостойкость корма увеличивается, следовательно, гранулы, изготовленные по вышеуказанной рецептуре, будут примерно в 3 раза прочнее сравниваемых кормов [19, 20]. Благодаря хорошей водостойкости корма не оказывают негативного влияния на гидрохимический режим бассейна путем полного потребления гидробионтами. А также у полученных кормов наблюдается достаточная энергетическая ценность – 4860 ккал/кг для африканского клариевого сома и 4390 ккал/кг- для австралийского красноклешневого рака, что в будущем может свидетельствовать о большом и быстром приросте массы.

Заключение

Использование закрепителя «СинерджиСорб Лиграфикс» оптимально для производства гранул экструдированного комбикорма с необходимыми структурно-механическими свойствами. Лигниновые закрепители способствуют увеличению твердости, насыпной плотности и разбухаемости гранул комбикорма для африканского клариевого сома, а также уменьшению их крошимости. Для искусственного выращивания ракообразных следует применять корма с более высокой плотностью, так как этот вид гидробионтов поедает корм медленнее, поэтому лучше использовать корма с добавлением «Каппа каррагинан полурафинированный Е407а».

Литература

1. Mordor Intelligence Research & Advisory. "Feed Binders Market size & share analysis – growth trends & forecasts up to 2030." Mordor Intelligence, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-feed-binders-market-industry> Accessed 27 Feb. 2025.
2. The Effects of the Extract of Sweet Chestnut in Diets for Broilers on the Digestibility of Dietary Nutrients and Productive Performance / N. Buryakov, A. Zaikina, M. Buryakova, et al. // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems. 2022. – Vol. 2 (354). P. 778-784. doi: 10.1007/978-3-030-91405-9_86
3. Comprehensive assessment of aquaculture potential of the southern and south-eastern waterbodies in the Rostov region / E. Kozurin, D. Rudoy, Y. Kosenko, et al. // E3S Web of Conferences 210. 2020. 07003 ITESE–2020 doi:10.1051/e3sconf/202021007003

4. Digital technologies in agricultural production: Implementation background, current state and development trends / I. A. Starostin, M. E. Belyshkina, N. O. Chilingaryan, et al. // *Agricultural Engineering*. 2021. No. 3 (103). P. 4.
5. Evaluation of different Starch Binders on physical quality of fish feed pellets / A. Karim, B. Naila, S. Khwaja, et al. // *Braz J Biol*. 2022. Vol. 21. No. P. 84:e256242. doi: 10.1590/1519-6984.256242
6. Ostroumova I., Lyutikov A., Shumilina A. Phospholipids in aquaculture // In "Phenomenon of Lecithin". Hamburg: Robert Wenzel, 2021. P. 449–456.
7. The chromosome-level genome of *Cherax quadricarinatus* / H. Chen, R. Zhang, F. Liu, et al. // *Sci Data* 10. 215. 2023. doi: 10.1038/s41597-023-02124-z
8. Mukhramova A. A. Kazakhstan starter compound feed for African catfish (*Clarias gariepinus*): formulation, quality characterization, and efficiency in aquaculture // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*. 2022. Vol. 57. P. 791-802. doi: 10.15389/agrobiology.2022.4.791eng
9. Intravital method for the obtaining genital products from the male african catfish / I. Tkacheva, A. Kuzov, S. Polenko et al. // *E3S Web of Conferences* 21007011. ITSE-2020. P. 1-10. doi: 10.1051/e3sconf/202021007011
10. Giger S. Revue sur les méthodes de dosage de la lignine utilisées en alimentation animale // *Ann. Zootech*. 1985. Vol. 34. No. 1. P. 85-122. doi: 10.1051/animres:19850107
11. Preliminary evaluation of purified lignin and hemicellulose as prebiotics candidates for Atlantic Salmon, *Salmo salar* / R. Yossa, S. Levesque, D. B. Groman, et al. // *Journ. of Applied Aquacult*. 2018. Vol. 30. No. 3. P. 256–271. doi: 0.1080/10454438.2018.1439795
12. Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on in vitro and in vivo neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages / E. Raffrenato, R. Fievisohn, K.W. Cotanch, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100 (10). P. 8119–8131. doi: 10.3168/jds.2016-12364
13. Hydrolysis lignin as a multifunctional additive in Atlantic salmon feed improves fish growth performance and pellet quality and shifts gut microbiome / S. M. Colombo, Z. Zhang, D. F. Wong, et al. // *Aquacult. Nutr*. 2020. Vol. 26. No. 4. P. 1353–1368. doi: 10.1111/anu.13092
14. Effects of gelatin or carboxymethyl cellulose supplementation during pelleting processing on feed quality, intestinal ultrastructure and growth performance in gibel carp (*Carassius gibelio*) / S. Gao, D. Han, X. Zhu, Y. et al. // *Aquaculture Nutrition* 2020. Vol. 26. Is. 4. P. 1244–1254. doi: 10.1111/anu.13080
15. Asni A. Analysis on carrageenan content of seaweed *Kappaphycus alvarezii* at different water condition in Bantaeng District // *IOP Conf. Series Earth Environ. Sci*. 860:012069. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/860/1/012069
16. Risk assessment of the use of alternative animal and plant raw material resources in aquaculture feeds / B. D. Glencross, J. Baily, M.H. Berntssen, et al. // *Reviews in Aquaculture*. 2020. Vol. 12 (2). P. 703-758. doi:10.1111/raq. 12347
17. Revesz N., Biro J. Recent trends in fish feed ingredients – mini review // *Acta Agraria Kaposvariensis*. 2019. Vol. 23 (1). P. 32-47. doi: 10.31914/aak.2286
18. Bandara T. Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges // *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2018. Vol. 6(2). P. 3087-3094
19. The effects of various binders and moisture content on pellet stability of research diet for freshwater crayfish / I. M. Ruscoe, C. Jones, P. L. Jones, et al. // *Aquaculture Nutrition*. 2025. Vol. 11. 87- 93. doi:10.1111/j.1365-2095.2004.00324.x
20. Carrageenan from *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae): Metabolism, Structure, Production, and Application / R. Rupert, K. F. Rodrigues, V. Y. Thien, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. doi:10.3389/fpls.2022.859635

References

1. Mordor Intelligence Research & Advisory. "Feed Binders Market size & share analysis – growth trends & forecasts up to 2030." Mordor Intelligence, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-feed-binders-market-industry> Accessed 27 Feb. 2025.
2. The Effects of the Extract of Sweet Chestnut in Diets for Broilers on the Digestibility of Dietary Nutrients and Productive Performance / N. Buryakov, A. Zaikina, M. Buryakova, et al. // *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems*. 2022. – Vol. 2 (354). P. 778-784. doi: 10.1007/978-3-030-91405-9_86
3. Comprehensive assessment of aquaculture potential of the southern and south–eastern waterbodies in the Rostov region / E. Kozurin, D. Rudoy, Y. Kosenko, et al. // *E3S Web of Conferences* 210. 2020. 07003 ITESE–2020 doi:10.1051/e3sconf/202021007003
4. Digital technologies in agricultural production: Implementation background, current state and development trends / I. A. Starostin, M. E. Belyshkina, N. O. Chilingaryan, et al. // *Agricultural Engineering*. 2021. No. 3 (103). P. 4.
5. Evaluation of different Starch Binders on physical quality of fish feed pellets / A. Karim, B. Naila, S. Khwaja, et al. // *Braz J Biol*. 2022. Vol. 21. No. P. 84:e256242. doi: 10.1590/1519-6984.256242
6. Ostroumova I., Lyutikov A., Shumilina A. Phospholipids in aquaculture // In "Phenomenon of Lecithin". Hamburg: Robert Wenzel, 2021. P. 449–456.

7. The chromosome-level genome of *Cherax quadricarinatus* / H. Chen, R. Zhang, F. Liu, et al. // *Sci Data* 10. 215. 2023. doi: 10.1038/s41597-023-02124-z
8. Mukhramova A. A. Kazakhstan starter compound feed for African catfish (*Clarias gariepinus*): formulation, quality characterization, and efficiency in aquaculture // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*. 2022. Vol. 57. P. 791-802. doi: 10.15389/agrobiology.2022.4.791eng.
9. Intravital method for the obtaining genital products from the male african catfish / I. Tkacheva, A. Kuzov, S. Polenko et al. // *E3S Web of Conferences* 21007011. ITSE-2020. P. 1-10. doi: 10.1051/e3sconf/202021007011
10. Giger S. Revue sur les méthodes de dosage de la lignine utilisées en alimentation animale // *Ann. Zootech.* 1985. Vol. 34. No. 1. P. 85-122. doi: 10.1051/animres:19850107
11. Preliminary evaluation of purified lignin and hemicellulose as prebiotics candidates for Atlantic Salmon, *Salmo salar* / R. Yossa, S. Levesque, D. B. Groman, et al. // *Journ. of Applied Aquacult.* 2018. Vol. 30. No. 3. P. 256–271. doi: 0.1080/10454438.2018.1439795
12. Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on in vitro and in vivo neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages / E. Raffrenato, R. Fievisohn, K.W. Cotanch, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100 (10). P. 8119–8131. doi: 10.3168/jds.2016-12364
13. Hydrolysis lignin as a multifunctional additive in Atlantic salmon feed improves fish growth performance and pellet quality and shifts gut microbiome / S. M. Colombo, Z. Zhang, D. F. Wong, et al. // *Aquacult. Nutr.* 2020. Vol. 26. No. 4. P. 1353–1368. doi: 10.1111/anu.13092
14. Effects of gelatin or carboxymethyl cellulose supplementation during pelleting processing on feed quality, intestinal ultrastructure and growth performance in gibel carp (*Carassius gibelio*) / S. Gao, D. Han, X. Zhu, Y. et al. // *Aquaculture Nutrition* 2020. Vol. 26. Is. 4. P. 1244–1254. doi: 10.1111/anu.13080
15. Asni A. Analysis on carrageenan content of seaweed *Kappaphycus alvarezii* at different water condition in Bantaeng District // *IOP Conf. Series Earth Environ. Sci.* 860:012069. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/860/1/012069
16. Risk assessment of the use of alternative animal and plant raw material resources in aquaculture feeds / B. D. Glencross, J. Baily, M.H. Berntssen, et al. // *Reviews in Aquaculture*. 2020. Vol. 12 (2). P. 703-758. doi:10.1111/raq.12347
17. Revesz N., Biro J. Recent trends in fish feed ingredients – mini review // *Acta Agraria Kaposvariensis*. 2019. Vol. 23 (1). P. 32-47. doi: 10.31914/aak.2286
18. Bandara T. Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges // *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2018. Vol. 6(2). P. 3087-3094
19. The effects of various binders and moisture content on pellet stability of research diet for freshwater crayfish / I. M. Ruscoe, C. Jones, P. L. Jones, et al. // *Aquaculture Nutrition*. 2025. Vol. 11. 87- 93. doi:10.1111/j.1365-2095.2004.00324.x
20. Carrageenan from *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae): Metabolism, Structure, Production, and Application / R. Rupert, K. F. Rodrigues, V. Y. Thien, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. doi:10.3389/fpls.2022.859635