

ХЕЛАТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В КОМБИКОРМАХ ДЛЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

Резюме. Изучено влияние хелатных соединений железа и меди в составе комбикормов на эффективность выращивания радужной форели: на темпы роста рыбы, накопление железа и меди в ее организме, кормовой коэффициент. Определены оптимальные дозировки данных хелатных соединений в комбикормах для этого вида рыбы.

Ключевые слова: радужная форель, комбикорм, хелатные соединения, кормовой коэффициент, железо, медь.

CHELATED COMPOUNDS IN COMPOUND FEED FOR RAINBOW TROUT

Abstract. The effects of the supplementation of compound feeds for rainbow trout with iron and copper chelates on growth efficiency, accretion of iron and copper in the body, and feed conversion ratio were studied. The optimal doses of these chelates for this fish species were determined.

Key words: rainbow trout, compound feed, chelates, feed conversion ratio, iron, copper.

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное кормление рыб должно удовлетворять их потребности как в органических, так и в минеральных веществах, только так возможно обеспечить их нормальный рост и развитие. Минеральные вещества, как известно, выполняют структурную функцию, входя в состав опорных элементов скелета и клеточных оболочек всех тканей. В составе различных соединений они участвуют в процессах переваривания и всасывания питательных веществ корма, синтеза и распада, нейтрализации отравляющих организм веществ.

Минеральные вещества играют важную роль в поддержании коллоидного состояния белков и кислотно-щелочного равновесия тканевых жидкостей, обеспечивают осмотическое давление и постоянство других физико-химических свойств внутренней среды организма. В составе биологически активных соединений (ферментов, витаминов, гормонов) эти микроэлементы могут в значительной степени активизировать или тормозить обмен веществ.

Рыбы получают железо в основном с пищей. Этот микроэлемент имеет большое значение для процессов дыхания и биологического окисления, принимая участие в переносе электронов. Как правило, железо находится в организме в виде сложных форм, соединенных с белками (гемоглобин крови, миоглобин мышц, ферменты биологического окисления — цитохромоксидазы, трансферазы, каталазы, пероксидазы и т.д.). Его недостаток приводит к железодефицитной анемии (малокровие), или микроцитарной гипохромной анемии. Она характеризуется понижением содержания железа в крови, концентрации гемоглобина, числа эритроцитов, гематокрита (общего количества форменных элементов), повышением числа молодых эритроцитов. В результате происходит угнетение роста рыб и снижение эффективности использования комбикорма [1].

Избыток железа из-за использования в корме большого количества кровяной и перьевой муки, а также селезенки может оказаться таким же нежелательным, как и его не-

УДК 639.3.043

Научная статья

DOI 10.25741/2413-287X-2024-01-4-213

ЖАННА ВИКТОРОВНА КОШАК, ✉

кандидат технических наук

РУП «Институт рыбного хозяйства»
НАН Беларуси

✉ koshak.zn@gmail.com

АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ ГОНЧАР, ✉

заместитель директора по научной работе

ООО «СинерджиКом», Республика Беларусь

✉ agonchar@synergyhorizon.com

Поступила в редакцию:
22.11.2023

Одобрена после рецензирования:
05.12.2023

Принята в публикацию:
06.12.2023

Research article

DOI 10.25741/2413-287X-2024-01-4-213

ZHANNA V. KOSHAK, ✉

Candidate of Technical Sciences

RUE «Institute of Fisheries» of the National
Academy of Sciences of Belarus

✉ koshak.zn@gmail.com

ALEXANDER N. GONCHAR, ✉

Deputy Director for Scientific Work

SynergiCom LLC, Republic of Belarus

✉ agonchar@synergyhorizon.com

Received by editor's office:
11.22.2023

Accepted in revised:
12.05.2023

Accepted for publication:
12.06.2023

достаток. При переизбытке железо катализирует образование гидроперекисей и пероксидов, способствуя перекисному окислению липидов. Ввод в корм железа в виде сернокислой соли может активизировать эти процессы, особенно при высоком содержании полиненасыщенных жирных кислот рыбьего жира, и разрушить витамин С [2]. У атлантического лосося обнаружена связь между избытком железа в печени и гибелью рыб от фурункулеза (цит. по Мирзоевой, 1996). Потребность лосося в железе колеблется в широком диапазоне — от 30 мг/кг корма у канального сома до 200–300 мг/кг у карпа и форели. Доступность железа для организма рыб зависит от формы его солей. По литературным данным, двухвалентное железо абсорбируется значительно лучше трехвалентного [4]. Железо из комбикормов малодоступно для организма рыб, поскольку большая его часть, так же как фосфора, цинка и марганца, входит в состав фитатов, труднорасщепляемых в кишечнике. Всасывание железа у рыб может тормозить и присутствие в корме легкорастворимых солей фосфора [5, 6].

Медь относится к активным микроэлементам и регулирует многие реакции клеточного дыхания, являясь составной частью ферментов. При ее недостатке ухудшается работа сердца, мозга, печени, развивается катаракта, угнетается рост. У канальных сомов дефицит меди понижает активность в печени перекисной медно-цинковой дисмутазы и цитохром-С-оксидазы сердца. Потребность форели в данном микроэлементе составляет около 5 мг/кг корма, такое количество позволяет предотвратить угнетение ферментов и торможение роста рыб. Медь они получают из воды и корма, ее основное депо в организме — печень, по уровню концентрации меди в этом органе судят об обеспеченности рыб дан-

ным элементом. В кормах европейских производителей медь обычно содержится в количестве 15–18 мг/кг из-за опасения негативного влияния высоких уровней цинка на ее абсорбцию [3].

В настоящее время премиксы, используемые в комбикормах для радужной форели на территории Республики Беларусь, не содержат соединений меди и железа. Это связано с тем, что все представленные на кормовом рынке премиксы для рыб создаются на базе премиксов для карпа. Их рецепт был разработан более 20 лет назад, тогда считалось, что железо и медь рыба получит из других компонентов корма и из воды. В зарубежные корма обязателен ввод хелатных соединений этих микроэлементов.

Хелатные соединения — одни из современных источников макро- и микроэлементов. Их влияние на организм рыб недостаточно изучено, в отличие от сельскохозяйственных животных и птицы. В связи с этим целью работы стало определение эффективности хелатных соединений меди **SynergySorb® Chelated Cu** и железа **SynergySorb® Chelated Fe** производства ООО «СинерджиКом» в составе комбикормов для радужной форели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследований — премиксы и продукционные комбикорма (гранулы диаметром 4 мм) для радужной форели. В комбикормах содержание сырого протеина определяли по ГОСТ 13496.4-2019, сырого жира — по ГОСТ 13496.15-2016, сырой клетчатки — по ГОСТ 13496.2-91, влажность — по ГОСТ 13496.3-92 (ИСО 6496-83). Исследования по содержанию меди и железа в комбикормах и премиксах выполняли по ГОСТ 28901-91 и ГОСТ 32343-2013 (ISO 6869:2000).

Таблица 1. Показатели питательности комбикормов (первый опыт)

Сульфаты и хелаты в пересчете на чистые медь и железо в 1 кг комбикорма	Влажность, %	Содержание, %		
		сырого протеина	сырого жира	сырой клетчатки
<i>Комбикорм без меди и железа</i>				
<i>Контроль</i>	4,23 ± 0,59	42,72 ± 0,43	18,81 ± 0,36	1,98 ± 0,05
<i>Комбикорм с медью</i>				
<i>Контроль</i>				
CuSO ₄ 5H ₂ O — 25 мг	4,21 ± 0,40	42,02 ± 0,07	19,74 ± 0,41	2,00 ± 0,03
SynergySorb® Chelated Cu — 2,5 мг	3,86 ± 0,21	43,19 ± 0,64	18,26 ± 0,28	1,99 ± 0,04
SynergySorb® Chelated Cu — 5,0 мг	4,55 ± 0,27	42,03 ± 0,13	19,14 ± 0,16	2,01 ± 0,01
SynergySorb® Chelated Cu — 7,5 мг	3,79 ± 0,39	41,93 ± 0,13	19,48 ± 0,31	1,97 ± 0,04
<i>Комбикорм с железом</i>				
<i>Контроль</i>				
FeSO ₄ — 360 мг	4,64 ± 0,66	42,12 ± 0,33	18,97 ± 0,33	1,94 ± 0,08
SynergySorb® Chelated Fe — 36 мг	3,90 ± 0,59	42,82 ± 0,33	18,35 ± 0,25	1,97 ± 0,07
SynergySorb® Chelated Fe — 72 мг	4,37 ± 0,36	41,95 ± 0,14	19,05 ± 0,23	2,03 ± 0,04
SynergySorb® Chelated Fe — 108 мг	4,08 ± 0,23	41,93 ± 0,08	19,35 ± 0,11	2,01 ± 0,04

Таблица 2. Показатели роста радужной форели (первый опыт)

Сульфаты и хелаты в пересчете на чистые медь и железо в 1 кг комбикорма	Среднештучная масса, г		Прирост массы	
	в начале опыта	в конце опыта	абсолютный, г	относительный, % к первоначальной массе
<i>Комбикорм без меди и железа</i>				
<i>Контроль</i>	95,3 ± 2,00	107,3 ± 2,14	12,0 ± 0,21	12,6 ± 0,11
<i>Комбикорм с медью</i>				
<i>Контроль</i>				
CuSO ₄ 5H ₂ O — 25 мг	95,4 ± 4,93	110,8 ± 4,94	15,4 ± 1,06	16,14 ± 4,06
SynergySorb® Chelated Cu — 2,5 мг	95,9 ± 2,91	113,0 ± 2,65	17,1 ± 0,52	17,8 ± 3,63
SynergySorb® Chelated Cu — 5,0 мг	95,2 ± 2,44	131,4 ± 2,18	36,2 ± 0,51	38,02 ± 0,86
SynergySorb® Chelated Cu — 7,5 мг	96,8 ± 2,76	126,3 ± 2,96	29,5 ± 0,54	30,48 ± 4,52
<i>Комбикорм с железом</i>				
<i>Контроль</i>				
FeSO ₄ — 360 мг	96,2 ± 2,56	117,0 ± 2,54	20,8 ± 0,36	21,6 ± 2,15
SynergySorb® Chelated Fe — 36 мг	95,4 ± 2,18	131,4 ± 2,11	36,0 ± 1,04	37,73 ± 0,21
SynergySorb® Chelated Fe — 72 мг	96,0 ± 2,37	127,2 ± 2,01	31,2 ± 0,24	32,5 ± 2,37
SynergySorb® Chelated Fe — 108 мг	96,9 ± 2,00	124,2 ± 2,19	27,3 ± 0,51	28,2 ± 0,19

Вырабатывали экструдированные комбикорма на экспериментальной линии, разработанной в РУП «Институт рыбного хозяйства» для проведения научных исследований. В состав линии входят измельчитель, дозатор, смеситель, аппарат для влаготепловой обработки, экструдер, сушилка-охладитель, аппарат для вакуумного напыления жира и других жидких и порошкообразных компонентов без подогрева.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первом опыте производственные комбикорма для радужной форели девяти вариантов содержали различное количество хелатных соединений, сульфата железа и сульфата меди, а также были без данных соединений. Все они состояли из рыбной муки, рыбьего жира, альбумина, кукурузного глютена, молока сухого обезжиренного, кормовых дрожжей, соевого шрота, пшеницы, премикса, закрепителя гранул. Представленные в таблице 1 показатели питательности экспериментальных кормов соответствуют ТУ ВУ 100035627.025-2020 «Комбикорм экструдированный производственный для лососевых и осетровых рыб» и ГОСТ 10385-2014 «Комбикорма для рыб. Общие технические условия».

В состав комбикормов всех вариантов входил премикс Д-ПК-100, который содержит витамины А, D, В₁, В₂, В₃, В₄, В₅, В₆, В₁₂, В_С, К₃, Н и С, кобальт углекислый, кальций йодат, селенит натрия, известняковую муку, отруби пшеничные. Данный состав нормативно утвержден и используется при производстве комбикормов для ценных видов рыб. Как видно, в стандартном премиксе отсутствуют медь и железо, поэтому во время эксперимента в него добавляли эти микроэлементы в виде сульфатов (контрольные образ-

Таблица 3. Кормовые затраты (первый опыт)

Сульфаты и хелаты в пересчете на чистые медь и железо в 1 кг комбикорма	Кормовой коэффициент, ед.
<i>Комбикорм без меди и железа</i>	
<i>Контроль</i>	1,8
<i>Комбикорм с медью</i>	
<i>Контроль</i>	
CuSO ₄ 5H ₂ O — 25 мг	1,7
SynergySorb® Chelated Cu — 2,5 мг	1,5
SynergySorb® Chelated Cu — 5,0 мг	1,2
SynergySorb® Chelated Cu — 7,5 мг	1,4
<i>Комбикорм с железом</i>	
<i>Контроль</i>	
FeSO ₄ — 360 мг	1,6
SynergySorb® Chelated Fe — 36 мг	1,2
SynergySorb® Chelated Fe — 72 мг	1,3
SynergySorb® Chelated Fe — 108 мг	1,4

цы комбикормов) и хелатных соединений (SynergySorb® Chelated Cu и SynergySorb® Chelated Fe) в разной дозировке для определения наиболее эффективной. В качестве контроля служил комбикорм с премиксом Д-ПК-100 без меди и железа.

Для опыта, который продолжался 30 суток, использовали годовиков радужной форели. Кормление рыбы экспериментальными комбикормами осуществляли в условиях аквариальной института. В девять бассейнов было посажено по 30 экземпляров форели со среднештучной массой 95 г. Температура воды в бассейнах была опти-

мальной и составляла 17°C, содержание растворенного в воде кислорода — 7,5 мг/л, pH среды — 6,8. Комбикорм форель получала три раза в день с интервалом 3 ч в количестве 1,5% от массы посаженной рыбы; учет его расхода проводили ежедневно. Отхода рыбы во время эксперимента не наблюдалось. Результаты опыта приведены в таблицах 2 и 3.

Полученные данные свидетельствует, что для обогащения комбикорма для радужной форели железом и медью в хелатной форме их требуется меньше соответственно в 10 и 5 раз, по сравнению с минеральной формой этих элементов. С учетом продолжительности опыта и количества скормливаемого комбикорма рыбе прироста ее массы находились в пределах нормативных значений. Из расчета на 1 кг корма для форели оптимальные дозы хелатной формы меди составляют 5,0 мг, железа — 36,0 мг.

Во втором опыте для определения совместного действия хелатной формы меди и железа на организм форели были произведены комбикорма трех вариантов. В контрольный вариант медь и железо не вводили. В первый опытный вариант добавляли из расчета на 1 кг комбикорма 25 мг сульфата меди и 360 мг сульфата железа; во второй — 5,0 мг SynergySorb® Chelated Cu и 36,0 мг SynergySorb® Chelated Fe. Комбикорма всех вариантов содержали премикс Д-ПК-100 (без меди и железа).

Результаты исследования показали, что наибольший темп роста радужной форели (при тех же условиях содержания и кормления, как и в первом опыте) отмечен на комбикорме, содержащем хелатные формы меди и железа (табл. 4). В данном варианте кормовой коэффициент снизился в 3 раза, при применении сульфатов меди и железа — в 2,3 раза, по сравнению с контролем. Это свидетельствует о том, что хелатные соединения SynergySorb®

Таблица 4. Показатели роста и кормовые затраты (второй опыт)

Вариант	Среднештучная масса, г		Прирост массы за опыт		Кормовой коэффициент, ед.
	в начале опыта	в конце опыта	абсолютный, г	относительный, % к первоначальной массе	
<i>Контроль:</i> корм без меди и железа	213,00 ± 2,12	233,10 ± 5,86	20,10 ± 4,25	9,44 ± 2,21	3,3
<i>Первый опытный:</i> 25 мг CuSO ₄ •5H ₂ O + 360 мг FeSO ₄ в 1 кг корма	215,05 ± 4,32	242,00 ± 20,54	26,95 ± 2,54	12,53 ± 2,14	2,5
<i>Второй опытный:</i> 5,0 мг SynergySorb® Chelated Cu + 36,0 мг SynergySorb® Chelated Fe в 1 кг корма	200,80 ± 3,25	262,70 ± 3,56	61,90 ± 1,98	30,83 ± 2,11	1,1

Литература

1. Степанцова, Г. Е. Изучение влияния микроэлементов на физиолого-биохимические показатели радужной форели / Г. Е. Степанцова, Е. В. Нижникова, Н. П. Неведова, В. И. Воробьев, О. Т. Лемперт // Вестник науки и образования Северо-Запада России. — 2018. — Т. 4. — № 2. — С. 7–14.
2. Аринжанов, А. Е. Значение микроэлементов в кормлении рыб / А. Е. Аринжанов, Е. П. Мирошникова, Ю. В. Клякова // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2015. — № 6. — С. 44–48.
3. Dethloff, G. M. The effects of copper on blood and biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / G. M. Dethloff, D. Schlenk, S. Khan, H. C. Bailey // Arch Environ Contam Toxicol. — 1999. — May; 36 (4) : 415–23.
4. Остроумова, И. Н. Биологические основы кормления рыб / И. Н. Остроумова. — Санкт-Петербург : ГОСНИОРХ, 2001. — 372 с.
5. Барулин, Н. В. Аквакультура ценных видов рыб и ресурсосберегающие технологии. В 3 ч. Ч. 1 Форелеводство: учебно-методическое пособие / Н. В. Барулин. — Горки : БГСХА, 2018. — 237 с.
6. Kaushik, S. Nutrition et alimentation des poissons et control desduchets piscicoles// S. Kaushik. — Pisc. Franc. Ne 101. — 1990. — P.14–28.

Literature

1. Stepantsova, G. E. Study of the influence of microelements on the physiological and biochemical parameters of rainbow trout / G. E. Stepantsova, E. V. Nizhnikova, N. P. Nefedova, V. I. Vorobyov, O. T. Lempert // Bulletin of science and education of the North-West of Russia. — 2018. — T. 4. — No. 2. — P. 7–14.
2. Arinzhanov, A. E. The importance of microelements in fish feeding / A. E. Arinzhanov, E. P. Miroshnikova, Yu. V. Kilyakova // Bulletin of the Orenburg State University. — 2015. — № 6. — P. 44–48.
3. Dethloff, G. M. The effects of copper on blood and biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / G. M. Dethloff, D. Schlenk, S. Khan, H. C. Bailey // Arch Environ Contam Toxicol. — 1999. — May; 36 (4) : 415–23.
4. Ostroumova, I. N. Biological principles of fish feeding / I. N. Ostroumova. — St. Petersburg : GOSNIORH, 2001. — 372 p.
5. Barulin, N. V. Aquaculture of valuable fish species and resource-saving technologies. In 3 hours. Part 1 Trout farming: educational manual / N. V. Barulin. — Gorki : BGSHA, 2018. — 237 p.
6. Kaushik, S. Nutrition et alimentation des poissons et control desduchets piscicoles// S. Kaushik. — Pisc. Franc. Ne 101. — 1990. — P.14–28.

Chelated Fe и SynergySorb® Chelated Cu способствуют лучшей конверсии корма и стимулированию роста рыбы.

В обоих экспериментах при потреблении корма с хелатными соединениями меди и железа, а также без них выживаемость радужной форели составляла 100%.

Основные гематологические показатели крови, а именно содержание гемоглобина, количество эритроцитов и СОЭ, при кормлении форели комбикормами с оптимальной дозировкой SynergySorb® Chelated Cu и SynergySorb® Chelated Fe находились в пределах нормативов.

Таблица 5. Содержание меди и железа в теле радужной форели при совместном использовании хелатных соединений данных микроэлементов, мг/кг

Наименование органа, ткани и продуктов жизнедеятельности	Медь	Железо
Мышцы	18,512	2,726
Печень	52,948	26,133
Сердце	74,257	4,257
Кровь	47,932	10,884
Фекалии	13,873	1,732

В таблице 5 показано распределение содержания меди и железа в организме рыбы при совместном использовании в составе комбикорма этих микроэлементов в форме хелатных соединений. Наибольшее количество железа находилось в печени, а также в крови; в мышцах, сердце и фекалиях его было мало. По уровню меди лидирует сердце, затем идут печень и кровь. В мышцах ее накопилось небольшое количество.

ВЫВОДЫ

На основании результатов исследований можно заключить, что использование хелатных соединений SynergySorb® Chelated Fe и SynergySorb® Chelated Cu в комбикормах для радужной форели (в составе премиксов) способствует: повышению темпов роста в 2 раза, 100%-ной выживаемости, снижению кормового коэффициента в 3 раза (по сравнению с комбикормами, не содержащими медь и железо). Полученные данные могут быть полезными для повышения эффективности потребления комбикормов радужной форелью, в том числе для улучшения ее здоровья и продуктивности. ■

