

БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 639.3.043

doi:10.33284/2658-3135-107-2-27

Влияние активированного угля на элементный состав мышечной ткани радужной форели

**Олег Владимирович Иньшин¹, Елена Петровна Мирошникова², Азамат Ерсайнович Аринжанов³,
Сергей Александрович Мирошников^{4,5}**

^{1,5}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

^{2,3,4}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹oleg0_0_0@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5200-4298>

²elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

³arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

^{4,5}rector_osu@mail.osu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1173-1952>

Аннотация. Изучение элементного статуса рыб обусловлено необходимостью всестороннего изучения эффекта от воздействия различных кормовых добавок на организм животных. Целью проведённых исследований было изучение действия активированного угля (АУ) на концентрацию химических элементов в мышечной ткани радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*). В работе представлены результаты влияния АУ в дозировках 1 г/кг, 2 и 3 г/кг корма на элементный статус радужной форели. В ходе исследований установлено, что включение активированного угля в рацион форели в дозировке 1 г/кг корма способствовало повышению Pb на 144,4 % ($P \leq 0,001$) и Cu – на 11,92 % ($P \leq 0,05$) и понижению уровня макро- и микроэлементов. При использовании дозировки в 2 г/кг комбикорма понизился уровень Na, Ca, P. Среди микроэлементов повысился уровень Pb на 77,77 % ($P \leq 0,001$), при этом понизился: Co, Se, Ni, Mn, Zn, Fe, Ag, Cd, As, Sr, Al, In, Ba, Tl. Использование в кормлении рыбы АУ в дозировке 3 г/кг корма способствовало повышению макроэлементов Na и Ca на 18,52 % ($P \leq 0,05$) и 14,05% ($P \leq 0,05$) соответственно. Среди микроэлементов отмечено достоверное повышение Pb на 127,77 % ($P \leq 0,001$) и понижение Co, Ni, Mn, Cr, Zn, Fe, Ag, Cd, Sr, Al, In, Ba, Tl, Bi. Таким образом, в ходе эксперимента был установлен факт прямого воздействия АУ на уровень макро- и микроэлементов в мышечной ткани рыб. Дозировка АУ в 2 г/кг корма является наиболее оптимальной и положительно влияет на динамику роста живой массы рыб, при этом обеспечивая допустимые отклонения в элементном профиле радужной форели.

Ключевые слова: аквакультура, форель, кормление рыб, кормовые добавки, мышечная ткань, элементный статус, активированный уголь

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-76-10054.

Для цитирования. Влияние активированного угля на элементный статус мышечной ткани радужной форели / О.В. Иньшин, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, С.А. Мирошников // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 2. С. 27-37. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-2-27>

Original article

Effect of activated carbon on the elemental status of muscle tissue in rainbow trout

Oleg V Inshin¹, Elena P Miroshnikova², Azamat E Arinzhanov³, Sergey A Miroshnikov^{4,5}

^{1,5}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

^{2,3,4}Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹oleg0_0_0@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5200-4298>

²elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

³arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

^{4,5}rector_osu@mail.osu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1173-1952>

Abstract. The study of the elemental status of fish is due to the need for a comprehensive study of the effect of various feed additives on the animal body. The purpose of the research was to study the effect of activated carbon (AC) on the concentration of chemical elements in the muscle tissue of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The paper presents the results of the effect of AC in dosages of 1 g/kg, 2 and 3 g/kg of feed on the elemental status of rainbow trout. During the research, it was found that the inclusion of activated carbon in the trout diet at a dosage of 1 g/kg of feed contributed to an increase in Pb by 144.4% ($P \leq 0.001$) and Cu by 11.92% ($P \leq 0.05$) and a decrease in the level of macro- and microelements. When using a dosage of 2 g / kg of compound feed, the level of Na, Ca, P decreased. Among the trace elements, the level of Pb increased by 77.77% ($P \leq 0.001$), while the following decreased: Co, Se, Ni, Mn, Zn, Fe, Ag, Cd, As, Sr, Al, In, Ba, Tl. The use of AC in fish feeding at a dosage of 3 g/kg of feed contributed to an increase in the macronutrients Na and Ca by 18.52% ($P \leq 0.05$) and 14.05% ($P \leq 0.05$), respectively. Among the trace elements, a significant increase of Pb by 127.77% ($P \leq 0.001$) and decrease of Co, Ni, Mn, Cr, Zn, Fe, Ag, Cd, Sr, Al, In, Ba, Tl, Bi were observed. Thus, during the experiment, the fact of direct effect of AC on the level of macro- and microelements in fish muscle tissue was established. The dosage of AC in 2 g/kg of feed is the most optimal and has a positive effect on the dynamics of live weight of fish, while providing acceptable deviations in the elemental profile of rainbow trout.

Keywords: aquaculture, trout, fish feeding, feed additives, muscle tissue, elemental status, activated carbon

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 23-76-10054.

For citation: Inshin OV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Miroshnikov SA. Effect of activated carbon on the elemental status of muscle tissue in rainbow trout. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):27-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-2-27>

Введение.

Для снижения экономических потерь при выращивании рыбы относительно недавно практически повсеместно профилактические или лечебные мероприятия проводились с использованием антибиотиков. Установлено, что введение антибиотиков в небольших дозировках, в сотни раз меньше их лечебных доз, стимулирует рост и выживаемость рыб, а также способствует улучшению минерального и белкового обменов (Шульгина Л.В. и др., 2015).

В настоящее время возрастает риск развития устойчивости к антибиотикам и, как следствие, к возникновению рисков в животноводстве, аквакультуре и медицине (Мингазова М.С. и др., 2024). Появление резистентности возбудителей многих инфекционных заболеваний к антибиотикам существенно усложняет лечение человека. По этой причине современные учёные вынуждены заниматься поиском новых кормовых добавок для объектов аквакультуры (Зуева М.С., 2022).

Анализ литературы показал несколько исследований на выращиваемой рыбе с использованием активированного угля (АУ) в качестве детоксикационного агента, который повлиял на скорость темпов роста, иммуномодуляцию и формирование оптимальных условий окружающей среды за счёт минимизации стрессов (Abdel-Tawwab M et al., 2017; Mabe LT et al., 2018).

АУ используется в процессе, называемым хелатирование (Samadaii S and Bahrekazemi M, 2019). Он может поглощать газы, особенно азот и аммиак, стимулировать работу кишечника и выводить токсины и загрязняющие вещества из желудочно-кишечного тракта животных (Mekbungwan A et al., 2004).

Цель исследования.

Изучить действие активированного угля на концентрацию химических элементов в мышечной ткани радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*).

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Годовики радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) средней массой 330 г.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Эксперимент проводился на базе садкового хозяйства ООО «Ирикларьба» (п. Энергетик, Новоорский район, Оренбургская область, Россия) в 2023 году.

Методом пар-аналогов были отобраны 400 рыб ($m=330$ г) и сформированы четыре группы ($n=100$), которые в течение первых 7 суток (подготовительный период) получали основной рацион (ОР). Затем группы были переведены на учётный период (8-100 сутки), в рамках которого рыбам в ОР дополнительно вводили АУ: I опытная группа – ОР+АУ (доза 1 г/кг корма), II опытная группа – ОР+АУ (2 г/кг корма), III опытная группа – ОР+АУ (3 г/кг корма). Контрольная группа получала ОР без АУ.

Корма опытных групп готовили, используя метод напыления кормовых добавок на гранулы комбикорма. В качестве ОР использовали экструдированный корм «Форель 42/20 А50» («ЛимКорм Aqua», Россия). Суточная норма кормления – 1,6 % от массы тела рыб в соответствии с технологией выращивания. Рыбу кормили в светлое время суток 5 раз в день.

Отбор мышц проводили после обескровливания рыб. У каждого экземпляра отделяли голову, плавники, чешую, внутренние органы, кости и мышечную ткань. Мышечная ткань измельчалась и пропускалась трижды через мясорубку. Полученную массу помещали в отдельные вакуумные пакеты и подвергали замораживанию. Затем пробы в замороженном виде передавались для исследований в лабораторию.

Оборудование и технические средства. Анализ содержания химических элементов в мышечной ткани рыб проведён в лаборатории Испытательного центра ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>). В образцах была определена концентрация 26 элементов (Ca, K, Mg, Al, Na, P, B, Ni, Ga, Ag, In, Ba, Tl, Bi, As, Co, Cr, Cu, Fe, I, Ni, Se, Zn, Cd, Pb, Mn).

Статистическая обработка. Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Данные представлены в виде: среднее (M) ± стандартная ошибка среднего (m). Определение достоверности различий определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали результаты при $P \leq 0,05$.

Результаты исследования.

Было выявлено, что включение АУ влияет на уровень ряда макро- и микроэлементов в мышечной ткани рыб (табл. 1). Так, применение АУ в I опытной группе сопровождалось понижением уровня Na на 33,10 % ($P \leq 0,05$) и Ca – на 17,74 % ($P \leq 0,01$) (рис. 1).

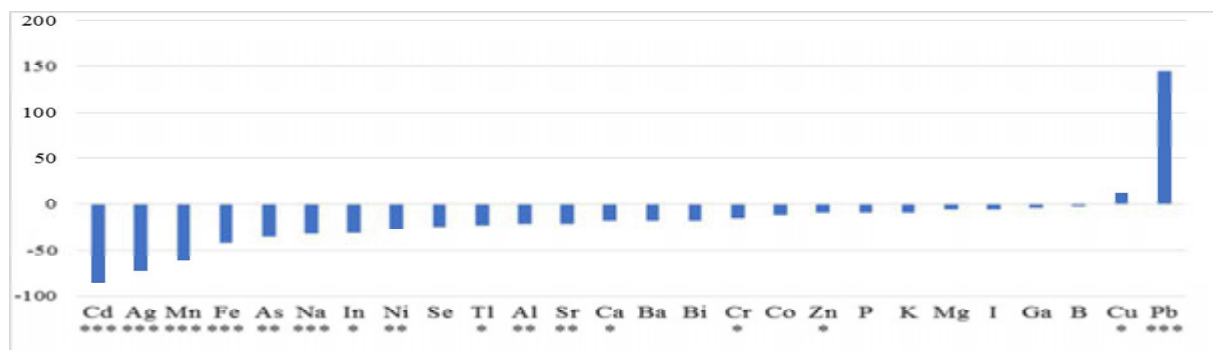
Таблица 1. Концентрация химических элементов в мышечной ткани рыб, мг/кг
Table 1. Concentration of chemical elements in fish muscle tissue, mg/kg

Элемент / <i>Elements</i>	Группа / <i>Group</i>			
	Контроль/ <i>control</i>	I	II	III
Макроэлементы / <i>Macroelements</i>				
Mg	1120,8 ± 41,47	1050,6 ± 33,62	1092,56 ± 39,78	1157,9 ± 35,89
Na	1275,9 ± 27,42	853,6 ± 29,02***	776,9 ± 31,08***	1039,5 ± 36,38*
Ca	969,4 ± 30,05	793,4 ± 27,77*	507,6 ± 16,75***	834,25 ± 32,54*
P	9887,49 ± 326,29	8970,07 ± 340,86	8193,56 ± 376,9*	10019 ± 330,63
K	15548,8 ± 544,21	14114,7 ± 508,13	13872,1 ± 492,11	15950,4 ± 486,11
Эссенциальные и условно-эссенциальные элементы / <i>Essential and conditionally essential elements</i>				
Co	0,049 ± 0,004	0,043 ± 0,002	0,024 ± 0,003**	0,034 ± 0,002**
Se	0,86 ± 0,18	0,65 ± 0,11	0,44 ± 0,08*	0,87 ± 0,38
Ni	0,29 ± 0,02	0,21 ± 0,01**	0,24 ± 0,01*	0,21 ± 0,02**
Mn	1,15 ± 0,04	0,79 ± 0,03***	0,55 ± 0,02***	0,66 ± 0,02***
I	0,69 ± 0,03	0,62 ± 0,02	0,67 ± 0,02	0,68 ± 0,04
B	2,17 ± 0,14	2,11 ± 0,07	2,01 ± 0,17	1,97 ± 0,16
Cr	0,71 ± 0,031	0,60 ± 0,025*	0,69 ± 0,022	0,59 ± 0,028*
Cu	1,51 ± 0,048	1,69 ± 0,071*	1,55 ± 0,047	1,49 ± 0,084
Zn	17,24 ± 0,64	15,61 ± 0,59*	13,04 ± 0,42***	14,98 ± 0,71*
Fe	46,89 ± 2,29	27,21 ± 1,33***	22,22 ± 2,67***	22,99 ± 2,78***
Ag	0,054 ± 0,003	0,015 ± 0,002***	0,019 ± 0,001***	0,024 ± 0,002***
Потенциально токсичные элементы и ультрамикроэлементы / <i>Potentially toxic elements and ultramicroelements</i>				
Cd	0,075 ± 0,002	0,011 ± 0,003***	0,011 ± 0,001***	0,021 ± 0,009***
As	1,85 ± 0,16	1,21 ± 0,11**	1,08 ± 0,05**	2,05 ± 0,19
Pb	0,18 ± 0,017	0,44 ± 0,019***	0,32 ± 0,014***	0,41 ± 0,019***
Sr	1,44 ± 0,061	1,13 ± 0,038**	0,57 ± 0,019***	1,05 ± 0,038**
Al	40,26 ± 1,61	31,54 ± 1,07**	14,63 ± 0,69***	11,08 ± 0,35***
Токсичные и малоизученные микроэлементы / <i>Toxic and poorly studied elements</i>				
In	0,023 ± 0,002	0,016 ± 0,003*	0,013 ± 0,001**	0,011 ± 0,002**
Ba	0,15 ± 0,007	0,16 ± 0,006	0,11 ± 0,005*	0,12 ± 0,004*
Tl	0,0026 ± 0,0002	0,0020 ± 0,0001*	0,0021 ± 0,0001*	0,0015 ± 0,0005**
Bi	0,0056 ± 0,0008	0,0046 ± 0,0005	0,0042 ± 0,0006	0,0035 ± 0,0004*
Ga	0,022 ± 0,004	0,021 ± 0,001	0,017 ± 0,001	0,019 ± 0,002

Примечание: * – P ≤ 0,05; ** – P ≤ 0,01; *** – P ≤ 0,001 при сравнении с контрольной группой
Note: * – P ≤ 0.05; ** – P ≤ 0.01; *** – P ≤ 0.001 when compared with the control group

Зафиксирована общая тенденция к понижению уровня макроэлементов, снижению ряда эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов. Для I опытной группы по большей части характерно достоверное снижение пула эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов, а именно: Ni – на 27,58 % (P ≤ 0,01), Mn – на 31,30 % (P ≤ 0,001), Cr – на 15,49 % (P ≤ 0,05), Fe – на 41,97 % (P ≤ 0,001), Ag – на 72,22 % (P ≤ 0,001) по сравнению с контролем. Кроме того, зафиксировано значительное снижение ряда потенциально токсичных микроэлементов и ультрамикроэлементов в организме радужной форели. Так, достоверно отмечены снижения для Cd на 85,33 % (P ≤ 0,001), As – на 34,59 % (P ≤ 0,01), Sr – 21,52 % (P ≤ 0,01), Al – на 21,65 % (P ≤ 0,01) (рис. 1). При этом досто-

верно повысился уровень Pb на 144,40 % ($P \leq 0,001$) и Cu на 11,92% ($P \leq 0,05$). Так же, достоверно понизился уровень In и Tl на 30,43 % ($P \leq 0,05$) и 23,07 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

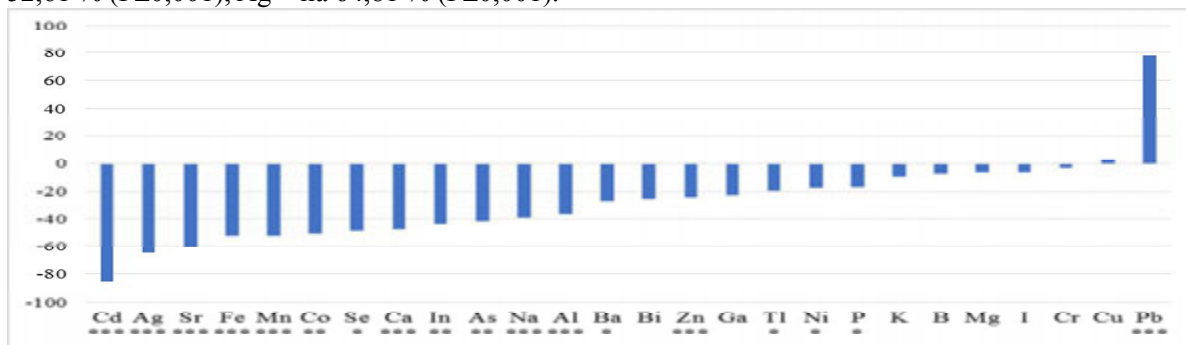


Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ при сравнении с контрольной группой
Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$; *** – $P \leq 0.001$ when compared with the control group

Рисунок 1. Элементный профиль концентраций химических элементов в мышечной ткани I опытной группы по сравнению с контролем, %

Figure 1. Elemental profile of chemical elements concentrations in the muscle tissue of the I experimental group compared to the control, %

Во II опытной группе также наблюдалось общее снижение уровня макро- и микроэлементов относительно контрольной группы (рис. 2), а также группы потенциально токсичных элементов и ультрамикроэлементов. Значительно понизился уровень Na на 39,10 % ($P \leq 0,001$), Ca – на 47,63 % ($P \leq 0,001$), P – на 17,13 % ($P \leq 0,05$). Среди пула эссенциальных и условно-эссенциальных элементов установили достоверное снижение следующих микроэлементов: Co – на 51,02 % ($P \leq 0,01$), Se – на 48,83 % ($P \leq 0,05$), Ni – на 17,20 % ($P \leq 0,05$), Mn – на 52,17 % ($P \leq 0,001$), Zn – на 24,36 % ($P \leq 0,001$), Fe – на 52,61 % ($P \leq 0,001$), Ag – на 64,81 % ($P \leq 0,001$).



Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ при сравнении с контрольной группой
Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$; *** – $P \leq 0.001$ when compared with the control group

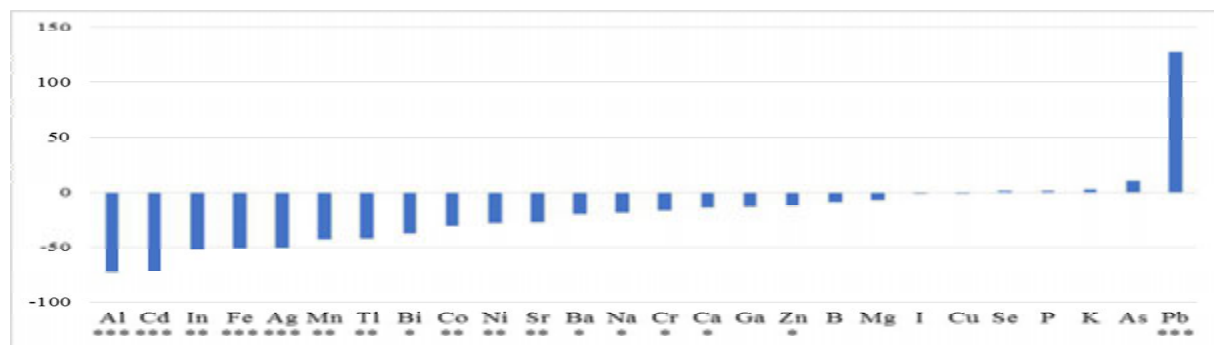
Рисунок 2. Элементный профиль концентраций химических элементов в мышечной ткани II опытной группы по сравнению с контролем, %

Figure 2. Elemental profile of chemical elements concentrations in the muscle tissue of the II experimental group compared to the control, %

Зафиксировано снижение ряда потенциально токсичных микроэлементов и ультрамикроэлементов относительно контрольной группы: Cd – на 85,33 % ($P \leq 0,001$), As на 41,62 ($P \leq 0,001$), Sr – на 60,41 % ($P \leq 0,001$), Al – на 36,33 % ($P \leq 0,001$) по сравнению с контролем. Исключение составил Pb, уровень которого был выше контроля на 77,77 % ($P \leq 0,001$). Среди группы токсичных и мало-

изученных элементов зафиксировано достоверное снижение In на 43,47 % ($P \leq 0,01$), Ba – на 26,66 % ($P \leq 0,05$) и Tl – на 23,07 % ($P \leq 0,05$).

Для III опытной группы (рис. 3) при дозировке АУ 3 мг/кг корма также обнаружено снижение большей части химических элементов, за исключением Pb, который повысился на 127,77 % ($P \leq 0,001$) относительно контроля.



Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ при сравнении с контрольной группой

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ when compared with the control group

Рисунок 3. Элементный профиль концентраций химических элементов в мышечной ткани III опытной группы по сравнению с контролем, %

Figure 3. Elemental profile of chemical elements concentrations in the muscle tissue of the III experimental group compared to the control, %

Среди макроэлементов отмечено достоверное снижение Na и Ca на 18,52 % ($P \leq 0,05$) и 14,05 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

Среди пула эссенциальных и условно-эссенциальных элементов отмечены достоверные снижения относительно контроля ряда следующих элементов: Co – на 30,61 % ($P \leq 0,01$), Ni – на 27,58 % ($P \leq 0,01$), Mn – на 42,60 % ($P \leq 0,001$), Cr – на 16,09 % ($P \leq 0,05$), Zn – на 13,10 % ($P \leq 0,05$), Fe – на 50,97 % ($P \leq 0,001$), Ag – на 55,55 % ($P \leq 0,001$).

В группе потенциально токсичных элементов и ультрамикроэлементов отмечено достоверное снижение Cd на 72,00 % ($P \leq 0,001$), Sr – 27,08 % ($P \leq 0,01$), Al – 72,47 % ($P \leq 0,001$). Пул токсичных и малоизученных элементов в III опытной группе также снижался. Так, установили достоверное снижение In на 52,17 % ($P \leq 0,01$), Ba – на 20,00 % ($P \leq 0,05$), Tl – на 42,30 % ($P \leq 0,01$) и Bi – на 37,50 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля.

Обсуждение полученных результатов.

Физиологическое состояние и рост рыб напрямую зависят от веществ, поступающих в организм с кормом. Без получения необходимого количества химических элементов организм не способен к положительной динамике роста, поскольку химические элементы играют главную роль в формировании белковых структур (El-Kady AA et al., 2022). На уровень макро- и микроэлементов в организме в первую очередь оказывает влияние рацион (Outa JO et al., 2020). Известно, что активированный уголь оказывает положительное влияние на рост и общее физиологическое состояние некоторых видов рыб, поскольку способен абсорбировать различные патогены и продукты их метаболизма, в том числе увеличить вывод аммиака и тяжёлых металлов (Elhetawy AIG et al., 2023). Также пищевые добавки с активированным и древесным углём улучшают абсорбционную функцию кишечных ворсинок и эпителиальных клеток кишечника, тем самым улучшая использование корма (Mekbungwan A et al., 2004), а также увеличивая высоту ворсинок кишечника (Boonanuntanasarn S et al., 2014; Pirarat N et al., 2015).

Для всех опытных групп характерно достоверное снижение таких макроэлементов как Na и Ca, причём во II опытной группе оно было наиболее максимальное. Уровень Na отличался от уровня в контрольной группе на 39,1 %, а Ca – на 47,63 %. Следует отметить, что только в этой группе, употреблявшей с кормом усреднённую в рамках эксперимента дозу АУ, наблюдается достоверное понижение P на 17,13 %.

Примечателен тот факт, что общее снижение большинства эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов во всех опытных группах не повлияло на поведение подопытной рыбы. Общее физиологическое состояние форели соответствовало норме и не отличалось от контрольной группы. Более того, в опытных группах повысилась выживаемость.

Отдельное внимание заслуживает снижение содержания потенциально токсичных и ультрамикроэлементов в мышечной ткани форели при внесении в рацион АУ. Исключение составил As в III опытной группе. Лидирующее положение по снижению во всех группах занимают Cd, поскольку АУ обладает повышенной адсорбционной способностью относительно тяжёлых металлов, в первую очередь кадмия (Lopez Alonso et al., 2004; Samadaii S and Bahrekazemi M, 2019; Wang N et al., 2020).

Наиболее заметный показатель в результатах анализа — это значительное достоверное повышение уровня Pb от 77,77 до 144,40 % во всех опытных группах относительно контроля. Как известно, свинец один из наиболее распространённых токсических элементов в природе, способный оказать влияние на здоровье и продуктивность животных (Asano K et al., 2005; Raikwar MK et al., 2008; Cai Q et al., 2009). В более ранних исследованиях с применением активированного угля в кормлении рыбы констатирован факт снижения общего пула свинца в организме. На первый взгляд эти результаты идут в разрез с полученными нами данными. Однако противоречия в этом нет. Столь специфическое явление вызвано отличием обмена свинца от обмена других токсических элементов. Обменный пул свинца в тканях организма поддерживается с использованием свинца из депо в костной ткани (Tangpong J and Satarug S, 2010). Таким образом что активированный уголь в кишечнике сорбировал и выводил из организма свинец так же, как и другие элементы, что на первом этапе сопровождалось снижением содержания свинца в мышечной ткани. Но в последующем с разворачиванием механизмов гомеостаза активизируется «вымывание» свинца из костной ткани с массивным поступлением этого элемента в кровь и мышечную ткань. Этот феномен хорошо известен в медицине. Так, в первом десятилетии этого века в практике работы ряда российских медицинских центров, специализирующихся на выявлении и коррекции элементозов, было принято лицам с повышенным пулом свинца и других токсических элементов назначать сорбенты для их выведения. Однако по мере накопления материала стало ясно, что массивное «вымывание» токсических элементов, в первую очередь свинца, сопровождалось значительным высвобождением этих веществ из депо – костной ткани (Мирошников С.А. и др., 2019), в результате концентрация последних в крови и других биосубстратах человека не редко превышала уровень до лечения, что сопровождалось интоксикацией. В литературе сходное явление описано как материнская интоксикация свинцом, способное даже привести к потере сознания кормящей женщины на фоне лактации и массивного перехода свинца из костной ткани для человека (Thompson GN et al., 1985).

Принимая вышесказанное к сведению, следует отметить, что увеличение пула свинца в мышечной ткани способно оказать негативное влияние на рост и развитие рыбы. Однако, как следует из полученных нами данных, напротив, использование активированного угля в кормлении сопровождалось повышением интенсивности роста и лучшей сохранностью подопытной рыбы. Причина этого явления кроется в тотальном снижении обменного пула всех токсических элементов в тканях рыбы, причём значительно более выраженным, чем увеличение пула свинца. Как следует из полученных нами данных, в 1 кг мышечной ткани форели контрольной группы содержалось 1,565 ммоль токсических элементов (Cd, As, Pb, Sr, Al, Ba, Tl, Bi) против 1,2026 ммоль/кг в I опытной группе, 0,5653 – во II и 0,4544 ммоль/кг – в III опытных группах. Таким образом, скармливание активированного угля привело к снижению нагрузки на метаболизм со стороны токсических элементов, что

и позволило повысить продуктивность рыбы. Аналогичные данные ранее получены в других исследованиях (Miroshnikov S et al., 2021).

Заключение.

Включение в рацион активированного угля сопровождается снижением концентрации большинства химических элементов в мышечной ткани рыб, что доказывает сорбционное воздействие активированного угля в организме радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*). Скармливание АУ привело к повышению продуктивности рыб за счёт снижения нагрузки на метаболизм со стороны токсических элементов. Дозировка активированного угля в 2 г/кг корма является наиболее оптимальной и положительно влияет на динамику роста живой массы рыб, при этом обеспечивая допустимые отклонения в элементном профиле радужной форели.

Список источников

1. Антибиотики в объектах аквакультуры и их экологическая значимость. Обзор / Л.В. Шульгина, Е.В. Якуш, Ю.П. Шульгин, В.В. Шендерюк, Н.Н. Чукалова, Л.П. Бахолдина // Известия ТИНРО. 2015. Т. 181(2). С. 216-230. [Shulgina LV, Yakush EV, Shulgin YuP, Shenderyuk VV, Chukalova NN, Baholdina LP. Antibiotics in aquaculture and their ecological significance. A review. Izvestiya TINRO. 2015;181(2):216-230. (In Russ.)]. doi: 10.26428/1606-9919-2015-181-216-230
2. Зуева М.С. Современный опыт включения биологически активных кормовых добавок в рацион рыб (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 4. С. 146-164. [Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):146-164. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146
3. Общее понимание кворум сенсинга бактерий и применение ингибиторов кворума в аквакультуре (обзор) / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 1. С. 128-146. [Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. General understanding of bacterial quorum sensing and use of quorum inhibitors in aquaculture (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(1):128-146. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-128
4. Феномен нагруженного метаболизма и продуктивность молочных коров / С.А. Мирошников, О.А. Завьялов, А.Н. Фролов, М.Я. Курилкина // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 2. С. 30-45. [Miroshnikov SA, Zavyalov OA, Frolov AN, Kurilkina MYa. The phenomenon of loaded metabolism and productivity of dairy cows. 2019;102(2):30-45. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-2-30
5. Abdel-Tawwab M, El-Sayed GO, Shady SH. Effect of dietary active charcoal supplementation on growth performance, biochemical and antioxidant responses, and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) to environmental heavy metals exposure. Aquaculture. 2017;479:17-24. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.05.016
6. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Matsumoto T, Asano R, Sakai T. Correlation between 25 element contents in mane hair in riding horses and atrioventricular block. Biol Trace Elem Res. 2005;108(1-3):127-135. doi: 10.1385/BTER:108:1-3:127
7. Boonanuntanasarn S, Khaomek P, Pitaksong T, Hua Y. The effects of the supplementation of activated charcoal on the growth, health status and fillet composition-odor of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) before harvesting. Aquaculture International. 2014;22:1417-1436. doi: 10.1007/s10499-014-9756-8
8. Cai Q, Long ML, Zhu M, Zhou QZ, Zhang L, Liu J. Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead-zinc smelter in Guizhou, China. Environmental Pollution. 2009;157(11):3078-3082. doi: 10.1016/j.envpol.2009.05.048
9. Elhetawy AIG, Abdel-Rahim MM, Sallam AE, Shahin SA, Lotfy AMA, El Basuini MF. Dietary wood and activated charcoal improved ammonium removal, heavy metals detoxification, growth

performance, blood biochemistry, carcass traits, and histopathology of european seabass. Aquac Nutr. 2023;2023:8860652. doi: 10.1155/2023/8860652

10. El-Kady AA, Magouz FI, Mahmoud SA, Abdel-Rahim MM. The effects of some commercial probiotics as water additive on water quality, fish performance, blood biochemical parameters, expression of growth and immune-related genes, and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture. 2022;546(4):737249. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737249

11. López Alonso M, Prieto Montaña F, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Luis Benedito J. Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW Spain. Biometals. 2004;17(4):389-397. doi: 10.1023/b:biom.0000029434.89679.a2

12. Mabe LT, Su S, Tang D, Zhu W, Wang S, Dong Z. The effect of dietary bamboo charcoal supplementation on growth and serum biochemical parameters of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture Research. 2018;49(3):1142-1152. doi: 10.1111/are.13564

13. Mekbungwan A, Yamauchi K, Sakaida T. Intestinal villus histological alterations in piglets fed dietary charcoal powder including wood vinegar compound liquid. Anat Histol Embryol. 2004;33(1):11-16. doi: 10.1111/j.1439-0264.2004.00501.x

14. Miroschnikov S, Notova S, Kazakova T, Marshinskaia O. The total accumulation of heavy metals in body in connection with the dairy productivity of cows. Environ Sci Pollut Res Int. 2021;28(36):49852-49863. doi: 10.1007/s11356-021-14198-6

15. Outa JO, Kowenje ChO, Avenant-Oldewage A, Jirsa F. Trace elements in crustaceans, mollusks and fish in the kenyan part of lake victoria: bioaccumulation, bioindication and health risk analysis. Arch Environ Contam Toxicol. 2020;78(4):589-603. doi: 10.1007/s00244-020-00715-0

16. Pirarat N, Boonananthanasarn S, Krongpong L, Katagiri T, Maita M. Effect of activated charcoal-supplemented diet on growth performance and intestinal morphology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The Thai Journal of Veterinary Medicine. 2015;45(1):113-119. doi: 10.56808/2985-1130.2615

17. Raikwar MK, Kumar P, Singh M, Singh A. Toxic effect of heavy metals in livestock health. Vet World. 2008;1(1):28-30. doi: 10.5455/vetworld.2008.28-30

18. Samadai S and Bahrekazemi M. The effect of diets containing different levels of active charcoal on growth performance, body composition, haematological parameters and possibility of heavy metals detoxification in big sturgeon (*Huso huso*). Aquaculture Research. 2019; 51(1):91-101. doi: 10.1111/are.14350

19. Tangpong J, Satarug S. Alleviation of lead poisoning in the brain with aqueous leaf extract of the *Thunbergia laurifolia* (Linn.). Toxicol Lett. 2010; 198(1):83-88. doi: 10.1016/j.toxlet.2010.04.031

20. Thompson GN, Robertson EF, Fitzgerald S. Lead mobilization during pregnancy. Med J Aust. 1985;143(3):131. doi: 10.5694/j.1326-5377.1985.tb122859.x

21. Wang N, Jiang M, Zhang P, et al. Amelioration of Cd-induced bioaccumulation, oxidative stress and intestinal microbiota by *Bacillus cereus* in *Carassius auratus gibelio*. Chemosphere. 2020;245:125613. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125613

References

1. Shulgina LV, Yakush EV, Shulgin YuP, Shenderyuk VV, Chukalova NN, Baholdina LP. Antibiotics in aquaculture and their ecological significance. A review. Izvestiya TINRO. 2015;181(2):216-230. doi: 10.26428/1606-9919-2015-181-216-230

2. Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):146-164. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146

3. Mingazova MS, Mirosnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. General understanding of bacterial quorum sensing and use of quorum inhibitors in aquaculture (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):128-146. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-128
4. Mirosnikov SA, Zavyalov OA, Frolov AN, Kurilkina MYa. The phenomenon of loaded metabolism and productivity of dairy cows. 2019;102(2):30-45. doi: 10.33284/2658-3135-102-2-30
5. Tawwab M, El-Sayed GO, Shady SH. Effect of dietary active charcoal supplementation on growth performance, biochemical and antioxidant responses, and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) to environmental heavy metals exposure. *Aquaculture*. 2017;479:17-24. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.05.016
6. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Matsumoto T, Asano R, Sakai T. Correlation between 25 element contents in mane hair in riding horses and atrioventricular block. *Biol Trace Elem Res*. 2005;108(1-3):127-135. doi: 10.1385/BTER:108:1-3:127
7. Boonanuntasarn S, Khaomek P, Pitaksong T, Hua Y. The effects of the supplementation of activated charcoal on the growth, health status and fillet composition-odor of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) before harvesting. *Aquaculture International*. 2014;22:1417-1436. doi: 10.1007/s10499-014-9756-8
8. Cai Q, Long ML, Zhu M, Zhou QZ, Zhang L, Liu J. Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead-zinc smelter in Guizhou, China. *Environmental Pollution*. 2009;157(11):3078-3082. doi: 10.1016/j.envpol.2009.05.048
9. Elhetawy AIG, Abdel-Rahim MM, Sallam AE, Shahin SA, Lotfy AMA, El Basuini MF. Dietary wood and activated charcoal improved ammonium removal, heavy metals detoxification, growth performance, blood biochemistry, carcass traits, and histopathology of european seabass. *Aquac Nutr*. 2023;2023:8860652. doi: 10.1155/2023/8860652
10. El-Kady AA, Magouz FI, Mahmoud SA, Abdel-Rahim MM. The effects of some commercial probiotics as water additive on water quality, fish performance, blood biochemical parameters, expression of growth and immune-related genes, and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 2022;546(4):737249. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737249
11. López Alonso M, Prieto Montaña F, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Luis Benedito J. Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW Spain. *Biometals*. 2004;17(4):389-397. doi: 10.1023/b:biom.0000029434.89679.a2
12. Mabe LT, Su S, Tang D, Zhu W, Wang S, Dong Z. The effect of dietary bamboo charcoal supplementation on growth and serum biochemical parameters of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture Research*. 2018;49(3):1142-1152. doi: 10.1111/are.13564
13. Mekbungwan A, Yamauchi K, Sakaida T. Intestinal villus histological alterations in piglets fed dietary charcoal powder including wood vinegar compound liquid. *Anat Histol Embryol*. 2004;33(1):11-16. doi: 10.1111/j.1439-0264.2004.00501.x
14. Mirosnikov S, Notova S, Kazakova T, Marshinskaia O. The total accumulation of heavy metals in body in connection with the dairy productivity of cows. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021;28(36):49852-49863. doi: 10.1007/s11356-021-14198-6
15. Outa JO, Kowenje ChO, Avenant-Oldewage A, Jirsa F. Trace elements in crustaceans, mollusks and fish in the kenyan part of lake victoria: bioaccumulation, bioindication and health risk analysis. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2020;78(4):589-603. doi: 10.1007/s00244-020-00715-0
16. Pirarat N, Boonananthanasarn S, Krongpong L, Katagiri T, Maita M. Effect of activated charcoal-supplemented diet on growth performance and intestinal morphology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *The Thai Journal of Veterinary Medicine*. 2015;45(1):113-119. doi: 10.56808/2985-1130.2615
17. Raikwar MK, Kumar P, Singh M, Singh A. Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Vet World*. 2008;1(1):28-30. doi: 10.5455/vetworld.2008.28-30

18. Samadai S and Bahrekazemi M. The effect of diets containing different levels of active charcoal on growth performance, body composition, haematological parameters and possibility of heavy metals detoxification in big sturgeon (*Huso huso*). *Aquaculture Research*. 2019;51(1):91-101. doi: 10.1111/are.14350
19. Tangpong J, Satarug S. Alleviation of lead poisoning in the brain with aqueous leaf extract of the *Thunbergia laurifolia* (Linn.). *Toxicol Lett*. 2010; 198(1):83-88. doi: 10.1016/j.toxlet.2010.04.031
20. Thompson GN, Robertson EF, Fitzgerald S. Lead mobilization during pregnancy. *Med J Aust*. 1985;143(3):131. doi: 10.5694/j.1326-5377.1985.tb122859.x
21. Wang N, Jiang M, Zhang P, et al. Amelioration of Cd-induced bioaccumulation, oxidative stress and intestinal microbiota by *Bacillus cereus* in *Carassius auratus gibelio*. *Chemosphere*. 2020;245:125613. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125613

Информация об авторах:

Олег Владимирович Иньшин, аспирант 2 года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-987-793-88-70.

Елена Петровна Мирошникова, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-987-862-98-86.

Азамат Ерсанович Аринжанов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-806-33-43.

Сергей Александрович Мирошников, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8(3532)30-81-70; ректор, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13, тел.: 8(3532)77-67-70.

Information about the authors:

Oleg V Inshin, Postgraduate student of 2 year of study, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvary St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-793-88-70.

Elena P Miroshnikova, Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-987-862-98-86.

Azamat E Arinzhanov, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-922-806-33-43.

Sergey A Miroshnikov, Dr. Sci. (Biology), Professor, RAS Corresponding Member, Chief Researcher of the Department of Feeding for Farm Animals and Feed Technology named after Leushin SG, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvary St., Orenburg, 460000, tel.: 8(3532)30-81-70; Rector, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8(3532)77-67-70.

Статья поступила в редакцию 26.03.2024; одобрена после рецензирования 25.04.2024; принята к публикации 10.06.2024.

The article was submitted 26.03.2024; approved after reviewing 25.04.2024; accepted for publication 10.06.2024.