

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

Научная статья
УДК 639.37:577.1
doi:10.33284/2658-3135-105-2-8

Влияние ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост и аминокислотный состав печени рыб

Мария Сергеевна Аринжанова¹, Елена Петровна Мирошникова², Азамат Ерсанович Аринжанов³, Юлия Владимировна Килякова⁴

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской Академии наук, Оренбург, Россия

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

¹marymiroshnikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1898-9307>

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

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

⁴fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по изучению влияния ультрадисперсных частиц (УДЧ) диоксида кремния (SiO₂) в различных дозировках в составе рациона молоди карпа на рост, аминокислотный состав печени и химический состав мышечной ткани рыб. В ходе экспериментальных исследований установлено, что включение в рацион рыб УДЧ SiO₂ сопровождается повышением интенсивности роста рыб на 10,2 % (доза – 100 мг/кг корма), на 14,1 % (200 мг/кг) и на 11 % (300 мг/кг) относительно контрольной группы. Включение в рацион карпа УДЧ SiO₂ в дозах 100 и 200 мг/кг корма способствует повышению уровня аминокислот относительно контрольных значений. В частности, в дозе УДЧ SiO₂ 100 мг/кг зафиксировано повышение аланина на 0,18 % (P≤0,05), валина – на 0,21 % (P≤0,05), глицина – на 0,16 % (P≤0,05), гистидина – на 0,10 % (P≤0,05), лейцина+изолейцина – на 0,60 % (P≤0,05), метионина – на 0,16 % (P≤0,01), пролина – на 0,13 % (P≤0,05), тирозина – на 0,16 % (P≤0,001), серина – на 0,14 % (P≤0,05) и фенилаланина – на 0,19 % (P≤0,01). В дозе УДЧ SiO₂ 200 мг/кг корма зафиксировано повышение аланина на 0,28 % (P≤0,01), валина – на 0,27 % (P≤0,01), глицина – на 0,20 % (P≤0,05), гистидина – на 0,07 % (P≤0,05), лейцина+изолейцина – на 0,65 % (P≤0,05), пролина – на 0,11 % (P≤0,05), серина – на 0,14 % (P≤0,05), метионина – на 0,15 % (P≤0,01), треонина – на 0,15 % (P≤0,05), тирозина – на 0,19 % (P≤0,001) и фенилаланина – на 0,22 % (P≤0,01). Таким образом, включение в рацион рыб УДЧ SiO₂ сопровождается изменением обмена аминокислот в организме рыб, способствует повышению в печени как заменимых, так и незаменимых аминокислот и приводит к повышению продуктивности карпа.

Ключевые слова: карп, кормление, диоксид кремния, ультрадисперсные частицы, печень, аминокислотный состав

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-26-00281.

Для цитирования: Влияние ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост и аминокислотный состав печени рыб / М.С. Аринжанова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 2. С. 8-16. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-2-8>

NANOTECHNOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY AND FODDER PRODUCTION

Original article

Influence of ultrafine particles of silicon dioxide on the growth and amino acid composition of fish liver

Maria S Arinzhanova¹, Elena P Mirosnikova², Azamat E Arinzhanov³, Yulia V Kilyakova⁴

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

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

¹marymiroshnikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1898-9307>

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

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

⁴fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

Abstract. The article presents the results of studies on the effect of ultrafine particles of silicon dioxide (SiO₂) in various dosages as part of the diet of baby carp on growth, amino acid composition of liver and chemical composition of fish muscle tissue. In the course of experimental studies, it was found

that the inclusion ultrafine of SiO₂ in the diet of fish is accompanied by an increase in the intensity of fish growth by 10.2% (dose 100 mg/kg of feed), by 14.1% (200 mg/kg) and by 11% (300 mg /kg), relative to the control group. The inclusion of ultrafine SiO₂ in the diet of carp in doses of 100 and 200 mg/kg of feed promotes an increase in the level of amino acids relative to control values. In particular, at a dose of ultrafine SiO₂ 100 mg/kg: an increase in alanine by 0.18% (P≤0.05), valine by 0.21% (P≤0.05), glycine by 0.16% (P ≤0.05), histidine by 0.10% (P≤0.05), leucine + isoleucine by 0.60% (P≤0.05), methionine by 0.16% (P≤0.01), proline by 0.13% (P≤0.05), tyrosine by 0.16% (P≤0.001), serine by 0.14% (P≤0.05) and phenylalanine by 0.19% (P≤0.001). At a dose of ultrafine SiO₂ 200 mg/kg of feed, an increase in alanine by 0.28% (P≤0.01), valine by 0.27% (P≤0.01), glycine by 0.20% (P≤0.05), histidine by 0.07% (P≤0.05), leucine + isoleucine by 0.65% (P≤0.05), proline by 0.11% (P≤0.05), serine by 0.14% (P≤0.05), methionine by 0.15% (P≤0.01), threonine by 0.15% (P≤0.05), tyrosine by 0.19% (P≤0.001) and phenylalanine by 0.22% (P≤0.01). Thus, the inclusion of ultrafine SiO₂ in the diet of fish is accompanied by a change in the metabolism of amino acids in the body of fish, promotes an increase in both essential and non-essential amino acids in liver, and leads to an increase in the productivity of carp.

Keywords: carp, feeding, silicon dioxide, ultrafine particles, liver, amino acid composition

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-26-00281.

For citation: Arinzhanova MS, Miroschnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Influence of ultrafine particles of silicon dioxide on the growth and amino acid composition of fish liver. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(2):8-16. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-2-8>

Введение.

Использование рыбы и морепродуктов, включая водные растения, увеличилось примерно на 8 % за последние 30 лет при высоких темпах роста мирового животноводства (Tacon AGJ and Metian M, 2013). С 1986 по 2016 год годовое потребление рыбной продукции увеличилось с 71,8 млн тонн до 148,2 млн тонн, а в 2018 году – до 156,4 млн тонн, благодаря непрерывной добыче и выращиванию рыбы для потребления человеком (FAO, 2020). Таким образом, аквакультура является быстрорастущей отраслью и важным источником продуктов животного происхождения. Этот рост порождает повышенный спрос на корма для разводимой рыбы. По этой причине в мировой практике рыбководства как отрасли аквакультуры в настоящее время существует потребность в разработке и совершенствовании технологий выращивания и кормления разных видов рыб и других гидробионтов в прудовых, пастбищных и промышленных условиях.

Для интенсификации и рентабельности производства продукции аквакультуры значительное внимание отечественных и зарубежных учёных сосредоточено на оценке использования различных источников доступных, эффективных кормовых добавок. Среди экзогенных материалов огромную роль играют микроэлементы, способные оказывать влияние на обменные процессы в организме даже в мельчайших дозах.

Доказано, что минералы являются важными компонентами костей. Минерализация костей делает кости более твёрдыми, что позволяет скелету выдерживать гравитацию и дополнительную нагрузку (Shim MY et al., 2012). Традиционно кальций и фосфор считаются основными минералами в рационе животных, тогда как другие микроэлементы, особенно кремний (Si), игнорируются. Несмотря на то, что Si относится к распространённым микроэлементам, его биологическая роль, функциональное значение и особенности метаболизма до сих пор остаются мало изученными (Price CT et al., 2013; Martin KR, 2013). Имеются данные о том, что Si участвует в процессах минерализации костной ткани, в синтезе гликозаминогликанов, эластина и коллагена, придающих прочность и упругость соединительной ткани, а также укрепляет стенки сосудов (Garcimartín A et al., 2014; Faroog MA and Dietz KJ, 2015).

Препараты ультрадисперсных частиц (УДЧ) металлов-микроэлементов, благодаря своим свойствам: высокой биологической активности и выраженным продуктивным действием, способны стать неотъемлемым компонентом высокопродуктивных рационов (Яушева Е.В., 2016; Сизова Е.А.,

2017). Использование микроэлементов в наноформе в кормлении рыб позволяет стимулировать усвояемость питательных веществ корма (Аринжанов А.Е., 2013). Это хорошо понимают учёные, и количество исследований по применению нанотехнологических методов в аквакультуре растёт ежегодно (Dag AN et al., 2020).

Изучение фармакологических и нутриентных свойств ультрадисперсных частиц металлов как индивидуально, так и сочетанно с другими биодобавками является актуальным и представляет большой научный интерес. В связи с этим изучение влияния на организм рыб таких микроэлементов, как кремний, является перспективным.

Цель исследования.

Оценка влияния ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост рыбы, аминокислотный состав печени и химический состав мышечной ткани карпа.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Молодь карпа со средней массой 20 ± 3 г.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР No 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Для проведения опыта в условиях аквариумного стенда кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры ОГУ было отобрано 120 особей карпа, выращенных в условиях ООО «Ирикла-рыба», и методом пар-аналогов сформированы экспериментальные группы. Рыбы контрольной группы получали основной рацион (ОР), а рыбам опытных групп дополнительно вводили УДЧ SiO_2 в различных дозировках: I опытная – ОР+УДЧ SiO_2 (100 мг/кг корма); II опытная – ОР+УДЧ SiO_2 (200 мг/кг корма); III опытная – ОР+УДЧ SiO_2 (300 мг/кг корма). В качестве ОР использовали комбикорм КРК-110-1 (ОАО «Оренбургский комбикормовый завод», г. Оренбург). Суточную норму кормления рыб определяли на основе массы тела и температуры воды (Пономарев С.В. и др., 2013).

Дозировки УДЧ выбраны на основе проведённых исследований, в которых отражён положительный эффект влияния УДЧ SiO_2 на организм животных (Мустафин Р.З. и Мустафина А.С., 2021). УДЧ SiO_2 $d=388 \pm 117$ нм получены методом плазмохимического синтеза (ООО «Плазмотерм», г. Москва). УДЧ вводили после 30 мин диспергирования препарата в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т (f-35 кГц, N-300 Вт, A-10 мкА).

Оборудование и технические средства. Лабораторные исследования проводились с использованием оборудования ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф> по стандартным методикам. Были использованы следующие приборы: система капиллярного электрофореза «Капель-105» (ООО «Люмэкс-маркетинг», Россия), хроматограф газовый "Кристалл 2000М" (ЗАО СКБ "Хроматэк", Россия), спектрометр атомно-абсорбционный с пламенной атомизацией «КВАНТ-2» (ООО «КОРТЭК», Россия).

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) \pm стандартная ошибка среднего (m). Определение достоверности различий определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали результаты при $P \leq 0,05$.

Результаты исследования.

В ходе эксперимента сохранность рыб во всех группах составила 100 %. Включение в рацион рыб УДЧ SiO_2 в различных дозировках положительно отразилось на росте и развитии подопытного карпа. Результаты выявили определённую закономерность в динамике роста карпа (рис. 1).

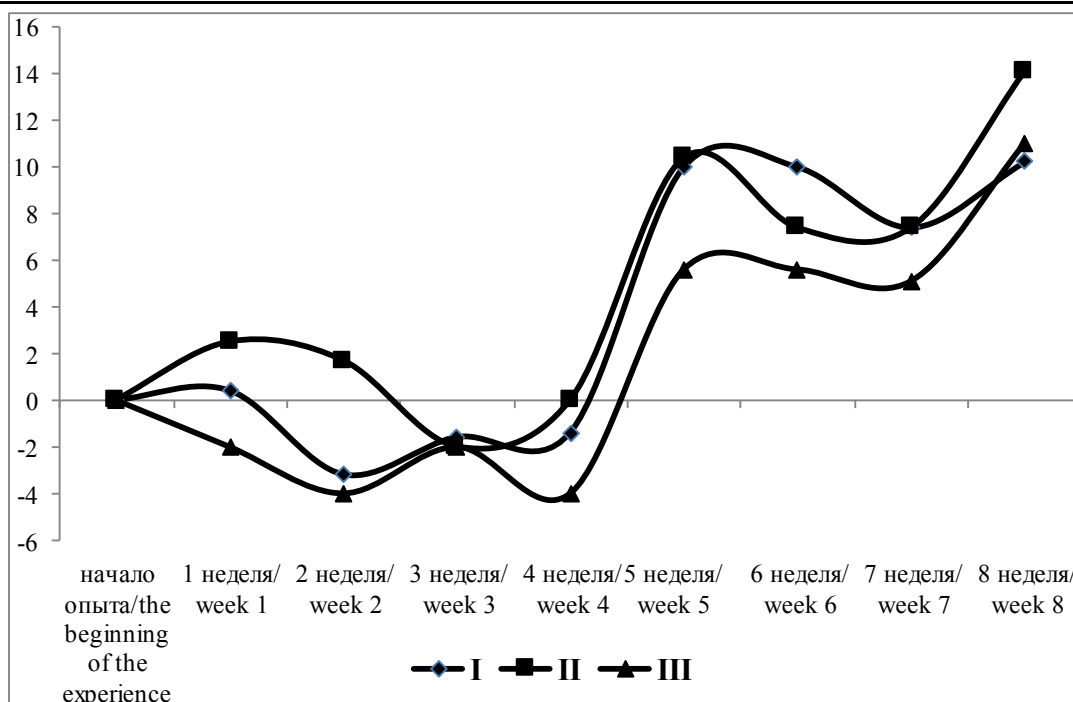


Рис. 1 – Разница живой массы рыб опытных групп по сравнению с контрольной, %
Figure 1 – Difference in live weight of fish from experimental groups compared to control, %

В первые четыре недели достоверных отличий по динамике изменений живой массы рыб между группами не отмечено. Начиная с пятой недели эксперимента, мы констатировали увеличение массы тела в I, II и III опытных группах на 10,2 % ($P \leq 0,05$), 10,4 % ($P \leq 0,05$) и 5,6 % соответственно по сравнению с контролем. Ростостимулирующий эффект зафиксирован и в последующие недели, вплоть до конца исследования. Так, на восьмой неделе эксперимента зарегистрирована максимальная разница по живой массе в I опытной группе на 10,2 % ($P \leq 0,05$), II – 14,1 % ($P \leq 0,05$) и в III группе – 11 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля.

Исследование уровня аминокислот в печени рыб выявила достоверное влияние ультрадисперсных частиц диоксида кремния (табл. 1).

Таблица 1. Аминокислотный состав печени подопытных рыб, (M±m), %
Table 1. Amino acid composition of liver of experimental fish, (M±m), %

Наименование показателей / Name of indicators	Группа / Group			
	контроль / control	I	II	III
Аргинин / Arginine	1,04±0,02	1,00 ± 0,01	0,98 ± 0,006	0,88 ± 0,006
Аланин / Alanin	1,87±0,04	2,05 ± 0,06*	2,15 ± 0,07**	1,94 ± 0,05
Валин / Valine	2,13±0,03	2,34 ± 0,04*	2,40 ± 0,05**	2,22 ± 0,03
Глицин / Glycine	1,96 ± 0,05	2,12 ± 0,06*	2,16 ± 0,07*	1,99 ± 0,05
Гистидин / Histidine	0,71 ± 0,02	0,81 ± 0,03*	0,78 ± 0,03*	0,69 ± 0,02
Лизин / Lysine	0,89 ± 0,01	0,93 ± 0,01	1,00 ± 0,02	0,87 ± 0,01
Лейцин+изолейцин / Leucine+Isoleucine	4,28 ± 0,1	4,88 ± 0,3*	4,93 ± 0,3*	4,52 ± 0,2
Метионин / Methionine	0,88 ± 0,02	1,04 ± 0,04**	1,03 ± 0,03**	0,97 ± 0,02*
Пролин / Proline	1,56 ± 0,04	1,69 ± 0,05*	1,67 ± 0,05*	1,65 ± 0,03*
Треонин / Threonine	1,63 ± 0,04	1,71 ± 0,05	1,78 ± 0,06*	1,73 ± 0,05
Тирозин / Tyrosine	1,03 ± 0,01	1,19 ± 0,02***	1,22 ± 0,03***	1,09 ± 0,04
Серин / Serine	1,74 ± 0,05	1,88 ± 0,06*	1,88 ± 0,05*	1,78 ± 0,04
Фенилаланин / Phenylalanine	1,35 ± 0,03	1,54 ± 0,03**	1,57 ± 0,04**	1,42 ± 0,03

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$; *** – $P \leq 0.001$

Анализ аминокислотного состава печени установил достоверное повышение уровня аминокислот при дозах УДЧ SiO₂ 100 и 200 мг/кг корма. В I группе установлено повышение уровня аланина на 0,18 % (P≤0,05), валина – на 0,21 % (P≤0,05), глицина – на 0,16 % (P≤0,05), гистидина – на 0,10 % (P≤0,05), лейцина+изолейцина – на 0,60 % (P≤0,05), серина – на 0,14 % (P≤0,05), метионина – на 0,16 % (P≤0,01), пролина – на 0,13 % (P≤0,05), тирозина – на 0,16 % (P≤0,001) и фенилаланина – на 0,19 % (P≤0,01) относительно контрольных значений.

Во II группе при дозе УДЧ SiO₂ 200 мг/кг корма зафиксировано повышение уровня аланина на 0,28 % (P≤0,01), валина – на 0,27 % (P≤0,01), гистидина – на 0,07 % (P≤0,05), глицина – на 0,20 % (P≤0,05), лейцина+изолейцина – на 0,65 % (P≤0,05), серина – на 0,14 % (P≤0,05), метионина – на 0,15 % (P≤0,01), пролина – на 0,11 % (P≤0,05), треонина – на 0,15 % (P≤0,05), тирозина – на 0,19 % (P≤0,001) и фенилаланина – на 0,22 % (P≤0,01) относительно контрольных значений.

При максимальной дозе введения УДЧ SiO₂ в рацион рыб достоверное повышение уровня аминокислот отмечено лишь для метионина и пролина – на 0,09 % (P≤0,05) по сравнению с контролем. Достоверных отличий по другим аминокислотам установлено не было.

Скелетная мускулатура костистых рыб составляет до 60 % от общей массы тела и является наиболее распространённой тканью, обладающей набором характеристик, необходимых для физиологии и метаболизма рыб и имеющих большое значение для аквакультуры (Sänger AM and Stoiber W, 2001). Анализ химического состава мышечной ткани не установил достоверных различий между группами за исключением повышения содержания жира на 35 % (P≤0,05) во II группе по сравнению с контролем (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав мышечной ткани карпа, (M±m), %

Table 2. Chemical composition of carp muscle tissue, (M±m), %

Группа / Group	Наименование показателей / Name of indicators			
	Сухое вещество/ Dry matter	Протеин / Protein	Жир / Lipids	Зола / Ash
Контроль/ control	19,95±1,25	15,52±1,02	2,62±0,19	0,97±0,02
I	20,74±0,85	12,88±0,9	2,78±0,17	0,97±0,01
II	21,9±0,76	12,88±1,03	3,54±0,19*	0,96±0,01
III	19,95±0,60	16,06±1,32	2,53±0,15	0,97±0,02

Примечание: * – P≤0,05

Note: * – P≤0.05

Обсуждение полученных результатов.

Кремнийсодержащие добавки уже показали свою эффективность в кормлении теплокровных животных и птицы (Еремич С.В., 2016; Incharoen T et al., 2016; Мирошников С.А. и др., 2020). Кремний улучшает физиологическое состояние и повышает усвояемость питательных веществ в организме, активизируя работу ферментов (Потапов В. и др., 2012).

Установленный нами ростостимулирующий эффект влияния УДЧ имеет сходную динамику с результатами предыдущих исследований, в которых также отмечен рост рыб после адаптации к ультрадисперсным добавкам, продолжительностью 3-4 недели (Аринжанов А.Е., 2013). Продуктивность роста рыб на фоне введения в рацион УДЧ SiO₂ согласуется с ранее проведёнными исследованиями УДЧ SiO₂ на цыплятах-бройлерах и связана со способностью УДЧ стимулировать рост количества NO-метаболитов и иммунный ответ (Яушева Е.В. и др., 2016), но при этом нами не зафиксировано повышение содержания аргинина в печени.

Аминокислотный пул тканей и органов животных изменяется при патологических состояниях. Недостаток аминокислот отражается на скорости роста, так как они играют важную роль в транспорте питательных веществ и участвуют в синтезе широкого спектра биологически активных

веществ. Печень осуществляет стабилизацию пула свободных аминокислот в плазме крови и с почками осуществляет перераспределение азота в результате реакций трансминирования (Dejong CH et al., 2007).

Повышение уровня таких незаменимых аминокислот, как лейцин, изолейцин, валин, треонин, фенилаланин в печени рыб подтверждает влияние УДЧ SiO₂ при дозировках 100 и 200 мг/кг на доставку аминокислот к органам и тканям и свидетельствует об активизации белкового обмена (Vasconcellos R et al., 2016; Макарова Г.П. и др., 2019). При этом введение в рацион карпа УДЧ SiO₂ при дозировке 300 мг/кг, вероятно, сопровождается повышением окислительного стресса (Mostafavi-Pour Z et al., 2008; Сизова Е.А. и др., 2016) и, как следствие, отразилось на уровне обмена аминокислот в печени рыб.

Заключение.

Исследования показали, что введение в рацион рыб УДЧ SiO₂ в дозах 100 и 200 мг/кг корма сопровождается изменением обмена аминокислот в организме, повышается уровень аланина, валина, глицина, гистидина, лейцина, изолейцина, метионина, пролина, серина, треонина, тирозина, фенилаланина в печени рыб и приводит к повышению продуктивности карпа на 10,2-14,1 % относительно контрольных значений.

Список источников

1. Аминокислотный состав мяса двухлеток карпа после применения кремнийсодержащего препарата / Г.П. Макарова, И.А. Лыкасова, З.П. Мухамедьярова, А.С. Мижевикина // АПК России. 2019. Т. 26. № 4. С. 669-674. [Makarova GP, Lykasova IA, Mukhamedyarova ZP, Mizhevikina AS. Two-year-old carp meat amino acid composition after using a silicon-containing preparation. Agro-Industrial Complex of Russia. 2019;26(4):669-674. (In Russ.)].
2. Аринжанов А.Е. Продуктивность и обмен веществ у карпа при использовании рационов, содержащих различные формы железа и кобальта: дис. ... канд. с.-х. наук. Оренбург, 2013. 139 с. [Arinzhanov AE. Produktivnost' i obmen veshchestv u karpa pri ispol'zovanii racionov soderzhashchih razlichnyye formy zheleza i kobal'ta. [dissertation] Orenburg; 2013:139 p. (In Russ.)].
3. Еремин С.В. Влияние нанобиологической кормовой добавки «Набикат» в рационах цыплят-бройлеров на их продуктивность и гематологические показатели // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 121. С. 2165-2176. [Eremin SV. The effect of nano biological feed supplement "Nabikat" in rations of broiler chickens on their productivity and hematological parameters. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2016;121:2165-2175. (In Russ.)]. doi: 10.21515/1990-4665-121-137
4. Мирошников С.А., Мустафина А.С., Губайдуллина И.З. Оценка действия ультрадисперсного оксида кремния на организм цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 1. С. 20-32. [Miroshnikov SA, Mustafina AS, Gubaidullina IZ. Evaluation of action of ultrafine silicon oxide on the body of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(1):20-32. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-20
5. Мустафин Р.З., Мустафина А.С. Определение рациональной дозы диоксида кремния в кормлении цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 1. С. 8-19. [Mustafin RZ, Mustafina AS. Determination of the rational dose of silicon dioxide in the feeding of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(1):8-19. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-8
6. Нанодисперсный диоксид кремния: применение в медицине и ветеринарии / В. Потапов, С. Мурадов, В. Сивашенко, С. Рогатых // Наноиндустрия. 2012. № 3(33). С. 32-37. [Potapov V, Muradov S, Sivashenko V, Rogaty S. Nanosilica: uses in medicine and veterinary practice. Nanoindustry. 2012; 3(33):32-37. (In Russ.)].

7. Наночастицы Fe в сочетании с аминокислотами изменяют продуктивные и иммунологические показатели у цыплят-бройлеров / Е.В. Яушева, С.А. Мирошников, Д.Б. Косян, Е.А. Сизова // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 6. С. 912-920. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.912rus [Yausheva EV, Miroshnikov SA, Kosyan DB, Sizova EA. Nanoparticles in combination with amino acids change productive and immunological indicators of broiler chicken. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2016; 51(6):912-920. (In Russ.)]. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.912eng
8. О перспективности нанопрепаратов на основе сплавов микроэлементов-антагонистов (на примере Fe и Co) / Е.А. Сизова, С.А. Мирошников, С.В. Лебедев, А.В. Кудашева, Н.И. Рябов // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 4. С. 553-562. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553rus. [Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Kudasheva AV, Ryabov NI. To the development of innovative mineral additives based on alloy of Fe and Co antagonists as an example. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2016;51(4):553-562. (In Russ.)]. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553eng
9. Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Индустриальное рыбоводство: учебник. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2013. 416 с. [Ponomarev SV, Grozesku YuN, Bakhareva AA. Industrial'noe rybovodstvo: uchebnik. 2-e izd., ispr. i dop. Sankt-Peterburg: Lan'; 2013:416 p. (In Russ.)].
10. Сизова Е.А. Обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров при использовании в питание ультрадисперсных препаратов-микроэлементов: дис. ... д-ра биол. наук. Оренбург, 2017. 344 с. [Sizova EA. Obmen veshchestv i produktivnost' cyplyat-brojlerov pri ispol'zovanii v pitanie ul'tradispersnyh preparatov-mikroelementov. [dissertation] Orenburg; 2017:344 p. (In Russ.)].
11. Яушева Е.В. Влияние ультрадисперсных препаратов железа и меди на продуктивность и обмен веществ цыплят-бройлеров: дис. ... канд. биол. наук. Оренбург, 2016. 171 с. [Yausheva EV. Vliyanie ul'tradispersnyh preparatov zheleza i medi na produktivnost' i obmen veshchestv cyplyat-brojlerov. [dissertation] Orenburg; 2016:171 p. (In Russ.)].
12. Dar AH, Rashid N, Majid I, Hussain S, Dar MA. Nanotechnology interventions in aquaculture and seafood preservation. Crit Rev Food Sci Nutr. 2020;60(11):1912-1921. doi: 10.1080/10408398.2019.1617232
13. Dejong CH, van de Poll MC, Soeters PB, Jalan R, Olde Damink SWM. Aromatic amino acid metabolism during liver failure. J Nutr. 2007;137(6):1579S-1585S. doi: 10.1093/jn/137.6.1579S
14. FAO. The State of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action. Italy, Rome; 2020:244 p. doi: 10.4060/ca9229en
15. Farooq MA, Dietz KJ. Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. Front Plant Sci. 2015;6:994. doi: 10.3389/fpls.2015.00994
16. Garcimartin A, Merino JJ, González MP, Sánchez-Reus MI, Sánchez-Muniz FJ, Bastida S, Benedí J. Organic silicon protects human neuroblastoma SH-SY5Y cells against hydrogen peroxide effects. BMC Complement Altern Med. 2014;14:384. doi: 10.1186/1472-6882-14-384
17. Incharoen T, Tartrakoon W, Nakhon S, Treetan S. Effects of dietary silicon derived from rice hull ash on the meat quality and bone breaking strength of broiler chickens. Asian J Anim Vet Adv. 2016;11(7):417-422. doi: 10.3923/ajava.2016.417.422
18. Martin KR. Silicon: the health benefits of a metalloid. In: Sigel A, Sigel H, Sigel RKO, editors. Metal Ions Life Sciences. 2013;13:451-473. doi: 10.1007/978-94-007-7500-8_14
19. Mostafavi-Pour Z, Zal F, Monabati A, Vessal M. Protective effects of a combination of Quercetin and vitamin E against cyclosporine A-induced oxidative stress and hepatotoxicity in rats. Hepatol Res. 2008;38(4):385-392. doi: 10.1111/j.1872-034X.2007.00273.x
20. Price CT, Koval KJ, Langford JR. Silicon: a review of its potential role in the prevention and treatment of postmenopausal osteoporosis. Int J Endocrinol. 2013;2013:316783. doi: 10.1155/2013/316783
21. Sängner AM, Stoiber W. 7-Muscle fiber diversity and plasticity. Fish Physiology. 2001;18:187-250.
22. Shim MY, Karnuah AB, Mitchell AD, Anthony NB, Pesti GM, Aggrey SE. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content and bone ash in broilers. Poultry Sci. 2012;91(8):1790-1795. doi: 10.3382/ps.2011-01968

23. Tacon AGJ, Metian M. Fish Matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Rev Fish Sci.* 2013;21(1):22-38. doi: 10.1080/10641262.2012.753405

24. Vasconcellos R, Alvarenga EC, Parreira RC, Lima SS, Resende RR. Exploring the cell signaling in hepatocyte differentiation. *Cell Signal.* 2016;28(11):1773-1788. doi: 10.1016/j.cellsig.2016.08.011

References

1. Makarova GP, Lykasova IA, Mukhamedyarova ZP, Mizhevnikina AS. Two-year-old carp meat amino acid composition after using a silicon-containing preparation. *Agro-Industrial Complex of Russia.* 2019;26(4):669-674.

2. Arinzhanov AE. Productivity and metabolism in carp when using diets containing various forms of iron and cobalt. [dissertation] Orenburg; 2013:139 p.

3. Eremin SV. The effect of nano biological feed supplement "Nabikat" in rations of broiler chickens on their productivity and hematological parameters. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University.* 2016;121:2165-2175. doi: 10.21515/1990-4665-121-137

4. Miroshnikov SA, Mustafina AS, Gubaidullina IZ. Evaluation of action of ultrafine silicon oxide on the body of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2020;103(1):20-32. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-20

5. Mustafin RZ, Mustafina AS. Determination of the rational dose of silicon dioxide in the feeding of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2021;104(1):8-19. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-8

6. Potapov V, Muradov S, Sivashenko V, Rogaty S. Nanosilica: uses in medicine and veterinary practice. *Nanoindustry.* 2012;3(33):32-37.

7. Yausheva EV, Miroshnikov SA, Kosyan DB, Sizova EA. Nanoparticles in combination with amino acids change productive and immunological indicators of broiler chicken. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology].* 2016;51(6):912-920. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.912eng

8. Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Kudasheva AV, Ryabov NI. To the development of innovative mineral additives based on alloy of Fe and Co antagonists as an example. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology].* 2016;51(4):553-562. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553eng

9. Ponomarev SV, Grozesku YuN, Bakhareva AA. *Industrial fish farming: textbook.* 2nd ed., rev. and additional. Sankt-Peterburg: Lan^o; 2013:416 p.

10. Sizova EA. Metabolism and productivity of broiler chickens when using ultrafine micronutrient preparations in nutrition. [dissertation] Orenburg; 2017:344 p.

11. Yausheva EV. Influence of ultrafine preparations of iron and copper on the productivity and metabolism of broiler chickens. [dissertation] Orenburg; 2016:171 p.

12. Dar AH, Rashid N, Majid I, Hussain S, Dar MA. Nanotechnology interventions in aquaculture and seafood preservation. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2020;60(11):1912-1921. doi: 10.1080/10408398.2019.1617232

13. Dejong CH, van de Poll MC, Soeters PB, Jalan R, Olde Damink SWM. Aromatic amino acid metabolism during liver failure. *J Nutr.* 2007;137(6):1579S-1585S. doi: 10.1093/jn/137.6.1579S

14. FAO. *The State of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action.* Italy, Rome; 2020:244 p. doi: 10.4060/ca9229en

15. Farooq MA, Dietz KJ. Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. *Front Plant Sci.* 2015;6:994. doi: 10.3389/fpls.2015.00994

16. Garcimartín A, Merino JJ, González MP, Sánchez-Reus MI, Sánchez-Muniz FJ, Bastida S, Benedí J. Organic silicon protects human neuroblastoma SH-SY5Y cells against hydrogen peroxide effects. *BMC Complement Altern Med.* 2014;14:384. doi: 10.1186/1472-6882-14-384

17. Incharoen T, Tartrakoon W, Nakhon S, Treetan S. Effects of dietary silicon derived from rice hull ash on the meat quality and bone breaking strength of broiler chickens. *Asian J Anim Vet Adv.* 2016;11(7):417-422. doi: 10.3923/ajava.2016.417.422
18. Martin KR. Silicon: the health benefits of a metalloid. In: Sigel A, Sigel H, Sigel RKO, editors. *Metal Ions Life Sciences.* 2013;13:451-473. doi: 10.1007/978-94-007-7500-8_14
19. Mostafavi-Pour Z, Zal F, Monabati A, Vessal M. Protective effects of a combination of Quercetin and vitamin E against cyclosporine A-induced oxidative stress and hepatotoxicity in rats. *Hepatol Res.* 2008;38(4):385-392. doi: 10.1111/j.1872-034X.2007.00273.x
20. Price CT, Koval KJ, Langford JR. Silicon: a review of its potential role in the prevention and treatment of postmenopausal osteoporosis. *Int J Endocrinol.* 2013;2013:316783. doi: 10.1155/2013/316783
21. Sanger AM, Stoiber W. 7-Muscle fiber diversity and plasticity. *Fish Physiology.* 2001;18:187-250.
22. Shim MY, Karnuah AB, Mitchell AD, Anthony NB, Pesti GM, Aggrey SE. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content and bone ash in broilers. *Poultry Sci.* 2012;91(8):1790-1795. doi: 10.3382/ps.2011-01968
23. Tacon AGJ, Metian M. Fish Matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Rev Fish Sci.* 2013;21(1):22-38. doi: 10.1080/10641262.2012.753405
24. Vasconcellos R, Alvarenga C, Parreira RC, Lima SS, Resende RR. Exploring the cell signaling in hepatocyte differentiation. *Cell Signal.* 2016;28(11):1773-1788. doi: 10.1016/j.cellsig.2016.08.011

Информация об авторах:

Мария Сергеевна Аринжанова, аспирант 1 года обучения, младший научный сотрудник, отдел 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.: 8-922-867-57-10.

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.

Юлия Владимировна Киякова, кандидат биологических наук, доцент, кафедра «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-961-920-40-64.

Information about authors:

Maria S Arinzhanova, 1st year postgraduate student, Junior Researcher, Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after Leushin SG, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 89228675710.

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.

Julia V Kilyakova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-961-920-40-64.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 23.05.2022; принята к публикации 14.06.2022.

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 23.05.2022; accepted for publication 14.06.2022.