Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 88–95
Agrarian Scientific Journal. 2025;(11):88–95

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ
4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства

Научная статья
УДК 639.3.043:577.17
https://doi.org/10.28983/asj.y2025i11pp88-95

# Микробиом карпа при включении в рацион ванилина и ультрадисперсных частиц

**Марина Сергеевна Мингазова, Елена Петровна Мирошникова, Азамат Ерсаинович Аринжанов, Юлия Владимировна Килякова**
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия
e-mail: ms.mingazova@gmail.com

***Аннотация.*** Микробиота кишечника имеет жизненно важную роль в регуляции метаболизма в организме животных. Качественное и количественное изменение сообществ в микробиоте может привести к серьезным последствиям. В статье представлены сведения о микробиоме карпа (*Cyprinus carpio*), в рацион которого дополнительно включали кормовые препараты. Добавки наносили на основной рацион (ОР) путем напыления: I группа – ОР + ванилин (250 мг/кг корма), II группа – ОР + ультрадисперсные частицы диоксида кремния (УДЧ $SiO_2$) – 200 мг/кг корма, III группа – ОР + ванилин + УДЧ $SiO_2$ в аналогичных дозировках. Установлено, что кормовые препараты оказали различное действие на микробиом карпа. На уровне фил во всех группах доминировал *Pseudomonadota*, что характерно для пресноводных видов рыб. В то же время отмечено повышение численности фил *Fusobacteriota* в I группе и *Bacteroidota* во II группе. На уровне родов во II и III группах отмечали большое разнообразие представителей, при этом в I группе заметно снижение количества родов. Так, в I группе отмечали повышение *Vibrio* ($P \leq 0{,}01$), *Aeromonas* ($P \leq 0{,}01$) и *Cetobacterium* ($P \leq 0{,}01$) по сравнению с контролем. Во II группе установлено увеличение численности представителей *Aeromonas* ($P \leq 0{,}01$), при снижении *Aurantimicrobium* ($P \leq 0{,}05$) и *Polynucleobacter* ($P \leq 0{,}05$). Для III группы было характерно широкое разнообразие кишечной микробиоты на уровне родов. Доминирующим родом стал *Schlegelella* ($P \leq 0{,}05$), но при этом снизилась численность *Aurantimicrobium* ($P \leq 0{,}05$). Кроме того, в III группе выявлены представители родов, полностью отсутствующих в контрольной группе, неквалифицированных бактерий из семейства *Caulobacteraceae*, *Prauserella*, *Enhydrobacter*, *Parageobacillus*, *Lactobacillus* и *Luteolibacter*. Таким образом, включение в рацион карпа ванилина и УДЧ $SiO_2$ оказало влияние на качественный и количественный состав микробиома кишечника.

***Ключевые слова:*** карп, *Cyprinus carpio*, аквакультура, микробиом, кормление, ванилин, ультрадисперсные частицы

***Для цитирования:*** Мингазова М. С., Мирошникова Е. П., Аринжанов А.Е., Килякова Ю.В. Микробиом карпа при включении в рацион ванилина и ультрадисперсных частиц // Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 88–95. https://doi.org/10.28983/asj.y2025i11pp88-95.

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

Original article

# The carp microbiome when vanillin and ultrafine particles are included in the diet

**Marina S. Mingazova, Elena P. Miroshnikova, Azamat E. Arinzhanov, Julia V. Kilyakova**
Orenburg State University, Orenburg, Russia
e-mail: ms.mingazova@gmail.com

***Abstract.*** The gut microbiota has a vital role in regulating metabolism in animals. Qualitative and quantitative changes in communities in the microbiome can lead to serious consequences. The article presents information about the microbiome of carp (*Cyprinus carpio*), whose diet additionally included feed preparations. Additives were applied to the main diet (OR) by spraying: I group – OR + vanillin (250 mg/kg of feed), II group – OR + ultrafine particles of silicon dioxide ($SiO_2$) (200 mg/kg of feed), III group – OR + vanillin + ultrafine particles $SiO_2$ in similar dosages. The results of the study showed that feed preparations had a different effect on the microbiome of carp. At the phylum level, Pseudomonadota dominated in all groups, which is typical for freshwater fish species. At the same time, an increase in the number of *Fusobacteriota* phylum in I group and *Bacteroidota* in II group was noted. At the level of childbirth in II and III groups, a wide variety of representatives was noted, while in I group there was a noticeable decrease in childbirth. Thus, in I group, an increase in

*Vibrio* ($P \leq 0.01$), *Aeromonas* ($P \leq 0.01$) and *Cetobacterium* ($P \leq 0.01$) was noted compared with control samples. In II group, an increase in the number of representatives of *Aeromonas* ($P \leq 0.01$) was detected, with a decrease in *Aurantimicrobium* ($P \leq 0.05$) and Polynucleobacter ($P \leq 0.05$). III group was characterized by a greater diversity of intestinal microbiota at the level of childbirth. *Schlegelella* became the dominant genus ($P < 0.05$), but the number of *Aurantimicrobium decreased* ($P < 0.05$). In addition, representatives of genera completely absent from the control were identified in III group – *unclassified_Caulobacteraceae*, *Prauserella*, *Enhydrobacter*, *Parageobacillus*, *Lactobacillus* and *Luteolibacter*. Thus, the inclusion of vanillin and ultrafine particles $SiO_2$ in the diet of carp had an impact on the qualitative and quantitative composition of the intestinal microbiome.

***Keywords:*** carp, *Cyprinus carpio*, aquaculture, microbiome, feeding, vanillin, ultrafine particles

***For citation:*** Mingazova M. S., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Kilyakova Ju. V. The carp microbiome when vanillin and ultrafine particles are included in the diet. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2025;(11):88–95. (In Russ.). https://doi.org/10.28983/asj.y2025i11pp88-95.

***Введение.*** Микробиом кишечника – это совокупность представителей микробиоты (бактерий, вирусов и пр.), имеющих симбиотические отношения с организмом-хозяином и выполняющих важные биологические функции, в том числе способствуя перевариванию питательных веществ в рационе, улучшению ферментативной активности и повышению устойчивости к заболеваниям. В пределах микробного кластера существуют различные сообщества кишечных бактерий в зависимости от трофического уровня, среды обитания, методов отбора проб. В настоящее время микробиом рыб достаточно широко изучен, при этом основными объектами изучения являются карп и данио рерио [4].

При исследовании микробиоты кишечника основное внимание направлено на анализ взаимодействия различных представителей организма-хозяина. В частности, рассматривается влияние на состав кишечной флоры рациона питания. Большое значение имеет использование различных кормовых добавок в рационе рыб для улучшения микробиома кишечника. Так, применение антибиотиков приводит к снижению разнообразия кишечной микрофлоры, а использование пробиотических препаратов способствует улучшению состава микробиоты кишечника рыб [10].

Натуральные компоненты не оказывают отрицательного эффекта на организм и повышают устойчивость к различным заболеваниям. Например, ванилин способен улучшить выживаемость животных за счет регенерации кишечника и увеличения разнообразия представителей микробиоты. С другой стороны, перспективно использование ультрадисперсных частиц, действие которых направлено на стимулирование роста рыб и улучшение метаболической активности. Кроме того, они могут оказывать влияние на структуру кишечного сообщества, улучшая качественный и количественный состав микробиоты [5].

Таким образом, включение различных биологически активных веществ в состав рациона животных, в том числе рыб, оказывает положительное действие на состояние микробного сообщества. Это способствует улучшению всасывания кормовых добавок и стимулированию роста и иммунитета у гидробионтов.

Цель исследования – изучить микробиом карпа в связи с включением в рацион ванилина и ультрадисперсных частиц диоксида кремния.

***Материалы и методы.*** Эксперимент проводили в Оренбургском государственном университете на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры. Объект исследования – годовик карпа (*Cyprinus carpio*). Схема эксперимента: контроль (К) – основной рацион (ОР), I группа – ОР + ванилин (250 мг/кг корма), II группа – ОР + ультрадисперсные частицы диоксида кремния (УДЧ $SiO_2$) – 200 мг/кг корма, III группа – ОР + ванилин + УДЧ $SiO_2$. Основной рацион был представлен комбикормом КРК-110-1 (производитель – ОАО «Оренбургский комбикормовый завод», г. Оренбург, Россия).

Кормовые добавки наносили на корм путем напыления. Экспериментальное кормление (5 % от массы тела рыб) продолжалось 56 суток и осуществлялось в светлое время. Использовали ванилин (Sigma-Aldrich, Сент-Луис, США) и УДЧ $SiO_2$ (ИП Хисамутдинов Р. А., Россия).

Образцы кишечника для анализа микробиома у рыбы отбирали в последний день эксперимента после взвешивания и взятия крови. Исследование микробиоты осуществляли на базе Центра коллективного пользования «Персистенция микроорганизмов» (Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, г. Оренбург). Изучение микробиома проводили согласно общепринятой методике [3].

Для биоинформатической обработки результатов использовали программу FastQC, базы данных RDP (Ribosomal Database Project) и NCB I (Nucleotide BLAST). Статистический анализ выполняли с помощью программного обеспечения Excel (Microsoft, США) и Statistica 10.0 (StatSoftInc., США). Статистически значимыми считались значения с $P \leq 0,05$ и $P \leq 0,01$.

***Результаты исследований.*** Изучение микробного сообщества кишечника рыб является важной составляющей при исследовании действия различных кормовых добавок на организм, так как на состав микробиома оказывают влияние рацион, окружающая среда и антропогенное воздействие. Типичными представителями микробиоты рыб являются *Pseudomonadota*, *Bacillota*, *Bacteroidota*, *Actinomycetota*, *Fusobacteriota* [4]. Типичными представителями кишечного микробиома карпа (*Cyprinuscarpio*) являются *Pseudomonadota*, *Bacillota* и *Fusobacteriota* [14].

Установлено, что в микробном составе кишечника карпа контрольной группы преобладали *Pseudomonadota* (42,92 %), *Actinomycetota* (28,41 %), *Bacillota* (16,35 %), *Bacteroidota* (11,15 %) и другие (1,18 %), рисунок 1.

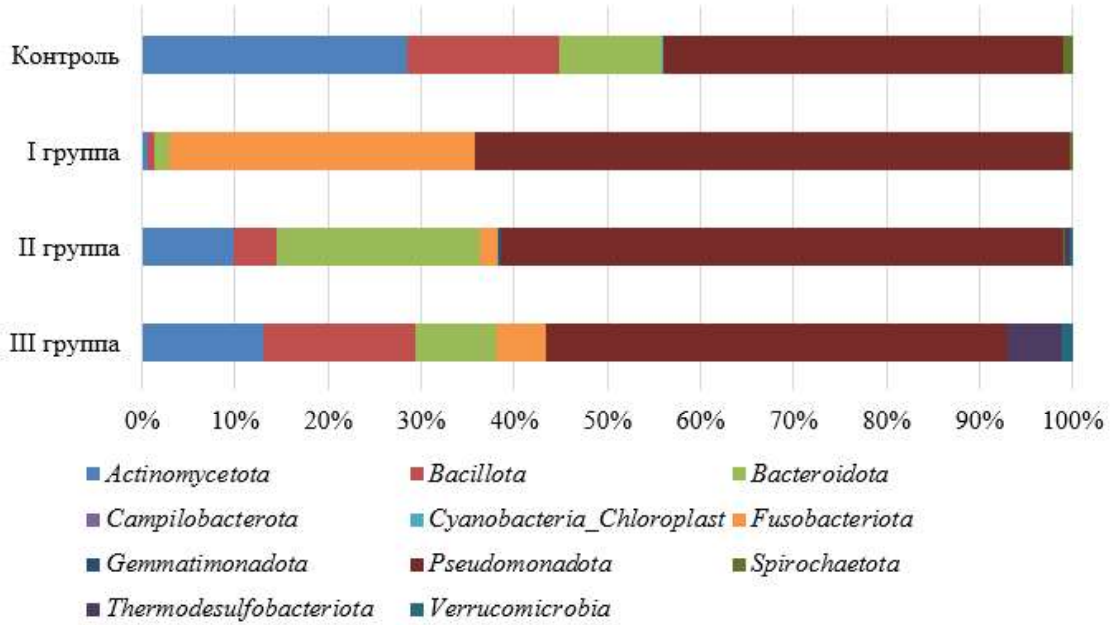


***Рисунок 1– Таксономическое разнообразие микробного сообщества на уровне фил в кишечнике карпа, %***

***Figure 1 – Taxonomic diversity of the microbial community at the phyl level in the carp intestine, %***

Включение в рацион карпа ванилина отражалось на микробном сообществе, изменяя его состав на уровне фил. Так, содержание *Pseudomonadota* (64,0 %) стало выше по сравнению с контролем на 21,09 % ($P \leq 0,05$). Появились представители фил *Fusobacteriota* (32,77 %, $P \leq 0,01$). В то же время снизилось содержание *Actinomycetota* (0,54 %, $P \leq 0,01$), *Bacillota* (0,82 %, $P \leq 0,001$) и *Bacteroidota* (1,59 %, $P \leq 0,01$). Содержание других представителей (*Campilobacterota*, *Spirochaetota* и *Verrucomicrobia*) не превышало 0,27 %.

Использование УДЧ $SiO_2$ расширило разнообразие состава микробиома на уровне фил (см. рисунок 1). Большая часть кишечного сообщества была представлена филами *Pseudomonadota* (60,4 %, $P \leq 0,05$) и *Bacteroidota* (21,75 %, $P \leq 0,01$). Также встречались в небольшом количестве *Actinomycetota* (9,8 %, $P \leq 0,05$), *Bacillota* (4,71 %, $P \leq 0,01$) и *Fusobacteriota* (1,96 %). Содержание других фил не превышало 1,38 % и было представлено *Thermodesulfobacteriota, Gemmatimonadota, Verrucomicrobia* и *Spirochaetota*.

Совместное включение в рацион ванилина и УДЧ $SiO_2$ отразилось на микробном составе на уровне фил (см. рисунок 1). Их представляли в основном *Pseudomonadota* (49,6 %), *Bacillota* (16,22 %) и *Actinomycetota* (13,08 %). В небольшом количестве присутствовали *Bacteroidota* (8,84 %), *Thermodesulfobacteriota* (5,84 %), *Fusobacteriota* (5,28 %) и *Verrucomicrobia* (1,15 %).

В целом, микробное сообщество кишечника рыб на уровне фил в контроле и опытных группах соответствовало типичному составу и обусловливало доминирование фила *Pseudomonadota* во всех группах. Раннее сообщалось, что количество *Pseudomonadota* может

варьироваться от 3 до 98 % у рыб и может повышаться при использовании в рационе кормовых добавок [4].

Кроме того, есть данные об изменении состава микробиома на уровне фил при температурном стрессе. Так, повышается обилие *Fusobacteriota* и *Bacteroidota* при тепловом стрессе, тогда как *Pseudomonadota* и *Bacillota* – при холодном [12]. Нами такая закономерность не выявлена, так как температура воды поддерживалась во всех аквариумах на оптимальном уровне. Ранее отмечалось, что применение добавок в кормлении рыб способствует снижению представителей фила *Actinomycetota*, при этом оптимальная численность *Bacteroidota* во II и III группах обусловливает улучшение ферментации и усвоения питательных веществ [16].

Следует отметить, что использование ванилина способствовало значительному изменению микробиомного состава кишечника рыб, повышая численность фила *Fusobacteriota*. Такое изменение отмечали при использовании в лечении рыб антибиотиков [13], что указывало на возможность применения ванилина в качестве альтернативы антибиотикам и не приводило к повышению антибиотикорезистентности у животных.

Несмотря на преобладающую численность фил *Pseudomonadota* в контроле и опытных группах, численность доминирующих родов может значительно различаться у рыб, главным образом на это влияет рацион. Так, в контроле на уровне родов (рисунок 2) преобладали *Aurantimicrobium* (23,34 %), *Polynucleobacter* (18,78 %) и *Firmicutes* (12,51 %), в небольшом количестве отмечали *Hydrotalea* (8,21 %), *Schlegelella* (7,72 %) и *Pseudoaeromonas* (5,45 %).

Оставшаяся часть родов (от 1,04 до 2,80 %) приходилась на *Aeromonas*, *Bosea*, *Bradyrhizobium*, *Brevinema*, *Caulobacter*, *Cutibacterium*, *Flavobacterium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, неквалифицированных бактерий из семейств *Alcaligenaceae* и *Alphaproteobacteria*, а также на других представителей родов, чье содержание не превышало 1 % от общего количества микробного сообщества.

При включении ванилина в рацион годовиков карпа значительно снижалось разнообразие родов в кишечной микробиоте (рисунок 3).

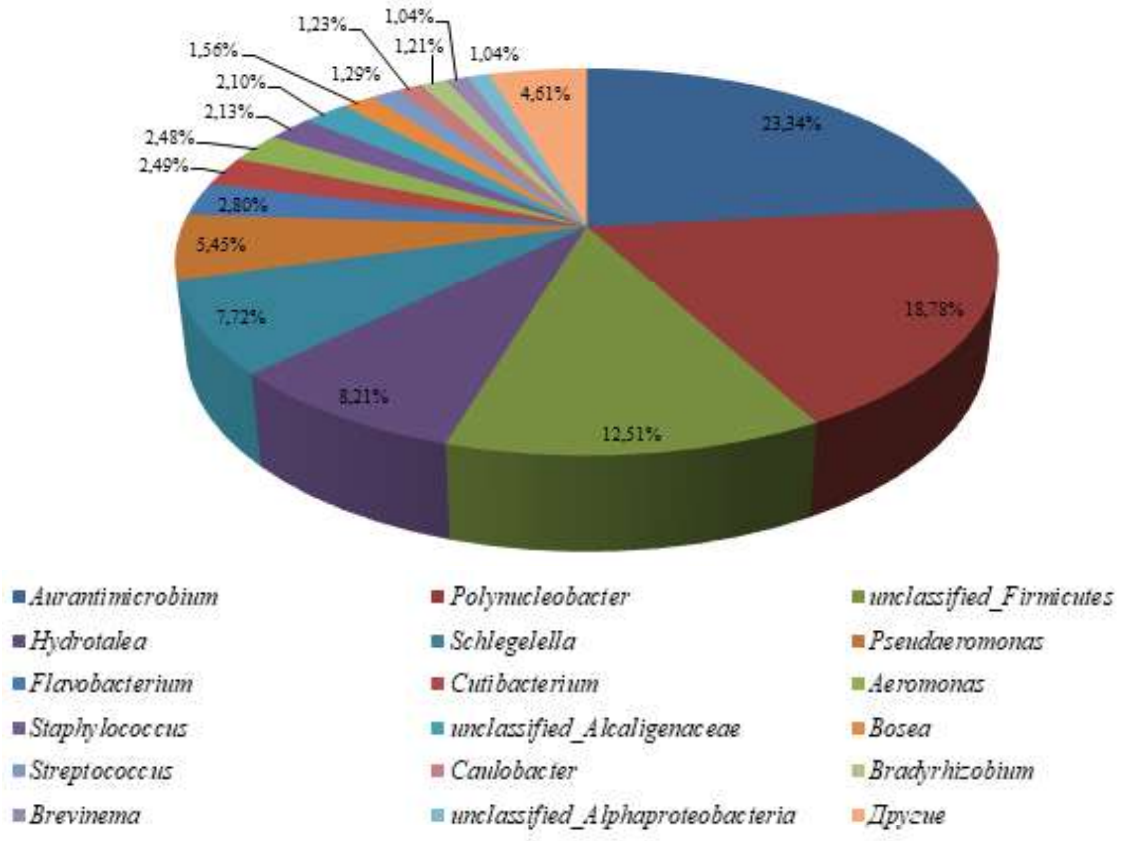


***Рисунок 2 – Таксономическое разнообразие микробного сообщества на уровне родов кишечника карпа контрольной группы, %***

***Figure 2 – Taxonomic diversity of the microbial community at the level of the carp intestinal genera of the control group, %***

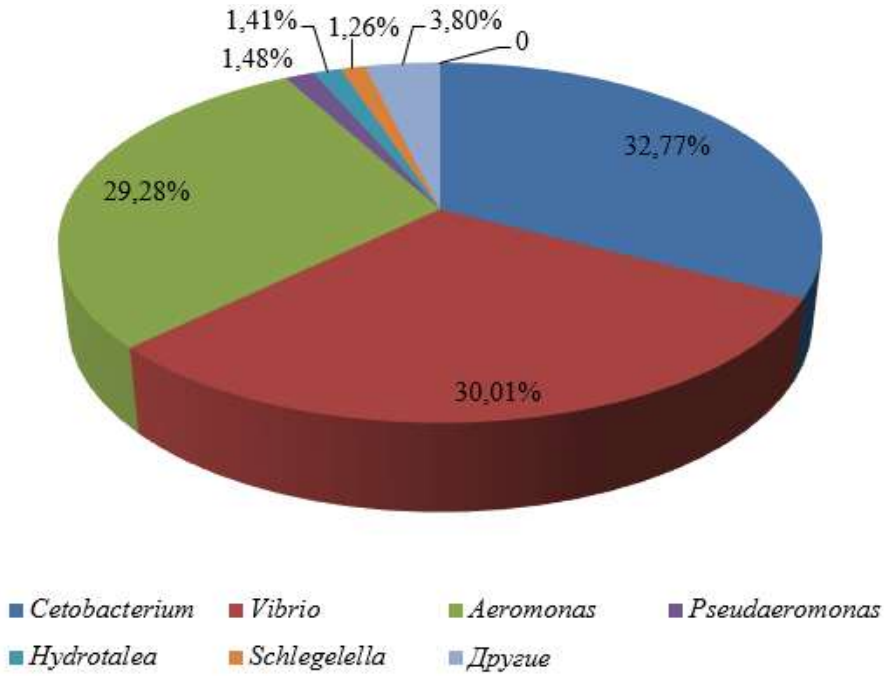


***Рисунок 3 – Таксономическое разнообразие микробного сообщества на уровне родов кишечника карпа I группы, %***

***Figure 3 – Taxonomic diversity of the microbial community at the level of the carp intestinal genera of the I group, %***

В I группе отмечали повышенное количество *Vibrio* (30,01 %) и *Aeromonas* (29,28 %) по сравнению с контролем на 29,94 % ($P \leq 0,01$) и 26,79 % ($P \leq 0,01$) соответственно. *Vibrio* и *Aeromonas* – патогенные микроорганизмы для гидробионтов, представители которых вызывают вибриоз и аэромоноз у рыб, повышая уровень смертности [15]. Однако нами не установлены внешние и внутренние клинические признаки заболеваний у рыб в I группе [1]. При этом только некоторые видовые представители рода *Vibrio* являются патогенными [2].

Однако в I группе появился род, отсутствующий в контроле, – *Cetobacterium*, общая численность которого составила 32,77 % ($P \leq 0,01$). Анаэробный кишечный микроб *Cetobacterium* является биомаркером здоровья рыб, в том числе инфицированным патогенными бактериями. Представители рода *Cetobacterium* синтезируют витамин $B_{12}$, что способствует изменению окислительно-восстановительного статуса кишечника и его структуры, а также оказывает положительное действие на функцию кишечного микробиома и стимулирует иммунный ответ на инфекции, вызываемые патогенными микроорганизмами [19]. Представители родов *Hydrotalea*, *Pseudaeromonas* и *Schlegelella* также сократились по сравнению с контролем до 6,8 %, а их общее количество в I группе составило 4,15 %.

В отличие от ванилина включение в рацион карпа УДЧ $SiO_2$ не привело к резкому сокращению численности представителей микробиома (рисунок 4). Во II группе насчитывали 15 родов, содержание которых в кишечной микробиоте превышало 1 %. На фоне включения в рацион карпа УДЧ $SiO_2$ доминирующим родом стал *Aeromonas* (35,32 %), превысив контрольный показатель на 32,84 % ($P \leq 0,01$). Представители рода *Aeromonas* достаточно часто встречаются в микробиоте кишечника пресноводной рыбы, и они могут не вызывать заболевания при содержании рыб в оптимальных условиях.

Численность таких родов, как *Aurantimicrobium* (1,28 %) и *Polynucleobacter* (1,92 %) снизилась на 22,06 % ($P \leq 0,05$) и 16,87 % ($P \leq 0,05$) относительно контрольной группы. Ранее описывалось, что численность представителей рода *Aurantimicrobium* может изменяться в связи с изменением содержания жира в кормах.Это может свидетельствовать о влиянии УДЧ в рационе на изменение липидного обмена веществ в организме рыб. Изменение численности *Polynucleobacter* связывают с положительным действием добавки на организм при улучшении метаболических функций [11].

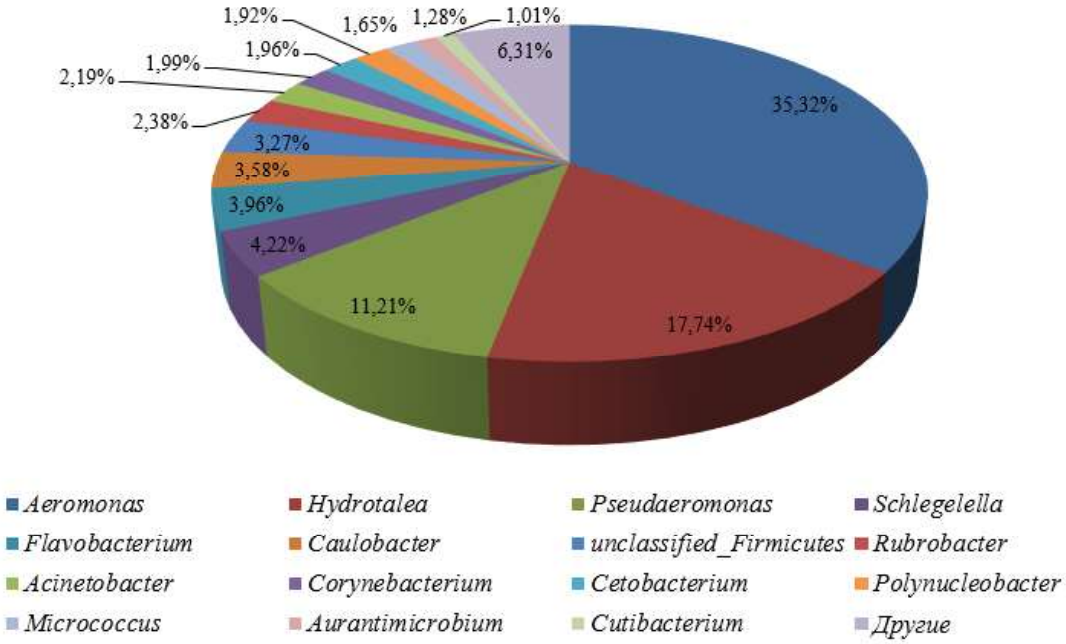


***Рисунок 4 – Таксономическое разнообразие микробного сообщества на уровне родов кишечника карпа II группы, %***

***Figure 4 – Taxonomic diversity of the microbial community at the level of the carp intestinal genera of the II group, %***

На 9,53 и 5,76 % относительно контроля повысилась численность *Hydrotalea* (17,74 %) и *Pseudaeromonas* (11,21 %). Представители этих родов характерны для водной среды и присутствуют в кишечной микробиоте гидробионтов [6]. Сообщается, что численность представителей рода *Hydrotalea* увеличивается в связи с действием металлов на организм гидробионтов [9].

Совместное применение ванилина и УДЧ $SiO_2$ в рационе карпа положительно отразилось на составе микробиома кишечника (рисунок 5). В III группе выявили 18 родов (более 1 % от общего числа). Доминирующим стал род *Schlegelella* (23,02 %), содержание которого повысилось на 15,3 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Влияние представителей рода *Schlege-*

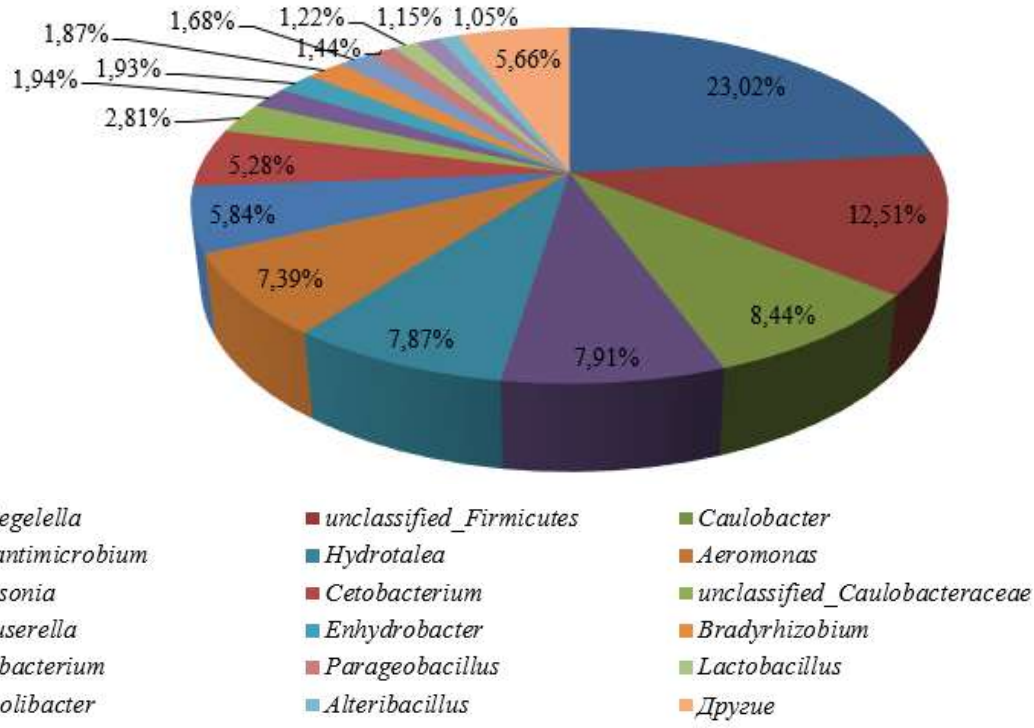


***Рисунок 5 – Таксономическое разнообразие микробного сообщества на уровне родов кишечника карпа III группы, %***

***Figure 5 – Taxonomic diversity of the microbial community at the level of the carp intestinal genera of the III group, %***

*lella* на кишечную микробиоту рыб не изучали, однако у млекопитающих возможно развитие заболеваний в связи с их присутствием [8].

В нашем исследовании заметно снизилось количество представителей рода *Aurantimicrobium* (7,91 %) – на 15,43 % по сравнению с контролем. Количество представителей *unclassified_Firmicutes* (12,51 %), *Caulobacter* (8,44 %), *Hydrotalea* (7,78 %), *Aeromonas* (7,39 %), *Lawsonia* (5,84 %) и *Cetobacterium* (5,28 %) оставалось в небольшом количестве и не имело значительных различий с контролем. Это указывает на положительное действие совместного использования ванилина и УДЧ $SiO_2$ в кормлении рыб [9, 19].

В III группе в небольшом количестве были найдены представители новых родов, которые отсутствовали в контроле, – неквалифицированные бактерии из семейств *Caulobacteraceae* (2,81 %), *Prauserella* (1,94 %), *Enhydrobacter* (1,93 %), *Parageobacillus* (1,44 %), *Lactobacillus* (1,22 %) и *Luteolibacter* (1,15 %). Появление представителей данных родов указывает на благоприятный механизм действия совместного использования ванилина и УДЧ $SiO_2$ в рационе рыб, так как за счет представителей родов *Enhydrobacter*, *Lactobacillus*, *Luteolibacter*, *Parageobacillus* улучшается кишечная микробиота, что влияет на рост и обмен веществ [7, 17, 18].

Исследование показало, что включение в рацион карпа ванилина и УДЧ $SiO_2$, а также их совместное использование способствовало качественному и количественному изменению состава микробиома на уровне родов и оказывало благоприятное действие на состав кишечной микрофлоры карпа. Причем комплексное использование препаратов приводит к наибольшему качественному и количественному разнообразию состава микробиома кишечника.

***Заключение.*** При исследовании микробиома кишечника карпа нами были получены результаты по 13 филам, свыше 20 классам, более 60 семействам и более 70 родам. Установлено, что кормовые добавки способствовали изменению качественного и количественного состава микробиома кишечника карпа. Значительные изменения были зафиксированы в группе, получавшей ванилин, где доминирующими родами стали *Cetobacterium*, *Vibrio* и *Aeromonas.* Включение УДЧ $SiO_2$ привело к доминированию *Aeromonas.* Совместное использование ванилина и УДЧ $SiO_2$ способствовало наиболее положительному изменению микробиоты кишечника рыб, где доминировал род *Schlegelella*, в то же время большая доля приходилась на роды *Firmicutes*, *Caulobacter*, *Hydrotalea* и *Aurantimicrobium.* Кроме того, в III группе появились представители родов *Enhydrobacter*, *Lactobacillus*, *Luteolibacter*, *Parageobacillus*, которые имеют огромное значение для организма.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки (соглашение № 075-15-2024-550).*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аэромоноз карпа как следствие алиментарных заболеваний (этиология, патогенез, диагностика и меры борьбы) / П. С. Илюшина [и др.] // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 86-5. С. 152–156. [Aeromonoz karpa kak sledstvie alimentarnyh zabolevanij (etiologiya, patogenez, diagnostikaI merybor'by) / P. S. Ilyushina et al. *Tendencii Razvitiya Naukii Obrazovaniya*. 2022;86-5:152–156]. DOI: 10.18411/trnio-06-2022-237].

2. Кобечинская В. Г., Стрюков А. А., Артёменко М.О.Санитарно-бактериологическая оценка промысловых морских рыб и морской среды вблизи побережья Крыма и пресноводных рыб в рыбоводных хозяйствах полуострова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2024. Т. 10. № 1. С. 113–130. [KobechinskyV. G., StryukovA. A., ArtyomenkoM. O. Sanitary and bacteriological assessment of commercial marine fish and the marine environment near the coast of Crimea and freshwater fish in farm fisheries of the peninsula. *Uchenye Zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta Imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Himiya*. 2024;10(1):113–130. (In Russ.)]. DOI: 10.29039/2413-1725-2024-10-1-113-130.

3. Микробиом рубца молодняка крупного рогатого скота, получавшего пищевые добавки с медью и травой полыни: состав и функциональный профиль / Е. В. Шейда [и др.] // Аграрный научный журнал. 2024. № 1. С. 96–105. [Microbiome of the rumen of young cattle receiving dietary supplements with copper and wormwood grass: composition and functional profile/E.V. Sheidaet al. *Agrarian Scientifi c Journal*. 2024;(1):96–105. (In Russ.)]. DOI: 10.28983/asj.y2024i1pp96-105.

4. Современные исследования по изучению микробиома кишечника рыб (обзор) / М. С. Зуева [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 198–213. [Modern research on the study of the intestinal microbiome in fish (review) / M. S. Zueva et al. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):198–213. (In Russ.)]. DOI: 10.33284/2658-3135-106-2-198.

5. Acute copper oxide nanoparticles exposure alters zebrafish larval microbiome / S. Balasubramanian, M. A. Haneen, G. Sharma, E. Ekambaram. *Life Sciences*. 2024;336:122313. DOI: 10.1016/j.lfs.2023.122313.

6. Akter S., Shin K. *Pseudaeromonasparamecii* sp. nov., isolated from the ciliate *Paramecium caudatum* and emendation of the genus *Pseudaeromonas*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2018;68(6):1845–1850. DOI: 10.1099/ijsem.0.002746.

7. Bifidobacterium and Lactobacillus improve inflammatory bowel disease in zebrafish of different ages by regulating the intestinal mucosal barrier and microbiota / Y. Ni, Y. Zhang, L. Zheng, N. Rong, Y. Yang, P. Gong, Y. Yang, X. Siwu, C. Zhang, L. Zhu, Z. Fu. *Life Sciences*. 2023;324:121699. DOI: 10.1016/j.lfs.2023.121699.

8. Camel milk microbiota: A culture-independent assessment / R. Rahmeh, A. Akbar, H. Alomirah, M. Kishk, A. Al-Ateeqi, S. Al-Milhm, B. Akbar, S. Al-Merri, M. Alotaibi, A. Esposito. *Food Research International*. 2022;159:111629. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111629.

9. Comparative genome analysis of the genus Hydrotalea and proposal of the novel species Hydrotalealipotrueae sp. nov., isolated from a groundwater aquifer in the south of Mallorca Island, Spain / J. F. Gago, T. Viver, M. Urdiain, S. Pastor, P. Kämpfer, P. A. Robledo, E. Ferreira, R. Rosselló-Móra. *Systematic and Applied Microbiology*. 2021;44(6):126277. DOI: 10.1016/j.syapm.2021.126277.

10. Effects of dietary co-exposure to fungal and herbal functional feed additives on immune parameters and microbial intestinal diversity in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) / J. Mougin, V. Lobanov, M. Danion, R. Roquigny, L. Goardon, T. Grard, T. Morin, L. Labbé, A. Joyce. *Fish & Shellfish Immunology*. 2023;137:108773. DOI: 10.1016/j.fsi.2023.108773.

11. Effects of dietary supplementation with inactivated Lactobacillus plantarum on growth performance, haemato-biochemical parameters, liver fatty acids profile and intestinal microbiome of Nile tilapia / P. H. S. Ferro, G. C. Ribeiro, L. E. Borba, R. O. Batista, D. da Rosa Farias, D. M. Fracalossi, E. Schwegler, M. S. Owatari, D. D. Schleder. *Veterinary Research Communications*. 2024; 48(4):2397–2406. DOI: 10.1007/s11259-024-10425-w.

12. Effects of different temperatures on Leiocassislongirostris gill structure and intestinal microbial composition / Z. Zhao, H. Zhao, X. Wang, L. Zhang, C. Mou, Z. Huang, H. Ke, Y. Duan, J. Zhou, Q. Li. *Scientific Reports*. 2024;14(1):7150. DOI: 10.1038/s41598-024-57731-6.

13. Effects of enrofloxacin's exposure on the gut microbiota of Tilapia fish (Oreochromis niloticus) / J. Chen, Q. Li, C. Tan, L. Xie, X. Yang, Q. Zhang, X. Deng. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part D, Genomics & Proteomics*. 2023;46:101077. DOI: 10.1016/j.cbd.2023.101077.

14. Environment shapes the fecal microbiome of invasive carp species / J. J. Eichmiller, M. J. Hamilton, C. Staley, M. J. Sadowsky, P.W. Sorensen.*Microbiome*. 2016;(4):44. DOI: 10.1186/s40168-016-0190-1.

15. Exploitation of multiple host-derived nutrients by the yellow catfish epidermal environment facilitates Vibrio mimicus to sustain infection potency and susceptibility / Y. Feng, J. Wang, W. Fan, B. Huang, Z. Qin, Z. Tian, Y. Geng, X. Huang, P. Ouyang, D. Chen, W. Lai. *Fish & Shellfish Immunology*. 2024;151:109707. DOI: 10.1016/j.fsi.2024.109707.

16. Modulation of the gut microbiota by processed food and natural food: evidence from the Sinipercachuatsi / H. Li, S. Niu, H. Pan, G. Wang, J. Xie, J. Tian, K. Zhang, Y. Xia, Z. Li, E. Yu, W. Xie, W. Gong. *PeerJ*. 2024;12:e17520. DOI: 10.7717/peerj.17520.

17. Mol M., de MaayerP.Elucidating the biotechnological potential of the genera Parageobacillus and Saccharococcus through comparative genomic and pan-genome analysis. *BMC Genomics*. 2024;25:723. DOI: 10.1186/s12864-024-10635-1.

18. Nitrogen removal and water microbiota in grass carp culture following supplementation with Bacillus licheniformis BSK-4 / Q. Liang, X. Zhang, K. H. Lee, Y. Wang, K. Yu, W. Shen, L. Fu, M. Shu, W. Li. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 2015;31(11):1711-1718. DOI: 10.1007/s11274-015-1921-3.

19. Vitamin B12 produced by Cetobacteriumsomerae improves host resistance against pathogen infection through strengthening the interactions within gut microbiota / X. Qi, Y. Zhang, Y. Zhang, F. Luo, K. Song, G. Wang, F. Ling. *Microbiome*. 2023;11(1):135. DOI: 10.1186/s40168-023-01574-2.

*Статья поступила в редакцию 13.11.2024; одобрена после рецензирования 24.12.2024; принята к публикации 27.12.2024.*
*The article was submitted 13.11.2024; approved after reviewing 24.12.2024; accepted for publication 27.12.2024.*