 © Авторы статьи / Authors of the article

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ/HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.45 EDN: CEFORE

ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ МЕЛАССУ, НА ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ В ЖАБРАХ СЕГОЛЕТОК КАРПА *(C. CARPIO L.)* В УСЛОВИЯХ ТОКСИЧЕСКОГО СТРЕССА, ВЫЗВАННОГО СУЛЬФАТОМ МЕДИ

Научная статья

Котельников А.В.[1, *], Котельникова С.В.[2], Ширина Ю.М.[3]
[1] ORCID : 0000-0002-0176-0664;
[2] ORCID : 0000-0001-7707-8656;
[3] ORCID : 0000-0001-6459-5435;
[1, 2] Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Российская Федерация
[3] Южный научный центр Российской академии наук, Астрахань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kotas[at]inbox.ru)

Предложена: 28.09.2026; Принята: 21.10.2026; Опубликована: 17.11.2026

Аннотация

Исследовано влияние добавления в рыбный корм свекловичной патоки (мелассы) на перекисное окисление липидов в жабрах сеголеток карпа (*C. carpio L.)* в обычных условиях и подвергшихся однократному сублетальному воздействию сульфата меди. Рыб кормили ежедневно, из расчета 2% корма от массы тела. Обработку сульфатом меди проводили однократно из расчета 3 мл 10% раствора на 20 л воды, в течение 24 часов. Продолжительность эксперимента составила 30 дней. Интенсивность перекисного окисления липидов определяли в жабрах по содержанию малонового диальдегида. Все варианты кормов привели к увеличению интенсивности процессов перекисного окисления липидов в жабрах. Меласса проявляла антиоксидантный эффект только в условиях усиления окислительных процессов, вызванных сульфатом меди. Было отмечено уменьшение содержания малонового диальдегида в жабрах, но при этом интенсивность перекисного окисления липидов все равно оставалась выше по сравнению с контролем.

Ключевые слова: перекисное окисление липидов, карп (C. carpio L.), сульфат меди, меласса, жабры.

THE INFLUENCE OF A FEED SUPPLEMENT CONTAINING MOLASSES ON LIPID PEROXIDATION IN THE GILLS OF UNDERYEARLING CARP (*C. CARPIO L.*) UNDER CONDITIONS OF TOXIC STRESS INDUCED BY COPPER SULPHATE

Research article

Kotelnikov A.V.[1, *], Kotelnikova S.V.[2], Shirina Y.M.[3]
[1] ORCID : 0000-0002-0176-0664;
[2] ORCID : 0000-0001-7707-8656;
[3] ORCID : 0000-0001-6459-5435;
[1, 2] Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation
[3] Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan, Russian Federation

* Corresponding author (kotas[at]inbox.ru)

Suggested: 28.09.2026; Accepted: 21.10.2026; Published: 17.11.2026

Abstract

The influence of adding beetroot molasses to fish food on lipid peroxidation in the gills of yearling carp (*C. carpio L.*) was studied under normal conditions and following a single sublethal exposure to copper sulphate. The fish were fed daily at a rate of 2% of their body weight. Treatment with copper sulphate was carried out once at a rate of 3 ml of a 10% solution per 20 litres of water, for a period of 24 hours. The experiment lasted 30 days. The rate of lipid peroxidation was determined in the gills based on the malondialdehyde content. All feed treatments led to an increase in the rate of lipid peroxidation in the gills. Molasses exhibited an antioxidant effect only under conditions of enhanced oxidative processes induced by copper sulphate. A reduction in the malondialdehyde content in the gills was observed; however, the rate of lipid peroxidation still remained higher than in the control group.

Keywords: lipid peroxidation, carp (C. carpio L.), copper sulphate, molasses, gills.

Введение

Медь играет важную роль в физиологии клеток, питании и метаболизме позвоночных [1]. Хотя существенная роль меди в некоторых ферментативных процессах была доказана [2], этот тяжелый металл может оказывать неблагоприятное токсикологическое воздействие при его высоком содержании. Медь может накапливаться в органах водных животных [3], что может приводить к окислительно-восстановительным реакциям с образованием свободных радикалов и, следовательно, вызывать морфологические изменения и нарушать некоторые физиологические процессы. Медь также оказывает токсическое воздействие, приводя к снижению потребления корма, усилению окислительного стресса, уменьшению массы тела, а также биохимическим и гематологическим изменениям [4].

 © Авторы статьи / Authors of the article

Медь всасывается через жабры и пищеварительный тракт рыбы и в основном накапливается в различных тканях, таких как жабры, печень, почки и внутренние органы [5]. Когда потребление не сбалансировано с процессами выведения и механизмами детоксикации, металлы могут оказывать токсическое воздействие [6]. Жабры, учитывая, что они находятся в непосредственном контакте с водной средой, являются основным входом для растворённых веществ [7]. Эти вещества впоследствии через кровоток могут попадать в другие органы и накапливаться в них.

При длительном воздействии меди на рыб в сублетальных дозах происходит ряд физиологических и метаболических изменений, или адаптаций, которые позволяют рыбам выживать в течение длительного времени [8].

Существует множество соединений способствующих повышению иммунитета и эффективности питания рыб, которые можно использовать в качестве пищевых добавок в аквакультуре [9]. Одной из таких добавок может выступать свекловичная патока (меласса). Она представляет собой густой концентрированный жидкий сироп, побочный продукт переработки сахарной свеклы в сахар. Патока содержит около 50% сахарозы, 1% рафинозы и 0,25% глюкозы и фруктозы в пересчете на сухую массу. В состав патоки входят многие важные микроэлементы и витамины [10]. Помимо того, что патока является богатым источником многих важных питательных веществ, есть некоторые свидетельства того, что патока обладает значительным антиоксидантным потенциалом. Было обнаружено, что экстракты патоки обладают значительной антиоксидантной активностью в сочетании с интересными физиологическими функциями, которые включают противовоспалительные свойства, действие в качестве адъюванта вакцины и устойчивость к инфекциям, а также защитный эффект от окислительного повреждения ДНК [11]. Норма ввода в рыбные комбикорма составляет 3–5% [12]. Однако в литературе нет данных об использовании патоки для нейтрализации токсического воздействия сульфата меди на иммунную систему рыб. Поэтому целью данного исследования явилась оценка влияния мелассы на перекисное окисление липидов жабр рыб, подвергшихся однократному сублетальному воздействию сульфата меди.

Методы и принципы исследования

Объектом исследования послужили сеголетки карпа *C. carpio* L. в количестве 120 штук. Средний вес и длина рыбы составили 15,3 г и 10 см, соответственно. Перед началом эксперимента рыб содержали в аэрированной дехлорированной водопроводной воде при температуре 23±1°С и ежедневно кормили коммерческим кормом для молоди карпа (52% сырого протеина), производитель АО «Рыбные корма», из расчета 2% от массы тела.

После периода акклиматизации рыб разделили на 4 группы:

1. Контроль (без воздействия на рыбу сульфатом меди и диетой без патоки).
2. Вариант корма 1 (с воздействием на рыбу сульфатом меди и диетой без патоки).
3. Вариант корма 2 (с воздействием на рыбу сульфатом меди и диетой содержащей 3% свекловичной патоки).
4. Вариант корма 3 (без воздействия на рыбу сульфатом меди и диетой содержащей 3% свекловичной патоки).

Воздействие сульфатом меди проводили однократно в виде 10% раствор из расчета 3 мл на 20 л воды в течение 24 часов [9].

Кормление рыб осуществляли кормом с добавлением свекловичной патоки 2 раза в сутки из расчета 2% от общей биомассы рыбы в каждом аквариуме, регулируя ежедневное количество корма каждые две недели в зависимости от биомассы рыбы. Продолжительность эксперимента составила 30 дней.

Интенсивность перекисного окисления липидов определяли в жабрах, поскольку они непосредственно контактируют со средой, куда поступал корм и сульфат меди. Показатель оценивали по содержанию малонового диальдегида (МДА) тиобарбитуровым методом [13].

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием критерия Стьюдента [14].

Основные результаты

После добавления в воду сублетальной дозы сульфата меди (варианты № 1 и 2) в течение первых суток рыба вела себя малоподвижно, поднималась к поверхности воды, периодически заваливалась на бок, у нее наблюдалось быстрое движение жаберной крышки, тремор плавников, учащенное заглатывание воздуха. Отход в этот период был максимальным за все время проведения эксперимента и достигал 20%.

Все варианты кормов привели к увеличению интенсивности процессов перекисного окисления липидов в жабрах (Рис. 1).

 © Авторы статьи / Authors of the article

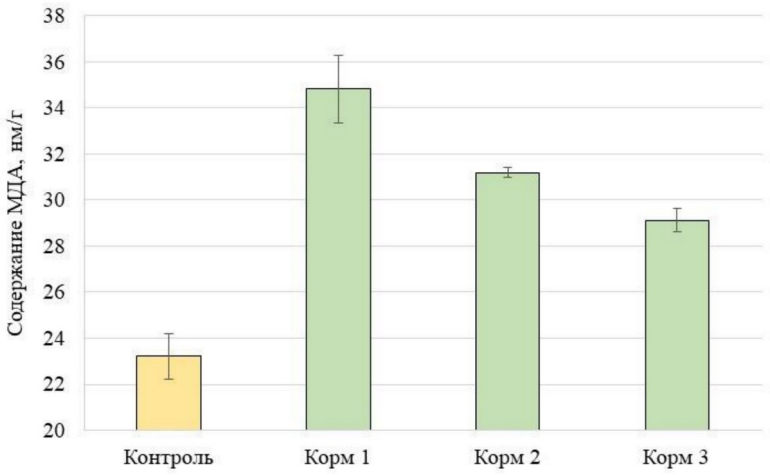


Рисунок 1 - Содержание малонового диальдегида в жабрах
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.45.1

При этом, наибольшее увеличение было отмечено в варианте корма с добавлением только сульфата меди (вариант корма 1), где содержание МДА в жабрах увеличилось в 1,5 раза. Корм со свекловичной патокой (вариант корма 3) также способствовал увеличению содержания МДА в жабрах, но в этом случае увеличение составило 25% по сравнению с контролем. Добавление патоки в вариант корма с медью (вариант корма 2) оказывало антиоксидантный эффект, уменьшив содержание МДА в жабрах на 12%, но при этом интенсивность перекисных процессов все равно оставалась выше на 34% по сравнению с контролем.

Обсуждение

Таким образом, свекловичная патока проявляла антиоксидантный эффект только в условиях усиления прооксидантных процессов, в данном случае, вызванных сульфатом меди, а избыток антиоксидантов в корме способен приводить к обратному эффекту. Вместе с тем, увеличение концентрации ТБК-реактантов в жабрах рыб, получавших свекловичную патоку, может быть следствием не столько прооксидантного эффекта корма, сколько опосредованным результатом интенсификации метаболизма, а, следовательно, и выведения из организма продуктов обмена через жабры в условиях аквариумного содержания. Для рыб, получавших патоку, были характерны более высокие рыбоводно-биологические показатели. В то же время жабры достаточно чувствительны к повышенному содержанию аммиака и на его увеличение реагируют усилением перекисного окисления липидов [15].

Заключение

Выполненные исследования дают возможность оценить эффективность и безопасность добавления в корм для рыб свекловичной патоки при их выращивании в искусственных условиях и при обработке сульфатом меди.

При обработке рыб сульфатом меди наблюдалось значительное угнетение прироста размеров и массы тела сеголеток карпа. Гибель особей достигала 20%. Отмечено увеличение в этих условиях интенсивности перекисных процессов в жабрах. Свекловичная патока способна проявлять антиоксидантный эффект. Было отмечено уменьшение содержания малонового диальдегида в жабрах рыб подвергшихся воздействию сульфата меди и получавших при этом диету с патокой, но интенсивность перекисного окисления липидов все равно оставалась выше по сравнению с контролем.

Таким образом, добавление свекловичной патоки способно снижать негативные последствия влияния на организм сульфата меди, но при этом полностью их не устраняет. Кроме того, значительных отличий от контрольной группы также отмечено не было. Дополнительно стоит учитывать возможность интенсификации перекисного окисления липидов в жабрах рыб при добавлении в корм свекловичной патоки в условиях их искусственного выращивания.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Список литературы / References

1. Afaghi A. Effects of Exposure to Sub-Lethal Concentrations of Copper on Hematological and Histopathological Alterations in Common Carp, Cyprinus Carpio / A. Afaghi, S. Zare // Archives of Advances in Biosciences. — 2020. — Vol. 11. — № 1. — P. 26–33.

2. Shao X. Effects of dietary copper sources and levels on performance, copper status, plasma antioxidant activities and relative copper bioavailability in Carassius auratus gibelio / X. Shao, W. Liu, W. Xu et al. // Aquaculture. — 2010. — Vol. 308. — № 1-2. — P. 60–65.

3. Varanka Z. Biochemical and morphological changes in carp (Cyprinus carpio L.) liver following exposure to copper sulfate and tannic acid / Z. Varanka, I. Rojik, I. Varanka et al. // Toxicology & Pharmacology. — 2001. — Vol. 128. — № 3. — P. 467–477.

4. Naz S. Copper sulfate induces clinico-hematological, oxidative stress, serum biochemical and histopathological changes in freshwater fish rohu (Labeo rohita) / S. Naz, R. Hussain, Z. Guangbin et al. // Comparative and Clinical Medicine. — 2023. — Vol. 10. — P. 1–17.

5. Thangam Y. Effect of copper toxicity on hematological parameters to fresh water fish Cyprinus carpio (common carp) / Y. Thangam, S. Jayaprakash, M. Perumayee // Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. — 2014. — Vol. 8. — № 9. — P. 50–60.

6. Benhameda S. Exposure of the gilthead seabream (Sparus aurata) to sediments contaminated with heavy metals down-regulates the gene expression of stress biomarkers / S. Benhameda, A. Francisco, B. Guardiola et al. // Toxicology Reports. — 2016. — № 3. — P. 364–372.

7. Schoenaers S. Prioritization of contaminated watercourses using an integrated biomarker approach in caged carp / S. Schoenaers, L. Vergauwen, A. Hagenaars et al. // Water Research. — 2016. — № 99. — P. 129–139.

8. Flik G. Stress response to waterborne Cu during early life stages of carp Cyprinus carpio / G. Flik, X.J.H.X. Stouthart, F.A.T. Spanings et al. // Aquatic Toxicology. — 2002. — № 56. — P. 167–176.

9. Rouhollah SheikhVeisi Dietary beet molasses enhanced immunity system of common carp (Cyprinus carpio) exposed to copper nano oxide, CuO-NP / SheikhVeisi Rouhollah, Hedayat Aliakbar, Mazandarani Mohammad et al. // Aquaculture Reports. — 2021. — № 19. — P. 1–6.

10. Буряков П.П. Роль побочной продукции свеклосахарного производства в углеводном питании животных / П.П. Буряков // Животноводство. — 2023. — № 12. — С. 44–51.

11. Filipčev B. Quality Characteristics and Antioxidant Properties of Breads Supplemented with Sugar Beet Molasses-Based Ingredients / B. Filipčev, L. Ljubinko, M. Bodroža-Solarov et al. // International Journal of Food Properties. — 2010. — Vol. 13. — № 5. — P. 1035–1053.

12. Головина Н.А. Анализ состояния и перспективные направления развития аквакультуры / Н.А. Головина, Н.Н. Романова, П.П. Головин и др. — Москва: Росинформагротех, 2019. — 88 с.

13. Строев Е.А. Практикум по биологической химии / Е.А. Строев, В.Г. Макарова. — Москва: Высшая школа, 1986. — 230 с.

14. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие для биологических специальностей вузов — 4-е издание, переработанное и дополненное / Г.Ф. Лакин. — Москва: Высшая школа, 1990. — 352 с.

15. Абросимова Е.Б. Особенности аммиачной интоксикации рыб в интенсивной аквакультуре dis.. ...Candidate of Sciences: 03.00.10 : защищена 2009-10-06 : утв. 2026-10-21 / Е.Б. Абросимова. — Астрахань: 2009. — 131 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Afaghi A. Effects of Exposure to Sub-Lethal Concentrations of Copper on Hematological and Histopathological Alterations in Common Carp, Cyprinus Carpio / A. Afaghi, S. Zare // Archives of Advances in Biosciences. — 2020. — Vol. 11. — № 1. — P. 26–33.

2. Shao X. Effects of dietary copper sources and levels on performance, copper status, plasma antioxidant activities and relative copper bioavailability in Carassius auratus gibelio / X. Shao, W. Liu, W. Xu et al. // Aquaculture. — 2010. — Vol. 308. — № 1-2. — P. 60–65.

3. Varanka Z. Biochemical and morphological changes in carp (Cyprinus carpio L.) liver following exposure to copper sulfate and tannic acid / Z. Varanka, I. Rojik, I. Varanka et al. // Toxicology & Pharmacology. — 2001. — Vol. 128. — № 3. — P. 467–477.

4. Naz S. Copper sulfate induces clinico-hematological, oxidative stress, serum biochemical and histopathological changes in freshwater fish rohu (Labeo rohita) / S. Naz, R. Hussain, Z. Guangbin et al. // Comparative and Clinical Medicine. — 2023. — Vol. 10. — P. 1–17.

5. Thangam Y. Effect of copper toxicity on hematological parameters to fresh water fish Cyprinus carpio (common carp) / Y. Thangam, S. Jayaprakash, M. Perumayee // Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. — 2014. — Vol. 8. — № 9. — P. 50–60.

6. Benhameda S. Exposure of the gilthead seabream (Sparus aurata) to sediments contaminated with heavy metals down-regulates the gene expression of stress biomarkers / S. Benhameda, A. Francisco, B. Guardiola et al. // Toxicology Reports. — 2016. — № 3. — P. 364–372.

7. Schoenaers S. Prioritization of contaminated watercourses using an integrated biomarker approach in caged carp / S. Schoenaers, L. Vergauwen, A. Hagenaars et al. // Water Research. — 2016. — № 99. — P. 129–139.

8. Flik G. Stress response to waterborne Cu during early life stages of carp Cyprinus carpio / G. Flik, X.J.H.X. Stouthart, F.A.T. Spanings et al. // Aquatic Toxicology. — 2002. — № 56. — P. 167–176.

 © Авторы статьи / Authors of the article

9. Rouhollah SheikhVeisi Dietary beet molasses enhanced immunity system of common carp (Cyprinus carpio) exposed to copper nano oxide, CuO-NP / SheikhVeisi Rouhollah, Hedayat Aliakbar, Mazandarani Mohammad et al. // Aquaculture Reports. — 2021. — № 19. — P. 1–6.

10. Buryakov P.P. Rol' pobochnoj produkcii sveklosaxarnogo proizvodstva v uglevodnom pitanii zhivotny'x [The role of by-products from sugar beet production in animal carbohydrate nutrition] / P.P. Buryakov // Livestock farming. — 2023. — № 12. — P. 44–51. [in Russian]

11. Filipčev B. Quality Characteristics and Antioxidant Properties of Breads Supplemented with Sugar Beet Molasses-Based Ingredients / B. Filipčev, L. Ljubinko, M. Bodroža-Solarov et al. // International Journal of Food Properties. — 2010. — Vol. 13. — № 5. — P. 1035–1053.

12. Golovina N.A. Analiz sostoyaniya i perspektivny'e napravleniya razvitiya akvakul'tury' [An analysis of the current state and future directions of aquaculture] / N.A. Golovina, N.N. Romanova, P.P. Golovin et al. — Moscow: Rosinformagrotex, 2019. — 88 p. [in Russian]

13. Stroev E.A. Praktikum po biologicheskoj ximii [Practical Course in Biological Chemistry] / E.A. Stroev, V.G. Makarova. — Moscow: Vy'sshaya shkola, 1986. — 230 p. [in Russian]

14. Lakin G.F. Biometriya: Uchebnoe posobie dlya biologicheskix special'nostej vuzov — 4-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe [Biometrics: A Study Guide for Biology Students at Universities — 4th edition, revised and expanded] / G.F. Lakin. — Moscow: Vy'sshaya shkola, 1990. — 352 p. [in Russian]

15. Abrosimova E.B. Osobennosti ammiachnoj intoksikacii ry'b v intensivnoj akvakul'ture [Specifics of ammonia poisoning in fish in intensive aquaculture] dis.....of PhD in : 03.00.10 : defense of the thesis 2009-10-06 : approved 2026-10-21 / Е.Б. Абросимова. — Astraxan': 2009. — 131 p. [in Russian]