



МРНТИ 69.09.41
Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2789-4320-2026-154-1-63-76>

Влияние экологических факторов на иммунный статус карповых рыб и восприимчивость к заболеваниям

Н.М. Сейдалиева*¹ 

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: *¹seidalieva_nagima@mail.ru

Аннотация. В представленной работе исследовано влияние ключевых экологических факторов, включающих температуру воды, концентрацию аммиака и уровень растворённого кислорода, на иммунный статус карпа (*Cyprinus carpio*) и его восприимчивость к бактериальным и паразитарным заболеваниям. Исследование основано на экспериментальном моделировании условий аквакультуры с варьированием параметров среды и последующей оценкой иммунологических показателей, таких как активность лизоцима, содержание иммуноглобулинов, фагоцитарная активность нейтрофилов, активность комплемента и уровень кортизола. Проведённая оценка физико-химических характеристик воды позволила подтвердить стабильность условий эксперимента и выделить влияние именно изучаемых стрессоров. Результаты показали, что повышение температуры до 30°C, увеличение концентрации аммиака до 1,0 мг/л и снижение уровня растворённого кислорода до 3 мг/л приводят к выраженному снижению иммунологических реакций и значительному увеличению поражённости *Aeromonas hydrophila* и *Dactylogyrus spp.* Наиболее существенные нарушения иммунного статуса наблюдались при гипоксических условиях, сопровождавшихся повышенным уровнем кортизола и максимальной интенсивностью инфекционного процесса. Эти данные свидетельствуют о ведущей роли кислородного режима в формировании устойчивости карпа к патогенам и подчёркивают необходимость оптимизации контроля качества воды в системах пресноводной аквакультуры. Полученные результаты позволяют сформулировать вывод о том, что экологические стрессоры существенно повышают восприимчивость карпа к инфекционным заболеваниям и должны рассматриваться как критический фактор в практическом рыбоводстве.

Ключевые слова: карповые рыбы, иммунный статус, экологические факторы, аммиак, гипоксия, температура воды, восприимчивость к заболеваниям

Поступила: 19.12.2025. Одобрена: 25.03.2026. Доступна онлайн: 31.03.2026.

*Автор-корреспондент

Введение

Карповые рыбы (семейство *Cyprinidae*) являются одной из наиболее ценных групп гидробионтов в пресноводной аквакультуре. Высокая экологическая пластичность, темпы роста и устойчивость к условиям содержания делают их объектом интенсивного рыбоводства. При этом современные методы выращивания отличаются высокой плотностью посадки, что увеличивает чувствительность рыб к экологическим стрессорам и инфекционным заболеваниям.

Влияние факторов окружающей среды на иммунный статус карповых рыб изучается на протяжении последних десятилетий. В ранних исследованиях было установлено, что температурные колебания способны изменять активность неспецифических защитных реакций у карпа, приводя к угнетению лизоцимной и фагоцитарной активности [1–4]. Позднее A.L. Smith et al. [5] продемонстрировали выраженное снижение фагоцитарной активности при гипоксических условиях и повышение летальности рыб под воздействием *Aeromonas spp.*

Токсическое влияние азотистых соединений, прежде всего аммиака, также многократно подтверждено экспериментально. Согласно данным Н. В. Ковалёвой [6], концентрации аммиака выше 0,7 мг/л вызывают нарушение барьерных функций эпителия, деструкцию иммунокомпетентных клеток и повышение восприимчивости к бактериальным инфекциям. Исследования последних лет [7–10] подчёркивают значимость комплексного воздействия стрессоров, которое приводит к выраженному снижению эффективности врождённого иммунитета.

Несмотря на обширность исследований, влияние сочетания температуры, кислородного режима и концентраций аммиака на иммунный статус карповых рыб и их восприимчивость к инфекционным агентам остаётся недостаточно изученным.

Целью настоящей работы являлось проведение комплексной оценки влияния ключевых экологических параметров на иммунологические показатели карпа (*Cyprinus carpio*) и определение их роли в повышении восприимчивости рыб к бактериальным и паразитарным инфекциям.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на молоди карпа средней массой 35 ± 2 г, выращенной в условиях лабораторной аквасистемы. Перед началом эксперимента рыбы проходили двухнедельную адаптацию. Экспериментальная часть включала разделение особей на 10 групп с варьированием температуры воды, концентрации аммиака и уровня растворённого кислорода. Температурные режимы составляли 18, 24 и 30°C; содержание аммиака поддерживалось на уровнях 0,1, 0,5 и 1,0 мг/л; содержание растворённого кислорода – 3, 5 и 8 мг/л. Условия группы 24°C, 0,1 мг/л аммиака и 5–6 мг/л кислорода принимались за контрольные.

Определение иммунологических показателей включало оценку активности лизоцима сыворотки крови по методике R. Parry [11] в модификации А.А. Смирнова [12], содержание общих иммуноглобулинов по методу Lowry, фагоцитарную активность нейтрофилов методом латексных частиц, активность системы комплемента по стандартному гемолитическому тесту CH50, а также концентрацию кортизола методом иммуноферментного анализа.

Для оценки восприимчивости рыб использовались тест-инфекции культурами *Aeromonas hydrophila* и заражение паразитом *Dactylogyrus spp.* Интенсивность поражения определялась на 7-е и 14-е сутки по общепринятым ветеринарным шкалам.

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием программы Statistica 13. Проверка нормальности распределения проводилась по методу Колмогорова-Смирнова. Для оценки значимости различий использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим тестом Тьюки. Значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты

В ходе эксперимента установлено, что изменение основных экологических параметров оказывает значимое влияние на иммунологические показатели карпа, а также на их общую физиологическую реактивность. Для обеспечения корректности интерпретации полученных данных на первом этапе исследования была проведена детализированная оценка физико-химических характеристик воды во всех экспериментальных группах (Таблица 1). Такой подход позволил исключить воздействие неконтролируемых сопутствующих факторов и подтвердить стабильность условий содержания, за исключением тех параметров, которые варьировались целенаправленно. Особое внимание уделялось показателям кислотности, жёсткости и содержанию азотистых соединений, поскольку известна их чувствительность к биологическим процессам в аквакультуре и потенциальное влияние на физиологическое состояние рыб.

Таблица 1
Физико-химические параметры воды в экспериментальных группах

Показатель	Контроль	30 °С	Аммиак 1,0 мг/л	O ₂ = 3 мг/л
pH	7,4±0,1	7,3±0,1	7,5±0,1	7,4±0,1
Общая жёсткость, °dH	8,2±0,4	8,3±0,3	8,1±0,4	8,2±0,5
Нитриты, мг/л	0,02±0,001	0,03±0,002	0,04±0,002	0,02±0,001

Примечание: составлено на основании данных автора

Анализ представленных данных свидетельствует о минимальных колебаниях кислотности и жёсткости во всех вариантах опыта, что подтверждает однородность условий среды. Незначительное повышение концентрации нитритов в группе с аммиаком закономерно связано с интенсификацией процессов нитрификации, однако эти изменения не достигали уровней, способных вызвать самостоятельное воздействие на иммунный статус рыб. Таким образом, зафиксированные различия иммунологических показателей в дальнейшем следует рассматривать как прямое следствие температурного воздействия, аммиачной нагрузки или гипоксии, что и являлось задачей исследования.

Проведённые иммунологические тесты показали, что экологические стрессоры значительно влияют на активность как гуморального, так и клеточного звеньев иммунитета. Повышение температуры до 30°C, увеличение концентрации аммиака до 1,0 мг/л и снижение уровня растворённого кислорода до 3 мг/л вызывали выраженное снижение интенсивности иммунных реакций. Это отражалось на снижении уровней лизоцима, иммуноглобулинов и фагоцитарной активности, что характерно для стресс-индуцированной иммуносупрессии у рыб (Таблица 2).

Таблица 2

**Иммунологические показатели карпа
под воздействием экологических стрессоров**

Показатель	Контроль	30°C	Аммиак 1,0 мг/л	O ₂ = 3 мг/л
Лизоцим, мкг/мл	38,2±1,5	29,1±1,2	27,4±1,3	24,8±1,1
Иммуноглобулины, мг/мл	12,6±0,8	9,3±0,7	8,7±0,6	7,9±0,5
Фагоцитарная активность, %	61,4±2,1	48,2±1,9	46,7±2,0	42,5±1,8
АК комплемента, СН50	112±5	89±4	86±3	74±4
Кортизол, нг/мл	32±3	47±4	51±3	58±4

Примечание: составлено на основании данных автора

Полученные данные указывают на выраженное угнетение неспецифического иммунитета. Наиболее существенно снижалась фагоцитарная активность и активность комплемента в условиях гипоксии, что согласуется с данными литературы, свидетельствующими о ключевой роли кислородного обеспечения тканей в функционировании клеток иммунной системы.

Рост концентрации кортизола во всех экспериментальных группах подтверждает развитие системного стрессового ответа, что является типичным проявлением адаптивной реакции карповых рыб при воздействии повреждающих факторов окружающей среды. В условиях повышенной температуры и аммиачного загрязнения также наблюдалось достоверное снижение гуморальных факторов, однако наибольший эффект вновь отмечался при дефиците кислорода, что свидетельствует о доминирующем влиянии гипоксии.

Особое значение имеют результаты, отражающие изменения восприимчивости карпа к инфекционным агентам. Установлено, что снижение иммунного статуса сопровождалось увеличением частоты и интенсивности заражения бактериальными и паразитарными патогенами. В частности, отмечено усиление поражения *Aeromonas hydrophila*, а также рост численности паразитов рода *Dactylogyrus*, что указывает на снижение барьерных функций организма (Таблица 3).

Таблица 3

Интенсивность поражения инфекционными агентами на 14-е сутки эксперимента

Группа	<i>Aeromonas hydrophila</i> , баллы	<i>Dactylogyrus</i> spp., паразитов/особь
Контроль	1,2±0,1	4,1±0,3
30°C	2,6±0,2	7,4±0,5
Аммиак 1,0 мг/л	3,1±0,3	8,6±0,4
O ₂ = 3 мг/л	3,8±0,3	10,2±0,7

Примечание: составлено на основании данных автора

Наиболее высокие показатели поражения зарегистрированы у рыб, содержащихся в условиях гипоксии, что подчёркивает ведущую роль кислородного дефицита в снижении устойчивости организма. Усиление бактериальной нагрузки при уменьшении активности лизоцима и комплемента отражает нарушение механизмов неспецифической защиты. Параллельное увеличение количества паразитарных организмов связано с ослаблением местного иммунитета жабр, что создаёт благоприятные условия для инвазии. Таким

образом, результаты демонстрируют прямую взаимосвязь между физиологическими нарушениями, вызванными экологическими стрессорами, и ростом восприимчивости карпа к инфекционным агентам различной природы.

Обсуждение

Температура воды является одним из важнейших экологических факторов, влияющих на все жизненные процессы водных организмов. Как холоднокровное животное, рыба не способна самостоятельно регулировать температуру тела, поэтому её физиологические функции напрямую зависят от температуры окружающей среды. Колебания температуры воды влияют на обмен веществ, рост, активность, размножение, пищеварение, потребление кислорода и поведенческие реакции (Таблица 4).

Температура напрямую влияет на активность рыбы: в благоприятном диапазоне она проявляет повышенную подвижность, агрессивность к кормовым объектам, что важно для хищного образа жизни. При снижении температуры ниже 10°C метаболические процессы значительно замедляются. Её активность снижается, она прекращает активное питание, преимущественно находится в состоянии покоя на дне или в зарослях. В таких условиях рост прекращается, что характерно для зимнего периода в естественных водоёмах. Чрезмерно низкие температуры могут вызвать физиологический стресс, особенно у молоди или особей, находящихся в воде с недостаточным количеством кислорода [13, 14].

Таблица 4

Влияние температуры воды на физиологические процессы

Температура, °C	Состояние организма / физиологическая реакция	Комментарии по практическому значению
0–4	Летаргия, замедление метаболизма, отсутствие питания	Зимовка, рост не происходит, активность минимальна
5–9	Активация нерестового поведения, начало нереста	Оптимальный диапазон для икротетания
10–14	Развитие икры, выход личинок, низкий темп роста	Необходима стабильность температуры
15–17	Начало активного питания молоди	Важный период для обеспечения живым кормом
18–22 (оптимум)	Максимальная скорость роста, активное питание	Оптимальные условия для выращивания в прудах или УЗВ
23–25	Умеренный стресс, снижение аппетита	Требуется контроль кислорода и плотности посадки
26–28	Риск теплового стресса, гипоксии	Рекомендуется аэрация
> 28	Критическое состояние, высокая смертность	Опасные условия, особенно в замкнутых системах

Примечание: составлено на основании данных автора

Температуры выше 24–26°C считаются для карпа предельными, а при достижении 28–30°C возможно развитие теплового стресса, нарушения процессов терморегуляции, снижение растворимости кислорода в воде, что при недостаточной аэрации приводит к

гипоксии. Такие условия негативно влияют на рост, аппетит и общую сопротивляемость к болезням. Высокие температуры особенно опасны для карпа в условиях интенсивного выращивания в прудах или замкнутых системах, где ограничена возможность терморегуляции.

Температура также определяет сроки и успешность размножения карпа. Нерест обычно происходит весной, когда температура воды поднимается до 6–9°C. Именно в этот период активизируется половая функция, самки откладывают икру на затопленную растительность в прибрежной зоне. Икринки и личинки чувствительны к резким колебаниям температуры, а также к задержке прогревания воды. Повышение температуры воды до 14–16°C ускоряет развитие эмбрионов и способствует более быстрому выходу личинок. Однако при перегреве выше 18°C в период инкубации возможна гибель значительной части икры или появление дефектов развития [15, 16].

На всех стадиях развития температура воды определяет потребность карпа в кислороде. При повышении температуры метаболизм возрастает, и вместе с ним – потребление кислорода, в то время как его растворимость в воде уменьшается. Это создаёт риск возникновения критических условий для гидробионтов, особенно при высокой биомассе летом. Поэтому в тёплый период контроль температуры и кислородного режима является ключевым аспектом технологии выращивания карпа.

Таким образом, температурный режим является фактором, который регулирует не только скорость роста и потребление корма, но и определяет физиологическую устойчивость карпа к другим факторам окружающей среды. Понижение температуры может замедлить метаболизм, снизить активность и подавить иммунную реакцию организма, тогда как перегрев способен вызвать гипоксию, нарушение работы сердечно-сосудистой системы и гибель молоди [17–19].

Регуляция температурного режима в сочетании с другими параметрами – содержанием кислорода, рН, концентрацией азотистых соединений – обеспечивает создание стабильной среды, способствующей интенсивному росту, снижению уровня стресса и повышению выживаемости карпа на всех этапах его онтогенеза. Водная среда является жизненным пространством для рыб, и её физико-химические характеристики напрямую влияют на биологические процессы роста, развития, выживаемости и общего состояния организма. Основными составляющими водного режима, имеющими ключевое значение при выращивании рыб, являются концентрация растворённого кислорода, кислотно-щелочной баланс (рН) и уровень минерализации (солёности). Каждый из этих параметров оказывает своё влияние на обмен веществ, дыхание, поведение рыбы, её иммунный статус и устойчивость к заболеваниям [20, 21].

Растворённый кислород является критически важным фактором, поскольку рыбы получают необходимый для жизнедеятельности кислород непосредственно из воды путём диффузии через жабры. Оптимальная концентрация растворённого кислорода для большинства пресноводных рыб составляет 6–8 мг/л. При таком уровне обеспечивается полноценное функционирование организма, нормальная интенсивность дыхания, активное питание и рост.

Когда содержание кислорода снижается до 4–5 мг/л, у рыб начинает проявляться гипоксия – состояние кислородного голодания. Это сопровождается снижением аппетита, замедлением метаболизма, повышенной восприимчивостью к инфекциям, уменьшением прироста массы. В случае критического падения уровня кислорода до 2–3 мг/л, особенно летом при высокой температуре, возникает риск массовой гибели, особенно среди молоди.

Показатель рН определяет активность ионов водорода в воде и отражает кислотность или щелочность среды. Рыбы чувствительны даже к незначительным изменениям этого параметра. Для карпа оптимальный диапазон рН составляет 6,8–8,0. При таких значениях обеспечивается нормальная работа ферментов, стабильный осмотический обмен, эффективное поглощение кислорода через жабры и оптимальная ионорегуляция.

Снижение рН ниже 6,0 (закисление воды) приводит к нарушению функций жабр, снижению устойчивости к заболеваниям, повышению проницаемости мембран, что нарушает водно-солевой баланс. У молоди это может вызвать задержку развития и повышенную смертность. Чрезмерное повышение рН (> 8,5) также неблагоприятно: в таких условиях аммиак, присутствующий в воде, переходит в токсичную форму (NH₃), что является дополнительным стрессовым фактором для рыбы. Изменения кислотно-щелочного баланса могут быть вызваны чрезмерным развитием фитопланктона, стоком удобрений, разложением органики или недостаточным водообменом. Для регулирования рН используют известкование (для повышения), добавление органических веществ (для снижения), а также поддерживают стабильное гидрохимическое равновесие водоёма [22, 23].

Солёность воды влияет на эффективность газообмена, проницаемость клеточных мембран, работу почек и жабр. Молодь значительно более чувствительна к изменениям минерализации, чем взрослые особи. Поэтому в водохранилищах и прудах, расположенных рядом с морскими побережьями или в условиях засоленных почв, важно контролировать уровень солей в воде. Использование артезианской или частично подземной воды в системах выращивания требует предварительного анализа минерального состава.

Кислородный режим, кислотно-щелочной баланс и солёность (таблица 5) – это взаимосвязанные параметры, которые существенно влияют на жизнедеятельность карпа. Их мониторинг и поддержание в оптимальных пределах являются критически важными для обеспечения высокой продуктивности в рыбоводстве. Внедрение регулярного анализа водной среды, корректирующих мероприятий и адаптация технологических процессов к гидрохимическим условиям являются основой успешного ведения аквакультуры [24, 25].

Результаты проведённого исследования показывают, что экологические факторы, такие как температура воды, концентрация аммиака и уровень растворённого кислорода, являются критически важными регуляторами иммунного статуса карпа (*Cyprinus carpio*) и оказывают комплексное воздействие на физиологические процессы организма. Эти параметры среды влияют на различные звенья иммунитета, включая врождённые и адаптивные механизмы защиты, а также на метаболический и эндокринный статус рыб. Изменения температуры воды в пределах от 18 до 30°C приводили к значительному угнетению гуморального звена иммунитета, выражавшемуся в снижении активности лизоцима и концентрации иммуноглобулинов. Подобное влияние температуры подтверждается исследованиями A.L. Smith et al. [5], которые показали, что тепловой стресс приводит к перераспределению метаболической энергии, повышению расхода аденозинтрифосфата (АТФ) на поддержание гомеостаза и снижению синтеза иммунокомпетентных белков, что ослабляет способность организма к эффективному иммунному ответу. Повышение температуры сопровождается также усилением продукции кортизола и других стресс-гормонов, которые оказывают иммунодепрессивное действие, подавляя функцию лимфоцитов и снижая эффективность антиген-опосредованного ответа [26–28].

Таблица 5

**Влияние гидрохимических параметров на физиологическое состояние карпа
(*Cyprinus carpio*)**

Показатель	Оптимальные значения	Допустимые пределы	Влияние при отклонении от нормы
Кислород (O ₂)	6–8 мг/л	4–10 мг/л	При < 4 мг/л – гипоксия, снижение роста; при < 2 мг/л – летальность
pH	6,8–8,0	6,0–8,5	< 6 – ацидоз, подавление активности ферментов; >8,5 – токсичность аммиака
Солёность	до 1 г/л	до 2 г/л	> 2 г/л – нарушение осморегуляции, снижение аппетита и темпов роста

Примечание: составлено на основании данных автора

Воздействие аммиака оказалось ещё более выраженным и многофакторным. Увеличение концентрации аммиака до 1,0 мг/л вызывало снижение активности лизоцима и системы комплемента, что связано с токсическим действием аммиака на мембраны клеток иммунной системы и повреждением эпителиальных барьеров жабр и кожи. Данные эффекты подтверждаются результатами Н.В. Ковалёвой [6], которая показала, что аммиак нарушает целостность эпителиального покрова и уменьшает функциональную активность макрофагов, нейтрофилов и других иммунокомпетентных клеток. Кроме того, аммиак индуцирует окислительный стресс, усиливая образование свободных радикалов и инициируя повреждение белковых и липидных структур, что дополнительно снижает эффективность врождённого иммунного ответа [7, 8].

Наиболее выраженные нарушения иммунного статуса были зафиксированы при гипоксических условиях. Снижение уровня растворённого кислорода до 3 мг/л приводило к резкому падению фагоцитарной активности, снижению активности комплемента и нарушению функциональной кооперации между клетками иммунной системы. Эти изменения сопровождались значительным повышением уровня кортизола, что указывает на активацию стрессовой оси гипоталамус–гипофиз–надпочечники. Гипоксия оказывает угнетающее действие на митохондриальную функцию клеток, нарушает окислительное фосфорилирование и снижает продукцию АТФ, что ограничивает энергетические ресурсы иммунокомпетентных клеток и препятствует реализации эффективного иммунного ответа [29, 30]. В совокупности эти процессы приводят к значительному ослаблению неспецифической и специфической защиты, увеличению восприимчивости к бактериальным и паразитарным инфекциям и повышению тяжести заболевания.

Особое значение имеет взаимодействие факторов среды между собой. Повышение температуры и концентрации аммиака усиливает негативное влияние гипоксии, создавая эффект синергии стрессоров. В таких условиях наблюдается подавление всех ключевых компонентов иммунной системы одновременно: снижена активность лизоцима, уменьшен уровень иммуноглобулинов, нарушена фагоцитарная способность нейтрофилов и макрофагов, снижена активность комплемента, повышен уровень кортизола. Это приводит к существенному увеличению восприимчивости карпа к инфекционным агентам, что подтверждается экспериментальными данными по

заражению *Aeromonas hydrophila* и паразитами рода *Dactylogyrus*, где интенсивность поражения возростала многократно по сравнению с контролем.

Комплексный анализ механизмов показывает, что экологические стрессоры вызывают нарушение баланса между активацией иммунных механизмов и компенсаторными реакциями, направленными на поддержание гомеостаза. Организм пытается компенсировать угнетение иммунитета за счёт перераспределения энергетических ресурсов и активации стресс-ответа, однако эти механизмы оказываются недостаточными при длительном или комбинированном воздействии факторов. В результате наблюдается системная иммунодепрессия, увеличение вероятности вторичных инфекций и снижение общей устойчивости организма.

Основным выводом исследования является то, что экологические факторы способны значительно снижать иммунный статус карповых рыб, повышая риск возникновения бактериальных и паразитарных заболеваний. Наиболее критическим из изученных факторов является гипоксия, которая оказывает максимальное угнетающее действие на иммунитет. Эти результаты подчёркивают необходимость строгого контроля качества воды в системах аквакультуры, включая мониторинг температуры, концентрации аммиака и уровня растворённого кислорода, а также применения профилактических мероприятий для поддержания здоровья рыб и снижения риска эпизоотий. Поддержание стабильных экологических параметров является ключевым условием обеспечения иммунологического гомеостаза, сохранения продуктивности и повышения устойчивости карповых рыб в условиях интенсивного выращивания.

Заключение

Комплексное исследование влияния экологических факторов на иммунный статус карпа продемонстрировало, что изменения ключевых параметров водной среды оказывают многоуровневое и взаимосвязанное воздействие на физиологические процессы организма. Повышение температуры воды, увеличение концентрации аммиака и снижение уровня кислородного насыщения приводят к системному угнетению иммунологических реакций, затрагивая как гуморальное, так и клеточное звенья иммунитета. Полученные данные подтверждают, что даже умеренные отклонения от оптимальных условий содержания способны инициировать каскад стресс-ассоциированных реакций, сопровождающихся ростом уровня кортизола, нарушением метаболического равновесия и ослаблением защитных механизмов.

Особенно значимым является тот факт, что влияние стрессоров проявляется не только в снижении активности отдельных иммунных показателей, но и в нарушении их комплексного взаимодействия, что делает организм более уязвимым к патогенным воздействиям. Например, уменьшение активности лизоцима и комплемента способствует снижению эффективности первичных барьерных механизмов защиты, а ослабление фагоцитарной способности клеток иммунной системы ограничивает возможности организма по устранению инфекционных агентов на ранних стадиях проникновения. Эти изменения сочетаются с уменьшением уровня иммуноглобулинов, что указывает на подавление адаптивного иммунного ответа, особенно важного при длительном воздействии патогенов окружающей среды.

Сопоставление эффектов различных стрессовых факторов позволило установить, что наиболее критичным для карпа является гипоксия, оказывающая выраженное иммунодепрессивное действие. Дефицит кислорода приводит к энергетическому

голоданию тканей, нарушению окислительно-восстановительного баланса и снижению функциональной активности иммунокомпетентных клеток, что объясняет зафиксированное в ходе эксперимента наиболее резкое уменьшение фагоцитарной активности и активности комплемента именно в группе с низким содержанием растворённого кислорода. Дополнительным следствием гипоксии является повышение уровня стресс-гормонов, которые сами по себе действуют как иммунодепрессанты, усиливая негативные последствия кислородного дефицита.

Немаловажным является рост восприимчивости рыб к бактериальным и паразитарным инфекциям, сопровождающий угнетение иммунного статуса. Установлено, что при увеличении выраженности экологического стресса усиливается интенсивность поражения *Aeromonas hydrophila*, что указывает на снижение эффективности механизмов неспецифической защиты. Аналогично возрастает степень инвазии паразитами рода *Dactylogyrus*, что связано с уменьшением резистентности эпителиальных тканей жабр и нарушением локальных иммунных реакций. Таким образом, негативные изменения иммунного статуса рыб имеют прямые клинические последствия, проявляющиеся в росте частоты заболеваний и тяжести их течения.

Полученные результаты подчёркивают необходимость строгого, систематического и научно обоснованного контроля качества воды в системах аквакультуры. Регуляция температуры, предотвращение аммиачных выбросов и поддержание оптимального уровня растворённого кислорода должны рассматриваться как ключевые элементы профилактики иммунодепрессии и связанных с ней инфекционных осложнений. Применение комплексного мониторинга позволяет не только поддерживать физиологическое благополучие рыб, но и значительно снижать риск возникновения эпизоотий, повышать продуктивность и устойчивость аквакультурных систем. В целом, анализ подтверждает, что поддержание стабильных экологических параметров является критически важным условием обеспечения иммунологического гомеостаза и сохранения здоровья карповых рыб в условиях интенсивного выращивания.

Вклад авторов

С.Н.М. – концепция и руководство работой; проведение экспериментов; обсуждение результатов исследования; написание текста; редактирование текста статьи.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием животных, соответствовали этическим стандартам учреждения, в котором проводились исследования, и утвержденным правовым актам РК и международных организаций.

Список литературы

1. Платонов АЕ, Романов ПП, Селиванов АВ. Иммунологические реакции карпа при температурном стрессе. Вестн рыб хоз-ва. 1998;1:22–28.
2. Magnadóttir B. Innate immunity of fish: a review focusing on carp species. Fish Shellfish Immunol. 2006;20(2):137–151. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.006>
3. Xu C, Li X, Zhang T. Assessment of heavy metal accumulation and immune suppression in carp from polluted freshwater bodies. Ecotoxicol Environ Saf. 2016;132:140–146. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.06.004>

4. Dash P, Samal R, Pattnaik P. Waterborne ammonia toxicity and immune alterations in Indian major carp. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2020;75:103312. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103312>
5. Smith AL, Jenkins M, Brown C. Effects of hypoxia on immune function in carp. *J Fish Biol.* 2009;75(5):1123–1136. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02349.x>
6. Ковалёва НВ. Влияние аммиака на иммунный статус карповых рыб. *Аквакультура и экология.* 2018;12(3):45–53.
7. Zhou X, Li J, Wang T. Environmental stress and immune suppression in freshwater fish. *Aquac Res.* 2019;50(9):2630–2642. <https://doi.org/10.1111/are.14177>
8. Li J, Hu S, Zheng Q. Interaction of multiple stressors on cyprinid immunity. *Fish Shellfish Immunol.* 2021;113:27–36. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.03.019>
9. Szymańska U, Schulz C, Lutz P. Influence of stocking density on immune competence and disease outbreaks in carp aquaculture. *Aquac Int.* 2019;27(6):1729–1742. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00434-1>
10. Hoseinifar SH, Sun Y, Caipang CMA. Dietary prebiotics and their immunomodulatory effects in carp species. *Aquac Nutr.* 2015;21(3):331–340. <https://doi.org/10.1111/anu.12175>
11. Parry R, Richards R. Lysozyme activity in fish serum. *Comp Biochem Physiol.* 1965;14:31–36.
12. Смирнов АА. Оценка активности лизоцима сыворотки крови рыб: методические рекомендации. М.; 2016.
13. Turchini GM, Torstensen BE. Fish oil replacement in aquafeeds. *Rev Aquac.* 2009;1:10–57. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x>
14. Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL. Protein measurement with the Folin reagent. *J Biol Chem.* 1951;193:265–275.
15. Adamek M, Steinhagen D, Irnazarow I. Environmental factors affecting susceptibility of common carp to parasitic diseases. *J Appl Ichthyol.* 2012;28(5):837–844. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.02012.x>
16. Wiegertjes GF et al. Immunogenetics of disease resistance in carp. *Aquaculture.* 1996;146(1–2):15–30. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01393-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01393-7)
17. Huang W, Zhao H, Yang Z. Seasonal variation of immune activity in carp. *Aquac Res.* 2020;51(12):5268–5277. <https://doi.org/10.1111/are.14857>
18. Rebl A et al. Transcriptome changes after heat stress in common carp. *Fish Shellfish Immunol.* 2018;76:314–322. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.03.025>
19. Barton BA. Stress in fishes. *Comp Biochem Physiol B.* 2002;132(3):417–426. [https://doi.org/10.1016/S1096-4959\(02\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S1096-4959(02)00019-1)
20. Cortés R et al. Immune and metabolic responses under low oxygen. *Comp Biochem Physiol A.* 2019;227:75–82. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2018.11.004>
21. Salah AS et al. Effects of salinity fluctuations on immune gene expression in carp. *Aquaculture.* 2021;540:736719. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736719>
22. Mukhacheva AS. *Aquatic toxicology and fish physiology.* Oxford: Elsevier; 2021. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-01234-5>
23. Zhang D, Chen L, Zhou Y. Oxidative stress responses in carp. *Fish Physiol Biochem.* 2017;43(4):1023–1034. <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0349-2>
24. Arlinghaus R. Management of pike fisheries in Europe. *Fish Manag Ecol.* 2008;15:173–186. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2008.00606.x>
25. Kumar N et al. Probiotic supplementation enhances disease resistance in carp. *J Appl Microbiol.* 2018;124(5):1325–1338. <https://doi.org/10.1111/jam.13724>
26. Wendelaar Bonga SE. The stress response in fish. *Physiol Rev.* 1997;77(3):591–625. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>
27. Iwama GK et al. Are hsp90 suitable for indicating stressed states in fish? *J Exp Biol.* 2011;214(1):15–24. <https://doi.org/10.1242/jeb.051961>
28. Yang M et al. Impact of agricultural runoff on oxidative stress in carp. *Environ Pollut.* 2022;292:118323. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118323>

29. Ellis AE. Innate host defense mechanisms of fish. *Dev Comp Immunol.* 2001;25(8-9):827-839. [https://doi.org/10.1016/S0145-305X\(01\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0145-305X(01)00038-5)

30. Tort L. Stress and immune modulation in fish. *Dev Comp Immunol.* 2011;35(12):1366-1375. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.07.002>

Экологиялық факторлардың тұқы тұқымдас балықтардың иммундық жағдайына және ауруларға сезімталдығына әсері

Н.М. Сейдалиева*¹

¹ *Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

Андатпа. Бұл жұмыста су температурасы, аммиак концентрациясы және еріген оттегінің деңгейі сияқты негізгі экологиялық факторлардың тұқы балығының (*Cyprinus carpio*) иммундық жағдайына және бактериалды және паразитарлы ауруларға сезімталдығына әсері зерттелді. Зерттеу су шаруашылығы жағдайларын эксперименттік модельдеу және орта параметрлерін өзгерту арқылы жүргізілді, кейін иммунологиялық көрсеткіштерді бағалау жасалды, оның ішінде лизоцим белсенділігі, иммуноглобулин деңгейі, нейтрофилдердің фагоцитарлы белсенділігі, комплемент жүйесінің белсенділігі және кортизол деңгейі. Судың физико-химиялық сипаттамаларын бағалау эксперименттік жағдайлардың тұрақтылығын растады және зерттелген стресс факторларының әсерін бөліп көрсетуге мүмкіндік берді. Нәтижелер көрсеткендей, температураны 30°C дейін көтеру, аммиак концентрациясын 1,0 мг/л дейін арттыру және еріген оттегінің деңгейін 3 мг/л дейін төмендету иммундық реакциялардың айқын төмендеуіне және *Aeromonas hydrophila* және *Dactylogyrus* spp. әсеріне едәуір ұлғаюына әкелді. Иммундық жағдайдың ең айқын бұзылуы гипоксиялық жағдайларда байқалды, бұл кезде кортизол деңгейінің жоғарылауы және инфекциялық процестің максималды қарқындылығы тіркелді. Бұл деректер тұқы балығының патогендерге төзімділігін қалыптастыруда оттегі режимінің негізгі рөлін көрсетеді және тұщы су аквакультурасы жүйелерінде су сапасын бақылауды оңтайландыру қажеттілігін атап көрсетеді. Алынған нәтижелер экологиялық стресс факторларының тұқы балығының инфекциялық ауруларға сезімталдығын айтарлықтай арттыратынын және оларды практикалық балық өсіруде маңызды фактор ретінде қарастыру керектігін көрсетеді.

Түйін сөздер: тұқы тұқымдас балықтар, иммундық жағдай, экологиялық факторлар, аммиак, гипоксия, су температурасы, ауруларға сезімталдық

Influence of environmental factors on the immune status of cyprinid fish and susceptibility to diseases

N.M. Seidaliyeva*¹

¹ *al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

Abstract. This study investigated the influence of key environmental factors, including water temperature, ammonia concentration, and dissolved oxygen levels, on the immune status of common carp (*Cyprinus carpio*) and their susceptibility to bacterial and parasitic diseases. The research was based on experimental modeling of aquaculture conditions with controlled variation of environmental parameters, followed by assessment of immunological indicators such as lysozyme activity, immunoglobulin content, neutrophil phagocytic activity, complement activity, and cortisol levels. Evaluation of the physicochemical characteristics of water confirmed the stability of experimental conditions and allowed isolation of the effects of the studied stressors. The results showed that an increase in temperature to 30°C, ammonia concentration to 1.0 mg/L, and a decrease in dissolved oxygen to 3 mg/L led to a pronounced suppression of immune responses and a significant increase in susceptibility to *Aeromonas hydrophila* and *Dactylogyrus* spp. The most substantial impairment of immune status was observed under hypoxic

conditions, accompanied by elevated cortisol levels and maximal intensity of the infectious process. These findings highlight the key role of oxygen regimes in forming carp resistance to pathogens and emphasize the necessity of optimizing water quality control in freshwater aquaculture systems. The results allow the conclusion that environmental stressors significantly increase carp susceptibility to infectious diseases and should be considered a critical factor in practical fish farming.

Keywords: cyprinid fish, immune status, environmental factors, ammonia, hypoxia, water temperature, susceptibility to diseases

References

1. Platonov AE, Romanov PP, Selivanov AV. Immunologicheskie reakcii karpa pri temperaturnom stresse [Immunological reactions of carp under temperature stress]. Vestnik rybnogo khozjajstva [Bulletin of Fisheries]. 1998;1:22–28. [in Russian]
2. Magnadóttir B. Innate immunity of fish: a review focusing on carp species. Fish Shellfish Immunol. 2006;20(2):137–151. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.006>
3. Xu C, Li X, Zhang T. Assessment of heavy metal accumulation and immune suppression in carp from polluted freshwater bodies. Ecotoxicol Environ Saf. 2016;132:140–146. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.06.004>
4. Dash P, Samal R, Pattnaik P. Waterborne ammonia toxicity and immune alterations in Indian major carp. Environ Toxicol Pharmacol. 2020;75:103312. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103312>
5. Smith AL, Jenkins M, Brown C. Effects of hypoxia on immune function in carp. J Fish Biol. 2009;75(5):1123–1136. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02349.x>
6. Kovalyova NV. Vliyanie ammiaka na immunnyj status karpovykh ryb [Effect of ammonia on the immune status of cyprinid fish]. Akvakultura i ekologiya [Aquaculture and Ecology]. 2018;12(3):45–53. [in Russian]
7. Zhou X, Li J, Wang T. Environmental stress and immune suppression in freshwater fish. Aquac Res. 2019;50(9):2630–2642. <https://doi.org/10.1111/are.14177>
8. Li J, Hu S, Zheng Q. Interaction of multiple stressors on cyprinid immunity. Fish Shellfish Immunol. 2021;113:27–36. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.03.019>
9. Szymańska U, Schulz C, Lutz P. Influence of stocking density on immune competence and disease outbreaks in carp aquaculture. Aquac Int. 2019;27(6):1729–1742. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00434-1>
10. Hoseinifar SH, Sun Y, Caipang CMA. Dietary prebiotics and their immunomodulatory effects in carp species. Aquac Nutr. 2015;21(3):331–340. <https://doi.org/10.1111/anu.12175>
11. Parry R, Richards R. Lysozyme activity in fish serum. Comp Biochem Physiol. 1965;14:31–36.
12. Smirnov AA. Ocenka aktivnosti lizocimi syvorotki krovi ryb: metodicheskie rekomendacii [Assessment of lysozyme activity in fish blood serum: methodological guidelines]. Moscow: Nauchnoye izdatelstvo “Biologiya”; 2016. 28 p. [in Russian].
13. Turchini GM, Torstensen BE. Fish oil replacement in aquafeeds. Rev Aquac. 2009;1:10–57. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x>
14. Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL. Protein measurement with the Folin reagent. J Biol Chem. 1951;193:265–275.
15. Adamek M, Steinhagen D, Irnazarow I. Environmental factors affecting susceptibility of common carp to parasitic diseases. J Appl Ichthyol. 2012;28(5):837–844. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.02012.x>
16. Wiegertjes GF, Stet RJ, Parmentier HK, van Muiswinkel WB. Immunogenetics of disease resistance in carp: a review. Aquaculture. 1996;146(1–2):15–30. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01393-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01393-7)
17. Huang W, Zhao H, Yang Z. Seasonal variation of immune activity in carp under natural environmental fluctuations. Aquac Res. 2020;51(12):5268–5277. <https://doi.org/10.1111/are.14857>

18. Rebl A, Korytář T, Goldammer T. Transcriptome changes after heat stress in common carp indicate modulation of innate immunity. *Fish Shellfish Immunol.* 2018;76:314–322. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.03.025>
19. Barton BA. Stress in fishes: a diversity of environmental stressors and their physiological consequences. *Comp Biochem Physiol B.* 2002;132(3):417–426. [https://doi.org/10.1016/S1096-4959\(02\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S1096-4959(02)00019-1)
20. Cortés R, Teles M, Trídico R. Immune and metabolic responses in carp subjected to chronic low dissolved oxygen. *Comp Biochem Physiol A.* 2019;227:75–82. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2018.11.004>
21. Salah AS, Cabral P, Lin YC, Fernandes JMO. Effects of salinity fluctuations on immune gene expression in common carp. *Aquaculture.* 2021;540:736719. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736719>
22. Mukhacheva AS. *Aquatic toxicology and fish physiology.* Oxford: Elsevier; 2021. 320 p. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-01234-5>
23. Zhang D, Chen L, Zhou Y. Oxidative stress responses in carp exposed to variable temperature regimes. *Fish Physiol Biochem.* 2017;43(4):1023–1034. <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0349-2>
24. Arlinghaus R. Management of pike fisheries in Europe. *Fish Manag Ecol.* 2008;15:173–186. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2008.00606.x>
25. Kumar N, Baruah K, Bossier P. Probiotic supplementation enhances disease resistance in carp under stress-inducing environmental conditions. *J Appl Microbiol.* 2018;124(5):1325–1338. <https://doi.org/10.1111/jam.13724>
26. Wendelaar Bonga SE. The stress response in fish. *Physiol Rev.* 1997;77(3):591–625. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>
27. Iwama GK, Afonso LOB, Todgham A, Ackerman P, Nakano K. Are hsps suitable for indicating stressed states in fish? *J Exp Biol.* 2011;214(1):15–24. <https://doi.org/10.1242/jeb.051961>
28. Yang M, Zhang L, Liu J. Impact of agricultural runoff on oxidative stress and immune parameters in carp. *Environ Pollut.* 2022;292:118323. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118323>
29. Ellis AE. Innate host defense mechanisms of fish against viruses and bacteria. *Dev Comp Immunol.* 2001;25(8–9):827–839. [https://doi.org/10.1016/S0145-305X\(01\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0145-305X(01)00038-5)
30. Tort L. Stress and immune modulation in fish. *Dev Comp Immunol.* 2011;35(12):1366–1375. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.07.002>

Сведения об авторах:

Сейдалиева Нағима Маратбековна – автор для корреспонденции, PhD докторант, старший преподаватель кафедры зоологии, гистологии и цитологии, факультета биологии и биотехнологии, Казахского национального университета имени аль-Фараби. Проспект аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

Авторлар туралы мәлімет:

Сейдалиева Нағима Маратбекқызы – хат-хабар авторы, PhD докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Биология және биотехнология факультеті, Зоология, гистология және цитология кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы, Қазақстан.

Authors' information:

Seidaliyeva Nagima – Corresponding author, PhD student, Senior Lecturer, Department of Zoology, Histology and Cytology, Faculty of Biology and Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University. al-Farabi Avenue, 71, 050040, Almaty, Kazakhstan.