

УДК 597.5
DOI: 10.26456/vtbiol423

СРАВНИТЕЛЬНАЯ МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАРПА И ТИЛЯПИИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КРОВИ

В.Д. Чан, Г.И. Пронина

Российский государственный аграрный университет –
МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

Показатели крови, являются индикаторами, характеризующими состояние здоровья и иммунный статус животных, влияние среды. У рыб клетки крови имеют свои особенности, поэтому их изучение является актуальным направлением. В эритrogramме карпа выше доля нормобластов, чем у тиляпии. В лейкоцитарной формуле карпа больше миелоцитов (незрелых форм миелоидного ряда) и сегментоядерных нейтрофилов (зрелых фагоцитов). В крови тиляпии присутствуют базофилы. В настоящей работе представлены результаты исследования морфологии и клеточного состава крови рыб разных систематических групп: карпа и тиляпии, содержащихся в прудовых и аквариальных условиях соответственно. Показано, что по массе и размерам карп превосходил тиляпию. Содержание лиосомального катионного белка в нейтрофилах крови карпа был выше, чем у тиляпии. Эти различия, вероятно, связаны с видовыми особенностями, а также условиями обитания, способностью к адаптации и иммунным ответом каждого вида.

Ключевые слова: кровь рыб, карп, тиляпия, эритrogramма, лейкоцитарная формула, средний цитохимический коэффициент, катионный лизосомальный белок.

Введение. Клетки крови играют важную роль в кровеносной системе рыб, отражая физиологические изменения, сезонные колебания и способность адаптироваться к условиям окружающей среды (Головина, Тромбицкий, 1989; Камышников, 2004; Анохина и др., 2012). Параметры крови являются чувствительными биологическими индикаторами, оперативно реагирующими на различные экологические факторы, включая загрязнение воды токсичными веществами (Witeska et al., 2023), и служат важным критерием для оценки качества и здоровья аквакультурных рыб (Романова и др., 2020). Анализ гематологических показателей, а также состава эритроцитов и лейкоцитов представляет собой эффективный инструмент для определения физиологического и иммунного состояния рыб (Гудков и др., 2011; Федоровых и др., 2016). Особенности вида и среды обитания отражаются в составе

эритроцитов и лейкоцитов, среди которых можно выделить зрелые и базофильные эритроциты, нормобласти, лимфоциты, моноциты, нейтрофилы, эозинофилы, базофилы и небольшое количество незрелых форм лейкоцитов (Пронина и др., 2021). Соотношение различных клеточных элементов позволяет судить о физиологическом статусе рыб и наличии стресс-факторов (Иванова, 1983; Parish et al., 1986; Головина, Тромбицкий, 1989; Житенева и др., 1989; Точилина, 1994; Микряков и др., 2001). Эти гематологические показатели не только помогают оценить физиологическое состояние рыб, но и позволяют выявить влияние различных заболеваний, их тяжесть и возможный прогноз (Головина, 2022).

Исследования морфологии клеток крови рыб проводились на множестве видов, включая как пресноводных, так и морских рыб, таких как арктический голец (*Salvelinus alpinus lepechini* L.) (Анохина и др., 2012), сиг (*Coregonus lavaretus* L.) в районе Кольского озера (Королева, 2016), лещ (*Abramis brama* L.) (Конькова, Фёдорова, 2016), глубоководные рыбы (*Arctozenus risso* B., *Paralepis coregonoides* R.) (Пронина и др., 2021), а также тресковые (Gadidae) (Pronina et al., 2024). Помимо этого, сравнительный анализ морфологии и количества эритроцитов у различных видов рыб выявил значительные различия в форме и размере клеток крови (Megarani et al., 2020; Gaoshang Han et al., 2021; Martins et al., 2021). В частности, у костных пресноводных рыб содержание эритроцитов в два раза ниже, чем у морских рыб (Сухаренко, Максимов, 2021).

Карп (*Cyprinus carpio* L.) и Тиляпия (*Oreochromis niloticus* L.) являются одними из наиболее распространённых объектов аквакультуры благодаря высокой продуктивности, устойчивости к различным условиям среды и способности адаптироваться к изменяющимся факторам. Сравнительный анализ их гематологических показателей позволяет выявить физиологические и иммунные особенности, а также определить их приспособленность к различным условиям содержания и кормления. Целью данного исследования является сравнение физиологических и иммунных характеристик карпа и тиляпии на основе гематологических показателей, что позволит уточнить их физиологические особенности и адаптивный потенциал.

Методика. Объектами исследования являлись карп (*C. carpio*) и нильская тиляпия (*O. niloticus*).

Морфометрические показатели определялись по стандартным методикам. Физиологическое состояние и иммунный статус рыб оценивался по эритrogramме, лейкограмме и содержанию неферментного катионного белка в нейтрофилах крови.

Кровь для анализа отбиралась из хвостовой вены рыб прижизненно.

Состав лейкоцитов и долю незрелых форм клеток определяли в окрашенных по Паппенгейму мазках периферической крови (Пронина, Корягина, 2017) на цифровом микроскопе Биолаб ЛЮМ 11, Россия (рис. 1). Фагоцитарная активность нейтрофилов рыб оценивалась с помощью лизосомально-катионного теста цитохимическим методом с бромфеноловым синим, адаптированным для гидробионтов (Пронина, 2014). Определялось содержание неферментного катионного белка в лизосомах нейтрофилов периферической крови микроскопически на цифровом микроскопе Биолаб 11.

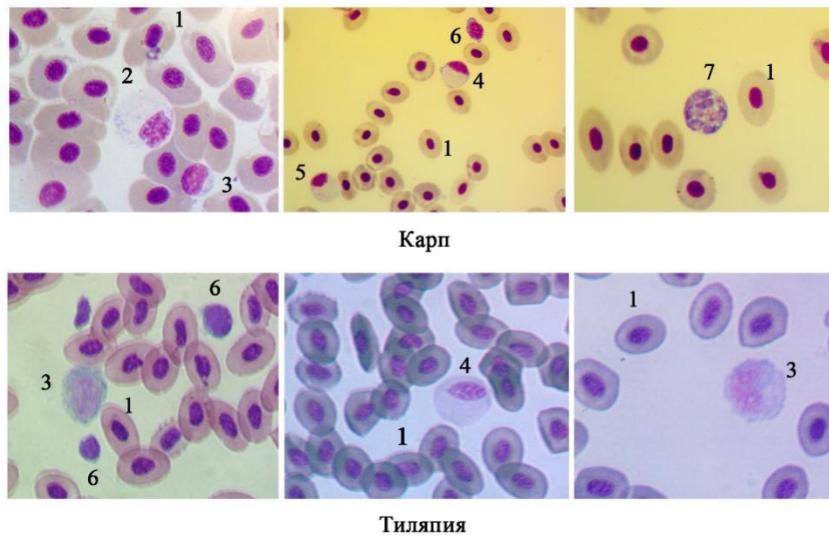


Рис. 1. Микроскопическая картина крови рыб:
1 – зрелый эритроцит; 2 – сегментоядерный нейтрофил; 3 – моноцит;
4 – метамиелоцит; 5 – миелоцит; 6 – лимфоцит; 7 – базофил

Результаты и обсуждение. По массе тела карп практически в два раза больше тиляпии, длина тела карпа достоверно выше, чем у тиляпии (табл. 1). Это связано с видовыми особенностями роста и развития рыб. Тиляпия является тугорослой.

В эритrogramме тиляпии незрелых форм клеток эритроидного ряда (базофильных, полихроматофильных и оксифильных нормобластов) значительно меньше, чем у карпа: $2,2 \pm 0,6\%$ против $10,7 \pm 0,7\%$. Доля зрелых эритроцитов у карпа ниже. Это может быть связано с активным процессом эритропоэза у карпа (Сухаренко, Максимов, 2021). Вероятно, у карпа в большей степени происходило разрушение эритроцитов, которое стимулирует выработку эритропоэтина в почках (Schoener, Borger, 2024).

Таблица 1

Морфометрические, гематологические и цитохимические показатели рыб

Показатели	Карп	Тиляпия
Размерно-весовые		
Масса тела, г	437,2±19,3	218,2±8,5***
Длина тела, см	24,7±0,7	19,1±2,4*
Эритрограмма, %		
Гемоцитобласти, эритробласти	0,3±0,2	0,4±0,2
Базофильные, полихроматофильные и окси菲尔ные нормобласти	10,7±0,7	2,2±0,6***
Ортохроматофильные нормобласти	3,1±0,3	2,4±0,7
Зрелые эритроциты	85,9±0,8	94,9±0,7***
Лейкоцитарная формула, %		
Миелобласти	0,9±0,3	1,4±0,3
Промиелоциты	0,6±0,2	1,0±0,5
Миелоциты	1,4±0,4	0,4±0,2*
Метамиелоциты	1,1±0,4	1,6±0,6
Палочкоядерные нейтрофилы	1,0±0,3	0,6±0,3
Сегментоядерные	3,4±0,8	0,3±0,3***
Эозинофилы	0,3±0,2	0,1±0,2
Базофилы	0,00	0,9±0,4***
Моноциты	2,7±0,6	5,1±1,3
Лимфоциты	88,6±1,4	88,5±1,1
Лизосомально-катионный тест		
СЦК, ед.	1,74±0,06	1,41±0,10**

Примечание: различия достоверны по критерию Стьюдента * - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,02$;
*** - $P \leq 0,01$.

Как у карпа, так и у тиляпии присутствуют гранулоциты, аналогично большинству представителей отряда Perciformes. Они представлены четырьмя основными типами: базофилами, эозинофилами, палочкоядерными нейтрофилами и сегментоядерными нейтрофилами (Иванова, 1983; Головина, Тромбицкий, 1989; Балабанова, 2002; Никитенко, 2022).

Доля миелоцитов и зрелых сегментоядерных нейтрофилов в крови тиляпии достоверно меньше, чем у карпа. Однако процент лимфоцитов у карпа и тиляпии находится примерно на одном уровне. В лейкограмме тиляпии присутствуют базофилы в пределах физиологической нормы, тогда как у карпа эти клетки не встречались. Ранее проведенные исследования крови тилапии и карпа показали, что

базофилы, эозинофилы и моноциты составляют лишь небольшую долю в лейкоцитарной формуле рыб (El-Sayed et al., 2007; Пронина, Петрушин, 2012), а базофилы, как правило, не наблюдаются у большинства видов рыб (Megarani et al., 2020). В то же время лимфоциты обычно составляют от 45 до 99% от общего количества лейкоцитов (Иванов и др., 2018).

Процентное соотношение различных видов лейкоцитов в крови отличается между видами. У карпа доля гранулоцитов (миелоциты, сегментоядерные нейтрофилы) выше, чем у тиляпии. Это может быть связано с потребностью организма в неспецифической иммунной защите, а также с различиями в условиях содержания, поскольку в данном исследовании образцы крови карпа были взяты из пруда, тогда как тиляпия содержалась в лабораторных бассейнах. Клеточный состав крови в основном зависит от условий окружающей среды, а показатели эритроцитов и лейкоцитов зависят от температуры воды, уровня загрязнения, режима питания, плотности посадки, сезона, возраста и физиологического состояния рыбы (Житенева и др., 1989; Головина, Тромбицкий, 1989; Пронина, Корягина, 2010).

Определено, что количество нейтрофилов и лимфоцитов изменяется в противоположных направлениях под воздействием стресса (Davis et al., 2008). Например, у карпа (*Carassius gibelio* V.) стрессовые особи демонстрируют значительное снижение процента тромбоцитов и лимфоцитов, в то время как количество нейтрофилов увеличивается (Aksentijević et al., 2023). Кроме того, кратковременное повышение температуры тела может привести к увеличению общего количества лейкоцитов, особенно псевдоэозинофилов и моноцитов, а также к снижению количества нейтрофилов и лимфоцитов (Suljević et al., 2017).

Действительно, очевидно, что увеличение доли одной популяции лейкоцитов влечет за собой уменьшение другой. В нашем опыте наблюдается достоверное уменьшение сегментоядерных нейтрофилов у тиляпии. Однако, увеличения лимфоцитов не происходит, так как увеличивается процент моноцитов.

Различные условия окружающей среды и режимы питания могут оказывать влияние на гематологические показатели рыб (Sehonova et al., 2018). Количество лейкоцитов может варьироваться даже в пределах одного вида (Witeska et al., 2022). Более того, на количество лейкоцитов у рыб могут влиять как внутренние, так и внешние факторы, такие как пол, сезон, рацион, стресс, загрязнение воды и заболевания (Ahmed et al., 2020).

На рисунке 2 представлены нейтрофилы с выпавшим лизосомальным катионным белком в реакции с бромфеноловым синим.

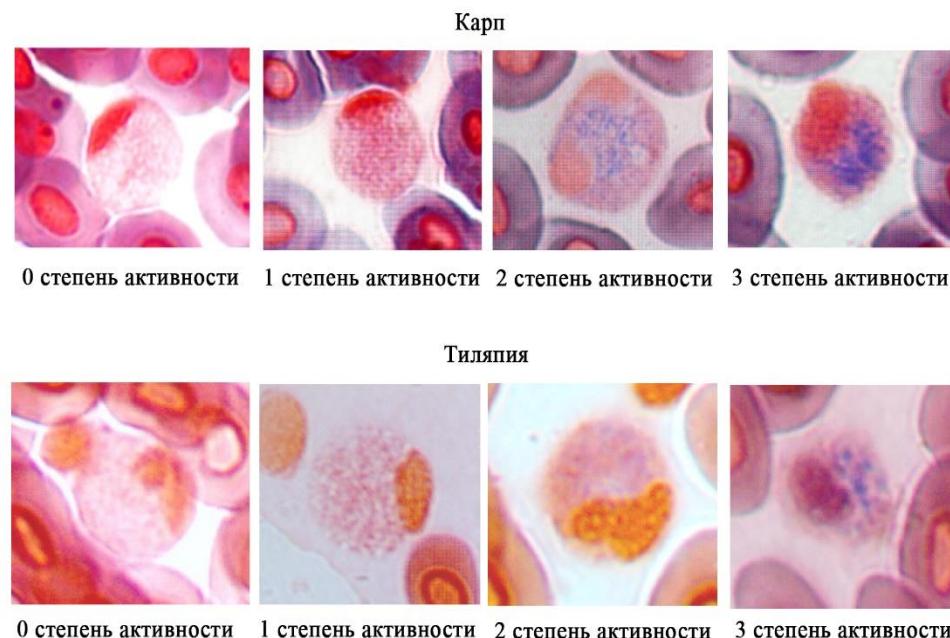


Рис. 2. Выпавший катионный белок в реакции с бромфеноловым синим.

Результаты лизосомально-катионного теста показали, что СЦК изучаемых рыб находилось в пределах физиологической нормы. У тиляпии показатель был достоверно ниже, чем у карпа. Это, может быть связано как с видовыми особенностями, так и с условиями содержания рыб: карп находился в прудовых условиях, тиляпия – в аквариальных. Согласно литературным данным, значение данного показателя может изменяться в зависимости от различных факторов. Эти различия, вероятно, обусловлены как физиологическими особенностями, так и иммунным потенциалом каждого вида. Как отмечает Magnadottir (2006), специфические иммунные параметры и приобретенные защитные механизмы значительно варьируют даже среди близкородственных видов рыб, таких как лососевые.

Заключение. Таким образом, отмечены видовые различия между карпом и тиляпией по размерно-весовым показателям (у карпа большая масса и длина тела), эритrogramме, лейкоцитарной формуле и среднему цитохимическому коэффициенту содержания лиосомального кационного белка в нейтрофилах крови (у тиляпии показатель ниже). Эти различия отражают биологические особенности каждого вида и условиями среды обитания.

Список литературы

- Анохина В.С., Квасоварова А.Н., Щербак К.С. 2012. Характеристика крови и гистология половых желёз заводского и дикого гольца озёрного // Вестник МГТУ. Т. 15. № 4. С. 691-700.
- Балабанова Л.В. 2002. Ультраструктура гранулоцитов некоторых видов окунеобразных рыб // Биология внутр. вод. № 1.С. 79-84.
- Головина Н.А. 2022. Ихиопатологический мониторинг и контроль: учебный план / Страханский государственный технический университет. 60 с.
- Головина Н.А., Тромбицкий И.Д. 1989. Гематология прудовых рыб. Кишинев: Штиинца. 156 с.
- Гудков Д.И., Поморцева Н.А., Родионова Н.К., Каглян А.Е., Назаров А.Б. 2011. Особенности морфологии эритроцитов и лейкоцитарной формулы периферической крови рыб в водоемах Чернобыльской зоны отчуждения // Международная научно-практическая конференция «Радиоэкология XXI века». Сборник науч. трудов. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т. http://conf.sfu-kras.ru/conf/radioecology-XXI/report?memb_id=1897
- Житенева Л.Д., Полтавцева Т.Г., Рудницкая О.А. 1989. Атлас нормальных и патологически измененных клеток крови рыб. Ростов н/Д.: Ростов. книж. изд-во. 111 с.
- Иванов А.А., Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. 2018. Гематология пойкилотермных гидробионтов: монография. Иркутск: «Мегапринт». 133 с.
- Иванова Н.Т. 1983. Атлас клеток крови рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 184 с.
- Камышников В.В. 2004. Справочник по клинико-bioхимическим исследованиям лабораторной диагностике. М.: МЕДПресс-информ. 911 с.
- Конькова А.В., Фёдорова Н.Н. 2016. Патоморфологические изменения эритроцитов молоди леща *Aramis brama* Волжско Каспийского бассейна // Труды ВНИРО. Т. 162. С. 12-19.
- Королева И.М. 2016. Гематологические показатели сига обыкновенного *Coregonus lavaretus* в водоёмах Кольского севера // Труды ВНИРО. Т. 162. С. 36-45.
- Миряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А., Лапирова Т.Б., Попов А.В., Силкина Н.И. 2001. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука. 126 с.
- Никитенко А.И., Пронина Г.И., Орлов А.М., Артеменков Д.В., Строганов А.Н., Беляев В.А. 2022. О периферической крови у трех видов рыб с разной экологией (Scombridae и Bergyidae) // Известия РАН. Сер. биологическая. № 6. С. 661-667.
- Пронина Г.И. 2014. О возможностях повышения иммунной устойчивости гидробионтов в аквакультуре // Известия Оренбургского ГАУ. № 3. С. 180-183.
- Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. 2010. Влияние неблагоприятных факторов водной среды на состояние клеточного иммунитета речных раков по фагоцитарной активности их гемоцитов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. № 3(27-1). С. 251-253.

- Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. 2017. Методология физиолого-иммунологической оценки гидробионтов. Учебное пособие. СПб: Лань. 96 с.
- Пронина Г.И., Орлов А.М., Артеменков Д.В. 2021. Параметры периферической крови двух видов глубоководных рыб семейства веретенниковых (Paralepididae) // Известия РАН. Сер. биологическая. № 4. С. 444-448.
- Пронина Г.И., Петрушин А.Б. 2012. Сравнительная физиологическая оценка производителей карпа и сома обыкновенного // Известия ОГАУ. № 3. С.263-265.
- Романова Н.Н., Головина Н.А., Головин П.П., Ефремова Е.В., Вараксина В.В. 2020. Гематологические показатели муксуга (Coregonus Muksun Salmonidae) при формировании ремонтно-маточного стада в условиях рыбоводного завода // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 3. С. 331-342. doi:10.36038/0234-2774-2020-21-331-342.
- Сухаренко Е.В., Максимов В.И. 2021. Физиология рыб. Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений. ООО НПО «Сельскохозяйственные технологии». 156 с.
- Точилина Л.В. 1994. Лейкоцитарная формула морских рыб // Гидробиол. журн. Т. 30. № 3. С.50–57.
- Федоровых Ю.В., Нгуен Т.Х.В., Баканева Ю.М. 2016. Сезонные изменения показателей крови речного окуня, выращиваемого в индустриальных условиях // ЭКОСИ-Гидрофизика. Т. 3. С. 464-467.
- Ahmed I. , Reshi Q.M, Fazio F. 2020. The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: a review // Aquac. Int. 28. P. 869-899. DOI: 10.1007/s10499-019-00501-3.
- Aksentijević Ksenija, Radalj Andrea, Marković Maja, Lazarević Miodrag, Palić Dušan. 2023. Effects of transport and holding stress on prussian carp (*Carassius gibelio* Bloch, 1782.) // Leukogram pattern Acta Veterinariae Beograd. 73(2). P. 179-194. DOI: 10.2478/acve-2023-0014.
- Davis A.K., Maney D.L., Maerz J.C. 2008. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists // Funct. Ecol.V. 22. № 5. P. 760-772. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x.
- El-Sayed Y.S., Saad T.T., El-Bahr S.M. 2007. Acute intoxication of deltamethrin in monosex Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* with special reference to the clinical, biochemical and haematological effects // Environmental Toxicology and Pharmacology. № 24. P. 212-217.
- Gaoshang Han, Haijing Yao, Lu Qiang, Xiangning Chen, Yingli Gao. 2021. Comparative study of peripheral blood cells in two marine fishes (*Synechogobius hasta* and *Sebastes schlegelii*): Morphological and cytochemical characterization // Tissue and Cell. 73(2021). 101633. P. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2021.101633>.
- Magnadottir B. 2006. Innate immunity of fish (overview) // Fish & Shellfish Immunology. V. 20(2). P. 137-151. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.006>.
- Martins B.O., Franco-Belussi L., Siqueira M.S., Fernandes C.E., Provete D.B. 2021. The evolution of red blood cell shape in fishes // J. Evol. Biol. 34.

- P. 537-548. <https://doi.org/10.1111/jeb.13757>.
- Megarani D.V., Hardian A.B., Arifianto D., Santosa C.M., Salasia S.I.O.* 2020. Comparative Morphology and Morphometry of Blood Cells in Zebrafish (*Danio rerio*), Common Carp (*Cyprinus carpio carpio*), and Tilapia (*Oreochromis niloticus*) // Journal of the American Association for Laboratory Animal Science. V. 59. № 6. P. 673-680. DOI: 10.30802/AALAS-JAALAS-20-000013.
- Parish N., Wrathmell A., Hart S., Harris J.E.* 1986. The leucocytes of the elasmobranch *Scyliorhinus canicula* L. A morphological study // J. Fish. Biol. Vol. 28. № 5. P.545-561. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1986.tb05192.x>
- Pronina G.I., Orlov A.M., Artemenkov D.V., Bomko S.P., Gritsai E.V., Matvee A.A.* 2024. Hematological Features of Codfishes (Gadidae) from the Northwest Pacific // Russian Journal of Marine Biology. V. 50. № 4. P. 175-181. DOI: 10.1134/S1063074024700135.
- Schoener B., Borger J.* 2024. Erythropoietin Stimulating Agents. StatPearls Publishing, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536997>.
- Sehonova P., Svobodova Z., Dolezelova P., Vosmerova P., Faggio C.* 2018. Effects of waterborne antidepressants on non-target animals living in the aquatic environment: a review // Science Total Environ. 631-632. P. 789-794
- Suljević D., Martinović-Jukić A., Fočak M., Alijagić A., Rukavina D., Zahirović A.* 2017. Hematological importance of pseudoeosinophilic granulocytes in acclimation of common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) // Mac. Vet. Rev. V. 40(1): i-vii. <http://dx.doi.org/10.1515/macvetrev-2016-0091>.
- Witeska M., Kondera E., Bojarski B.* 2023. Hematological and Hematopoietic Analysis in Fish Toxicology-A Review // Animals. 13. 2625. P. 1-12. <https://doi.org/10.3390/ani13162625>.
- Witeska M., Kondera E., Ługowska K., Bojarski B.* 2022. Hematological methods in fish – Not only for beginners // Aquaculture. V. 547. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737498>.

COMPARATIVE MORPHOPHYSIOLOGICAL ASSESSMENT OF CARP AND TILAPIA BASED ON BLOOD PARAMETERS

V.D. Tran, G.I. Pronina

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow

Blood parameters serve as indicators reflecting the health status, immune condition of animals, and environmental influences. Fish blood cells possess unique characteristics, making their study a relevant field. In the erythrogram of carp, the proportion of normoblasts is higher than in tilapia. The leukocyte formula of carp shows more myelocytes (immature myeloid forms) and segmented neutrophils (mature phagocytes). Basophils are present in tilapia blood. This study presents results of the morphology and cellular

composition analyses of blood from fish belonging to different systematic groups: carp and tilapia reared in pond and aquarium conditions, respectively. It was demonstrated that carp exceeded tilapia in body mass and size. The content of lysosomal cationic protein in carp neutrophils was higher than in tilapia. These differences are likely associated with species-specific traits, habitat conditions, adaptive capacity, and immune responses of each species.

Keywords: *Fish blood, carp, tilapia, erythrogram, leukocyte formula, mean cytochemical coefficient, cationic lysosomal protein.*

Об авторах:

ЧАН Ван Дат – аспирант кафедры зоологии ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49. e-mail: dattran1069@gmail.com.

ПРОНИНА Галина Иозеповна – доктор биологических наук, доцент. профессор кафедры зоологии ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: gidrobiont4@yandex.ru.

Чан В.Д. Сравнительная морфо-физиологическая оценка карпа и тиляпии по показателям крови / В.Д. Чан, Г.И. Пронина // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2025. № 3(79). С. 55-64.

Дата поступления рукописи в редакцию: 28.03.25

Дата подписания рукописи в печать: 01.09.25