

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЖЕЛЧИ НЕКОТОРЫХ МОРСКИХ И ПРЭСНОВОДНЫХ ВИДОВ РЫБ И ЕГО ВОЗМОЖНОЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В УСЛОВИЯХ АКВАКУЛЬТУРЫ

^{1,2,3}Шокурова А.В., ⁴Анищенко О.В., ^{2,3}Кашинская Е.Н., ^{2,3}Соловьев М.М.

¹ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, г. Новосибирск, Россия

²Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия

⁴Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Аннотация. Исследован элементный состав желчи 429 особей рыб 21 вида пресноводных и морских рыб. Макроэлементы (Ca, K, Mg, Na, P, S) вне зависимости от эндогенных и экзогенных факторов находились в наибольшей концентрации и схожем процентном соотношении в желчи всех исследованных рыб. Однако можно отметить некоторые различия в концентрациях таких макроэлементов как K и Na между морскими и пресноводными видами. В тоже время Cu, Li, и Sr были обнаружены в желчи абсолютно всех изученных пресноводных видов, тогда как у морских в желчи всегда присутствовали такие элементы, как As, Cu, Li, Se и Sr. При этом Bi, Cd, Mo и Tl у большинства рыб обеих групп отсутствовали. Статистический анализ полученных данных позволил сделать вывод о достоверном влиянии на элементный состав желчи таких факторов как «тип питания», «местообитание», «сезонная и межгодовая изменчивость». Полученные данные об элементном составе желчи применимы при создании селективных искусственных питательных сред и видоспецифичных кормов.

Ключевые слова. Желчь, элементный состав, пищеварение, экологические факторы, аккумуляция.

THE ELEMENTAL COMPOSITION OF BILE OF SOME MARINE AND FRESHWATER FISH SPECIES AND ITS POSSIBLE PRACTICAL APPLICATION IN AQUACULTURE

^{1,2,3}Shokurova A.V., ⁴Anishchenko O. V., ^{2,3}Kashinskaya E.N., ^{2,3}Solovyev M.M.

¹FSSFEI HE Novosibirsk SAU, Novosibirsk, Russia

²Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS, Novosibirsk, Russia

³A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia

⁴Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Annotation. The elemental composition of the bile of 429 fish individuals of 21 species of freshwater and marine fish has studied. Macroelements (Ca, K, Mg, Na, P, S), regardless of the diets and habitat of fish, were in the highest concentrations if compare to other elements. However, it is possible to note some differences in the concentrations of such macronutrients as K and Na between marine and freshwater species. Cu, Li and Sr were found in the bile of all studied freshwater species, while bile form marine species has always contained elements such as As, Cu, Li, Se and Sr. At the same time, Bi, Cd, Mo and Tl were absent in most species of both freshwater and marine fishes. Statistical analysis has revealed that such factors as "feeding habits", "habit", "season" and "year" had a significant effect on the elemental composition of fish bile. The obtained data of the elemental composition of bile are applicable to the creation of selective artificial nutrient media and species-specific feeds.

Keywords. Bile, elemental composition, digestion, environmental factors, accumulation.

Исследования в области физиологии пищеварения рыб играют важную роль с одной стороны в рамках сравнительной, экологической и эволюционной трофологии, а с другой, как источник сведений о пищевых потребностях и процессах пищеварения рыб, которые активно используются для выращивания морских и пресноводных видов в условиях аквакультуры [1]. Эффективность пищеварительных процессов в желудочно-кишечном тракте рыб связана со сформированными в нем условиями, которые находятся под влиянием разнообразных экзогенных и эндогенных факторов [1]. К внутренним факторам относятся различные секреты пищеварительной системы, в том числе желчь, которая за счет желчных кислот, белков, а также макро- и микроэлементов, входящих в ее состав, способна формировать уникальную физико-химическую среду кишечника [2]. Хорошо известно, что

многие элементы в зависимости от их концентрации могут активировать или ингибировать ферментативную активность [3]. Таким образом, элементный состав желчи способен регулировать процессы пищеварения путем изменения уровня активности пищеварительных ферментов в кишечнике рыбы. В то же время многие элементы в желчи могут ограничивать или стимулировать рост энтеральной микробиоты [4], являясь дополнительным фильтром, определяющим, какие микроорганизмы могут колонизировать кишечник конкретного вида рыб, а какие нет. Однако данные литературы об элементном составе желчи рыб, как и о факторах его формирующих, весьма фрагментарны. Таким образом, целью данной работы стало – определить соотношение основных макро- и микроэлементов в желчи различных видов морских и пресноводных костистых рыб в зависимости от некоторых биотических и абиотических факторов. Кроме того, обозначить возможное практическое применение, полученных сведений об элементном составе рыб, в условиях аквакультуры.

Материалы и методы. Районами исследования послужили 4 разнотипных водоема (оз. Чаны, оз. Телецкое, оз. Байнунт и Кандалакшский залив (Белое море)), где сбор материала осуществлялся в различные года (2019, 2020, 2021 гг.) и сезоны (весна, лето, осень). Объектами исследования выступили 429 особи 21 вида пресноводных (*Carassius gibelio*, *C. Carassius*, *Leuciscus idus*, *L. leuciscus*, *Perca fluviatilis*, *Sander lucioperca*, *Cyprinus carpio*, *Esox lucius*, *Rutilus rutilus*, *Abramis brama*, *Coregonus lavaretus pidschian*, *C. l. pravdinellus*, *C. baunti sp*, *Cottus gobio*, *Lota lota* и *Gymnocephalus cernuus*) и морских (*Gadus morhua marisalbi*, *Eleginus nawaga*, *Limanda limanda*, *Myoxocephalus scorpius* и *Lumpenus fabricii*) костистых рыб. С помощью эмиссионной спектрофотометрии с индуктивно-связанной плазмой, в желчи каждой отдельной особи были определены 28 химических элементов: 6 макроэлементов (Ca, K, Mg, Na, P, S) и 22 микроэлемента (Al, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, Tl, V, Zn). Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel, STATISTICA 7.0 и Past 4.0.

Результаты и обсуждение. Сведения об элементном составе желчи исследованных видов, обитающих в разнотипных водоемах и выловленных в различные года и сезоны, позволили установить общие тенденции. Так, у всех пресноводных и морских рыб, вне зависимости от видовых особенностей, макроэлементы (Ca, K, Mg, Na, P, S) в желчи находились в наибольших концентрациях среди всех анализируемых элементов. Процентное соотношение макроэлементов относительно друг друга в подавляющем большинстве случаев также оставалось схожим среди всех видов рыб (ДОПИСАТЬ). Подобные соотношения концентраций (кальция, калия и магния) установлены в предыдущих исследованиях [1,5]. Однако в настоящем исследовании были найдены различия в концентрациях элементов в желчи между исследованными морскими и пресноводными видами рыб. Наиболее заметны высокие значения концентраций калия и натрия в желчи морских видов (K, 4292.0 ± 376.5 и Na, 52236.8 ± 4555.8 мг/кг), в сравнении с концентрациями этих элементов в желчи пресноводных рыб (K, 3470.7 ± 149.4 и Na, 39724.8 ± 1061.5 мг/кг). Ранее не было обнаружено различий в абсорбционной способности желчного пузыря между морскими и пресноводными видами рыб [6], следовательно вышеупомянутая обнаруженная нами разница концентраций калия и натрия в желчи морских и пресноводных рыб вероятно обусловлена более высоким содержанием этих элементов в морской воде, в сравнении с пресноводной.

В сравнении с макроэлементами, концентрации и процентное соотношение микроэлементов в желчи варьировали в широких диапазонах значений, как между, так и внутри вида. Среди 22 исследованных микроэлементов Cu, Li и Sr были обнаружены в желчи абсолютно всех исследованных пресноводных рыб. Тогда как, Bi, Mo и Sb у подавляющего большинства пресноводных видов отсутствовали. В то же время, у абсолютного числа особей морских видов в желчи присутствовали такие элементы как As, Cu, Li, Se и Sr, тогда как концентрации Bi, Mo и Sd чаще всего не были зафиксированы.

Нами была проверена связь элементного состава желчи с некоторыми экзогенными (местообитание, межгодовая и межсезонная изменчивость) и эндогенными (наполненность пищеварительного тракта, тип питания) факторами. Наполненность пищеварительной системы не оказывала значимых статистических эффектов на концентрации элементов в желчи, однако связь элементного состава с остальными факторами оказалась достоверной. Сезонные изменения оказывают влияние на биохимические процессы происходящее в организме рыб, доступность или отсутствие некоторых кормовых объектов, временные изменения параметров воды. Учитывая различия в биохимическом составе потребляемых кормовых объектов хищными и мирными рыбами, можно ожидать, что некоторые элементы, входящие в состав питания и, следовательно, поступающие в организм рыб, в том числе в желчь, будут различны.

Как было указано выше элементный состав желчи является важной составляющей физико-химической среды кишечника, которая оказывает влияние на активность пищеварительных ферментов и состав кишечной микробиоты. Таким образом, полученные данные об элементном составе желчи могут быть использованы с целью создания селективных искусственных питательных сред, химический

состав которых будет более приближен к реальному составу внутренней среды пищеварительного тракта рыб. Улучшенные таким путем искусственные питательные среды могут применяться для эффективного культивирования целевых микроорганизмов, которые в свою очередь могут быть использованы в качестве пробиотических добавок. Кроме того, данные об элементном состав желчи рыб, дающие детальное представление о физико-химических особенностях внутренней среды кишечника, применимы в создании условий наиболее приближенных при моделировании процессов пищеварения *in vitro*, которое используются для тестирования новых кормов перед использованием *in vivo*.

Список использованных источников

1. Кузьмина, В.В. Физиолого-биохимические основы экзотрофии рыб / В.В. Кузьмина. М: Наука: – 2005; – 300 с.
2. Hunn J. Inorganic Composition of Gallbladder Bile from Freshwater Fishes / J. Hunn // American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH). – 1976. – № 3. – P. 602-605.
3. Barkia A. Trypsin from the viscera of Bogue (*Boops boops*): isolation and characterization / A. Barkia, A. Bougatef, R. Nasri, E. Fetoui, R. Balti, M. Nasri // Fish Physiology and Biochemistry. – 2010. – № 36. – P. 893-902.
4. Ramero J. The gut microbiota of fish / J. Romero, E. Ringo, D. L. Merrifield // Aquaculture Nutrition. – 2014. – P. 75-100.
5. Baldisserotto B. Ionic levels of the gallbladder bile of some teleosts from the Rio Negro, Amazon / B. Baldisserotto, K. Lopez-Vasquez, L. V. Silva, J. I. Golombieski, A. L. Val // Journal of Fish Biology. – 2004. – Vol.65. – P. 287-29.
6. Hirano T., Bern A.H. The teleost gall bladder as an osmoregulatory organ / T. Hirano, A.H. Bern // Endocrinologia japonica. – 1972. – Vol.19 (1). – P. 41-46.

Работа по анализу концентраций макро- и микроэлементов поддержана Российским научным фондом, проект № 19-74-10054, метаанализ данных по влиянию различных концентраций элементов на микробиоту и активность пищеварительных ферментов поддержан Мегагрантом № 220-6544-5338.