**ТРАНСФОРМАЦИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ
«АМФИПОДЫ – РЫБЫ – НЕРПА» В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ**

Раднаева Л.Д., Базарсадиева С.В.

*Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия
radld@mail.ru*

**TRANSFORMATION OF FATTY ACIDS THROUGH
THE «AMPHIPODS – FISH – SEAL» FOOD CHAIN OF LAKE BAIKAL**

Radnaeva L.D., Bazarsadueva S.V.

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russia

Изучен жирнокислотный состав тканей гидробионтов озера Байкал, участвующих в пищевой цепи, таких как байкальский тюлень, рыба и амфиподы. Методом газо-хромато-масс-спектрометрии в тканях байкальских гидробионтов обнаружено более 40 жирных кислот с разной степенью ненасыщенности. Сравнительный анализ жирнокислотного состава исследуемых гидробионтов показал, что механизм образования ткани гидробионтов сложен и определяется не только питанием, но и особенностями таксономического формирования жирнокислотного состава. Использование современных методов статистической обработки данных, в частности метода главных компонент, позволило проследить пищевые цепи в исследуемой цепи и определить основные факторы, влияющие на жирнокислотный состав гидробионтов.

Ключевые слова: Байкал, жирные кислоты, пищевая цепь, метод главных компонент.

The fatty-acid composition of tissues Baikal hydrobionts involved in the food chain such as Baikal seals, fish, and amphipods was studied. The gas GC – MS detected more than 40 fatty acids with different degrees of unsaturation in tissues of Baikal hydrobionts. It was concluded from a comparison of the fatty-acid of tissues from the studied animals that the formation mechanism of hydrobionts tissue is complicated and determined not only by the food composition but also the taxonomic formation specifics of the fatty-acid composition. Use of modern statistical data processing methods enabled food webs in the studied chain to be followed and the principal factors influencing the hydrobionts lipid composition to be determined.

Keywords: Lake Baikal endemics, fatty acids, food chain, method of principal components.

В настоящее время заметно возрос интерес к липидам со стороны многих направлений наук, прежде всего, это биологические, медицинские и химические. Липидные показатели являются важнейшими характеристиками физиолого-биохимической индикации состояния организмов и популяций при различных условиях обитания. Липиды являются основным источником энергии для водных организмов и функционирование любых экосистем во многом связано с биосинтезом и транспортом липидов в пищевых цепях. Многочисленными исследованиями показано участие липидов в адаптивных реакциях гидробионтов в ответ на изменение самых разнообразных условий окружающей среды [1-3]. Поэтому изменения состояния среды могут быть прослежены при сравнительном анализе жирных кислот (ЖК) различных организмов.

Озеро Байкал – участок Всемирного природного наследия, старейший (25 млн. лет) и самый большой (23,0 тыс. км³) пресноводный водоем в мире. Важной и сложной задачей является исследование биологических объектов, применяемых для индикационной оценки природной среды. Наибольший интерес представляют такие гидробионты как губки, которые практически не меняют место обитания. Они ассоциированы с широким спектром микроорганизмов, содержат большое количество вторичных метаболитов, которые играют важную роль в развитии приспособительных реакций у организмов при экологических модуляциях. Одной из наиболее многочисленных групп многоклеточных байкальских организмов являются амфиподы, которые составляют 1/5 от общего числа мировой фауны видов амфипод, причем все они – эндемики. Несмотря на низкую относительную биомассу, амфиподы составляют существенный компонент в системе обмена вещества и энергии, поскольку являются важным кормовым объектом для многих гидробионтов.

Известно, что состав липидов тканей ряда эндемичных организмов озера Байкал характеризуется высокими уровнями длинноцепных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), что типично для

морских видов [4]. Обнаружены высокие уровни $n-3$ ЖК в отдельных видах байкальских Cottoidei [5-10]). Исследования по липидному составу байкальских губок включают некоторых представителей этой группы животных, обитающих на небольшой глубине [11-13], а также глубоководный вид *Bakalospongia intermedia* из бухты Фролиха [14]. Исследователями [15] выявлено содержание лигнина и некоторых ЖК донных осадков Академического хребта, отобранных с глубины 335 м, других данных по ЖК составу донных осадков глубоководной зоны озера Байкал не обнаружено. Таким образом, работа, направленная на исследование распределения липидов в тканях глубоководных байкальских гидробионтов, актуальна.

Для исследования трансформации ЖК по трофической цепи проведен сравнительный анализ ЖК состава глубоководных байкальских амфипод *Amphipoda* (Crustacea), мышечной ткани некоторых рыб озера: байкальских голомянок (большая и малая) *Comephorus baicalensis* P., *C. dybowskii* K., байкальских омуля *Coregonus migratorius* G., сига *C. baicalensis* D. и хариуса *Thymallus baicalensis* D., а также и липидов 20 подкожной жировой ткани байкальской нерпы *Phoca sibirica* G., замыкающего звена трофической цепи оз. Байкал.

Несмотря на низкую относительную биомассу, амфиподы составляют существенный компонент в системе обмена вещества и энергии, поскольку являются важным кормовым объектом для многих гидробионтов [16]. Так, на стадии мальков пищевыми объектами практически всех рыб является фитопланктон и амфиподы [17]. В образцах амфипод определено 40 ЖК различной степени ненасыщенности. Амфиподы были отобраны из глубоководной части оз. Байкал, где температура воды в среднем составляет 3,3-3,4 °C. Высокое содержание ненасыщенных ЖК и низкое содержание насыщенных ЖК связано, по-видимому, с низкой температурой и необходимостью поддерживать на определенном уровне «жидкокристаллическое» состояние мембранных структур [18; 19].

На основании всех выявленных ЖК гидробионтов был построен МГК график. На ГК-модели можно выделить на плоскости отдельные области, соответствующие разным видам гидробионтов (рис. 1). При этом выявлена наибольшая близость состава липидов байкальских голомянок и подкожного жира нерпы, поскольку байкальские голомянки являются основным пищевым объектом нерпы. Полученные результаты находятся в соответствии с литературными данными, полученными по традиционной методике [17; 20; 21].

Рис. 1. Принципиальный компонентный анализ ЖК состава липидов рыб и байкальских амфипод, подкожного жира байкальской нерпы

Основу пищевой базы байкальского хариуса составляют амфиподы, ручейники, моллюски, коттоидные рыбы. Следует отметить некоторую общность рациона хариуса и сига, что также прослеживается и на графике МГК ЖК состава образцов изученных видов. Таким образом, несмотря на различие в концентрациях отдельных кислот в ряду амфиподы – малая голомянка, хариус и сиг, обработка данных методом МГК позволяет выявить положительную корреляцию, т.е. схожесть состава изученных объектов.

Полученные данные дают представление о сложном механизме формирования ЖК состава тканей гидробионтов, определяющимся не только составом пищи, но и таксономической специфично-

Полученные данные позволяют проследить пищевые взаимоотношения в цепи «амфиподы – рыбы – нерпа». Установлена наибольшая близость ЖК состава амфипод и большой голомянки, малой голомянки и лососевидных рыб (сиг, хариус, омуль); различие состава ЖК в ряду амфиподы – омуль, амфиподы – нерпа. Близость ЖК состава тканей гидробионтов свидетельствует о том, что амфиподы являются основным пищевым объектом для голомянок и, в значительной мере, для хариуса и сига. Голомянки, в свою очередь, являются пищевым объектом для лососевидных рыб. Данные выводы подтверждаются гидробиологическими исследованиями [22-24].

Так, одним из основных компонентов питания омуля является молодь голомянок-бычковых рыб, амфиподы играют незначительную роль в рационе питания. Пищевыми объектами байкальского сига являются амфиподы, моллюски, личинки хирономид и ручейников, а также рыбы.

стью формирования состава ЖК. Использование современных методов статистической обработки данных позволяет выявить основные закономерности формирования липидного состава.

Исследование выполнено в рамках государственного задания БИП СО РАН.

Список литературы

1. Carballeira N. M. Isoprenoid fatty acids from marine sponges. Are sponges selective? / N. M. Carballeira, L. Maldonado, B. Porras // *Lipids*. 1987, Vol. 22, № 10. pp. 767-769.
2. Rajendran N. O. Variation in microbial biomass and community structure in sediments of eutrophic bays as determined by phospholipid ester-linked fatty acids / N. O. Rajendran, N. Matsuda, N. Imamuta, Y. Uryshigava // *Applied and environmental microbiology*. 1992, V. 60, pp. 2421-2430.
3. Simoneit B. R. T. Biomarkers (Molecular Fossils) as Geochemical Indicators of Life / B. R. T. Simoneit // *Advances in Space Research*. 2004, № 33, pp. 1255-1261.
4. Henderson, R. J. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish / R. J. Henderson, D. R. Tocher // *Progress in Lipid Research*. 1987, Vol. 26, pp. 281-347.
5. Kozlova T. A. Fatty acid composition of endemic Baikal fish and Crustacea / T. A. Kozlova, S. V. Khotimchenko // *Comparative Physiology and Biochemistry*. 1993, Vol. 105B, № 1, pp. 97-103.
6. Kozlova T. A. Lipids and fatty acids of two pelagic cottoid fishes (*Comephorus* spp.) endemic to lake Baikal / T. A. Kozlova, S. V. Khotimchenko // *Comparative Physiology and Biochemistry*. 2000, № 126, pp. 477-485.
7. Kozlova T. A. Seasonal cycles in total chemical composition of two Lake Baikal benthic–pelagic sculpins (*Cottocomephorus*, *Cottoidei*) // *J. of Fish Biol.* 1997, Vol. 50, pp. 734.
8. Grahl-Nielsen O. Fatty acid composition of blubber of the Baikal seal *Phoca sibirica* and its marine relative, the ringed seal *pp. hispida* / O. Grahl-Nielsen, A.-K. Halvorsen, N. Bodoev et.al. // *J. Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2005, Vol. 305, pp. 261-274.
9. Grahl-Nielsen O. Fatty acid profiles in different fish species in Lake Baikal / O. Grahl-Nielsen, E. Averina, N. Pronin, L. Radnaeva, R. Kakela // *Aquatic biology*. 2011, Vol. 13, pp. 1-10.
10. Radnaeva L. D. Fatty acid composition in the white muscle of Cottoidei fishes of Lake Baikal reflects their habitat depth / L. D. Radnaeva, D. V. Popov, O. Grahl-Nielsen, I. V. Khanaev, S. V. Bazarsadueva, R. Käkälä // *Environ Biol Fish.* 2017, 100:1623–1641 DOI 10.1007/s10641-017-0670-6
11. Dembitsky V. M. Lipid compounds of freshwater sponges: family Spongillidae class Demospongiae / V. M. Dembitsky, T. Rezanka, M. Srebnik // *Chemistry and Physics of Lipids*. 2003, V. 123, pp. 117-155.
12. Dembitsky V. M. Comparative study of the endemic freshwater fauna of lake Baikal. V. Phospholipid and fatty acid composition of the amphipod crustacean of the genus *Eulimnogammarus* / V. M. Dembitskii, A. G. Kashin, T. Rezanka // *Comparative biochemistry and physiology*. 1993, Vol. 107B, pp. 317-323.
13. Глызина О. Ю. Жирные кислоты и хлорофиллы симбиотического сообщества байкальских губок и их изменения под влиянием среды обитания: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2002.
14. Radnaeva L. D. First data on lipids and microorganisms of deepwater endemic sponge *Baikalospongia intermedia* and sediments from hydrothermal discharge area of the Frolikha Bay (North Baikal, Siberia) / L. D. Radnaeva, S. V. Bazarsadueva, V. V. Taraskin, A. K. Tulokhonov // *Journal of Great Lakes Research*. 2020, Vol. 46, Iss. 1, pp. 67-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.09.021>.
15. Ishiwatari R. Lignin and fatty acid records in Lake Baikal sediments over the last 130Kyr: A comparison with pollen records / R. Ishiwatari, S. Yamamoto, S. Shinoyama // *Organic Geochemistry*. 2006, 37(12):1787-1802.
16. Ткач Н. П. Сравнительное изучение липидного состава амфипод, обитающих в условиях различной солености / Н. П. Ткач, Р. У. Высоцкая // *Фундаментальные исследования*. 2007. № 10. С. 89-90.
17. Гурова Л. А. Питание и пищевые взаимоотношения пелагических рыб и нерпы Байкала / Л. А. Гурова, В. Д. Пастухов. Новосибирск : Наука, 1974. 186 с.
18. Крепс Е. М. Липиды клеточных мембран. Эволюция липидов мозга. Адаптационная функция липидов / ред. Е. М. Крепс. Л. : Наука, 1981. 339с.
19. Смирнов, Л. П. Роль липидов и белков в становлении биохимических адаптаций у эктотермных организмов: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Петрозаводск, 2005. 26 с.
20. Егорова Л. И. Питание байкальской нерпы: состояние проблемы. 1. Метод и результаты исследования питания в конце 80-х годов / Л. И. Егорова, О. К. Елагин, М. К. Иванов, И. Ю. Казачишина, Е. А. Петров // *Сиб. биол. журн.* 1992. № 4. С. 40-47.
21. Егорова Л. И., Петров Е. А. Некоторые эколого-физиологические аспекты питания и роста щенков байкальской нерпы (*Pusa sibirica*) // *Журн. эвол. биох. и физиол.* 1998. Т. 34. № 5. С. 591-597.
22. Волерман И. Б., Конторин В. В. Биологические сообщества рыб и нерпы в Байкале. Новосибирск : Наука, 1983. 248 с.
23. Тугарина П. Я., Купчинская Е. С. Питание и пищевые взаимоотношения рыб Байкало-Ангарского бассейна. Новосибирск : Наука, 1977.
24. Рыбы озера Байкал и его бассейна / Н. М. Пронин, А. Н. Матвеев, В. П. Самусенок и др. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. 284 с