

**Заключение.** Таким образом, поражения дистальных отделов конечностей у высокопродуктивных коров необходимо рассматривать как полиэтиологическое заболевание у коров, которые наносят значительный экономический ущерб за счет снижения продуктивности и выбраковки животных. У коров с ортопедическими патологиями были установлены следующие изменения в гематологическом и биохимическом составе крови: пониженное содержание эритроцитов и гемоглобина, общего белка, концентрации креатинина и повышение количества лейкоцитов, концентрации мочевины, активности АсАТ и АлАТ по сравнению с клинически здоровыми животными.

*Работа выполнена при поддержке БРФФИ грант № Б18-040.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Веремей, Э. И. Распространение и профилактика заболеваний пальцев и копытцев у крупного рогатого скота / Э. И. Веремей, В. А. Журба // Ветеринарная медицина Беларуси. – 2003. – № 2. – С. 33-35.
2. Мищенко, В. А Проблема сохранности высокопродуктивных коров / В. А. Мищенко, Н. А. Яременко, Д. К. Павлов // Ветеринарная патология. – 2005. – № 3.- С. 95-99.
3. Стекольников, А. А. Заболевания конечностей у крупного рогатого скота при интенсивном ведении животноводства, пути профилактики и лечения / А. А. Стекольников // Материалы Международной конференции «Актуальные проблемы ветеринарной хирургии». – Ульяновск, 2011. – С. 3-7.
4. Елисеев, А. Н. Лечение гнойно-некротических поражений тканей пальцев у скота / А. Н. Елисеев [и др.] // Ветеринария. – 2000. – № 12. – С. 57-59.
5. Тимошенко, В. Н. Перспективы развития молочного скотоводства в Республике Беларусь / В. Н. Тимошенко, А. А. Музыка, А. А. Москалев // Передовые технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30-31 марта 2017 г. – Минск: БГАТУ, 2017. – С. 15-20.
6. Ховайло, Е. В. Влияние двигательной активности на качество копытцевого рога у коров / Е. В. Ховайло, А. Л. Лях, В. А. Ховайло // Сельское хозяйство проблемы и перспективы: сборник научных трудов. – Гродно, 2013. – С. 273-279.
7. Holirek, B. Increase in histamine concentration in ruminal fluid of cattle after experimental induction of ruminal acidosis and its effect on hoof morphology / B. Holirek et al. // XXII World Buatrics Congress, Hannover, 18-23 August. – 2002. – P. 216.

УДК 577.11;639.3.05

### ОСМОЛИТЫ КАК ПИЩЕВЫЕ АТТРАКТАНТЫ У РЫБ

**А. М. Хоха, Л. Б. Заводник**

УО «Гродненский государственный аграрный университет»

г. Гродно, Республика Беларусь

(Республика Беларусь, 230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28; e-mail: ggau@ggau.by)

*Ключевые слова:* осмолиты, пищевые аттрактанты, рыбы.

**Аннотация.** Среди химических соединений, участвующих в адаптации живых организмов к гиперосмотической среде, имеются вещества, обладающие свойствами пищевых аттрактантов. К ним относятся глицин-бетаин, триметиламин-N-оксид, диметилсульфониопропионат и некоторые другие. Спектр таких соединений весьма широк, а влияние большинства из них на пищевое поведение рыб не исследовано. Изучение аттрактивных свойств осмолитов может представить научный и практический интерес в плане повышения продуктивности рыбоводства. В статье обобщены имеющиеся в литературе данные по значению и роли основных осмолитов в рыболовстве и рыбоводстве.

## OSMOLYTES AS FOOD ATTRACTANTS FOR FISHES

A. M. Khokha, L. B. Zavodnik

EI «Grodno state agrarian University»

Grodno, Republic of Belarus

(Republic of Belarus, 230008, Grodno, 28 Tereshkova st.; e-mail:

ggau@ggau.by)

**Key words:** osmolytes, food attractants, fishes.

**Summary.** Among the chemical compounds participating in adaptation of alive organisms to the hyperosmotic environment there are substances having properties of food attractants. Glycine-betaine, trimethylamine-N-oxide, dimethyl-sulfoniopropionate concern them. However, the range of such chemicals is very wide and influence of most of them on food behavior of fishes is not investigated. Studying of attractive properties of osmolytes can be of scientific and practical interest in respect of increase in efficiency of fish breeding. Literary data on value and a role of the main osmolytes in fishery and fish breeding are presented.

(Поступила в редакцию 30.05.2018 г.)

**Введение.** Использование пищевых аттрактантов в кормах для рыб позволяет ускорить процесс кормления и увеличить потребляемый объем. Это снижает время нахождения корма в воде и потерю ценных нутриентов, повышает продуктивность аквакультур.

В ходе эволюции роль аттрактантов закрепилась главным образом за теми низкомолекулярными веществами, концентрация которых максимальна в пищевых объектах. Это не абсолютное правило, но несомненная тенденция. Доказано, например, что есть положительная корреляция между содержанием отдельных свободных аминокислот в пищевых объектах и их привлекательностью для рыб [4].

Чем больше концентрация вещества внутри организма, тем больше его высвобождается в окружающую среду в ходе экскреции или после гибели. Особенно хорошо это видно на примере фитопланктона. Увеличение концентрации в воде внутриклеточных метаболитов

наблюдается в темное время суток, что совпадает с моментом активации консументов [17].

Эмпирическим путем найдены отдельные химические соединения, обладающие аттрактивным действием. Они, по нашему мнению, укладываются в определенную закономерность. Большинство из них используются в качестве осмолитов теми или иными организмами.

Осмолиты – это низкомолекулярные органические молекулы, которые накапливают различные организмы и (или) ткани в условиях водного стресса, чтобы не допустить изменения объема клетки в результате испарения воды или высокого осмотического давления окружающей среды [11].

Суммарное осмотическое давление, которое могут создать клеточные ионы, метаболиты и макромолекулы в обычных условиях составляет около 400 мосмоль/л. В то же время осмолярность морской воды составляет величину порядка 1000 мосмоль/л. Для того чтобы избежать потери жидкости, морские организмы накапливают в больших количествах низкомолекулярные соединения, компенсирующие разницу давлений [20].

Поскольку общим свойством этих молекул является инертность по отношению к клеточным метаболитам, модуляторам и макромолекулам, в свое время они получили название «compatible solutes» – совместимые растворимые вещества [2]. Однако оказалось, что осмолиты не столь инертны, как это предполагалось в начале. Они обладают цитопротекторным, антиоксидантным действием, стабилизируют структуру белков и улучшают фолдинг. Тем не менее, термин употребляется и по сей день [21].

По химическому строению осмолиты делятся на несколько основных групп. Во-первых, низкомолекулярные углеводы (трегалоза), полиолы (глицерол, инозитол, сорбитол) и их производные (о-метилинозитол). Во-вторых, аминокислоты (глицин, пролин, таурин и т. д.) и их производные (эктоин). В-третьих, метиламины (триметилламин-N-оксид (ТМАО), глицин-бетаин). В-четвертых, метилсульфонаты, главным из которых является ДМПТ – диметилсульфониопронионат. Наконец, в-пятых, мочевины. Последняя не относится к совместимым веществам (compatible solutes), т. к. обладает свойством дестабилизировать нативную конформацию белков, но используется некоторыми организмами в сочетании с метиламинами, нивелирующими этот негативный эффект [10].

Эти вещества очень широко распространены в живой природе. Углеводные осмолиты и полиолы характерны для растений, грибов, архей, глубоководных существ, а также организмов, подверженных

замерзанию. Пластинчатожаберные (акулы, скаты) используют комбинации мочевины и метиламинов. У водных организмов, противостоящих гиперосмолярности морской воды, преобладают цвиттер-ионы типа аминокислот, метиламинов и метилсульфонатов [3].

**Цель работы** – обобщить имеющиеся в литературе данные о роли и возможности использования осмолитов в рыбоводстве.

**Материал и методика исследований.** Изучение вопроса проводилось путем анализа полнотекстовых публикаций в открытом доступе, найденных с использованием поисковой системы Google Scholar (<https://scholar.google.com>).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Рассмотрим основные вещества, используемыми водными обитателями в качестве осмолитов.

**Аминокислоты.** Эта группа соединений отлично детектируется хемосенсорными системами рыб. Они являются как вкусовыми, так и обонятельными стимулами. Однако только некоторые из них используются в качестве осмолитов. Наиболее часто упоминаются в этой роли глицин, аланин, β-аланин, пролин, таурин [19]. Причина такой закономерности заключается в том, что по определению таковыми могут являться вещества, которые даже в высокой концентрации не оказывают негативного действия на внутриклеточные процессы. В качестве примера можно привести эксперимент, в котором было показано, что пролин и глицин не влияют на  $K_m$  для одного из ключевых ферментов обмена углеводов – фосфоенолпирувата пируваткиназы краба *Rachygrapsus crassipes* в концентрациях до 1 М, что на порядок превышает уровень этих аминокислот, необходимый для поддержания осмотического баланса [12].

Аминокислоты являются признанными пищевыми аттрактантами. Считается, что именно они формируют вкусовой и обонятельный паттерн пищевых объектов рыб. Смеси аминокислот и гидролизаты белков обладают большей привлекательностью, чем индивидуальные соединения. Что касается отдельных аминокислот, то аттрактивными свойствами обладают как раз те из них, которые содержатся в высоких концентрациях в клетке и выполняют функцию осмолитов [4].

Аланин, пролин, таурин широко применяются в производстве рыболовных приманок. Использование аминокислот как пищевых стимуляторов в рыбоводстве лимитируется их высокой стоимостью.

**Метиламины.** К ним относятся соединения, в которых один или несколько атомов водорода в аминогруппе замещен метильными группами. Представителями метиламинов являются такие биологически

активные соединения, как глицин-бетаин, холин, карнитин, саркозин и др.

*Бетаины* – это внутренние соли соединений, содержащих карбоксильную группу и четвертичный атом азота. Простейшим представителем является триметилглицин или глицин-бетаин, который зачастую называется просто бетаином.

В бактериях и растениях бетаины образуются при N-метилировании аминокислот. У животных синтез глицин-бетаина осуществляется в две стадии из холина, который, вероятно, по этой причине также является стимулятором пищевого поведения [1, 7].

Бетаин – самый распространенный осмолит в живой природе. Он обнаружен у представителей всех царств [20]. Помимо осморегуляции, бетаин является донором метильных групп и участвует в биосинтезе метионина, карнитина, креатина, фосфолипидов и метилировании ДНК.

Большое количество бетаина содержится в сахарной свекле, где он также играет роль осмолита. Это делает его доступным для использования в сельском хозяйстве. Свекловичная меласса, концентрация бетаина в которой достигает 7%, применяется в качестве кормовой добавки, в т. ч. в рыбоводстве. Способность глицин-бетаина стимулировать пищевое поведение и улучшать усвоение корма хорошо документирована [13, 15].

Вместе с тем следует отметить, что помимо глицин-бетаина, в роли осмолитов выступает целый спектр аналогичных соединений (рисунок 1), роль которых в стимуляции пищевого поведения недостаточна изучена [8].

*Триметиламин-N-оксид (ТМАО)* – второй по распространенности осмолит у морских организмов, который обнаружен в тканях всех изученных видов рыб. Его концентрация колеблется в диапазоне 20-70 мМ, но может достигать значений 140 мМ у пластинчатожаберных и даже 288 мМ – у глубоководных существ [9, 18].

Высокие концентрации этого метаболита у полярных рыб необходимы для снижения точки замерзания биологических жидкостей. Акулы и скаты накапливают ТМАО 2:1 по отношению к мочеvine, которую они используют для придания изотоничности внутренней среде.

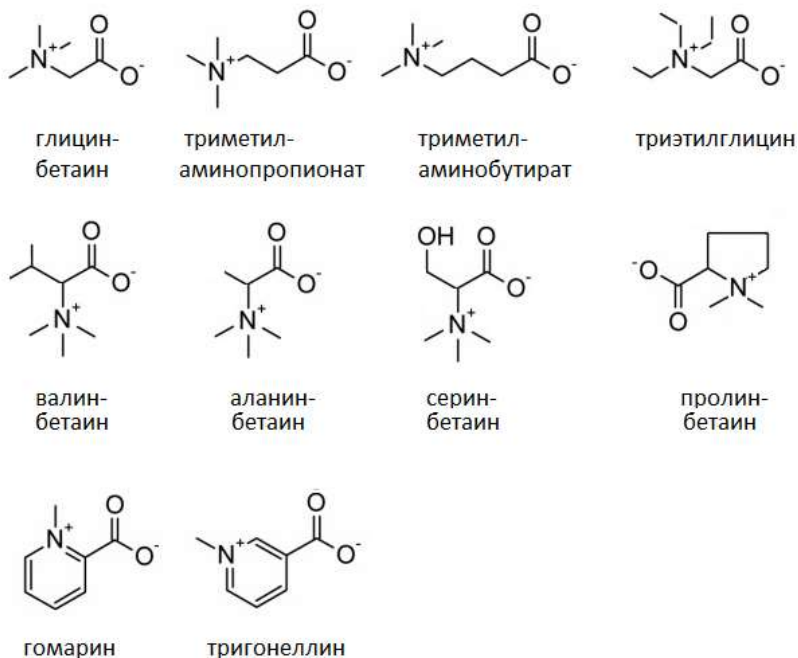


Рисунок 1 – Гомологи глицин-бетаина

Другим путем образования этого осмолита является синтез из холина и триметиламина (рисунок 2) в кишечнике под действием бактерий [16].



Рисунок 2 – Схема синтеза ТМАО

В рекреационном рыболовстве ТМАО достаточно широко используется в качестве пищевого аттрактанта. Однако сведений о применении этого метиламина в рыбоводстве в доступной литературе нами не обнаружено. Вместе с тем исследование влияния на пищевое

поведение рыб ТМАО, диметиламина, триметиламина самостоятельно либо в сочетании с мочевиной представляет, на наш взгляд, несомненный интерес.

**Метилсульфонаты.** Основным представителем этой группы соединений является диметилсульфониопропионат (ДМПТ) – серосодержащий аналог глицинбетаина. По этой причине его второе тривиальное название – сульфобетаин. Это основной осмолит фитопланктона, образующийся в океане в колоссальных количествах. Океанический бактериопланктон разлагает ДМПТ с образованием летучего диметилсульфида, биосинтез которого достигает 0,6-1,7 термолей серы в год. Этот процесс оказывает влияние не только на кругооборот серы в природе, но и на глобальный климат [22].

ДМПТ детектируется обонятельными рецепторами рыб. Это позволяет им находить скопления планктона и следовать за ним в поисках корма [5]. Диметилсульфид является обонятельным ключом для личинок рифовых рыб [6]. Показано, что ДМПТ и его гомологи: диметилцетин, дипропилсульфид, диметилсульфоксид, диметилсульфон – увеличивали количество захватов пищевых гранул пресноводными рыбами в условиях эксперимента [14].

ДМПТ является признанным пищевым аттрактантом и реализуется компаниями, производящими рыболовные приманки. Испытание ДМПТ и других серосодержащих осмолитов, например, диметилсульфониоацетата, гониола (рисунок 3) в аквакультурах может представить практический интерес.

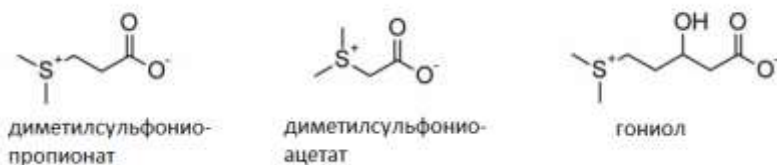


Рисунок 3 – Гомологи ДМПТ

**Заключение.** Резюмируя сказанное, можно заключить, что группа соединений, используемых клетками для поддержания осмотического баланса, перспективна в плане поиска новых пищевых аттрактантов для рыб.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Beale, R. Quantification of glycine betaine, choline and trimethylamine N-oxide in seawater particulates: Minimisation of seawater associated ion suppression / R. Beale, R. Airs // *AnalyticaChimicaActa*. – 2016. – Vol.28, N 938. – P. 114-122.
2. Brown, A. D. Water relations of sugartolerant yeasts: the role of intracellular polyols / A.D. Brown, J. R. Simpson // *Journal of General Microbiology*. – 1972. – Vol. 72. – P. 589-591.

3. Burg, M. B. Intracellular Organic Osmolytes: Function and Regulation / M. Burg, J. D. Ferraris // *J. Biol. Chem.*, 2008. – Vol. 283. – P. 7309-7313.
4. Carr, W. E. S. Stimulants of Feeding Behavior in Fish: Analyses of Tissues of Diverse Marine Organisms / W. E. S. Carr, J. C. Netherton, R. A. Gleeson // *The Biological Bulletin*, 1996. – Vol. 190, N 2. – P. 149-160.
5. DeBose, J. L. Dimethylsulfoniopropionate as a foraging cue for reef fishes / J. L. DeBose, S. C. Lema, G. A. Nevitt // *Science*, 2008. – Vol. 319, N 5868. – P. 1356-1359.
6. Dimethyl Sulfide is a Chemical Attractant for Reef Fish Larvae / M. A. Foretich [et al.] // *Scientific Reports*, 2017. – Vol. 7, N 2498. – P. 1-19.
7. Dragolovich, J. Dealing with salt stress in animal cells: The role and regulation of glycine betaine concentrations / J. Dragolovich // *J. Exp. Zoology*, 1994. – Vol. 268, N 2. – P. 139-144.
8. Gebser, B. Synchronized Regulation of Different Zwitterionic Metabolites in the Osmoadaptation of Phytoplankton / B. Gebser, G. Pohnert // *Marine Drugs*, 2013. – Vol. 11, N 6. – P. 2168-2182.
9. Ingvar, A. S. Biosynthesis and Turnover of Trimethylamine Oxide in the Teleost Cod, *Gadus morhua* / A. S. Ingvar, R. S. Arne // *J. Biol. Chem.*, 1981. – Vol. 256, N. 15. – P. 8045-8049.
10. Judy, E. Biological Wonders of Osmolytes: The Need to Know More / E. Judy, N. Kishore // *Biochem. Anal. Biochem.*, 2016. – Vol. 5, N 4. – P. 1-5.
11. Kinne, K. H. The role of organic osmolytes in osmoregulation: From bacteria to mammals / K. H. Kinne // *J. Exp. Zoology*, 1993. – Vol. 265, N 4. – P. 343-368.
12. Living with Water Stress: Evolution of Osmolyte Systems Science / P. H. Yancey [et al.] // 1982. – Vol. 217, N 4566. – P. 1214-1222.
13. Min, H. Effect of several feeding stimulants on diet preference by juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*), fed diets with or without partial replacement of fish meal by meat and bone meal / H. Min, C. Uibo // *Aquaculture*, 2001. – Vol. 198, N 3. – P. 281-292.
14. Nakajima, K. A new feeding attractant, dimethyl- $\beta$ -propiothetin, for freshwater fish / K. Nakajima, A. Uchida, Y. Ishida // *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1989. – Vol. 54, N 4. – P. 689-695.
15. Polat, A. The importance of betaine and some attractive substances as fish feed additives / A. Polat, G. Beklevik // [Electronic Resource]. – Mode of access: [http://bouillettes-dependance-baits.com/res/site19627/res119591\\_feed-additives-betaine.pdf](http://bouillettes-dependance-baits.com/res/site19627/res119591_feed-additives-betaine.pdf). – Date of access: 26.05.2018.
16. Siebel, B. A. Trimethylamine oxide accumulation in marine animals: relationship to acylglycerol storage / B. A. Siebel, P. J. Walsh // *J. Exp. Biol.*, 2002. – Vol. 205. – P. 297-306.
17. Sipler, R. E. Dynamics of Dissolved Organic Nitrogen / R. E. Sipler, D. A. Bronk / *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter (Second Edition)* // Academic Press, 2015. – P. 127-232.
18. Trimethylamine oxide counteracts effects of hydrostatic pressure on proteins of deep-sea teleosts / P. H. Yancey [et al.] // *J. Exp. Zoology*, 2001. – Vol. 289, N 3. – P. 172-176.
19. Yancey, P. H. Nitrogen Compounds as osmolytes / P. H. Yancey // *Fish Physiology*, 2001. – Vol. 20. – P. 322-341.
20. Yancey, P. H. Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses / P. H. Yancey // *The Journal of Experimental Biology*, 2005. – Vol. 208. – P. 2819-2830.
21. Yancey, P. H. Water Stress, Osmolytes and Proteins / P. H. Yancey // *Integrative and Comparative Biology*, 2001. – Vol. 41, N 4. – P. 699-709.
22. Yoch, D. C. Dimethylsulfoniopropionate: Its Sources, Role in the Marine Food Web, and Biological Degradation to Dimethylsulfide / D. C. Yoch // *Appl. Environ. Microbiol.*, 2002. – Vol. 68, N 12. – P. 5804-5815.