

РЕГУЛЯЦИЯ МЕТАБОЛИЗМА И ПРОДУКТИВНОСТИ

УДК 597:591.132.05

doi:10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.2.31-38

**ВЛИЯНИЕ АДРЕНОБЛОКАТОРОВ НА СКОРОСТЬ ПИЩЕВОЙ
РЕАКЦИИ У МОЛОДИ КАРПА**

Смирнова Е.С., Кузьмина В.В., Куливацкая Е.А.

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
Борок Ярославской обл., Российская Федерация*

Эффекты гормонов, нейротрансмиттеров и нейропептидов в регуляции пищевых реакций рыб хорошо изучены, но роль нервной системы изучена в меньшей степени. Цель работы – изучение влияния адренолитиков, действующих на α -адренорецепторы (аминазин) и β -адренорецепторы (пиндолол), на скорость пищевой реакции (латентное время питания, ЛВП) молоди карпа *Surginus carpio*. Было сформировано 3 группы рыб (одна контрольная и 2 опытных) по 7 особей в каждой. Аминазин или пиндолол вводили внутривентрально рыбам опытных групп в дозах 1.0, 0.75, 0.5, 0.1, и 0.05 мг/кг массы тела. Рыбам контрольной группы вводили раствор Рингера. Фиксировали латентное время питания (ЛВП) группы рыб (обратно пропорциональное скорости пищевой реакции) сразу после инъекции («нулевая» точка), а также через 0.5 ч и далее через каждые 0.5 ч или 1 ч в течение 7 или 9 ч после инъекции исследуемых веществ. Введение обоих препаратов вызывало длительное увеличение ЛВП. При введении аминазина в дозе 1 мг/кг массы тела максимальное увеличение показателя ЛВП (в 6 раз) наблюдалось через 1 ч после инъекции, пиндолола – через 0.5 ч (в 2 раза). Возвращение ЛВП к норме в первом случае происходило через 6 ч, во втором – через 8 ч. Меньшие дозы препаратов (0.75 и 0.5 мг/кг массы тела), как правило, вызывают меньший эффект. При исследовании пиндолола установлено повторное, меньшее по величине, увеличение ЛВП рыб через 4 ч. Наблюдаемые различия объясняются разными механизмами действия исследованных адренолитиков. Аминазин действует преимущественно на центральные α -адренорецепторы, пиндолол – на периферические β -адренорецепторы. Высказано предположение, что разная степень снижения скорости пищевой реакции при введении исследованных препаратов обусловлена разной ролью α - и β -адренорецепторов в реализации пищевой реакции рыб.

Ключевые слова: карп, пищевое поведение, скорость пищевой реакции, адреноблокаторы, адренорецепторы

Проблемы биологии продуктивных животных, 2018. 2: 31-38

Введение

У рыб, как и у других позвоночных, пищевое поведение находится под контролем гормональной и нервной систем. Роль гормонов, нейротрансмиттеров и, особенно, нейропептидов в регуляции питания хорошо изучена (de Pedro, Björnsson, 2001; Volkoff et al., 2005, 2009; Кузьмина, 2015; Volkoff, 2016). Роль нервной системы, представленной центральной (головной и спинной мозг) и связанной с ней периферической (соматической и вегетативной) нервной системой, изучена в меньшей степени (Radaelli et al., 1998; Кузьмина, 2015).

При исследовании механизмов, регулирующих пищевое поведение, особое внимание уделяется изучению структуры и функционированию гипоталамуса, поскольку у рыб разных таксономических групп выявлена зона (inferior lobes), связанная с регуляцией питания (Cerdá-

Reverter, Canosa, 2009). Нейроны этой зоны возбуждаются при стимуляции вкусовых и обонятельных рецепторов, а также ядер блуждающего нерва. Их электрическая стимуляция вызывает поисковую пищевую реакцию (Peter, 1979; Demski, 1982, 2012;). Несмотря на то, что наиболее отчетливые проявления пищевого поведения наблюдались при стимулировании латеральной области гипоталамуса, не вызывает сомнения, что питание у рыб контролируют телеэнцефалон и другие области головного мозга (Андреева, Обухов, 1999; Кузьмина, 2015). Связь пищеварительной системы с мозгом осуществляется блуждающим нервом, представленным, главным образом, парасимпатическими волокнами. Однако в него входят и симпатические волокна, причем кишка большинства видов рыб иннервируется симпатическими (адренергическими) нервами (Краюхин, 1963; Fange, Grove, 1979; Шпарковский, 1986; Holmgren, Olsson, 2009).

Строение симпатической нервной системы отличается значительным видовым разнообразием. Симпатическая нервная цепочка в основном представлена в грудной части тела, однако у некоторых видов рыб она макроскопически не обнаруживается (Краюхин, 1963). Считается, что адренергический контроль у рыб в основном осуществляется внутренностным нервом, n. splanchnicus (Шпарковский, 1986; Holmgren, Olsson, 2009). Внутренностный нерв, как правило, отходит от симпатической цепочки на уровне III и IV спинномозговых нервов, причем у некоторых видов рыб он полностью сливается с кишечной ветвью блуждающего нерва (Кузьмина, 2015). Ганглиозных узлов мало, и они состоят лишь из нескольких клеток (Краюхин, 1963; Karoor et al., 1975; Шпарковский, 1986). При этом пищеварительный тракт снабжен многочисленными рецепторами, одни из которых имеют несложное строение, наподобие ветви или петли с небольшим количеством терминалий, другие имеют вид клубочка или сложно организованных петель (Barrington, 1957; Bertin, 1958; Краюхин, 1963; Campbell, 1970).

Несмотря на то, что холинергические системы мозга и периферических органов играют доминирующую роль в регуляции экзотрофии, существуют доказательства влияния на отдельные звенья этого процесса адренергических механизмов (Fange, Grove, 1979; Шпарковский, 1986; Garina et al., 2007; Кузьмина, 2015). Нейротрансмиттерами или нейромедиаторами, ответственными за передачу сигналов в адренергических синапсах являются катехоламины (адреналин, норадреналин и допамин), которые выделяются адренергическими нервами и хромаффинной тканью (Holmgren, Olsson, 2009).

В гипоталамусе выявлены адренергические рецепторы, а также норадреналин и допамин (de Pedro et al., 1998, 2001). У костистых рыб в пищеварительном тракте обнаружены α - и β -адренорецепторы. В отличие от млекопитающих, у рыб в качестве основного нейротрансмиттера выступает не норадреналин, а адреналин, который преимущественно действует на α -адренорецепторы (Шпарковский, 1986).

Для оценки влияния адренергической системы на различные звенья процессов экзотрофии часто используются блокаторы адренорецепторов. Есть сведения о влиянии адреноблокаторов (адренолитиков) на пищеварительную систему рыб (Шпарковский, 1986; Holmgren, Olsson, 2009). Однако сведения о влиянии адреноблокаторов различной природы на одну из важных характеристик пищевого поведения рыб – скорость пищевой реакции до начала нашей работы в доступной литературе отсутствовали.

Цель данной работы – изучение влияния адренолитиков, действующих на α -адренорецепторы (аминазин) и β -адренорецепторы (пиндолол), на скорость пищевой реакции пресноводных костистых рыб (на примере карпа).

Материал и методы

Объект исследования – карп обыкновенный *Cyprinus carpio* L., масса тела 3.4 ± 0.02 г. Опыты проводили при температуре $15 \pm 2^\circ\text{C}$ в непроточных аквариумах объемом 40 л, с принудительно аэрируемой водой. Предварительно рыб акклимировали в течение 2 нед. к

условиям эксперимента, приучая их брать корм с пинцета у поверхности воды. В качестве корма использовали мышечные волокна плотвы, близкие по массе таковой личинок хирономид *Chironomus* sp. Рыб прекращали кормить накануне опыта и в течение эксперимента не давали дополнительный корм. Для исследования влияния адренолитиков на скорость пищевой реакции карпа было сформировано 3 группы рыб (одна контрольная и 2 опытных) по 7 особей в каждой. Рыбам контрольной группы при помощи инсулинового шприца внутривентриально вводили 0.2 мл раствора Рингера для холоднокровных (109 mM NaCl, 1.9 mM KCl, 1.1 mM CaCl₂, 0.84 mM NaHCO₃), рыбам опытных групп вводили в том же объеме исследуемые вещества – аминазин (α -адренолитик), а также пиндолол (β -адренолитик).

Исследуемые вещества вводили рыбам в дозах 1.0, 0.75, 0.5, 0.1, и 0.05 мг/кг массы тела. Оценивали латентное время питания (ЛВП) группы рыб – величину, обратно пропорциональную скорости пищевой реакции. Критерий – промежуток времени от момента соприкосновения пищи с поверхностью воды в центре аквариума до момента схватывания ее первой из группы рыб, произвольно плавающих в аквариуме, сек. (Пегель, 1950). Опыты проводили один раз в сутки. За 1 ч до опыта в аквариумах меняли ½ объема воды. Рыб контрольной группы инъецировали в 9 ч, опытных – в последующие сроки с интервалом 5 мин. Показания снимали сразу после инъекции («нулевая» точка), а также через 0.5 ч и далее через каждые 0.5 ч или 1 ч в течение 7 или 9 ч после инъекции исследуемых веществ. Всего проведено 20 опытов.

Результаты и обсуждение

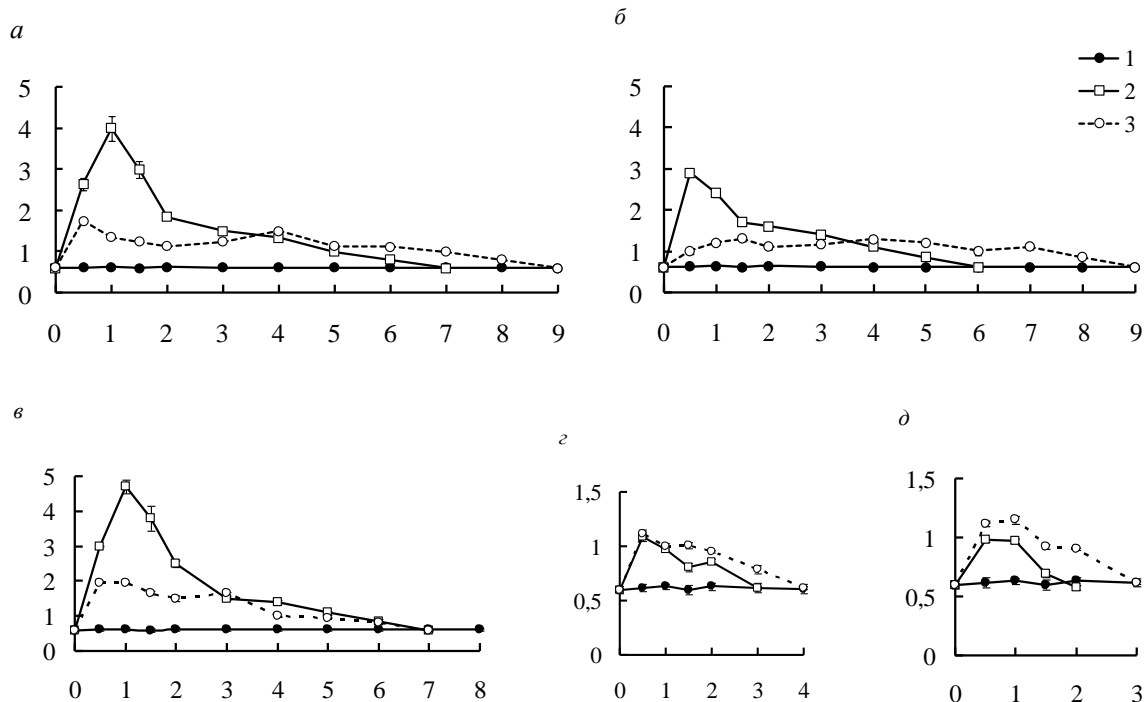
Величина ЛВП у контрольных рыб составляла 0.6 ± 0.01 сек. При исследовании влияния максимальной дозы (1 мг/кг массы тела) аминазина, и пиндолола на пищевое поведение рыб установлено как увеличение ЛВП, так и различия в величине и продолжительности эффекта указанных препаратов. При введении аминазина в максимальное увеличение показателя (на 658%) наблюдается через 1 ч после начала эксперимента. При введении пиндолола максимальное увеличение (на 189%) наблюдается через 0.5 ч. Возвращение ЛВП к норме в первом случае происходило через 7 ч, во втором – через 9 ч (см. рис.).

При исследовании влияния этих веществ в пониженной дозе (0.75 и 0.5 мг/кг массы тела) на пищевое поведение рыб установлено последовательное снижение величины ЛВП а также уменьшение продолжительности их эффектов. Так, аминазин в дозе 0.75 мг/кг массы тела в наибольшей степени повышает ЛВП – на 545% через 1 ч, пиндолол – на 127% через 1.5 ч после введения. Возвращение ЛВП к норме в первом случае происходит через 6 ч., во втором – через 9 ч. Максимальное увеличение ЛВП (на 380%) под влиянием аминазина в дозе 0.5 мг/кг массы тела наблюдается через 0.5 час, при этом эффект сохраняется в течение 4 ч. Максимальное увеличение ЛВП (на 218%) под влиянием пиндолола в той же дозе выявлено также через 0.5 ч. Возвращение ЛВП к норме в обоих случаях происходит через 7 ч.

При исследовании влияния низких доз (0.1 и 0.05 мг/кг массы тела) указанных веществ отмечено еще большее снижение величины ЛВП. При этом сокращаются различия в величине эффекта за счет уменьшения ЛВП под влиянием аминазина. Максимальное увеличение ЛВП под влиянием обоих препаратов в дозе 0.1 мг/кг наблюдается через 30 мин., в дозе 0.05 мг/кг – между 30 мин. и 1 ч после введения. Аминазин в повышает ЛВП максимум на 73.8%, пиндолол – на 77%, в дозе 0.05 мг/кг – на 60.6 и 70.9% соответственно. Продолжительность эффекта указанных препаратов по мере уменьшения дозы последовательно укорачивается до 3-х и 2-х (аминазин) и до 4-х и 3-х (пентамин) часов.

При обсуждении полученных данных следует отметить, что при введении аминазина, независимо от дозы, наблюдается одноразовое резкое увеличение ЛВП в течение 0.5-1 ч и значительное падение показателя через 2 ч после инъекции. При введении пиндолола выявлено двукратное увеличение ЛВП. Первое увеличение наблюдается вскоре после

введения препарата – через 0.5-1.5 ч, второе – в случае двух больших доз – через 4 ч, в случае меньшей дозы – через 3 ч. Сопоставление этих данных также свидетельствует о том, что аминазин в первые сроки оказывает более значительное воздействие на ЛВП рыб по сравнению с пиндололом. Это, по всей вероятности, связано с тем, что аминазин преимущественно блокирует рецепторы α -адренорецепторы центральной нервной системы. Вместе с тем аминазин проникает через гематоэнцефалический барьер, обладает М-холинолитической активностью, блокирует блуждающий нерв, действует на постсинаптические дофаминергические D_2 -рецепторы мозжечка и подавляет высвобождение гормонов гипофиза и гипоталамуса (Усов и др., 1990).



Влияние адреноблокаторов на скорость пищевой реакции карпа. Обозначения: по оси абсцисс – время, ч., по оси ординат – скорость пищевой реакции, с. На рис. а- д – доза холинолитиков: а – 1.0, б – 0.75, в – 0.5, г – 0.1, д – 0.05 мг/кг. 1 – контроль, 2 – аминазин, 3 – пиндолол.

У рыб дофаминергические нейроны, локализующиеся компактно в отдельных областях мозга или связанные с аксонами в центральной нервной системе, модулируют активность систем, контролирующую поведение и двигательную активность (Schweitzer, Driever, 2009). Центральная стимуляция D_1 - и D_2 -дофаминергических рецепторов угнетает потребление пищи у серебряного карася. Этот же эффект наблюдается при центральном введении норадреналина, активирующего α_1 -рецепторы (de Pedro et al., 1998). На периферии дофамин увеличивает электрическую активность мышц желудка ската *Raja radiata* и трески *Gadus morhua*, а фармакологические данные свидетельствуют о влиянии ДОПА на дофаминергические рецепторы (Гройсман, Шпарковский, 1989).

Возможность влияния аминазина на рецепторы пищеварительного тракта подтверждается сведениями о том, что контрактура желудка опосредуется α -адренорецепторами, а его релаксация может быть опосредована α - или β -адренорецепторами, либо теми и другими (Holmgren, Olsson, 2009). Релаксация кишечной луковицы карпа может быть вызвана стимуляцией пресинаптического α_2 -адренорецептора, расположенного на холинергических нейронах, которые ингибируют выделение ацетилхолина (Kitazawa et al., 1986).

Важно отметить, что механизм действия пиндолола значительно отличается от такового аминазина. Пиндолол неизбирательно блокирует β_1 - и β_2 -адренорецепторы периферической нервной системы рыб, которые снижают действие адреналина и норадреналина (Шпарковский, 1986; Holmgren, Olsson, 2009). Помимо этого, пиндолол, ингибируя β -адренорецепторы сердца, повышает концентрацию триглицеридов и уменьшает стимулированное катехоламинами образование цАМФ из АТФ, в результате чего снижается внутриклеточный ток ионов кальция (Усов и др., 1990).

Также представляет интерес большая продолжительность действия пиндолола, чем аминазина. Этот факт может быть связан с разным временем их биотрансформации и выведения из организма. Известно, что значительная часть обоих препаратов подвергаются биотрансформации в печени. Однако период полувыведения ($T_{1/2}$) пиндолола у человека меньше, чем аминазина – 3-4 ч и 16-30 ч соответственно (Усов и др., 1990). Возможно, наблюдаемые у рыб противоположные эффекты связаны с большей скоростью элиминации метаболитов пиндолола, чем метаболитов аминазина. Также обращает внимание повторный эффект пиндолола в дозах 1 и 0.75 мг/кг массы тела. Этот феномен может быть обусловлен влиянием препарата на уровень утилизонов, особенно глюкозы и неэстерифицированных жирных кислот, концентрация которых в значительной мере зависит от уровня катехоламинов (Плисецкая, 1975).

Таким образом, впервые при использовании фармакологических методов показаны различия во влиянии на скорость пищевой реакции рыб адренолитиков, действующих на α - и β -адренорецепторы. Выявлены различия в величине и продолжительности эффектов препаратов, оказывающих преимущественно центральное (аминазин) и периферическое действие (пиндолол). Разная степень снижения скорости пищевой реакции при введении исследованных препаратов свидетельствует о разной роли α - и β -адренорецепторов в реализации пищедобывательной реакции рыб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Н.Г., Обухов Д.К. Эволюционная морфология нервной системы позвоночных. – СПб: «Лань». 1999. – С. 381.
2. Гройсман С.Д., Шпарковский И.А. Влияние допамина и ДОПА на электрическую активность мышц желудка ската *Raja radiata* и трески *Gadus morhua* // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 1989. – Т. 25. – С. 505-511.
3. Краюхин Б.В. Физиология пищеварения пресноводных костистых рыб. – М.-Л.: Изд-во. АН СССР, 1963. – 129 с.
4. Кузьмина В.В. Процессы экзотрофии у рыб. Организация. Регуляция. Адаптации. – М.: Полиграф-Плюс, 2015. – 260 с.
5. Пегель В.А. Физиология пищеварения рыб. – Томск: Изд-во Томского гос. университета, 1950. – 200 с.
6. Плисецкая Э.М. Гормональная регуляция углеводного обмена у низших позвоночных. – Л.: Наука. 1975. – 215 с.
7. Шпарковский И.А. Физиология пищеварения рыб: двигательная функция. – Л.: Наука, 1986. – 176 с.
8. Усов И.Н., Фурсевич В.М., Кевра М.К. Фармако-рецептурный справочник педиатра. – Минск: Вышэйша школа, 1990. – 352 с.
9. Barrington E.J.W. The alimentary canal and digestion // In: The Physiology of Fishes. – New York - London: Acad. Press. –1957. – Vol. 1. – P. 109-161.
10. Bertin L. Systeme nerveux // In: Traité de zoologie. Anatomie, systematique, biologie (Ed. P.P. Grassé). – Paris, 1958. – Tome 13. – Fascicule 2. – P. 894-922.
11. Campbell G. Autonomic nervous systems // In: Fish Physiology. Vol. 5. (W.S Hoar., D.J. Randall, eds). – New York- San Francisco- London: Acad. Press. –1970. – P. 109-133.
12. Cerda-Reverter J.M., Canosa L.F. Neuroendocrine systems of the fish brain // In: Fish Physiology (Bernier N.J., Van Der Kraak G., Farrell A.P., Brauner C.J., Eds.). – Cambridge, MA: Acad. Press. – 2009. – P. 3-74.

13. Demski, L.S. A hypothalamic feeding area in the brain of sharks and teleosts // *Florida Mar. Res. Publ.* – 1982. – Vol. 45. – No. 1. – P. 34-39.
14. Demski L.S. The neural control of feeding in elasmobranchs: A review and working model // *Environ. Biol. Fish.* – 2012. – Vol. 95. – Issue 1. – P. 169-183.
15. De Pedro N., Bjornsson B.T. Regulation of food intake by neuro-peptides and hormones // In: *Food Intake in Fish.* (D. Houlihan, T. Boujard, M. Jobling, eds.). – Oxford: Blackwell Sci., 2001. – Ch. 12. – P. 269-296.
16. De Pedro N., Delgado M.J., Alonso-Bedate M. The anorectic effect of CRF is mediated by α_1 -adrenergic and dopaminergic receptors in goldfish // *Life Sci.* – 1998. – Vol. 62. – P. 1801-1808.
17. De Pedro N., Delgado M.J., Alonso-Bedate M. Fasting and hypothalamic catecholamines in goldfish // *J. Fish Biol.* – 2001. – Vol. 58. – P. 1404-1413.
18. Fange R., Grove D. Digestion // In: *Fish Physiology* (Hoar W.S., Randall D.J., Brett J.R., eds.). – New York et al.: Acad. Press, 1979. – Vol. 8. – P. 162-260.
19. Garina D.V., Kuz'mina V.V., Gerasimov Yu.V. The effect of epinephrine on some feeding and moving reactions of goldfish *Carassius auratus* (L.) // *Comp. Biochem. Physiol.* – 2007. – Vol. 147A. – P. 544-549.
20. Holmgren S., Olsson C. The neuronal and endocrine regulation of gut function // In: *Fish Physiology* (N.J. Bernier, G. Van Der Kraak, A.P. Farrell, C.J. Brauner, eds). – Cambridge, MA: Academic Press, 2009. – Vol. 28. – P. 467-512.
21. Kapoor B.C., Smit H., Verighina I.A. The alimentary canal and digestion in teleosts // In: *Advances in marine biology.* – New York, 1975. – Vol. 13. – P. 109-239.
22. Kitazawa T., Temma K., Kondo H. Presynaptic alpha-adrenoceptor mediated inhibition of the neurogenic cholinergic contraction of the isolated intestinal bulb of the carp (*Cyprinus carpio*) // *Comp. Biochem. Physiol.* – 1986. – Vol. 83C. – P. 271-277.
23. Peter R.E. The brain and feeding behaviour // In: *Fish Physiology* (Hoar W.S., Randall D.J. Bretts J.R., eds). – New York: Acad. Press, 1979. – Vol. 8. – P. 121-59.
24. Radaelli G., Domeneghini C., Arrighi S., Mascarello F., Veggetti A. Different putative neuromodulators are present in the nerves which distribute to the teleost skeletal muscle // *Histol. Histopathol.* – 1998. – Vol. 13. – P. 939-947.
25. Schweitzer J., Driever W. Development of the Dopamine Systems in Zebrafish // In: Pasterkamp R.J., Smidt M.P., Burbach J.P.H. (Eds). *Development and Engineering of Dopamine Neurons / Part of the Advances in Experimental Medicine and Biology book series.* – 2009. – Vol. 651. – No. 28.
26. Volkoff H., Canosa L.F., Unniappa, S., Cerda-Reverter J.M., Bernie, N.J., Kell, S.P., Peter R.E. Neuropeptides and the control of food intake in fish // *Gen. Comp. Endocrinol.* – 2005. – Vol. 142. – P. 3-19.
27. Volkoff, H., Unniappan, S., Kelly, S. P. The endocrine regulation of food intake // In: *Fish Physiology* (N. J. Bernier, G. Van Der Kraak, A. P. Farrell, C. J. Brauner, eds). – Cambridge, MA: Academic Press, 2009. – Vol. 28. – P. 421-465.
28. Volkoff H. The neuroendocrine regulation of food intake in fish: a review of current knowledge // *Front. Neurosci.* – 2016, – Vol. 10. – P. 540-571. doi: 10.3389/fnins.2016.00540

REFERENCES

1. Andreeva N.G., Obukhov D.K. *Evolutsionnaya morfologiya nervnoi sistemy pozvonochnykh* (Evolutionary morphology of the vertebrate nervous system). St. Petersburg: Lan Publ., 1999, 381 p.
2. Barrington E.J.W. The alimentary canal and digestion // In: *The Physiology of Fishes.* New York - London: Acad. Press, 1957, Vol. 1, P. 109-161.
3. Bertin L. Systeme nerveux. *Traité de zoologie. Anatomie, systematique, biologie* (Ed. P.P. Grassé). Paris, 1958, 13(2), P. 894–922.
4. Campbell G. Autonomic nervous systems. *Fish Physiology.* (W.S Hoar., D.J. Randall, eds.). New York-San Francisco-London: Acad. Press Publ., 1970, Vol. 5, P. 109-133.
5. Cerda-Reverter J.M., Canosa L.F. Neuroendocrine systems of the fish brain. *Fish Physiology* (N.J. Bernier, G. Van Der Kraak, A.P. Farrell, C.J. Brauner, eds.). Cambridge, MA: Acad. Press Publ., 2009, P. 3-74.
6. Demski L.S. A hypothalamic feeding area in the brain of sharks and teleosts. *Florida Mar. Res. Publ.* 1982, 45(1): 34-39.

7. Demski L.S. The neural control of feeding in elasmobranchs: A review and working model. *Environ. Biol. Fish.* 2012, 95(1): 169-183.
8. De Pedro N., Bjornsson B.T. Regulation of food intake by neuro-peptides and hormones. In: *Food Intake in Fish.* (D.Houlihan, T.Boujard, M.Jobling, eds). Oxford: Blackwell Sci. Publ., 2001, Ch. 12, P. 269-296.
9. De Pedro N., Delgado M.J., Alonso-Bedate M. The anorectic effect of CRF is mediated by α_1 -adrenergic and dopaminergic receptors in goldfish. *Life Sci.* 1998, 62: 1801-1808.
10. De Pedro N., Delgado M.J., Alonso-Bedate M. Fasting and hypothalamic catecholamines in goldfish. *J. Fish Biol.* 2001, 58: 1404-1413.
11. Fange R., Grove D. Digestion. In: *Fish Physiology* (Hoar W.S., Randall D.J., Brett J.R., Eds.). New York et al.: Acad. Press, 1979. 8, P. 162-260.
12. Garina D.V., Kuz'mina V.V., Gerasimov Yu.V. The effect of epinephrine on some feeding and moving reactions of goldfish *Carassius auratus* (L.). *Comp. Biochem. Physiol.* 2007, 147A: 544-549.
13. Groisman, S.D., Shparkovskii, I.A. [Effect of dopamine and DOPA on electrical activity of stomach muscles in the skate *Raja radiata* and cod *Gadus morhua*]. *Zhurnal evolyutsionnoi biokhimii I fiziologii - J. Evol. Biochem. Physiol.* 1989, 25: 505-511. (In Russian)
14. Holmgren S., Olsson C. The neuronal and endocrine regulation of gut function. In: *Fish Physiology* (N.J. Bernier, G. Van Der Kraak, A.P. Farrell, C.J. Brauner, eds). Cambridge, MA: Academic Press Publ., 2009, 28: 467-512.
15. Kapoor B.C., Smit H., Verighina I.A. The alimentary canal and digestion in teleosts. In: *Advances in marine biology.* New York, 1975, 13, P. 109-239.
16. Kitazawa T., Temma K., Kondo H. Presynaptic alpha-adrenoceptor mediated inhibition of the neurogenic cholinergic contraction of the isolated intestinal bulb of the carp (*Cyprinus carpio*). *Comp. Biochem. Physiol.* 1986, 83C: 271-277.
17. Krayukhin B.V. *Fiziologiya pishchevareniya u presnovodnykh ryb* (Physiology of digestion of freshwater teleost fishes). Moscow-Leningrad: AN SSSR Publ., 1963, 129 p.
18. Ku'zmina V.V. *Protsessy ekzotrofii u ryb. Organizatsiya. Regulyatsiya. Adaptatsii* (Processes of exotrophy in fish. Organization. Regulation. Adaptations). Moscow: Polygraph-Plus Publ., 2015, 260 p.
19. Pegel V.A. *Fiziologiya pishchevareniya ryb* (Physiology of the digestion in fish). Tomsk: Tomsk State University Publ., 1950, 200 p.
20. Peter R.E. The brain and feeding behaviour. In: *Fish Physiology.* (W.S. Hoar, D.J. Randall, J.R. Brett, eds). New York: Acad. Press Publ., 1979, Vol. 8, P. 121-159.
21. Plisetskaya E.M. *Gormonal'naya regulyatsiya uglevodnogo obmena u nizshikh pozvonochnykh* (Hormonal regulation of carbohydrate metabolism in lower vertebrates). Leningrad: Nauka Publ., 1975, 215 p.
22. Radaelli G., Domeneghini C., Arrighi S., Mascarello F., Veggetti A. Different putative neuromodulators are present in the nerves which distribute to the teleost skeletal muscle. *Histol. Histopathol.* 1998, 13: 939-947.
23. Schweitzer J., Driever W. Development of the Dopamine Systems in Zebrafish // In: Pasterkamp R.J., Smidt M.P., Burbach J.P.H. (Eds). *Development and Engineering of Dopamine Neurons* / Part of the Advances in Experimental Medicine and Biology book series. 2009, Vol. 651, No. 28.
24. Shparkovski I.A. *Fiziologiya pishchevareniya ryb: motornaya funktsiya* (Physiology of digestion of fish: motor function). Leningrad: Nauka Publ., 1986, 176 p.
25. Usov I.N., Fursevich B.M., Kevra M.K. *Farmako-retsepturnyi spravochnik pediatra* (Pharmacoprescription guide of the pediatrician). Minsk: Vysshaya Shkola Publ., 1990, 352 p.
26. Volkoff H., Canosa L.F., Unniappa, S., Cerda-Reverter J.M., Bernie, N.J., Kell, S.P., Peter R.E. Neuropeptides and the control of food intake in fish. *Gen. Comp. Endocrinol.* 2005, 142: 3-19.
27. Volkoff, H., Unniappan, S., Kelly, S.P. The endocrine regulation of food intake. In: *Fish Physiology.* (N.J. Bernier, G. van Der Kraak, A.P. Farrell, C.J. Brauner, eds). Cambridge, MA: Academic Press Publ., 2009, Vol. 28, P. 421-465.
28. Volkoff H. The neuroendocrine regulation of food intake in fish: a review of current knowledge. *Front. Neurosci.* 2016, 10: 540-571. doi: 10.3389/fnins.2016.00540.

Effect of adrenoblockers on the feeding reaction rate in carp fry

Smirnova E.S., Kuz'mina V.V., Kulivatskaya E.A.

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters. RAS,
Borok, Yaroslavl Region, Russian Federation*

ABSTRACT. The effects of hormones, neurotransmitters and neuropeptides in the regulation of fish nutrition have been well studied, but the role of the nervous system has been studied to a lesser extent. The aim was to study the effect of adrenolytics acting on α -adrenoreceptors (aminazine) and β -adrenoreceptors (pindolol) on the rate of food reaction (latent feeding time, LFT) in carp *Cyprinus carpio*. Three groups of fish were formed. Aminazine or pindolol were injected intraperitoneally in experimental groups in doses of 1.0, 0.75, 0.5, 0.1, and 0.05 mg/g of body weight. Fish of the control group were injected with Ringer's solution. The latent feeding time of the group of fish (inversely proportional to the rate of the food reaction) was fixed immediately after the injection ("zero point"), and also 0.5 hours later and every 0.5 hours or 1 hour for 7 or 9 hours after the injection of the test substances. A total of 20 experiments were carried out. The introduction of both drugs caused a prolonged increase in LFT. With the introduction of aminazine at a dose of 1 mg/kg, the maximum increase in LFT (6-fold) was observed at 1 hour after injection, that of pindolol after 0.5 hours (2-fold). The return of LFT to normal in the first case occurred in 6 hours, in the second - after 8 hours. Smaller doses of drugs (0.75 and 0.5 mg/kg), as a rule, cause less effect. In the study of pindolol, a second increase in LFT was established after 4 hours. The observed differences are explained by the different mechanisms of action of the adrenolytics studied. Aminazine acts mainly on central α -adrenoreceptors, pindolol – on peripheral β -adrenoreceptors. It was suggested that different degrees of decrease in the rate of the food reaction with the administration of the drugs studied are due to the different roles of α - and β -adrenoceptors in the realization of the food-producing reaction of fish.

Key words: carp, feeding behavior, food reaction rate, adrenoblockers, adrenoreceptors

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2018, 2: 31-38

Поступило в редакцию: 12.04.2018

Получено после доработки: 08.05.2018

Смирнова Екатерина Сергеевна, н.с., тел. 8(905)131-84-73.

Кузьмина Виктория Вадимовна. д.б.н., г.н.с., тел. (485)472-45-26,
vkuzmina@ibiw.yaroslavl.ru

Куливацкая Екатерина Алексеевна, лаб. с высш. образ., тел. 8(960)531-14-60.