



ПОРОГ ОЩУЩЕНИЯ ПРИРОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ У РЫБ

СЕЛИВАНОВА Л.А.*, *Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН,
Москва, Россия,
e-mail: lyubov.selivanova@gmail.com*

На примере наивной молоди русского осетра определены пороги ощущения (обнаружения) аминокислот и их производных у рыб. Существует связь порогов ощущения аминокислот с их физико-химическими свойствами. Из девяти тестовых аминокислот минимальные пороги ощущения у рыб установлены для гистидина, метионина и тирозина.

Ключевые слова: наивная молодь русского осетра, аминокислоты, пороги ощущения (обнаружения).

Чувствительность рыб к аминокислотам (АК) интересует физиологов и ихтиологов с середины прошлого века, и объясняется такой интерес тем, что природные свободные аминокислоты, растворенные в воде, экскретируются животными и растительными обитателями данного водоема и служат ключевыми сигналами при внутри- и межвидовой хемокоммуникации, поиске пищи и миграциях рыб. В частности, по импринтинговой гипотезе хоминга — нерестовой анадромной (из моря в реку) миграции проходных видов рыб (лососевые и осетровые), ключевая роль отводится пулу АК родного для данной популяции рыб водоема. В конце 70-х гг. прошлого века была выдвинута феромонная гипотеза хоминга рыб, в которой ключевая роль отводится не АК (доминирующие компоненты кожной слизи рыб, экскретируемые в воду и растворяющиеся в ней), а желчным компонентам (ЖК, доминирующие компоненты кишечных экскретов и фекалий рыб, экскретируемые в воду и оседающие на грунте). ЖК — это плохо растворимые в воде вещества стероидной природы, которые рассматриваются как проферомоны. Передача ключевой роли в хоминге рыб от АК к ЖК была сделана по критерию чувствительности рыб к этим веществам, а именно: пороги обнаружения (ощущения) рыбами ЖК оказались на 1—3 порядка ниже, чем таковые для АК. Однако во всех этих и предыдущих работах по чувствительности рыб и других гидробионтов к растворенным в природной воде веществам не учитывалось их фоновое содержание в воде и регистрировалась только пороговая концентрация предъявляемого вещества, при которой еще проявлялась сенсорная или поведенческая реакция животного. Пороги или чувствительность рыб (в данном случае — дифференциальные) в их классическом понимании почти никто не определял, а в единичных работах, где предпринимались такие попытки, полученный результат из-за методических ошибок не отражал реальной чувствительности рыб к АК и другим веществам. Для решения этой мультидисциплинарной задачи потребовалось адаптировать методы подготовки проб воды и экскретов (экзометаболитов) рыб для хроматографического анализа АК, параллельно с тести-

Для цитаты:

Селиванова Л.А. Порог ощущения природных аминокислот у рыб // Экспериментальная психология. 2019. Т. 12. № 1. С. 5—11. doi:10.17759/exppsy.2019120101

* Селиванова Любовь Андреевна, кандидат психологических наук, младший научный сотрудник, Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия. E-mail: lyubov.selivanova@gmail.com



рованием рыб вести мониторинг АК в природной волжской воде, которая служила естественным фоном, а также разработать зоопсихологическую методику тестирования. Проведенное в соответствии с данным алгоритмом исследование позволило на примере рыб впервые для гидробионтов и химической модальности стимула на поведенческом уровне установить дифференциальные пороги распознавания и ощущения (обнаружения), вид отношения Вебера и вид зависимости интенсивности поведенческого ответа от интенсивности стимула для отдельных АК с разными химическими свойствами. Сравнение собственных данных по чувствительности осетровых рыб к АК с литературными данными по содержанию в природной воде и пороговым концентрациям АК и ЖК для лососевых рыб показало, что чувствительность проходных видов рыб к АК и ЖК практически одинакова, и по этому критерию АК и ЖК в равной мере могут служить ключевыми веществами для хоминга рыб. Помимо искомым результатов имеющийся материал позволил ответить на вопрос: «Чем определяется чувствительность рыб к АК при узнавании их качества (распознавании) и при ощущении (обнаружении)?».

В предыдущих работах, посвященных хемочувствительности рыб (Selivanova, 2002; Селиванова 2007; Селиванова, Скотникова, 2007), были опубликованы данные о пороговых концентрациях для специфической реакции рыб (ориентированного перемещения относительно источника запаха) на отдельные природные АК при их естественном фоне. Специфическая целенаправленная поведенческая реакция предполагает узнавание конкретного химического стимула. Однако существует такой диапазон концентраций ниже пороговой для специфической реакции («порога узнавания», ПУ), в котором рыбы перестают узнавать, но продолжают ощущать предъявляемый стимул и демонстрируют неспецифическую реакцию (повышение двигательной активности без четкой ориентации на источник запаха). Для неспецифической ориентировочно-исследовательской реакции (ИОР) также существуют пороговая концентрация и «порог ощущения» или «порог обнаружения» (ПО).

Ранее нами было установлено, что хемочувствительность рыб к АК при их распознавании (узнавании, идентификации по качеству) экологически обусловлена, т. е. параметры хемочувствительности рыб к АК значимо связаны с природным адаптирующим фоном АК, а именно с концентрацией АК в природной фоновой воде, в которой рыб содержали и тестировали (Селиванова, 2007; Селиванова, Скотникова, 2007). А чем обусловлена хемочувствительность рыб к АК, когда они перестают их узнавать? Можно предположить, что для ощущения нераспознаваемого химического стимула важны не только его предъявляемая и фоновая концентрации, но и его физико-химические свойства.

Возникновению ощущения химического стимула на целостном уровне предшествует процесс его рецепции на клеточном уровне (для одорантов — на уровне обонятельной выстилки). Этот процесс активно изучается, начиная с середины прошлого века и до настоящего времени. В обзоре Стивена Прайса (Price, 1984), подводящем итоги 30-тилетнего периода изучения механизмов рецепции запахов, упомянуты базовые и ныне классические работы зарубежных (R.W. Moncrieff, M.M. Mozell, T.V. Getchell с соавторами, R.H. Sagan с соавторами) и отечественных (А.Л. Бызов и А.В. Минор, Я.А. Винников и Г.А. Пяткина, Е.Е.Фесенко и В.И. Новосёлов с соавторами, О.С. Гладышева с соавторами) авторов. Обязательная часть любого, в том числе и данного исследования дифференциальной чувствительности рыб к АК — это определение содержания АК в природной воде с помощью жидкостной ионообменной хроматографии (ИОХ). Поэтому особый интерес в обзоре Прайса, с моей точки зрения, представляет работа Роберта Монкриффа (Moncrieff, 1955) о сорбционных свойствах обонятельной мембраны, который предложил *стереохимическую теорию обоняния*, а также цикл работ его последователя Максвелла Мозеля, в одной



из которых по итогам своих исследований он делает вывод о том, что процесс рецепции запаха в обонятельном эпителии человека и животных аналогичен процессу, происходящему в колонке газозового или жидкостного хроматографа (Mozell, 1970). Применительно к АК время их связывания с ионообменной смолой и последовательность выхода на хроматограмме, в частности, зависят от сложности структуры и молекулярного веса (МВ) содержащихся в пробе АК.

Задача данной работы — определение порога обнаружения аминокислот у рыб, а также выяснение характера связи порога обнаружения аминокислот с физико-химическими свойствами отдельных аминокислот, с концентрацией этих аминокислот в природной фоновой воде и с ранее определенными параметрами хемочувствительности рыб при естественном фоне.

Методика

Исследование проведено с помощью оригинальной зоопсихофизической методики, сочетающей в себе психофизический метод постоянных стимулов (метод констант) и этологический метод «привыкание—различение» (“habituation-discrimination” test). В тезисном виде методика изложена в предыдущей статье с представлением полученных при ее использовании эмпирических данных (Селиванова, Скотникова, 2007); более подробное описание методики приводится в диссертации Л.А. Селивановой (Селиванова, 2007), а процедуры тестирования, регистрации, обработки и анализа данных подробно приведены в двух ее методических статьях (Селиванова, 2016 а, б). Ниже приводятся методические подробности данной части исследования.

Тестировали наивную (необученную) молодь русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1833 в возрасте 41—100 суток с момента вылупления, в максимально приближенных к природным условиям Александровского рыбозавода (поселок Трудфронт Астраханской области на острове в дельте реки Волги).

Тестовые растворы готовили из следующих АК: глицин (гли), L- α -аланин (ала), D,L-серин (сер), L-глутаминовая кислота (глу), L-глутамин (гли), L-пролин (про), L-гистидин гидрохлорид (гис), D,L-тирозин (тир) и D,L-метионин (мет).

При обработке данных проводили аппроксимацию эмпирических данных по каждой АК линейной функцией и экстраполяцию полученных прямых. В качестве показателя силы ощущения использовали показатель интенсивности проявления поведенческой реакции (ДК), что позволяет с приемлемой точностью (до 0,01 порядка) определить пороги обнаружения отдельных аминокислот.

Для выяснения характера связи ПО АК с концентрацией этих АК в природной фоновой воде и с параметрами хемочувствительности рыб при естественном фоне по исходным данным вычислялся коэффициент корреляции r_{xy} Пирсона, а по ранжированным данным — коэффициент корреляции r_s Спирмена. Предъявляемый на фоне природной воды тестовый раствор АК готовился на основе той же фоновой воды, следовательно концентрация тестового раствора C_t является суммой прибавляемой C_n и природной фоновой C_ϕ концентраций. Поэтому в нашем случае порог узнавания и порог обнаружения, определяемые по пороговому значению C_n , являются разностными (РП) или дифференциальными (ДП) порогами. Относительные дифференциальные пороги специфической и неспецифической реакций (ОДПУ и ОДПО), отражающие различительную хемочувствительность рыб при естественном фоне, вычисляются по формуле РП/ C_ϕ (т. е. C_n/C_ϕ), где знаменатели простых дробей с помощью таблицы десятичных антилогарифмов переводятся в десятичные дроби. В результате ОДП можно представить в процентном выражении.



Для вычисления коэффициента корреляции r_s Спирмена АК ранжировались по величине молекулярного веса (МВ) от минимального к максимальному, по порядку (последовательности) выхода отдельных АК на хроматограмме при жидкостной ионообменной хроматографии (ИОХ) и по содержанию в природной воде от максимальной концентрации к минимальной. При ранжировании АК по величине параметров хемочувствительности ряд выстраивался от минимального значения концентрации к максимальному (или от максимальной чувствительности к минимальной).

Результаты и их обсуждение

Результаты проведенных расчетов и ранжирования данных сведены в две таблицы. Табл. 1 представляет собой исправленный (возвращен знак «-» при показателях значений степеней) и дополненный вариант табл. 2 из предыдущей публикации (Селиванова, Скотникова, 2007). В столбцах **b**, **c** и **n** добавлена строка с эмпирическими данными по глутамину. Также добавлены следующие столбцы: **d** – с вычисленными значениями ПО (в логарифмических единицах) для каждой АК, **Pr** – с соответствующими значениями коэффициента регрессии при аппроксимации эмпирических данных линейной функцией (все они по абсолютному значению не ниже 0,95), **b'** и **d'** – со значениями ОДП в логарифмических единицах и **a'**, **b''** и **d''** – со значениями ОДП в процентах.

Таблица 1

Концентрация (С) АК и параметры хемочувствительности рыб к АК

АК	a	a'	b	b'	b''	c	d	Pr	d'	d''	n
Гли	-7	0.1	-9	-1.78	1.66	-6	-9.45	0.991	-2.23	0.59	-7.2218
Ала	-5	0.1	-8	-0.48	33.11	-5	-9.47	0.972	-1.95	1.12	-7.5229
Сер	-	-	-11	-3.83	0.015	-7	-11.77	-0.977	-4.60	0.0025	-7.1739
Глу	-	-	-9	-1.18	6.61	-6	-9.38	0.973	-1.56	2.75	-7.8239
Глн	-	-	-9	0	100.0	-5	-10.65	-0.995	-1.65	2.24	-9.0
Про	-	-	-11	-1.0	10.0	-11	-12.33	-1	-2.33	0.47	-10.0
Гис	-8	0.01	-12	-4.3	0.005	-9	-13.92	0.999	-6.22	0.00006	-7.699
Тир	-9	0.01	-11	-2.0	1.0	-8	-11.80	0.953	-2.80	0.16	-9.0
Мет	-10	0.1	-12	-2.0	1.0	-9	-12.85	-0.990	-2.85	0.14	-10.0

Примечание: **a** – оптимальная искусственная фоновая концентрация – С АК (lg) для максимальной дифференциальной чувствительности – ДЧ; **a'** – соответствующее значение ОДП (%); **b** – lgПУ; **b'** – lgОДПУ; **b''** – ОДПУ (%); **c** – оптимальная предъявляемая С АК (lg) для максимального значения ΔK ; **d** – lgПО; **Pr** – коэффициент линейной регрессии; **d'** – lgОДПО; **d''** – ОДПО (%); **n** – С (lg) аминокислот в природной фоновой воде; прочерк – параметр не определялся.

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что у молоди осетра ПО природных АК (столбец **d**) находится в диапазоне от десятых долей наномоля (глицин, аланин, глутаминовая кислота) до десятых (метионин) и сотых (гистидин гидрохлорид) долей пикомоля. ПО ниже природной фоновой концентрации АК (разница между **d** и **n** приведена в столбце **d'**) минимум на 1,5 (глутаминовая кислота, глутамин), максимум на 6 (гистидин гидрохлорид) порядков. Связь между этими концентрациями слабая (коэффициент корреляции Пирсона $r_{dn} = 0,435$, коэффициент ранговой корреляции Спирмена $r_s = 0,45$ (здесь и далее ранжированные ряды для вычисления r_s см. в табл. 2), но при этом просматривается следующая тенденция: чем ниже природная фоновая концентрация (столбец **n**), тем ниже ПО (столбец **d**). ПО



ниже соответствующих ПУ (столбцы **d** и **b**) на величину от менее 0,5 (глицин, глутаминовая кислота) до почти 2 (гистидин гидрохлорид) порядка. Между этими концентрациями существует значимая положительная связь ($r_{bd} = 0,945$; $\alpha < 1\%$; $r_s = 0,896$; $\alpha < 1\%$), как и между рангами ОДПУ и ОДПО ($r_s = 0,863$; $\alpha < 1\%$). Разница между величиной порога обнаружения и оптимальными для ΔK концентрациями (столбцы **d** и **c**) в основном составляет 3,5–5,5, и между этими концентрациями также обнаруживается значимая положительная связь ($r_{cd} = 0,800$; $\alpha < 1\%$; $r_s = 0,8042$; $\alpha < 5\%$). Ранее (Селиванова, Скотникова, 2007) было показано, что такая же связь существует и между оптимальными для ΔK концентрациями АК и ПУ (столбцы **b** и **c**). Она сохраняется и для расширенных за счет включения глутамин рядов ($r_{cb} = 0,832$; $\alpha < 1\%$; $r_s = 0,875$; $\alpha < 1\%$). Между ПО и оптимальной для максимальной дифференциальной чувствительности искусственной фоновой концентрацией (столбцы **d** и **a**) существует положительная связь на уровне тенденции ($r_{ad} = 0,738$; $10\% < \alpha < 20\%$; $r_s = 0,675$). Между рангами максимальных ОДП при искусственном фоне (**Ra'**) и рангами ОДПО также существует положительная связь на уровне тенденции ($r_s = 0,725$).

Таблица 2

Ранги концентраций и параметров хемочувствительности рыб к АК

АК	R _{мв}	R _{иох}	R _n	R _a	R _{a'}	R _c	R _{пу}	R _{по}	R _{одпу}	R _{одпо}
Гли	1	5	2	4	4	6.5	7	8	5	6
Ала	2	6	3	3	4	8.5	9	7	8	7
Сер	3	1	1	-	-	5	4	5	2	2
Глу	6	3	5	-	-	6.5	7	9	6	9
Глн	5	2	6.5	-	-	8.5	7	6	9	8
Про	4	4	8.5	-	-	1	4	3	7	5
Гис	8	9	4	3	1.5	2.5	1.5	1	1	1
Тир	9	8	6.5	2	1.5	4	4	4	3.5	3
Мет	7	7	8.5	1	4	2.5	1.5	2	3.5	4

Примечание: R_{мв} – ранг АК по молекулярному весу; R_{иох} – ранг АК по порядку их выхода при ИОХ; R_n, R_a, R_{a'}, R_c, R_{пу}, R_{по}, R_{одпу}, R_{одпо} – ранг АК по величине **n**, **a**, **a'**, **c**, ПУ, ПО, ОДПУ и ОДПО соответственно.

Итак, ОДПО у рыб (на примере наивной молодежи осетра) значимо или на уровне тенденции связан с другими параметрами хемочувствительности к АК, однако, по сравнению с другими параметрами, он слабо связан с концентрацией АК в природном фоне. У рыб максимальная дифференциальная чувствительность, т. е. минимальные значения ОДПУ и ОДПО при естественном фоне и ОДП при искусственном фоне АК, по эмпирическим и расчетным данным, выявлена к гистидину. Кроме гистидина, высокая дифференциальная чувствительность при обоих фонах отмечена к метионину и при естественном фоне – к тирозину. Эти три аминокислоты среди тех девяти аминокислот, что были использованы нами в качестве тестовых, имеют наибольший молекулярный вес, наибольшую прочность связывания с ионообменной смолой (сравни по табл. 2 R_{мв} и R_{иох} этих АК с их R_{пу}, R_{по}, R_{одпу}, R_{одпо}), а также наибольшую сложность структуры. При этом, как правило, более сложные по структуре и имеющие больший молекулярный вес аминокислоты являются минорными компонентами пула свободных аминокислот природной воды, а самые простые и легкие аминокислоты – мажорными компонентами. В нашем случае между R_{мв} и R_n существует положительная связь на уровне тенденции ($r_s = 0,55$). Имеют место



следующие тенденции: чем больше молекулярный вес аминокислоты, тем ниже значение пороговой концентрации (для $R_{пу}$ и $R_{мв} \gamma_s = -0,571$; для $R_{по}$ и $R_{мв} \gamma_s = -0,567$); чем прочнее связывание аминокислоты с ионно-обменной смолой (обонятельным эпителием), тем ниже пороговые концентрации (для $R_{пу}$ и $R_{иох} \gamma_s = -0,379$; для $R_{по}$ и $R_{иох} \gamma_s = -0,533$).

Заключение

У рыб порог ощущения (обнаружения) аминокислот, определяемый по неспецифической поведенческой (ориентировочно-исследовательской) реакции, главным образом зависит от физико-химических свойств отдельных аминокислот. В отличие от порога узнавания аминокислот, определяемого по специфической поведенческой реакции (ориентированному перемещению относительно источника запаха), порог ощущения аминокислот слабо связан с их концентрацией в природном фоне.

Наименьший порог ощущения, т. е. наибольшая дифференциальная чувствительность отмечена у рыб к трем аминокислотам: гистидину, метионину и тирозину, которые из девяти тестовых аминокислот имеют больший молекулярный вес, более сложную структуру молекулы, большее время удерживания на ионообменной смоле (и — по аналогии — на рецепторах обонятельной выстилки), а также меньшую концентрацию в фоновой природной воде.

Полученные результаты позволяют предполагать, что в процессе хоминга на подходе к устью реки, впадающей в море, низкая концентрация ключевого стимула вызывает у рыб ориентировочно-исследовательскую реакцию, которая, в свою очередь, выводит их на поток с градиентом ключевого стимула. Высокая дифференциальная чувствительность к некоторым аминокислотам при низких концентрациях стимула дает рыбам вектор движения в направлении источника стимула, а по мере приближения к нему рыбы начинают распознавать аминокислоты, их движение вверх по течению становится целенаправленным и они успешно достигают родных мест. Аналогичным образом в проточном водоеме рыбы могут перемещаться навстречу любому удаленному источнику аминокислот, например, пищевому объекту.

Таким образом, высокая дифференциальная чувствительность к некоторым аминокислотам в диапазоне низких концентраций и экологическая обусловленность чувствительности рыб к аминокислотам при их распознавании в диапазоне природных концентраций создают континуум поведенческих ответов рыб на всем диапазоне концентраций аминокислот и способствуют обнаружению градиента и продвижению рыб к источнику аминокислот даже при значительном удалении от него и пологом градиенте.

Литература

1. Селиванова Л.А. Диапазон применения зоопсихофизической методики для определения хемочувствительности гидробионтов // Процедуры и методы экспериментально-психологических исследований / Отв. ред. В.А. Барабанщиков. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2016 а. С. 321–327.
2. Селиванова Л.А. Различительная хемочувствительность: зоопсихологический подход: дисс. ... канд. психол. наук. М., 2007. 120 с.
3. Селиванова Л.А. Разработка зоопсихофизической методики для определения хемочувствительности гидробионтов [Электронный ресурс] // Экспериментальная психология. 2016 б. Т. 9. № 4. С. 105–120. <http://dx.doi.org/10.17759/exppsy.2016090410>
4. Селиванова Л.А., Скотникова И.Г. Исследование различительной хемочувствительности рыб // Психологический журнал. 2007. Т. 28. № 2. С. 95–105.
5. Mozell M. M. Evidence for a Chromatographic Model of Olfaction [Электронный ресурс] // J. Gen. Physiol. 1970. Vol. 56. № 1. P. 46–63. <http://doi.org/10.1085/jgp.56.1.46>



6. Moncrieff R.W. The sorptive properties of the olfactory membrane [Электронный ресурс] // J. Physiol. (Lond). 1955. Vol. 130. № 3. P. 543–558. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1955.sp005426>
7. Price S. Mechanism of stimulation of olfactory neurons: an essay [Электронный ресурс] // Chem. Sens. Flav. 1984. Vol. 8. № 4. P. 341–354. <https://doi.org/10.1093/chemse/8.4.341>
8. Selivanova L.A. Differential chemosensitivity of naive young russian sturgeon // Fechner Day 2002 / Eds. J.H. Da Silva, E.H. Matsushima, N.P. Ribeiro-Filho. Rio de Janeiro. 2002. P. 520–525.

THRESHOLD OF SENSATION OF NATURAL AMINO ACIDS IN FISH

SELIVANOVA L.A.*, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Moscow, Russia,
e-mail: lyubov.selivanova@gmail.com

On the example of the naive juvenile of the Russian sturgeon, thresholds of sensation (detection) of amino acids and their derivatives in fish are determined. There is a relationship between the thresholds of sensation of amino acids and their physico-chemical properties. Of the nine test amino acids, the minimum thresholds of sensation in fish are established for histidine, methionine, and tyrosine.

Keywords: naive young Russian sturgeon, amino acids, thresholds of sensation (detection).

References

1. Mozell M. M. Evidence for a Chromatographic Model of Olfaction // J. Gen. Physiol., 1970, vol. 56, no. 1, pp. 46–63. <http://doi.org/10.1085/jgp.56.1.46>
2. Moncrieff R. W. The sorptive properties of the olfactory membrane // J. Physiol. (Lond.), 1955, vol. 130, no. 3, pp. 543–558. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1955.sp005426>
3. Price S. Mechanism of stimulation of olfactory neurons: an essay // Chem. Sens. Flav., 1984, vol. 8, no. 4, pp. 341–354. <https://doi.org/10.1093/chemse/8.4.341>
4. Selivanova L.A. Diapazon primeneniya zoopsihofizicheskoy metodiki dlja opredeleniya hemochuvstvitel'nosti gidrobiontov [Range of animal psychophysics technique application for determining of hydrobios chemical sensitivity]. In Barabanshnikov V.A. (ed.) Procedury i metody jeksperimental'no-psihologicheskikh issledovanij [Procedures and methods of experimental psychological research]. Moscow, Institute of Psychology RAS Publ., 2016, pp. 321–327. (In Russ.).
5. Selivanova L.A. Differential chemosensitivity of naive young russian sturgeon // Fechner Day 2002 / Eds. Da Silva J.H., Matsushima E.H. & Ribeiro-Filho N.P. Rio de Janeiro. 2002. P. 520–525.
6. Selivanova L.A. Razlichitel'naya hemochuvstvitel'nost: zoopsihologicheskij podhod. Diss. kand. psihol. nauk. [Differential chemosensitivity: zoopsychological approach. Diss. cand. psychol. sciences] M., 2007. 120 p. (In Russ.).
7. Selivanova L.A. Razrabotka zoopsihofizicheskoy metodiki dlya opredeleniya hemochuvstvitel'nosti gidrobiontov [Development of the zoopsychophysical technique for determining the chemosensitivity of hydrobionts]. Eksperimental'naya psihologiya [Experimental Psychology (Russia)], 2016, vol. 9, no. 4, pp. 105–120 (In Russ.; abstract in Engl.).
8. Selivanova L.A., Skotnikova I.G. Issledovanie razlichitel'noj hemochuvstvitel'nosti ryb [Fishes differential chemosensitivity study]. Psihol. zhurn. [Psychological Journal (Russia)], 2007, vol. 28, no. 2, pp. 95–105. (In Russ.; abstract in Engl.).

For citation:

Selivanova L.A. Threshold of sensation of natural amino acids in fish. *Eksperimental'naya psihologiya = Experimental psychology (Russia)*, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 5–11. doi:10.17759/exppsy.2019120101

* Selivanova Lyubov Andreevna, PhD (Psychology), Junior Research Associate, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Moscow, Russia. E-mail: lyubov.selivanova@gmail.com