

УДК 597.556.331.9:577.125

## СОСТАВ ЛИПИДОВ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КРОВИ И ВО ВНУТРЕННИХ ОРГАНАХ АНТАРКТИЧЕСКОГО КЛЫКАЧА *DISSOSTICHUS MAWSONI* NORMAN, 1937 (NOTOTHENIIDAE)

© 2021 г. Д. В. Микряков<sup>1, \*</sup>, И. И. Гордеев<sup>2, 3</sup>, В. Р. Микряков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
пос. Борок 152742, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,  
Москва 107140, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва 119991, Россия

\*e-mail: daniil@ibiw.ru

Поступила в редакцию 18.03.2020 г.

После доработки 09.09.2020 г.

Принята к публикации 05.10.2020 г.

У обитающего в стабильно холодных водах Антарктики антарктического клыкача *Dissostichus mawsoni* Norman, 1937 (Actinopterygii: Nototheniidae) определены содержание общих липидов и их фракций, интенсивность окислительных процессов и уровень антиокислительной защиты в крови, почке, селезенке и печени в зависимости от пола и возраста. Существенных различий между самцами и самками по этим показателям не выявлено. Значимые различия некоторых показателей у разновозрастных групп клыкача отмечены в крови и печени. Однако большинство показателей различались незначительно, что, вероятно, связано с отловом рыб в нагульный период. Высокое содержание общих липидов, запасных триацилглицеридов и уровень антиокислительной защиты в крови и органах *D. mawsoni* отражают особенности данного вида, обеспечивающие обитание в условиях Антарктики.

**Ключевые слова:** антарктический клыкач *Dissostichus mawsoni*, кровь, почка, селезенка, печень, липиды и их фракции, перекисное окисление липидов, антиокислительная активность

**DOI:** 10.31857/S0134347521030098

Представители семейства Нототениевые (Nototheniidae) — это в основном донные и придонные рыбы, обитающие в Антарктике и Субантарктике (Шуст, 1998; Nelson, 2006). Обитание в холодных водах отразилось на анатомии и физиологии данных рыб. Например, отсутствие плавательного пузыря, который имеется у других лучепёрых рыб, компенсируется особенностями общей морфологии тела, которые обеспечивают его плавучесть. Снижение массы тела происходит за счет обводнения мышц и образования липидных мешков — своеобразных внутримышечных жировых депо, а также в результате уменьшения минерализации костей и редукции костных элементов скелета. У большинства эндемиков антарктических вод в крови и других жидкостях тела содержатся особые гликопротеины — биологические антифризы, препятствующие образованию кристаллов льда в организме (DeVries, 1971; Chen et al., 1977; Морской энциклопедический ..., 1986; Nelson, 2006).

Один из самых крупных и наиболее ценных промысловых видов семейства Нототениевые в Антарктике и Субантарктике — антарктический клыкач *Dissostichus mawsoni* Norman, 1937. Этот вид распространен циркумполярно, ареал обитания включает зоны континентального шельфа, склона, а также отдельно стоящих подводных поднятий и островов в Южном океане. Возраст отдельных особей клыкача может достигать 30 лет и более, длина — 2 м, а масса — 120 кг. Питается *D. mawsoni* разными видами кальмаров и рыб (Шуст, 1998; Промысловые рыбы России, 2006; Петров и др., 2014).

В полярных регионах липиды и жирные кислоты представляют собой основные энергетические запасы для многих видов рыб и играют важную роль в росте, движении, балансе плавучести и воспроизводстве (Лапин, Шатуновский, 1981; Гершанович и др., 1991; Sargent et al., 2002). Опубликованы сведения о количестве и составе общих липидов и жирных кислот, а также о процентном содержании некоторых липидных фракций у

**Таблица 1.** Морфометрические показатели антарктического клыкача *Dissostichus mawsoni*

Показатель	Пол		Возраст, лет			
	самки	самцы	6–7	8–11	12–13	14 и старше
Средняя масса, г	21710 ± 3217	21848 ± 2197	8549 ± 310	18483 ± 1669	22465 ± 1117	36149 ± 2286
Средняя длина, см	115 ± 6.48	115 ± 4.01	86.75 ± 1.29	106.78 ± 2.01	121.4 ± 1.41	141.22 ± 2.71

взрослых особей и личинок полярных видов рыб, в том числе у представителей *Nototheniidea*; приведены сравнительные характеристики липидного состава в зависимости от образа жизни и пищевых предпочтений рыб (Hagen et al., 2002; Mauzaud et al., 2011; Giraldo et al., 2015, 2017; Пекоева и др., 2017; Murzina et al., 2020). У рыб, обитающих в условиях антарктических вод, энергетический обмен обеспечивается жировыми ресурсами организма. Например, у мраморной нототении *Notothenia rossii* Richardson, 1844 обнаружено высокое содержание высоконасыщенных жирных кислот, активно участвующих в окислительных процессах (Шатуновский, 1980). Вследствие этого в тканях и органах повышается содержание свободных радикалов или активных форм кислорода (АФК), которые участвуют в процессах клеточного метаболизма. Высокий уровень АФК негативно влияет на клетки и нарушает динамическое равновесие окислительно-восстановительного баланса. Подобное избыточное накопление АФК нейтрализуется ферментными и неферментными антиоксидантами (Меньшикова и др., 2008). Несмотря на понимание общей концепции, сведения об уровне липидов, окислительных процессах и о содержании антиоксидантов у представителей глубоководной ихтиофауны Антарктики и Субантарктики до сих пор отрывочны.

В настоящей работе исследованы содержание общих липидов и их фракций, а также интенсивность окислительных процессов и уровень антиоксидантов в крови и органах антарктического клыкача.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Особи антарктического клыкача *Dissostichus mawsoni* (36 экз.) были выловлены в декабре 2011 г. – январе 2012 г. в море Росса (Тихоокеанский сектор Антарктики; 75°11' ю.ш., 175°31' з.д.) на глубине от 1241 до 1625 м ярусоловом “Янтарь-31” (ООО “Орион”, г. Хабаровск), а также в январе–марте 2013 г. в море Росса (75° ю.ш., 172–174° в.д.) на глубине от 826 до 1273 м и в море Амундсена (69°41' ю.ш., 126°46' з.д.) на глубине от 1398 до 1430 м ярусоловом “Янтарь-35” (ООО “Орион”, г. Хабаровск) при помощи донного яруса типа автотайп “Мустанд” (Петров и др., 2014).

Сравнительный анализ отловленных рыб проводили по половому признаку и возрасту. Всего было обработано 23 самца и 13 самок (табл. 1). От-

ловленных рыб разделили на четыре возрастные группы: 6–7 лет (5 самцов и 3 самки – неполовозрелые), 8–11 лет (6 самцов и 3 самки), 12–13 лет (7 самцов и 3 самки) и старше 14 лет (5 самцов и 4 самки).

Сразу после вылова у рыб отбирали кровь из хвостовой вены и вынимали печень, почку и селезенку. Индекс этих внутренних органов рассчитывали по процентному отношению массы исследуемого органа к массе рыбы по формуле:  $X = A/B \times 100$ , где  $X$  – индекс органа, %;  $A$  – масса органа, г;  $B$  – масса рыбы, г. Кровь центрифугировали до осаждения клеточных элементов и отделения сыворотки. Пробирки с сывороткой крови и образцами тканей органов замораживали при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ . В условиях лаборатории из размороженных образцов тканей печени, почки и селезенки при помощи гомогенизатора готовили гомогенаты с 0.65% физиологическим раствором в соотношении 1 : 5.

В сыворотке крови и гомогенатах тканей рыб анализировали содержание общих липидов (ОЛ) и их фракционный состав, интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) и уровень антиокислительной защиты (АЗ).

Липиды из тканей экстрагировали и определяли гравиметрически стандартным методом по Фолчу (Folch et al., 1957). Пробы фиксировали смесью хлороформ : метанол в соотношении 2 : 1 по объему. Разделение общих липидов проводили с помощью метода тонкослойной хроматографии восходящим способом на пластинках “Silufol” в системе растворителей петролейный эфир : серный эфир : ледяная уксусная кислота (90 : 10 : 1 по объему). Фракционный состав липидов определяли в герметичной камере в парах йода (Кейтс, 1975). Определяли относительное содержание структурных фосфолипидов (ФЛ), холестерина (ХС), неэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК), запасных триацилглицеридов (ТГ), эфиров стеринов (ЭС) и углеводов + воска (УВ).

Интенсивность ПОЛ определяли по накоплению малонового диальдегида (МДА) – одного из конечных продуктов перекисного окисления. Концентрацию МДА устанавливали по количеству продуктов ПОЛ, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой и дающих с ней окрашенный комплекс. Интенсивность окрашивания оценивали спектрофотометрически по изменению максимума поглощения при 532 нм (Андреева и др., 1988). Содержание МДА вычисляли с учетом ко-

**Таблица 2.** Соматические индексы, содержание липидов и их фракций, интенсивность окислительных процессов и уровень антиокислительной защиты в крови и органах самок и самцов антарктического клыкча *Dissostichus mawsoni*

Показатель	Кровь	Почка	Селезенка	Печень
Соматический индекс, %	—	$0.21 \pm 0.02$ $0.22 \pm 0.02$	$0.53 \pm 0.32$ $0.20 \pm 0.02$	$2.98 \pm 0.36$ $2.22 \pm 0.26$
ОЛ, мг%	$1363 \pm 19$ $1349 \pm 8$	$2793 \pm 26$ $2844 \pm 14$	$1887 \pm 11$ $1904 \pm 7$	$3632 \pm 26$ $3595 \pm 28$
ФЛ, %	$36.50 \pm 0.20$ $36.10 \pm 0.13$	$35.19 \pm 0.08$ $35.06 \pm 0.19$	$48.18 \pm 0.12$ $47.87 \pm 0.15$	$38.25 \pm 0.14$ $38.23 \pm 0.08$
ХС, %	$10.79 \pm 0.19$ $10.95 \pm 0.09$	$15.07 \pm 0.08$ $15.18 \pm 0.14$	$8.62 \pm 0.11$ $8.64 \pm 0.10$	$9.95 \pm 0.13$ $10.03 \pm 0.13$
НЭЖК, %	$6.28 \pm 0.38$ $6.43 \pm 0.22$	$3.08 \pm 0.15$ $3.01 \pm 0.13$	$2.73 \pm 0.03$ $2.57 \pm 0.13$	$3.44 \pm 0.06$ $3.46 \pm 0.08$
ТГ, %	$40.07 \pm 0.34$ $40.34 \pm 0.33$	$39.87 \pm 0.11$ $40.07 \pm 0.16$	$34.96 \pm 0.18$ $35.37 \pm 0.13$	$42.35 \pm 0.37$ $42.48 \pm 0.22$
ЭС, %	$4.89 \pm 0.14$ $4.77 \pm 0.11$	$6.21 \pm 0.07$ $6.08 \pm 0.05$	$4.67 \pm 0.05$ $4.72 \pm 0.06$	$4.64 \pm 0.11$ $4.58 \pm 0.11$
УВ, %	$1.34 \pm 0.06$ $1.39 \pm 0.04$	$0.56 \pm 0.04$ $0.57 \pm 0.01$	$0.81 \pm 0.03$ $0.80 \pm 0.07$	$1.35 \pm 0.11$ $1.18 \pm 0.03$
МДА, нмоль/г	$1.99 \pm 0.07$ $2.07 \pm 0.06$	$10.68 \pm 0.42$ $11.11 \pm 0.34$	$2.36 \pm 0.05$ $2.12 \pm 0.07$	$6.70 \pm 0.11$ $6.67 \pm 0.10$
КОС, л/(мл мин)	$1.43 \pm 0.09$ $1.50 \pm 0.06$	$4.17 \pm 0.07$ $4.15 \pm 0.05$	$1.27 \pm 0.02$ $1.24 \pm 0.02$	$2.82 \pm 0.10$ $2.72 \pm 0.09$

Примечание. Над чертой — показатели самок, под чертой — самцов; “—” — не определяли; расшифровка аббревиатур приведена в тексте.

эффицента молярной экстинкции:  $1.56 \times 10^5 / (\text{М см})$  и выражали в наномолях на 1 г ткани.

Об общей антиокислительной активности судили по кинетике окисления субстрата восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола кислородом воздуха, оцененной по общепринятой методике (Семенов, Ярош, 1985). Суть данного метода: чем выше скорость окисления субстрата в присутствии биологического материала, тем ниже содержание антиоксидантов в тканях. Константу ингибирования окисления субстрата (КОС), которая служит показателем антиокислительной активности ткани, определяли относительно контроля по формуле:  $K_i = K_{\text{кон}} - K_{\text{оп}}/C$ , где  $K_{\text{кон}}$  и  $K_{\text{оп}}$  — константы скорости окисления субстрата соответственно в контроле и опыте;  $C$  — концентрация биологического материала в кювете.

Статистическую обработку результатов исследования проводили по стандартным алгоритмам, реализованным в пакете программ Statistica v6.0, с использованием  $t$ -теста. Различия считали значимыми при  $p \leq 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

При сравнении соматических индексов почки, селезенки и печени самцов и самок *Dissostichus*

*mawsoni* (табл. 2) достоверных различий не обнаружено. И у самцов, и у самок антарктического клыкча наибольшим был гепатосоматический индекс, а наименьшим — спленосоматический. Между полами не обнаружено различий и в содержании липидов. Однако в разных органах содержание липидов различалось: самые высокие значения НЭЖК и УВ определены в крови; ХС, ЭС, МДА и КОС — в почке; ФЛ — в селезенке, а ОЛ и ТГ — в печени. Самыми низкими значениями ОЛ и МДА были в крови, ФЛ и УВ — в почке; ХЛ, НЭЖК, ТГ и КОС — в селезенке, а ЭС — в печени.

При сравнении разных возрастных групп самый низкий соматический индекс почки и селезенки выявлен у рыб старших возрастных групп (табл. 3). Наибольшее количество достоверных отличий по всем показателям отмечено в крови, а наиболее вариабельным оказался уровень ФЛ в разных тканях и органах. Больше всего различий между исследованными показателями выявлено у рыб старше 14 лет.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ полученных результатов показал значимые различия между разновозрастными особями. Более низкие соматические

**Таблица 3.** Соматические индексы, содержание липидов и их фракций, интенсивность окислительных процессов и уровень антиокислительной защиты в крови и органах разновозрастных групп антарктического клыкача *Dissostichus mawsoni*

Возраст, лет	Соматический индекс, %			
	кровь	почка	селезенка	печень
6–7 (а)	–	0.36 ± 0.03	0.29 ± 0.04	2.15 ± 0.18
8–11 (б)	–	0.22 ± 0.01 <sup>а</sup>	0.68 ± 0.47	3.12 ± 0.55
12–13 (в)	–	0.18 ± 0.01 <sup>а</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>а</sup>	2.34 ± 0.40
Старше 14	–	0.14 ± 0.01 <sup>а,б</sup>	0.16 ± 0.02 <sup>а</sup>	2.37 ± 0.39
ОЛ, мг %				
6–7 (а)	1427 ± 23	2798 ± 13	1883 ± 18	3640 ± 45
8–11 (б)	1394 ± 12	2870 ± 20	1898 ± 13	3635 ± 55
12–13 (в)	1393 ± 27	2803 ± 23	1906 ± 9	3599 ± 29
Старше 14	1433 ± 28	2860 ± 10	1883 ± 8	3590 ± 65
ФЛ, %				
6–7 (а)	35.74 ± 0.18	35.15 ± 0.09	47.98 ± 0.27	37.91 ± 0.04
8–11 (б)	35.85 ± 0.14	35.36 ± 0.14	47.67 ± 0.12	38.31 ± 0.20
12–13 (в)	36.21 ± 0.16	35.01 ± 0.22	47.99 ± 0.18	38.26 ± 0.10
Старше 14	35.39 ± 0.11 <sup>б, в</sup>	35.15 ± 0.28	48.40 ± 0.06 <sup>б</sup>	38.45 ± 0.03 <sup>а</sup>
ХС, %				
6–7 (а)	10.43 ± 0.19	15.19 ± 0.12	8.84 ± 0.18	9.94 ± 0.11
8–11 (б)	10.31 ± 0.14	14.93 ± 0.04	8.76 ± 0.35	10.35 ± 0.21
12–13 (в)	10.54 ± 0.17	15.20 ± 0.15	8.56 ± 0.09	10.03 ± 0.12
Старше 14	10.40 ± 0.28	15.12 ± 0.26	8.52 ± 0.03	9.64 ± 0.20
НЭЖК, %				
6–7 (а)	6.21 ± 0.10	2.77 ± 0.26	2.78 ± 0.06	3.32 ± 0.08
8–11 (б)	6.90 ± 0.22 <sup>а</sup>	2.69 ± 0.36	2.80 ± 0.11	3.59 ± 0.31
12–13 (в)	6.53 ± 0.19	3.23 ± 0.09	2.51 ± 0.14	3.42 ± 0.06
Старше 14	6.92 ± 0.36 <sup>а</sup>	3.10 ± 0.15	2.75 ± 0.01	3.57 ± 0.09
ТГ, %				
6–7 (а)	41.62 ± 0.32	40.10 ± 0.12	35.04 ± 0.46	43.12 ± 0.08
8–11 (б)	41.12 ± 0.36	40.34 ± 0.53	35.44 ± 0.46	41.85 ± 0.34
12–13 (в)	40.55 ± 0.39	39.85 ± 0.11	35.31 ± 0.12	42.50 ± 0.30
Старше 14	41.20 ± 0.13	39.96 ± 0.30	34.83 ± 0.33	42.11 ± 0.26
ЭС, %				
6–7 (а)	4.37 ± 0.11	6.28 ± 0.19	4.57 ± 0.02	4.55 ± 0.26
8–11 (б)	4.21 ± 0.17	6.06 ± 0.08	4.61 ± 0.05	4.74 ± 0.15
12–13 (в)	4.73 ± 0.12 <sup>б</sup>	6.15 ± 0.06	4.79 ± 0.05	4.54 ± 0.11
Старше 14	4.25 ± 0.04 <sup>в</sup>	6.03 ± 0.06	4.67 ± 0.13	4.75 ± 0.32
УВ, %				
6–7 (а)	1.56 ± 0.09	0.49 ± 0.02	0.78 ± 0.07	1.15 ± 0.03
8–11 (б)	1.60 ± 0.06	0.61 ± 0.02	0.70 ± 0.06	1.15 ± 0.13
12–13 (в)	1.44 ± 0.03 <sup>б</sup>	0.56 ± 0.01	0.85 ± 0.07	1.24 ± 0.04
Старше 14	1.83 ± 0.20 <sup>в</sup>	0.63 ± 0.07	0.81 ± 0.12	1.47 ± 0.32

Таблица 3. Окончание

Возраст, лет	Соматический индекс, %			
	кровь	почка	селезенка	печень
МДА, нмоль/г				
6–7 (а)	2.13 ± 0.09	11.03 ± 0.50	2.20 ± 0.16	6.34 ± 0.17
8–11 (б)	1.98 ± 0.07	11.16 ± 0.60	2.11 ± 0.12	6.50 ± 0.13
12–13 (в)	1.92 ± 0.11	10.27 ± 0.56	2.28 ± 0.05	6.98 ± 0.05 <sup>а, б</sup>
Старше 14	2.16 ± 0.07	11.3 ± 0.47	2.25 ± 0.08	6.84 ± 0.13 <sup>а</sup>
КОС, л/(мл мин)				
6–7 (а)	1.43 ± 0.06	4.15 ± 0.08	1.22 ± 0.04	2.78 ± 0.15
8–11 (б)	1.48 ± 0.11	4.11 ± 0.07	1.28 ± 0.04	2.51 ± 0.12
12–13 (в)	1.35 ± 0.11	4.07 ± 0.09	1.27 ± 0.02	3.00 ± 0.12 <sup>б</sup>
Старше 14	1.68 ± 0.08 <sup>а, б</sup>	4.30 ± 0.07	1.22 ± 0.04	2.73 ± 0.12

<sup>а, б, в</sup>Значимые различия между разными возрастными группами рыб при  $p \leq 0.05$ . Примечание. “—” — не определяли; расшифровка аббревиатур приведена в тексте.

индексы почки и селезенки у возрастных рыб можно объяснить несколькими причинами. Внутренние органы сформированы и с возрастом незначительно увеличиваются в размерах, тогда как наращивание мышечной ткани активно продолжается. Кроме этого, вероятно, постепенно истощается лимфопоэтическая ткань этих органов и снижается уровень лимфо- и миелопоэза. Это связано с тем, что наиболее активно иммунная система функционирует у молодых рыб и в течение нескольких лет после достижения ими половой зрелости. С возрастом активность иммунной системы снижается и, как следствие, увеличивается количество иммунодефицитных особей (Микряков, 1984). Аналогичное снижение с возрастом индексов почки и селезенки отмечено у морского ерша (Эко-токсикологические исследования..., 2016).

Существенных различий между группами рыб по содержанию и фракционному составу ОЛ не обнаружено. Отлов проводили в нагульный период, поэтому в организмах всех исследованных рыб происходили аналогичные процессы. Они были направлены на накопление ресурсов, в том числе запасных липидов, для обеспечения дальнейшего выживания, достижения репродуктивного возраста неполовозрелыми особями и успешного воспроизводства. Обнаруженные различия в содержании ФЛ, НЭЖК, ЭС и УВ у рыб разновозрастных групп, вероятно, были связаны с характером питания и направлением метаболических процессов.

В то же время ткани и органы существенно различались по величине исследуемых показателей, что отражает их структурно-функциональные особенности. Известно, что внутренние ткани и органы рыб различаются по распределению и накоплению липидов и их фракций (Лапин, Шатуновский, 1981; Гершанович и др., 1991; Веланский, Костецкий, 2008). Самым высоким со-

держание ОЛ было в печени клыкача, а самым низким — в крови. Высокое содержание ОЛ в печени обусловлено тем, что этот орган играет огромную роль в обмене липидов. В печени происходят такие процессы, как окисление, синтез и депонирование липидов, которые с помощью крови распределяются по жировым депо, а также другим тканям и органам. Однако содержание ОЛ в крови и печени антарктического клыкача намного превышало данные показатели у ставриды и бычка, обитающих в Чёрном море (Микряков и др., 2011).

В разных тканях при однородном качественном составе липидов количественные показатели отдельных липидных фракций различались. Во всех исследованных тканях и органах самым высоким было процентное содержание ТГ и ФЛ, а самым низким — ЭС и УВ. Процентное содержание разных фракций липидов в тканях *Dissostichus mawsoni* отличалось от такового как у пресноводных, так и у морских рыб, обитающих в эпипелагиальных теплых водах. В зависимости от ткани и органа у пресноводных рыб более высокое содержание ЭС и УВ и низкое — ТГ и ФЛ, а у морских рыб содержание НЭЖК, УВ и ХС выше, а ФЛ — ниже (Шатуновский, 1980; Силкина, 1988; Микряков и др., 2011). Такие различия обусловлены температурой воды и особенностями глубоководного обитания *D. mawsoni*. Высокое содержание ТГ и ФЛ необходимо для обеспечения высоких энергетических затрат организма и устойчивости к низким температурам. Низкий уровень УВ связан с тем, что основная часть углеводов содержится во внутримышечных жировых депо, обеспечивая клыкачу плавучесть (Лапин, Шатуновский, 1981; Гершанович и др., 1991).

Отмечены различия по содержанию конечных продуктов ПОЛ и уровню антиоксидантов в тканях и органах антарктического клыкача. Высокие

уровень МДА и показатель КОС выявлены в почке, а низкие – в крови и селезенке. Вероятно, это связано с соотношением разных форм лейкоцитов в данных тканях и органах. Ранее нами было показано, что содержание гранулоцитов и макрофагов в почках выше, чем в крови и селезенке (Гордеев и др., 2014, 2017). Эти клетки способны нарабатывать АФК и использовать их для выполнения одной из основных своих функций – разрушение чужеродных бактерий (Zapata et al., 1996; van Muiswinkel, Vervoorn-Van Der Wal, 2006). Повышенное содержание АФК может интенсифицировать процессы ПОЛ и снижать количество антиоксидантов. Однако, как и по содержанию основных липидов и их фракций, существенных различий по содержанию конечных продуктов ПОЛ и уровню антиоксидантов между группами рыб не выявлено. Достоверные различия показателей МДА в печени и КОС в крови и печени разновозрастных рыб, вероятно, связаны со снижением уровня АЗ. Небольшие различия в уровне МДА и КОС между группами рыб указывают на оптимальное соотношение разных структур системы ПОЛ ↔ АЗ в исследованных тканях, что препятствует активации окислительных процессов и понижению содержания антиоксидантов, а также способствует реализации компенсаторных реакций в организме (Winston, 1991; Меньшикова и др., 2008).

В результате проведенного исследования существенных различий между самцами и самками *D. mawsoni* не выявлено. В то же время на морском ерше *Scorpaena porcus* L. (Scorpaenidae), обитающем в тёплых водах Чёрного моря, показано, что самцы и самки различались по соматическому индексу печени, уровню продуктов ПОЛ и активности АЗ (Экотоксикологические исследования..., 2016; Залевская и др., 2020). Среди разновозрастных групп антарктического клыкча выявлены достоверные различия по некоторым параметрам, однако большинство исследованных показателей различались незначительно. Сходство показателей у разных возрастных групп антарктического клыкча, скорее всего, связано с тем, что рыбы были отловлены в нагульный период. Известно, что уровень обменных процессов у рыб в разные сезоны года изменяется, а их интенсивность и направление зависят от биотических и абиотических факторов (Шатуновский, 1980; Лапин, Шатуновский, 1981; Силкина, 1988; Гершанович и др., 1991; Lloret et al., 2014; Vinagre et al., 2014; Экотоксикологические исследования..., 2016; Залевская и др., 2020). Полученные результаты указывают на необходимость дальнейших исследований глубоководных видов рыб с целью расширения представлений об их адаптациях к обитанию в водной среде с перманентно низкой температурой.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № АААА-А18-118012690123-4).

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность экипажам судов “Янтарь-31” и “Янтарь-35” (ООО “Орион”, Хабаровск) за помощь в сборе и транспортировке материала. Авторы выражают благодарность ст.н.с. ИБВВ им. И.Д. Папанина Н.И. Силкиной за помощь при обработке проб.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева Л.И., Кожемякин Н.А., Кишкун А.А. Модификация методов определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой // Лаб. дело. 1988. № 11. С. 41–43.
- Веланский П.В., Костецкий Э.Я. Липиды морских холодноводных рыб // Биол. моря. 2008. Т. 34. № 1. С. 53–57.
- Гершанович А.Д., Лапин В.И., Шатуновский М.И. Особенности обмена липидов у рыб // Успехи соврем. биол. 1991. Т. 3. Вып. 2. С. 207–219.
- Гордеев И.И., Балабанова Л.В., Суворова Т.А. Состав лейкоцитов органов кроветворения антарктического клыкча // Тр. ВНИРО. 2017. Т. 167. С. 6–11.
- Гордеев И.И., Микряков Д.В., Балабанова Л.В., Микряков В.Р. Состав лейкоцитов периферической крови антарктического клыкча *Dissostichus mawsoni* Norman, 1937 (Nototheniidae) // Вопр. ихтиологии. 2014. Т. 54. Вып. 4. С. 479–482.
- Залевская И.Н., Руднева И.И., Селюков А.Г., Щерба А.В. Половые особенности показателей окислительного стресса и содержания антиоксидантов в печени морского ерша *Scorpaena porcus* L. (Scorpaenidae) в прибрежных водах Большого Кавказа // Уч. зап. Крымск. фед. ун-та имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2020 Т. 6. № 2. С. 64–74.
- Кейтс М. Техника липидологии. Выделение, анализ и идентификация липидов. М.: Мир. 1975. 300 с.
- Лапин В.И., Шатуновский М.И. Особенности состава, физиологическое и экологическое значение липидов рыб // Успехи соврем. биол. 1981. Т. 92. № 3. С. 380–394.
- Меньшикова Е.Б., Зенков Н.К., Ланкин В.З. и др. Окислительный стресс: Патологические состояния и заболевания. Новосибирск: АРТА. 2008. 284 с.
- Микряков В.Р. Закономерности функционирования иммунной системы пресноводных рыб: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: ИЭМиЭЖ АН СССР. 1984. 37 с.
- Микряков В.Р., Силкина Н.И., Микряков Д.В. Влияние антропогенного загрязнения на иммунологические и биохимические механизмы поддержания гомеостаза у рыб Черного моря // Биол. моря. 2011. Т. 37. № 2. С. 142–148.

- Морской энциклопедический справочник. В двух томах. Т. 1. Л.: Судостроение. 1986. 512 с.
- Пеккоева С.Н., Мурзина С.А., Нефедова З.А. и др. Роль фосфолипидов в развитии молоди арктическо-бореального вида *Leptoclinus maculatus* (Stichaeidae) // Вопр. ихтиологии. 2017. Т. 57. № 4. С. 467–471.
- Петров А.Ф., Шуст К.В., Пьянова С.В. и др. Методические рекомендации по сбору и обработке промысловых и биологических данных по водным биоресурсам Антарктики для российских научных наблюдателей в зоне действия Конвенции АНТКОМ. М.: ВНИРО. 2014. 106 с.
- Промысловые рыбы России. В двух томах. Т. 2. М.: ВНИРО. 2006. 624 с.
- Семенов В.Л., Ярош А.М. Метод определения антиоксидательной активности биологического материала // Укр. биохим. журн. 1985. Т. 57. № 3. С. 50–52.
- Силкина Н.И. Сезонная динамика липидов сыворотки крови и ее связь с иммунологической реактивностью рыб: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ИМЭЖ РАН. 1988. 17 с.
- Шатуновский М.И. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука. 1980. 238 с.
- Шуст К.В. Рыбы и рыбные ресурсы Антарктики. М.: ВНИРО. 1998. 163 с.
- Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя. М.: ГЕОС. 2016. 360 с.
- Chen L., DeVries A.L., Cheng C.-H.C. Convergent evolution of antifreeze glycoproteins in Antarctic notothenioid fish and Arctic cod // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1977. V. 94. № 8. P. 3817–3822.
- DeVries A.L. Glycoproteins as biological antifreeze agents in Antarctic fishes // Science. 1971. V. 172. № 3988. P. 1152–1155.
- Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem. 1957. V. 226. № 3. P. 497–509.
- Giraldo C., Boutoute M., Mayzaud P. et al. Lipid dynamics in early life stages of the icefish *Chionodraco hamatus* in the Dumont d'Urville Sea (East Antarctica) // Polar Biol. 2017. V. 40. P. 313–320.
- Giraldo C., Stasko A., Choy E.S. et al. Trophic variability of Arctic fishes in the Canadian Beaufort Sea: a fatty acids and stable isotopes approach // Polar Biol. 2015. V. 39. P. 1267–1282.
- Hagen W., Kattner G., Friedrich C. The lipid compositions of high-Antarctic notothenioid fish species with different life strategies // Polar Biol. 2002. V. 23. № 11. P. 785–791.
- Lloret J., Shulman G., Love R.M. Condition and health indicators of exploited marine fishes. Wiley-Blackwell. 2014. 247 p.
- Mayzaud P., Chevallier J., Tavernier E. et al. Lipid composition of the Antarctic fish *Pleuragramma antarcticum*. Influence of age class // Polar Sci. 2011. V. 5. P. 264–271.
- Murзина S.A., Pekkoeva S.N., Kondakova E.A. et al. Tiny but fatty: lipids and fatty acids in the daubed shanny (*Leptoclinus maculatus*), a small fish in svalbard waters // Biomolecules. 2020. V. 10. № 3. Art. 368. <https://doi.org/10.3390/biom10030368>
- Nelson J.S. Fishes of the World: Fourth ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. 2006. 624 p.
- Sargent J.R., Tocher D.R., Bell J.G. The lipids // Fish nutrition: 3rd ed. San Diego, California: Elsevier/Academic Press. 2002. P. 181–257.
- Van Muiswinkel W., Vervoorn-Van Der Wal B. The immune system of fish // Fish diseases and disorders: Protozoan and metazoan infections: 2nd ed. CAB International. 2006. V. 1. P. 678–701. <https://doi.org/10.1079/9780851990156.0678>
- Vinagre C., Madeira D., Mendonca V. et al. Effect of increasing temperature in the differential activity of oxidative stress biomarkers in various tissues of the rock goby, *Gobius paganellus* // Mar. Environ. Res. 2014. V. 97. P. 10–14.
- Winston G.W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals // Comp. Biochem. Physiol. Part. C: Comp. Pharmacol. Toxicol. 1991. V. 100. № 1–2. P. 173–176.
- Zapata A.G., Chiba A., Varas A. Cells and tissues of the immune system of fish // The fish immune system: Organism, pathogen and environment. San Diego: Academic Press. 1996. P. 1–62.

## Lipid Composition and Oxidation Processes in the Blood and Internal Organs of the Antarctic Toothfish *Dissostichus mawsoni* Norman, 1937 (Nototheniidae)

D. V. Mikryakov<sup>a</sup>, I. I. Gordeev<sup>b, c</sup>, and V. R. Mikryakov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok 152742, Russia*

<sup>b</sup>*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow 107140, Russia*

<sup>c</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

The content of total lipids and lipid fractions, the intensity of oxidative processes, and the antioxidant defense level in the blood, kidney, spleen, and liver of the Antarctic toothfish *Dissostichus mawsoni* (Actinopterygii: Nototheniidae) that inhabit stably cold Antarctic waters were studied depending on gender and age. This study revealed no significant differences between males and females. Significant variations in some parameters between the age groups of toothfish were found in the blood and liver. However, the differences in most of the studied parameters were insignificant, which is probably due to the capture of fish during their feeding period. The high content of total lipids, the content of stored triacylglycerols, and the antioxidant defense level in the blood and organs of *D. mawsoni* reflect the physiological features that make it possible for the species to live in Antarctic conditions.

**Keywords:** Antarctic toothfish *Dissostichus mawsoni*, blood, kidney, spleen, liver, lipids and lipid fractions, lipid peroxidation, antioxidant activity