



УДК 597.556.35:577.15 (262.5)

О. Л. Гостюхина, к. б. н., м. н. с., И. В. Головина, к. б. н., н. с., Т. Б. Вахтина, вед. инж.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины,  
Севастополь, Украина

**АНТИОКСИДАНТНЫЙ КОМПЛЕКС КАМБАЛЫ-КАЛКАНА  
*PSETTA (SCOPHTHALMUS) MAXIMA MAEOTICA (L., 1758)* КАК ИНДИКАТОР  
ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА: ТКАНЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ**

Исследовали состояние антиоксидантного (АО) комплекса черноморской камбалы-калкана *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica* (L., 1758) и его соотношение с процессами перекисного окисления липидов (ПОЛ). В жабрах калкана установлен наименьший уровень ТБК-активных продуктов и максимальные активности АО ферментов как высокого, так и низкого сродства к субстрату. Печень и красные мышцы имеют максимальный уровень ПОЛ, а ведущая роль в защите этих тканей принадлежит каталазе и пероксидазе. Белые мышцы и гонады отличаются минимальной антиоксидантной активностью на фоне сравнительно высокого содержания ТБК-активных продуктов.

**Ключевые слова:** антиоксидантный комплекс, перекисное окисление липидов, индикатор физиологического состояния, тканевые особенности, камбала-калкан, *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica*, Чёрное море

Исследование физиолого-биохимических особенностей рыб является актуальным направлением экологической физиологии [5, 13, 15, 24]. Особое значение имеет оценка адаптационных возможностей организма рыб, которые формируются с участием молекулярных систем. К их числу принадлежит одна из наиболее важных защитных систем организма животных – антиоксидантный (АО) комплекс, который может служить ценным индикатором физиологического состояния рыб. Его некоторые характеристики изучены на примере пелагических и придонно-пелагических рыб [5, 10, 11], в то время как особенностям АО комплекса и перекисного окисления липидов (ПОЛ) донных малоподвижных видов, в том числе камбал, уделено меньше внимания. Так, выявлены реакции АО системы и ПОЛ у *Limanda limanda* (L., 1758), обитающей в загрязнённых углеводородами донных осадках [19], у *Platichthys flesus* (Pallas, 1811) под влиянием полихлорбифенилов и ДДТ [18] и в условиях

комплексного загрязнения акваторий [22], у *Liopsetta pinnifasciata* (Kner, 1870) в связи с сезонной динамикой этих показателей [17]. Состояние этих параметров исследовано в тканях и крови и некоторых видов черноморских рыб, в том числе и камбалы-калкана, в связи с их эколого-физиологическими и филогенетическими особенностями [10, 11].

Однако для уточнения самих принципов выбора АО показателей в качестве физиолого-биохимических индикаторов состояния рыб важно определить общий характер организации АО комплекса и его соотношение с уровнем ПОЛ, что и явилось целью настоящей работы.

Выбор объекта исследования продиктован также и значимостью камбалы-калкана как ценного объекта промысла в черноморском регионе. Взрослая камбала ведёт малоактивный образ жизни, совершает незначительные миграции в слоях воды с температурой 5 – 19°C, нерест проходит весной на глубине 20 – 60 м

при температуре 8 – 12°C [12]. Особенности биологии, безусловно, должны оказывать влияние на АО комплекс и ПОЛ этих рыб.

**Материал и методы.** Объектом исследования служили половозрелые особи черноморской камбалы-калкана *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica* (L., 1758). Рыбы были выловлены в апреле и мае 2006 г. в открытых прибрежных водах на глубине не менее 50 м (Чёрное море, район Севастополя), и содержались в аквариумах объёмом 4 м<sup>3</sup> с проточной морской водой при температуре 16 – 18°C в течение 1 – 2 сут. Длина рыб составляла 35 – 45 см.

Препарирование тканей, гомогенизацию и центрифугирование проводили, как описано ранее [2]. Активность ферментов измеряли при температуре 25±0.5°C. Определяли активность глутатионпероксидазы (ГП, КФ 1.11.1.9), глутатионредуктазы (ГР, КФ 1.6.4.2), каталазы (КФ 1.11.1.6) и пероксидазы (КФ 1.11.1.7) [8], а также содержание восстановленного глутатиона (GSH) [9]. Об уровне ПОЛ судили по накоплению ТБК-активных продуктов [23]. Содержание белка определяли по методу Лоури. Измерения экстинкции проводили на спектрофотометре СФ-26. Цифровой мате-

риал обработан статистически с использованием t-критерия Стьюдента, результаты представлены как  $\bar{x} \pm S\bar{x}$ .

**Результаты.** Состояние АО системы и процессы ПОЛ в организме у камбалы-калкана имели выраженную тканевую специфику, что, вероятно, связано с метаболической активностью тканей и уровнем окислительной нагрузки, влияющими на соотношение процессов ПОЛ и активности АО комплекса.

Жабры отличались минимальным содержанием ТБК-активных продуктов – 70.6±16.2 мкмоль МДА г<sup>-1</sup> ткани, что в 1.6 раза ниже ( $p \leq 0.05$ ), чем в печени и красных мышцах калкана (рис. 1А). Это указывает на низкую интенсивность процессов ПОЛ в жабрах. На этом фоне зафиксированы максимальные уровни активности всех исследованных АО ферментов – как высокого (ГП, ГР, пероксидаза), так и низкого сродства к субстрату (каталаза). Величины указанных показателей достоверно превышали в 1.7 – 5.6 раза ( $p \leq 0.05 - 0.001$ ) аналогичные значения в других тканях (рис. 2, 3). При этом ресурс GSH был минимален – 182.9±28.2 мкг г<sup>-1</sup> ткани (рис. 1В).

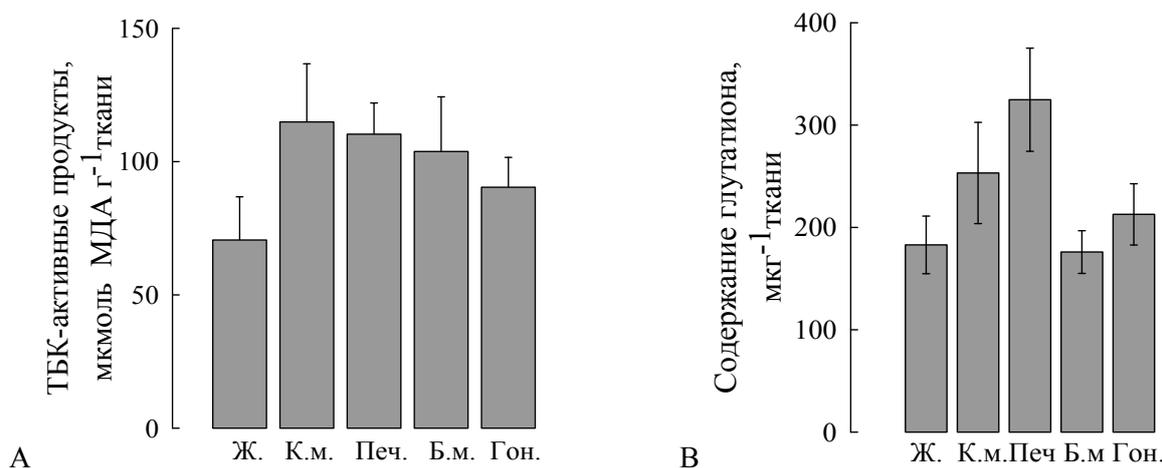


Рис. 1 Содержание ТБК-активных продуктов (А) и восстановленного глутатиона (В) в тканях камбалы-калкана (Ж. – жабры, К.м. – красные мышцы, Печ. – печень, Б.м. – белые мышцы, Гон. – гонады)  
 Fig. 1 The content of TBA-active products (A) and level of reduced glutathione (B) in the tissues of the Black Sea turbot (Ж. – gills, К.м. – red muscles, Печ. – liver, Б.м. – white muscles, Гон. – gonads)

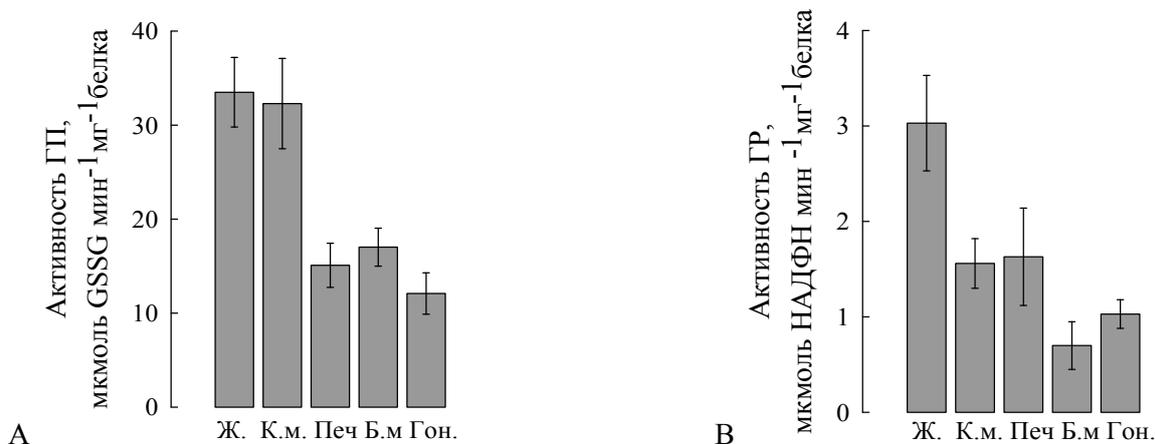


Рис. 2 Активность глутатионпероксидазы (А) и глутатионредуктазы (В) в тканях камбалы-калкана (Ж. – жабры, К.м. – красные мышцы, Печ. – печень, Б.м. – белые мышцы, Гон. – гонады)

Fig. 2 The activity of glutathione peroxidase (A) and glutathione reductase (B) in the tissues of the Black Sea turbot (Ж. – gills, К.м. – red muscles, Печ. – liver, Б.м. – white muscles, Гон. – gonads)

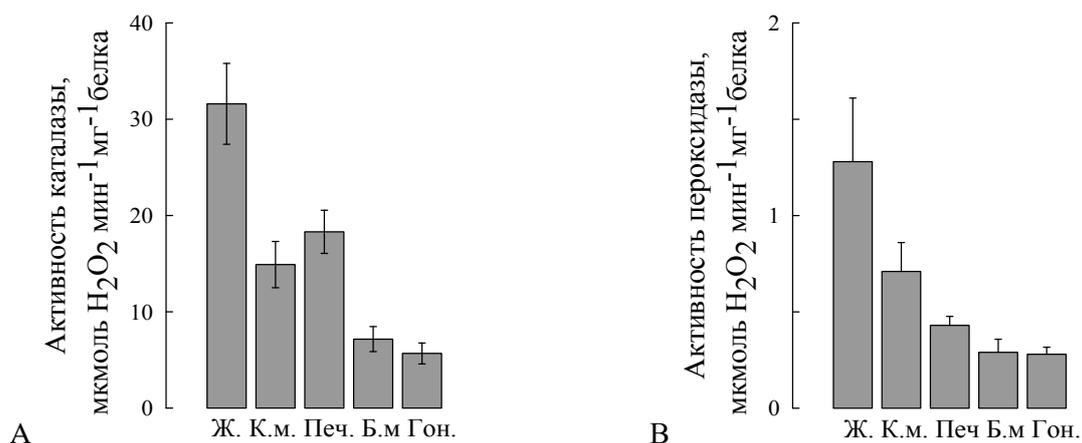


Рис. 3 Активность каталазы (А) и пероксидазы (В) в тканях камбалы-калкана (Ж. – жабры, К.м. – красные мышцы, Печ. – печень, Б.м. – белые мышцы, Гон. – гонады)

Fig. 3 The activity of catalase (A) and peroxidase (B) in the tissues of the Black Sea turbot (Ж. – gills, К.м. – red muscles, Печ. – liver, Б.м. – white muscles, Гон. – gonads)

Наиболее интенсивно процессы ПОЛ протекали в метаболически активных тканях: печени и красных мышцах камбалы. Уровень ТБК-активных продуктов в них составил  $110.3 \pm 1.7$  и  $114.9 \pm 21.8$  мкмоль МДА г<sup>-1</sup> ткани соответственно (рис. 1А). В этих тканях отмечен самый высокий ресурс GSH – 250 – 325 мкг г<sup>-1</sup> ткани (рис. 1В) при сравнительно высоких активностях сопряжённых с ним ферментов ГП и ГР (рис. 2). Величины активностей каталазы и пероксидазы были достоверно

ниже, чем в жабрах камбалы – в 1.7 – 4.2 раза ( $p \leq 0.05$ ), но существенно выше, чем в белых мышцах и гонадах – в 1.5 – 3.2 раза ( $p \leq 0.05$ ) (рис. 3).

Минимальные активности каталазы и пероксидазы отмечены в белых мышцах и гонадах калкана. Значения активности каталазы составили  $7.16 \pm 1.3$  и  $5.7 \pm 1.09$ , а пероксидазы –  $0.29 \pm 0.068$  и  $0.28 \pm 0.037$  мкмоль H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> мин<sup>-1</sup> мг<sup>-1</sup> белка, соответственно (рис. 3).

При этом активность ГП в гонадах и белых мышцах была близкой к таковой в печени камбалы, а ГР – существенно ниже, чем в большинстве остальных органов. Различия между активностью ГР в белых мышцах и гонадах по сравнению с остальными тканями составили 1.5 – 4.3 раза,  $p \leq 0.05$  (рис. 2). На этом фоне ресурс GSH в этих органах был сходным с аналогичным показателем жабр, но существенно ниже, чем в печени и красных мышцах. Диапазон указанных отличий составил 1.4 – 1.85 раза,  $p \leq 0.05$  (рис. 1В).

**Обсуждение.** Жабры. Высокие активности ферментов глутатионпероксидной системы (ГПС) на фоне сравнительно низкого уровня GSH свидетельствуют о высокой скорости оборота этого соединения в ткани. Это, в свою очередь, указывает на активное участие GSH в процессах АО защиты клеток жабр, а также на возобновление его восстановленной формы, осуществляемое ГР. Роль GSH в антиоксидантных реакциях трудно переоценить, так как его функции весьма разнообразны. Глутатион является не только кофактором ГП; он рассматривается и как основной низкомолекулярный антиоксидант клетки, способный осуществлять самостоятельное АО действие [3]. GSH активен в отношении широкого ряда свободных радикалов и продуктов ПОЛ – пероксида водорода  $H_2O_2$  и органических радикалов  $ROO^{\cdot}$ , синглетного кислорода  $O_2^1$ , а также чрезвычайно реакционноспособного гидроксильного радикала  $OH^{\cdot}$  [3, 7]. Это особенно важно ещё и потому, что данный вид активных форм кислорода (АФК) не имеет специфических ингибиторов [7]. Следовательно, роль ГПС в защите жабр от свободно-радикального окисления представляется весьма значимой.

Высокие активности каталазы и пероксидазы в жабрах свидетельствуют о повышенном содержании пероксида водорода в данном органе. Это может быть связано, в первую очередь, с выполнением респираторной функции – постоянным контактом как с молекулярным кислородом, так и с многочисленными поллютантами. Действие последних реализуется, как

известно, через активацию свободно-радикального окисления [20] и может приводить к накоплению перекисных продуктов, в том числе и  $H_2O_2$ . Выявленная в жабрах высокая активность каталазы и пероксидазы, по всей вероятности, обеспечивает эффективную утилизацию как больших, так и более малых концентраций пероксида водорода и гидроперекисей липидов.

Необходимо также отметить, что в АО защите жабр, как показали результаты, задействованы все исследованные нами ферменты, связанные с утилизацией  $H_2O_2$  и гидроперекисей. Известно, что ГП способна восстанавливать почти все виды органических гидроперекисей в клетке, а также предупреждать накопление вторичных продуктов пероксидации [7]. Пероксидаза также играет важную роль в инактивации ROOH в жабрах. Этот фермент имеет достаточно высокую специфичность и эффективно обезвреживает ряд гидроперекисных соединений: метил- и этилгидроперекиси, метиловый, этиловый и другие алифатические спирты [6]. Очевидно, пероксидаза и ГПС дополняют друг друга, обеспечивая защиту жабр от действия ПОЛ на стадии разветвления цепных реакций и образования вторичных перекисных продуктов. Содружественный характер взаимодействия этих ферментов подтверждает высокую эффективность организации АО комплекса жабр калкана.

Таким образом, установлено, что жабры камбалы-калкана отличаются хорошо сбалансированным соотношением процессов ПОЛ и АО активности. Об этом свидетельствует минимальный уровень ТБК-активных продуктов на фоне высокой активности всех звеньев АО защиты – как высокого (ГПС, пероксидаза), так и низкого средства к субстрату (каталаза).

Печень и красные мышцы характеризовались максимальной интенсивностью процессов ПОЛ, что подтверждается наибольшим содержанием ТБК-активных продуктов. Данные особенности обусловлены, очевидно, функциональным значением печени и красных мышц у рыб.

Печень как центральный орган метаболизма рыб характеризуется высокой интенсивностью процессов обмена, в том числе липидного. Для печени характерно повышенное содержание общих липидов, нуклеиновых кислот, гликогена, белка, а также структурных и резервных липидов всех классов. При этом максимальный уровень липидов сопряжен с состоянием нереста у рыб [24]. Наряду с активными реакциями биосинтеза и катаболизма, необходимо также отметить и постоянно протекающие в печени активные процессы обезвреживания и биоаккумуляции широкого ряда ксенобиотиков [20], а также регенерации поврежденных гепатоцитов, что также связано с активацией свободно-радикальных реакций в лизосомах [21]. Для печени характерен также высокий уровень эндогенной НАДФН-зависимой продукции ряда АФК [20]. Все указанные особенности химического состава и функций печени, очевидно, способствуют более активному протеканию процессов ПОЛ в гепатоцитах, чем в клетках других органов рыб.

Печень калкана отличается высоким содержанием фосфолипидов (ФЛ), а также полиеновых жирных кислот (ЖК) в составе ФЛ и триацилглицеридов (ТАГ) (до 50% от общего количества ЖК), включая функционально наиболее активные из них – докозогексаеновая (ДГК), С18:1 и С22:6W3 [1]. Это свидетельствует о весьма интенсивном липидном обмене в печени, что рассматривается в качестве своеобразной компенсации за общее низкое содержание липидов, свойственное «тощим» рыбам [15].

Красные мышцы рыб занимают промежуточное положение между печенью и белыми мышцами по многим показателям – содержанию белка, общих липидов, гликогена и всех липидных классов, активности ряда ферментов [24]. Например, для черноморских рыб, в том числе камбал, установлена аналогичная закономерность по активности лактатдегидрогеназы – показателя интенсивности анаэробного обмена в тканях [16]. Особенностью этой ткани

является сочетание метаболической и локомоторной функции, интенсивное потребление кислорода, насыщенность митохондриями, обилие липидных включений. В красных мышцах камбалы-калкана установлено высокое содержание важных полиеновых ЖК: уровень ДГК в составе ФЛ практически совпадает с таковым в печени, а количество ЖК С18:1 и С22:6W3 выше, чем в белых [1].

Все это создаёт предпосылки к активации свободно-радикальных процессов в печени и красных мышцах камбалы, так как именно полиеновые ЖК являются преимущественным субстратом ПОЛ и подвергаются пероксидации в первую очередь.

Максимальный уровень GSH на фоне сравнительно высоких активностей ГП и ГР свидетельствует о более медленной скорости оборота GSH в печени и красных мышцах калкана по сравнению с жабрами. Следовательно, степень участия глутатиона в АО процессах, очевидно, ниже, чем в жабрах. Вероятно, в печени и красных мышцах ГПС работает скорее на накопление GSH в тканях для последующей инактивации сравнительно невысоких концентраций  $H_2O_2$  и гидроперекисей. Ведущая же роль в защите клеток печени и красных мышц от окислительной нагрузки принадлежит, очевидно, каталазе и пероксидазе. Сравнительно высокий уровень активности каталазы и пероксидазы, утилизирующих пероксид водорода и гидроперекиси, указывает на существенный вклад этих соединений в развитие перекисных процессов в красных мышцах и печени.

Несмотря на общность субстрата, данные ферменты имеют разное сродство к нему, что обуславливает специфику участия каждого из них в обезвреживании  $H_2O_2$ . Каталаза – фермент с наиболее высоким числом оборотов, имеющий низкое сродство к  $H_2O_2$ . Это определяет её ведущую роль в инактивации пероксида водорода в высоких концентрациях [6, 7]. Пероксидаза, напротив, проявляет высокое сродство к субстрату и уступает каталазе в скорости ферментативной реакции, осуществляя наряду с  $H_2O_2$  инактивацию и других

перекисных соединений [6]. Различия в функциональной активности ферментов утилизации перекисей позволяют им, включаясь в каскад АО реакций на разных этапах развития свободно-радикального окисления, обеспечивать сдерживание роста продуктов ПОЛ [6, 7] и защиту клеток печени и красных мышц от окислительного повреждения.

Таким образом, сходство химического состава и интенсивности метаболических процессов в печени и красных мышцах в значительной степени определяет сходный характер организации АО комплекса и соотношения АО активности с интенсивностью процессов ПОЛ в этих органах.

Белые мышцы и гонады характеризовались относительно высоким уровнем ПОЛ по сравнению с жабрами. Возможно, это связано с накоплением в них липидов для пластических и энергетических нужд. Как известно, мышечная ткань, наряду с печенью, играет роль жирового депо. В качестве доминирующих жиров в мышцах преобладают триглицериды, используемые в качестве энергетического субстрата [24]. Вследствие большой общей массы белых мышц, в них сосредоточены основные резервы ТАГ. Гонады также депонируют липиды, участвующие в процессах генеративного синтеза. Это сопровождается интенсивным притоком белково-липидных комплексов из печени, так как фазы метаболической активности печени соответствуют изменениям в гонадах [15]. Липиды гонад представлены преимущественно структурными жирами с преобладанием фосфолипидов, которые являются важнейшими компонентами мембран клеток и внутриклеточных структур.

Активированные кислородные метаболиты имеют большое значение для многих биологических процессов: осуществляют регуляторные функции, участвуют в пролиферации клеток, синтезе биологически активных веществ [7]. Возможно, АФК принимают участие в этих процессах в гонадах при формировании половых продуктов, что может способствовать общей активизации реакций ПОЛ.

Указанные особенности, вероятно, усиливают процессы ПОЛ в белых мышцах и гонадах.

На фоне повышенного уровня ТБК-активных продуктов был выявлен низкий уровень GSH, близкий к полученному в жабрах камбалы. Активности ГП и ГР при этом также были невысокими. Такое соотношение компонентов ГПС указывает на низкую интенсивность оборота GSH в белых мышцах и гонадах по сравнению с жабрами. Тем не менее, активность ГП в белых мышцах и гонадах была близка к величинам, обнаруженным в печени. Это позволяет предположить, что нейтрализация пероксида водорода всё же происходила в основном за счёт ферментов высокого сродства к данному соединению – ферментов ГПС. Об этом свидетельствует также пониженный уровень GSH в этих тканях, который, предположительно, поддерживается ГР на относительно постоянном уровне.

Активность каталазы и пероксидазы в белых мышцах и гонадах значительно уступает таковой в печени, красных мышцах и особенно в жабрах, что указывает на низкую антиоксидантную активность в отношении повышенных концентраций пероксида водорода и гидроперекисных соединений. Возможно, это послужило причиной повышенного уровня ТБК-активных продуктов в белых мышцах и гонадах. В то же время сравнительно высокая активность ГП в этих органах, не уступающая таковой в печени камбалы, частично компенсирует низкую активность каталазы и пероксидазы, осуществляя редукцию как  $H_2O_2$ , так и гидроперекисей липидов. Кроме того, в утилизации перекисей, возможно, принимают участие и некоторые железосодержащие белки сыворотки крови, способные наряду с пероксидазами проявлять пероксидазную активность [7, 10].

Сравнительный анализ организации АО комплекса и ПОЛ в тканях камбалы показал, что уровень исследованных нами параметров в красных мышцах (ГП, ГР, каталазы, пероксидазы, содержание GSH, за исключением

ТБК-активных продуктов) значительно превышал таковой в белых мышцах, а иногда и в печени. Это в очередной раз подчёркивает необходимость раздельного исследования красных и белых мышц рыб, неоднородных по своей структуре и функциям, а, следовательно, и биохимическим характеристикам, что, к сожалению, не всегда учитывается исследователями.

В целом установлена следующая градация тканей по уровню изученных показателей:

- ТБК-активных продуктов: красные мышцы > печень > белые мышцы > гонады > жабры;
- восстановленного глутатиона: печень > красные мышцы > гонады > жабры = белые мышцы;
- активности каталазы и глутатионредуктазы: жабры > печень > красные мышцы > белые мышцы = гонады;
- активности пероксидазы: жабры > красные мышцы > печень > белые мышцы = гонады;
- активности глутатионпероксидазы: жабры = красные мышцы > белые мышцы = печень > гонады.

**Выводы.** Характер организации АО комплекса и особенности соотношения АО активности с уровнем ПОЛ в организме камбалы-калкана имеют выраженную тканевую специ-

фику, связанную с функциональными особенностями тканей. Наиболее сбалансированное соотношение активности АО комплекса и процессов ПОЛ выявлено в жабрах камбалы. Об этом свидетельствует минимальный уровень ТБК-активных продуктов и повышенная активность ферментов антиоксидантной защиты как высокого (глутатионовый комплекс, пероксидаза), так и низкого сродства к субстрату (каталаза). Печень и красные мышцы, как наиболее метаболически активные ткани, характеризуются максимальным уровнем ПОЛ, ведущая роль в защите этих органов принадлежит каталазе и пероксидазе. Белые мышцы и гонады, обладающие меньшей интенсивностью метаболизма, отличаются минимальной антиоксидантной активностью на фоне сравнительно высокого содержания ТБК-активных продуктов. Выявленные особенности организации АО комплекса и его соотношения с ПОЛ следует учитывать при использовании этих показателей в качестве индикатора физиологического состояния камбалы.

**Благодарности.** Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам ИнБЮМ к.б.н. А. Н. Ханайченко и к.б.н. В. Е. Гирагосову за предоставленный материал.

1. Басова М. М. Функциональные особенности химического состава печени, мышц и гонад самцов и самок черноморской камбалы: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Симферополь, 2002. – 18 с.
2. Гостюхина О. Л., Солдатов А. А., Головина И. В. Влияние тетрадецилтриметиламмоний бромида на состояние ферментативной системы антиоксидантной защиты тканей черноморского моллюска *Mytilus galloprovincialis* Lam. // Доп. НАН України. – 2007. – № 11. – С. 147 – 151.
3. Кения М. В., Лукаш А. И., Гуськов Е. П. Роль низкомолекулярных антиоксидантов при окислительном стрессе // Успехи соврем. биологии. – 1993. – **113**, вып. 4. – С. 456 – 470.
4. Кулинский В. И., Колесниченко Л. С. Биологическая роль глутатиона // Успехи соврем. биол. – 1990. – **110**, вып. 1(4). – С. 20 – 33.
5. Леус Ю. В., Грубинко В. В. Активность антиоксидантной системы карпа при действии ионов тяжелых металлов // Гидробиол. журн. – 1998. – **34**, № 2. – С. 59 – 63.
6. Лукьянова Л. Д., Балмуханов Б. С., Уголев А. Т. Кислородзависимые процессы в клетке и ее функциональное состояние. – М.: Наука, 1982. – 301 с.
7. Меньшикова Е. Б., Зенков Н. К. Антиоксиданты и ингибиторы радикальных окислительных процессов // Успехи соврем. биол. – 1993. – **113**, № 4. – С. 442 – 455.
8. Переслегина И. А. Активность антиоксидантных ферментов слюны здоровых детей // Лаб. дело. – 1989. – № 11. – С. 20 – 23.
9. Путилина Ф. Е. Определение содержания восстановленного глутатиона в тканях // Методы биохимических исследований. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. – С.183 – 186.
10. Руднева И. И. Эколого-физиологические особенности антиоксидантной системы рыб и процессов перекисного окисления липидов // Усп. соврем. биол. – 2003. – **123**, № 4. – С. 391 – 400.

11. Руднева-Титова И. И. Эколого-филогенетические особенности активности некоторых антиоксидантных ферментов и содержания антиоксидантов в тканях хрящевых и костистых рыб Черного моря // Журн. эволюц. биохимии и фиол. – 1997. – 33, № 1. – С. 29 – 37.
12. Световидов А. Н. Рыбы Чёрного моря. – М.-Л.: Наука, 1964. – 546 с.
13. Солдатов А. А. Метаболические механизмы адаптации морских рыб к гипоксическим состояниям: автореф. дисс. ...докт. биол. наук. – Симферополь, 2008. – 42 с.
14. Фридович И. Радикалы кислорода, пероксид водорода и токсичность кислорода // Свободные радикалы в биологии: В 2-х т. – М.: Мир, 1979. – Т. 1. – С. 272 – 314.
15. Шульман Г. Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. – М.: Пищ. пром-сть, 1972. – 368 с.
16. Эмеретли И. В. Температурная зависимость активности лактатдегидрогеназы тканей черноморских камбал // Гидробиол. журн. – 2001. – 37, № 4. – С. 18 – 23.
17. Aleshko S. A., Lukyanova O. N. Seasonal variations of biotransformation and antioxidant parameters in liver of the smooth flounder *Liopsetta pinnifasciata* from Amursky Bay (Sea of Japan) // Russian J. Mar. Biol. – 2008. – 34, № 2. – P. 135 – 138.
18. Ferreira M., Moradas-Ferreira P., Reis-Henriques M. A. Oxidative stress biomarkers in two resident species, mullet (*Mugil cephalus*) and flounder (*Platichthys flesus*), from a polluted site in River Douro Estuary, Portugal // Aquat. Toxicol. – 2005. – 71, № 1. – P. 39 – 48.
19. Livingstone D. R., Lemaire P., Matthews A. A. Prooxidant, antioxidant and 7-ethoxyresorufin o-deethylase (EROD) activity responses in liver of dab (*Limanda limanda*) exposed to sediment contaminated with hydrocarbons and other chemicals // Mar. Pollut. Bull. – 1993. – 26, № 11. – P. 602 – 606.
20. Livingstone D.R. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms // Mar. Pollut. Bull. – 2001. – 42, № 8. – P. 656 – 666.
21. Moore M. N. Molecular and cellular pathology: summary // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 1992. – 91. – P. 117 – 119.
22. Napierska D., Podolska M. Relationship between biomarker responses and contaminant concentration in selected tissues of flounder (*Platichthys flesus*) from the Polish coastal area of the Baltic Sea // Oceanologia. – 2008. – 50, № 3. – P. 421 – 442.
23. Ohkawa H., Ohishi N., Yagi K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction // Analyt. Biochem. – 1979. – 95, № 1. – P. 351 – 358.
24. Shulman G. E., Love R. M. The Biochemical Ecology of Marine Fishes. – Advances in Marine Biology. – San Diego: Acad. Press, 1999. – 36. – 351 pp.

Поступила 20 января 2010 г.

**Антиоксидантний комплекс камбали-калкана *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica* (L., 1758) як індикатор фізіологічного стану організму: тканинні особливості.** О. Л. Гостюхіна, І. В. Головіна, Т. Б. Вахтіна. Досліджено стан антиоксидантного (АО) комплексу та його співвідношення з процесами перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) у чорноморської камбали-калкан. В зябрах калкана встановлено найменший рівень ТБК-активних продуктів та найвищу активність АО ферментів високого та низького споріднення до субстрату. Печінка та червоні м'язи мають максимальний рівень ПОЛ, ведуча роль в їх захисті належить каталазі та пероксидазі. Білі м'язи та гонади відрізняються мінімальною антиоксидантною активністю та порівняно високим вмістом ТБК-активних продуктів.

**Ключові слова:** антиоксидантний комплекс, перекисне окислення ліпідів, індикатор фізіологічного стану, тканинні особливості, камбала-калкан, *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica*, Чорне море

**The antioxidant complex of the turbot *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica* (L., 1758) as indicator of physiological state of organism: tissue peculiarities.** O. L. Gostyukhina, I. V. Golovina, T. B. Vakhtina. The state of antioxidant (AO) complex and its correlation with lipid peroxidation processes of the Black Sea turbot were investigated. The least level of TBARS and maximal activities of enzymes of the high and low affinity were found out in gills. Liver and red muscles have maximal level of lipid peroxidation, the key role in their defense belongs to catalase and peroxidase. White muscles and gonads distinguish by minimal antioxidant activity against the background of relatively high content of TBARS.

**Key words:** antioxidant complex, lipid peroxidation, indicator of physiological state, tissue peculiarities, Black Sea turbot, *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica*, Black Sea