



УДК 594.124:577.15 (262.5)

О. Л. Гостюхина, м.н.с., **А. А. Солдатов**, канд. биол. наук, ст. н. с.,
И. В. Головина, канд. биол. наук, н. с.

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

АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ПЕРОКСИДНОГО КОМПЛЕКСА ТКАНЕЙ МИДИИ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM. В НОРМЕ И УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА

Исследовано содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и состояние ферментативного пероксидного комплекса (ПК) (глутатионпероксидазы (ГП), каталазы и пероксидазы) в гепатопанкреасе, жабрах и ноге черноморского моллюска *Mytilus galloprovincialis* Lam. в условиях физиологического покоя и нереста. Последнее рассматривали как модель естественного окислительного стресса. Изучали особей двух цветовых морф – черной и коричневой. Выявлена тканевая специфика активностей ферментов и распределения продуктов ПОЛ в состоянии нормы, а также особенности ответных реакций тканей моллюсков обеих морф при действии окислительной нагрузки. Наиболее чувствительной к действию перекисных продуктов в условиях естественного окислительного стресса оказались особи черной морфы. Рост ТБК-активных продуктов происходил в жабрах и гепатопанкреасе. Нагрузка компенсировалась со стороны ферментов пероксидного комплекса гепатопанкреаса и выражалась в повышении активностей ГП и каталазы. Моллюски коричневой морфы в условиях нереста испытывали меньшую окислительную нагрузку. Рост ТБК-активных продуктов в их тканях не выявлен. В гепатопанкреасе отмечали увеличение активностей ферментов высокого сродства к H_2O_2 : ГП и пероксидазы, что отражает низкий уровень окислительного стресса.

Ключевые слова: ферменты, каталаза, пероксидаза, глутатионпероксидаза, перекисное окисление липидов, окислительный стресс, мидии, цветовые морфы, нерест

В популяциях черноморского моллюска *Mytilus galloprovincialis* Lam. выделяют 2 основные цветовые морфы – с черной и коричневой окраской раковины [2]. Первая группа населяет преимущественно скаловые биотопы, где насыщение воды кислородом сравнительно велико, а вторая – донные, характеризующиеся невысоким содержанием кислорода в воде [3]. Это оказывает непосредственное влияние на уровень окислительной нагрузки и окислительно-восстановительное равновесие в тканях двустворчатых моллюсков-фильтраторов [15].

Ранее нами были обнаружены отличия в состоянии глутатионпероксидной системы

(ГПС) у мидий двух цветовых морф в состоянии относительного физиологического покоя [1]. ГПС является одним из важнейших звеньев в структуре антиоксидантной (АО) системы. Однако в условиях окислительного стресса возрастает роль совместного защитного действия ферментов пероксидного комплекса – ГП, каталазы и пероксидазы. Эта группа осуществляет инактивацию одного из наиболее реакционно-способных продуктов ПОЛ – пероксида водорода [9]. При этом ферменты пероксидного комплекса (ПК) имеют разное сродство к субстрату, что и обуславливает специфику участия каждого из них в нейтрализации дан-

ного соединения. Так, каталаза может участвовать как в пероксидазной, так и в собственно каталазной реакциях [14]. ГП и пероксидаза, наряду с H_2O_2 , способны обезвреживать и гидроперекиси липидов [8].

В результате согласованная работа ферментов пероксидного комплекса позволяет ему осуществлять инактивацию целого ряда перекисных соединений, что обеспечивает в клетке гибкое регулирование уровня ПОЛ и адекватный ответ тканей на действие окислительной нагрузки.

Целью настоящей работы явилось сравнение состояния ферментативного пероксидного комплекса в тканях мидий двух цветовых морф в состоянии нормы и естественного окислительного стресса. В качестве модели стресса рассматривается состояние нереста моллюска, которому присущи процессы активной деградации тканевых и клеточных структур. Последнее обуславливает повышение интенсивности свободнорадикального окисления (СРО) [15] и непосредственным образом влияет на окислительно-восстановительный статус тканей моллюсков [17].

Материал и методы. Объектом исследования служили взрослые особи *Mytilus galloprovincialis* Lam. одного срока оседания с длиной раковины 50 – 60 мм. Отбирали мидий двух основных цветовых морф – с черной и коричневой окраской раковины. Моллюски были взяты одновременно с коллекторных установок в бухте Казачья (район Севастополя, Черное море) в марте 2001 г. Температура морской воды составляла $+7^{\circ}C$.

Для стимуляции нереста использовали методику температурного шока, для чего животных помещали в проточные аквариумы емкостью 200 л с температурой морской воды $+10^{\circ}C$ [10]. Контроль за выметом гамет осуществляли визуально спустя 48 ч после начала процедуры.

На основании результатов наблюдения моллюсков разделили на 2 группы: в состоя-

нии нереста (V стадия зрелости гонад) и относительного физиологического покоя (III – IV стадия зрелости гонад).

Препарирование мидий и подготовку к хранению производили на холоде. Ткани мидий – гепатопанкреас, жабры и ногу – хранили в жидком азоте.

В тканях моллюска определяли активность следующих АО ферментов: глутатионпероксидазы (ГП) – по накоплению окисленного глутатиона [9], каталазы – по снижению концентрации H_2O_2 [4], пероксидазы – по реакции с бензидиновым реактивом [11]. Параллельно оценивали содержание конечных (ТБК-активных) продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) [19] и белка [18]. Измерения оптической плотности гомогенатов проводили на СФ-26.

Цифровой материал обработан статистически с использованием *t*-критерия Стьюдента. Результаты представлены как $\bar{x} \pm S\bar{x}$.

Результаты. Черная морфа. У контрольной группы моллюсков максимальное содержание ТБК-активных продуктов обнаружено в жабрах. В сравнении с гепатопанкреасом и ногой различия составили 39 % ($p \leq 0.05$) и 55.1 % ($p \leq 0.001$) соответственно (рис. 1-А).

Наличие тканевой специфики было отмечено и для ферментов. Наибольшая активность каталазы выявлена в гепатопанкреасе. В жабрах и ноге она была соответственно в 3.0 ($p \leq 0.001$) и 9.9 раза ($p \leq 0.001$) ниже (рис. 2-А). Сходные с каталазой тканевые особенности обнаружены и для пероксидазы. Активность данного фермента в ткани гепатопанкреаса была в 1.6 ($p \leq 0.01$) и 5.8 раза ($p \leq 0.001$) выше, чем в жабрах и ноге (рис. 2-В). Достоверных различий в активности ГП между тканями не зафиксировано (рис. 1-В)

В состоянии нереста уровень ТБК-активных продуктов в жабрах повышался на 92.7 % ($p \leq 0.001$), а в гепатопанкреасе – на 54.3 % ($p \leq 0.01$) (рис. 1-А). В ноге животных статистически значимых различий не найдено.

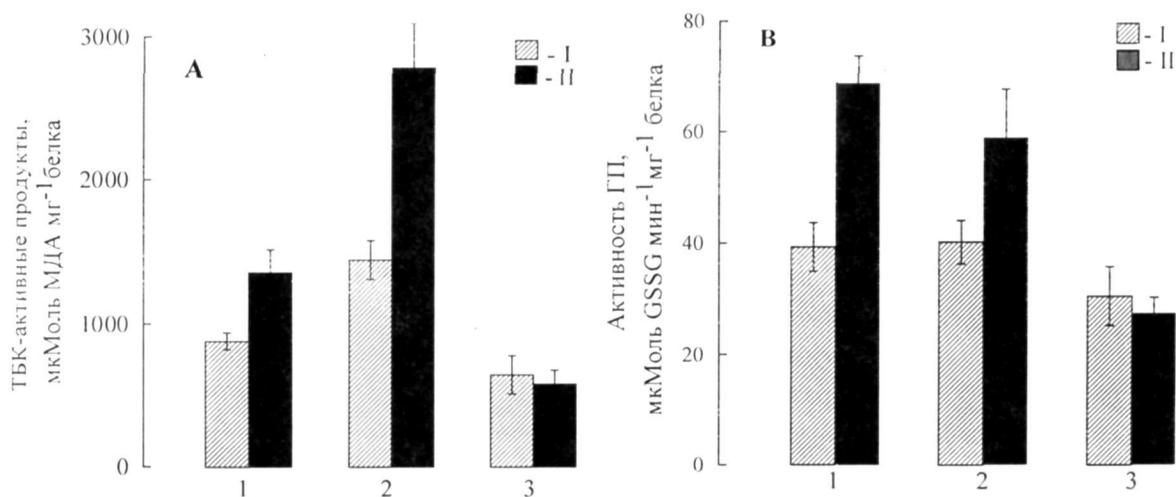


Рис. 1. Содержание ТБК-активных продуктов (А) и активность глутатионпероксидазы (В) в тканях мидий черной морфы (I – преднерестовый период, II – нерест; 1 – гепатопанкреас, 2 - жабры, 3 - нога)

Fig. 1. Content of TBA-active products (A) and the activity of glutathioneperoxidase (B) in the mussel tissues of black morph (I – prespawning period, II – spawning; 1 – hepatopancreas, 2 – gills, 3 – foot)

В условиях окислительного стресса в гепатопанкреасе активность ГП увеличивалась в 1.75 раза ($p < 0.001$) (рис. 1-В), а каталазы - на 45.5 % ($p \leq 0.05$) (рис. 2-А). Значительный рост активности каталазы и пероксидазы отмечен

также в ноге животных – в 1.7 и 1.8 раза ($p \leq 0.001$) соответственно (рис. 2-А, 2-В). В жабрах активность всех исследованных ферментов сохранялась на уровне контрольных величин.

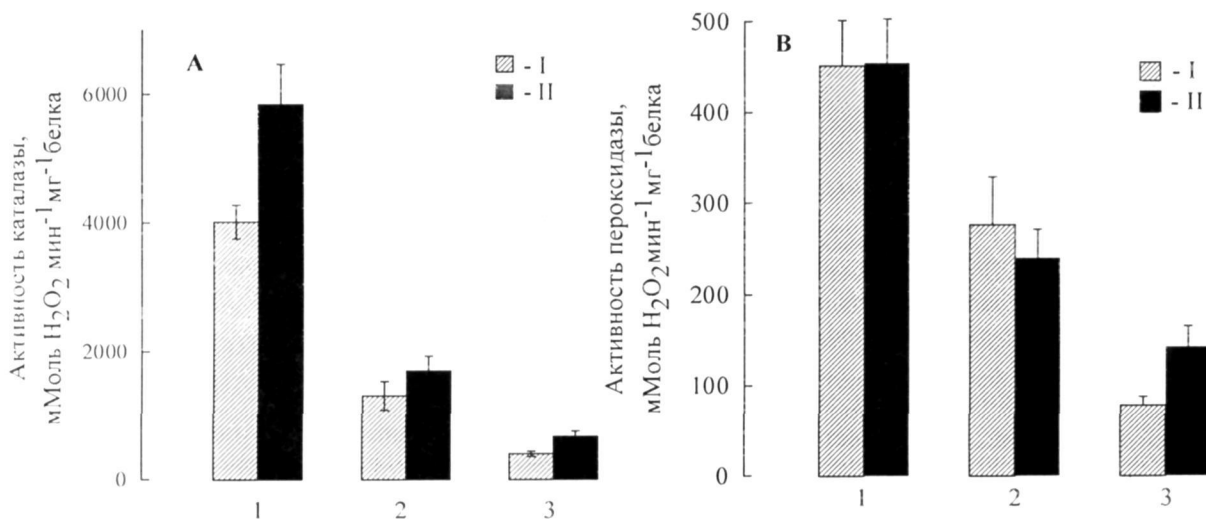


Рис. 2. Активность каталазы (А) и пероксидазы (В) в тканях мидий черной морфы (I – преднерестовый период, II – нерест; 1 – гепатопанкреас, 2 - жабры, 3 - нога)

Fig. 2. Activity of catalase (A) and peroxidase (B) in the mussel tissues of black morph (I – prespawning period, II – spawning; 1 – hepatopancreas, 2 – gills, 3 – foot)

Коричневая морфа. Максимальный уровень ТБК-активных продуктов у моллюсков контрольной группы отмечен в жабрах (рис. 3-А). В ноге содержание перекисных продуктов было в 2.2 раза ($p < 0.001$) ниже. В сравнении с гепатопанкреасом достоверных различий не обнаружено.

Наибольшие значения активностей ферментов ГП и пероксидазы также выявлены в ткани жабр. В сравнении с другими тканями различия составили 1.4 - 2.9 раза ($p < 0.05 - 0.001$) (рис. 3-В, 4-В). Выявленные тканевые особенности зафиксированы и в активности каталазы. В гепатопанкреасе отмечена макси-

мальная активность данного фермента, которая превышала таковую в жабрах в 2.6 раза ($p < 0.001$), а в ноге – в 8.8 раза ($p < 0.001$) (рис. 4-А).

В условиях нереста уровень ТБК-активных продуктов во всех исследованных тканях сохранялся на уровне контрольных значений. При этом в гепатопанкреасе отмечали рост активности ГП в 1.7 раза ($p < 0.001$) (рис. 3-В), а пероксидазы – в 1.6 раза ($p < 0.001$) (рис. 4-В). В жабрах, напротив, активность пероксидазы снижалась в 2.3 раза ($p < 0.001$). В ноге животных активность ферментов не претерпевала существенных изменений.

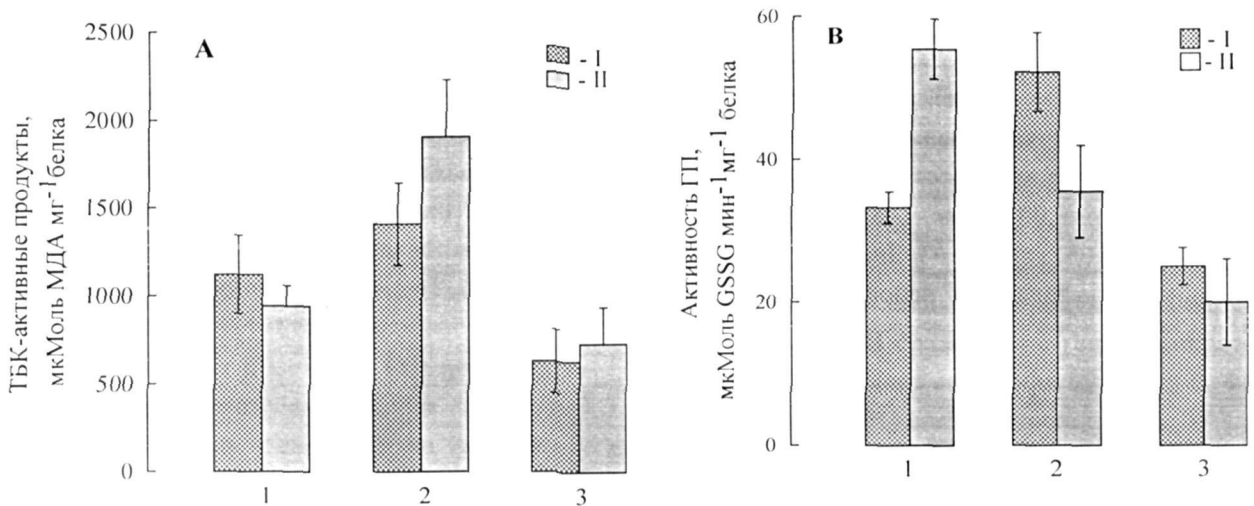


Рис. 3. Содержание ТБК-активных продуктов (А) и активность глутатионпероксидазы (В) в тканях мидий коричневой морфы (I – преднерестовый период, II – нерест; 1 – гепатопанкреас, 2- жабры, 3 - нога)
 Fig. 3. Content of TBA-active products (A) and the activity of glutathioneperoxidase (B) in the mussel tissues of brown morph (I – pre-spawning period, II – spawning; 1 – hepatopancreas, 2 – gills, 3 - foot)

Обсуждение. Черная морфа. Реакции тканей моллюсков данной цветовой морфы на окислительный стресс не совпадали. В гепатопанкреасе животных на фоне выраженного роста уровня ТБК-активных продуктов обнаружено возрастание активности ГП и каталазы. В жабрах при максимальном увеличении уровня перекисных продуктов реакции ферментов ПК не выражены. В ткани ноги, напротив, зафиксирован значительный рост активности

каталазы и пероксидазы при сохранении уровня ТБК-активных продуктов.

Известно, что каталаза является ферментом с наиболее высоким числом оборотов, благодаря чему интенсивность катализа чрезвычайно высока [13], поэтому для выполнения своих функций каталазе необходимы относительно высокие концентрации субстрата (цит. по [7], [13]).

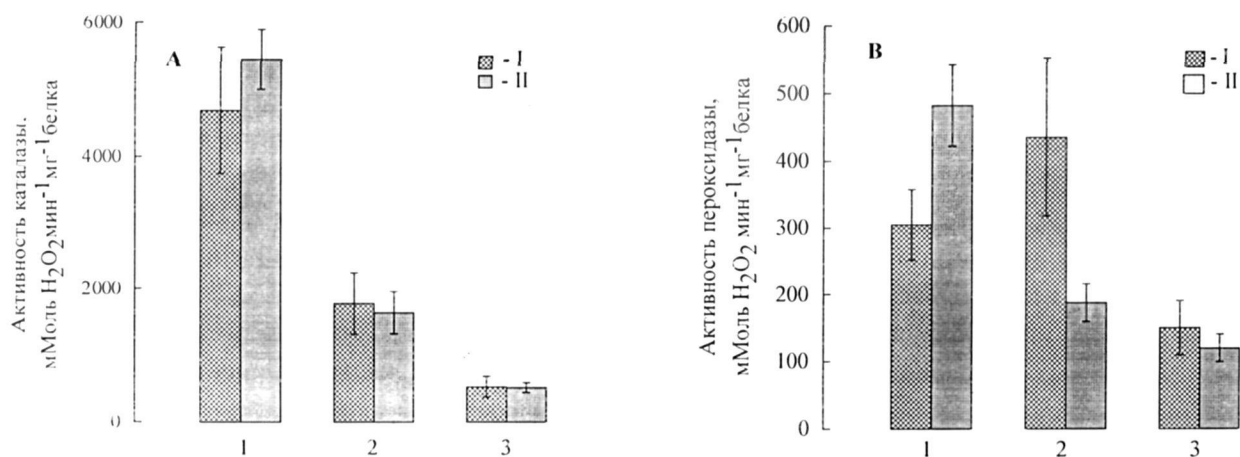


Рис. 4. Активность каталазы (А) и пероксидазы (В) в тканях мидий коричневой морфы (I – преднерестовый период, II – нерест; 1 – гепатопанкреас, 2 – жабры, 3 – нога)

Fig. 4. Activity of catalase (A) and peroxidase (B) in the mussel tissues of brown morph (I – prespawning period, II – spawning; 1 – hepatopancreas, 2 – gills, 3 – foot)

Пероксидаза, являясь ферментом, родственным каталазе, принимает участие в сходных с ней процессах, однако уступает каталазе в скорости ферментативной реакции [8]. Наряду с пероксидом водорода, пероксидаза осуществляет инактивацию и других перекисных соединений [14]. ГП так же, как и каталаза, принимает участие в инактивации H_2O_2 , однако ее функции реализуются при низких концентрациях данного соединения (цит. по [7]). Помимо обезвреживания токсического пероксида водорода, ГП действует и на гидроперекиси липидов, и как следствие, способна противостоять широкому спектру перекисных соединений [6].

Рост активности каталазы, обнаруженный в ткани гепатопанкреаса, может быть обусловлен наличием среди различных видов АФК значительной доли H_2O_2 , специфически инактивируемой данным ферментом. Гидроперекисные соединения в сравнительно низких концентрациях эффективно обезвреживаются ГП, о чем свидетельствует повышение активности данного фермента в гепатопанкреасе особей в нерестовый период (цит. по [7]). Однако в случае лавинообразного нарастания продуктов ПОЛ в защитные реакции организ-

ма включается каталаза, что, вероятно, и наблюдалось в гепатоцитах моллюсков в состоянии нереста.

Соотношение уровня ТБК-активных продуктов и активностей АО ферментов в ткани жабр у особей в состоянии нереста свидетельствует о том, что данная ткань подвергается наибольшей окислительной нагрузке. Высокая чувствительность жабр к действию свободных радикалов может быть отчасти объяснена структурно-функциональными особенностями клеток данной ткани. Показано, что жаберный эпителий образован 1 – 2 слоями клеток [16] и обладает высокой интенсивностью обменных процессов, что связано с функцией газообмена между гемолимфой и морской средой. Следовательно, фосфолипидный слой биомембран жаберного эпителия может служить одной из первых мишеней для цитотоксического действия свободных радикалов.

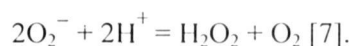
Необходимо также отметить, что в условиях нереста в результате активной деградации клеточных и тканевых структур гонад происходит высвобождение большого количества пластического материала, в том числе и свободнорадикальных частиц, которые с током

гемолимфы могут распространяться по организму моллюска. Возможно, максимальный рост окислительной нагрузки, обнаруженный в настоящем исследовании, отчасти обусловлен вкладом перекисных продуктов, поступивших в жабры из других тканей путем перераспределения через гемолимфу.

Отсутствие защитных реакций ферментов ПК жабр может объясняться, в свою очередь, высокой инактивирующей способностью ряда активных кислородных метаболитов (АКМ) по отношению к белкам. Показано ингибирующее действие супероксидного анион-радикала (СОАР), H_2O_2 и OH^\cdot на активность каталазы и ГП (цит. по [5]). Принимая во внимание свободную взаимопревращаемость между собой наиболее агрессивных форм АКМ – H_2O_2 , O_2^- и OH^\cdot – в условиях окислительного стресса [5], можно допустить, что результатом их комплексного воздействия является нарушение структуры, а следовательно, и функциональных свойств ферментов ПК.

В ткани ноги нерестившихся животных при неизменном уровне ТБК-активных продуктов обнаружен рост активности каталазы и пероксидазы. Участие в АО реакциях этих ферментов свидетельствует о наличии в данной ткани перекисных продуктов в сравнительно высоких концентрациях. Присутствие значительных количеств продуктов ПОЛ, возникающих в процессе окислительной деструкции тканевых структур при нересте, может быть обусловлено их поступлением из других органов. Несмотря на то, что мышечная ткань не принимает непосредственного участия в процессе нереста и не является наиболее функционально активной, возможно, она берет на себя часть окислительной нагрузки от других тканей путем перераспределения свободных радикалов через гемолимфу. Отсутствие изменений в уровне ТБК-активных продуктов в ноге в условиях окислительной нагрузки, очевидно, обусловлено эффективной работой каталазы и пероксидазы.

Рост активности каталазы в ноге может быть объяснен также особенностями ее взаимодействия с другим ферментом ключевого звена АО защиты – супероксиддисмутазой (СОД). Ранее в ткани ноги моллюсков в состоянии нереста нами был обнаружен достоверный рост активности СОД в 1.45 раза, а в настоящей работе – увеличение каталазной активности [12]. Работа СОД по инактивации супероксидного анион-радикала предполагает увеличение в клетке концентрации H_2O_2 [5] как продукта реакции, описываемой уравнением



Это, в свою очередь, ведет к ответному усилению активности каталазы, инактивирующей пероксид водорода [5], что и наблюдается в ткани ноги в условиях естественного окислительного стресса.

Оба фермента, рост активности которых зафиксирован в ткани ноги, имеют сходный механизм действия [13]. Однако каталаза и пероксидаза обладают рядом специфических особенностей и функциональных отличий [8], что позволяет им, включаясь в каскад АО реакций на разных этапах развития свободнорадикальных процессов, обеспечивать сдерживание роста ПОЛ и защиту клеточных структур от окислительного повреждения.

Таким образом, в гепатопанкреасе и ноге мидий черной морфы в условиях нереста реализуется механизм АО защиты, ориентированный на инактивацию больших концентраций перекисей, что является свидетельством высокого уровня окислительного стресса. Максимальную окислительную нагрузку испытывала ткань жабр, в которой выявлен наиболее высокий уровень ТБК-АП при отсутствии защитных реакций ферментов ПК.

Коричневая морфа. Реакции тканей данной цветовой морфы на окислительный стресс отличались от таковых у моллюсков с черной раковиной. В гепатопанкреасе мидий на фоне постоянного уровня ТБК-активных

продуктов обнаружено увеличение активности ГП и пероксидазы. Жабры характеризовались значительным снижением активности пероксидазы и неизменной активностью каталазы и ГП. В ткани ноги уровень всех исследуемых показателей оставался постоянным.

Выраженный рост уровня АО ферментов в ткани гепатопанкреаса свидетельствует об их активном участии в защитных реакциях клеток. Увеличение активности ГП и пероксидазы связано с процессами инактивации пероксида водорода и гидроперекисей липидов в сравнительно низких концентрациях [14]. Оба фермента характеризуются высоким сродством к H_2O_2 . Изменения ферментативной активности в ткани гепатопанкреаса не сопровождалось ростом уровня ПОЛ, что свидетельствует о том, что окислительная нагрузка в данной ткани находилась в пределах физиологической нормы.

Таким образом, ткани жабр и ноги моллюсков коричневой морфы в состоянии нереста испытывали меньшую окислительную нагрузку, чем у черных особей. Защитные реакции ПК отмечены только в ткани гепатопанкреаса, что выражалось в увеличении активности ферментов высокого сродства к H_2O_2 – ГП и пероксидазы. Это является свидетельством более высокой устойчивости моллюсков с коричневой раковиной к окислительному стрессу в условиях нереста.

Выводы. 1. Характер распределения продуктов ПОЛ в тканевых структурах мидий коричневой и черной морф был близким. Максимум содержания ТБК-активных продуктов выявлен в жабрах, минимум – в ноге моллюсков. 2. Изучена тканевая специфика активно-

стей ферментов пероксидного комплекса у моллюсков черной и коричневой морф в состоянии функционального покоя. У особей обеих групп максимальная активность каталазы обнаружена в гепатопанкреасе, минимальная – в ткани ноги. Распределение активностей пероксидазы у моллюсков данных цветовых морф не совпадало. Наибольшая активность фермента у особей с черной раковиной отмечена в гепатопанкреасе, а у моллюсков с коричневой раковиной – в жабрах. Нога моллюсков обеих групп имела минимум пероксидазной активности. Тканевая специфика активности ГП обнаружена только у моллюсков коричневой морфы: максимум – в жабрах, минимум – в ткани ноги. 3. Наиболее чувствительной к действию перекисных продуктов в условиях естественного окислительного стресса (нерест) оказались особи черной морфы. Рост ТБК-активных продуктов происходил в жабрах и гепатопанкреасе. Нагрузка компенсировалась со стороны ферментов пероксидного комплекса гепатопанкреаса и выражалась в повышении активностей ГП и каталазы. 4. Моллюски коричневой морфы в условиях нереста испытывали меньшую окислительную нагрузку. Рост ТБК-активных продуктов в тканях выявлен не был. В гепатопанкреасе отмечали увеличение активностей ферментов высокого сродства к H_2O_2 : ГП и пероксидазы, что отражает низкий уровень окислительного стресса.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность к. б. н. Г.С. Минюк, а также м. н. с. Н. А. Голубю за предоставленные реактивы.

1. Александрова О. Л., Солдатов А. А., Головина И. В. Особенности глутатионпероксидной системы в тканях двух цветовых морф черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. // Экология моря. - 2001. - Вып. 58. - С. 22 - 26.
2. Булатов К. В. Генетическая природа окраски раковин у черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. // ДАН УССР. - 1984. - Серия Б. - № 6. - С. 54 - 56.
3. Иванюк В. Н., Холодов В. П., Сетичева М. П. Биология культивируемых мидий. - Киев: Наук. думка, 1989. - 99 с.
4. Гирин С. В. Модификация метода определения активности каталазы в биологических субстратах // Лаб. диагностика. - 1999. - № 4. - С. 45 - 46.

5. Дубинина Е. Е., Шугалей И. В. Окислительная модификация белков // Усп. совр. биол. – 1993. – **113**, вып. 1. – С. 71 - 81.
6. Зенков Н. К., Меньшикова Е. Б. Активированные кислородные метаболиты в биологических системах // Успехи современной биологии. – 1993. – **113**, вып. 3. – С. 286 – 296.
7. Меньшикова Е. Б., Зенков Н. К. Антиоксиданты и ингибиторы радикальных окислительных процессов // Усп. совр. биол. – 1993. – **113**, вып. 4. – С. 442 - 455.
8. Мецлер Д. Биохимия: в 3-х томах. – М.: Мир, 1980. – Т. 2. – 606 с.
9. Переслегина И. А. Активность антиоксидантных ферментов слюны здоровых детей // Лаб. дело. – 1989. - № 11. – С. 20 - 23.
10. Пиркова А. В. Размножение мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. и элементы биотехнологии ее культивирования: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1994. – 25 с.
11. Практикум по иммунологии: Учеб. пособие для студентов вузов / Под ред. А. Фриммеля. – М.: Медицина, 1989. – 224 с.
12. Солдатов А. А., Александрова О. Л., Головина И. В., Столбов А. Я. Ферментативная система антиоксидантной защиты у черноморского моллюска *Mytilus galloprovincialis* Lam. с пигментированными и депигментированными тканевыми структурами // Доп. НАН України. – 2003. - №5. – с. 162 – 166.
13. Уайт А., Хендлер Ф., Смит Э., Хилл Р., Леман И. Основы биохимии: в 3-х т. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – 534 с.
14. Фридович И. Радикалы кислорода, пероксид водорода и токсичность кислорода / Прайор У. Свободные радикалы в биологии. – М.: Мир, 1979. – С. 272 – 314.
15. Canesi L., Ciacci C., Betti M., Gallo G. Growth factor-mediated signal transduction and redox balance in isolated digestive gland cells from *Mytilus galloprovincialis* Lam. // Comp. Biochem. Physiol.,C. – 2000. - **125**, № 3. - P. 355 – 363.
16. Cui L., Liu C., Lu Y. Studies on mussels gills // Shandong Fish. Qilu. Yuye. – 1996. – **13**, № 5. – P. 11 - 14.
17. Frenzilli G., Nigro M., Scarcelli V., Gorbi S., Regoli F. DNA integrity and total scavenging capacity in the Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis* Lam : a field study in highly eutrophicated coastal lagoon // Aquat. Toxicol., - 2001. – **53**, № 1. – P. 19 - 32.
18. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L. Protein measurement with the Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. – 1951. – **193**. - № 266. - P. 75.
19. 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.

Поступила 12 декабря 2005 г.

Активність ферментів пероксидазного комплексу тканин мідії *Mytilus galloprovincialis* Lam в умовах норми та окислювального стресу. О. Л. Гостюхіна, А. А. Солдатов, І. В. Головіна. Досліджено вміст продуктів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) і стан пероксидазного ферментативного комплексу (ПК) (активність глутатіонпероксидази, каталази і пероксидази) у гепатопанкреасі, зябрах і нозі чорноморського молюска *Mytilus galloprovincialis* Lam. в умовах фізіологічного спокою та нересту. Останній розглядали як модель природного окислювального стресу. Вивчали молюсків двох кольорових морф – чорної та коричневої. Виявлена тканинна специфіка активностей ферментів і вмісту продуктів ПОЛ у стані спокою, а також особливості метаболічних реакцій молюсків двох кольорових морф під впливом окислювального навантаження. Найбільш чутливою до дії перекисних продуктів в умовах окислювального стресу є особини чорної морфи. Вміст ТБК-активних продуктів зростав в зябрах і гепатопанкреасі. Нагрузка компенсувалась з боку ферментів пероксидного комплексу гепатопанкреасу збільшенням активностей ГП і каталази. Молюски коричневої морфи в умовах нересту відчували менше окислювальне навантаження. В їх тканинах рівень ПОЛ не змінювався. У гепатопанкреасі зростала активність ферментів високої спорідненості до H_2O_2 : ГП та пероксидази, що є показником низкого рівня окислювального стресу.

Ключові слова: ферменти, каталаза, пероксидаза, глутатіонпероксидаза, перекисне окислення ліпідів, нерест, окислювальний стрес, мідії, кольорові морфи

Enzyme activity of peroxide complex of tissues of the Black sea mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. under normal and oxidative stress conditions. O. L. Gostyukhina, A. A. Soldatov, I. V. Golovina. Lipid peroxidation (LP) products content and enzyme peroxide complex (PC) (catalase, peroxidase, glutathione peroxidase (GP)) state in the hepatopancreas, gills and foot of the Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. were investigated under

physiological rest and spawning conditions. Spawning was considered as a model of natural oxidative stress. Two color morphs were examined - black and brown. Tissue specificity of enzymes activity and LP products distribution as well as characteristics of protecting reactions of both color morphs under the influence of oxidative loading were determined. The black mussels are the most sensitive to LP products distribution under natural oxidative stress conditions. The growth of TBA-products level took part in gills and hepatopancreas. The loading was compensated by peroxide complex enzymes of hepatopancreas because the activities of GP and catalase have increased. The increasing of TBA-active products level was absent. The brown mussels have felt smaller oxidative loading under the spawning conditions. The increasing of TBA-active products content was not observed in their tissues. The elevation of activities of enzymes with high affinity to H_2O_2 (GP and peroxidase) was determined in hepatopancreas. It reflects the low level of oxidative stress in this color morph.

Key words: enzymes, catalase, peroxidase, glutathione peroxidase, lipid peroxidation, spawning, oxidative stress mussels, color morphs