

УДК 594.124:577.115:628.193(262.5)

**СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ
В ТРОХОФОРАХ МИДИЙ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS*,
ВЫРАЩЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ ПОЛИХЛОРБИФЕНИЛАМИ**

© 2020 г. Л. Л. Капанова, Л. В. Малахова, М. В. Нехорошев, В. В. Лобко, В. И. Рябушко

Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

Севастополь, Российская Федерация

E-mail: lar_sa1980@mail.ru

Поступила в редакцию 16.07.2019; после доработки 14.04.2020;

принята к публикации 26.06.2020; опубликована онлайн 30.06.2020.

Состояние черноморских популяций *Mytilus galloprovincialis* в естественной среде обитания напрямую зависит от развития мидии на всех стадиях, в том числе на начальных стадиях личиночных форм, наиболее чувствительных к загрязнению окружающей среды. Поллютанты органического происхождения оказывают негативное влияние на личинки моллюска, проявляющееся в торможении их роста и развития. Закономерности размножения мидии хорошо изучены, что даёт возможность получать в контролируемых лабораторных условиях личинки из искусственно оплодотворённых яйцеклеток этого вида моллюсков. В работе впервые исследован жирнокислотный состав общих липидов, выделенных из биомассы тканей личинок *M. galloprovincialis* на стадии трохофоры в контроле и после их трёхдневной экспозиции в среде с добавлением различных концентраций полихлорбифенилов. Жирнокислотный состав суммарных липидов в биомассе личинок, полученных на третьи сутки эксперимента, исследовали методом хромато-масс-спектрометрии. Всего идентифицировано 14 жирных кислот: 59 % из них относились к насыщенным, 24 % — к моноеновым, 17 % — к полиеновым. Для статистического анализа использовали программу MATLAB (версия 8.2). В условиях проведённого эксперимента в липидах трохофор *M. galloprovincialis* достоверно отличались значения суммы мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот. Сумма насыщенных жирных кислот статистически значимо не изменялась. Основными насыщенными жирными кислотами во всех исследуемых трохофорах мидий являлись пальмитиновая (C16:0) и стеариновая (C18:0). Их концентрации значительно не изменялись под действием полихлорбифенилов. Наиболее значимые мононенасыщенные жирные кислоты — олеиновая (C18:1 ω 9), пальмитолеиновая (C16:1 ω 7) и вакценовая (C18:1 ω 7). Содержание мононенасыщенных жирных кислот снижалось вдвое при действии полихлорбифенилов с концентрациями 0,1 и 1 мкг·л⁻¹; при концентрации полихлорбифенилов 10 мкг·л⁻¹ суммарное содержание этих кислот было равно таковому в контроле. Среди полиненасыщенных жирных кислот, обладающих положительной биологической активностью, были идентифицированы арахидоновая (C20:4 ω 6), эйкозапентаеновая (C20:5 ω 3) и докозагексаеновая (C22:6 ω 3). Суммарное содержание Омега-3 и Омега-6 кислот в личинках мидий в контрольном опыте не превышало 12,8 %. С увеличением концентрации полихлорбифенилов в среде выращивания трохофор с 0,1 до 1 мкг·л⁻¹ концентрация полиненасыщенных жирных кислот повышалась в 2,5 раза. При концентрации полихлорбифенилов 10 мкг·л⁻¹ и в пробе с ацетоном суммарное содержание полиненасыщенных жирных кислот было сопоставимо с таковым в контрольном опыте. Результаты исследования свидетельствуют о том, что жирнокислотный отклик трохофор мидий *M. galloprovincialis* максимален при воздействии концентраций полихлорбифенилов от 0,1 до 1 мкг·л⁻¹. При концентрации загрязнителей 10 мкг·л⁻¹ и выше биохимические процессы в личинках, по-видимому, замедляются. Результаты данного исследования могут способствовать лучшему пониманию перестроек, позволяющих моллюскам на личиночных стадиях развития адаптироваться к условиям загрязнения среды обитания органическими поллютантами.

Ключевые слова: полихлорбифенилы, жирные кислоты, личинки, трохофора, мидия *Mytilus galloprovincialis*, Чёрное море

Изучению влияния загрязнённости мидий *Mytilus galloprovincialis*, обитающих в природных условиях севавтопольской морской акватории и культивируемых в прибрежных марихозьяствах, посвящён ряд работ, в которых в основном рассмотрены взрослые особи [11; 12; 19; 24; 31] и их половые продукты [7].

Известно, что мидии устойчивы к различным видам загрязнения. Эти моллюски являются фильтраторами и активно накапливают поллютанты в организме. Одни из наиболее токсичных загрязнителей окружающей среды — хлорорганические соединения (далее — ХОС). Широкая их распространённость в воде Чёрного моря определяла загрязнение естественных популяций моллюсков во многих районах севавтопольской морской акватории, поскольку мидии аккумулируют гидрофобные ХОС даже при относительно низкой их концентрации в морской воде. В мидиях из бухт Мартынова, Карантинная и Голубая суммарное содержание полихлорбифенилов ($\Sigma\text{ПХБ}_6$) изменялось от $3,8 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ в жабрах (здесь и далее — на сырую массу) до $459 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ в гепатопанкреасе [6]. В бух. Ласпи, где антропогенное влияние выражено не так сильно, концентрация ХОС была ниже и составляла от $0,21 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ в жабрах до $10,3 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ в гонадах [6]. Накопление ХОС в органах мидий положительно коррелировало с содержанием в них общих липидов [6]. Эмбрионы и личинки являются наиболее чувствительными стадиями онтогенеза мидий, и влияние загрязняющих веществ может привести к торможению и остановке их роста [8]. В экспериментальных условиях уже установлены хромосомные aberrации в клетках при воздействии растворов таких токсикантов, как поверхностно-активные вещества, на оплодотворённые яйцеклетки [9]. В последние годы нами *in vivo* показана положительная корреляционная связь содержания ХОС в воде со смертностью пелагической икры и отрицательная — с численностью личинок рыб на ранних этапах постэмбрионального развития [23].

Цель настоящей работы — определить состав жирных кислот трохофор культивируемой в Чёрном море мидии *M. galloprovincialis*, выращенной в условиях экспериментальной загрязнённости полихлорированными бифенилами.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследований был выбран двустворчатый моллюск *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, собранный в весенний период 2019 г. с коллекторов мидийно-устричной фермы в акватории бух. Карантинная (г. Севастополь, Крымский полуостров). Для подготовки исследования отбирали 150 экземпляров мидий с длиной раковины 7–10 см. В этот сезон моллюски находились преимущественно на нерестовой стадии развития.

Личинки получали в лабораторных условиях; помещение не содержало токсичных паров и газов. Температура воздуха в лаборатории составляла $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Освещение в помещении было комбинированным [5]. Для очистки пищеварительного тракта 150 экз. мидий выдерживали 4 ч в профильтрованной морской воде, отобранной батометром в акватории бух. Карантинная. В районе фермы в период сбора мидий суммарная концентрация ПХБ в воде не превышала $3 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$, что соответствовало среднему значению для открытых районов Чёрного моря [6; 10].

Каждого моллюска помещали макушкой вниз в стеклянный стакан объёмом 0,5 л. Посуда для эксперимента была химически чистой. В каждый стакан заливали очищенную с применением мембранного фильтра (размер пор — 3–5 мкм) и нагретую до $+25^\circ\text{C}$ морскую воду таким образом, чтобы покрыть верхний край створок мидий, стимулируя тем самым нерест [3]. Морская вода, в которой проходили нерест и выращивание личинок, имела следующие физико-химические показатели: температура — $+23 \dots +25^\circ\text{C}$; величина pH — 8,1–8,3; концентрация Ca^{2+} — $210\text{--}290 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$; концентрация Mg^{2+} — $460\text{--}640 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$; солёность — 18 ‰; насыщенность поверхностного слоя раствором кислорода в воде — 100–110 %.

Во время нереста моллюсков, наступившего через 4 ч после его стимуляции, яйцеклетки осаждались на дно в виде ярко-оранжевого осадка, а сперма вымывалась в воду в виде белого облака. После выделения половых продуктов моллюсков удаляли из стаканов. Полученные растворы с яйцеклетками объединяли и переносили в трёхлитровую ёмкость. В другую трёхлитровую ёмкость собирали растворы со спермой. Далее к раствору с яйцеклетками добавляли 10 мл раствора со спермой мидий. Поскольку процесс оплодотворения происходит быстро [16], через 3 мин. после соединения растворов в 5 отдельных реакторов объёмом 1 дм³ помещали по 0,5 дм³ воды с оплодотворёнными яйцеклетками. В три реактора добавили раствор смеси ПХБ в ацетоне (Ароклор 1254, Supelco, США). Воздействующая на личинок концентрация ПХБ в воде реакторов — 0,1; 1; 10 мкг·л⁻¹. В четвёртый реактор добавили растворитель ацетон в той же концентрации, что и в рабочих реакторах. Пятый реактор был контрольным. Эксперимент провели в трёх повторностях.

Температура в реакторах для выращивания личинок составляла (20 ± 2) °С. Освещение в реакторах было как искусственным (лампы дневного света), так и естественным. Комбинированная освещённость, измеренная люксметром Ю-116, не превышала 750 лк. Личинок мидии выращивали трое суток, пока они находились на эндогенном питании. На этой стадии только начинаются формирование пищеварительной системы и увеличение объёма полости тела [16].

Экстракция липидов и получение метиловых эфиров жирных кислот. Состав жирных кислот исследовали в суммарных липидах, выделенных из биомассы личинок, полученной на третьи сутки эксперимента (*in vitro*). Для этого личинок отделяли от воды фильтрацией (размер пор фильтра — 84 мкм), а затем смывали с поверхности фильтра смесью этанол : хлороформ (1:1) несколькими порциями по 5 мл. Полученный раствор объёмом 20 мл центрифугировали 10 мин. при 1500 об·мин.⁻¹ с двукратным объёмом дистиллированной воды. Капилляром отбирали нижний хлороформный слой. Хлороформную фракцию трижды промывали водой и упаривали на ротаторном испарителе. После упаривания хлороформа для омыления липидных остатков в колбу добавляли 5 мл раствора щёлочи в метаноле (10 мл 3 н. раствора NaOH и 90 мл 90%-ного метанола). Полученный раствор кипятили с обратным холодильником до полного омыления в течение 2 ч. После остывания к раствору добавляли несколько капель 1%-ного спиртового раствора фенолфталеина и трижды проводили экстракцию гексаном (по 5 мл). Водно-спиртовую фазу подкисляли соляной кислотой, добавляя 300 мкл 6 н. HCl. Затем проводили повторную экстракцию гексаном (по 5 мл 3–4 раза). Гексановую фракцию упаривали досуха на ротаторном испарителе при температуре +30...+35 °С; для метилирования к остатку добавляли 5 мл 3%-ного раствора хлористого водорода в метаноле. Смесь кипятили 2 ч с обратным холодильником и после охлаждения повторно трижды экстрагировали гексаном (по 5 мл). Гексановую фракцию фильтровали, используя беззольный фильтр. До определения метиловых эфиров жирных кислот (далее — МЭЖК) гексановую фракцию хранили не более суток при температуре +5 °С [4].

Идентификация метиловых эфиров жирных кислот. Идентификация МЭЖК выполнена в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ на газовом хроматографе Кристалл 5000.2 (ЗАО СКБ «Хроматэк», г. Йошкар-Ола, РФ) с квадрупольным масс-детектором и капиллярной колонкой DB-5ms (Agilent Technologies) длиной 30 м, с внутренним диаметром 0,25 мм и толщиной плёнки фазы 0,25 мкм. Измерения проводили в режиме ионизации электронным ударом 70 эВ. Газ-носитель — гелий; скорость потока — 1 мл·мин.⁻¹. Ввод пробы осуществляли без деления потока. Температура инжектора составляла +280 °С. Температура колонки была следующей: начальная температура +60 °С; задержка 1 мин.; промежуточная температура (1) +180 °С; скорость подъёма 20 °С·мин.⁻¹; промежуточная температура (2) +290 °С; скорость подъёма 5 °С·мин.⁻¹; конечная температура +325 °С; скорость подъёма 5 °С·мин.⁻¹; задержка 10 мин. Объём вводимой пробы составлял 1,0 мкл. Детектирование МЭЖК проводили по полному ионному току. Качественный анализ МЭЖК выполнен сравнением времён удерживания экспериментальных хроматограмм с хроматограммой стандартной смеси МЭЖК (Supelco 37 component FAME mix) и полученных масс-спектров

МЭЖК — с библиотекой NIST 14 со степенью совпадения более 92 %. Расчёт относительного содержания МЭЖК в образце проводили по методу процентной нормализации по площадям пиков. Среднеквадратическое отклонение выходного сигнала хроматографа не превышало 6 % [15].

Статистическая обработка данных. Для статистического анализа использовали пакет функций Statistical Toolbox, интегрированный в программу MATLAB (версия 8.2). Статистически значимые различия между выборками устанавливали согласно критерию Фишера и уточняющему тесту Тьюки — Крамера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что уровень накопления ПХБ мидиями зависит от ряда показателей: жирности тканей, размера моллюсков, стадии половой зрелости. Индивидуальные отличия этих показателей определяют широкие диапазоны варьирования содержания хлорорганических токсикантов в особях: концентрация ПХБ в мягких тканях мидий, собранных в одном районе, изменялась от 14 до 162 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ и в среднем составила 68 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ ($n = 24$). Сравнение уровня загрязнённости мидий с ПДК, равной 2000 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ для $\Sigma\text{ПХБ}$, согласно Техническому регламенту Таможенного союза [13], показывает отсутствие риска от употребления мидий с фермы для человека. Кроме того, согласно критериям, установленным в странах Евросоюза, качество мидий по этим показателям определяется как очень высокое, поскольку содержание ПХБ в мидиях не превышает 250 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ [16].

В проведённых экспериментах по влиянию экологически значимых доз ПХБ на личинки мидий определён их отклик на загрязнение, проявившийся в изменении жирнокислотного состава (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Содержание жирных кислот (% от суммы) в общих липидах трохофор мидий *M. galloprovincialis*, выращенной в среде с различной концентрацией полихлорбифенилов

Table 1. Fatty acid fractions (% of the total) in trochophore lipids of mussel *M. galloprovincialis* grown in a medium with different concentrations of polychlorinated biphenyls

Идентифицированная жирная кислота	Контроль	Концентрация ПХБ, $\text{мкг}\cdot\text{л}^{-1}$			Ацетон
		0,1	1	10	
Лауриновая (додекановая) (C12:0)	1,4 ± 0,6	0,6 ± 0,3	1,3 ± 0,4	1,0 ± 0,3	1,4 ± 0,5
Миристиновая (тетрадекановая) (C14:0)	6,2 ± 0,2	5,7 ± 0,6	7,7 ± 0,7	6,4 ± 0,4	6,5 ± 0,6
Пентадекановая (пентадециловая) (C15:0)	4,4 ± 0,8	5,3 ± 1,1	8,5 ± 0,5	5,8 ± 0,2	4,7 ± 0,7
Пальмитолеиновая (цис-9-гексадеценная) (C16:1ω7)	11,0 ± 0,6	6,8 ± 0,6	7,0 ± 0,2	9,6 ± 0,4	10,8 ± 0,8
Пальмитиновая (гексадекановая) (C16:0)	29,3 ± 4,3	33,8 ± 0,4	30,1 ± 0,3	34,7 ± 0,6	31,7 ± 2,3
цис-10-гептадеценная (C17:1ω7)	3,9 ± 1,5	1,2 ± 0,4	1,2 ± 0,2	1,4 ± 0,4	2,4 ± 1,5
14-метилгексадекановая (антизо-C17:0)	2,4 ± 0,5	1,8 ± 0,3	2,3 ± 0,2	2,0 ± 0,1	2,6 ± 0,8
Арахидоновая (цис,цис,цис,цис-5,8,11,14-эйкозатетраеновая) (C20:4ω6)	1,3 ± 0,2	20,5 ± 1,5	12,8 ± 0,6	3,3 ± 0,3	1,0 ± 0,4
Линолевая (цис,цис-9,12-октадекадиеновая) (C18:2ω6)	2,2 ± 0,6	3,0 ± 0,3	4,8 ± 0,6	1,3 ± 0,4	1,6 ± 0,7
Олеиновая (цис-9-октадеценная) (C18:1ω9)	14,4 ± 1,5	1,5 ± 0,2	1,2 ± 0,2	15,3 ± 0,4	14,6 ± 1,1
Вакценовая (цис-11-октадеценная) (C18:1ω7)	2,4 ± 0,3	5,8 ± 0,3	5,7 ± 0,2	2,4 ± 0,3	2,5 ± 0,7
Сумма двух изомеров октадеценных кислот	16,8 ± 1,8	7,3 ± 0,5	6,9 ± 0,4	17,7 ± 0,7	17,1 ± 1,8
Стеариновая (октадекановая) (C18:0)	14,4 ± 0,5	8,1 ± 0,4	10,3 ± 0,3	9,2 ± 0,3	13,3 ± 0,5
Эйкозапентаеновая (цис,цис,цис,цис,цис-5,8,11,14,17-эйкозагексаеновая, ЭПК) (C20:5ω3)	4,2 ± 0,6	3,0 ± 0,2	4,0 ± 0,1	4,6 ± 0,3	4,3 ± 0,3
Докозагексаеновая (цис,цис,цис,цис,цис,цис-4,7,10,13,16,19-докозагексаеновая, ДГК) (C22:6ω3)	2,4 ± 1,0	2,9 ± 0,2	3,1 ± 0,2	2,8 ± 0,4	2,5 ± 0,5
Сумма насыщенных жирных кислот (НЖК)	58,2	55,3	60,2	59,1	60,3
Сумма мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК)	31,6	15,3	15,1	28,8	30,3
Сумма полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК)	10,2	29,4	24,7	12,1	9,5
Сумма ненасыщенных жирных кислот	41,8	44,7	39,8	40,9	39,8
Отношение суммы насыщенных кислот к сумме ненасыщенных жирных кислот	1,4	1,2	1,5	1,4	1,5

Таблица 2. Значимые отличия (обозначены плюсом) состава жирных кислот липидов трохофор мидии *M. galloprovincialis* при разных концентрациях загрязнителя согласно однофакторному дисперсионному анализу (число степеней свободы $df = 4$) и проверке по апостериорному критерию Тьюки — Крамера

Table 2. Significant differences (denoted by pluses) in fatty acid composition of mussel *M. galloprovincialis* trochophores as found from one-way ANOVA ($df = 4$) and Tukey – Kramer post-hoc test

Жирная кислота	Концентрация загрязнителя, мкг·л ⁻¹	Контроль	Концентрация загрязнителя, мкг·л ⁻¹			<i>F</i>	<i>p</i>
			0,1	1	10		
Лауриновая	0,1	–	–	–	–	0,620	0,66
	1	–	–	–	–		
	10	–	–	–	–		
	ацетон	–	–	–	–		
Миристиновая	0,1	–	–	–	–	1,81	0,20
	1	–	–	–	–		
	10	–	–	–	–		
	ацетон	–	–	–	–		
Пентадекановая	0,1	–	–	–	–	5,40	1,4·10 ⁻²
	1	+	–	–	–		
	10	–	–	–	–		
	ацетон	–	+	–	–		
Пальмитолениновая	0,1	+	–	–	–	13,32	5,1·10 ⁻⁴
	1	+	–	–	–		
	10	–	–	–	–		
	ацетон	–	+	+	–		
Пальмитиновая	0,1	–	–	–	–	1,11	0,41
	1	–	–	–	–		
	10	–	–	–	–		
	ацетон	–	–	–	–		
цис-10-гептадеценная	0,1	–	–	–	–	1,48	0,28
	1	–	–	–	–		
	10	–	–	–	–		
	ацетон	–	–	–	–		
14-метилгексадекановая	0,1	–	–	–	–	0,58	0,68
	1	–	–	–	–		
	10	–	–	–	–		
	ацетон	–	–	–	–		
Арахидоновая	0,1	+	–	–	+	124	1,8·10 ⁻⁸
	1	+	–	–	+		
	10	–	+	+	–		
	ацетон	–	+	+	–		
Линолевая	0,1	–	–	–	–	6,80	6,6·10 ⁻³
	1	–	–	–	+		
	10	–	–	+	–		
	ацетон	–	–	+	–		
Олеиновая	0,1	+	–	–	+	71,3	2,6·10 ⁻⁷
	1	+	–	–	+		
	10	–	+	+	–		
	ацетон	–	+	+	–		

Продолжение на следующей странице...

Жирная кислота	Концентрация загрязнителя, мкг·л ⁻¹	Контроль	Концентрация загрязнителя, мкг·л ⁻¹			<i>F</i>	<i>p</i>
			0,1	1	10		
Вакценовая	0,1	+	—	—	+	23,1	4,9·10 ⁻⁵
	1	+	—	—	+		
	10	—	+	+	—		
	ацетон	—	+	+	—		
Стеариновая	0,1	+	—	—	—	41,2	3,5·10 ⁻⁶
	1	+	—	—	—		
	10	+	—	—	—		
	ацетон	—	+	+	+		
Эйкозапентаеновая	0,1	—	—	—	—	3,52	5,0·10 ⁻²
	1	—	—	—	—		
	10	—	—	—	—		
	ацетон	—	—	—	—		
Докозагексаеновая	0,1	—	—	—	—	0,344	0,84
	1	—	—	—	—		
	10	—	—	—	—		
	ацетон	—	—	—	—		
Сумма НЖК	0,1	—	—	—	—	1,00	0,45
	1	—	—	—	—		
	10	—	—	—	—		
	ацетон	—	—	—	—		
Сумма МНЖК	0,1	+	—	—	+	37,3	5,6·10 ⁻³
	1	+	—	—	+		
	10	—	+	+	—		
	ацетон	—	+	+	—		
Сумма ПНЖК	0,1	+	—	—	+	65,5	3,9·10 ⁻⁷
	1	+	—	—	+		
	10	—	+	+	—		
	ацетон	—	+	+	—		

Примечание: «+» — значимые отличия ($\alpha = 0,05$; $n = 3$); «—» — отсутствие значимых отличий ($\alpha = 0,05$; $n = 3$); *F* — критерий Фишера; *p* — вероятность. Жирным шрифтом выделены компоненты, имеющие статистически значимые отличия.

Note: “+” indicates significant differences ($\alpha = 0.05$; $n = 3$); “—” indicates lack of significant differences ($\alpha = 0.05$; $n = 3$); *F* indicates Fisher’s *F*-test; *p* indicates probability. The components with significant differences are in bold.

Установлено, что в липидах трохофор *M. galloprovincialis* достоверно отличаются значения суммы моновенасыщенных жирных кислот (далее — МНЖК) и полиненасыщенных жирных кислот (далее — ПНЖК). Сумма насыщенных жирных кислот (далее — НЖК) статистически не меняется. Основными НЖК являлись пальмитиновая (C16:0) (35–39 %) и стеариновая (C18:0) (8–14 %) кислоты. Концентрация насыщенных кислот с числом углеродных атомов 14 и 15 составляла 4–7 %. Сравнительно высокий уровень НЖК в трохофорах связан с высокой метаболической активностью у моллюсков в нерестовый весенний период [30]. Например, при изучении сезонного состава жирных кислот жемчужной устрицы *Pinctada fucata martensii* определено, что основную часть насыщенных жирных кислот составляли миристиновая (C14:0), пальмитиновая (C16:0) и стеариновая (C18:0). Миристиновая (C14:0) кислота у животных редко выступает в качестве основного компонента. В наших исследованиях её концентрация изменялась в диапазоне 5,7–7,7 %.

Наиболее распространённые МНЖК представлены пальмитолеиновой (C16:1 ω 7), олеиновой (C18:1 ω 9) и вакценовой (C18:1 ω 7) кислотами. Пальмитолеиновая (C16:1 ω 7) и олеиновая (C18:1 ω 9) кислоты образуются из пальмитиновой (C16:0) и стеариновой (C18:0) [14]. Вакценовая (C18:1 ω 7) кислота является изомером олеиновой (C18:1 ω 9), которая синтезируется в животных клетках (эндоплазматический ретикулум и митохондрии) из стеариновой (C18:0) кислоты путём образования двойной связи. Наличие в пробах трохофор *цис*-вакценовой (C18:1 ω 7) кислоты, которая в основном характерна для анаэробных бактерий [18], указывает на нестерильные условия проведения эксперимента.

Мононенасыщенная олеиновая (*цис*-9-октадеценовая) (C18:1 ω 9) кислота, обнаруженная нами в трохофорах мидий, имеет два возможных происхождения — экзогенное (из-за употребления диатомовых водорослей мидиями) и эндогенное (через превращения пальмитиновой (C16:0) и стеариновой (C18:0) кислот) [20]. Повышенное содержание незаменимой олеиновой (C18:1 ω 9) кислоты в трохофорах моллюсков может быть связано с её дополнительным синтезом под токсическим воздействием загрязняющих веществ с целью связывания и детоксикации ксенобиотиков [22]. Увеличение уровня изомеров октадеценовых (C18:1) кислот может свидетельствовать об усиленном метаболизме в клетках личинок [14].

В липидах трохофор идентифицированы следующие полиненасыщенные жирные кислоты: арахидоновая (C20:4 ω 6), эйкозапентаеновая (C20:5 ω 3) и докозагексаеновая (C22:6 ω 3). Суммарное содержание Омега-3 и Омега-6 кислот в личинках мидий контрольного опыта не превышало 12,8 %. Концентрация незаменимой арахидоновой (C20:4 ω 6) кислоты в трохофорах не являлась постоянной величиной и варьировала в широком диапазоне от 1 до 21 %. Для сравнения: в гастроподах концентрация арахидоновой (C20:4 ω 6) кислоты достигала 5,73 % [25]. Как известно, живые организмы могут синтезировать арахидоновую (C20:4 ω 6) кислоту из незаменимой Омега-6-ненасыщенной линолевой кислоты [1]. Биосинтез линолевой (C18:2 ω 6) кислоты может осуществляться только в растениях. Далее она по пищевым цепям передаётся животным. Так как в личинках мидии линолевая (C18:2 ω 6) кислота обнаружена нами практически в каждой пробе, можно предположить, что она необходима для биосинтеза арахидоновой (C20:4 ω 6) кислоты на дальнейших стадиях развития моллюсков. Арахидоновая (C20:4 ω 6) кислота также является основным компонентом мембранных фосфолипидов у животных. Кроме того, она нужна для биосинтеза простагландинов [29]. Вероятно, более высокие уровни этой жирной кислоты в трохофорах связаны с синтезом простагландинов в мидиях [21].

ПНЖК участвуют в адаптации организма к окружающей среде [14]. Большинство беспозвоночных не способны синтезировать ПНЖК и получают их с пищей, обеспечивая таким образом свои потребности в этих эссенциальных компонентах для поддержания нормального функционирования организма [28]. Например, докозагексаеновая (C22:6 ω 3) кислота может влиять на активность Na⁺/K⁺-АТФазы — фермента клеточных мембран, который избирательно выкачивает из клетки ионы натрия и аккумулирует в ней ионы калия. Создаваемая ферментом разница концентраций одновалентных катионов имеет большое значение для протекания ключевых реакций жизнедеятельности — генерации нервного возбуждения, водно-солевого обмена — и для регуляции клеточного метаболизма [26]. В нашем исследовании содержание эйкозапентаеновой (C20:5 ω 3) кислоты во всех образцах не превышало 4,5 %, а докозагексаеновой (C22:6 ω 3) — 3,1 %. Эйкозапентаеновую (C20:5 ω 3) и докозагексаеновую (C22:6 ω 3) кислоты продуцирует фитопланктон [27 ; 29 ; 30], и низкие их уровни объясняются, скорее всего, эндогенным питанием личинок на стадии трохофоры.

Известно, что загрязнённость среды ПХБ оказывает влияние на состав жирных кислот [14]. Наши эксперименты показали, что суммарное содержание НЖК в личинках, подверженных влиянию ПХБ, изменялось в достаточно узком интервале — от 52,2 до 65,3 %. Накопление этих кислот указывает на их участие в поддержании целостности структуры мембран [14]. Наименьшее

содержание стеариновой (C18:0) кислоты в личинках отмечено при воздействии 0,1 мкг·л⁻¹ ПХБ. Под действием 1 и 10 мкг·л⁻¹ ПХБ концентрации стеариновой (C18:0) кислоты практически не отличались, но становились ниже, чем в контрольном образце и в пробе с ацетоном. Этот факт говорит о том, что реакция личинок на появление в среде ПХБ проявилась в снижении проницаемости плазматических мембран, что могло уменьшить токсическое влияние ПХБ.

Содержание МНЖК снижалось примерно в 2 раза относительно контроля при концентрациях ПХБ 0,1 и 1 мкг·л⁻¹, в то время как содержание ПНЖК увеличивалось примерно в 2,5–3 раза при концентрациях ПХБ 1 и 0,1 мкг·л⁻¹ и в 1,3 раза — при концентрации ПХБ 10 мкг·л⁻¹.

При невысоком содержании ПХБ — 0,1 и 1 мкг·л⁻¹ — концентрация кислот (C18:1) уменьшалась по сравнению с таковой в контрольном опыте более чем в два раза, а при 10 мкг·л⁻¹ их содержание было равно таковому в контроле. Возможно, при невысоких концентрациях ПХБ изменение содержания МНЖК вызвано действием нескольких каталитических механизмов, включающих механизмы перекисного окисления, в дополнение к цитохром Р450 монооксигеназному пути. Ферменты системы цитохром Р450 гидроксилируют связи С-Н субстратов, катализируют омега-окисление насыщенных жирных кислот и перекисное окисление ненасыщенных жирных кислот [14]. До закладки пищеварительных органов трохофоры находятся на эндогенном питании, при этом жирные кислоты используются в основном для формирования биомембран и запасных липидов [14; 16; 17; 25].

Изменение долей МНЖК и ПНЖК при почти неизменной доле НЖК под действием полихлорбифенилов связано с защитной функцией НЖК в организме личинок. Этот факт объясняется тем, что синтез ненасыщенных жирных кислот происходит из НЖК. ПНЖК, например, имеют более низкие точки плавления, чем насыщенные кислоты, и образуют более рыхлую структуру липидного бислоя. Увеличение текучести биологических мембран и высокая метаболическая активность мембранных ферментов обусловлены ассиметричным строением и температурой плавления полиенов [14]. Действие поллютантов может прямо, особенно на ранней стадии онтогенеза, или опосредовано, через изменения вещественно-энергетических потоков в экосистеме, повлиять на резистентность и толерантность культивируемых организмов к условиям среды выращивания [2].

Увеличение концентрации арахидоновой (C20:4ω6) кислоты с 1,3 % в контроле до 20,5 % при воздействии 0,1 мкг·л⁻¹ ПХБ также объясняется её способностью выступать в качестве гормона, активируя рецепторы клеток и играя при этом важную роль в иммунном ответе. При более высоких концентрациях ПХБ (1 и 10 мкг·л⁻¹) содержание арахидоновой (C20:4ω6) кислоты снижается, что свидетельствует о её интенсивном использовании в ферментативных процессах [14].

Заключение. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что тип и состав жирных кислот в трохофорах мидий изменялись при различной загрязнённости среды их обитания ПХБ. Содержание насыщенных жирных кислот, например стеариновой (C18:0), и изомеров октадеценовых (C18:1) кислот резко снижалось при воздействии даже 0,1 мкг·л⁻¹ ПХБ, хотя суммарное содержание НЖК практически не изменялось при концентрациях ПХБ от 0 до 10 мкг·л⁻¹, а содержание изомеров октадеценовых (C18:1) кислот возрастало почти в 3 раза при увеличении концентрации ПХБ до 10 мкг·л⁻¹. Такая тенденция связана с особенностями строения как клеточных мембран личинок, так и молекул НЖК и МНЖК. Содержание ПНЖК, например арахидоновой (C20:4ω6) кислоты, напротив, увеличивалось при действии 0,1 мкг·л⁻¹ ПХБ, что связано, возможно, с её способностью выступать в качестве гормона в иммунном ответе.

Результаты работы могут быть использованы в управлении продукционными процессами в хозяйствах по культивированию моллюсков. Изучение дозозависимого влияния ПХБ на соотношение НЖК, МНЖК и ПНЖК в тканях личинок мидий может способствовать лучшему пониманию биохимических перестроек, позволяющих моллюскам адаптироваться к действию неблагоприятных факторов среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по темам «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия» (№ гос. регистрации АААА-А19-119060690014-5), «Молисмалогические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ АААА-А18-118020890090-2) и «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ АААА-А18-118021350003-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Гаврисюк В. К. Применение Омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в медицине // *Український пульмонологічний журнал*. 2001. № 3. С. 5–10. [Gavrisyuk V. K. Primenenie Omega-3 polinenasyshchennykh zhirnykh kislot v meditsine. *Ukrainskyi pulmonologichnyi zhurnal*, 2001, no. 3, pp. 5–10. (in Russ.)]
2. Золотницкий А. П. Современное состояние, проблемы и перспективы развития конхиокультуры в Украине // *Рибне господарство України*. 2011. № 4. С. 45–48. [Zolotnitskii A. P. Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya konkhiokul'tury v Ukraine. *Rybne hospodarstvo Ukrainy*, 2011, no. 4, pp. 45–48. (in Russ.)]
3. Караванцева Н. В., Пospelova Н. В., Бобко Н. И., Нехорошев М. В. Методика отбора половых продуктов мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. // *Системы контроля окружающей среды*. 2012. № 17. С. 184–187. [Karavantseva N. V., Pospelova N. V., Bobko N. I., Nekhoroshev M. V. Technique for collection of mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. gametes. *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy*, 2012, no. 17, pp. 184–187. (in Russ.)]
4. Кейтс М. *Техника липидологии*. Москва : Изд-во «Мир», 1975. 324 с. [Kates M. *Tekhnika lipidologii*. Moscow : Izd-vo "Mir", 1975, 324 p. (in Russ.)]
5. Котелевцев С. В., Маторин Д. Н., Садчиков А. П. *Экологическая токсикология и биотестирование водных экосистем* : учебное пособие. Москва : Изд-во «Инфра-М», 2015. 252 с. [Kotelevtsev S. V., Matorin D. N., Sadchikov A. P. *Ekologicheskaya toksikologiya i biotestirovanie vodnykh ekosistem* : uchebnoe posobie. Moscow : Izd-vo "Infra-M", 2015, 252 p. (in Russ.)]
6. Малахова Л. В., Малахова Т. В., Щурова Е. С., Карамышев А. К. Мониторинг хлорорганического загрязнения Севастопольской акватории с использованием мидий *M. galloprovincialis* в качестве вида-индикатора // *Морские биологические исследования: достижения и перспективы* : в 3-х т. : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроч. к 145-летию Севастопольской биологической станции, Севастополь, 19–24 сент. 2016 г. / под общ. ред. А. В. Гаевской. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 140–143. [Malakhova L. V., Malakhova T. V., Shchurova E. S., Karamyshev A. K. Monitoring khlororganicheskogo zagryazneniya Sevastopol'skoi akvatorii s ispol'zovaniem midii *M. galloprovincialis* v kachestve vida-indikatora. In: *Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy* : v 3-kh t. : sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, priuroch. k 145-letiyu Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii, Sevastopol, 19–24 Sept., 2016 / A. V. Gaevskaya (Ed.). Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika, 2016, vol. 3, pp. 140–143. (in Russ.)]
7. Никонова Л. Л., Малахова Л. В., Нехорошев М. В., Рябушко В. И. Хлорорганические соединения в гонадах и половых продуктах двустворчатого моллюска мидии *M. galloprovincialis* Lam., 1819, культивируемого у берегов Крыма (Черное море) // *Вода: химия и экология*. 2017. № 3. С. 40–45. [Nikonova L. L., Malakhova L. V., Nekhoroshev M. V., Ryabushko V. I. Organochlorine compounds in gonads and gametes of bivalve mollusk *M. galloprovincialis* Lam., cultivated near the shores of the Crimea (the Black Sea). *Voda: khimiya i ekologiya*, 2017, no. 3, pp. 40–45. (in Russ.)]
8. Пиркова А. В., Ладыгина Л. В., Бобко Н. И. Воздействие загрязняющих веществ в морской воде на развитие личинок мидии *M. galloprovincialis* Lam. и устрицы *Crassostrea gigas* // *Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов* : материалы Всерос. науч. конф., г. Калининград, 23–24 мая 2017 г. Калининград : ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. С. 135–138. [Pirkova A. V., Ladygina L. V., Bobko N. I. Vozdeistvie zagryaznyayushchikh veshchestv v morskoi vode na razvitie lichinok midii *M. galloprovincialis* Lam. i ustritsy *Crassostrea gigas*.

- In: *Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov* : materialy Vseros. nauch. konf., Kaliningrad, 23–24 May, 2017. Kaliningrad : FGBOU VO "KGTU", 2017, pp. 135–138. (in Russ.)]
9. Пиркова А. В., Ладыгина Л. В., Бобко Н. И. Эмбрионы мидии *M. galloprovincialis* Lam. – индикаторы загрязнения морской воды поверхностно-активными веществами // *Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование* : материалы Всерос. науч. конф., г. Севастополь, 28 мая – 01 июня 2018 г. Севастополь : ООО «Колорит», 2018. С. 205–209. [Pirkova A. V., Ladygina L. V., Bobko N. I. Embryony midii *M. galloprovincialis* Lam. – indikatory zagryazneniya morskoi vody poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami. In: *Zagryaznenie morskoi sredy: ekologicheskii monitoring, bioindikatsiya, normirovanie* : materialy Vseros. nauch. konf., Sevastopol, 28 May – 01 June, 2018. Sevastopol : ООО "Kolorit", 2018, pp. 205–209. (in Russ.)]
 10. ПНД Ф 14.1:2:3:4.204-04 *Методика измерений массовых концентраций хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газовой хроматографии* (издание 2018 г.). Утверждена директором ФГБУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия» В. Ч. Юранец 31 июля 2018 г. [PND F 14.1:2:3:4.204-04 *Metodika izmerenii massovykh kontsentratsii khlororganicheskikh pestitsidov i polikhlorirovannykh bifenilov v probakh pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vod metodom gazovoi khromatografii* (izdanie 2018 g.). Utverzhdena direktorom FGBU "Federal'nyi tsentr analiza i otsenki tekhnogennoho vozdeistviya" V. Ch. Yuranets 31.07.2018 (in Russ.)]
 11. Поспелова Н. В., Егоров В. Н., Челядина Н. С., Нехорошев М. В. Содержание меди в органах и тканях *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 и поток её седиментационного депонирования в донные осадки в хозяйствах черноморской аквакультуры // *Морской биологический журнал*. 2018. Т. 3, № 4. С. 64–75. [Pospelova N. V., Egorov V. N., Chelyadina N. S., Nekhoroshev M. V. The copper content in the organs and tissues of *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 and the flow of its sedimentary deposition into bottom sediments in the farms of the Black Sea aquaculture. *Morskoy biologicheskij zhurnal*, 2018, vol. 3, no. 4, pp. 64–75. (in Russ.)].
 12. Рябушко В. И., Козинцев А. Ф., Тоичкин А. М. Концентрация мышьяка в тканях культивируемой мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam., в воде и донных осадках (Крым, Чёрное море) // *Морской биологический журнал*. 2017. Т. 2, № 3. С. 68–74. [Ryabushko V. I., Kozintsev A. F., Toichkin A. M. Concentration of arsenic in the tissues of cultivated mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam., water and bottom sediments (Crimea, Black Sea). *Morskoy biologicheskij zhurnal*, 2017, vol. 2, no. 3, pp. 68–74. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.4.07>
 13. ТС Т. Р. 021/2011. *Технический регламент Таможенного союза о безопасности пищевой продукции*. Москва : Госстандарт России, 2011. 242 с. [TS T. R. 021/2011. *Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza o bezopasnosti pishchevoi produktsii*. Moscow : Gosstandart Rossii, 2011, 242 p. (in Russ.)]
 14. Фокина Н. Н., Неведова З. А., Немова Н. Н. *Липидный состав мидий *Mytilus edulis* L. Белого моря. Влияние некоторых факторов среды обитания*. Петрозаводск : Изд-во КарНЦ РАН, 2010. 243 с. [Fokina N. N., Nefedova Z. A., Nemova N. N. *Lipidnyi sostav midii *Mytilus edulis* L. Belogo morya. Vliyanie nekotorykh faktorov sredy obitaniya*. Petrozavodsk : Izd-vo KarNTs RAN, 2010, 243 p. (in Russ.)]. <http://doi.org/10.13140/2.1.2154.8322>
 15. Хасанов В. В., Рыжова Г. Л., Дычко К. А., Куряева Т. Т. Состав жирных кислот и стероидов растительных масел // *Химия растительного сырья*. 2006. № 3. С. 27–31. [Khasanov V. V., Ryzhova G. L., Dychko K. A., Kuryaeva T. T. Sostav zhirnykh kislot i steroidov rastitel'nykh masel. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2006, no. 3, pp. 27–31. (in Russ.)]
 16. Холодов В. И., Пиркова А. В., Ладыгина Л. В. *Выращивание мидий и устриц в Черном море*. Воронеж : Изд-во ООО «Изд-Принт», 2017. 508 с. [Kholodov V. I., Pirkova A. V., Ladygina L. V. *Cultivation of Mussels and Oysters in the Black Sea*. Voronezh : Izd-vo ООО "Izdat-Print", 2017, 508 p. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.org/handle/299011/5523>
 17. Чеботарева М. А., Забелинский С. А., Шуколюкова Е. П., Кривченко А. И. Предел изменения индекса ненасыщенности жирнокислотного состава фосфолипидов при адаптациях моллюсков к биогенным и абиогенным факторам внешней среды // *Журнал эволюционной*

- биохимии и физиологии. 2011. Т. 47, № 5. С. 383–387. [Chebotareva M. A., Zabelinskii S. A., Shukolyukova E. P., Krivchenko A. I. Limit of change in unsaturation index of fatty acid composition of phospholipids at adaptation of molluscs to biogenic and abiogenic environmental factors. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 2011, vol. 47, no. 5, pp. 448–453. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S0022093011050069>
18. Cronan J. E., Thomas J. Bacterial fatty acid synthesis and its relationships with polyketide synthetic pathways. *Methods in Enzymology*, 2009, vol. 459, pp. 395–433. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(09\)04617-5](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(09)04617-5)
 19. Egorov V. N., Lazorenko G. E., Mirzoeva N. Yu., Stokozov N. A., Kostova S. K., Malakhova L. V., Pirkova A. V., Arkhipova S. I., Korkishko N. F., Popovichev V. N., Plotitsyna O. V., Migal L. V. Content of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr , radionuclides, and some chemical pollutants in the Black Sea mussels *M. galloprovincialis* Lam. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2006, vol. 5, no. 3, pp. 70–78.
 20. Ekin I., Başhan M. Fatty acid composition of selected tissues of *Unio elongatulus* (Bourguignat, 1860) (Mollusca: Bivalvia) collected from Tigris River, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2010, vol. 1, no. 4, pp. 445–451. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0402>
 21. Ekin I., Şeşen R. Investigation of the fatty acid contents of edible snails *Helix lucorum*, *Eobania vermiculata* and non-edible slug *Limax flavus*. *Records of Natural Products*, 2017, vol. 11, no. 6, pp. 562–567. <https://doi.org/10.25135/acg.rnp.72.17.02.043>
 22. Fokina N. N., Ruokolainen T. R., Nemova N. N. Lipid composition modifications in the blue mussels (*Mytilus edulis* L.) from the White Sea. In: *Organismal and Molecular Malacology* / R. Bettencourt et al. (Eds). Intech, 2017, chap. 7, pp. 143–159. <https://doi.org/10.5772/67811>
 23. Klimova T. N., Vdodovich I. V., Zagorodnyaya Yu. A., Ignatyev S. M., Malakhova L. V., Dotsenko V. S. Ichthyoplankton in the plankton community of the Crimean Peninsula shelf zone (Black Sea) in July 2010. *Journal of Ichthyology*, 2014, vol. 54, no. 6, pp. 409–421. <https://doi.org/10.1134/S0032945214030060>
 24. Leonardos N., Lucas I. The use of larval fatty acids as an index of growth in *Mytilus edulis* L. larvae. *Aquaculture*, 2000, vol. 184, pp. 155–166. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00320-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00320-8)
 25. Leroy F., Meziane T., Riera P., Comtet T. Seasonal variations in maternal provisioning of *Crepidula fornicata* (Gastropoda): Fatty acid composition of females, embryos and larvae. *PLoS One*, 2013, no. 8, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075316>
 26. Nagy K., Tiuca I.-D. Importance of fatty acids in physiopathology of human body. In: *Fatty Acids* / A. Catala (Ed.). Intech, 2017, chap. 1, pp. 1–22. <https://doi.org/10.5772/67407>
 27. Nelson M. M., Leighton D. L., Phleger C. F., Nichols P. D. Comparison of growth and lipid composition in the green abalone, *Haliotis fulgens*, provided specific macroalgal diets. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2002, vol. 131, no. 73, pp. 695–712. [https://doi.org/10.1016/S1096-4959\(02\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S1096-4959(02)00042-8)
 28. Peters J. Role of essential fatty acids on the reproductive success of the copepod *Temora longicornis* in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, vol. 341, pp. 153–163. <https://doi.org/10.3354/meps341153>
 29. Pettersen A. K., Turchini G. M., Jahangard S., Ingram B. A., Sherman C. D. Effects of different dietary microalgae on survival, growth, settlement, and fatty acid composition of blue mussel (*M. galloprovincialis*) larvae. *Aquaculture*, 2010, vol. 309, pp. 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.09.024>
 30. Saito H. Lipid and FA composition of the pearl *Oyster pinctada*. *Lipids*, 2004, vol. 39, no. 10, pp. 997–1005. <https://doi.org/10.1007/s11745-004-1322-3>
 31. Weis J. S. Delayed behavioral effects of early life toxicant exposures in aquatic biota. *Toxics*, 2014, vol. 2, no. 2, pp. 165–187. <https://doi.org/10.3390/toxics2020165>

**FATTY ACID COMPOSITION
IN TROCHOPHORES OF MUSSEL *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS*
GROWN UNDER CONTAMINATION WITH POLYCHLORINATED BIPHENYLS**

L. L. Kapranova, L. V. Malakhova, M. V. Nekhoroshev, V. V. Lobko, and V. I. Ryabushko

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: lar_sa1980@mail.ru

Status of *Mytilus galloprovincialis* populations in the natural habitat is known to directly depend on development of Black Sea mussel at all its stages, including initial stages of larval ontogenesis, which are very sensitive to environmental pollution. Organic pollutants adversely affect mussel larvae by inhibiting their growth and development. Patterns of mussel reproduction are well studied, which makes it possible to obtain larvae from artificially fertilized eggs of this mollusc species in controlled laboratory conditions. In this work, the fatty acid composition of *M. galloprovincialis* larvae at the trochophore stage on the 3rd day in the control experiment and under artificial contamination with polychlorinated biphenyls (PCBs) in different concentrations is studied for the first time. The fatty acid composition of total lipids in the biomass of larvae obtained on the 3rd day of the experiment was studied by means of gas chromatography – mass spectrometry. Totally, 14 fatty acids were identified in the samples; 59 % of them were saturated fatty acids, 24 % were monounsaturated fatty acids, and 17 % were polyunsaturated fatty acids. Statistical analysis was performed using Statistical Toolbox of MATLAB software (version 8.2). The totals of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids significantly differed in lipids of *M. galloprovincialis* trochophores in the experiment with different PCB concentrations. The totals of saturated fatty acids did not significantly differ. The major saturated fatty acids in all mussel trochophores studied were palmitic (C16:0) and stearic (C18:0) acids. Their concentration did not significantly change under the exposure to PCBs. The main monounsaturated fatty acids were oleic (C18:1 ω 9), palmitoleic (C16:1 ω 7), and vaccenic (C18:1 ω 7) acids. The fraction of monounsaturated fatty acids was twice as low when exposed to the PCB concentrations 0.1 and 1.0 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. However, when the PCB concentration was 10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, the total of these acids did not differ from the control. Among polyunsaturated fatty acids having biological essentiality, it was possible to identify arachidonic (C20:4 ω 6), eicosapentaenoic (C20:5 ω 3), and docosahexaenoic (C22:6 ω 3) acids. The total fraction of omega-3 and omega-6 acids in mussel larvae in the control did not exceed 12.8 %. With an increase of the PCB concentration in the growth medium 0.1 to 1.0 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, the fraction of polyunsaturated fatty acids increased 2.5-fold. At the PCB concentration 10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ and in the sample with pure acetone added, the total fraction of polyunsaturated fatty acids was comparable with that in the control. The results of the study indicate that fatty acid response is the highest when the medium is exposed to the PCB concentrations ranging 0.1 to 1.0 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. At the PCB concentrations equal to 10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ or higher, biochemical processes in larvae seem to slow down. The results of this study will contribute to a better understanding of biochemical rearrangements that allow molluscs at larval developmental stages to adapt to environmental pollution with organic xenobiotics.

Keywords: polychlorinated biphenyls, fatty acids, larvae, trochophore, mussel *Mytilus galloprovincialis*, Black Sea