

УДК 639.42.06

**В.С. Жарников***

Институт биологических проблем Севера ДВО РАН,
685000, г. Магадан, ул. Портовая, 18

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ВИДОВ В ПОЛИКУЛЬТУРЕ НА РОСТ И МАССУ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В ТАУЙСКОЙ ГУБЕ ОХОТСКОГО МОРЯ

Проведен анализ линейного роста и массы двустворчатых моллюсков, подращиваемых в поликультуре с различным соотношением видов: мидий, мий и маком — 30 : 35 : 35, 50 : 25 : 25 и 70 : 15 : 15 — в садках, прикрепленных к плавучим установкам, расположенным на глубине 1,0–1,5 м от поверхности воды в Тауйской губе Охотского моря. В период с 15 июня по 26 октября максимальная скорость роста раковины у мидий в садках с соотношением видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 составила $7,4 \pm 0,3$ и $7,1 \pm 0,5$ мм, а наиболее высокие приросты массы (7,8–8,2 г) отмечены у мий. Различное соотношение видов в поликультуре достоверно влияло на приросты длины и массы у мидий и не оказывало влияния на мий. При соотношении видов 70 : 15 : 15 наблюдался максимальный прирост массы у маком ($1,6 \pm 0,1$ г). Наиболее высокая доля элиминации среди всех видов в поликультуре отмечена у мидий — 7,5–8,8 %, минимальная у макомы — 1,9–2,1 %. Показана эффективность выращивания различных видов двустворчатых моллюсков в поликультуре в северной части Охотского моря.

Ключевые слова: мидии, мии, макомы, скорость роста моллюсков, культивирование, поликультура, подвесные садки, различная пропорция видов.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-937-947.

Zharnikov V.S. Impact of the species ratio in polyculture on growth and weight of bivalve mollusks in the Tauiskaya Guba Bay, Okhotsk Sea // *Izv. TINRO.* — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 937–947.

Linear growth and weight of bivalve mollusks cultivated in polyculture are considered. Cages with three mollusk species, as blue mussel, long-necked clam (mya), and macoma, were hanged at the depth of 1.0–1.5 m in the Tauiskaya Guba Bay, Okhotsk Sea. Several sets of these species with ratio mussel : mya : macoma 30 : 35 : 35, 50 : 25 : 25 and 70 : 15 : 15 were tested in the period from June 15 to October 26. The species ratio of 30 : 35 : 35 and 50 : 25 : 25 provided the highest linear increments for mussels (7.4 ± 0.3 and 7.1 ± 0.5 mm, respectively) and the highest weight increments for mya (7.8–8.2 g). The species ratio of 70 : 15 : 15 was the most favorable for weight growth of macoma (weight increments 1.6 ± 0.1 g). Mussels were distinguished by the largest elimination among all species in the polyculture — 7.5–8.8 %, whereas losses of macoma were the lowest — 1.9–2.1 %. The polyculture is considered as a prospective approach for bivalve mollusks cultivation in the northern Okhotsk Sea.

Key words: mussel, mya, macoma, growth rate, cultivation, polyculture, hanged cage, species ratio.

* Жарников Вячеслав Сергеевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: Izharnikov@mail.ru.

Zharnikov Vyacheslav S., Ph.D., researcher, Institute of Biological Problems of the North FEB RAS, 18, Portovaya Str., Magadan, 685000, Russia, e-mail: Izharnikov@mail.ru.

Введение

По оценкам ФАО ООН в период 2001–2018 гг. мировой объем искусственно выращенных водных животных рос в среднем на 5,3 % в год, а в 2030 г. увеличится еще на 32 %, что превысит показатели мирового рыболовства [<https://doi.org/10.4060/ca9229ru>]. В дальнейшем устойчивое развитие марикультуры зависит в основном от эффективности решения задач рационального природопользования в прибрежных регионах и внедрения мультитрофической аквакультуры, основанной на сбалансированном культивировании видов.

В последние годы наблюдается значительный рост публикаций о переходе к внедрению интегрированной поликультуры [Евдокимов, Евдокимов, 2002; Маслеников, 2007; Михайлова и др., 2014]. Переход к выращиванию морских организмов в поликультуре наблюдается во многих странах Юго-Восточной Азии, Западной Европы, Северной Америки, Новой Зеландии, Австралии и др. Практический опыт этих стран указывает на перспективность данного направления*. В связи с развитием поликультуры перед нами стояла задача определить возможность ее использования для подращивания литоральных двустворчатых моллюсков в северных условиях Охотского моря. Для этого необходимо подобрать виды моллюсков, которые могли бы совместно обитать на искусственном субстрате, при этом не испытывали конкуренции за пищевые ресурсы. Для проведения эксперимента по выращиванию моллюсков в поликультуре в Тауйской губе Охотского моря мы выбрали такие виды, чтобы продукты выделения одного усваивались другим, при этом рационально использовалось созданное искусственное пространство для взаимного существования видов. С этой целью мы использовали моллюска-фильтратора — тихоокеанскую мидию *Mytilus trossulus*, основной рацион питания которой состоит из фито-, зоопланктона [Жарников, 2017], и донных моллюсков дентритофагов — мию дальневосточную *Mya uzenensis* и макому балтийскую *Macoma balthica incospicua*, закапывающихся в грунт и питающихся мелкоалевритовым илом, диатомовыми, бурыми, зелеными водорослями и детритом [Бубнова, 1973; Бергер, 1986]. По нашему мнению, созданный симбиоз видов приведет к снижению конкуренции за пищу у тихоокеанской мидии, увеличению плотности и общей биомассы моллюсков в садке. Тихоокеанская мидия является активным планктонным фильтратором, продукты ее метаболизма — псевдофекалии — будут в садке усваиваться моллюсками-дентритофагами (мией дальневосточной и макомой балтийской). Таким образом, в контейнеры с мидиями дополнительно помещались другие виды двустворчатых моллюсков (*M. uzenensis* и *M. balthica incospicua*).

Цель эксперимента — определить оптимальное соотношение видов: мидий, мий и маком — в поликультуре в садках, при котором проявляются наилучшие результаты культивирования (увеличение скорости линейного роста, массы, уменьшение доли элиминации особей) в сравнении с данными, полученными при выращивании этих видов в монокультуре.

Материалы и методы

В бухте Веселой Тауйской губы Охотского моря с июня по октябрь 2020 г. проводились эксперименты на опытных образцах плавучих установок для оценки эффективности культивирования моллюсков в поликультуре (рис. 1).

Для эксперимента на акватории бухты в июне выставили две плавучие установки с садками. Плавучие установки состояли из наплавов с подвешенными к ним садками и имели вид длинных слегка изогнутых линий.

В июне 2020 г. садки с двустворчатыми моллюсками прикрепили к плавучим установкам. Садки-контейнеры находились на расстоянии 1,5–2,0 м друг от друга

* Объектно-ориентированная модель поликультуры «мидии–макрофиты» в прибрежной зоне Крыма // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 20. С. 220–225.

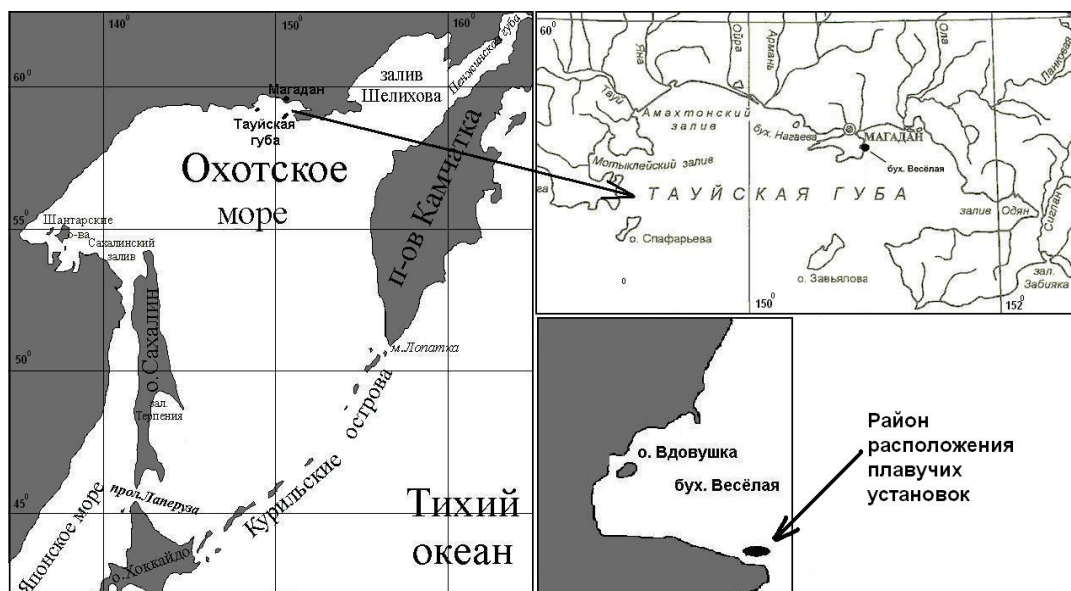


Рис. 1. Карта-схема района исследования в бухте Веселой Тауйской губы Охотского моря
Fig. 1. Scheme of the study area in the Veselaya Bay (Tauiskaya Guba, Okhotsk Sea)

между буйками вдоль плавучей установки. Для обеспечения сохранности моллюсков и контейнеров во время штормовых явлений их разместили на глубину от одного до полутора метров от поверхности воды (рис. 2).



Рис. 2. Опытные образцы плавучих установок, размещенных в бухте Веселой в районе мыса Восточного
Fig. 2. Prototype models of floating installations mounted at Cape Vostochny in the Veselaya Bay

Для проведения эксперимента на литорали нижнего горизонта производился сбор мидий, мий и маком. Предварительно измеренные и промаркированные мидии размерами 30–40 мм в возрасте 4 года, мии 60–70 мм (8–9 лет) и макомы 20–25 мм (6 лет) рассадили в 9 садков, где в каждом находилось 40 экз. мидий, 40 экз. маком и 15 экз. мий. В каждый садок были посажены дополнительно моллюски до достижения плотности 50 кг/м² с различным соотношением видов. Увеличение массы в садках достигалось подсадкой моллюсков того же вида и размера, что и промеренные особи. Таким образом, были сформированы три группы садков с различным соотношением массы каждого вида: мидии 30 %, мии 35, макомы 35 %; три группы садков в соотношении мидии 50 %, мии 25, макомы 25 %; три группы в соотношении мидии 70 %, мии 15, макомы 15 %. Всего в эксперименте было задействовано 360 экз. мидий, 360 экз. маком и 135 экз. мий. Суммарно в эксперименте использовали 855 экз. промаркированных моллюсков.

Небольшое количество мий, участвующих в эксперименте, объясняется сравнительно крупными размерами, большой массой одного среднего экземпляра (50–70 г) и невозможностью поместить их в количестве 40 экз. в садок с биомассой 50 кг/м². Все моллюски помещали в садки размерами 40 × 25 × 25 см.

В октябре садки, задействованные в эксперименте, были изъятые из воды, все ранее промаркированные мидии, мии и макомы вновь измерены и взвешены. В результате рассчитана величина приростов длины и массы особей. Кроме этого, оценена смертность трех видов моллюсков в садках (%).

Статистические сравнения проводили с помощью критерия Стьюдента и дисперсионного анализа. В тексте и на графиках в качестве показателя варьирования признака указана ошибка среднего.

Результаты и их обсуждение

Тихоокеанская мидия M. trossulus широко распространена во всех дальневосточных морях [Кафанов, 1991]. В Тайфской губе — массовый обитатель каменистых и смешанных грунтов литорали, имеет промысловое значение [Регель, 2005] и рассматривается как объект аквакультуры [Архипова, 1998; Жарников, 2015].

За период экспозиции (июнь–октябрь 2020 г.) плавучих установок с прикрепленными садками с различными видами моллюсков — мидии, мии и макомы в количественном соотношении 30 : 35 : 35; 50 : 25 : 25 и 70 : 15 : 15 — средняя величина линейных приростов мидий в первой и второй группе составила соответственно $7,4 \pm 0,3$ и $7,1 \pm 0,5$ мм. В садках, где доля мидий достигала 70 %, длина раковины особей увеличилась всего на $6,4 \pm 0,4$ мм (рис. 3, А). Статистические сравнения по критерию Стьюдента показали, что величина приростов длины раковины у мидий в садках, где их доля составляла 30 и 50 %, достоверно отличалась от приростов особей в садках с долей 70 % с уровнем значимости соответственно $t = 8,400$, $p < 0,001$ и $t = 7,280$, $p < 0,001$ (табл. 1). Следует отметить, что проведенные в бухте Веселой эксперименты в 2016 и 2020 гг. показали, что у тихоокеанских мидий размерами 30,1–40,0 мм в монокультуре за период июнь–октябрь прирост составил соответственно $5,6 \pm 0,3$ и $5,1 \pm 0,5$ мм [Жарников, Смирнов, 2020]. Таким образом, в поликультуре средняя величина приростов длины раковины мидий была на 14,3–45,0 % выше, чем в монокультуре.

Максимальные величины относительных приростов длины раковины отмечены у мидий в садках с соотношением видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25, где длина раковины мидий увеличилась соответственно на 20,8 и 20,0 %. Минимальные показатели приростов обнаружены у мидий в садках с соотношением видов 70 : 15 : 15 — 18 % (рис. 3, Б).

Приросты массы у мидий также отличались в зависимости от соотношения различных видов в садках. При соотношении видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 величина приростов за сезон составила соответственно $2,60 \pm 0,30$ и $2,30 \pm 0,19$ г. Минимальные показатели прироста массы ($1,6 \pm 0,2$ г) имели мидии в садках с соотношением

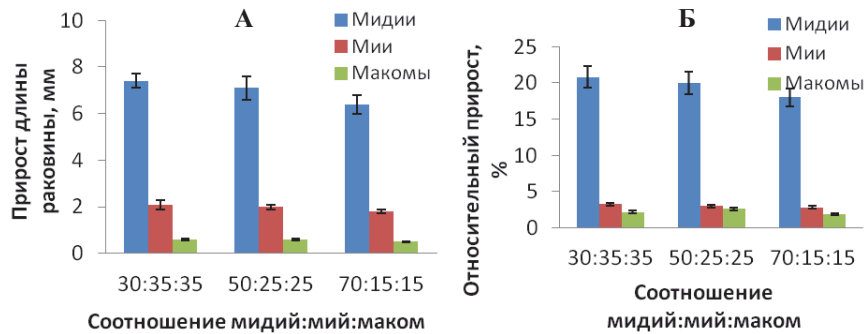


Рис. 3. Абсолютные (А) и относительные (Б) приросты длины мидий, мий и маком в садках с различным соотношением видов. Вертикальные линии — ошибка среднего

Fig. 3. Absolute (А) and relative (Б) gains in length of mussels, mya and macoma in cages with certain species ratio. Whiskers — error of average value

Таблица 1

Результаты сравнения по критерию Стьюдента абсолютных приростов длины раковины мидий, мий и маком в садках с различным соотношением видов

Table 1

Comparison of absolute increments of shell length for mussels, mya and macoma in cages with certain species ratio using Student's *t*-test

Соотношение мидий : мий : маком в садках	30 : 35 : 35	50 : 25 : 25
Мидии 30 : 35 : 35	—	$t = 0,089; p = 0,920$
Мидии 70 : 15 : 15	$t = 8,400; p < 0,001$	$t = 7,280; p < 0,001$
Мии 30 : 35 : 35	—	$t = 0,075; p = 0,060$
Мии 70 : 15 : 15	$t = 6,400; p < 0,001$	$t = 9,120; p < 0,001$
Макомы 30 : 35 : 35	—	$t = 0,071; p = 0,850$
Макомы 70 : 15 : 15	$t = 0,044; p = 0,074$	$t = 0,064; p = 0,090$

70 : 15 : 15, где моллюски занимали значительную часть всей массы в садке — 70 % (рис. 4). Эксперименты, проведенные в бухте Веселой в 2016 и 2020 гг. показали, что в монокультуре у мидии размерами 30,1–40,0 мм в садках показатели прироста массы составили 1,0–1,7 г [Жарников, Смирнов, 2020]. Таким образом, в поликультуре прирост массы мидий был на 35–160 % выше, чем в монокультуре.

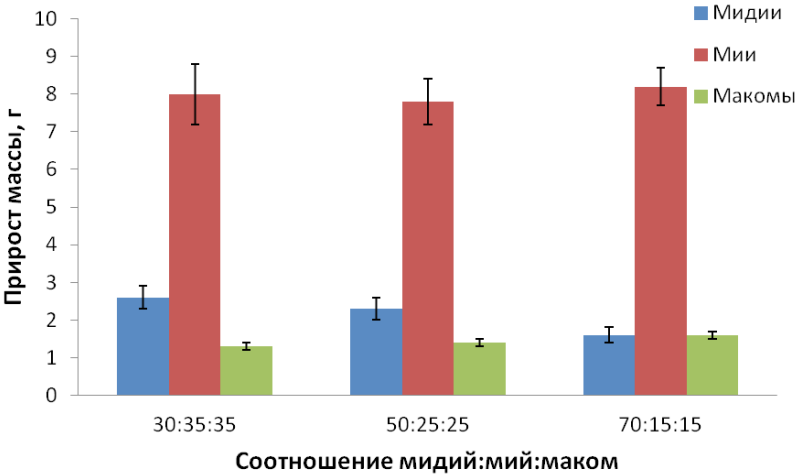


Рис. 4. Прирост массы мидий, мий и маком за сезон роста в садках с различным соотношением видов. Вертикальные линии — ошибка среднего

Fig. 4. Weight increments of mussels, mya and macoma in cages with certain species ratio. Whiskers — error of average value

Статистическое сравнение показало, что величина прироста массы у мидий при соотношении видов 70 : 15 : 15 достоверно отличалась от прироста в садках с другими пропорциями — 30 : 35 : 35 ($t = 8,590$; $p < 0,001$) и 50 : 25 : 25 ($t = 2,210$; $p = 0,020$), используемых в эксперименте. В случаях с пропорциями 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 ($t = 0,079$; $p = 0,08$) величина прироста достоверных отличий не имела (табл. 2).

Таблица 2

Результаты сравнения по критерию Стьюдента приростов массы у мидий, мий и маком в садках с различным соотношением видов

Table 2

Comparison of weight increments of mussels, mya and macoma in cages with certain species ratio using Student's *t*-test

Соотношение мидий : мий : маком в садках	30 : 35 : 35	50 : 25 : 25
Мидии 30 : 35 : 35	—	$t = 0,071$; $p = 0,850$
Мидии 70 : 15 : 15	$t = 8,590$; $p < 0,001$	$t = 0,065$; $p = 0,020$
Мии 30 : 35 : 35	—	$t = 0,079$; $p = 0,080$
Мии 70 : 15 : 15	$t = 0,080$; $p = 0,900$	$t = 0,071$; $p = 0,850$
Макомы 30 : 35 : 35	—	$t = 0,077$; $p = 0,070$
Макомы 70 : 15 : 15	$t = 7,400$; $p < 0,001$	$t = 0,075$; $p = 0,770$

Мия дальневосточная *M. uzenensis* широко распространена в дальневосточных морях от Приморья до Берингова пролива. В Тауйской губе — обычный массовый вид [Регель, 2005]. В северной части Охотского моря является перспективным видом для промысла [Жарников, 2020].

Величина линейных приростов длины раковины мий менялась в зависимости от различного соотношения массы видов (мидий, мий и маком) в садках. За пять месяцев экспозиции моллюсков на плавучих установках при соотношении видов в пропорции 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 длина раковины мии увеличилась соответственно на $2,1 \pm 0,2$ и $2,0 \pm 0,1$ мм. Минимальные приросты ($1,9 \pm 0,1$ мм) у мии отмечены при соотношении видов 70 : 15 : 15 в поликультуре, где мий было всего 15 %. Однако статистический анализ показал, что абсолютные показатели приростов длины раковины мий с различным соотношением видов (30 : 35 : 35; 50 : 25 : 25; 70 : 15 : 15), где их масса в садках составила 35 %, 25 и 15 %, не имели достоверных различий (см. рис. 3, А, табл. 1). Подобные показатели прироста длины ($1,9 \pm 0,2$ мм) раковины мий отмечены и в монокультуре.

Относительные линейные приросты мий в садках с соотношением видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 составили соответственно $3,3 \pm 0,2$ и $3,0 \pm 0,2$ %. Низкие показатели относительных линейных приростов — $2,9 \pm 0,3$ % — были в садках при соотношении видов 70 : 15 : 15 (рис. 3, Б).

Мия не отличалась хорошим линейным ростом, однако показатели приростов массы были наиболее высокими по сравнению с другими видами моллюсков. В садках при соотношении видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 прирост массы составил $8,0 \pm 0,8$ и $7,8 \pm 0,6$ г, а при 70 : 15 : 15 — $8,2 \pm 0,5$ г. Статистические данные по критерию Стьюдента не выявили различия по величине приростов массы с различным соотношением видов в садках (табл. 2). По данным экспериментов в 2020 г. прирост массы в монокультуре у мий составил $4,8 \pm 0,4$ г. Таким образом, в поликультуре масса раковины мии увеличилась за сезон роста на 62,5–70,8 % по сравнению с массой моллюска в монокультуре.

Макома балтийская *M. balthica inconspiqua*. Подвид распространен от северной части Японского до Чукотского моря, от литорали до глубины 40 м [Кафанов, 1991]. Один из фоновых обитателей песчаной и илисто-песчаной литорали Тауйской губы, потенциальный промысловый объект [Болотин, 2001] и может использоваться в пищевых целях [Жарников, Смирнов, 2019].

Макома отличалась от мидий и мий наиболее низким линейным приростом. Вероятно, у маком размерами 20–25 мм в возрасте 6 лет и более (максимальный возраст моллюсков, встречающихся на литорали Тауйской губы, 13 лет) существенно замедляется линейный рост, поэтому увеличить скорость роста даже в специально созданных наиболее благоприятных условиях обитания на плавучих установках (в садках с мидиями и миями) не удастся. В результате при соотношении видов в садке 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25, где их находилось 35 и 25 %, абсолютная величина прироста длины раковины макомы составила 0,6 мм. При соотношении 70 : 15 : 15 (15 %) показатель прироста был еще ниже — $0,50 \pm 0,03$ мм (рис. 3, А). Приросты длины раковины макомы в монокультуре не отличались от таковых в поликультуре и составили $0,60 \pm 0,05$ мм.

Подобные показатели получены при исследовании относительного роста маком. В садках, где находилось 35 и 25 % маком (30 : 35 : 35; 50 : 25 : 25), относительный линейный прирост составил 2,2 % в обоих случаях. Низкие показатели прироста отмечены в садках, где маком было 15 % (70 : 15 : 15), относительный прирост составил $2,0 \pm 0,1$ % (рис. 3, Б).

Среди моллюсков, участвующих в эксперименте, макома имела самые низкие приросты массы. Так, при соотношении видов в садках 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 приросты массы составили $1,3 \pm 0,1$ и $1,4 \pm 0,1$ г. Максимальные показатели приростов массы ($1,6 \pm 0,1$ г) отмечены у макомы в садке с соотношением видов 70 : 15 : 15, когда их было всего 15 % (рис. 4). В монокультуре прирост массы составил всего $0,7 \pm 0,1$ г. Таким образом, прирост массы в поликультуре был на 85,7–128,5 % выше, чем в монокультуре.

Статистическое сравнение по критерию Стьюдента не выявило отличий в абсолютных и относительных приростах массы маком (табл. 1). Так, при соотношении различных видов в садках 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25, где макомы составляли 35 и 25 % от общей массы, величина приростов массы составила соответственно $1,3 \pm 0,1$ и $1,4 \pm 0,1$ г. Максимальные показатели приростов массы маком ($1,6 \pm 0,1$ г) наблюдались при соотношении видов 70 : 15 : 15, когда их было в садках всего 15 % (рис. 4). Вероятно, мидии, являясь более активными фильтраторами, в садке в соотношении (70 : 15 : 15) выделяли больше псевдофекалий, что повлияло на повышение уровня органического вещества и положительно отразилось на массе макомы, питающейся в основном мертвой органикой (детритом).

К концу эксперимента наибольшая элиминация моллюсков была отмечена в садках с соотношением видов 70 : 15 : 15, где преобладали мидии (70 %). Смертность здесь составила у мидий 8,8 %, мий — 4,9 и маком — 2,1 % (рис. 5). Минимальная смертность отмечена в садках, где соотношение видов по массе более равномерно распределено среди моллюсков (30 : 35 : 35). Смертность составила у мидий 7,5 %, мий 4,1 и маком 1,7 %. Доля смертности в садках с соотношением видов 30 : 35 : 35 и 70 : 15 : 15 достоверно различалась только у мидий. На мий и маком доля соотношения разных видов достоверно не оказывала никакого влияния (табл. 3).

Таким образом, проведенный эксперимент выявил зависимость элиминации мидий, мий и маком от количественного соотношения по массе в садках. Полученные данные о приростах моллюсков показали, что соотношения видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 стали наиболее оптимальными, при этом смертность моллюсков в эксперименте была минимальной, в то же время у мий и маком соотношение видов в садках не оказывало никакого влияния на смертность (табл. 3).

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что при загрузке садка плотностью 50 кг/м² оптимальное соотношение видов мидий, мий и маком должно быть равно 30 : 35 : 35 или 50 : 25 : 25. В садках, где присутствует большое количество мидий (70 : 15 : 15), приросты длины раковины у всех моллюсков имели минимальные значения. Вероятно, мидии являются более активными фильтраторами и потребляют большое количество пищи, в результате проявляется внутривидовая конкуренция. Разница в приростах длины у мий размерами 60–70 мм и маком длиной 20–25 мм статистически не различалась из-за низкой линейной скорости роста ра-

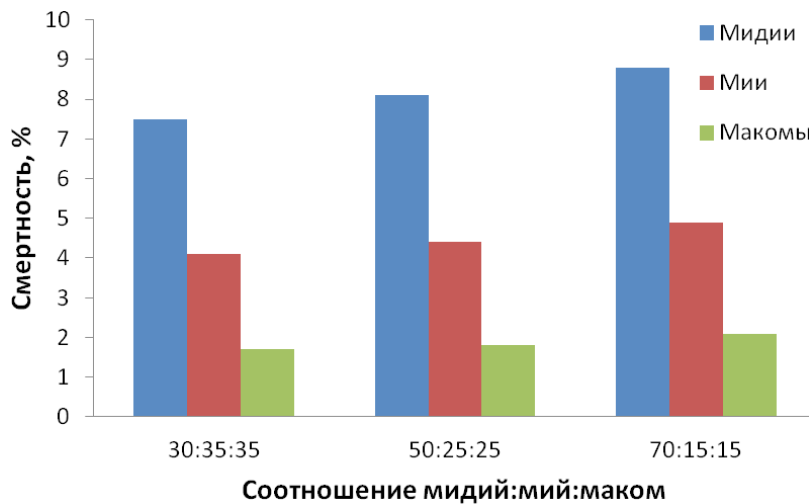


Рис. 5. Смертность двустворчатых моллюсков в садках с разным соотношением видов в поликультуре, %

Fig. 5. Death rate of bivalve mollusks in cages with certain species ratio, %

Таблица 3

Дисперсионный анализ сравнения (%) смертности мидий, мий и маком в садках с различным соотношением видов

Table 3

Dispersion analysis of death rate (%) for mussels, mya and macoma in cages with certain ratio of species

Соотношение мидий : мий : маком в садках	30 : 35 : 35	50 : 25 : 25
Мидии 30 : 35 : 35	–	p = 0,63
Мидии 70 : 15 : 15	p < 0,05	p = 0,03
Мии 30 : 35 : 35	–	p = 0,74
Мии 70 : 15 : 15	p = 0,06	p = 0,55
Макомы 30 : 35 : 35	–	p = 0,71
Макомы 70 : 15 : 15	p = 0,06	p = 0,52

ковин. У моллюсков в возрасте 6–7 лет происходит снижение скорости роста, как на литорали, так и в садках, поэтому статистически у мий и маком разница в величине приростов длины раковины в эксперименте не имела достоверных различий. Однако у маком прирост массы в садках при соотношении 70 : 15 : 15 был достоверно выше, чем в садках 30 : 35 : 35, с уровнем значимости $t = 7,40$, $p < 0,001$.

Несмотря на затяжной нерест моллюсков с июня по август в Тауйской губе, эксперимент показал возможность существенного увеличения массы мягких тканей у двустворчатых моллюсков, помещенных в условия подвесной культуры и стабильного сохранения весовых характеристик вне зависимости от сезонов года. Подобные данные были получены в прибрежной части Белого моря, когда в связи с выметом половых продуктов в июле-августе снижаются весовые характеристики мягких тканей мидий, но это полностью компенсируется за счет достаточного количества пищи в сентябре, когда масса мягких тканей моллюсков в условиях плантации возрастает в 2 раза по сравнению с литоралью [Федоров, 1987].

Анализ данных по приростам массы с учетом смертности различных видов (мидий, мий и маком) показал, как масса моллюсков в садках на плавучих установках (в соотношении 30 : 35 : 35; 50 : 25 : 25; 70 : 15 : 15) увеличивается в поликультуре у мидий на 36,08 % и в монокультуре на 8,80 %, у мий — на 11,37 и 4,76, а у макомы — на 73,57 и 16,80 % (табл. 4).

Таблица 4

Прирост общей массы моллюсков с учетом смертности за сезон роста

Table 4

Seasonal income of the total weight of cultivated mollusks, taking into account the losses for mortality

Вид моллюска	Условия содержания (поли — монокультура)	Масса до экспер., г	Масса после экспер., г	Смертность, %	Прирост массы моллюсков с учетом смертности, %
Мидии	30,1–4,0 мм (поли-)	5,00 ± 0,14	7,16 ± 0,19	8,13	36,08
	30,1–4,0 мм (моно-)	5,10 ± 0,10	6,10 ± 0,16	10,80	8,80
Мии	60,1–7,0 мм (поли-)	51,50 ± 1,80	59,43 ± 2,0	4,46	11,37
	60,1–7,0 мм (моно-)	51,80 ± 1,90	56,60 ± 2,30	4,50	4,76
Макомы	25,1–3,0 мм (поли-)	4,20 ± 0,06	5,60 ± 0,07	1,86	73,57
	25,1–3,0 мм (моно-)	4,10 ± 0,07	4,90 ± 0,09	2,70	16,80

Заключение

Экспериментальные исследования по культивированию двустворчатых моллюсков в поликультуре выявили, что в бухте Веселой при соотношении массы мидий, мий и маком 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 в садках за один сезон роста (июнь-октябрь) масса моллюсков увеличилась с учетом естественной смертности у мидий в среднем на 42,19 %, мий — 11,39 и у макомы — 69,30 %. При соотношении видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 величина линейного прироста раковины мидий составила соответственно $7,4 \pm 0,3$ и $7,1 \pm 0,5$ мм, а прирост массы особей — $2,60 \pm 0,30$ и $2,30 \pm 0,19$ г. В целом прирост длины раковины мидий в поликультуре был на 42 %, прирост массы (с учетом смертности) на 27,28 % выше, чем в монокультуре.

На величину приростов длины раковины мий и маком соотношение видов в садках не оказывало достоверного влияния. Однако при соотношении 70 : 15 : 15 показатели приростов массы у маком выше ($1,6 \pm 0,1$ г), чем в садках с пропорцией 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 — соответственно $1,3 \pm 0,1$ и $1,4 \pm 0,1$ г. Прирост длины раковины в монокультуре у мий составил $1,90 \pm 0,20$ мм, у маком — $0,60 \pm 0,05$ мм и не отличался от роста моллюсков в поликультуре (мии — $2,0 \pm 0,10$; макомы — $0,60 \pm 0,03$ мм). Среди исследуемых моллюсков в поликультуре у мий отмечался самый высокий показатель прироста массы ($8,0 \pm 0,63$ г), он был значительно выше, чем в монокультуре ($4,80 \pm 0,40$ г).

Макома отличалась от мидий и мий низким набором массы как в поликультуре ($1,4 \pm 0,1$), так и в монокультуре ($0,7 \pm 0,1$ г). Наиболее низкая смертность отмечалась у маком (1,7–2,1 %). Вероятно, способность маком обитать в экстремальных условиях на песчаных осушках в устьях рек, где они испытывают межсезонную и суточную динамику температуры воды и изменение солености во время приливо-отливных течений, благоприятно отразилась на хорошей выживаемости в поли- и монокультуре на плавучих установках.

Таким образом, для организации выращивания двустворчатых моллюсков в поликультуре в бухте Веселой Тауйской губы с применением опытных плавучих установок с садками для марикультуры необходимо учитывать оптимальное соотношение различных видов при загрузке садков.

Рекомендуемая пропорция массы мидий, мий и маком должна составлять 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25. При посадке моллюсков в садок размером 40 x 25 x 25 см с биомассой 50 кг/м² (5 кг/садок) в пропорции 30 : 35 : 35 (1,50 : 1,75 : 1,75 кг) и 50 : 25 : 25 (2,50 : 1,25 : 1,25 кг) получим в конце сезона роста соответственно мидий 2,18 и 3,47 кг, мий 1,95 и 1,38 кг и маком 2,91 и 2,14 кг. Итого 7,04 и 6,99 кг моллюсков в садке. Культивирование мидий, мий и маком в Тауйской губе Охотского моря рекомендуем начинать в начале июня. Установку с мидиями, миями и макомами необходимо размещать на расстоянии 50 м от берега моря при глубине не менее 10 м для предотвращения

засорения двустворчатых моллюсков во время шторма инородными примесями и возможности подтопления плавучих установок на зиму. Применяя оригинальный метод культивирования моллюсков в поликультуре, вовлекаем в хозяйственный оборот неиспользуемые биологические ресурсы литоральных двустворчатых моллюсков Охотского моря. Благодаря оптимальному соотношению видов моллюсков можно получить мидий, мий и маком товарного размера и массы за один сезон роста. Двустворчатые моллюски приобретут товарные качества благодаря очищению от инородных примесей (ил, песок) и увеличению массы мягких тканей на 14,3–128,0 % в сравнении с моллюсками таких же размеров, выращенными в монокультуре.

Благодарности

Автор выражает благодарность за ценные советы, рекомендации и конструктивные замечания сотруднику ВНИРО доктору биологических наук А.А. Смирнову.

Финансирование работы

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «СТАРТ».

Соблюдение этических стандартов

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

Список литературы

- Архипова Е.А.** Экология и гаметогенез тихоокеанской мидии в некоторых районах северо-западной Пацифики : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 1998. — 25 с.
- Бергер В.Я.** Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды : моногр. — Л.: Наука, 1986. — 216 с. (Исслед. фауны морей, Т. 32.)
- Болотин И.А.** Особенности распределения и оценка запасов доминирующих видов двустворчатых моллюсков в литоральной зоне Тауйской губы // Состояние рыбохозяйственных исследований в бассейне северной части Охотского моря : сб. науч. тр. — Магадан : Магадан-НИРО, 2001. — Вып. 1. — С. 247–254.
- Бубнова Н.П.** Питание *Macoma baltica* (L.) и *Portlandia arctica* (Gray) и их роль в преобразовании органического вещества осадков : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1973. — 24 с.
- Евдокимов В.В., Евдокимов А.В.** Взаимодействие гидробионтов в поликультуре при воспроизводстве в контролируемых условиях // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 131. — С. 373–380.
- Жарников В.С.** Влияние условий среды на пространственное распределение *Mya uzenensis* (Bivalvia: Myidae) в разных районах Тауйской губы Охотского моря // Вестн. КамчатГТУ. — 2020. — № 51. — С. 99–107. DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-99-107.
- Жарников В.С.** Особенности биологии и культивирования тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) в Тауйской губе Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2015. — 24 с.
- Жарников В.С.** Питание мидии *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) на литорали бухты Веселая Тауйской губы Охотского моря // Вопр. рыб-ва. — 2017. — Т. 18, № 1. — С. 120–125.
- Жарников В.С., Смирнов А.А.** Культивирование тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) в моно- и поликультуре в северной части Охотского моря // Рыб. хоз-во. — 2020. — № 6. — С. 108–110. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-6-108-110.
- Жарников В.С., Смирнов А.А.** Макома *Macoma balthica incospicua* (Bivalvia: Tellinidae) — перспективный промысловый вид в северной части Охотского моря // Рыб. хоз-во. — 2019. — № 6. — С. 38–44.
- Кафанов А.И.** Двустворчатые моллюски шельфов и континентального склона северной Пацифики : аннотированный указатель. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. — 200 с.
- Маслеников С.И.** Марикультура в России // Наука в России. — 2007. — № 2. — С. 36–39.
- Михайлова Т.А., Малавенда С.С., Халаман В.В.** Видовой состав водорослей на коллекторах для выращивания мидий в Белом море // Вестн. МГТУ. — 2014. — Т. 17, № 1. — С. 157–164.

Регель К.В. Морские и солоноватоводные беспозвоночные Тауйской губы Охотского моря // Биологическое разнообразие Тауйской губы Охотского моря. — Владивосток : Даль-наука, 2005. — С. 479–544.

Федоров А.Ф. Продукционные возможности мидии (*Mytilus edulis* L.) в марикультуре Мурмана : моногр. — Апатиты : Кф. АН СССР, 1987. — 102 с.

References

Arkhipova, E.A., Ecology and gametogenesis of the Pacific mussel in some areas of the north-western Pacific, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 1998.

Berger, V.Ya., *Issledovaniya fauny morei. T. 32: Adaptatsii morskikh mollyuskov k izmeneniyam solenosti sredy* (Explorations of the Fauna of the Seas, vol. 32: Adaptation of marine molluscs to changes in salinity of the environment), St. Petersburg: Nauka, 1986.

Bolotin, I.A., Peculiarities of the distribution and estimation of the reserves of the dominant species of bivalve mollusks in the littoral zone of the Tauisk Bay, in *Sostoyanie rybokhozyaistvennykh issledovaniy v basseine severnoi chasti Okhotskogo morya* (The Status of Fisheries Research in the Northern Sea of Okhotsk), Magadan: MagadanNIRO, 2001, no. 1, pp. 247–254.

Bubnova, N.P., Nutrition of *Masota baltica* (L.) and *Portlandia arctica* (Gray) and their role in the transformation of organic matter in sediments, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow, 1973.

Evdokimov, V.V. and Evdokimov, A.V., Interaction of hydrobionts in polyculture during reproduction under controlled conditions, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 131, pp. 373–380.

Zharnikov, V.S., Environmental conditions influence on spatial distribution of *Mya uzenensis* (Bivalvia: Myidae) in various areas of Taui Bay, the sea of Okhotsk, *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2020, no. 51, pp. 99–107. doi 10.17217/2079-0333-2020-51-99-107

Zharnikov, V.S., Features of biology and cultivation of the Pacific mussel *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) in Taui Bay, Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2015.

Zharnikov, V.S., A feed of mussel *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) on littoral zone Veselaya BAY Taui Gulf the Sea of Okhotsk, *Vopr. Rybolov.*, 2017, vol. 18, no. 1, pp. 120–125

Zharnikov, V.S. and Smirnov, A.A., Cultivation of the pacific mussel *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) in mono-and polyculture in the northern part of the Sea of Okhotsk, *Rybn. Khoz.*, 2020, no. 6, pp. 108–110. doi 10.37663/0131-6184-2020-6-108-110

Zharnikov, V.S. and Smirnov, A.A., *Macoma balthica* incospicua (Bivalvia: Tellinidae) as a promising trade species in the northern part of the Sea of Okhotsk, *Rybn. Khoz.*, 2019, no. 6, pp. 38–44.

Kafanov, A.I., *Dvustvorchatyye mollyuski shel'fov i kontinental'nogo sklona severnoy Patsifiki: annotirovannyi ukazatel'* (Bivalve mollusks on the shelf and continental slope of the North Pacific: annotated index), Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1991.

Maslenikov, S.I., Mariculture in Russia, *Nauka v Rossii*, 2007, no. 2, pp. 36–39.

Mikhailova, T.A., Malavenda, S.S., and Khalaman, V.V., Species composition of macroalgae in mussel culture farms in the White Sea, *Vestn. Murm. Gos. Tekh. Univ.*, 2014, vol. 17, no. 1, pp. 157–164.

Regel, K.V., Marine and brackish-water invertebrates of the Tauiskaya Bay of the Sea of Okhotsk, in *Biologicheskoye raznoobrazie Tauyskoy guby Okhotskogo morya* (Biological diversity of the Taui Bay of the Sea of Okhotsk), Vladivostok: Dal'nauka, 2005, pp. 479–544.

Fedorov, A.F., Production capabilities of mussels (*Mytilus edulis* L.) in Murman mariculture, Apatity: Kol'sk. Fil. Akad. Nauk SSSR, 1987.

Object-oriented model of polyculture “mussels-macrophytes” in the coastal zone of the Crimea, *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy*, Sevastopol': EKOSI-Gidrofizika, 2014, no. 20, pp. 220–225.

Поступила в редакцию 25.10.2021 г.

После доработки 12.11.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.