

DOI: 10.24143/2073-5529-2020-1-118-130
УДК 639.3.043.2:639.4/5

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МОРСКОГО ЗООПЛАНКТОНА В ПОЛИКУЛЬТУРЕ

Н. В. Новоселова¹, Н. А. Каниева²

¹ Керченский отдел Азово-Черноморского филиала
Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии,
Керчь, Российская Федерация

² Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация

Представлены результаты совместного культивирования морских и солоноватоводных организмов, полученные в экспериментально-производственном центре «Заветное» (Керченский пролив) за период 2014–2019 гг. Материалом для исследований служили инфузории *Euplotes charon* (Müller, 1786) и *Mesodinium pulex* (Claparede, 1858); коловратки *Brachionus plicatilis* (O. F. Müller, 1786) и *Br. urceus* (Linnaeus, 1758); кладоцера *Moina brachiata* (Jurine, 1820); копеподы *Diaptomus salinus* (Daday, 1885) и *Tisbe furcata* (Baird, 1837). Зоопланктон культивировали накопительными (культивирование партиями) и полунепрерывными способами. Кормом для зоопланктона в опытных емкостях и пруду служила питательная смесь, в контрольных – дрожжи. Установлено, что внесение питательной смеси способствует созданию трофической цепочки «питательная смесь – микрозоопланктон – фитопланктон – мезозоопланктон». В результате каждый вид находит собственную пищу и не выступает конкурентом в питании для других видов зоопланктонных организмов. При совместном культивировании получали от 30 до 500 г сырой биомассы зоопланктона в сутки с 1 м³ водной среды. Совместное культивирование различных организмов зоопланктона с применением в качестве корма для них питательных смесей позволяет создавать благоприятную микробиоту водной среды. Водная среда при выращивании зоопланктонных организмов имела стабильные гидрохимические показатели. Получаемую сырую биомассу зоопланктонных организмов использовали для кормления личинок и молоди кефалевых и камбаловых рыб.

Ключевые слова: живой корм, зоопланктон, питательная смесь, культивирование, микроводоросли, совместное выращивание, бактерии, водная среда.

Для цитирования: Новоселова Н. В., Каниева Н. А. Культивирование морского зоопланктона в поликультуре // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 1. С. 118–130. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-1-118-130.

Введение

Разработанные и используемые в производстве живых кормов способы культивирования зоопланктонных организмов рассчитаны на выращивание одного продуктивного вида, и пищей для зоопланктона служат микроводоросли и дрожжи. Основными методами выращивания живых кормов являются накопительный (культивирование партиями) и проточный.

При накопительном методе культивирования на водорослевом корме на дне емкостей, наряду с экскрементами планктеров, оседает большое количество водорослей. В случае длительного нахождения в культуральной емкости образующийся детрит является субстратом для развития бактерий и вселения простейших. Последние часто приводят к гибели культуры. В проточных культурах – другая проблема: большое количество водорослей проходит через культиватор неиспользованным. Обязательным условием «правильного» культивирования считается сохранение «чистоты» культуры. При засорении культуры другими видами (вселенцами) либо производят перезарядку культуры, либо борются с ними химическими или механическими методами с использованием определенной технологии. Борются с вселенцами необходимо, т. к. обычно они являются либо хищниками по отношению к культивируемому виду, либо конкурентами в питании. Между гидробионтами, населяющими один и тот же биотоп и относящиеся к одному трофическому уровню, возможны конкурентные или нейтральные отношения.

Две популяции могут либо влиять, либо не влиять друг на друга; если влияние есть, оно может быть благоприятным или неблагоприятным. Совместное культивирование животных одного трофического уровня возможно в том случае, когда спектры их питания расходятся и они используют разные кормовые ресурсы; если кормовые ресурсы схожие, гидробионты должны занимать разные экологические ниши обитания [1–5].

В современный период ведутся разработки совместного выращивания копепод и коловраток, копепод и кладоцер. Считается, что культивирование организмов в поликультуре способствует созданию более стабильной микробиоты среды и более полному потреблению кормового рациона выращиваемых организмов. Сокращение цепи питания и создание поликультуры особей экологически различных видов кормовых беспозвоночных, не конкурирующих за пищу, возможно, позволит решить проблему эффективности использования пищи в массовых культурах. Уровень бактериального загрязнения живых кормов определяет длительность их культивирования и действие питательных сред, применяемых для повышения их питательной ценности [6].

Задачей представляемой работы было создание совместных культур разноразмерных особей, не конкурирующих за пищу и с различной экологической доступностью для личинок кефалевых и камбаловых видов рыб Черноморского региона. Такими поликультурами могут быть культуры инфузорий и коловраток; копепод и кладоцер; копепод, кладоцер и коловраток.

Материал и методы исследований

Работа выполнена в условиях экспериментально-производственного центра на научно-исследовательской базе (НИБ) «Заветное». Комплекс расположен на берегу Керченского пролива в 30 км от г. Керчи, на площади 3 га. На базе функционирует питомник по получению жизнестойкой молоди камбаловых и кефалевых рыб. Для культивирования зоопланктонных организмов использовали стеклопластиковые емкости объемом от 100 дм³ до 16 м³ и солоноватоводные земляные пруды площадью 0,01 га.

Зоопланктон культивировали накопительными (культивирование партиями) и полунепрерывными способами. На дно бассейнов и прудов распределяли пористые структуры в количестве 5–7 кг/м². Они исполняют роль механического фильтра и способствуют увеличению биомассы бактериопланктона для питания культивируемых организмов. Использовали коралловый и ракушечные пески и фракции крупной ракушки (структурные прибрежные выбросы), выложенные на дно выростных емкостей и прудов. Кормом для зоопланктона в опытных емкостях и пруду служила питательная смесь (натрий азотнокислый NaNO₃ или мочевины (карбамид); крахмал картофельный, амилодекстрин, (C₆H₁₀O₅)_n; кормовые витамины группы В; глюкоза C₆H₁₂O₆ или Д-маннит, мальтоза, фруктоза, сахароза; аминокислоты: метионин кормовой и лизин кормовой; конский навоз, сено, сухая банановая кожура; половина сырого куриного желтка, эмульгированного с 1 мл кукурузного масла и 5 мл коровьего молока). В бассейнах смесь начинали применять за 20 суток до внесения маточной культуры. В контрольных емкостях и пруду в качестве корма для организмов применяли растворы кормовых и пивных дрожжей в количестве 10–20 г/м³ (одноразово в 3–4 дня). Продолжительность культивирования зоопланктонных организмов в поликультуре составляла от 25 до 50 суток.

Материалом для исследований служили инфузории *Euplotes charon* Müller, 1786 и *Mesodinium pulex* Claparede, 1858; коловратки *Brachionus plicatilis* O. F. Müller, 1786, и *Br. urceus* Linne, 1758; кладоцера *Moina brachiata* Jurine, 1820; копеподы *Diatomus salinus* Daday, 1885, и *Tisbe furcata* Baird, 1837. Все виды культивируемых организмов – эвригалинные и эвритермные, свободноживущие. В качестве питания используют микроводоросли, бактерии и различные простейшие организмы, а также способны всасывать растворенные органические и биоактивные вещества всей поверхностью тела.

Пробы зоопланктона отбирали и обрабатывали согласно стандартным методикам [7, 8].

Получаемую сырую биомассу зоопланктонных организмов использовали для кормления личинок и молоди морских рыб. Внесение маточной культуры – в первые сутки выращивания.

Интервалы средних гидрохимических показателей водной среды при массовом культивировании зоопланктона в поликультуре приведены в табл. 1.

Таблица 1

Гидрохимические показатели водной среды при культивировании зоопланктона

Гидрохимический показатель	Значение
Температура, °С	8–20
Соленость, ‰	16–18
Содержание растворимого в воде кислорода, мг/л	5–8
Водородный показатель, pH	8,1–8,3
Содержание общего аммонийного азота, мкг·ат/л	3–7
Содержание нитритного азота, мкг·ат/л	2–6
Содержание нитратного азота, мкг·ат/л	2–7

Нормы и периодичность внесения ингредиентов для приготовления питательной смеси при культивировании зоопланктона на 1 м³ водной среды приведены в табл. 2.

Таблица 2

Нормы и периодичность внесения ингредиентов (питательная смесь) на 1 м³ водной среды для культивирования

Ингредиент	Норма	Периодичность внесения
Натрий азотнокислый NaNO ₃ или мочеви́на (карбамид), г	20	Все составляющие ингредиенты вносят в морскую воду, настаивают не менее 5 сут. Полученную смесь процеживают, первую порцию смеси вносят за 20 сут до внесения маточной культуры планктона, далее один раз в 5 сут в емкости и пруды из расчета 0,1–0,2 л на 1 м ³ водной среды
Крахмал картофельный, амилодекстрин, (C ₆ H ₁₀ O ₅) _n , г	5	
Кормовые витамины группы В, г	0,5–1	
Глюкоза – C ₆ H ₁₂ O ₆ или: Д-маннит, мальтоза, фруктоза, сахароза, г	5–10	
Аминокислоты: метионин кормовой и лизин кормовой, мг	по 10 мг	
Конский навоз, кг; сено, сухая банановая кожура, кг	0,1 0,1–0,2	
Половина сырого куриного желтка, эмульгированного с 1 мл кукурузного масла и 5 мл коровьего молока, мл	2	

Результаты исследований

Совместное культивирование инфузорий и коловраток. Инфузории и коловратки обладают высокой скоростью размножения, способны выдерживать большие плотности при культивировании, имеют небольшие размеры, – все это делает коловраток и инфузорий идеальным стартовым кормом для личинок подавляющего большинства морских рыб.

Известно, что рацион питания коловраток влияет на рост и скорость их размножения, причем наилучшие результаты дает рацион из пекарских дрожжей, хлореллы и фотосинтезирующих бактерий. А определенные штаммы бактерий могут использоваться в качестве пищи для *B. plicatilis* и для улучшения скорости их роста. Инфузории р. *Euplotes* и р. *Mesodinium* не относятся к видам, которые питаются патогенными бактериями и могут культивироваться в поликультуре с коловраткой [9, 10].

Проведено совместное культивирование инфузорий и коловраток.

На рис. 1. приведены усредненные результаты культивирования инфузорий *E. charon* и коловраток *Br. plicatilis*.

Первоначальная плотность организмов в бассейне после «засева» маточной культурой составляла у инфузорий 2–3 экз./мл, у коловраток 0,1–0,2 экз./мл.

До внесения смеси плотность фитопланктона в ранневесенний период в Керченском проливе не превышает 0,5–2 млн кл./л при температуре водной среды от 8 до 14 °С. После 6–7-кратного внесения питательной смеси численность микроводорослей в бассейнах обычно возрастает с 2 ± 0,3 до 60 ± 2,4 млн кл./мл и на 20-е сутки выращивания достигает 120 ± 6,7 млн кл./мл. Водная среда соответственно изменяет цветовой спектр от буроватого к светло-зеленому, затем к зеленому, потому что в начале культивирования преобладают диатомовые водоросли (до 80 %), основные виды: *Thalassiosira lacustris*, *Skeletonema costatum*, *Navicula radiosa*, *Coscinodiscus radiatum*, *Chaetoceros proctors*, *Prorocentrum micans*. Затем, несмотря на низкую температуру водной среды (8–14 °С), происходит смена количественного и качественного состава водорослей. Доминирующими становятся зеленые водоросли, основные виды: *Chlorella vulgaris*, *Platymonas sp.*, *Chlamidomonas pertusa*, *Cosmarium sp.*, *Cladophora glomerata* – 40 % – и диатомовые – 40 %; у сине-зеленых основными видами являются *Microcystis flos-aquae*, *Oscillatoria amphibia*, их доля

обычно составляет 10 % от общего количества микроводорослей. Массовое увеличение плотности кормовых культур в бассейнах происходит в среднем на 15–17-е сутки выращивания – численность инфузорий составляет в среднем $3\,280 \pm 130$ экз./мл, а коловраток – 216 ± 10 экз./мл. Максимальной плотности поликультура зоопланктонных организмов достигает обычно на 25–30-е сутки культивирования. Плотность инфузорий может составлять более $22\,000 \pm 540$ экз./мл, коловраток – 900 ± 30 экз./мл. Питательную смесь обычно не вносили с 25 суток, и через 5–6 суток плотность организмов начинала уменьшаться.

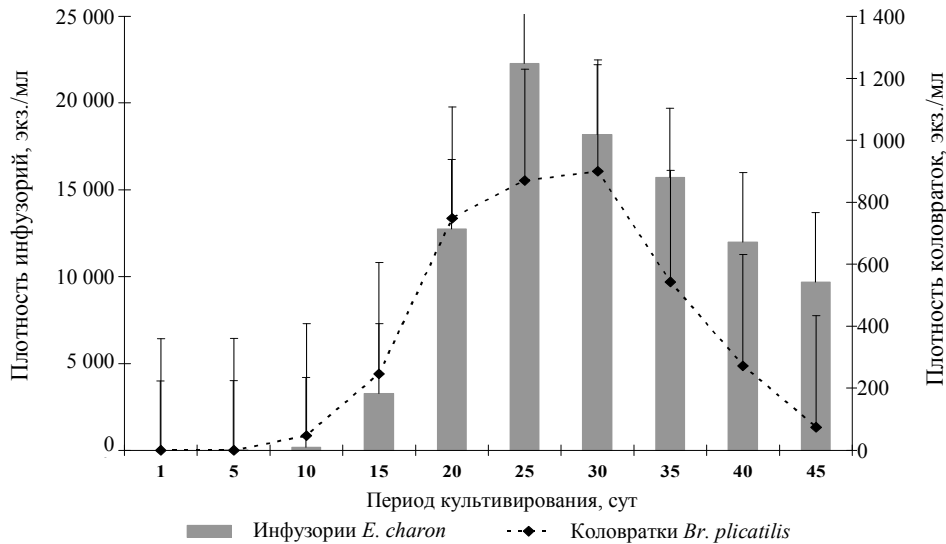


Рис. 1. Культивирование коловраток и инфузорий; объем культуральной среды – $1,2\text{ м}^3$; период культивирования – апрель, май 2014, 2016–2018 гг.; корм – питательная смесь

По нашему мнению, применение питательной смеси в качестве корма исключает возникновение неконтролируемых условий культивирования живого корма. А использование подстилающего слоя на дно бассейнов (пористые кораллово-ракушечные структуры) позволяет бактериям оседать в виде осадка, который могут потреблять зоопланктонные организмы, а водная среда при этом остается прозрачной до 40–50 суток.

Можно предположить, что внесение питательной смеси способствует созданию трофической цепи: питательная смесь – фитопланктон – микрозоопланктон. Совместное культивирование позволяло получать сырую биомассу культуры – *E. charon* от $1,89$ до $2,23\text{ г/м}^3$; *Br. plicatilis* от 24 до 435 г/м^3 в сутки.

На основании наблюдений за динамикой численности этих видов отмечали нейтральные отношения организмов, мало различающихся по характеру питания (окраска коловраток и инфузорий имела одинаковый серо-зеленый цвет, что говорит о схожем спектре питания). В этом случае популяции обоих видов могут сосуществовать в культуре и давать максимальное развитие в одно и то же время, конкуренция в питании отсутствовала из-за достаточного количества пищи [1, 11].

Проведено совместное культивирование инфузорий *M. pulex* и коловраток *Br. urceus*.

Количество фитопланктона после 3-кратного внесения питательной смеси возрастало от $2 \pm 0,4$ до $63 \pm 3,1$ млн кл./мл к 15-м суткам выращивания, на 20-е сутки численность водорослей достигала в среднем $110 \pm 5,7$ млн кл./мл, культуральная среда изменяла цвет от буроватого к темно-зеленому. В фитопланктоне доминировали зеленые (50–60 %) и диатомовые микроводоросли (30–40 %), перидиниевые и сине-зеленые составляли 10 %.

Плотность инфузорий и коловраток увеличивалась с 20-х по 30-е сутки (*M. pulex* с 958 ± 45 до $3\,800 \pm 90$ экз./мл; *Br. urceus* с 98 ± 12 до 654 ± 20 экз./мл). Максимальной численности популяции инфузорий и коловраток достигли на 40-е сутки выращивания. Плотность инфузорий и коловраток составляла $20\,170 \pm 380$ и $1\,270 \pm 45$ экз./мл соответственно. Сырая биомасса изменялась

в средних значениях у *M. pulex* от 15,8 мг/м³ до 2,017 г/м³, у *Br. urceus* от 14,1 до 381 г/м³ от начала изъятия продукции. С 40-х суток смесь не применяли и плотность организмов уменьшалась.

Вероятно, культивируемые виды не вступают ни в какие конкурентные отношения в трофической цепи «питательная смесь – микроводоросли – микрозоопланктон». Допустимо также, что совместное выращивание этих видов приводит к более полному потреблению корма и более интенсивной минерализации органического вещества. Этим можно объяснить совсем незначительные обрастания стенок бассейнов. Положительный эффект применения питательных сред для кормления гидробионтов отмечают и зарубежные исследователи [12].

Результаты совместного культивирования инфузорий *M. pulex* и коловраток *Br. urceus* в поликультуре представлены на рис. 2. Первоначальная плотность инфузорий и коловраток составляла 0,1 экз./мл.



Рис. 2. Культивирование инфузорий и коловраток; объем культуральной среды – 2 м³; период культивирования – май, июнь 2016–2018 гг.; корм – питательная смесь

При совместном выращивании инфузорий и коловраток с применением в качестве корма только кормовых и пивных дрожжей развивалась только популяция инфузорий, плотность ее не превышала $3\,000 \pm 100$ экз./мл. Культура коловраток оставалась на одном уровне – до 40 ± 5 экз./мл. Водная среда через 5–6 суток становилась непрозрачной и приобретала запах сероводорода.

Таким образом, стартовые корма для морских рыб – инфузорий и коловраток – возможно выращивать в поликультуре. В качестве корма рекомендуется применять питательные смеси, внесение которых следует производить за 20 суток до «зарядки» маточной культуры.

Совместное культивирование копепоид и клadoцер. Наиболее важными объектами поликультуры после инфузорий служат копепоиды и клadoцеры, которые являются излюбленным кормом личинок камбаловых и кефалевых рыб Черноморского региона [13–15].

Проведено совместное культивирование копепоид и клadoцер. Первоначальная плотность культуры *D. salinus* и *M. brachiata* в ранневесенний период в прудах обычно не превышает 0,01 экз./мл.

До внесения питательной смеси численность микроводорослей в прудах составляет в среднем $0,2 \pm 0,07$ млн кл./л. После 6-кратного внесения питательной смеси (10-е сутки) количество микроводорослей увеличивалось до 0,8–0,9 млн кл./л. Плотность копепоид *D. salinus* возрастала незначительно, до 50 ± 15 экз./л. Плотность ветвистоусых ракообразных увеличивалась до 64 ± 15 экз./л. Численность фитопланктона в начале культивирования нарастала медленно, скорее всего, из-за низкой температуры водной среды, которая изменялась за период с 1-х по 15-е сутки в диапазоне от 13,5 до 15,9 °С. К этому периоду численность микроводорослей составляла $4 \pm 0,5$ млн кл./л, клadoцер – 104 ± 12 экз./л, копепоид – 72 ± 8 экз./л. На 20-е сутки

культивирования температура водной среды в пруду обычно увеличивается до 18 °С, плотность фитопланктона – до $6,7 \pm 0,6$ млн кл./л, кладоцер – до 164 ± 12 экз./л, копепод – до 147 ± 15 экз./л. К 30-м суткам выращивания режим температуры достигает 18,5–19,3 °С, плотность микроводорослей составляет $12 \pm 0,6$ млн кл./л, популяции рачков начинают быстро наращивать численность. Количество кладоцер с 30-х по 45-е сутки увеличивалось в среднем от 550 ± 15 до $1\,412 \pm 22$ экз./л, а копепод – от 346 ± 10 до $1\,200 \pm 25$ экз./л. Плотность фитопланктона на 45-е сутки культивирования составляла уже $73 \pm 2,2$ млн кл./л при температуре культуральной среды 20,7–21 °С.

На рис. 3 представлена динамика плотности копепод и кладоцер при совместном выращивании в опытном пруду (корм – питательная смесь).

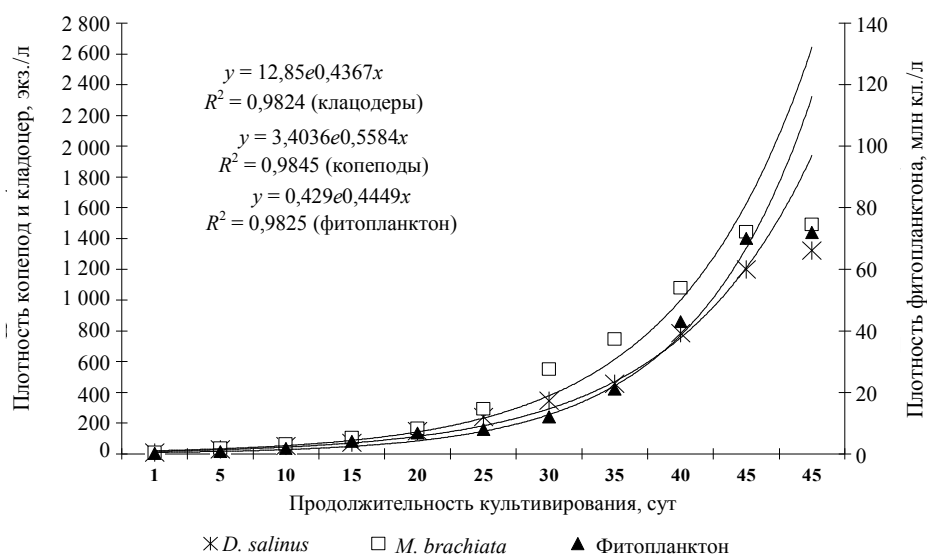


Рис. 3. Динамика плотности копепод и кладоцер при совместном выращивании в опытном пруду; период – апрель-май-июнь 2014, 2016 гг.; корм – питательная смесь

Качественный состав водорослей изменялся с доминирующего диатомового и сине-зеленого комплекса на диатомовый и динофитовый соответственно. Основными видами микроводорослей (с 15-х суток культивирования) были следующие: *Stephanodiscus hantzschii*, *Synedra acus*, *Navicula placentula*, *N. cryptocephala*, *Pleurosigma elongatum*, *Exuviaella compressa*, *Prorocentrum micans*, *Peridinium bipes*. Эти виды в процентном отношении составляли около 60 % от общего количества водорослей. Также в фитопланктоне содержалось около 15 % зеленых водорослей, основными видами которых являлись *Platymonas cordiformis*, *Dunaliella sp.*, а около 25 % составляли сине-зеленые микроводоросли – *Cyanothece aeruginosa*, *Microcystis aeruginosa*, *Aphanothece clathrata*, *Anabaena flos-aquae*.

В контрольном пруду количество микроводорослей нарастало очень медленно – с 1 по 45-е сутки выращивания оно изменялось от $0,25 \pm 0,03$ до $14,2 \pm 0,2$ млн кл./л. После 14,2–14,7 млн кл./л численность микроводорослей уже не увеличивалась. Плотность ветвистоусых рачков с первых по 45-е сутки культивирования увеличивалась от 21 до 762 ± 15 экз./л. Численность веслоногих рачков с первых по 25-е сутки возрастала в среднем всего от 10 до 63 ± 6 экз./л. В период с 25-х по 45-е сутки культивирования плотность копепод *D. salinus* обычно снижалась до 30 ± 7 экз./л.

Полученные результаты позволяют предположить, что в контрольном пруду популяции кладоцер и копепод находились в конкурентных отношениях, со сходными спектрами питания. Ветвистоусый рачок *M. brachiata* выступал в качестве жесткого пищевого конкурента для веслоногого рачка *D. salinus*. Это предположение подтвердилось при вскрытии рачков для определения состава кормовых объектов питания. В пищеварительном тракте кладоцер обнаружили «плотную массу» динофитовых, диатомовых, зеленых и сине-зеленых одиночных водорослевых клеток (до 95 %) следующих видов: *Stephanodiscus hantzschii*, *Navicula placentula*, *N. cryptocephala*, *Exuviaella compressa*, *Prorocentrum micans*, *Platymonas cordiformis*, *Aphanothece clathrata*. У веслоногого рачка *D. salinus* диатомовые и сине-зеленые водоросли встречались в единичных

экземплярах, а преобладали динофитовые и зеленые водоросли – *Exuviaella compressa*, *Prorocentrum micans*, *Platymonas cordiformis*. Видимо, веслоногие рачки имеют более строгую избирательность в потреблении фитопланктона. Так как количество зеленых водорослей в контрольном пруду в процентном отношении составляло всего около 10 %, а динофитовых – 15 %, преобладали диатомовые и сине-зеленые микроводоросли – до 75 %, небольшая плотность копепоид легко объясняется.

На рис. 4 приведена динамика плотности ветвистоусых и веслоногих рачков при совместном выращивании в контрольном пруду. Корм – кормовые и пивные дрожжи.

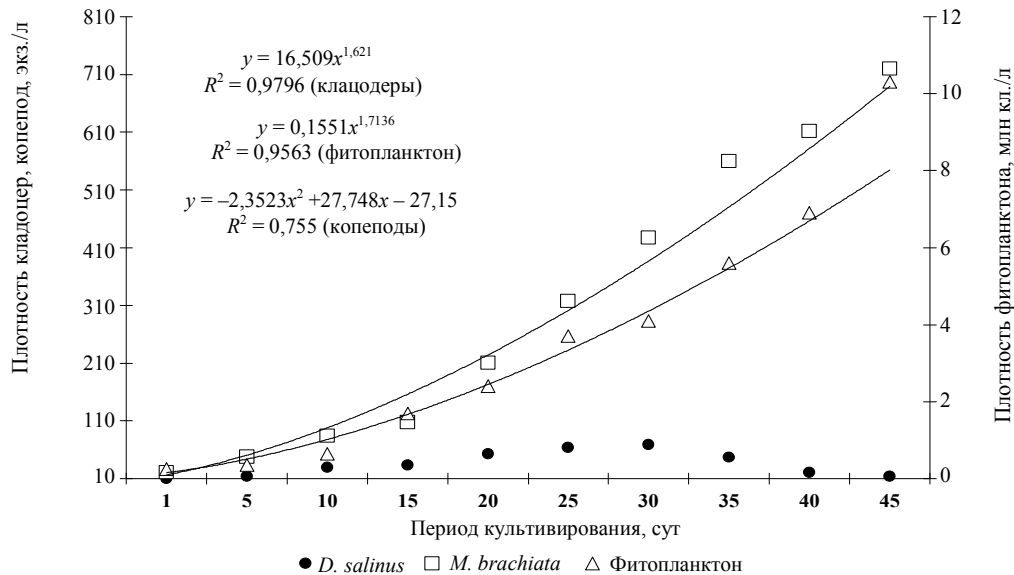


Рис. 4. Динамика плотности ветвистоусых и веслоногих рачков при совместном выращивании в контрольном пруду; период – май-июнь 2014, 2016 гг.; корм – кормовые и пивные дрожжи

Таким образом, совместное выращивание веслоногих рачков вида *D. salinus* и ветвистоусых рачков вида *M. brachiata* возможно только при наличии определенного качественного и количественного состава фитопланктона, который развивается после внесения питательной смеси.

Совместное культивирование коловраток, клadoцера и копепоид. Проблема очень маленького ротового отверстия личинок некоторых видов морских рыб (100 мкм) требует поиска новых живых кормовых объектов.

Исследователи установили, что науплиусы веслоногого рачка р. *Tisbe* из отряда гарпактицид размером 40–100 мкм вполне приемлемы в качестве живого корма для личинок морских рыб. В отличие от коловраток, потребляющих жгутиковые микроводоросли, этот рачок активно питается с поверхности микрочастицами корма, что значительно облегчает его кормление в культуре. Кроме рачков р. *Tisbe* (Harpacticoida), определенный интерес также представляют копепоиды отряда Calanoida [16–18].

По нашему мнению, совместное культивирование инфузорий, коловраток, клadoцера и копепоид может решить проблему стартовых кормов для личинок черноморского калкана, личинки которого на самых ранних стадиях развития проявляют четкую избирательность в питании кормовыми объектами. Одновременное внесение коловраток и науплиусов копепоид и клadoцера предоставляет личинкам морских рыб разнообразный выбор кормовых объектов [4, 13, 14].

Проведено *совместное культивирование зоопланктона* в пластиковых бассейнах объемом 6 м³. Плотность организмов в бассейне после «засева» маточной культуры составляла: коловраток *Br. plicatilis* – 0,21–0,25 экз./мл, клadoцера *M. brachiata* и копепоид *T. furcata* – по 0,01–0,02 экз./мл.

Развитие фитопланктона проходило по описанной выше схеме – по мере увеличения температуры водной среды и внесения питательной смеси уже через 15 суток вода изменяла оттенок со светло-бурого на зеленый, а к 25-м суткам – на темно-зеленый. Численность микроводорослей возрастала от $6 \pm 0,9$ млн кл./л до $81 \pm 2,5$ млн кл./л. В качественном отношении диатомовый и сине-зеленый комплекс водорослей изменялся на зелено-динофитовый и диатомовый.

Происходило также интенсивное развитие бактериального комплекса, о чем свидетельствовали обрастания дна и стенок бассейнов. Доминирующими видами были следующие виды микроводорослей: диатомовые (*Bacillariophyta*) – р. *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Navicula*, *Synedra*, *Nitzschia*, *Rhizosolenia*, *Thalassiosira*; зеленые (*Chlorophyta*) – р. *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Platymonas*; динофитовые (*Dinophyceae*) – *Euxviaella*, *Prorocentrum*; сине-зеленые (*Cyanophyta*) – р. *Aphanothece*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*, *Anabaenopsis*, *Lyngbya*. На дне бассейнов развился комплекс макрофитов: р. *Ulva*, *Enteromorpha*, *Cladophora*, *Chaetomorpha*.

На рис. 5 приведены усредненные данные по совместному культивированию коловратки *Br. plicatilis*, кладоцер *M. brachiata* и копепод *T. furcata*. Корм – питательная смесь.

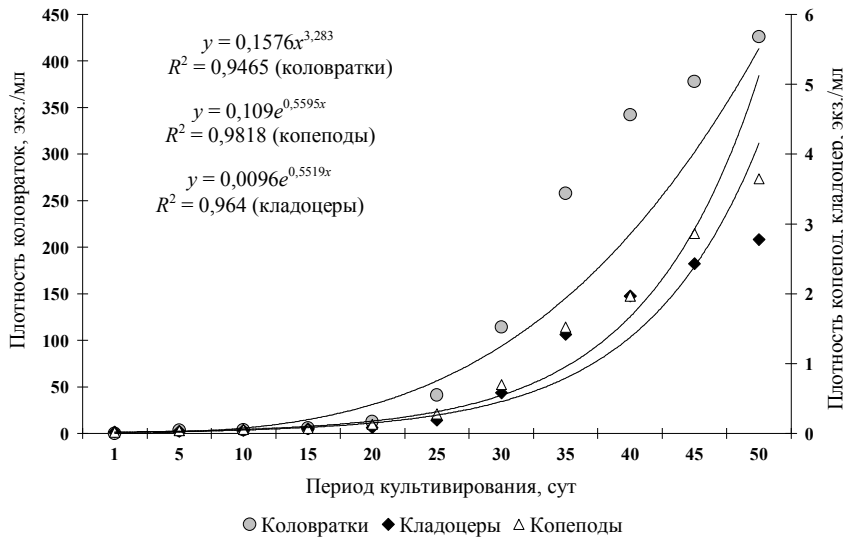


Рис. 5. Динамика плотности коловраток, кладоцер и копепод при совместном культивировании; объем водной среды – 5 м³; июнь-июль 2014–2018 гг.

Плотность коловраток *Br. plicatilis* и рачков в бассейне на протяжении всего периода культивирования имела тенденцию только к увеличению. По-видимому, наблюдались нейтральные отношения гидробионтов, не вступающих в пищевую конкуренцию и занимающих различные ниши обитания. Коловратки всегда образовывали скопления на поверхности водной среды и в местах, имеющих наименьшее зарастание макрофитами. Популяция ветвистоусого рачка обитала возле стенок бассейна, на которых через 7–10 дней образовывался слой обрастаний в 3–5 мм. Местом скоплений веслоногого рачка *T. furcata* были заросли макрофитов. По нашему мнению, объясняется это тем, что все гидробионты использовали «собственные» бактерии и микроводоросли для питания, которые развивались в местах их обитания. Каждая популяция располагалась в собственной экологической нише.

Численность веслоногих рачков продолжала увеличиваться даже после прекращения внесения питательной смеси (30-е сутки) и, соответственно, уменьшения количества фитопланктона. Это объясняется тем, что рачок *T. furcata* обитает среди зарослей макрофитов, питаясь обрастаниями, которые образуются на их поверхности, поэтому прекращение кормления не повлияло на его численность. Плотность культуры веслоногих рачков на 50-е сутки составила $2,78 \pm 0,2$ экз./мл. Численность ветвистоусых рачков тоже увеличивалась и достигала плотности $3,65 \pm 0,3$ экз./мл. Плотность культуры коловраток также нарастала после прекращения внесения питательной смеси и на 50-е сутки составляла 426 ± 15 экз./мл.

Можно предположить, что внесение питательной смеси способствует развитию не только фитопланктона, но и бактериопланктона, который служит основным источником питания для культивируемых гидробионтов. Водная среда на протяжении всего периода культивирования имела стабильные гидрохимические параметры и оставалась прозрачной (по диску Секки – 30–40 см).

Проведено совместное культивирование инфузорий, коловраток, копепоид и кладоцер в небольшом объеме водной среды – 90 л. Первоначальная плотность организмов в бассейне после «засева» маточной культуры составила: у инфузорий – 1,2 экз./мл; коловраток р. *Brachionus* – 0,12 экз./мл; копепоид и кладоцер *D. salinus* и *M. brachiata* – 0,01 экз./мл.

На рис. 6 представлена средняя динамика плотности зоопланктона при совместном культивировании (корм – питательная смесь).

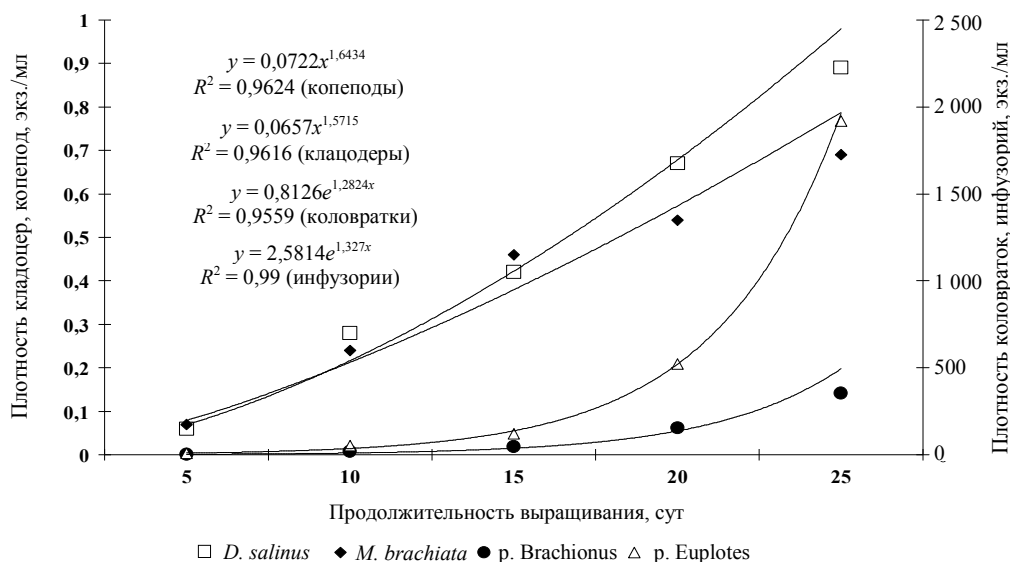


Рис. 6. Динамика плотности зоопланктона при совместном культивировании; объем культуральной среды – 90 л; корм – питательная смесь; период – май-июнь 2018–2019 гг.

До внесения смеси плотность фитопланктона составляла $1,2 \pm 0,3$ млн кл./л. К 25-м суткам культивирования зоопланктона, после 10-кратного внесения питательной смеси, численность микроводорослей обычно достигает более $15 \pm 1,4$ млн кл./л. Качественный состав фитопланктона изменяется в процентном отношении от доминирующего диатомового с сине-зеленым (60 и 30 %) комплекса до диатомового и зелено-динофитового (50 и 40 %), 10 % составляли золотистые и пиррофитовые микроводоросли.

Численность зоопланктона на 25-е сутки выращивания составляла в среднем: инфузорий р. *Euplotes* – $1\,920 \pm 110$ экз./мл; коловраток р. *Brachionus* – 354 ± 28 экз./мл; копепоид *D. salinus* – $0,89 \pm 0,2$ экз./мл, кладоцер *M. brachiata* – $0,69 \pm 0,1$ экз./мл. Плотность зоопланктона постоянно увеличивалась (в среднем до 30 сут). Плотность организмов при совместном культивировании позволяла получать от 30 до 60 г сырой биомассы зоопланктона в сутки с 1 м^3 водной среды. Через 5 суток после прекращения внесения смеси плотность зоопланктона резко уменьшалась.

При культивировании зоопланктона с применением в качестве корма для него только дрожжей не удалось получить нарастания плотности копепоид и кладоцер. Развивались только популяции инфузорий и коловраток, причем культура коловраток оставалась на одном уровне – до 30 ± 7 экз./мл после 6–8-суточного периода выращивания. Водная среда через 5–6 суток становилась непрозрачной и приобретала запах сероводорода.

Таким образом, совместное культивирование инфузорий, коловраток, копепоид и кладоцер возможно проводить в небольшом объеме водной среды с применением в качестве корма для организмов питательной смеси.

Динамика развития плотности зоопланктонных организмов и фитопланктона при совместном культивировании, с использованием в качестве корма для гидробионтов питательной смеси, описывается уравнениями с большой степенью аппроксимации.

Заключение

Проведенные работы по культивированию зоопланктона в поликультуре позволили получать совместные культуры разноразмерных особей, не конкурирующих за пищу и с различной экологической доступностью для личинок кефалевых и камбаловых видов рыб.

Совместное культивирование зоопланктонных организмов возможно, если виды зоопланктеров не являются конкурентами в питании. Внесение питательной смеси способствует созданию трофической цепочки «питательная смесь – микрозоопланктон – фитопланктон – мезозоопланктон». В результате каждый вид находит собственную пищу и не выступает конкурентом в питании для других видов зоопланктонных организмов. Питательные смеси рекомендуются вносить за 20–30 суток до «зарядки» маточной культуры.

Основной проблемой при культивировании живых кормов является недостаток информации о важности микробной биомассы в системах культивирования, потому что микробиота в экосистеме разводимых организмов играет одну из главных ролей при изменчивости популяций, в том числе для молоди морских рыб [10, 19–22].

Совместное культивирование различных организмов зоопланктона с применением в качестве корма для планктеров питательных смесей позволяет создавать благоприятную микробиоту водной среды. Водная среда при совместном выращивании зоопланктонных организмов всегда имела стабильные гидрохимические показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакаева Е. Н., Макаров Э. В. Эколого-биологические основы жизнедеятельности коловраток в норме и в условиях антропогенной нагрузки. Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 1999. 206 с.
2. Придаткина Н. В., Вундецеттель М. В. Освоение теплых вод энергетических объектов для интенсивного рыбоводства // Рыбное хозяйство. Киев, 1981. № 32. С. 29–34.
3. Abrams P. A. On classifying interactions between populations // J. «Oecology». 1987. V. 73. N. 2. P. 272–281.
4. Lee C. S., O'Bryen P. J., Nancy H. Copepods in Aquaculture. New York: Blackwell Publishing, 2005. P. 255.
5. Minkoff G., Broadhurst A. P. Intensive production of turbot, *Scophthalmus maximus*, fry // Turbot culture: Problems and prospects: Proc. Satellite Workshop of World Aquaculture 93. Spec. Publ. EAS., 1994. N. 22. P. 14–31.
6. Jana B. B., Pal G. P. Some life history parameters and production of *Daphnia carinata* and *Brachionus califlorus* grown in different culturing media // Water Resources. 2000. V. 17. N. 7. P. 735–741.
7. Привезенцева Ю. А. Практикум по прудовому рыбоводству. М.: Высш. шк., 1982. 208 с.
8. Тевяшова О. Е. Сбор и обработка зоопланктона в рыбоводных водоемах: метод. рук. Ростов н/Д.: Изд-во АзНИИРХ, 2009. 81 с.
9. Zhang Deng-li, Zhou Hong-qi. Влияние рационов и скорости ежедневного выедания на рост и размножение *Brachionus plicatilis* // Shanghai shuichan daxue xuebao. 2003. V. 12. N. 1. P. 1–5.
10. Gifford D. J., Dagg M. J. The micro zooplankton – mezoplankton link: consumption of planktonic Protozoa by the Calanoid Copepods *A. tonsa* and *N. plumchrus* // Marine Microbial Fooding Websten. 1991. V. 5. N. 1. P. 161–177.
11. Богатова И. Б. Рыбоводная гидробиология. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 166 с.
12. Sauntika G. The use of ozone-activated high density recirculation system for rotifers // Aquaculture. 2001. V. 201. P. 35–49.
13. Новоселова Н. В., Туркулова В. Н. Особенности питания и роста личинок черноморской камбалы-калкана при культивировании в промышленных рециркуляционных установках // Проблемы и перспективы развития аквакультуры в России: сб. тр. Науч.-практ. конф. Краснодар, 2001. С. 82–84.
14. Новоселова Н. В. Влияние абиотических факторов среды на рост и питание личинок кефалевых и камбаловых рыб // Міжвід. тематич. наук. зб. Рибне господарство. Київ: КМАcademia, 2009. Вип. 67. С. 151–157.
15. Фитингов Е. М., Демьянова Н. И., Новоселова Н. В. Избирательность питания личинок сингиля при выращивании их в искусственных условиях // Корма и методы кормления объектов марикультуры. М.: Изд-во ВНИРО, 1988. С. 39–47.
16. Santhanam P. A need for marine copepods culture // Live Feed Production for Marine Hatchery Operation. Publisher: Rajiv Gandhi Centre for Aquaculture Chapter, 2012. P. 16.
17. Cutts C. J. Culture of harpacticoid copepods: potential as feed for rearing marine fish // Advances in Marine Biology. 2003. N. 44. P. 295–316.
18. Alajmi F., Zeng Ch., Jerry D. R. Domestication as a Novel Approach for improving the Cultivation of Calanoid Copepods: A Case Study with *Parvocalanus crassirostris* // Public Library of Science. PLoS One. 2015. N. 10 (7); e0133269.

19. Lemus J. T., Ogle J. T., Lotz J. M. Extensive copepod culture using a highly nutritious natural water source World // Aquaculture. 2002. V. 33. N. 3. P. 60–62.
20. Maeda M., Liao Z. Microbial processes in aquaculture environment and their importance for increasing crustacean production // Chiu. JARQ. Japans Agronomy Quarterly. 1994. V. 28. N. 4. P. 283–288.
21. Suoto B. F., Rodrigues X. L. European fish farming guide // Xunta de Galicia conselleria de pesca e asuntosmaritimos. 2003. 105 p.
22. Turner J. T. Zooplankton feeding ecology: Grazing by marine copepods and cladocerans upon phytoplankton and cyanobacteria from Kingston Harbour, Jamaica // Marine Ecology. 1998. N. 19. P. 195–208.

Статья поступила в редакцию 18.12.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новоселова Нина Васильевна – Россия, 298300, Керчь; Керченский отдел Азово-Черноморского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»; ведущий специалист лаборатории марикультуры; novoselova_n_v@azniirkh.ru.

Каниева Нурия Абдрахимовна – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; д-р биол. наук, профессор; профессор кафедры прикладной биологии и микробиологии; kanievana52@mail.ru.



CULTIVATION OF MARINE ZOOPLANKTON IN POLYCULTURE

N. V. Novoselova¹, N. A. Kanieva²

¹ *Azov-Black Sea Branch of the of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kerch Department, Kerch, Russian Federation*

² *Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The paper presents the results of co-cultivation of marine and brackish organisms obtained at the experimental production center Cherished (the Strait of Kerch) for the period 2014-2019. Ciliates *Euplotes charon* O. F. Müller 1786, and *Mesodinium pulex* Claparede et Lachmann, 1858; rotifers *Brachionus plicatilis* O. F. Müller, 1786, and *Br. urceus* Linneaus, 1758; cladocera *Moina brachiata* Jurine, 1820; copepods *Diaptomus salinus* Daday, 1885, and *Tisbe furcata* Baird, 1837 were taken as the research material. Zooplankton was cultivated by accumulative (cultivation in batches) and semi-continuous methods. The nutrient mixture for zooplankton in the experimental tanks and in the pond served as feeds, yeast was used in the control group. Introducing of the nutrient mixture has been stated to contribute to the creation of a trophic chain: nutrient mixture-microzooplankton-phytoplankton-mesozooplankton. As a result, each species finds its own food and does not compete in nutrition for other species of zooplankton organisms. Co-cultivation provided daily from 30 to 500 g of raw zooplankton biomass per 1 m³ of aqueous medium. Co-cultivation of various zooplankton organisms with the use of nutrient mixtures as feeds creates a favorable microbiota of the aquatic environment. The aquatic environment in the cultivation of zooplankton organisms had stable hydrochemical parameters. The resulting raw biomass of zooplankton organisms was used for feeding mullet and flounder larvae and juveniles.

Key words: live feeds, zooplankton, nutrient mixture, cultivation, microalgae, co-cultivation, bacteria, aqueous environment.

For citation: Novoselova N. V., Kanieva N. A. Cultivation of marine zooplankton in polyculture. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2020;1:118-130. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2020-1-118-130.

REFERENCES

1. Bakaeva E. N., Makarov E. V. *Ekologo-biologicheskie osnovy zhiznedeiatel'nosti kolovratok v norme i v usloviakh antropogennoi nagruzki* [Ecological and biological foundations of rotifers and in normal conditions and under anthropogenic load]. Rostov-na-Donu, Izd-vo SKNTs VSh, 1999. 206 p.
2. Pridatkina N. V., Vundetsetel' M. V. Osvoenie teplykh vod energeticheskikh ob'ektov dlia intensivnogo rybovodstva [Assimilation of warm waters of energy facilities for intensive fish farming]. *Rybnoe khoziaistvo*. Kiev, 1981. N. 32. Pp. 29-34.
3. Abrams P. A. On classifying in interactions between populations. *J. «Oecology»*, 1987, vol. 73, no. 2, pp. 272-281.
4. Lee C. S., O'Bryen P. J., Nancy H. *Copepods in Aquaculture*. New York, Blackwell Publishing, 2005. P. 255.
5. Minkoff G., Broadhurst A. P. Intensive production of turbot, *Scophthalmus maximus*, fry. *Turbot culture: Problems and prospects: Proceedings Satellite Workshop of World Aquaculture 93*. Spec. Publ. EAS., 1994. N. 22. Pp. 14-31.
6. Jana B. B., Pal G. P. Some life history parameters and production of *Daphnia carinata* and *Brachionus californicus* grown in different culturing media. *Water Resources*, 2000, vol. 17, no. 7, pp. 735-741.
7. Privezentseva Iu. A. *Praktikum po prudovomu rybovodstvu* [Pond fisheries work shop]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1982. 208 p.
8. Teviashova O. E. *Sbor i obrabotka zooplanktona v rybovodnykh vodoemakh: metodicheskoe rukovodstvo* [Collecting and processing zooplankton in fish ponds: teaching guide]. Rostov-na-Donu, Izd-vo AzNIIRKh, 2009. 81 p.
9. Zhang Deng-li, Zhou Hong-qi. Vliianie ratsionov i skorosti ezhednevnogo vyedaniia na rost i razmnozhenie *Brachionus plicatilis* [Influence of diets and rate of daily eating on growth and reproduction of *Brachionus plicatilis*]. *Shanghai shuichan daxue xuebao*, 2003, vol. 12, no. 1, pp. 1-5.
10. Gifford D. J., Dagg M. J. Themicro zooplankton – mezoplankton link: consumption of planktonic Protozoa by the Calanoid Copepods *A. tonsa* and *N. plumchrus*. *Marine Microbial Feeding Websten*, 1991, vol. 5, no. 1, pp. 161-177.
11. Bogatova I. B. *Rybovodnaia gidrobiologiya* [Aquaculture hydrobiology]. Moscow, Pishchevaia promyshlennost' Publ., 1980. 166 p.
12. Sauntika G. The use of ozone and high density recirculation system for rotifers. *Aquaculture*, 2001, vol. 201, pp. 35-49.
13. Novoselova N. V., Turkulova V. N. Osobennosti pitaniia i rosta lichinok chernomorskoj kambaly-kalkana pri kultivirovanii v promyshlennykh retsirkulatsionnykh ustanovkakh [Features of nutrition and growth of larvae of the Black Sea flounder-Kalkan during cultivation in industrial recirculation plants]. *Problemy i perspektivy razvitiia akvakul'tury v Rossii: sbornik trudov Nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Krasnodar, 2001. Pp. 82-84.
14. Novoselova N. V. Vliianie abioticheskikh faktorov sredy na rost i pitanie lichinok kefalovykh i kambalovykh ryb [Abiotic environmental factors influencing growth and nutrition of mullet and flatfish larvae]. *Mizhvidomchii tematichnii naukovii zbirnik. Ribne gospodarstvo*. Kii'v, KMAcademia Publ., 2009. Iss. 67. Pp. 151-157.
15. Fitingov E. M., Dem'ianova N. I., Novoselova N. V. Izbiratel'nost' pitaniia lichinok singilia pri vyrashchivanii ikh v iskusstvennykh usloviakh [Selectivity of nutrition of single larvae growing in artificial conditions]. *Korma i metody kormleniia ob'ektov marikul'tury*. Moscow, Izd-vo VNIRO, 1988. Pp. 39-47.
16. Santhanam P. A need for marine copepods culture. *Live Feed Production for Marine Hatchery Operation*. Publisher: Rajiv Gandhi Centre for Aquaculture Chapter, 2012. P. 16.
17. Cutts C. J. Culture of harpacticoid copepods: potential as feed for rearing marine fish. *Advances in Marine Biology*, 2003, no. 44, pp. 295-316.
18. Alajmi F., Zeng Ch., Jerry D. R. Domestication as a Novel Approach for improving the Cultivation of Calanoid Copepods: A Case Study with *Parvocalanus crassirostris*. *Public Library of Science. PLoS One*, 2015, no. 10 (7), e0133269.
19. Lemus J. T., Ogle J. T., Lotz J. M. Extensive copepod culture using a highly nutritious natural water source World. *Aquaculture*, 2002, vol. 33, no. 3, pp. 60-62.
20. Maeda M., Liao Z. Microbial processes in aquaculture environment and their importance for increasing crustacean production. *Chiu. JARQ. Japans Agronomy Quarterly*, 1994, vol. 28, no. 4, pp. 283-288.
21. Suoto B. F., Rodrigues X. L. European fish farming guide. *Xunta de Galicia conselleria de pesca e asuntos maritimos*, 2003, 105 p.
22. Turner J. T. Zooplankton feeding ecology: Grazing by marine copepods and cladocerans upon phytoplankton and cyanobacteria from Kingston Harbour, Jamaica. *Marine Ecology*, 1998, no. 19, pp. 195-208.

The article submitted to the editors 18.12.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Novoselova Nina Vasilevna – Russia, 298300, Kerch; Azov-Black Sea Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kerch Department; Leading Specialist of Mariculture Laboratory; novoselova_n_v@azniirkh.ru.

Kanieva Nuria Abdrakhimovna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Biology, Professor; Professor of the Department of Applied Biology and Microbiology; kanievana52@mail.ru.

