

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 639.53:593.954.21

DOI 10.5281/zenodo.15525956

Научная статья



ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО РАЗВЕДЕНИЯ СЕРОГО МОРСКОГО ЕЖА (*STRONGYLOCENTROTUS INTERMEDIUS*, AGASSIZ, 1863)

FEATURES OF INDUSTRIAL BREEDING OF GRAY SEA URCHIN (*STRONGYLOCENTROTUS INTERMEDIUS*, AGASSIZ, 1863)

КОЗНЕВА НАТАЛЬЯ ВАЛЕРЬЕВНА,
старший преподаватель,

Российский государственный гидрометеорологический университет.

ЮДИН АРТЕМ ИГОРЕВИЧ,

Российский государственный гидрометеорологический университет.

ЯМКОВАЯ МАРИЯ ИВАНОВНА,

Российский государственный гидрометеорологический университет.

KOZNEVA NATALIA VALERIEVNA,
Senior Lecturer,

Russian State Hydrometeorological University.

YUDIN ARTEM IGOREVICH,

Russian State Hydrometeorological University.

YAMKOVAYA MARIA IVANOVNA,

Russian State Hydrometeorological University.

Представленное исследование направлено на систематизацию и анализ современных биотехнологических подходов к промышленному культивированию *Strongylocentrotus intermedius* (серого морского ежа). Методология работы основана на комплексном анализе экологических и физиологических характеристик вида, существующих технологий его разведения в контролируемых условиях. В результате исследования установлены оптимальные параметры содержания морских ежей различных возрастных групп, определены ключевые факторы, влияющие на гонадо-соматический индекс, и идентифицированы эффективные методы получения половых продуктов. Продемонстрировано, что культивирование в установках замкнутого водоснабжения обеспечивает оптимальные условия для ускоренного роста и развития, позволяя достичь товарных размеров особей в более короткие сроки по сравнению с естественной средой. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности промышленного культивирования серого морского ежа как для восполнения природных популяций, так и для обеспечения сырьем фармацевтической, пищевой промышленности и других отраслей народного хозяйства. Цель работы – рассмотреть основные технологии, применяемые в настоящее время при разведении иглокожих, в частности серого морского ежа. В настоя-

щей статье дана биологическая характеристика вида, особенности размножения, жизненного цикла, экологии и области применения серого морского ежа. Рассмотрены современные технологии промышленного разведения морского серого ежа, которые являются перспективными, так как позволяют восполнить естественные запасы вида, использовать его как объект аквакультуры.

*Artificial reproduction of aquatic biological resources is becoming increasingly relevant in the context of the intensification of fishing for hydrobionts and the progressive depletion of their natural reserves. The presented research is aimed at systematization and analysis of modern biotechnological approaches to industrial cultivation of *Strongylocentrotus intermedius* (gray sea urchin). The methodology of the work is based on a comprehensive analysis of the ecological and physiological characteristics of the species, existing technologies for its breeding under controlled conditions. As a result of the study, optimal parameters for the maintenance of sea urchins of various age groups were established, key factors affecting the gonadosomatic index were identified, and effective methods for obtaining sexual products were identified. It is demonstrated that cultivation in closed water supply installations provides optimal conditions for accelerated growth and development, allowing individuals to reach commercial sizes in a shorter time compared to the natural environment. The results obtained indicate the prospects of industrial cultivation of the gray sea urchin both for replenishing natural populations and for providing raw materials for the pharmaceutical, food industry and other sectors of the national economy. The purpose of this paper is to review the main technologies currently used the time when breeding echinoderms, as well as the features of reproduction and the life cycle of the gray sea urchin, which determine the conditions for its artificial reproduction. In the article is given also biological and ecological characteristics of the species and areas of application of this type of hydrobionts are determined. The current state - of-the-art technologies for industrial breeding of the gray sea urchin are promising, as they allow not only to replenish the natural reserves of the species, but also to use it as an object of aquaculture.*

Ключевые слова: аквакультура, культивирование беспозвоночных, воспроизведение гидробионтов, морской еж, УЗВ.

Key words: aquaculture, invertebrate culture, reproduction of aquatic organisms, sea urchin, RAS.

Bведение.

Культивирование беспозвоночных животных, в том числе морских ежей, сегодня рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений развития аквакультуры и марикультуры, всего сельскохозяйственного комплекса, что, в свою очередь, связано с интенсивным промыслом морских гидробионтов и истощением природных запасов, которые привели к необходимости поиска альтернативных способов воспроизводства водных биоресурсов.

В последние десятилетия отмечается значительное сокращение численности естественных популяций морских ежей, что обусловлено как переловом, так и воздействием негативных факторов среды, таких как опреснение и загрязнение вод, сокращение кормовой базы. В данных условиях искусственное воспроизводство и промышленное разведение серого морского ежа (*Strongylocentrotus intermedius*) становятся особенно актуальными, поскольку позволяют не только компенсировать потери естественных популяций, но и использовать данный вид как ценный объект аквакультуры.

Дополнительную значимость развитию технологий промышленного разведения придает и высокая экономическая ценность данного гидробиона. Гонады морских ежей востребованы в пищевой промышленности, фармакологии, используются для получения биологически активных веществ и разработки новых материалов.

Целью данной работы является рассмотрение основных технологий, применяемых в настоящее время при разведении иглокожих, в частности серого морского ежа, анализ биологических особенностей, жизненного цикла, экологии и областей применения данного вида.

Особое внимание уделяется современным технологиям промышленного разведения, которые позволяют эффективно восполнять естественные запасы и использовать серого морского ежа как объект аквакультуры.

Экология и биологическая характеристика серого морского ежа.

Серый морской еж (*S. intermedius*) – представитель семейства *Strongylocentrotidae*, отряда *Camarodonta*. Панцирь шарообразный, слегка сплющенный, в диаметре до 85 мм. Окраска вариабельна и может быть зеленой, красноватой, коричневой и молочно-белой, встречаются различные переходные формы, что говорит о полиморфности вида. Игольный покров густой, длина игл достигает от одной трети до двух третей радиуса панциря. [1, с. 29].

S. intermedius распространен в мелководных прибрежных районах Японского и южной части Охотского морей. Данный вид является литофильным и предпочитает каменистые и песчаные грунты, нередко встречается на слоевицах водорослей. В основном популяции приурочены к литоральной и верхнесублиторальной зонам, до 25 м, известны отдельные находки на глубине 150-225 м.

С приближением периода нереста ежи совершают миграции с глубин на мелководье, в заросли *Laminaria japonica*. По мере созревания гонад плотность и биомасса ежей повышается, и особи покрывают до 80 % поверхности дна. Оптимальная соленость для данного вида составляет 26-30 %, как и остальные иглокожие, морские ежи не переносят опреснения [7, с. 51].

В районах, для которых характерны апвеллинги, популяции ежей малочисленны и не регулярно пополняются молодью. В участках, где холодные воды не проникают на прибрежное мелководье, частотное и размерное распределение указывает на регулярное пополнение молодыми особями, вместе с тем гидродинамическая активность способствует оплодотворению.

Температура воды в местах обитания серого морского ежа колеблется от отрицательной в зимний период, до 17-23 °C летом. На мелководье, в закрытых участках вода может прогреваться до 25 °C. Гаметогенез и нерест морских ежей происходит при разных температурах: развитие гамет в более холодный период, благоприятствующий накоплению питательных веществ, нерест – при более высоких температурах, способствующих быстрому развитию личинок [2, с. 152]. Было замечено, что количество яиц и личинок зависит от питания взрослых особей [8, с. 127].

Исследования репродуктивной биологии гидробионтов показали, что их размножение в определенной степени зависит от биологически активных веществ, выделяемых различными организмами сообщества. Данные вещества действуют в комплексе с другими экологическими факторами, которые определяют жизнедеятельность гидробионтов. Наиболее важными для размножения являются пищевой, температурный и световой факторы [2, с. 31].

Развитие протекает с метаморфозом: из яйца вылупляется двустороннесимметричная планктонная личинка (эхиноплuteус), которая через несколько месяцев оседает на субстрат и претерпевает изменения, приобретая радиальную симметрию, характерную для представителей типа *Echinodermata* [10, с. 27].

В возрасте трех лет, когда панцирь достигает диаметра 40-45 мм, наступает половозрелость. Особи раздельнополые, в зависимости от ареала нерест протекает с июня по октябрь (Охотское море), в Японском море приурочен к осени.

Для сеголеток свойственен медленный рост (в возрасте одного года диаметр панциря достигает лишь 6,5 мм), наиболее интенсивный рост наблюдается в период с июля по сентябрь.

Молодые особи пытаются одноклеточными водорослями, обрастающими поверхность камней и детритом. Взрослые формы переходят на питание макрофитами, в основном их рацион составляют бурые и зеленые водоросли.

Предприятия, занимающиеся культивированием морских ежей в России.

Морских ежей в России выращивают на следующих предприятиях:

- Научно-производственный центр марикультуры ПАО «Преображенская база трапового флота». В планах предприятия – обеспечение условий культивирования серого морского ежа, при которых гидробионты смогут быстро расти и набирать массу для дальнейшего их использования в качестве объекта промысла в промышленных объемах.
- Южный район акватории о-ва Сахалин. В заливе Анива и Татарский пролив впервые были использованы в качестве базы для культивирования серого морского ежа.
- Совместный японо-российский центр в Немуро. На начальном этапе площадка использовалась для развития местного промыслового рыболовства. В дальнейшем планировалось развитие марикультуры, в том числе и марикультуры серых морских ежей. Выращенных особей выпускали в акваторию Южно-Курильской гряды.

Подходы к культивированию морских ежей.

Наиболее важное семейство для пастбищной аквакультуры *Strongylocentodontidae*. К нему относятся такие виды как *Pseudocentrotus depressus*, *Hemicentrotus pulcherimus*, *Strongylocentrotus nudus*, *S. intermedius* [9, с. 251].

Аквакультура морских ежей имеет три направления развития:

1. Выращивание или сбор молоди для последующего восполнения естественных популяций, в которых численность морских ежей сильно сократилась в результате неумеренного вылова и влияния различных негативных факторов, таких как опреснение, загрязнение вод, отсутствие кормовой базы. Вместе с тем, если имеет место сбор молоди, выловленные особи некоторое время содержатся в контролируемых условиях [11, с. 293].
2. Подращивание взрослых особей в контролируемых условиях с целью повышения гонадо-соматического индекса (ГСИ).
3. Полный цикл выращивания от икры до взрослых особей в аквариальных условиях [5, с. 360].

Опыты по культивированию серого морского ежа проводились в 2021 г. на базе Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО». В ходе эксперимента было установлено, что содержание половозрелых особей *Strongylocentrotus intermedius* эффективно при температуре воды 5 и 9 °C, с плотностью посадки 6–7 кг на 1000 л и питании ламинарией в количестве 35,2 г корма на 1 кг животных. Для молоди, содержавшейся при температуре воды 5 и 9 °C, с плотностью посадки 2 кг на 1000 л и питании ламинарией в количестве 48,75 г корма на 1 кг животных размерно-массовые характеристики в ходе экспериментов закономерно увеличивались. Кормовой коэффициент, полученный при содержании молоди серого морского ежа при температуре 5 °C, составил 6 кг, а при 9 °C – 7 кг на 1 кг увеличения массы тела [4, с. 66].

Задача искусственного воспроизведения – изучение роста культивируемых гидробионтов, в частности – темпов созревания гонад.

Одним из факторов, который влияет на ГСИ морского ежа, – температура воды, в которой содержатся гидробионты. В ходе исследований было выяснено: степень влияния данного фактора изменяется в зависимости от размеров культивируемых животных, от времени года. Говоря о молоди морского ежа: опыты, которые были проведенные в аквариальных условиях для особей с массой 0,1-30 г, показали, что при температуре воды 6 °C прирост массы за 100 дней содержания составил 0,45 %. Данный показатель был более низким, чем при температурах 10, 12 и 14°C (0,78-0,84 %). У половозрелых особей ГСИ возрастает при повышении температуры воды до определенного значения, при дальнейшем повышении температуры происходит снижение данного показателя. В процентном отношении самый высокий темп роста ГСИ был отмечен для самых мелких морских ежей массой 40 г, превышая тем самым уровень для особей средних размеров (масса – 65 г) и крупных размеров (масса – 100 г). Та-

кая закономерность обусловлена тем, что более крупные особи затрачивают гораздо меньше энергии на процессы рост гонад ввиду того, что большая ее часть уходит на базовый обмен [5, с. 360].

Еще один значимый фактор не только в культивировании беспозвоночных, но и в аквакультуре в целом – содержание кислорода. Было выяснено: при гипоксии происходит снижение ГИС, однако повышение уровня кислорода в среде никак не влияет на уровень потребления и усваивания пищи и рост гонад; это было справедливо как для половозрелых, так и для неполовозрелых особей [5, с. 361].

Технология промышленного выращивания морских ежей состоит из добычи гидробионтов, получения половых продуктов, оплодотворении икры, подращивании личинок и молоди.

Добытые морские ежи доставляются к месту выращивания в емкостях с морской водой. Дальнейшее содержание гидробионтов осуществляется в емкостях объемом 500 л в условиях, приближенным к естественным: температура воды в бассейне соответствует температуре воды в море, плотность посадки – 1 особь на 10 л воды, количество корма в сутки – 2-3% от массы гидробионтов.

Существует два способа получения половых продуктов морских ежей:

1. Химическая стимуляция: инъекция 0,1 М раствора KCl в полость тела через перистомальную мембрану.

2. Вскрытие гидробионтов и извлечение половых продуктов.

После получения половых продуктов в стакан с яйцеклетками добавляют сперму. Оплодотворенные яйцеклетки помещают в УЗВ, в емкости объемом 500 л или 1000 л с морской водой и регулируемой аэрацией. На данном этапе оптимальная плотность посадки – 4-5 шт./мл; температура воды – 17-19 °C.

Большое значение для роста и развития личинки всех стадий имеет температура среды, в которой личинки содержатся, поскольку данный фактор оказывает непосредственное влияние на метаболизм особей. При развитии личинок до наступления метаморфоза благоприятной считается температура в пределах 15–18 °C. Кроме того, освещение также является существенным фактором в развитии личинок морского ежа: применение разного режима освещения необходимо для того, чтобы обеспечить равномерное распределение личинок в толще воды, и зависит оно от активности особей, поскольку при концентрации личинок в верхних слоях воды они сцепляются между собой и погибают.

Через трое суток после закладки оплодотворенной икры на инкубацию личинки переходят в стадию плuteуса I и начинают питаться. Основой корма являются планктонные микроводоросли, а именно *Dunaliella Salina*. Количество вносимого корма постепенно увеличивается. На 3 сутки с момента нереста вносят 30 тыс. кл. на мл воды в сутки. На 10-е сутки, когда личинка переходит на стадию плuteус II, вносится 37 тыс. кл. на 1 мл воды в сутки.

На 18-19 сутки, на стадии плuteus III, личинки оседают на субстрат и претерпевают метаморфоз. Кормом для молоди служат диатомовые водоросли. При достижении диаметра панциря 2 мм молодь переносится в садки. Основу рациона составляют *Ulva Fenestrata* и *Laminaria Japonica*, количество корма составляет 5-6 % от массы тела гидробионтов. Летнее выращивание осуществляется в садках, зимнее – в условиях цеха при температуре 13-14 °C. В данных условиях морские ежи растут значительно быстрее, чем в дикой природе. На втором году жизни они достигают размеров 40-42 см [6, с. 295].

Кроме «традиционного» метода культивирования данного вида беспозвоночного, который был описан выше, «Преображенская БТФ» совместно с учеными ТИНРО-Центра планирует высаживать личинки серого морского ежа на плантациях морской капусты (общая площадь таких плантаций, находящихся во владении данного предприятия, – 10 га). В планах компании не только пополнение естественных популяций данного вида гидробионтов,

но и производство сырья для отечественных фармакологических компаний. Предполагается, что данный метод культивирования будет способствовать более быстрым темпам роста данного объекта аквакультуры, что в свою очередь позволит использовать его в целях, описанных ранее.

Применение морских ежей.

Гонады морских ежей активно используются в фармакологии как в виде нативного продукта, так и в виде основного компонента БАДов – икра морских ежей содержит большое количество биологически активных веществ: незаменимые аминокислоты, моно- и полиненасыщенные жирные кислоты, жирорастворимые (A, D, E) и водорастворимые (C и В-группа) витамины, каротиноиды, выполняющие функции антиоксидантов. Кроме того, известно и о противовоспалительных свойствах экстракта половых продуктов морских ежей. Также хорошо себя зарекомендовали препараты для лечения кардиологических и офтальмологических заболеваний на основе пигментов морских ежей (эхиохромы и спинохромы) [3, с. 45].

Кроме медицины, морские ежи – в частности речь идет о структуре и свойствах зубов данных гидробионтов, получивших названия «Аристотелева фонаря» – являются перспективным объектом исследования в области создания новых особо прочных материалов, предназначенных для изготовления орудий для резки, шлифовки, проведения работ в горнодобывающей отрасли и для рытья тоннелей [9, с. 1259].

Стоит отметить и разработки органических удобрений на основе морских гидробионтов, среди которых – и морские ежи. Такие удобрения содержат биологически активные вещества, которые растения не способны синтезировать самостоятельно, но при их внесении в почву положительно влияют на рост культур и способствуют их устойчивости к грибковым заболеваниям, что особенно актуально для регионов с суровыми климатическими условиями, не способствующими полноценному развитию сельскохозяйственных культур [4, с. 88].

Заключение.

Серый морской еж – один из перспективных объектов аквакультуры. Проведенное исследование демонстрирует наличие эффективной и выгодной технологии промышленного выращивания рассматриваемого вида.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Искусственное воспроизводство серого морского ежа позволяет не только получить товарную продукцию, но и восполнить его природные популяции.
2. Выращивание в условиях УЗВ позволяет создавать оптимальные условия, ускоряющие рост и развитие личинок.
3. Основная задача искусственного воспроизводства направлена на повышение ГСИ. Повышение гонадо-соматического индекса зависит от температуры, освещенности и содержания растворенного в воде кислорода, что доказывает целесообразность использования УЗВ. Представленные данные подтверждаются исследованиями других авторов [10, с. 27; 11, с. 293].
4. Сфера применения морских ежей достаточно широка, что, в свою очередь, подтверждает целесообразность их искусственного воспроизводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бажин А.Г., Степанов В.Г. Морские ежи семейства Strongylocentrotidae морей России. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2012. 196 с.
2. Евдокимов В.В. К вопросу о репродуктивной биологии промысловых гидробионтов / В.В. Евдокимов, И.В. Матросова // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции, Саратов, 10

января 2020 года. Том Часть 2. Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2020. С. 30-32.

3. Кафанов А.И., Павлючков В.А. Экология промысловых морских ежей рода *Strongylocentrotus* материкового япономорского побережья России // Известия ТИНРО. 2001. № 1-2. 25 с.

4. Кокорина Т.А. Некоторые Результаты содержания молоди и половозрелого серого морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* в установках замкнутого водоиспользования (УЗВ) / Т.А. Кокорина, Д.Е. Чумаков, И.В. Сырбу // Труды СахНИРО. Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях. 2022. Т. 18. С. 56-67.

5. Крыжановский С.П. Биологически активные вещества морских ежей – основа для разработки лекарственных препаратов и фармацевтических субстанций // Сибирский научный медицинский журнал. 2013. Т. 33. № 2. С. 39-48.

6. Оценка влияния биостимуляторов из морских гидробионтов на урожайность и заболеваемость картофеля ризоктониозом / В. В. Гайнатулина [и др.] // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2018. № 3. С. 83-90.

7. Современные тенденции разведения и культивирования нетрадиционных объектов аквакультуры (арктический голец, камчатский краб, морской еж) и технологии переработки гидробионтов / П.Р. Макаревич [и др.]// Вестник Мурманского государственного технического университета. 2018. Т. 21. № 2. С. 355-370.

8. Сухин И.Ю. Особенности биотехники разведения серых морских ежей в условиях южного Приморья. // VII Всероссийская конференция по промысловым беспозвоночным памяти Б. Г. Иванова: тез. докл., г. Мурманск, 9-13 октября 2006 г. М., 2006. С. 295-297.

9. Тренклер И.В. Современное состояние и перспективы пастбищной марикультуры / И.В. Тренклер, Е.И. Шишанова // Перспективные технологии аквакультуры, Москва, 18-19 мая 2021 года. М.: Издательство «Перо», 2021. С. 218-243.

10. Abe E., Tada M. The ecology of a sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (A. Agassiz) on the coast of Okhotsk sea in Hokkaido // Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn., 1994. pp. 45-56

11. George S.B. Echinoderm egg and larval quality as a function of adult nutritional state // Colloq. interact, fact. biotiq. et abiotiq. cycle vie invertebres mar., Villefranche-sur-Mer: Oceanol. acta. 1996. Vol. 19. No. 3-4. pp. 97-308.

12. In situ Wear Study Reveals Role of Microstructure on Self-Sharpening Mechanism in Sea Urchin Teeth / Horacio D. Espinosa [et al.] // Matter. 2019. Vol. 1. No. 5. pp. 1246-1261

13. Kawamura K. On the development of planktonic larvae of Japanese sea urchins, *Strongylocentrotus intermedius* and *S. nudus* // Sci. Rep. Hokk. Fish. Exp. Stat. 1970. Vol. 12. pp. 25-32.

14. Sakai Y., Tajima K-I., Agatsuma Y. Mass production of seed of Japanese edible sea urchins *Strongylocentrotus intermedius* and *Strongylocentrotus nudus* // Sea Urchins: Fisheries and Ecology Proceedings of the International Conference on Sea-Urchin fisheries and Aquaculture. 2003. pp. 287-298.

Поступила в редакцию: 14.04.2025

Принята в печать: 01.07.2025

© Кознева Н.В., Юдин А.И.,
Ямкова М.И., 2025.