

577.472

Б 44

ОРДЕНОВ ЛЕНИНА И ДРУЖБЫ НАРОДОВ АКАДЕМИЯ НАУК
УКРАИНСКОЙ ССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А. О. КОВАЛЕВСКОГО

На правах рукописи

БЕЛЯЕВ Борис Николаевич

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ В ИСКУССТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

03.00.18 — гидробиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Севастополь,
1982

Работа выполнена в лаборатории культивирования рыб отдела ихтиологии Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского АН УССР.

Научные руководители: доктор физико-математических наук, член-корреспондент АН УССР **Беляев В. И.**
кандидат биологических наук, с. н. с. **Чепурнов А. В.**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, с. н. с. **Хайлов К. М.**
кандидат биологических наук, с. н. с. **Самышев Э. З.**

Ведущее предприятие: Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО).

Защита состоялась *26 апреля* 1982 г. в *14* час.
на заседании специализированного совета Ц 016.12.01 при Институте южного АН УССР по адресу:

библиотеке Института.

1982 г.

в совета

морей
УССР.

ПРОВ 2010

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Как считают специалисты, наступает время, когда затраты на единицу продукции в рыболовстве и марикультуре могут сравняться. Поэтому марикультура становится объектом всеобщего внимания. Она должна стать одним из основных факторов сохранения и увеличения биологических ресурсов океана, сыграть важную роль в охране окружающей среды, поскольку уже сейчас наблюдаются случаи нарушения экологического равновесия, в результате которых экологические ниши захватываются менее ценными породами рыб.

Для нашей страны в связи с введением 200-мильных экономических зон, марикультура — это также гарантированный урожай продукции для использования в пищевых, кормовых, промышленных и медицинских целях. Но для разработки биологических основ культивирования конкретного вида необходимы полные знания о ранних стадиях его развития: экологии, этологии, морфологических особенностей и пищевых потребностей.

Малочисленность таких работ с личинками камбаль-калкана и глоссы, которые считаются потенциальными объектами марикультуры на Азово-Черноморском бассейне, обусловлена трудностями отлова экспериментального материала.

В связи с этим возникли две взаимосвязанные противоположные проблемы: 1) Получение и выращивание личинок рыб в искусственных условиях при минимальной информации об объекте и 2) Получение максимальной информации об объекте при дефиците исследуемого материала.

Цель работы

Целью работы является разработка методов оптимизации искусственного выращивания гидробионтов с использованием технических

БИБЛИОТЕКА

средств и теории планирования эксперимента.

Основные задачи исследования

- Оптимизация условий культивирования иловых культур на базе изучения комбинированного влияния факторов среды на численности популяций кормовых артемий и развитие икры рыб.

- Разработка методик оптимизации динамических биологических процессов на базе математических методов планирования эксперимента и на базе градиентного метода.

- Разработка установок и устройств, обеспечивающих проведение экологического эксперимента при контролируемых условиях среды.

Научная новизна работы

- Разработана методика оптимизации абиотических условий при культивировании гидробионтов с длительным циклом развития, основанная на синтезе линейных планов и стратегии планов, оценивающих эффект различных последовательностей воздействия на объект; доказана эффективность её применения.

- На базе градиентного метода разработан способ определения оптимального температурного режима для ранних стадий развития личинок рыб, признанный изобретением.

- Получены зависимости роста численности популяций коловраток и плодовитости артемий от температуры, освещённости и кормов при их комбинированном воздействии.

- Исследовано поведение коловраток и артемий в переменном световом поле, определены их скорости фототропизма.

- Исследовано комбинированное влияние температуры и освещённости на развитие икры бычка-кругляка и определена термочувствительность отдельных этапов её развития.

Практическая ценность

Разработан способ отделения жизнеспособных яиц артемий от примесей и нежизнеспособных яиц, признанный изобретением (а.с.

№ 653603).

Разработан способ искусственного выращивания бычка-кругляка с выходом из икры жизнестойких одномесечных мальков более 90%.

Разработан способ искусственного выращивания камбалы-калкана, признанный изобретением (а.с. № 847961).

Разработан и создан ряд установок и устройств, обеспечивающих проведение экологического эксперимента при контролируемых условиях, защищённых пятью авторскими свидетельствами (№ 529821, 563497, 789067, 805963, 824920).

Апробация работы

Основные материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на:

- Всесоюзном совещании по морской аквакультуре (г. Керчь, 1976г);
- IX Всесоюзной школе "Автоматизация научных исследований в химии и химической технологии" (г. Баку, 1977г);
- I съезде советских океанологов (г. Москва, 1977г);
- Всесоюзной конференции "Технические средства изучения и освоения океана" - Океанотехника-81 (г. Севастополь, 1981г);
- научном семинаре "Статистические исследования и планирование экспериментов" Севастопольского приборостроительного института (г. Севастополь, 1979г);
- научном семинаре ИнБЮМ АН УССР (г. Севастополь, 1981г);
- научном семинаре ВНИРО (г. Москва, 1981г).

Публикации

По теме диссертации опубликована 21 печатная работа.

Объём диссертации

Реферируемая работа состоит из введения, пяти глав, заключения и общих выводов, изложенных на 105 страницах машинописного текста, списка литературы (211 наименований, из них 44 в иностранных изданиях), 34 рисунков и 8 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложено сущность проблемы и сформулирована цель работы.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

I.1. Актуальность проблемы

На основе сравнения достижений рыболовства и аквакультуры и тенденций их развития обоснована актуальность следующих работ, связанных с аквакультурой:

- автоматизация экологических исследований в естественных условиях;
- привлечение математических методов планирования эксперимента и разработка других методов оптимизации условий выращивания гидробионтов в искусственных экосистемах;
- разработка аппаратуры, обеспечивающей проведение активного лабораторного экологического эксперимента.

Развитию второго и третьего направлений и посвящена настоящая работа.

I.2. Особенности биологического эксперимента и возможности его планирования

На фоне широкого использования математических методов планирования эксперимента обнаружены лишь единичные биологические работы, направленные только на оптимизацию короткоциклических процессов.

Это связано с тем, что любой биологический эксперимент характеризуется наличием неоднородностей типа "временной дрейф", т.е. в течение длительного развития организма меняется не только его чувствительность, т.е. максимальная величина реакции организма, но и лабильность в целом.

Поэтому для оптимизации таких длиннопериодических процессов, чаще является культивирование рыб, необходима разработка специальных методов и планов.

I.3. Техническое оснащение экологических экспериментов

Проточные системы требуют стабильного источника большого количества чистой воды, поэтому все современные экологические лаборатории оснащены системами полупроточного типа, для которых характерны большая резервная ёмкость воды и насыщенность элементами для её подготовки и регенерации. Резервуар заполняется в периоды благоприятной синоптической и гидрологической обстановки.

В условиях ИнБЮМ единственным приемлемым вариантом обеспечения экологических экспериментов оказались замкнутые системы. Их основная проблема - удаление неионизированного аммиака, наиболее токсичного прижизненного метаболита, - решена лишь частично, и здесь имеется широкое поле деятельности для их совершенствования.

В заключительной части сформулированы задачи исследований.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА

2.1. Получение материала

В качестве объектов культивирования испытывались черноморские рыбы камбала-калкан *Scophthalmus maoticus maoticus* и бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* отлавливаемые сетями в районе Севастополя.

В качестве первого звена их трофических цепей использовались одноклеточные водоросли *Platimonas viridis* и *Amphidinium klebsii* из культур отдела физиологии водорослей, а в качестве второго - колорастики *Brachionus plicatilis* и жаброногие рачки

Artemia salina из солёных озёр Крыма.

Долгохранящиеся яйца артемий теряют жизнеспособность и дают низкий и нестабильный выхлыв, изменяющийся от 10% до 20%. Разработанный нами способ отделения жизнеспособных яиц от общей массы основан на открытии факта зависимости их жизнеспособности, зависящей от удельного веса, который в свою очередь может быть различной степенью их гидратации и обрастания микробальной плёнкой. Выхлыв отдельных яиц повышается до 85±2%, что облегчает задание рациона личинкам рыб.

2.2. Теоретические предпосылки разработок оборудования для экологических исследований

Анализ экологической значимости факторов внешней среды приводит к выводу, что вплоть до перехода личинок на смешанное питание решающее значение имеют физико-химические и микробиологические показатели качества воды, а после перехода резко возрастает значимость фактора корма.

Из абиотических факторов наиболее значимый — температура. С учётом всех существующих методов температурных исследований, температура в установках для содержания гидробионтов должна легко устанавливаться с пространственным градиентом или равномерной по всему объёму на постоянном уровне, или изменяться во времени по заданной программе.

Кроме того, установки должны обеспечить регулирование светового, газового и водного режимов, а также условий питания.

В системах с замкнутым циклом водоподготовки, которые по существу являются искусственными экосистемами, особое значение имеет качество воды. В расчёте на единицу объёма воды такая система, на наш взгляд, должна работать более интенсивно, чем естественная: отношение резерва любого вещества к его мгновенному

расходу должно быть небольшим. Т.е. она должна строиться по принципу проточной системы, через рабочий объём которой необходимо пропустить поток энергии и вещества, увеличивая часть, поглощаемую культивируемыми объектами, и удалить в процессе регенерации воды остатки вещества и продукты жизнедеятельности объектов.

2.3. Акватехника, разработанная в ИнБЮМ

В 1974 г. была создана автоматизированная лабораторная установка с замкнутым циклом подготовки воды объёмом 1,5 м³, основное предназначение которой — это уменьшение неопределённости экологического эксперимента за счёт "кондиционирования" условий среды, стабилизации таких параметров её качества, как содержание аммиака, нитритов, нитратов и гетеротрофных бактерий.

Установка включает озоноконтактное-пенновзбивающее устройство, узлы УФ-стерилизации, аэрации, биологический, механический и химический фильтры, системы регулирования температуры, освещённости, солёности, pH и скорости потока воды.

В качестве рабочих объёмов использованы наши аквариумы, предназначенные для инкубирования пелагической икры и подрывивания личинок рыб (а.с. № 52982I).

Для проведения многофакторных экспериментов с большим различием качества среды в опытах создана компактная лабораторная установка, оснащённая блоком задания переменных температур (а.с. № 789067), а для увеличения срока непрерывной работы установок с замкнутым циклом водоподготовки разработан секционированный биофильтр с дополнительным блоком регулирования температуры субстрата. Разработка признана изобретением, т.к. позволяет содержать культуру биофильтра в оптимальных условиях, независимо от температуры воды в установке.

Разработан ряд устройств, обеспечивающих проведение биологического эксперимента при контролируемых режимах температуры, давления и условий питания (д.с. В. 1969).

2.4. Методики оптимизации условий выращивания гидробионтов

Для целей оптимизации методов культивирования гидробионтов с длительным циклом развития разработана методика, основанная на которой является включение в состав линейной модели, наряду с постоянными уровнями факторов, их градиентов. Такой план на каждой фазе развития позволяет получить линейную модель зависимости выходного показателя от уровней факторов, их изменений и взаимодействий:

$$Y_{jk} = \beta_{0k} + \sum_{i=1}^n \beta_{ik} x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ (i < j)}}^{n-1} \beta_{ijk} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \beta_{gik} g_i dx_i \quad (1)$$

где k - число фаз;

m - число факторов с изменяющимися уровнями,

а также получить в факторном пространстве ломаную кривую, проекции которой на факторные плоскости - это оптимальные временные изменения уровней факторов среды.

Методика позволяет значительно сократить количество независимых опытов:

$$N_i = \ell \cdot 2^{n+m} \quad (2)$$

вместо

$$N = \rho^{n \cdot \ell} \quad (3)$$

необходимого для перебора всех возможных последовательностей воздействия "n" факторов, изменяющихся на "p" уровнях в течение "l" фаз. Например, для $n=2$, $m=2$, $p=3$ и $\ell=3$, $N=729$, $N_i=48$.

Методика была использована для оптимизации температурного

режима при разработке способа культивирования камбалы-калкана.

Учитывая, что каждый независимый опыт - это, как минимум, одна искусственная экосистема, на базе градиентного метода определения предпочитаемых температур, описанного В.С.Ивлевым (Ивлев, 1962), разработан способ определения оптимального хода температуры при выращивании личинок рыб.

Градиентный метод позволяет определить предпочитаемые температуры только для взрослых рыб и только на момент измерения, а результат зависит от температуры предварительной адаптации. На фазе перехода личинок на смешанное питание распределение кормовых организмов в условиях термоградиента будет определяющим для их распределения и исказит истинную картину термопреферендума.

Согласно разработанному способу к моменту перехода личинок на смешанное питание в каждую температурную зону термоградиентной установки вводят предварительно акклиматизированные к разным температурам живые корма, поддерживая их равномерную концентрацию, и автоматически регистрируют встречаемость личинок во всех температурных зонах. Способ признан изобретением.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ В СИСТЕМЕ С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ ВОДОПОДГОТОВКИ

Согласно литературным данным "кондиционирование" среды в замкнутых системах наступает на 50-60 сутки после начала циркуляции воды. В моменте, когда биофильтр выходит на оптимальный режим, судят по стабилизации численности бактерий, населяющих биофильтр, или косвенно по стабилизации физико-химических показателей среды.

Эксперимент по оценке эффектов озонирования и стерилизации воды на численность гетеротрофных бактерий показал, что озони-

ржание лишь незначительно, а УФ-стерилизация в течение часа более чем в 100 раз (с 10000 до 34 кл/мл) снижают их содержание в воде. Это позволило сделать вывод о правильной компоновке узлов надей установки: поновзбивающее-озонконтактное устройство - до биофильтра, а стерилизатор - после него.

70-суточный эксперимент по водоподготовке показал, что в первые 10 суток работы циркуляционной системы без включения аэраторов, флотатора, озонатора и стерилизатора качество воды значительно ухудшилось, о чём свидетельствовала обильная микробная плёнка в аквариумах (рис.1). Непрерывное увеличение содержания нитритов и нитратов вплоть до 40-х суток свидетельствует с одной стороны о поступлении аммиака, а с другой стороны - о начале процесса нитрификации аммония автотрофами *Nitrosomonas* и *Nitrobaeter*.

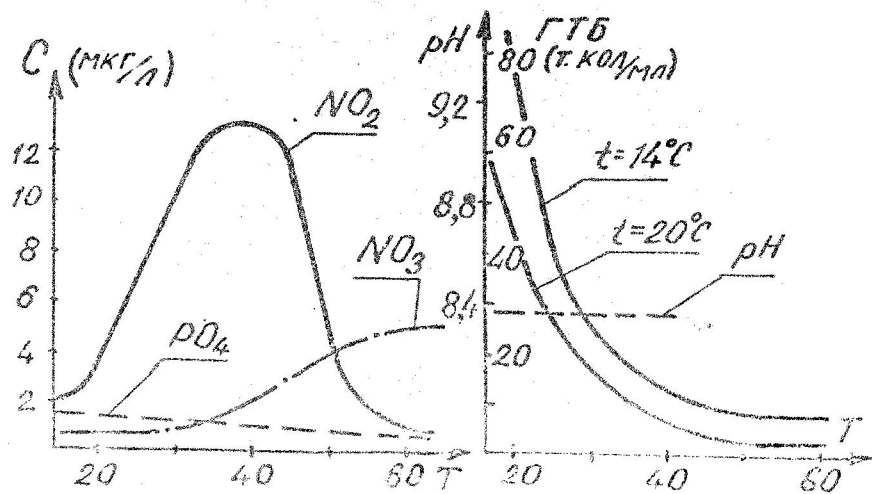


Рис.1. Эксперимент по водоподготовке.

Параллельно, за счёт эффективной работы озонконтактного поновзбивающего устройства (флотатора) и стерилизатора идёт резкое снижение количества гетеротрофных бактерий. Это приводит к снижению поступления в воду аммиака, ограничивая рост *Nitrosomonas* и дальнейшее накопление нитритов.

После 40 суток продолжается накопление нитратов, которые на 60-70-е сутки стабилизируются на уровне 4,5-5 мг N/л, а содержание нитритов падает до 1 мг N/л. Непрерывное уменьшение содержания фосфатов с 1,5 до 0,5 мг P/л может свидетельствовать о присутствии автотрофов, потребляющих фосфор.

Более низкое содержание гетеротрофов в аквариумах с температурой $20^\circ C$, по сравнению с "холодными" ($14^\circ C$), мы объяснили интенсификацией процесса деструкции РОВ при повышенной температуре и уменьшением т.о. их кормовой базы.

Динамика составляющих азотного цикла показала хорошее совпадение с результатами, полученными на аналогичных установках у нас и за рубежом: система будет жизнеспособна, если на 5 кг биомассы будет 1 м³ воды, который через биофильтр площадью 1 м² будет прокачиваться не более чем за 1 час.

ГЛАВА 4. ИЗУЧЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ ГИДРОБИОНТОВ

4.1. Влияние температуры, освещённости и кормов на темпы роста численности популяций коловраток *Be. plicatilis*.

Для исходной численности коловраток $N_0 = 5$ и времени развития популяции 4 суток при кормлении их водорослями *Pl. viridis* которые оказались значительно эффективнее *Amp. klebsii* получена модель:

$$N_t = 184 + 445 \cdot t + 203 \cdot t \cdot E + 330 \cdot t^2 + 216 \cdot t^2 \cdot E, \quad (4)$$

в которой температура t и освещённость E подставляются в координатных величинах от -1 (22°C и 300 лк) до +1 (30°C и 2800 лк) (рис.2). Согласно модели в точке $t=26^{\circ}\text{C}$, $E=300$ лк одновременный темп роста $K=0$, а время удвоения численности популяции $q > 4$. Абсолютный максимум темпов роста популяции следует искать в области $t > 30^{\circ}\text{C}$, $E > 2800$ лк.

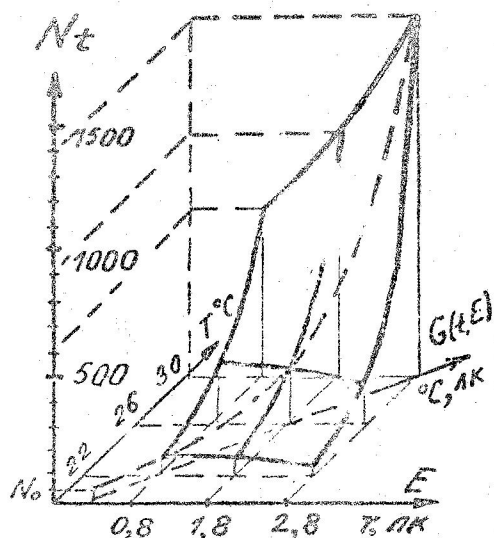


Рис.2. Комбинированное влияние факторов на рост численности популяции коловраток.

На рис.3 представлены величины времени удвоения популяции, вычисленные по данным двух экспериментов и по модели (4) вдоль оси $G(t, E)$, обозначенной на рис.2 пунктиром. Их хорошее совпадение по всей области варьирования факторов подтверждает гипотезу об адекватности модели (4) с уровнем значимости 0,05 и позволяет рассчитывать время нараживания заданной концентрации

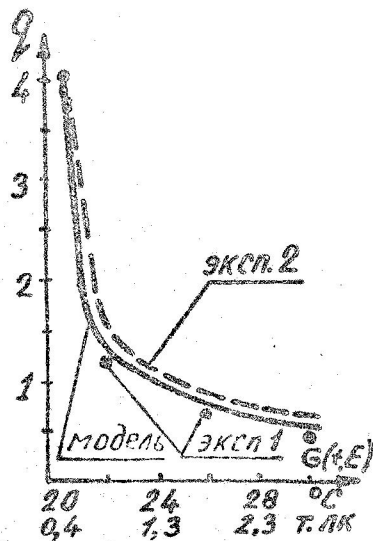


Рис.3. Зависимость времени удвоения популяции от температуры и освещённости.

коловраток.

Зафиксирован факт, что при увеличении темпов роста численности уменьшаются размеры особей и растёт отношение количества молоди к числу яйценоших самок: с 1 при 20°C до 4 при 30°C .

4.2. Влияние температуры, освещённости и корма на плодовитость марионга *Artemia salina*

ДФЭ типа Z^{3-1} , в котором температура варьировалась от 19 до 31°C , освещённость - от 50 до 750 лк, концентрация водорослей *Pl. viridis* - от 10^2 до 10^4 кл/мл (хотя оптимальной считается концентрация 10^5 - 10^6 кл/мл (Ивлёва, 1969) показал, что жизнеспособность науплиев артемий для этих диапазонов варьирования зависит, прежде всего, от температуры и не нарушается при содержании их в течение 5-6 суток при температуре меньше 20°C , если концентрация водорослей будет не менее 10^3 кл/мл.

Выживание в эксперименте по частичному голоданию науплии при содержании в последующие 15 суток в контрольных условиях ($t=25^{\circ}\text{C}$, $E \sim 2000$ лк, $C > 10^6$ кл/мл) компенсировали отставание в развитии и 36 особей из них были вместе с 18-ю контрольными особями со зрелыми половыми продуктами испытаны в эксперименте по определению плодовитости за трое суток (N_3), за семь суток (N_7) и абсолютной (N).

ДФЭ типа Z^2 , в котором температура варьировалась от 20° до 30°C , освещённость - от 800 до 2800 лк и поддерживалась концентрация *Pl. viridis* $> 10^6$ кл/мл, показал, что для обеспечения 5% уровня значимости в каждом опыте должно испытываться более 20 самок, а 6 особей могли обеспечить 20% уровень значимости только для трёхсуточной плодовитости:

$$N_3 = 176 + 62t + 24E - 82t^2 \quad (5)$$

максимум которой приходится на температуру 26-28°C.

Для N_7 и N построение модели оказалось невозможным и результаты были осреднены по каждой температуре и сведены в график зависимости плодовитости от времени (рис.4), из которого видно, что за 7 суток артемии при температуре от 25 до 30°C дают от 80 до 95% всего потомства. Это важно для разработки способов их культивирования.

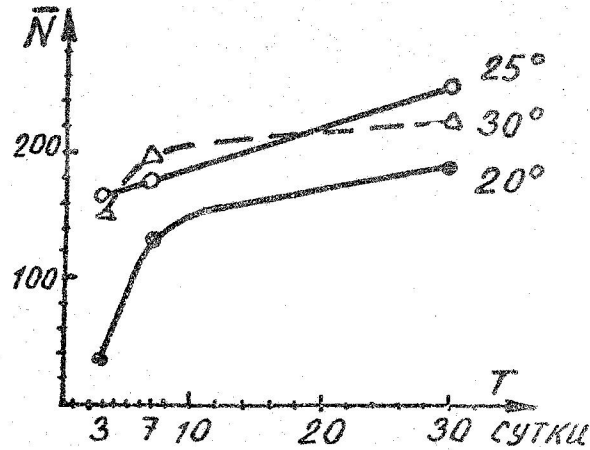


Рис.4. Зависимость плодовитости артемии от температуры.

4.3. Влияние условий инкубации на развитие икры черноморских рыб

ДФБ типа 2²-I, в котором варьировалась температура от 14 до 20°C, освещённость - от 100 до 800 лк, а в качестве третьего фактора был взят исходный вес икринок (8,7 и 9,5 мг), показали, что температура существенно влияет на время эмбрионального развития $T_э$, длину односуточных мальков L_1 , а через эти параметры - и на объём желточного мешка при выклеве: чем больше $T_э$ и L_1 (при меньших t), тем больше запасов желточного мешка уходит на

строение эмбриона бычка-кругляка.

Поскольку начальный вес икры W статистически незначимо влияет на эти же параметры, очевидно, что его различие зависит от размеров оболочки и степени обводнённости икры.

С уровнем значимости 0,2 для инкубации икры бычка могут быть рекомендованы освещённости 200-300 лк.

В выбранном диапазоне варьирования температуры $T_э$ изменяется более чем в два раза (от 16 до 39), поэтому был проведен эксперимент, в котором температура варьировалась на пяти уровнях от 12 до 24°C, а в качестве выходных параметров измеряли продолжительность отдельных этапов развития, которые определяли по Москальковой К.И. (1967), и количество нормальных эмбрионов (рис.5).

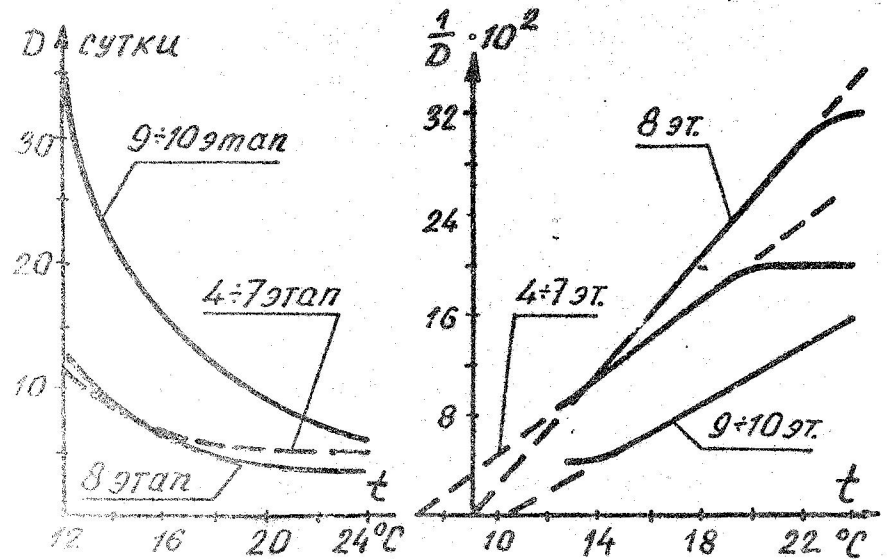


Рис.5. Влияние температуры на длительность развития икры бычка-кругляка.

Рис.6. Зависимость роста скорости развития отдельных этапов икры бычка от температуры.

Вычислены скорости развития на этих этапах, и по ним определены точки "биологического нуля" (рис.6): для IV-VII этапов -7° , для VIII -9° , для IX-X $-10,5^{\circ}\text{C}$. Для VII этапа при 18° , а для VIII при 20°C наступает ограничение роста скорости: очевидно, избыток тепла на этих этапах и приводит к увеличению числа уродливых эмбрионов.

ИЭЭ типа 3^2 по влиянию температуры в диапазоне от 7 до 15°C , освещённости - от 300 до 2300 лк на развитие икры камбаль-калкана подтвердил литературные данные, что оптимальным является диапазон температур $13-16^{\circ}\text{C}$, и с уровнем значимости 0,2 выявил оптимальные освещённости для инкубирования икры и подраживания личинок до 3-суточного возраста в пределах 300-500 лк.

ГЛАВА 5. ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛИЧИНОК ЧЕРНОМОРСКИХ РЫБ В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ

5.1. Плавуемость личинок камбаль-калкана как обобщённый параметр оптимальности их развития

Чувствительность показателя смертности нестабильна и минимальна в промежутках между критическими этапами.

Дыхание гидробионтов или связанная с ним интенсивность обмена, "интегрально отражающаяся, согласно Г.Г.Винбергу (1968), совокупность морфофизиологических свойств каждого объекта, не могут быть использованы в качестве обобщённого параметра оптимальности их развития из-за чрезмерной интегральности.

Наиболее важным этапом на разных стадиях развития рыб является переход личинок на смешанное питание. Например, раннее голодание личинок сельди и камбала приводит к немедленному изменению состава тела (увеличению содержания воды, уменьшению процента жира), к изменению его плавуемости (*Blaxter, Ehrlich,*

1974). Наши исследования показали, что к исходу третьих суток развития личинок камбаль-калкана статистически различаются скорости погружения анестезированных хорошо питающихся и голодающих личинок, а на четвёртые сутки выделяется и плохо питающихся (рис.7).

Для ринотомичных в морской воде личинок повышение содержания воды даёт вклад в подъёмную силу, поэтому у погибающих личинок, у которых нарушается осморегуляция, содержание воды резко увеличивается и увеличивается скорости их погружения (точки, обозначены крестиками).

Замеченные результаты позволили сделать вывод о целесообразности использования скорости погружения анестезированных личинок в качестве экспресс-индикатора оптимальности их развития.

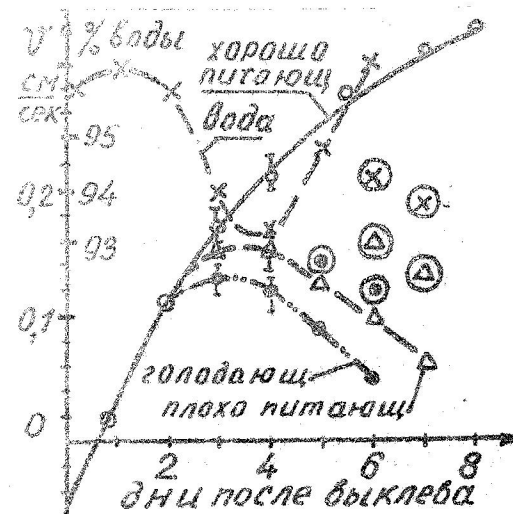


Рис.7. Динамика плавуемости голодающих личинок камбаль-калкана.

5.2. Оптимизация условий кормления личинок рыб

Предварительное наращивание в аквариумах больших плотностей фито- и зоопланктона для организации интенсивного питания личинок неизбежно приводит к ухудшению среды за счёт прижизненных метаболитов и отмирания кормовых организмов.

В результате изучения поведения коловраток и артемий в переменном световом поле были определены их горизонтальные скорости фототропии (1±2 и 10-15 см/мин. соответственно) и разработаны основы проектирования устройств для концентрирования, отделения от среды и агрегирования живых кормов в аквариумах.

Такие приёмы кормления позволили поддерживать высокую интенсивность питания личинок при низких средних концентрациях кормовых организмов.

5.3. Способ искусственного разведения бычка-кругляка

Основа способа - это режим повышающихся температур при инкубации икры, разработанный с учётом термочувствительности отдельных этапов её развития.

Икру, выметанную и оплодотворённую производителями в искусственных гнёздах при 18°C, помещали в установки с замкнутым циклом водоподготовки, где в первые 7-8 суток поддерживали температуру 14-15°C, затем в течение 4-х суток её повышали на 1°C за сутки, а в последующие 6-7 суток - на 0,5°C за сутки так, чтобы к моменту выклева, который происходил на 17-20 сутки, температура не превышала 21-22°C. При этом в полость каждого гнезда вводили азрированный поток воды, что заменяло действия самца по уходу за гнездом, а освещённость воды меняли с суточным ритмом от 0 до 300 лк.

На третьи сутки после выклева мальков оставляли в установке из расчёта 4-5 экз/л, задавали 50-100 кл/мл водорослей *Pt. vizi-dis* 2-4 экз/мл науплиев артемий и естественного планктона, и

выход жизнеспособных одномесячных мальков из икры составил более 90%, а по граму как из естественных кладок выход нормальных эмбрионов не превышает 50% (Калинина, 1976).

Из полученных по этому способу мальков были выращены половозрелые особи, давшие в условиях лаборатории второе поколение, т.е. способ может быть рекомендован для опытно-промышленного внедрения.

5.4. Способ искусственного разведения камбалы-калкана

В его основу был положен способ, разработанный сотрудниками ВНИРО и АзЧерНИРО (Аронович и др., 1977). Однако температурный, световой и газовый режимы, плотности посадок личинок и условия кормления значительно изменены.

В исходном способе при плотности посадки 7 личинок на 1 мл гуда задавали водорослей (0,5-0,7) 10⁶ кл и коловраток 3-5 экз., а на 10-е сутки - 0,5 экз/мл науплиев артемий. Освещённость поддерживали 2000 лк, что определялось потребностями водорослей, а температуру - 16°C. К 25-м суткам развития личинки достигали длины 10-10,5 мм при выживаемости менее 0,1%.

По нашему способу водоросли и коловратки наращивались отдельно и освещённость в установках с 20-ю личинками в литре меняли в соответствии с суточным ритмом от 0 до 250 лк. Поиск оптимального хода температуры, проведенный по разработанной методике (2.4), выявил преимущество режима повышения температуры от 16° (при которой трое суток содержали выклюнувшихся личинок) до 25° со скоростью 0,5°C за сутки по сравнению с режимом постоянной температуры 16°C.

До 10 суток развития личинок за счёт внесения водорослей и коловраток поддерживали среднюю концентрацию последних на уровне 30-35 экз/мл, а за счёт агрегирования их концентрация в пят-

не § 15 см составляла 120-140 экз/мл. На десятые сутки задавали науплийев артемий 2-4 экз. на 1 мл. К 25-м суткам личинки достигали длины 15-19 мм при выживаемости 8%.

Впервые были выращены личинки в возрасте 70 суток и получены новые данные, в т.ч. опровергнуты предположения, что повышение температуры до 19° в начале стадии метаморфоза могло быть причиной их массовой гибели и что метаморфоз камбалы-калкана может быть завершён к 25-м суткам развития. На способ получено авторское свидетельство № 847961.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В задачи представленной работы не входило создание тех или иных устройств культивирования конкретного вида, а лишь разработка методов оптимизации выращивания гидробионтов в искусственных условиях и технического оснащения для их реализации.

Разработанная методика отчасти восполняет отсутствие планов экстремального поиска для биологических объектов с длительным циклом развития. Однако её, как и все устройства, сконструированные для проведения экологических экспериментов в контролируемых условиях, можно считать лишь первым удачным или неудачным шагом в этом направлении.

Развитый на базе градиентного метода способ определения оптимальных температур для личинок рыб открывает перспективы создания градиентных установок для оптимизации режима трёх одновременно действующих факторов.

Хотя в оптимизации условий культивирования гидробионтов и, в частности, камбалы-калкана достигнуты определённые успехи, остаётся ещё ряд факторов, например, давление и режим переменных температур, влияние которых не оценено. Это требует, прежде все-

го, внедрения в научные исследования разработанных устройств (например, по а.с. № 805963) и дальнейшего совершенствования уже действующих.

Перспективность направлений, выбранных в работе, подтверждается тем, что в последнее время проявляется большой интерес к разработке вопросов методологии и технологии гидробиологических исследований вообще (Хайлов, 1979) и к экологическим исследованиям в экспериментальных замкнутых системах, в частности (Фёдоров, 1980; Алексеев, 1980).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ РАБОТЫ

1. Использование систем с замкнутым циклом водоподготовки в лабораторном экологическом эксперименте повышает эффективность исследований за счёт стабилизации фона среды и возможности проведения планируемого активного эксперимента.

2. Оптимизация условий культивирования черноморских рыб позволила разработать эффективный способ искусственного выращивания бычка-кругляка, который может быть рекомендован для опытно-промышленного внедрения, и способ искусственного выращивания камбалы-калкана, по которому впервые вырастили 70-суточных мальков и получили качественно новую информацию о ранних стадиях её развития.

3. Исследованиями комбинированного влияния факторов среды на развитие гидробионтов показали, что решающим для повышения выживаемости одномесячных мальков бычка-кругляка из икры оказался режим повышающихся температур при её инкубировании.

На увеличение выживаемости одномесячных личинок камбалы-калкана положительно влияет повышение температуры на 0,5°С за сутки, начиная от их трёхсуточного возраста, а также агрегирование

шых кормовых организмов в выростных аквариумах переменным световым полем. Об оптимальности развития гидробионтов при различных физиологическом состоянии можно судить по величине их удельного веса.

4. Экспериментальная проверка разработанной с использованием идей планирования эксперимента методики определения оптимального временного хода абиотических факторов дала положительные результаты, что свидетельствует о целесообразности развития методов экстремального поиска при культивировании гидробионтов с длительным циклом развития.

Разработанный на базе градиентного метода способ определения оптимального температурного режима может быть использован для оптимизации трёх абиотических факторов.

5. Удобства и несомненные преимущества использования автоматизированной лабораторной экологической экспериментальной системы с замкнутой циркуляцией водоподготовки ставят вопрос о необходимости их внедрения в опытно-промышленных масштабах на морских рыбных заводах.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Про організацію фундаментальних досліджень у зв'язку з проблемами створення морських господарств аквакультури. - Вісник АН УРСР. - Київ, Наук. думка, 1975, № 1, с. 82-88. (В соавт. с В.И. Беллевым и А.В. Чепурновым).

2. Математичне моделювання морських екосистем. Перший Всесоюзний семінар у Севастополі. - Вісник АН УРСР. - Київ, Наукова думка, 1975, № 2, с. 106-108.

3. Интенсифікація морських екологічних досліджень з допомогою нової експериментальної техніки. - Екологія моря, - Київ, Наук. думка, 1976, вип. 38, с. 67-76. (В соавт. с А.В. Чепурновым).

4. Устройство для инкубации икры и выращивания личинок рыб. - СССР. Изобр. к а.с. № 529821, М. кл. А01К 61/00. Опубл. 1976, БИ № 36, с. 5. (В соавт. с А.В. Чепурновым).

5. Автоматизированная система поддержания физико-химических условий среды, благоприятных для выращивания морских организмов. - Автоматизация научных исследований в химии и химической технологии (Мат. IX Всес. школы) - Баку, "Элм", 1977, с. 197-201. (В соавт. с В.И. Беллевым и А.В. Чепурновым).

6. Датчик гидростатического давления. - СССР. Опис. изобр. к а.с. № 553497, М. кл. G 01L 9/02. Опубл. 1977, БИ № 13, с. 154. (В соавт. с А.В. Касьяновым, А.З. Хлыстовым, А.Т. Голко и Н.М. Коваленко).

7. Методика оптимизации экспериментов по культивированию морских организмов в автоматизированных лабораторных системах. - В кн.: I Всесоюзная конференция по морской биологии (Тез. докл.) - Владивосток, 1977, с. 160. (В соавт. с В.И. Беллевым, Н.К. Ткаченко, А.В. Чепурновым).

8. Комплексные исследования физико-химических и биологических характеристик среды в автоматизированной установке с замкнутой циркуляцией морской воды. - В кн.: I съезд советских океанологов. Тез. докл. - М., Наука, 1977, вып. II, с. 149-150. (В соавт. с А.В. Чепурновым, М.Г. Рубцовой, Э.А. Чепурновой, Н.К. Ткаченко и В.Е. Витковой).

9. Предварительные результаты испытания лабораторной установки с замкнутой циркуляцией воды. - Гидробиол. ж. - Киев, 1978, т. XIV, вып. 6, с. 107-108. (В соавт. с А.В. Чепурновым, М.Г. Рубцовой, Э.А. Чепурновой).

10. Способ отделения жизнеспособных личинок артемии от примесей и нежизнеспособных личинок. - СССР. Опис. изобр. к а.с. № 656603. М. кл. А01К 61/00. Опубл. 1979, БИ № 14, с. 5. (С В.Н. Федотовой).

11. Влияние абиотических условий на развитие популяций морских организмов в лабораторных условиях (математическое и физическое моделирование). — Проблемы экологии прибайкалья (Тез. докл.), часть II-III. — Иркутск, 1979, с.105. (В соавт. с А.Ш.Ахметовым, В.И.Белиевым и А.В.Чепурновым).

12. Установка для содержания водных организмов. — СССР. Опис. изобр. к а.с. № 789067, М. кл. А01К 61/00. Оpubл. 1980, БИ № 47, с.5. (В соавт. с А.В.Чепурновым).

13. Устройство для концентрирования живых кормовых организмов. — Заявка на изобр. № 2800832/28-13 от 16.07.79г., положит. реш. от 23.08.80г. (В соавт. с А.В.Чепурновым).

14. Устройство для концентрирования фито- и зоопланктона. — Заявка на изобр. № 2968132/13 от 28.05.80г. Положит. решение от 06.11.80г. (В соавт. с В.И.Белоиваненко).

15. Устройство для исследования воздействия давления на водные организмы. — СССР. Опис. изобр. к а.с. № 805963, М. кл. А01К 61/00. Оpubл. 1981, БИ № 7, с.3. (В соавт. с А.В.Чепурновым).

16. Устройство для концентрирования фито- и зоопланктона. — СССР. Опис. изобр. к а.с. № 824920. М. кл. А01К 61/00, оpubл. 1981, БИ № 16, с.5.

17. О возможности применения математических методов при планировании экологического эксперимента. — В кн.: Экология морских организмов (материалы Всесоюз. научно-технич. конф.). — Киев, Наук. думка, 1981, с.104-123.

18. Установка для содержания водных организмов. — Заявка на изобр. № 2867551/13-006919 от 09.01.80г. Положит. решение от 28.01.81г.

19. Способ определения оптимального температурного режима при культивировании рыб. — Заявка на изобр. № 2956950/28-13 от 16.07.80 г. Положит. решение от 07.04.81 г.

20. Марикультура — мощный фактор охраны окружающей среды. — Тез. докл. Всесоюз. конф. «Техн. средства изуч. и освоения океана». Океанотехника-81. — Севастополь, СНИ, 1981, с. 229—230.

21. Способ искусственного разведения черноморской камбалы-калкана. — СССР. Опис. изобр. к а.с. № 847961. М. кл. А01К 61/00. Оpubл. 1981, БИ № 27, с. 6. (В соавт. с А. В. Чепурновым, Ю. Е. Битюковой и Н. К. Ткаченко).



Орден Ленин и Дружбы Народов Академия наук Украинской ССР
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского

БЯ 00043. Подписано к печати 10.02.82. Объем 1,75 у. п. л.
Заказ 1425. Тираж 150 экз. Бесплатно.

г. Севастополь, городская типография, ул. Маяковского, 5.