

Кандидат
биологических
наук
Э.К.Попова

Зачем рыбке лазер?



Ловить рыбу в море или реке в наше время не так выгодно, как раньше: запасы скудеют, а сама рыба мельчает. Во многих странах это поняли давно, и промысел постепенно стал уступать место аквакультуре, то есть искусственному разведению рыб. Если прежде в массовых количествах разводили разве что неприхотливых карпов да растительноядных толстолобиков, то со второй половины XX века настал черед самых ценных рыб, — осетров и лососей.

Жителю большого города вряд ли удастся сегодня найти в продаже форель или семгу, выловленную в родной стихии. Вся та продукция, которой изобилуют прилавки рынков и магазинов, — это рыба, выращенная на рыбоводных заводах и в рыбоводных хозяйствах.

Однако не стоит думать, что вырастить ее так уж просто. Заложить оплодотворенную икру в инкубатор, регулярно кормить мальков, вовремя пересаживать молодь в пруды или морские садки — это только полдела. Рыба, увы, часто болеет, и ее приходится лечить: при той скученности, которая существует на всех этапах рыбоводного процесса, болеют и заражают друг друга и икринки, и личинки, и мальки. А ведь рыбовод должен не только думать о том, как не дать им погибнуть, но и помнить, что выращенная рыба когда-то окажется на нашем столе. Это означает, что лечение рыб должно быть не просто эффективным, но и абсолютно безопасным для будущего потребителя.

Отсюда понятно, что лечить рыбу антибиотиками нежелательно, стиму-



лировать ее рост гормонами — рискованно. Лучше всего сосредоточить усилия на профилактике. Например, уничтожить наружных паразитов, поместив рыб на несколько минут в дезинфицирующий раствор, а для победы над кишечными инфекциями накормить мальков аналогом «живой йогуртовой культуры», про которую все мы хорошо знаем из рекламных роликов. Да только вот при такой неустанной заботе любая рыбка, неза-

Процесс сортировки молоди на рыбоводном заводе (см. в тексте)

висимо от вида, может сделаться золотой — и покупать, и разводить ее станет невыгодно.

Есть, впрочем, и такой подход, который позволяет справиться сразу со многими бедами: можно стабилизировать развитие рыб на самых ранних этапах, повысив тем самым их устойчивость к болезням и неблагоприятным факторам среды. А помочь в этом может... лазер.

Лазер и симметрия

Лазер — это совсем не обязательно скальпель хирурга. Излучение определенной длины волны (в красной или инфракрасной области спектра) может не убивать клетки, а служить для них информационным сигналом. Делящиеся клетки эмбриона, развивающегося в икринке, поглотив порцию электромагнитного излучения малой мощности, начинают делиться более согласованно. На первый взгляд это кажется чудом, но факты говорят сами за себя.

Взгляните на рис. 1: уже на стадии дробления эмбрионы в икринках, обработанных излучением гелий-неонового лазера, выглядят куда более симметричными, чем в контрольной партии. А коли так, то неудивительно, что подобные эмбрионы развиваются более равномерно, растут во всех направлениях пропорционально и в результате из икринок появляются на свет крупные, ровные и симметричные предличинки (личинками



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

в условиях неоднородной внешней среды. Делящимся клеткам вовсе не безразличны градиенты температур, локальное сдавливание, неравномерность притока кислорода или питательных веществ. При этом различия в характеристиках микросреды между двумя половинами тела присутствуют всегда, даже если речь идет о внутриутробном развитии, наиболее комфортном для эмбриона.

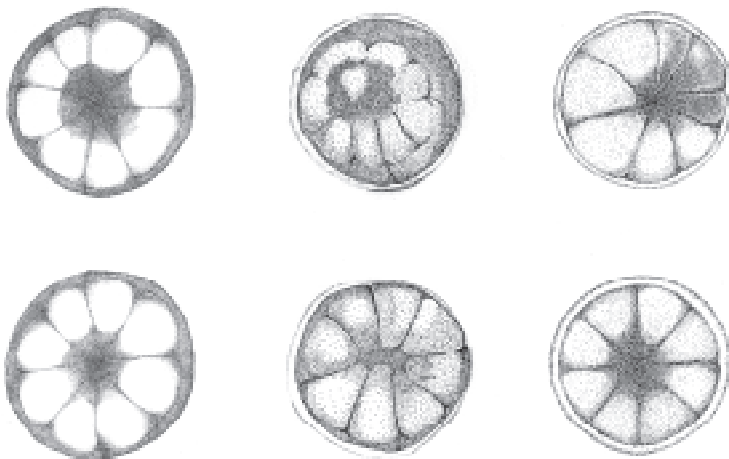
Что уж говорить об организмах, проходящих эмбриогенез в икринке! На каких только уродцев не насмотрелись рыбоводы: встречаются даже двухго-

их можно будет назвать недели через две-три, когда будущие рыбки начнут питаться) (рис. 2).

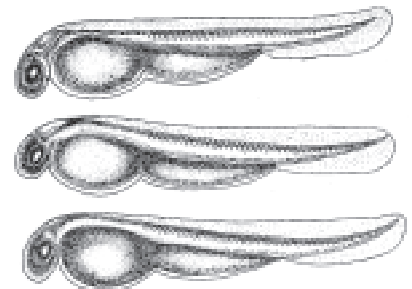
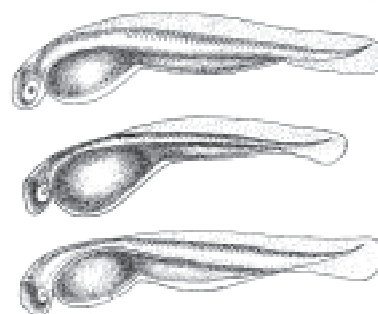
Самое главное — симметричные. Симметрия — очень важный атрибут живого, это генетически заданная норма. Тем не менее абсолютная симметрия в живой природе встречается крайне редко: даже если глаза у вас не разноцветные, то, приглядевшись к себе повнимательнее, вы наверняка обнаружите какое-нибудь отклоне-

ние от симметрии: приподнятую правую бровь или родинку на левой щеке.

Такие мелкие отклонения называются флуктуирующей асимметрией. Если они невелики, то жить обычно не мешают и на функционировании организма никак не сказываются. Но в целом отклонение от симметрии объясняется несовершенством механизмов, контролирующих развитие: они не могут обеспечить абсолютно синхронный рост и дифференциацию



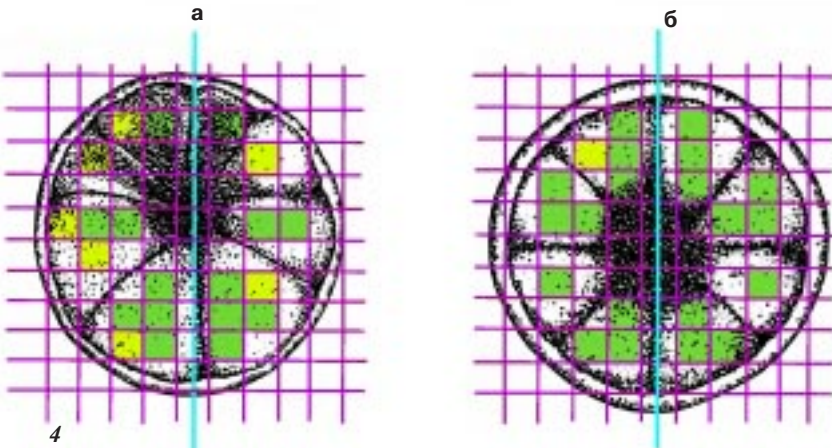
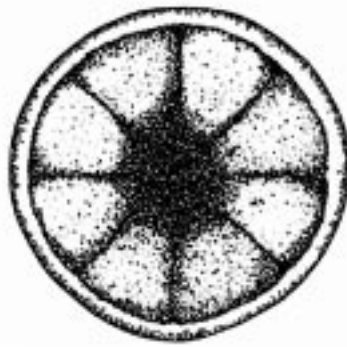
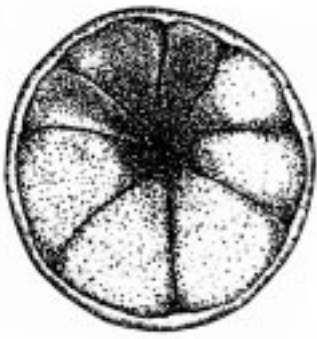
1
Икринки осетра на стадии третьего деления. В верхнем ряду — икринки из контрольных партий, в нижнем — икринки тех же самок, но подвергнутые воздействию гелий-неонового лазера



2
Предличинки, выклюнувшиеся из икры одной самки. Справа — из икры контрольной партии, слева — из икры, на которую воздействовали лазерным излучением



3
Рыбы с различными уродствами появляются на свет из-за того, что условия инкубации икры и в природе, и в рыбоводных хозяйствах не всегда оптимальны. В природе подобные «монстры», конечно же, не выживают



4

Определение степени симметрии blastomerov на стадии третьего деления (по методике Д.Б.Гелашвили с соавторами): а — икринка осетра из контрольной группы, б — икринка, подвергавшаяся воздействию лазерного излучения. Зеленым цветом обозначены квадраты, для которых есть аналоги по другую сторону оси симметрии, желтым — квадраты, для которых аналогов нет (см. в тексте)

ловые экземпляры, а уж рыбы, закрученные штопором, и вовсе обычное дело (рис. 3). В природе они, конечно, не выживают, а вот в заводском бассейне при изобилии корма и отсутствии хищников некоторые из них вполне могут протянуть год-другой.

Понятно, чем больше отклонение от симметрии, тем труднее организму выживать и конкурировать с себе подобными. Флуктуирующая асимметрия оказывается, таким образом, очень важной характеристикой — это показатель стабильности развития, а значит, в определенной степени и жизнеспособности.

Степень симметрии (или асимметрии) биологического объекта можно не только оценить «на глазок», но и выразить количественно. Для этого поверхность изображения объекта разбивают на квадраты равной величины и закрашивают те из них, которые оказываются полностью внутри изображения или его отдельных частей. Затем подсчитывают число только тех закрашенных квадратов, для которых по другую сторону от оси симметрии найдется пара, делят это число на общее число закрашенных квадратов — и вот вам количественная оценка симметрии.

Определим, например, степень

симметрии развивающейся икринки осетра из контрольной группы и икринки из партии, на которую воздействовали лазерным излучением (рис. 4). На первом изображении мы должны закрасить 21 квадрат, из которых симметрично расположенными окажутся только 14 (по семь квадратов слева и справа совмещаются при зеркальном отображении). Значит, степень симметрии составит в этом случае $\eta = 14:21 = 0,67$. На втором рисунке закрашенных квадратов будет тоже 21, но из них при зеркальном отображении совпадают 20, и, стало быть, степень симметрии этого объекта гораздо выше (ближе к единице): $\eta = 20:21 = 0,95$. Величина флуктуирующей асимметрии составит, таким образом, $A = 1 - 0,67 = 0,33$ в первом случае, и $A = 1 - 0,95 = 0,05$ — во втором.

Исследовав несколько десятков икринок из каждой партии и усреднив показатели, можно охарактеризовать партию икры как целое и убедиться, что воздействие лазерного излучения повышает степень симметрии развивающихся икринок весьма существенно (см. таблицу). Ведь мы сравниваем между собой партии икры, полученной от одной и той же самки, а это означает, что никакие

| Виды рыб | Степень симметрии в контроле | Степень симметрии при однократной фотостимуляции |
|----------------------|------------------------------|--|
| Белуга | 0,67 | 0,96 |
| Русский осетр | 0,67 | 0,95 |
| Радужная форель | 0,73 | 0,89 |
| Атлантический лосось | 0,74 | 0,94 |
| Сырть | 0,62 | 0,86 |
| Окунь | 0,75 | 0,94 |

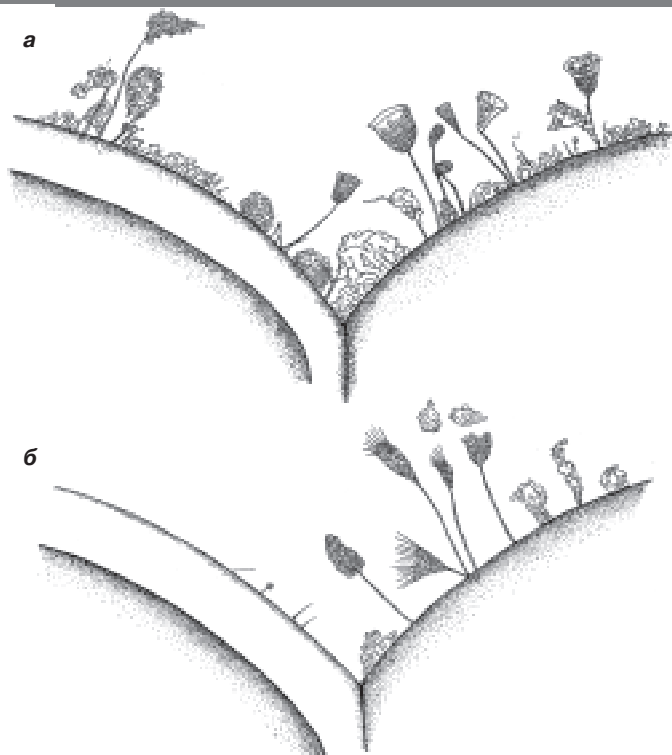
факторы, помимо лазерного воздействия, повлиять на результаты не могли.

Лазерное воздействие и сопротивляемость инфекциям

На функционировании организма положительный эффект лазерного воздействия начинает сказываться очень быстро. Возьмем, к примеру, такой бич рыбоводства, как грибы рода *Saprolegnia*.

Эти плесневые грибы, напоминающие пушистую бело-серую плесень, которая поселяется на некоторых продуктах, абсолютно вездесущи. Но хотя встречаются они практически в любом водоеме, сапролегниоз рыб — заболевание не массовое. Судя по распространению грибов, следовало бы удивляться скорее большому количеству здоровых особей, чем тому, что в реках и прудах встречаются инфицированные рыбы. Однако факт есть факт — несмотря на зараженность воды, большинство рыб в водоемах не болеют.

На причины поражения существует две точки зрения: болезнь случается только там, где имеются особые патогенные штаммы грибов, или же она поражает только ослабленных рыб, не способных бороться с инфекцией. Судя по всему, вторая точка зрения ближе к истине: в рыбоводных хозяйствах сапролег-



5 На живых икринках (слева), соприкасающихся с погибшими (справа), за время инкубации прорастают гифы плесневых грибов (а), но, если икру однократно подвергают воздействию лазерного излучения, живые икринки остаются чистыми до выхода рыбок из икринок (б)

ния поражает, как правило, травмированных рыб, в особенности ослабленных длительной зимовкой.

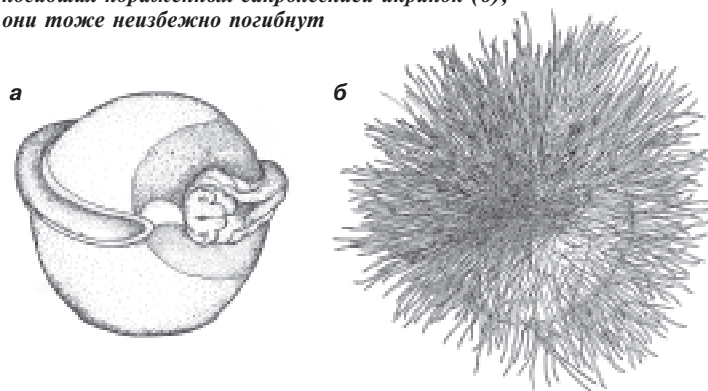
Но уж зато досаждают рыбкам плесневые грибы начинают не просто с первых дней жизни, а даже до того, как те выклюнутся из икринок. Вначале серая «паутина» покрывает неоплодотворенные и травмированные икринки, а затем она разрастается и распространяется на соседние, живые. Покрывая живую икру гифами, гриб затрудняет ее дыхание. И хотя сопротивляемость здоровой икры сапролегниозу очень высока, любая выносливость имеет свои пределы: долгое пребывание в неблагоприятных условиях ухудшает общее состояние икры, делает ее восприимчивой к болезни и в итоге она может погибнуть.

Чтобы не допустить распространения инфекции, рыбоводам приходится обрабатывать икру растворами химических веществ (зачастую не та-

ких уж безвредных), обеззараживать воду, поступающую в инкубационные аппараты, ультрафиолетом или прибегать для ее очистки к помощи бактерий и мелких рачков.

Однако если использовать излучение гелий-неонового лазера, а еще лучше — воздействовать на икру комбинированным электромагнитным излучением, магнито-инфракрасно-лазерным, то трудоемких процедур обеззараживания воды и икринок часто удается избежать вовсе. Более того, так называемый отход (гибель икринок) за инкубацию оказывается при этом значительно меньше, чем в случае применения традиционных методов спасения икринок от болезни. Так, если икру карпа предоставить самой себе, то до выклева доживет не больше 45–50% икринок, при традиционных химических способах обеззараживания их число возрастет до 60–80%, а однократная стимуляция лазерным излучением на ранней ста-

6 Эмбрионы на стадии начала пульсации сердца (а) очень чувствительны к недостатку кислорода, и, если развивающиеся икринки покрыты «шубой» погибших пораженных сапролегнией икринок (б), они тоже неизбежно погибнут

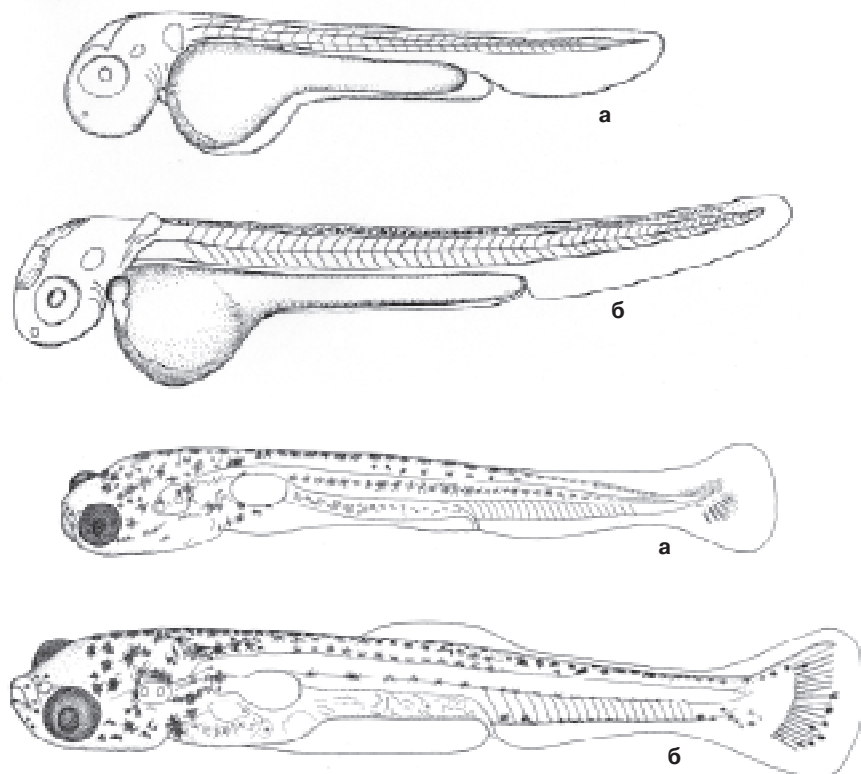


дии развития позволяет полностью предотвратить поражение оплодотворенной икры сапролегниозом: выживаемость эмбрионов карпа достигает при этом 99%!

Особенно перспективна лазерная фотостимуляция икры осетровых рыб. Вот где настоящее раздолье для сапролегнии! Ведь икра осетров клейкая, а значит, ее поверхность — превосходный субстрат для любой заразы. К тому же если неклеякую икру лососевых рыб можно механически «перебрать», используя пинцет или осторожно отсасывая сифоном неоплодотворенные и пораженные грибом икринки, то с икрой осетров такой номер не проходит.

Правда, на рыбоводных заводах осетровую икру перед инкубацией стараются обесклеивать, промывая водой с тонкой взвесью ила, но и это не всегда спасает положение: икринки при этом могут травмироваться, а грибам только того и нужно.

И здесь снова помогает лазер. Мало того что его излучение синхронизирует развитие эмбрионов и обладает бактерицидным действием, оно еще и заживлению микротрещин способствует, стимулирует регенерацию. Изучение состояния оболочек икры белуги в опыте и контроле показало, что после кратковременного воздействия лазерного излучения на икру ее сопротивляемость сапролегниозу резко воз-



7

Молодь весеннерестующих рыб леща (внизу) и плотвы (вверху), выклюнувшаяся из икринок, подвергнутых воздействию лазерного излучения (б), заметно крупнее рыбок из контрольной группы (а)

растает. Если без обработки на живой икринке, соприкасающейся с погибшей, очень быстро прорастают гифы гриба, то в опытной партии оплодотворенная икра остается чистой вплоть до конца инкубации (рис. 5).

Когда количество неоплодотворенных икринок (то есть потенциальных источников инфекции) невелико (около 10%), то выход личинок в опытной партии икры превышает 80% — при том, что в контроле этот показатель не дотягивает даже до 60%. Если же рыболовное качество икры низкое и нормально развивается только 30% икринок (такое тоже бывает, рыболовам не всегда есть из чего выбирать), то спасти икру без лазерного воздействия и вовсе невозможно.

Да, химическая обработка позволяет убить грибок, но погибшие икринки покрывают живые такой плотной «шубой», что кислорода зародышам не хватает и все они гибнут на стадии начала пульсации сердца (рис. 6). Однако, подвергнув икру дозированному воздействию лазерного излучения сразу после оплодотворения, можно наблюдать, что на второй-третий день инкубации неоплодотворенная икра становится матовой, а живые икринки остаются прозрачными. В такой ситуации появляется возможность убрать с помощью сифона нео-

плодотворенную икру, а живой дать возможность развиваться в чистом аппарате. Более того, оставшаяся в аппарате погибшая икра «шубы» не образует: она находится во взвешенном состоянии и не мешает живым икринкам дышать. Выход личинок в этом случае получается почти стопроцентный.

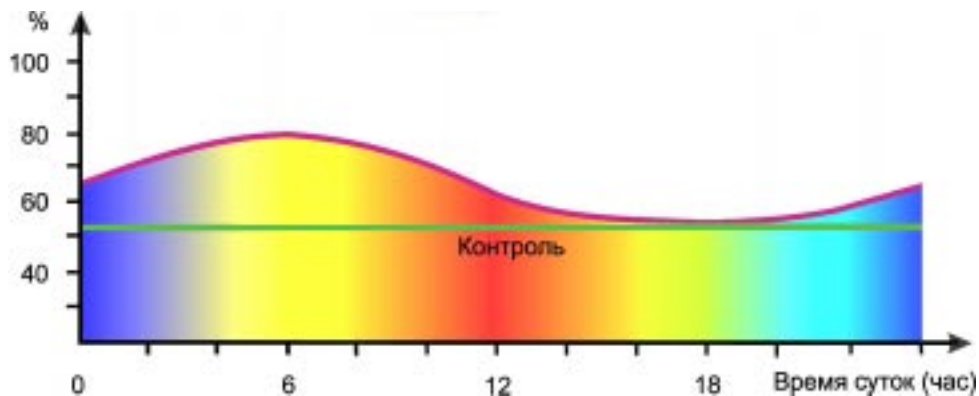
Однако и это еще не все.

Выживаемость выше, личинки ровнее

В рыболовных хозяйствах часто возникает проблема неравномерного роста рыб. Казалось бы, что тут

страшного? Ведь и в природе все происходит точно так же! Проблема, однако, есть. В естественной среде у каждого малька — своя особая охотничья территория, а в условиях рыболовного хозяйства им приходится напрямую конкурировать за корм друг с другом. Личинки, выклюнувшиеся на три-четыре дня раньше, быстрее переходят на внешнее питание, быстрее растут и не дают своим более мелким собратьям полноценно питаться. Из-за этого различия в скорости роста становятся все больше, и вот уже спустя год в одном бассейне кружит, распугивая прочих рыб, десятка два «монстров», а по углам отсиживаются сотни забитых мальков, которые часто болеют и погибают.

Чтобы спасти положение, рыбу приходится сортировать. Делают это обычно вручную. Например, можно взять ящик, дно которого состоит из деревянных реек, набитых через определенные промежутки, и сачком начерпать в него рыбу, подлежащую сортировке. Потом ящик нужно покачать, удерживая дно в воде бассейна, куда осуществляют пересадку мальков (см. фото на с. 54–55). Те, кому размеры позволят, уплывут в бассейн сквозь щели в дне, остальных же можно будет перенести в другую емкость с водой. Если учесть, что в каждом хозяйстве сортировать приходится по несколько сотен тысяч мальков, а иногда и по два раза в год, станет понятно, ка-



8

Выживаемость икры леща после однократного воздействия на нее излучением лазера в разное время суток



кой это каторжный труд. К тому же в процессе сортировки рыбу легко травмировать, а значит, потом ее нужно будет лечить.

Как мы уже знаем, после лазерного воздействия икринка начинает дробиться более равномерно и все части тела личинки развиваются синхронно и пропорционально. И поскольку такому воздействию подвергается вся икра данной партии, то развитие личинок тоже оказывается согласованным. Результат — дружный выклев и синхронный рост. Следовательно, мальков уже не приходится сортировать.

Да и растут экспериментальные рыбки быстрее — ведь им не нужно исправлять те обратимые перекосы в строении тела, которые могли возникнуть при инкубации. Особенно хорошо это заметно, если понаблюдать за молодью рыб, нерестящихся весной (к ним относятся, в частности, всем известные лещ и плотва — рис. 7), — экспериментальная молодь куда крупнее контрольной в том же возрасте.

Ко всему прочему, рыбки, полученные из икры, которая подвергалась лазерному воздействию, оказываются более крепкими и живучими. При выращивании рыб потери в принципе неизбежны, но особенно плохо, когда рыбы гибнут избирательно, а такое случается нередко.

Если в реке рыбка может выбирать, какая скорость течения или температура воды ей больше нравятся, то в заводских бассейнах на это рассчитывать не приходится: не подходит тебе какой-то фактор — погибнешь. Вот и получается, что мальки, для которых наследственно обусловленная норма не совпала с условиями, предложенными человеком, гибнут чаще, чем другие. В результате генетическое разнообразие искусственно разводимых рыб постепенно сокращается, а это может привести к инбридингу, вырождению породы. Однако более крепкие, пропорционально развитые, симметричные рыбы с неоптимальными для себя условиями сре-

ды справляются совсем неплохо. Гибнут они редко, так что первоначальный генофонд сохраняется.

Лазер — не экзотика, а инструмент физиотерапевта

«Но это же сплошная экзотика! — скажет кто-то. — Какое рыболовное хозяйство будет обзаводиться лазером? Это же дорого, он не окупится!»

Что ж, когда-то лазеры и впрямь были недоступными, дорогими и громоздкими. Однако в наш век крошечных лазерных указок это уже не аргумент — ведь для лазерной стимуляции большой мощности не требуется. Более того, лазеры давно стали составной частью приборов, активно используемых в физиотерапии. С их помощью лечат многие болезни даже в домашних условиях.

Терапевтические аппараты «РИКТА» и «МИЛТА-Ф», применяемые для лечения людей, генерируют комбинированное магнитно-инфракрасно-лазерное излучение, которое воздействует на развивающуюся икру подчас даже более благоприятно, чем монохроматическое излучение гелий-неонового лазера.

Конечно, если взять лазерный генератор или лазерный терапевтический аппарат и попытаться стимулировать икру самому, ничего, скорее всего, не получится — для такой работы требуется специалист. Мало знать характеристику и режим работы приборов, нужно иметь представление об оптимальных параметрах лазерного воздействия, отличающихся для разных видов рыб, а они, в свою очередь, зависят от стадии развития икринок, температуры воды и от других факторов. Например, икре совсем не безразлично, в какое время суток осуществляется фотобиологическая стимуляция.

Так, в опытах с икрой леща наибольшее число ровных здоровых личинок было получено при однократном воздействии лазерного излучения на икру в ранние утренние часы

(рис. 8). У некоторых видов рыб лучшее время для фотобиологической стимуляции — полдень, а вот к воздействию в вечернее время икра и личинки всех изученных видов рыб индифферентны. Это связано, по-видимому, с биологическими ритмами рыб и состоянием геомагнитного поля Земли в разное время суток.

Уникальные свойства излучения гелий-неонового лазера позволяют использовать его не только для получения здоровых жизнеспособных личинок рыб. Это излучение стимулирует и другие биологические процессы: например, ускоряет и синхронизирует созревание самок осетров, влияет на процессы, обеспечивающие переход молоди лососевых рыб к жизни в морской воде. В общем, лазер полезен везде, где требуется компенсаторная адаптация организма и повышение его устойчивости к неблагоприятным условиям среды.

И главное — такие работы постепенно выходят из стадии эксперимента. На государственных рыболовных заводах в Карелии, некоторых осетровых заводах на Волге, а также в Прибалтике фотобиологическую стимуляцию икры используют уже достаточно широко. Хочется надеяться, что «процесс пойдет» и дальше. Рыбоводство — отрасль развивающаяся, и использование лазера, дающее такой впечатляющий экономический эффект, в ней обязательно приживется.

