

ЛИТЕРАТУРА

1. Krasinskaya T. Grape viruses in Belarus / T. Krasinskaya, E. Kolbanova // Acta Hort. 2017. 1188. P. 307–312.
2. European and Mediterranean Plant Protection Organization. [Электронный ресурс] // EPPO standards. – Режим доступа: http://www.eppo.int/RESOURCES/eppo_standards. – Дата доступа: 19.02.2024.
3. Об утверждении Единых карантинных фитосанитарных требований, предъявляемых к подкарантинной продукции и подкарантинным объектам на таможенной границе и на таможенной территории Евразийского экономического союза [Электронный ресурс] : решение Совета ЕЭК, 30 нояб. 2016 г., № 157 // Совет Евразийской экономической комиссии. – Режим доступа: <https://gogiskzr.by/quarantine/normative-base/Edinye-fito-trebovaniya-30112016-157-03042023.pdf>. – Дата доступа: 19.02.2024.
4. Змушко А.А. Введение в культуру *in vitro* винограда – критический этап клонального микроразмножения растений / А.А. Змушко, Т.А. Красинская // Плодоводство. 2022. 34. 1. С. 228–234.
5. Кухарчик Н.В. Размножение плодовых, ягодных растений, винограда и хмеля в культуре *in vitro* / Н.В. Кухарчик [и др.] ; под общ. ред. Н.В. Кухарчик. – Минск : Колорград. 2021. – 400 с.

РОЛЬ СРЕДОВЫХ ФАКТОРОВ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ПРЕСНОВОДНЫХ ЛЕГОЧНЫХ МОЛЛЮСКОВ ROLE OF ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE LIFE CYCLE FRESHWATER PULMONARY MOLLUSCS

А. В. Лукашонок^{1,2}, Д. С. Ляшук^{1,2}, О. А. Бодиловская³
A. V. Lukashonok^{1,2}, D. S. Lyashuk^{1,2}, O. A. Bodilovskaya³

Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
daryalyshuk@gmail.com

*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus*

Легочные моллюски, обитающие в пресноводных водоемах, играют важную роль в экосистемах и используются как биоиндикаторы состояния окружающей среды. Жизненный цикл этих моллюсков, включая способность к размножению, зависит от различных факторов, таких как температура, освещенность, питание и паразитарная инвазия. Понимание их влияния на популяции пульмонат важно для получения достоверных данных экологических исследований и мониторинга состояния водных экосистем.

Lung mollusks living in freshwater bodies play an important role in ecosystems and are used as bioindicators of environmental conditions. The life cycle of these mollusks, including the ability to reproduce, depends on various factors such as temperature, light, nutrition and parasitic infestation. Understanding their impact on pulmonata populations is important for obtaining reliable data from ecological studies and monitoring the state of aquatic ecosystems.

Ключевые слова: легочные моллюски, оплодотворение, факторы.

Keywords: pulmonary mollusks, fertilization, factors.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-111-117>

Вследствие быстрого увеличения человеческого воздействия происходит изменение биоты водных экосистем, что приводит к уменьшению популяций и исчезновению многих видов животных. Легочные моллюски (лат. Pulmonata) – одна из самых распространенных групп зообентоса в экосистемах пресных водоемов умеренной зоны Евразии. Они имеют высокие адаптивные способности и успешно приспосабливаются к изменяющимся условиям окружающей среды. Это обусловлено способностью пульмонат переходить с перекрестного оплодотворения на альтернативную форму размножения – самооплодотворение.

Многие виды легочных моллюсков активно используются в качестве биоиндикаторов состояния среды и являются модельными видами при проведении широкого спектра экофизиологических, токсикологических и мониторинговых исследований.

Часто получение необходимого количества особей тех или иных видов для проведения лабораторных экспериментов бывает затруднительно или даже вообще невозможно. При этом не редко возникают ситуации, когда при проведении исследований с организмами, отобранными из природных водоемов, последние испытывают

серьезный стресс, что приводит к гибели особей или серьезному искажению полученных данных. Поэтому для снижения стресса и (или) создания устойчивой лабораторной культуры необходимо знать и учитывать факторы среды, а также их влияние на параметры жизненного цикла моллюсков.

Первый и самый важный абиотический фактор – температура. Она имеет особое значение, так как в отличие от других факторов, ее невозможно устранить из среды либо эксперимента, а можно только корректировать. При сдвиге температурного режима водоема происходит изменение таких параметров, как растворимость веществ (в том числе и токсинов, поступающих в данный водоем со сточными и грунтовыми водами) и газовый режим. Но благодаря легочному дыханию, пульмонаты мало чувствительны, например, к снижению содержания кислорода в воде, что является одним из важнейших лимитирующих факторов для гидробионтов с жаберным дыханием.

Температура среды оказывает влияние на большинство физиологических процессов так как под ее влиянием изменяется скорость протекания биохимических реакций. Очень низкая или, наоборот, очень высокая температуры могут приводить к нарушению обменных процессов в организме, образованию ряда токсичных соединений и метаболической депрессии. Температурный режим водоемов оказывает значительное влияние не только на выживаемость моллюсков, но и на сезонность размножения, длительность эмбриогенеза и ювенильного периода.

Температура принимает участие в регуляции размножения пойкилотермных организмов прежде всего благодаря прямому влиянию на гаметогенез. Осенью и зимой низкая температура воды блокирует отделение гониальных клеток, подавляет первичный и вторичный рост ооцитов, а также мейоз в ооцитах и сперматоцитах. По литературным данным, при температуре воды ниже +10 °С (для некоторых видов - +8 °С) сперматогенез и откладка яиц останавливается. Репродуктивные процессы у моллюсков во многом зависят не только от значения температуры, но и от ее изменения. По мнению ряда авторов, именно повышение показателя данного фактора, особенно внезапное, стимулирует особей некоторых видов пульмонат к откладке яиц. У других представителей легочных моллюсков овипозиция усиливается после их длительного содержания при низкой температуре (+5 °С) и последующего перевода в среду при +16 °С – +22 °С.

У разных видов температурные пороги эмбриогенеза неодинаковы. Температура выше +30 °С для кладок большинства моллюсков находится за пределами оптимума. Превышение данного порога у одних видов приводит к гибели зародышей в кладке, у других – к ускорению развития эмбрионов, но при этом появлению физиологических отклонений. Скорости многих биологических процессов определяются не только температурой, но и другими факторами, например, плотностью популяции, размерами тела особей и обеспеченностью их пищей. В то же время, рост и развитие эмбрионов происходит только за счет питательных веществ желтка, запасы которых в яйцах у особей одного вида очень близки. На этом фоне легче выделить влияние температуры. Поэтому длительность эмбрионального развития пойкилотермных животных является удобной моделью для изучения термоллабильности.

Термоустойчивость популяций (средний срок выживания при сублетальной температуре) является одним из важнейших критериев адаптивных способностей легочных моллюсков в изменяющихся условиях среды. Летнее повышение температуры до 35–36 °С и сезонные колебания уровня воды в водоемах приводят к массовой гибели моллюсков в популяциях. Однако немногие выжившие особи, отличающиеся повышенной термоустойчивостью, благодаря переходу на размножение посредством самооплодотворения, способны быстро восстановить их исходную численность. Таким образом в условиях повышения температуры водоема преимущество будут иметь не самые крупные или быстро растущие особи, а особи обладающие повышенной термоустойчивостью. Эксперименты показали, что данный показатель у большого прудовика (*Lymnaea stagnalis*) при размножении перекрестным и самооплодотворением характеризуется высокой наследуемостью. Однако, побочным результатом отбора *L. stagnalis* на повышенную термоустойчивость при самооплодотворении является снижение скорости роста численности его популяций [1].

Фотопериод (соотношение между светлой и темной фазой суток) является следующим важным фактором, оказывающий влияние на жизненный цикл легочных моллюсков. Основным источником света в биосфере Земли - Солнце. В чистых пресноводных водоемах свет может проникать до нескольких десятков метров, в то время как в загрязненных всего лишь до нескольких десятков сантиметров. Годовой характер изменения соотношения темной и светлой фаз суток имеет строгие закономерности, т.к. зависит от вращения Земли вокруг Солнца. Значит, чем выше географическая широта, тем длиннее световой день. Также чем выше географическая широта, тем с большей скоростью идет увеличение светового дня и сокращение ночи. Длительность фотопериода в определенной точке Земли строго постоянно, в отличие от других важных экологических факторов – температуры, количества осадков и др. Биологические адаптации к сезонным изменениям в процессах роста и размножения у пресноводных легочных моллюсков связаны с продолжительностью светового дня. При длинном фотопериоде стимулируется процесс откладки яиц, однако исключение регулярного воздействия света на фоторецепторы пульмонат не подавляет овипозицию полностью, но приводит к резкому снижению ее интенсивности. На процессы размножения оказывает влияние и характер изменения фотопериода: резкий переход от полного затемнения к кратковременному освещению приводит к более ранней откладке яиц.

Световой фактор – важный стимул для начала овуляции. Показано, что при затемнении женская половая активность у моллюсков уменьшается, но в то же время усиливается сперматогенез, копулятивная деятельность особей становится более активной. Постоянное освещение или длинный световой день подавляют сперматогенез, и в то же время стимулируют процессы образования и откладки яиц.

Образование большого количества яиц при длинном световом дне требует больших энергетических затрат. По этой причине при смене освещенности у пульмонат наблюдаются перестройки метаболических процессов.

Интенсивное увеличение массы тела происходит при недостатке освещения, тогда как при длинном световом дне рост подавляется и все питательные вещества из потребляемой пищи, а также внутренние резервы, идут на реализацию репродуктивных процессов. В таком случае организм становится слабее и более восприимчивым к воздействию окружающей среды, что в свою очередь приводит к более ранней или частой гибели особей.

Фотопериод и температура оказывают совместное влияние на организм моллюсков. При низкой температуре и коротком световом дне происходит быстрое накопление гликогена в клетках мантии и других органах тем самым подавляя использование питательных веществ на осуществление половых процессов. Сезонные изменения климатических факторов (светового и температурного) определяют резкое до 1 года и более удлинение продолжительности полового созревания у прудовиков, а также обуславливают относительное приурочение сперматогенеза и оогенеза к определенному времени года [2].

Пища также является важным экологическим фактором. Ее состав и количество оказывает непосредственное влияние на скорость роста особей, продолжительность жизни, плодовитость, смертность и численность в популяциях. Рацион любого организма, или количество пищи, потребленное за единицу времени, в значительной степени определяется массой его тела. Если количество корма в среде находится с избытком, рацион моллюсков возрастает с увеличением массы их тела. Однако увеличение рациона, происходит в значительно меньшей степени, чем массы организма. У всех видов животных, особенно у водных беспозвоночных с фильтрационным питанием, величина рациона в значительной степени зависит от концентрации корма в среде. Как правило, при повышении низких концентраций корма рацион особей пропорционально возрастает. Но дальнейшее увеличение концентрации пищи приводит к замедлению роста рациона и, при достижении определенного уровня, – его стабилизации. Зависимость количества потребленного корма от его концентрации в среде предполагает, что животные способны потреблять корм даже при самом низком его содержании в среде, что справедливо для многих живых организмов, включая моллюсков. Малое количество пищи такие виды компенсируют повышением затрат энергии и времени на ее поиски. Но, чем больше ресурсов организм тратит на добывание и поглощение корма, тем меньше энергии остается на другую активность организма, в частности на размножение.

Даже если не учитывать энергозатраты на поиски партнера при размножении перекрестным оплодотворением, образование половых продуктов, а также яйцевых капсул у легочных моллюсков требует большого количества энергии. В связи с этим пульмонаты выработали способность очень быстро менять синтетическую активность женских придаточных желез. При отсутствии пищи в течение 3-7 дней, не смотря на имеющиеся запасы питательных веществ, происходит резкое снижение активности белковой (отвечающей за формирование яйцевых капсул) и других желез. Повышение концентрации питательных веществ (например, глюкозы) в гемолимфе активирует работу железы и начинается овипозиция. У пульмонат недостаток пищевых ресурсов по-разному сказывается на соматическом росте: одновозрастные особи, содержащиеся в одинаковых условиях, развиваются с разной скоростью. Ограничение поступления пищи также может приводить к задержке полового созревания моллюсков.

В питании важную роль играет не только получение энергии, но и поступление определенных питательных веществ, макро- и микроэлементов. Так, например, ионы K^+ , Na^+ , Ca^{++} и Cl^- являются обязательными в процессах развития яйцеклеток, овуляции и формировании кладок. При голодании их концентрация снижается, что приводит к изменению общего метаболизма, а это в свою очередь сказывается и на размножении [3].

Плотность популяции может оказывать значительное воздействие на процессы роста и размножения живых организмов. В естественной среде распределение легочных моллюсков характеризуется неравномерностью, и чаще всего плотность их популяций бывает очень высокой только во время выхода особей из синкапсул. Малое количество пульмонат на единице площади приводит к увеличению затрат времени и энергии на поиски партнеров для копуляции. Однако они способны переходить на размножение посредством самооплодотворения, что не требует вышеуказанных трат. При этом у ряда видов легочных моллюсков изоляция вызывает более позднее начало овипозиции. Это можно объяснить тем, что вследствие инбредной депрессии при самооплодотворении потомство может быть менее жизнеспособно, и особи «соглашаются» на этот риск только, когда становится высоким риск вообще не встретить полового партнера.

Что касается содержания легочных моллюсков в лабораторных условиях то, в первую очередь нужно учитывать негативное действие на них продуктов собственного обмена. Таким образом важным становится не столько объем сосудов для содержания, а частота смены воды для недопущения накопления этих метаболитов. Как показано в ряде исследований, объем воды, равный 150 – 170 мл в расчете на одну особь *L.stagnalis* при одиночном или групповом содержании, является вполне достаточным для его нормального роста и развития.

Методика лабораторных экспериментов по изучению размножения пульмонат перекрестным оплодотворением на примере модельного вида большого прудовика должна учитывать обнаруженный у *L.stagnalis* эффект Кулиджа. Этот эффект (назван по имени Дж. Кулиджа – 30-го президента США) заключается в том, что самцы проявляют повышенную активность к спариванию с каждой новой готовой к оплодотворению самкой. Поэтому количество спариваний одного самца в большой группе самок выше, чем у содержащегося попарно с самкой или в небольшой группе самок. Эффект Кулиджа вполне обычен у двуполых видов (млекопитающие, птицы, дрозофилы и др.), однако его открытие у гермафродитного и способного к самооплодотворению *L.stagnalis* оказалось достаточно неожиданным. Так, среднее число спариваний одной особи в группе из 8-ми моллюсков было достоверно выше, чем в группе из 2-х моллюсков [4].

Паразитарная инвазия – последний, но немаловажный фактор в этом списке. Легочные моллюски являются промежуточными хозяевами для паразитических плоских червей класса трематод. В тело моллюсков проникает

первая свободноживущая личиночная стадия трематод – мирацидии, где обычно локализуются в печени. Там они сначала превращаются в спороцисту, в которой образуются партеногенетические яйца, дающие начало редиям. Внутри последних развивается новое партеногенетическое поколение – церкарии. Размеры церкариев трематод достаточно велики – от 0,5 мм у видов семейства Echinostomatidae и до 1–1,3 мм у видов родов *Trichobilharzia* и *Bilharziella* семейства Schistosomatidae, а их продукция составляет от нескольких сотен до тысяч в сутки. Для поддержания такой высокой интенсивности образования церкариев редиям необходимы значительные пищевые и энергетические ресурсы. Ими являются запасы гликогена, которые концентрируются преимущественно в печени моллюсков. Поэтому спороцисты и редии трематод при интенсивном партеногенетическом размножении приводят к разрушению печени и нарушению нормального пищеварения моллюсков, что оказывает значительный негативный эффект на их биохимические параметры и физиологическое состояние. В итоге замедляется рост гонады, а также женских и мужских придаточных органов, следовательно – снижается плодовитость. При широком развитии инвазии происходит прямое поражение гермафродитной железы и полная блокада процесса размножения [5]. Таким образом наличие у pulmonat паразитов может исказить результаты исследований на особях из естественных водоемов, либо усложнить получение от них потомства для создания чистой лабораторной культуры.

Перечисленные в статье средовые факторы не единственные, оказывающие влияние на легочных моллюсков, но по сути являются «обязательными», то есть присутствуют в любых местах обитания и не могут быть проигнорированы при проведении научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Golubev, A.P. Alternative modes of reproduction in populations of *Lymnaea stagnalis* (Gastropoda, Pulmonata) as a factor of temperature adaptation / A.P. Golubev, O.A. Bodilovskaya, L.E. Slesareva // *Doklady Biological Sciences*. – 2011. – Vol. 438. – P. 1–4.
2. Круглов, Н. Д. Моллюски семейства прудовиков (Lymnaeidae Gastropoda Pulmonata) Европы и Северной Азии / Н. Д. Круглов // Смоленск, 2005. – 507 с/
3. Березкина, Г.В. Экология размножения и кладки яиц пресноводных легочных моллюсков / Г.В. Березкина, Я.И. Старобогатов // *Тр. Зоол. ин-та АН СССР*. – 1988. – Т. 174. – С. 306.
4. Koene, J.M. Energy budgets in the simultaneously hermaphroditic pond snail, *Lymnaea stagnalis*: a trade-off between growth and reproduction during development / J.M. Koene, A. Ter Maat // *Belg. J. Zool.* – 2004. – Vol. 134, № 2/1. – P. 41–45.
5. Fryer, S.E. The effect of *Schistosoma haematobium* infection on the growth and fecundity of three sympatric species of bulinid snails / S.E. Fryer // *J. Parasitol.* – 1990. – Vol. 76, № 4. – P. 557–563.

ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РЕШЕНИЯ

PROBLEMS ASSOCIATED WITH SEWAGE SLUDGE DISPOSAL AND PROMISING DIRECTIONS FOR THEIR SOLUTION

Н. В. Емельяненко, О. И. Родькин
N. V. Emelianenko, A. I. Rodzkin

*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
info@iseu.by, attractive675@mail.ru*

*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus*

Процессы урбанизации и индустриализации во всем мире привели к резкому увеличению объемов сточных вод и их осадков, образующихся на очистных сооружениях. Основным методом их утилизации является хранение на специальных полигонах, что требует отчуждения земель и негативно влияет на окружающую среду. Поэтому, вопросы, связанные с поиском новых направлений утилизации осадков сточных вод, являются актуальными для исследований. Эффективный, экономически и экологически обоснованный менеджмент в сфере утилизации осадков сточных вод является одной из важнейших задач в сфере охраны окружающей среды для Республики Беларусь [1].

The processes of urbanization and industrialization throughout the world have led to a sharp increase in the volume of wastewater and its sludge generated at wastewater treatment plants. The main method of their disposal is