

УДК 639.3.045.3

ФИЗИОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА *Clarias gariepinus*

© 2024 г. А. А. Климук^{1,*}, С. В. Бекетов¹, Т. Л. Калита¹

¹Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Россия

*e-mail: ord@mgutm.ru

Поступила в редакцию 19.07.2024 г.

После доработки 21.07.2024 г.

Принята к публикации 21.07.2024 г.

Рассматриваются физиолого-экологические особенности выращивания африканского клариевого сома *Clarias gariepinus*, в частности влияние температуры водной среды на этапы онтогенеза (икра, личинка, малек) и на получение товарной продукции. Дополнительно обобщены экспериментальные данные по определению современного ареала обитания *C. gariepinus*, его кормового поведения и некоторых физиологических реакций желудочно-кишечного тракта. Показано, что оптимальный термальный диапазон для выращивания *C. gariepinus* составляет 25–32°C. На ранних этапах развития (икра, личинка) клариевый сом наиболее чувствителен к температуре, а уже начиная с малькового этапа лучше адаптируется к неблагоприятным температурным условиям. Кроме того, характер питания и активность ферментов поджелудочной железы африканского клариевого сома также тесно связаны с температурой водной среды. В заключении приводятся практические рекомендации по индустриальному разведению *Clarias gariepinus* в установках замкнутого водоснабжения.

Ключевые слова: африканский клариевый сом, термальный режим, развитие, размножение, питание, температурный оптимум

DOI: 10.31857/S0042132424060075, **EDN:** NRETMV

ВВЕДЕНИЕ

Температура водной среды — это показатель, воздействующий на все жизненные стадии пой-килотермных животных, включая рыб. Однако многие эколого-физиологические и поведенческие аспекты температурных адаптаций у рыб изучены недостаточно. Один из популярных товарных объектов аквакультуры в мире — африканский клариевый сом *Clarias gariepinus*, Burchell, 1822 — теплолюбивый пресноводный вид рыб многочисленного семейства Clariidae (Adewolu et al., 2008).

Однако, несмотря на то что первые сообщения о возможностях индустриального разведения *C. gariepinus* появились в научных публикациях еще в 1970-е гг. (Seebens et al., 2017), в настоящее время особенности термальных оптимумов, а также уровень верхней и нижней летальной температуры проанализированы лишь для

отдельных стадий индивидуального развития или коротких этапов онтогенеза африканских клариевых сомов (Olaniyi, Omitogun, 2014), и до сих пор данные имеют разрозненный характер.

Если говорить в целом, то термальный оптимум жизнедеятельности рыб в общем виде можно представить как видоспецифичный температурный диапазон, в котором происходит протекание всех жизненных процессов в организме в норме (Голованов, 1996). В границах оптимума для каждого из процессов существуют точки, в которых достигается максимальный эффект того или иного процесса (роста, набора живой массы, потребления корма и т.д.). Эти точки называют окончательно избираемыми температурами (ОИТ) или температурными преферендумами (Голованов, 2013а), и они специфичны для разных видов рыб (Голованов, 2013б). При этом границы толерантности определяют согласно

прекращению (остановке) какого-либо из процессов под действием критических температур. Так, наиболее информативный показатель толерантности у рыб — их выживаемость (или смертность). Соответственно, по достижению 100% смертности можно сделать вывод об определении верхней/нижней границ температурной толерантности организма. Субоптимальная зона (зона пессимума) — это приграничный к критическим показателям диапазон температур, в которых происходит угнетение процессов жизнедеятельности, не приводящее к летальному исходу.

При изучении термальных диапазонов жизнедеятельности необходимо учитывать то, что на каждом этапе индивидуального развития у рыб формируются отдельные физиологические нормы, в том числе наблюдается различная чувствительность к абиотическим факторам среды, среди которых определяющую роль играет температура. В настоящем обзоре обобщены экспериментальные данные по определению оптимума, окончательно избираемой температуры, нижней и верхней границ толерантности для икры, личинок, молоди и взрослых особей *C. gariepinus*, а также по воздействию температуры на кормовое поведение, размножение и распространение африканского клариевого сома.

АДАПТАЦИОННАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ АФРИКАНСКОГО СОМА

Вследствие ограниченного успеха широкомасштабного разведения тиляпии *Oreochromis niloticus* (L.) в Африке в конце 1950-х — начале 1960-х гг. (Haylor, 1989) учеными и рыбоводами были организованы совместные работы по поиску альтернативного вида рыб, пригодного для индустриального разведения. Им стал африканский клариевый сом, который обитает во внутренних водоемах большей части Африки. Выбор *C. gariepinus* в качестве перспективного объекта товарного рыбоводства обусловлен его высокой толерантностью к окружающей среде и возможностью контролируемого размножения (De Kimpe, Micha, 1974; Viveen et al., 1985; Bovendeur et al., 1987). Первые успешные опыты полуискусственного и искусственного разведения африканского клариевого сома в прудах и бассейнах проведены в Центральноафриканской Республике, Кот-д'Ивуаре, некоторых странах Южной Африки и Нигерии в конце 1970-х — начале 1980-х гг. (Hogendoorn, 1979, 1980, 1981; De Graaf, Janssen, 1996). В этот период установлены оптимальные термальные диапазоны содержания африканского сома — 25–30°C (Hogendoorn et al., 1983), что сделало

возможным его успешное круглогодичное выращивание в естественной среде во всех странах экваториального, субэкваториального и тропического поясов.

На сегодня африканский клариевый сом — основной культивируемый вид рыб на африканском континенте, где в коммерческих целях его выращивают в 15 странах. Помимо Африки, *C. gariepinus* является эндемиком в странах Ближнего Востока и Малой Азии, в частности в Израиле, Сирии, Турции. Примечательно, что в отличие от других представителей семейства Clariidae, *C. gariepinus* за счет высокой плодовитости, быстрого роста, широких предпочтений в среде обитания и питания, а также толерантности к неблагоприятным гидрохимическим условиям считается агрессивным инвазивным видом (Bruton, 1996). Именно из-за этих его особенностей в Индии в свое время ввели запрет на интродукцию и товарное разведение *C. gariepinus* (Dhawan, Kaur, 2010). В Южной и Юго-Восточной Азии разводят в аквакультуре другие виды сомов: *Clarias macrocephalus*, *Clarias batrachus* и *Pangassius sutshi*. Незаконный ввоз *C. gariepinus* в страны этих регионов чреват потенциальными экологическими проблемами — потерей биоразнообразия в естественных внутренних водах или существенным снижением численности популяций отдельных видов, как это произошло в Бангладеш с *C. batrachus* (Islam et al., 2007). Помимо этого, в Таиланде зарегистрирована спонтанная генетическая интрагрессивная гибридизация аборигенного дикого сома *C. macrocephalus* с *C. gariepinus*, попавшим в естественные пруды с рыбоводческих ферм (Senanan et al., 2004). И все же в начале 1980-х гг. *C. gariepinus* был завезен в Юго-Восточную Азию. С тех пор его аквакультура быстро распространилась, однако на тот период внедрение африканского клариевого сома не увенчалось успехом, поскольку были упущены из виду некоторые социально-экономические факторы. Например, во Вьетнаме потребители отказывались покупать *C. gariepinus* из-за его непривычного вкуса и большого размера головы, которую невозможно употреблять в пищу (Nguyen et al., 2021).

Если говорить о Европейском континенте, то сюда, а именно в Нидерланды, *C. gariepinus* впервые завезен в 1977 г. для исследовательских целей. Результаты испытаний показали, что массовое разведение африканского сома приносит прибыль при выращивании его в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). Благодаря этому в Голландии открыто много рыбхозяйственных комплексов с УЗВ для

товарного производства африканского клариевого сома (Dijkema, 1995; Eding, Kamstra, 2002). Начиная с 1985 г., в связи с получением высокопродуктивного гибрида *C. gariepinus* и *Heterobranchus bidorsalis* гибридный рыбопосадочный материал из научно-исследовательских подразделений в Нидерландах передан в рыбоводческие хозяйства Бельгии, Германии, Чехии, Польши и Венгрии. Однако крупномасштабное разведение африканского клариевого сома и его гибрида с *H. bidorsalis* получило распространение только в Венгрии, где с 1990 г. для этих целей начали использовать проточные системы, снабжаемые геотермальной водой. В свою очередь в июне 1988 г. сотрудники Департамента рыболовства Таиланда провели искусственное скрещивание самки *C. macrocephalus* с самцом *C. gariepinus*. Полученный гибрид обладал повышенной скоростью роста, устойчивостью к болезням и вскоре заменил местные нативные виды клариевых сомов *C. macrocephalus* и *C. batrachus* на рыбных рынках Таиланда и Вьетнама (Tonguthai et al., 1993). Также были проведены успешные испытания по гибридизации *C. gariepinus* и *Heterobranchus fossilis* в Африке (Legendre et al., 1992).

По данным литературных источников, в Россию африканский клариевый сом завозился из Нидерландов дважды: в 1994 г. (Александрова, 2014) и 1996 г. (Власов, 2012). Предполагаемый путь интродукции *C. gariepinus* в рыбоводческие хозяйства России представлен на рис. 1.

В дальнейшем благодаря успешным рыбоводческим мероприятиям для стран с умеренным климатом были разработаны методы выращивания африканского сома с применением проточной и геотермальной систем, а также повторного использования воды. Эти методы разведения африканского сома получили особенно широкое распространение в Восточной Европе. Например, рыба содержится в прудах или в специальных резервуарах, изготовленных из бетона или пластика. Для питания резервуаров используется вода температурой 23–35°C. Интенсивное выращивание африканского сома также практикуется в небольших земляных прудах, где сомы весом 500–800 г, выпущенные в июне при плотности 1–1.5 особей/м³, могут достичь живой массы 1.5–2.0 кг за 3–3.5 мес. В таких прудах рыбопродуктивность составляет до 30 т/га.

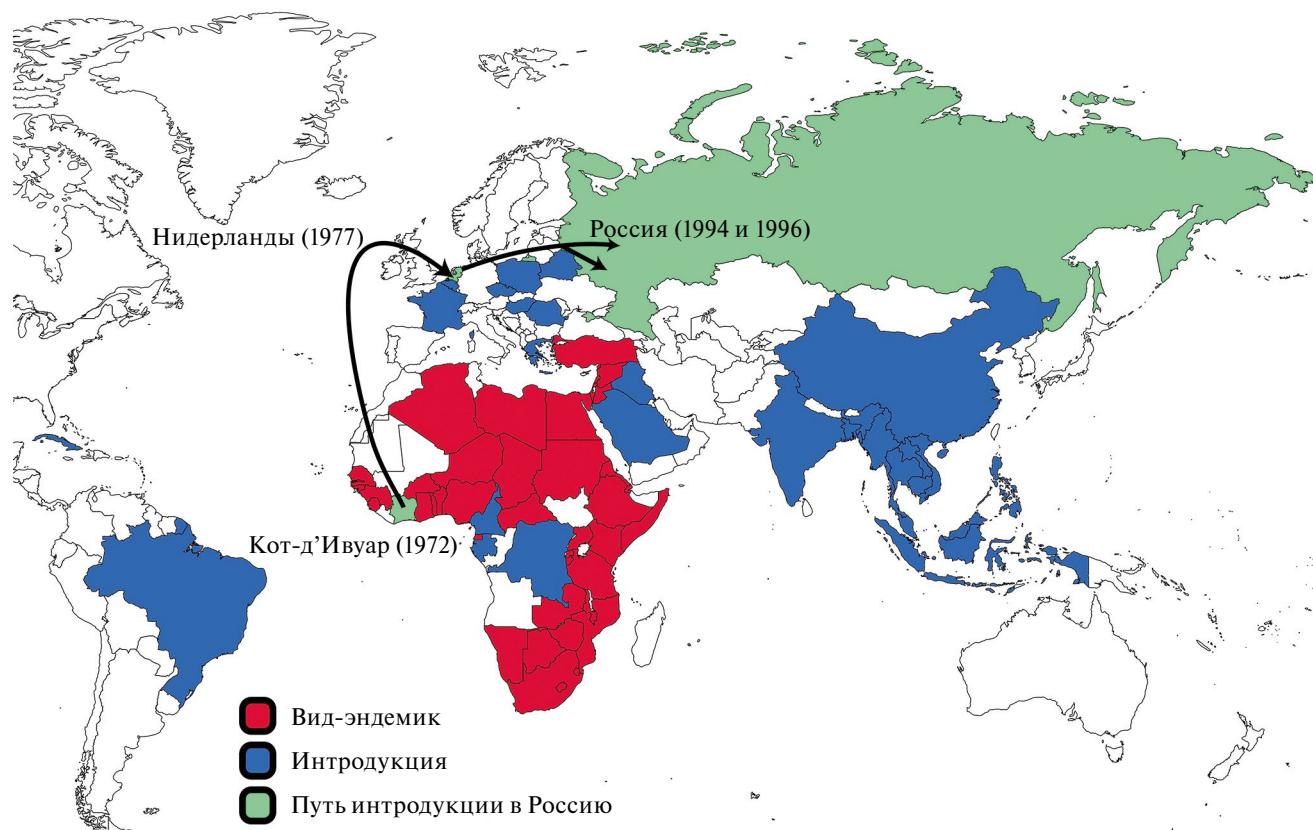


Рис. 1. Предполагаемый путь интродукции африканского сома в Россию.

Так, пастбищная аквакультура африканского клариевого сома в последние десятилетия демонстрирует успешные результаты на юге России, в V и VI рыбоводных зонах (рис. 2) (Климук и др., 2024а). Африканских клариевых сомов массой 200–300 г зарыбляют в обширные карповые пруды при низкой плотности посадки (100–300 особей/га), затем в течение 3–3.5 мес. их содержат без дополнительного кормления. Потребляя в этих условиях только естественные кормовые организмы — зоопланктон, насекомых, головастиков, лягушек и некоторых диких рыб, разводимые сомы к окончанию сезона выращивания могут достигать живой массы 1.5–2 кг. Вылов товарной рыбы производится, когда температура воды снижается до 20–16°C.

Также при культивировании африканского клариевого сома в России распространение получили УЗВ, применяемые в основном в регионах с холодным климатом, начиная с IV рыбоводной зоны: Белгородская, Воронежская, Саратовская и Оренбургская обл. (рис. 2).

В южных регионах РФ (VI рыбоводная зона — Астраханская обл. и Краснодарский край) *C. gariepinus* успешно выращивается в прудовых и садковых хозяйствах при средних температурных режимах 25–28.7°C за нагульный период (Денисенко, 2013; Булавин и др., 2021).

Таким образом, благодаря развитию рыбохозяйственной практики искусственного выра-

щивания, африканский клариевый сом имеет широкий ареал разведения, а за счет высокой приспособленности товарная аквакультура *C. gariepinus* считается одним из популярных и выгодных направлений для бизнеса.

ГРАНИЦЫ ТЕРМАЛЬНОЙ ТОЛЕРАНТНОСТИ *C. gariepinus*

Термальные диапазоны для икры

Эмбриональное развитие — критический этап в жизненном цикле рыб, что обусловлено высокой чувствительностью икры к внешним условиям окружающей среды, которая проявляется в высокой смертности эмбрионов на ранних стадиях онтогенеза. Изучены и описаны (Olaniyi, Omitogun, 2014) ранние, постэмбриональные и личиночные стадии развития *C. gariepinus*. Развитие икры в этом эксперименте наблюдали при температуре воды $28.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$, выживаемость составила 85% за 17 ч после оплодотворения икры, что позволило принять соответствующую температуру за физиологический оптимум для икры данного вида (табл. 1).

Исследовано влияние (Haylor, Mollah, 1995) константных температурных режимов (15, 20, 25, 30 и 35°C) на эмбриогенез *C. gariepinus*. Икру от оплодотворения до вылупления содержали в постоянных термальных режимах. Выявлено, что скорость вылупления личинок значительно

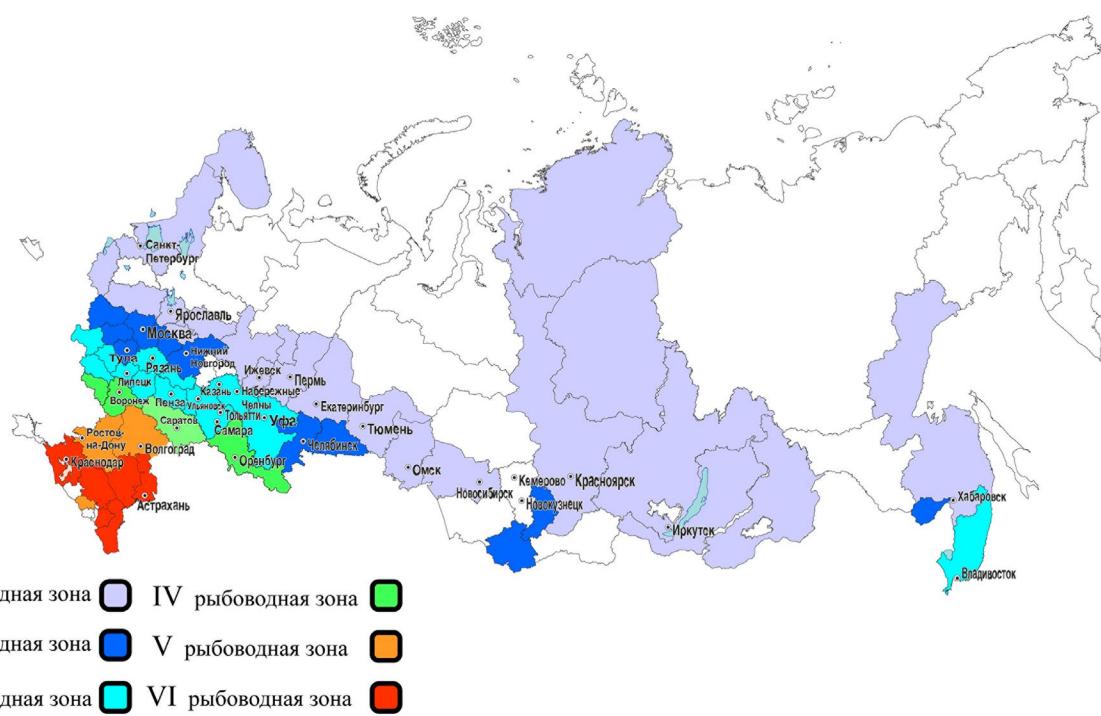


Рис. 2. Рыбоводные зоны России (по: Привезенцев, 2000).

Таблица 1. Температурные показатели и выживаемость икры *C. gariepinus*

Объект исследования	Термальный оптимум, °C	V, %	ОИТ, °C	V, %	Порог жизнедеятельности, °C		T, ч	Источник
					max	min		
Икра <i>C. gariepinus</i>	—	—	28.5	85	—	—	17	Olaniyi, Omitogun, 2014
	20–35	—	30	—	—	15	62	Haylor, Mollah, 1995
	22.9–30.3	25–94	24.1	94	33.7	17.4	50	Prokešová et al., 2015

Примечание: ОИТ — окончательно избираемые температуры, V — выживаемость, T — продолжительность эксперимента. Здесь и в табл. 3 и 4.

увеличивается при 30°C, что свидетельствует об определении ОИТ для икры, а нижняя граница жизнедеятельности — 15°C.

Изучено воздействие 33 температур в диапазоне 17.4–35.6°C на ранние этапы развития африканских клариевых сомов. Показано, что онтогенез зародышей останавливается при температуре 17.4°C, что по результатам сопоставимо с работой (Haylor, Mollah, 1995). Также подтверждена строгая зависимость между ключевыми показателями выращивания (выживаемость, скорость вылупления, размер личинок) и температурой водной среды.

В целом, согласно полученным данным (Prokešová et al., 2015), пессимальная зона для икры лежит в диапазоне 18.9–33.7°C при термальном оптимуме от 22.9 до 30.3°C, что характерно для теплолюбивых видов рыб. Ориентируясь на результаты экспериментов, можно предположить, что верхний порог жизнедеятельности, т.е. летальная температура, — выше 35°C, а нижний — менее 17°C.

Схематичное представление полученных из литературных источников данных о температурных диапазонах для икры представлено на рис. 3.

Таким образом, икру *C. gariepinus* можно успешно культивировать при термальном режиме 23–30.3°C с вероятностью вылупления, согласно нашим экспериментальным данным, до 85%, что соответствует зоне оптимума. Диапазоны температур 17–23°C и 30.3–35°C являются субоптимальными зонами, с вероятностью вылупления личинок до 60%, с учетом снижения процента выживаемости в зависимости от длительности нахождения икры в неблагоприятных термальных условиях.

Термальные диапазоны для личинок

Переход от эндогенного (желточное) к экзогенному (внешнее) питанию личинок объясняет

их высокую чувствительность к внешним абиотическим условиям вследствие критической перестройки физиологических механизмов в организме (Озернюк, 2011). Как и на этапе эмбриогенеза, температурный фактор также оказывает на личинок рыб сильное воздействие, что сопровождается ответной реакцией в виде колебаний показателя выживаемости, большой вариабельностью в скорости развития и различной скоростью перехода от внутреннего к внешнему питанию.

По аналогии с икрой выживаемость личинок африканских клариевых сомов изучена в эксперименте (Prokešová et al., 2015) в термальном диапазоне 17.4–35.6°C. Оптимальный диапазон для выращивания личинок сомов оказался абсолютно идентичен термальному оптимуму для икры (табл. 2). Однако ОИТ личинок отличалась и составила 25.2°C (выживаемость — 57%) и 30.2°C (выживаемость — 52%). Интервал между нижним и верхним порогами температур-

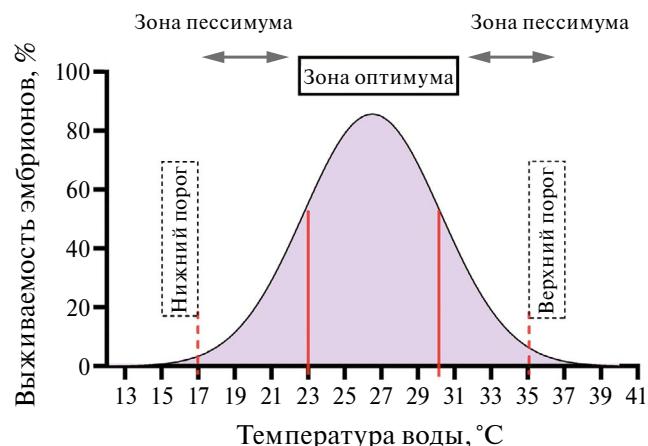


Рис. 3. Оптимальный и пессимальный термальные диапазоны для икры *C. gariepinus* (Haylor, Mollah, 1995; Olaniyi, Omitogun, 2014; Prokešová et al., 2015).

Таблица 2. Температурные показатели и выживаемость личинок *C. gariepinus*

Объект исследования	Термальный оптимум, °C	V, %	ОИТ, °C	V, %	Порог жизнедеятельности, °C		T, ч	Источник
					max	min		
Личинки <i>C. gariepinus</i>	22.9–30.3	34–57	25.2	57	33.2	20.6	50	Prokešová et al., 2015
	—	—	25	—	—	—	—	Hoffman et al., 1991

ной чувствительности для личинок *C. gariepinus* меньше, по сравнению с икрой, — от 20.6 до 33.2°C.

Также изучалось (Hoffman et al., 1991) воздействие только пониженных температур на пятисуточных африканских клариевых сомов. Показано, что адаптация играет важную роль в повышении сопротивляемости личинок рыб к нехарактерным термальным режимам. Так, при скорости снижения температуры с 25 до 5°C, равной 1.67°C/ч, нижняя граница жизнедеятельности — 5°C, при которой начинает происходить массовая гибель личинок. А при понижении температуры с 25 до 10°C со скоростью 1°C/ч, личинки способны выживать при 10°C, но не более 4 сут.

Таким образом, термальный оптимум для выращивания личинок *C. gariepinus* с учетом их адаптационных возможностей — 23–30°C при выживаемости личинок до 60%, с субоптимальными зонами 19–23°C и 30–33.2°C (выживаемость менее 30%), а интервал между летальными температурами — от 33.2 до 19°C (рис. 4).

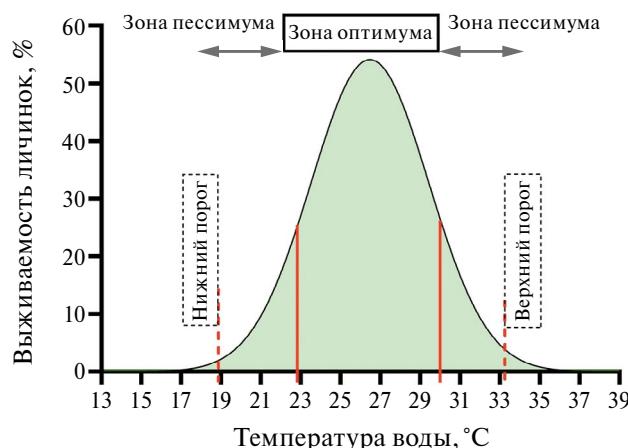


Рис. 4. Оптимальный и пессимальный термальные диапазоны для личинок *C. gariepinus* (Hoffman et al., 1991; Prokešová et al., 2015).

Как и в случае инкубации икры, при содержании личинок в диапазонах неблагоприятных температур необходимо учитывать время воздействия и скорость снижения/повышения температуры. Как показано выше, при постепенном снижении температуры наблюдается эффект акклиматации личинок, сопровождающийся повышением их сопротивляемости в сублетальных температурах, что может быть полезно при их транспортировке и/или пересадке.

Термальные диапазоны для молоди

Анализ экологических критерииев выращивания молоди (зоны оптимума, субоптимальные зоны и критические пороги жизнедеятельности) показывает, что по мере развития рыбы, ее резистентность к нехарактерным температурным диапазонам возрастает. Так, можно видеть, что у мальков африканского клариевого сома наблюдается сдвиг зон температурной толерантности в стороны повышенных и пониженных температур (табл. 3, рис. 5).

В сравнительном исследовании (Ogunji, Awoke, 2017) молодь африканских клариевых сомов содержали в лаборатории при температуре воды 26.53°C, в уличном садке — при 26.06°C и в теплице — при 31.52°C. Для сеголеток *C. gariepinus* ОИТ составила 26°C, что сопровождалось увеличением скорости их роста. При повышении температуры воды до 40°C в условиях теплицы сеголетки не выживали.

В 75-суточном опыте (Любомирова и др., 2019) ОИТ для сеголеток зафиксирована на уровне 28°C, что также определялось максимальным среднесуточным приростом рыб, по сравнению с термальными режимами 22 и 32°C.

Выживаемость сеголеток в индустриальной садковой аквакультуре исследована (Денисенко, 2013) в условиях русловых водоемов. В 97-суточном опыте молодь африканского клариевого сома выращивали при среднемесячных температурах воды в летне-осенний сезон при 21, 25 и 17°C. По окончанию нагульного периода вы-

Таблица 3. Температурные показатели и выживаемость молоди *C. gariepinus*

Объект исследования	Термальный оптимум, °C	V, %	ОИТ, °C	V, %	Порог жизнедеятельности, °C		T, сут	Источник
					max	min		
Молодь <i>C. gariepinus</i>	26.06–31.52	—	26	—	40.0	—	56	Ogunji, Awoke, 2017
	22–32	—	28	—	—	12	75	Любомирова и др., 2019
	17–25	87–97	—	—	—	14	97	Денисенко, 2013
	—	—	25	96.8	—	—	11	Hoffman et al., 1991

живаемость рыб при облове составила 87–97%. Завершение культивирования сома прекратили при достижении температуры воды 14°C.

Исследовано воздействие пониженных температур на сеголеток (Hoffman et al., 1991) на 21-суточных *C. gariepinus*. При этом ОИТ 25°C характеризовалась выживаемостью особей 96.8%. В условиях постепенного снижения температуры с 25 до 15°C (скорость – 0.21°C/ч) выживаемость молоди составила 98.2% за 11 сут. По достижении 10°C с той же скоростью снижения выживаемость молоди на 10-е сут составила 14.3%, а на 11-е сут все сеголетки погибли, т.е. нижняя граница толерантности при адаптации составила 10°C. Соответствующее расширение границ толерантности молоди африканских клариевых сомов, по сравнению с ранними стадиями развития (икра, личинка), схематично представлено на рис. 5.

Как видно на графике, у молоди *C. gariepinus* зоны термальной толерантности расширяются.

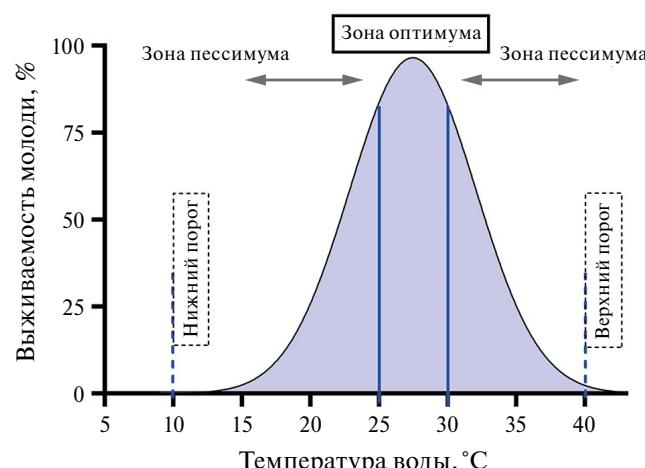


Рис. 5. Оптимальный и пессимальный термальные диапазоны у молоди *C. gariepinus* (Денисенко, 2013; Любомирова и др., 2019; Hoffman et al., 1991; Ogunji, Awoke, 2017).

При этом оптимальный диапазон для выращивания молоди несколько сужается — 25–30°C, по сравнению с температурными требованиями для икры и личинок. Однако с расширением адаптационных возможностей нижняя субоптимальная зона становится шире и находится в границах 10–25°C, а верхняя — в диапазоне 30–40°C. Летальные температуры: до 10 и выше 40°C.

РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЗМНОЖЕНИИ *C. gariepinus*

Естественное воспроизведение африканских клариевых сомов осуществляется под воздействием ряда абиотических факторов: температуры водной среды, фотопериода, уровня воды в местах нерестилища (Mylonas et al., 2010). При этом термальным регуляциям подвержены в первую очередь самки, развитие ооцитов у которых начинает замедляться, как только температура опускается ниже 22°C. В отличие от овогенеза самок сперматогенез самцов не зависит от температурных условий, и семенники полностью развиваются в возрасте от 8 до 12 мес., когда рыбы достигают живой массы примерно 200 г. Соответственно, наиважнейший физиологический критерий при содержании половозрелых африканских клариевых сомов в индустриальных хозяйствах — развитие гонад. Установлено, что оптимальная температура для содержания маточного стада — 25–27°C.

С учетом трудностей в моделировании естественных условий для нереста сомов в индустриальной аквакультуре субтропических и умеренных зон, а также в рыбопитомниках и на фермах УЗВ традиционно применяют препараты, стимулирующие овогенез и сперматогенез. Например, для индуцирования созревания икры у самок африканского сома чаще всего используют инъекции половых гормонов или гипофиза (El-Hawary et al., 2016).

При этом для развития гонад у самок необходима температура не менее 22–24°C (De Graaf, Janssen, 1996), и, чем ниже температура воды, тем более продолжителен временной промежуток от начала овогенеза до окончательного созревания и метания икры. Для получения половых продуктов у самцов за 5 ч до проведения гипофизарных инъекций температуру воды повышают с 25 до 28°C и в дальнейшем содержат производителей при 28°C и выше (Tkacheva et al., 2020). Процессы развития оплодотворенной икры также демонстрируют термальную зависимость (рис. 6).

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПИТАНИЕ И КОРМОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ *C. gariepinus*

Температура водной среды имеет решающее значение для обеспечения адекватной метаболической активности рыб. Главным физиологическим критерием при индустриальном выращивании рыб считается потребление ими корма, от которого зависит как здоровье гидробионтов, так и выход конечной товарной продукции (Климук и др., 2024б).

В среде естественного обитания рыб температура изменяется в зависимости от ряда внешних и прежде всего климатических факторов (Озернюк, 2011). Поэтому не удивительно, что колебания температуры при выращивании *C. gariepinus* оказывают различное влияние на потребление корма и ферментную активность поджелудочной железы молоди африканских клариевых сомов. На настоящий момент оптимальная температура для пищеварения молоди

C. gariepinus не установлена, но, согласно некоторым экспериментальным работам, в которых с помощью рентгеновской радиографии учитывалась скорость опорожнения желудка, выявлено, что температура водной среды оказывает непосредственное воздействие на эффективность переваривания корма и кормовое поведение рыб. Так, самое короткое время опорожнения (10 ч) наблюдали у особей, выращиваемых при 32°C, а самое продолжительное (16 ч) — при 26°C, также при повышении температуры с 26 до 32°C (1°C/сут) время переваривания корма у африканских клариевых сомов сокращалось с интервалом в 2 ч (табл. 4).

Напротив, при уменьшении температуры воды с 25 до 10°C со скоростью 2°C/сут кормовая активность у рыб понижалась на 46.67%, по сравнению с постоянным термальным режимом в контроле (25°C). При этом не было зарегистрировано каких-либо изменений при повышенных температурах содержания (30 и 35°C).

Активность пищеварительных ферментов в желудке молоди рыб также подвергалась значительным изменениям при воздействии повышенных и пониженных температур. Низкая активность протеазы, трипсина и липазы наблюдалась при 10°C, что, как известно, приводит к затруднению и многократному замедлению процессов гидролиза белков и расщепления жиров, в том числе за счет нарушения функции поджелудочной железы — гепатопанкреаса (German, Bittong, 2009). Оптимальной температурой для пищеварения можно считать 25°C для протеазы и трипсина и 30°C для липазы. Температура воды ниже 25°C вызывает термальную стресс-реакцию и отрицательно влияет на потребление корма и активность пищеварительных ферментов (Ahmad et al., 2014). Синтез печеночных ферментов аспартатаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ) также подвержен изменениям в зависимости от температуры водной среды. Активность АСТ в крови достигает максимальных значений при 32°C, АЛТ — при 28°C, а наиболее благоприятной для работы этих ферментов оказалась температура 24°C (Al-Deghayem, Suliman, 2019).

Нормальное развитие молоди — залог успешного товарного производства рыбы (Климук и др., 2023). Линейный рост и набор живой массы рыб тесно связаны с температурным режимом. В ходе исследования по определению оптимальной температуры для молоди *C. gariepinus* установлено, что окончательно избираемой температурой для роста является 28°C. При этой температуре конечная биомасса

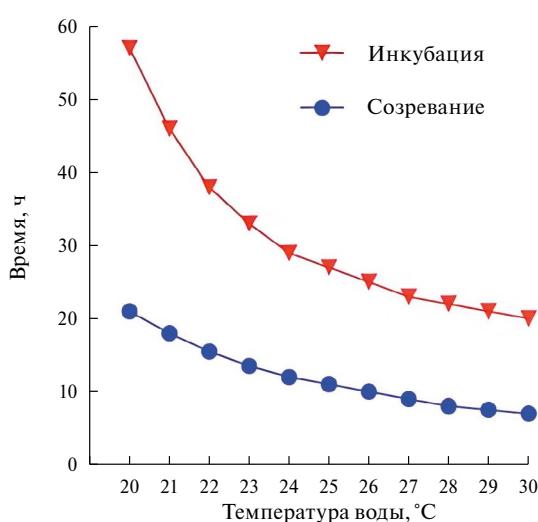


Рис. 6. Продолжительность созревания и инкубации икры *C. gariepinus* в зависимости от температуры водной среды.

Таблица 4. Влияние температурных показателей на кормовое поведение, ферментативную активность и скорость переваривания у *C. gariepinus*

Жизненная стадия <i>C. gariepinus</i>	Физиологический критерий	ОИТ, °C	Термальный режим, °C		T, сут	Источник
			max	min		
Молодь	Потребление корма	25	—	13	7	Ahmad et al., 2014
	Скорость переваривания корма	32	—	26	70	Kasihmuddin et al., 2021
	ФА протеазы	25	—	20	7	Ahmad et al., 2014
	ФА трипсина	25	35	20		
	ФА липазы	30	35	15		
	ФА печени (АСТ и АЛТ)	28	32	24	112	Al-Deghayem, Suliman, 2019
Взрослая особь	Потребление корма	28	—	17	—	Власов, 2012

Примечание: ФА — ферментативная активность, АСТ — аспартатаминотрасфераза, АЛТ — аланинаминотрансфераза.

особей и поедаемость кормов оказались максимальными при 75-суточном выращивании сомов (Денисенко, 2013).

Что касается взрослых половозрелых особей африканских клариевых сомов, считается, что температура 17–18°C оказывает отрицательное влияние на кормовую активность рыб, что выражается в их полном отказе от корма (Власов, 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди множества абиотических факторов, тесно связанных с водной средой и гидробионтами, температура играет определяющую роль в цикле жизнедеятельности пойкилотермных организмов. Разнообразные физиологические процессы у рыб, а также индивидуальное развитие, размножение, кормовое поведение, распределение в пространстве напрямую зависят от температуры водной среды и времени ее воздействия, поэтому для поддержания оптимума роста на каждом из этапов развития рыб следует строго контролировать температуру воды, избегая термальных стресс-реакций. В первую очередь, это касается универсальных искусственных систем, применяемых для выращивания африканских клариевых сомов.

Подводя общий итог всему вышесказанному, можно отметить, что:

1. Благодаря высокой приспособляемости к различным условиям среды, быстрой скорости роста и неприхотливости в кормлении африканский клариевый сом является в настоящее время одним из популярных товарных аквакультурных видов рыб.

2. Выживаемость *C. gariepinus* на ранних этапах развития зависит от длительности нахождения икры, личинок и молоди в неблагоприятных термальных диапазонах. Термальные оптимумы *C. gariepinus* составляют для икры — 28–30°C, личинок — 23–31°C и молоди — 25–28°C.

3. Минимизация воздействия субоптимальных температур прямо пропорциональна проценту выживаемости африканских клариевых сомов на всех этапах развития. Величина, продолжительность и частота изменения температуры, а также начальная температура акклиматации особей влияют на степень последствий термального стресса у рыб.

4. Размножение женских особей *C. gariepinus* находится в зависимости от температуры воды, в частности, формирование и созревание гонад у самок наблюдается при 25–27°C. У самцов подобная зависимость выражена в меньшей степени.

5. Скорость пищеварения, синтез поджелудочных ферментов и кормовое поведение африканского клариевого сома демонстрируют термальную зависимость. Несмотря на то, что для каждой физиологической реакции существуют собственные термальные оптимумы, динамическое изменение температуры водной среды в пределах совокупного оптимума (25–30°C) оказывает благоприятное воздействие на каждый из этапов пищеварения африканского клариевого сома *C. gariepinus*.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проводились с использованием информационных ресурсов уникальной науч-

ной установки (УНУ) НТИ РФ рег. № 3662433 “Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии” и “Экспериментальной лаборатории фитоэкологических аквабиотехнологий” факультета биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО “МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)”.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО “МГУТУ им. К.Г. Разумовского”. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликтов интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александрова У.С. Экспериментальные исследования по адаптации клариевого сома к изменениям температуры выращивания // Актуальные вопросы рыбного хозяйства и аквакультуры бассейнов южных морей России / Мат. междунар. науч. конф. (Ростов-на-Дону, 1–3 октября 2014 г.). РнД: ЮНЦ РАН, 2014. С. 155–157.

Булавин Е.Ф., Асылбекова С.Ж., Булавина Н.Б. Опыт выращивания клариевого сома (*Clarias gariepinus*) комбинированным методом в условиях Алматинской области // Каспий в цифровую эпоху / Мат. нац. науч.-практ. конф. с междунар. уч. в рамках Междунар. науч. форума “Каспий 2021: пути устойчивого развития” (Астрахань, 27 мая 2021 г.). Астрахань: Астраханский университет, 2021. С. 224–229.

Власов В.А. Воспроизводство и выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в установках с замкнутым водообеспечением (УЗВ) // Рыбовод. рыб. хоз. 2012. Т. 7. С. 26.

Голованов В.К. Эколого-физиологические аспекты терморегуляционного поведения пресноводных рыб // Поведение и распределение рыб. Т. 2 / Докл. II Всерос. совещ. “Поведение рыб” (Борок, 1996 г.). Борок: ИБВВ, 1996. С. 16–40.

Голованов В.К. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. М.: Полиграф-Плюс, 2013а. 300 с.

Голованов В.К. Эколого-физиологические закономерности распределения и поведения пресноводных рыб в термоградиентных условиях // Вопр. ихтиол. 2013б. Т. 53 (3). С. 286–314.

Денисенко О.С. Первый опыт выращивания африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) садковым способом в условиях русловых водоемов Краснодарского края // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков / Мат. IV междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 20 декабря 2013 г.). Новосибирск: ЦРНС, 2013. С. 133–135.

Климук А.А., Калита Т.Л., Брежнев Л.Л. Действие водного экстракта *Laminariocolax aecidiooides* на биохимические показатели крови африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2023. № 39. С. 418–433.

Климук А.А., Пономарев А.К., Калита Т.Л., Никифоров-Никишин А.Л. Опыт выращивания гибридов первого поколения африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) при пониженных температурных режимах // Вестн. КГМТУ. 2024а. № 1. С. 20–28.

Климук А.А., Жандалгарова А.Д., Калита Т.Л. и др. Оценка токсичности водного экстракта буровой водоросли *Laminariocolax aecidiooides* с помощью lux-биосенсоров и микроядерного теста при его использовании в индустриальной аквакультуре // Вестн. АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2024б. № 1. С. 62–71.

Любомирова В.Н., Романова Е.М., Шадыева Л.А., Спиринова Е.В. Оптимизация температурного режима при выращивании клариевого сома в индустриальной аквакультуре // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. В 2 тт. Т. 1 / Мат. нац. науч.-практ. конф. (Ульяновск, 20–21 июня 2019 г.). Ульяновск: УлГАУ, 2019. С. 179–183.

Озернюк Н.Д. Адаптационные особенности энергетического метаболизма в онтогенезе рыб // Онтогенез. 2011. Т. 42 (3). С. 235–240.

Привезенцев Ю.А. Выращивание рыб в малых водоемах. М.: Колос, 2000. С. 5–62.

Adewolu M.A., Ogunsanmi A.O., Yunusa A. Studies on growth performance and feed utilization of two clariid catfish and their hybrid reared under different culture systems // Eur. J. Sci. Res. 2008. V. 23 (2). P. 252–260.

Ahmad T., Singh S.P., Khangembam B.K. et al. Food consumption and digestive enzyme activity of *Clarias batrachus* exposed to various temperatures // Aqua. Nutr. 2014. V. 20 (3). P. 265–272.

Al-Deghayem W.A., Suliman E.A. The effects of diet and temperature on enzymes, hormones, and fecundity of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) // J. Appl. Biol. Biotechnol. 2019. V. 7 (2). P. 71–77.

Bovendeur J., Eding E.H., Henken A.M. Design and performance of water recirculation system for

high-density culture of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) // Aquaculture. 1987. V. 63 (1–4). P. 329–353.

Bruton M.N. Alternative life-history strategies of catfishes // *Aqua. Liv. Res.* 1996. V. 9. P. 35–41.

De Graaf G., Janssen H. Artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus* in Sub-Saharan Africa. Roma: FAO, 1996. 73 p.

De Kimpe P., Micha J.C. First guideline for culture of *Clarias lazera* in Central Africa // *Aquaculture*. 1974. V. 4 (3). P. 227–248.

Dhawan A., Kaur V.I. Effect of feeding rate and feeding frequency on the growth performance of Indian Magur, *Clarias batrachus* // *Ind. J. Animal Nutr.* 2010. V. 27 (2). P. 182–186.

Dijkema R. Aquaculture in the Netherlands: an overview. RIVO report 95.013. Yerseke: NIFR, 1995. 17 p.

Eding E., Kamstra A. Netherlands farms tune recirculation systems to production of varied species // *Glob. Aqua. Advocate*. 2002. V. 5 (3). P. 52–55.

El-Hawarry W.N., El-Rahman S.H., Shourbela R.M. Breeding response and larval quality of African catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) using different hormones/hormonal analogues with dopamine antagonist // *Egypt. J. Aqua. Res.* 2016. V. 42 (2). P. 231–239.

German D.P., Bittong R.A. Digestive enzyme activities and gastrointestinal fermentation in wood-eating catfishes // *J. Comp. Physiol. B*. 2009. V. 179. P. 1025–1042.

Haylor G.S. The case for the African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell, 1822, Clariidae: a comparison of the relative merits of Tilapiine fishes, especially *Oreochromis niloticus* (L.) and *C. gariepinus* Burchell, for African aquaculture // *Aqua. Fish. Man.* V. 20. P. 279–285.

Haylor G.S., Mollah M.F.A. Controlled hatchery production of African catfish, *Clarias gariepinus*: the influence of temperature on early development // *Aqua. Liv. Res.* 1995. V. 8 (4). P. 431–438.

Hoffman L.C., Prinsloo J.F., Pretorius D.M., Theron J. Observations on the effects of decreasing water temperatures on survival of *Clarias gariepinus* juveniles // *South Afr. J. Wildl. Res.* 1991. V. 21 (2). P. 54–58.

Hogendoorn H. Controlled propagation of the African catfish *Clarias lazera* (C&V). I. Reproductive biology and field experiments // *Aquaculture*. 1979. V. 17. P. 323–333.

Hogendoorn H. Controlled propagation of the African catfish *Clarias lazera* (C&V). III. Feeding and growth of fry // *Aquaculture*. 1980. V. 21 (3). P. 233–241.

Hogendoorn H. Controlled propagation of the African catfish *Clarias lazera* (C&V). IV. Effect of feeding regime in fingerling culture // *Aquaculture*. 1981. V. 24. P. 123–131.

Hogendoorn H., Jansen J.A.J., Koops W.J. et al. Growth and production of African catfish *Clarias lazera* (C&V) II. Effect of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture // *Aquaculture*. 1983. V. 34. P. 265–285.

Islam M.N., Islam M.S., Alam M.S. Genetic structure of different populations of walking catfish (*Clarias batrachus* L.) in Bangladesh // *Biochem. Genet.* 2007. V. 45. P. 647–662.

Kasihmuddin S.M., Ghaffar M.A., Das S.K. Rising temperature effects on growth and gastric emptying time of freshwater African catfish (*Clarias gariepinus*) fingerlings // *Animals*. 2021. V. 11 (12). P. 3497.

Legendre M., Teugels G.G., Cauty C., Jalabert B. A comparative study on morphology, growth rate and reproduction of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840, and their reciprocal hybrids (Pisces, Clariidae) // *J. Fish Biol.* 1992. V. 40 (1). P. 59–79.

Mylonas C.C., Fostier A., Zanuy S. Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction // *Gen. Comp. Endocrinol.* 2010. V. 165 (3). P. 516–534.

Nguyen D.H.M., Panthum T., Ponjarat J. et al. An investigation of ZZ/ZW and XX/XY sex determination systems in North African catfish (*Clarias gariepinus*) // *Front. Genet.* 2021. V. 11. P. 562856.

Ogunji J.O., Awoke J. Effect of environmental regulated water temperature variations on survival, growth performance and haematology of African catfish, *Clarias gariepinus* // *Our Nature*. 2017. V. 15. P. 26.

Olaniyi W.A., Omitogun O.G. Stages in the early and larval development of the African catfish *Clarias gariepinus* (Teleostei, Clariidae) // *Zygote*. 2014. V. 22 (3). P. 314–330.

Prokešová M., Drozd B., Kouril J. et al. Effect of water temperature on early life history of African sharp-tooth catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) // *J. Appl. Ichthyol.* 2015. V. 31. P. 18–29.

Seebens H., Blackburn T., Dyer E. et al. No saturation in the accumulation of alien species worldwide // *Nat. Commun.* 2017. V. 8 (1). P. 14435.

Senanan W., Kapuscinski A.R., Na-Nakorn U., Miller L.M. Genetic impacts of hybrid catfish farming (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) on native catfish populations in central Thailand // *Aquaculture*. 2004. V. 235 (1–4). P. 167–184.

Tkacheva I., Kuzov A., Polienko S., Polyakov V. Intravital method for the obtaining genital products from the male African catfish // *E3S Web of Conferences*. 2020. V. 210. P. 07011.

Tonguthai K., Chinabut S., Limsuwan C. et al. Handbook of hybrid catfish: husbandry and health. Jatujak: Aquatic Animal Health Research Institute, Department of fisheries, 1993. P. 70.

Viveen W.J.A.R., Richter C.J.J., van Oordt P.G.W.J. et al. Practical manual for the culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*) // *Food Nutr. Sci.* 1985. V. 2 (1). P. 121.

Physiological and Ecological Features of Cultivation African Catfish *Clarias gariepinus*

© 2024 г. A. A. Klimuk^{a,*}, S. V. Beketov^a, T. L. Kalita^a

^aRazumovsky Moscow State University of Technologies and Management (First Cossack University), Moscow, Russia

*e-mail: ord@mgutm.ru

The article considers physiological and ecological features of cultivation of African catfish *Clarias gariepinus*, in particular the effect of water temperature on the stages of ontogenesis (egg, larvae, juveniles) and on obtaining commercial fish. Additionally, experimental data on determining the modern habitat of *C. gariepinus*, its feeding behavior and some physiological reactions of the gastrointestinal tract are summarized. It is shown that the optimal thermal range for cultivating *C. gariepinus* is 25–32°C. At the early stages of development (egg, larvae), the clariid catfish is most sensitive to temperature, and starting from the juvenile stage, it adapts better to unfavorable temperature conditions. In addition, the nature of the diet and the activity of pancreatic enzymes of the African clariid catfish are also closely related to the temperature of the aquatic environment. In conclusion, practical recommendations for industrial cultivation of *Clarias gariepinus* in recirculating aquaculture systems are given.

Keywords: African catfish, temperature regime, development, reproduction, diet, temperature optimum