

ФИЗИОЛОГИЯ
ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА

УДК 574.22

СТИМУЛИРОВАНИЕ РОСТА МОЛОДИ АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА (*Clarias gariepinus*) С ПОМОЩЬЮ МОДИФИКАЦИИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ВОДЫ

© 2022 г. Д. В. Шумейко*, С. А. Лоза*, А. Н. Коржов*, В. К. Ромашов*, В. В. Малышко**, ***, А. А. Елкина*, ***, @, А. В. Моисеев****

*Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, 149, Краснодар, 350040 Россия

**Кубанский государственный медицинский университет Минздрава России, ул. Седина, 4, Краснодар, 350063 Россия

***ФИЦ Южный научный центр РАН, просп. Чехова, 41, Ростов-на-Дону, 344006 Россия

****Кубанский государственный аграрный университет, ул. Калинина, 13, Краснодар, 350004 Россия

@E-mail: 013194@mail.ru

Поступила в редакцию 09.08.2020 г.

После доработки 29.09.2020 г.

Принята к публикации 29.09.2020 г.

Исследовано влияние воды с высоким отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) на физиологические показатели молоди африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*). В результате проведенных исследований установлено, что снижение ОВП воды от +150...+250 мВ до –600...–500 мВ с помощью электромембранного генератора без изменения солевого состава при незначительном изменении рН с экспозицией 30 и 60 мин раз в сутки положительно сказывается на основных биологических показателях молоди африканского клариевого сома. Прирост биомассы в контрольной группе составил 756.6 г, а в опытной группе (30 мин обработки) – 1004.2 г. Наибольшей представительностью по массе в контрольной группе характеризовались рыбы в наименьшем размерном диапазоне: 1.0–2.9 г (38%). В опытных группах он составлял 22.6 и 18.3%, а основное количество особей находилось в диапазоне 3.0–4.9 г (38.3 и 44.1% соответственно). Установлено, что наилучшие показатели достигаются при обработке водной среды в течение 30 мин.

Ключевые слова: африканский клариевый сом, окислительно-восстановительный потенциал, молодь, вода, биологические системы

DOI: 10.31857/S1026347022030167

Широко распространенным объектом пресноводной аквакультуры является африканский клариевый сом. Биологические особенности которого обуславливают перспективность для проведения модельных исследований в установках замкнутого водоснабжения (Ковалев, 2006; Власов, Завьялов, 2014; Zaid *et al.*, 2020). Проводятся исследования влияния различных факторов на физиологические показатели клариевого сома: биохимического профиля и экспрессии генов при повышении концентрации тяжелых металлов в среде обитания (Swaleh *et al.*, 2020), гербицидов (Oluah *et al.*, 2020), влияние микроэлементов (Siqweru *et al.*, 2020) и различных факторов загрязнения окружающей среды (Audu, Ajima, 2020). Африканский клариевый сом удобен для проведения научных исследований своей неприхотливостью в содержании, что позволяет осуществлять большие плотности посадки рыбы, отказаться от применения электроприборов, создающих постороннее влияние на

объекты выращивания, и редко производить замену воды (Abd-Elkareem *et al.*, 2020; Adeoye *et al.*, 2020).

Разработка научных основ рациональной технологии выращивания африканского клариевого сома имеет важное хозяйственное значение. Основной средой его обитания является вода, состав и физико-химические свойства которой определяют, в том числе, и физиологические показатели рыбы (Mashaly *et al.*, 2020). По этой причине необходимо проведение исследований эффективных способов повышения качества воды и внедрение инновационных технологий ее кондиционирования (Zhang *et al.*, 1999; Stewart, 2009; Basov *et al.*, 2019a, 2019b, 2019c; Volchenko *et al.*, 2020; Dumbo *et al.*, 2020). Особое место среди них занимает электрохимическая активация водных растворов (использование водных растворов с различными значениями ОВП), с помощью которой можно

Таблица 1. Химический состав водопроводной воды

рН	Жесткость, мг-экв/л	C(Ca ²⁺), мг-экв/л	C(Mg ²⁺), мг-экв/л	C(HCO ₃ ⁻), ммоль/л	C(H ₂ CO ₃), ммоль/л	C(Cl ⁻), ммоль/л	C(SO ₄ ²⁻), ммоль/л	C(Na ⁺), ммоль/л	C(K ⁺), ммоль/л
7	2.9	2.2	0.7	4.53	0.21	0.80	0.42	5.63	0.71

добиться улучшения физиологических показателей рыб (Bahir, 1996; Плутахин и др., 2013.). Такие водные растворы характеризуется высокой физико-химической и биологической активностью (Ichihara *et al.*, 2015). Молекулярный водород (H₂) способен достаточно легко проникать через биологические мембраны и диффундировать во внутриклеточное пространство, а также гематоэнцефалический барьер (в то время, как большинство антиоксидантных соединений не могут его преодолеть), при этом он обладает выраженными антиоксидантными свойствами. При достижении ядра и митохондрий H₂ способен оказывать влияние на окислительно-восстановительные процессы в них (Ohta, 2012).

В первых работах, описывающих биологические эффекты воды с высоким отрицательным ОВП, показана возможность ее использования в качестве антиоксидантного средства (Yanagihara *et al.*, 2005; Ohsawa *et al.*, 2007). В дальнейшем было проведено большое количество исследований ее антиоксидантных свойств с использованием различных моделей окислительного стресса на лабораторных животных (Sun *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2011, 2015; Ito *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2013; Shinbo *et al.*, 2013; Hattori *et al.*, 2015; Jing *et al.*, 2015).

Методы получения и свойства растворов описаны в ряде научных работ (Сергунина, 1968; Петрушанко, Лобышев, 2001, 2004; Погорелов и др.,

2019). Вода с измененным ОВП широко используется в пищевой промышленности, биотехнологии, кормопроизводстве, медицине и ветеринарии (Труфляк и др. 2014; Sun *et al.*, 2015).

Цель данной работы – изучить влияние воды с высоким отрицательным ОВП на физиологические показатели молоди африканского клариевого сома.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в лаборатории перспективных технологий в аквакультуре на базе бизнес-инкубатора ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет».

В качестве экспериментального объекта использовали молодь африканского клариевого сома (мраморный клариевый сом или нильский клариас (*Clarias gariepinus*)).

Эксперимент проводили в период с 24.04.2019 г. по 24.05.2019 г. Общая продолжительность составила 30 дней.

Для содержания молоди использовали шесть пластиковых непрозрачных емкостей объемом 60 л размерами 710 × 400 × 290 мм каждая. Две емкости использовали для контрольных групп, остальные четыре – для двух опытных групп. Таким образом, все наблюдения были проведены в двукратной повторности. Каждую емкость наполняли водой в количестве 50 л. Для контрольной группы емкости наполняли отстоянной водопроводной водой (табл. 1). В эксперименте использовали аналогичную воду, которую предварительно обрабатывали путем снижения окислительно-восстановительного потенциала в опыте № 1 в течение 30 мин и в опыте № 2 в течение 60 мин.

Для получения воды с высоким отрицательным ОВП был собран электромембранный генератор ЭМГ-30 с экспериментальной биполярной ионообменной мембраной МБ-Э (Zabolotsky *et al.*, 2019; Mareev *et al.*, 2020; Melnikov *et al.*, 2020). Принципиальная схема обработки воды представлена на рис. 1.

При обработке вода из емкости с помощью перистальтического насоса производительностью 15 л/ч циркулировала через электромембранный генератор с размером электродов 1 дм², сила тока

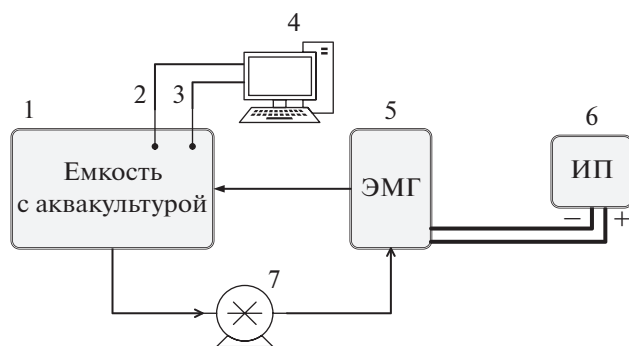
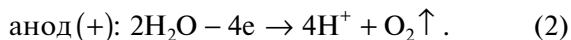
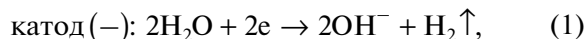


Рис. 1. Принципиальная схема обработки воды: 1 – емкость с рабочим объемом 50 л с опытными объектами аквакультуры; 2 – pH метр; 3 – ОВП метр; 4 – ПК; 5 – электромембранный генератор с биполярной мембраной; 6 – источник питания; 7 – перистальтический насос.

составляла 1 А. Электроды были изготовлены из платинированного титана. Анодная и катодная камера разделены экспериментальной биполярной мембраной. В камерах генератора при протекании тока происходят следующие реакции:



Выделяющийся в катодной камере газообразный водород при растворении в воде смещает ее ОВП в отрицательную область. При использовании традиционных электролизеров для уменьшения ОВП воды происходит значительное смещение рН в катодной камере в щелочную область ($\text{pH} > 11$), что делает такую воду непригодной для жизнедеятельности объектов аквакультуры. В электромембранном генераторе происходит генерация катионов водорода на биполярной мембране, что компенсирует убыль этих ионов за счет электролиза. При обработке воды, изменяя токовые режимы и каталитическую активность мембраны, можно управлять скоростью генерации ионов водорода, чтобы поддерживать рН воды при ее обработке в заданном диапазоне. Таким образом, при обработке воды в электромембранном генераторе ее солевой состав и кислотность практически не изменяются, а ОВП от значений $+150\dots+250$ мВ снижается до $-600\dots-500$ мВ.

Обработку воды в емкостях проводили 1 раз в сутки, время работы электромембранного генератора составляло 30 мин для опытной группы 1 и 60 мин для опытной группы 2. ОВП воды в обрабатываемой емкости контролировали с помощью иономера Эксперт 001 (Россия).

В качестве измерительного использовали точечный платиновый электрод, электродом сравнения служил хлоридсеребряный электрод, заполненный насыщенным раствором хлорида калия. Хлоридсеребряный электрод имеет потенциал $+220$ мВ относительно стандартного водородного электрода, поэтому для определения реального значения ОВП необходимо из измеренного значения вычесть 220 мВ. Вид зависимости ОВП от времени показан на рис. 2 (вертикальными пунктирными линиями показано время включения и выключения электромембранного генератора).

При обработке воды происходит резкое снижение ОВП во всей емкости, несмотря на то, что за 15–30 мин обработки через генератор протекает только часть воды, однако за счет высокой концентрации растворенного и газообразного водорода происходит его быстрая диффузия по всему объему обрабатываемой емкости. После окончания обработки происходит плавное повышение

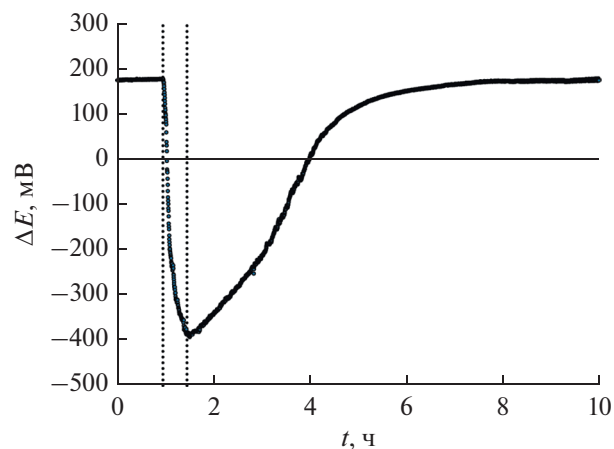


Рис. 2. Зависимость ОВП от времени.

ОВП за счет улетучивания водорода и его расходования на реакции восстановления различных органических веществ.

В каждую емкость помещали по 130 мальков с приблизительно одинаковой средней массой тела. В итоге в эксперименте было задействовано 780 рыб. Каждые шесть дней проводили определение биомассы групп, пересчет количества и корректировку суточных норм кормления. В конце опыта производили взвешивание и измерение длины каждой особи. Взвешивание рыбы проводили с точностью до 0.01 г, кормов — до 0.1 г на электронных весах. Также каждые двое суток осуществляли полную замену воды.

Молодь кормили два раза в сутки согласно рыбноводным нормативам, рекомендациям производителя кормов, при этом суточная норма кормления в процентах от биомассы задавалась одинаково как для контроля, так и для опытных групп и составила 5% от биомассы рыб. Кормление производили осетровым кормом *Coppens vital* (1.2–1.5 мм) с содержанием белка 46.0%, жира 100%, клетчатки 10%, золы 9.9% и фосфора 1.7%.

В течение эксперимента основные гидрохимические показатели (аммиак, нитриты, нитраты, рН) находились в норме. Температура воды в емкостях была в пределах $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Результаты обрабатывали с помощью стандартных статистических методов (Лакин, 1990). Статистическую достоверность отличий в группах выявляли с помощью *U*-критерия Манна–Уитни и критерия Краскела–Уоллиса для непараметрических и независимых групп.

Вычисляли следующие показатели: среднее значение (\bar{x}), среднее квадратическое отклонение (σ), коэффициент вариации (*CV*), медиана, 25-й и 75-й процентиль.

Таблица 2. Масса и длина тела африканского клариевого сома в течение эксперимента

Сутки	Контроль		Опыт № 1		Опыт № 2	
	<i>n</i> , шт.	$\bar{x} \pm \sigma$, CV, %	<i>n</i> , шт.	$\bar{x} \pm \sigma$, CV, %	<i>n</i> , шт.	$\bar{x} \pm \sigma$, CV, %
Масса, г						
1	260	0.58 ± 0.220 36	260	0.57 ± 0.235 34.8	260	0.58 ± 0.222 35.5
6	258	0.94 ± 0.380 37.4	256	1.01 ± 0.445 38.2	254	0.99 ± 0.416 37.3
12	250	1.48 ± 0.623 39.5	246	1.56 ± 0.733 41.1	248	1.56 ± 0.661 39.3
18	249	2.07 ± 0.895 41.3	240	$2.35^{**} \pm 1.15$ 44.5	244	$2.28^{**} \pm 0.987$ 40.8
24	245	2.81 ± 1.239 43.1	238	$3.42^* \pm 1.707$ 47.7	239	$3.29^* \pm 1.447$ 42.9
30	234	3.92 ± 1.748 44.6	230	$5.02^* \pm 2.561$ 51.0	229	$4.85^* \pm 2.153$ 44.4
Длина, см						
1	260	4.2 ± 0.060 16.5	260	4.2 ± 0.055 15.7	260	4.2 ± 0.057 16.1
30	234	8.1 ± 1.28 15.9	230	$8.5^{**} \pm 1.38$ 16.3	229	$8.4^* \pm 1.31$ 15.2

Примечание. – при сравнении с контролем (*U*-критерий Манна–Уитни): * – $p \leq 0.01$; ** – $p \leq 0.05$.

Показатели роста вычисляли по следующим формулам (Щербина, Гамыгин, 2006): удельная скорость роста (C_w) – $C_w = \frac{\ln M_t - \ln M_0}{t} \times 100 \%$; относительный прирост – $\Delta M = \frac{M_t - M_0}{M_0} \times 100\%$, где M_0 , M_t – средняя масса рыб в начале и конце периода соответственно.

Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных, проводили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температурный режим и водородный показатель в период выращивания были относительно стабильными. Температура варьировала в диапазоне от 23.5 до 25.9°C, pH от 7.3 до 8.0. При этом все изменения происходили синхронно в каждой группе. Это связано с особенностью работы электромембранного генератора, который поддерживает pH воды в заданном диапазоне аналогично контрольной группе, несмотря на снижение ОВП. Следует отметить, что при обработке опытных групп, происходило незначительное повышение

температуры воды на 0.2–0.5°C, которая выравнивалась к контролю приблизительно за один час. Данное явление, как мы считаем, не могло повлиять на ход и результаты эксперимента.

В результате проведенных работ были получены основные биологические показатели молоди африканского клариевого сома (табл. 2).

В начале опыта средняя масса молоди составляла 0.58 г, длина – 4.2 см. В течение эксперимента рост молоди изменялся в каждой группе. В конце эксперимента средняя масса составляла: в контрольной группе – 3.92 г, опытной группе № 1 – 5.02 г и опытной группе № 2 – 4.85 г. Средняя длина в конце опыта составила у контрольной группы – 8.1 см, опытной группы № 1 – 8.5 см и опытной группы № 2 – 8.4 см. При сравнении с помощью *U*-критерия Манна–Уитни достоверных отличий выявлено не было между опытными группами № 1 и 2.

Сравнение с помощью критерия Краскела–Уоллиса всех групп в совокупности выявило достоверные отличия между ними по средней массе на 12.05.19 при $p \leq 0.05$, 18.05.19 и 24.05.19 при $p \leq 0.01$, по длине в конце эксперимента 24.05.19 при $p \leq 0.01$.

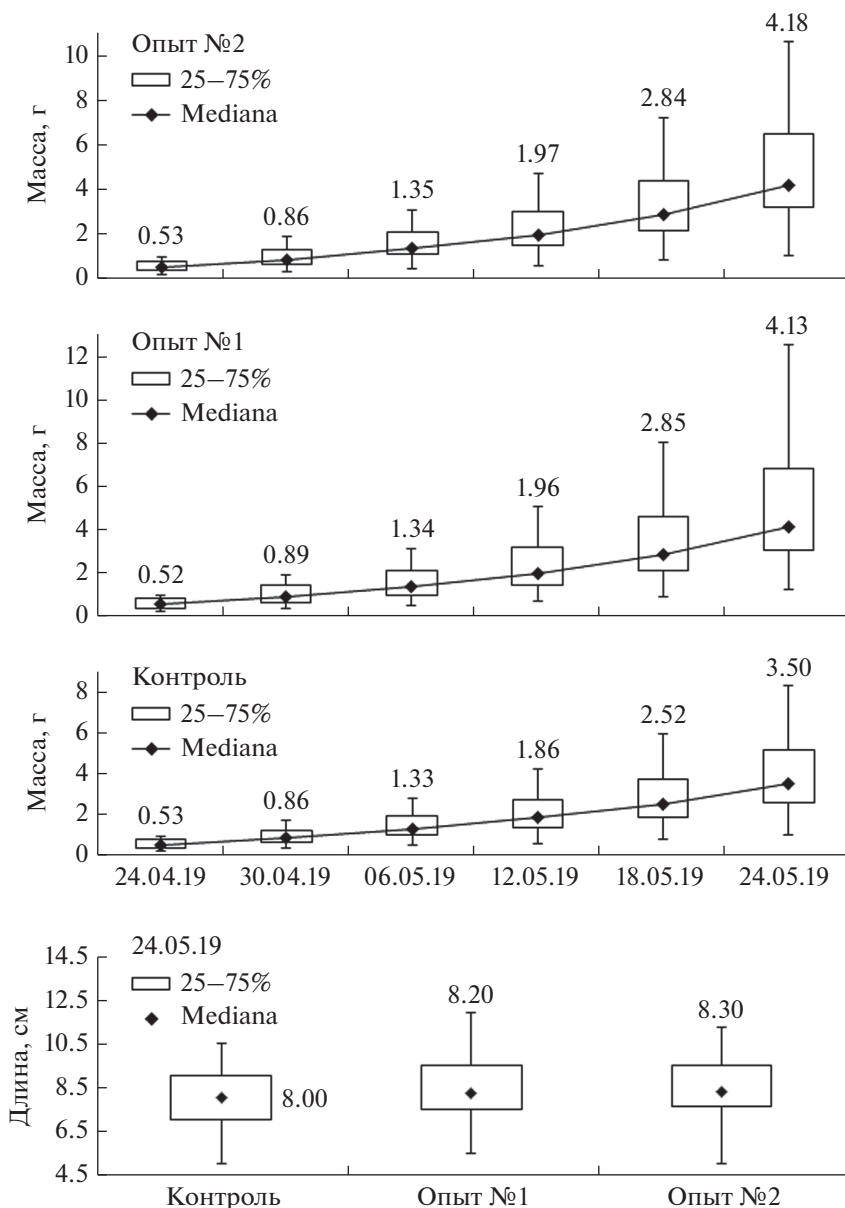


Рис. 3. Рыбоводно-биологические показатели африканского клариевого сома в течение эксперимента.

Коэффициент вариации массы тела в группах во времени изменялся от 34.8–36.0 до 44.4–51.0%, при этом различия по группам невелики.

В совокупности по группам по критерию Краскела–Уоллиса различия достоверны по медианам масс рыб: 18.05.19 при $p \leq 0.05$ и 24.05.19 при $p \leq 0.01$, по медианам длин в конце эксперимента 24.05.19 различия не выявлены (рис. 3).

Минимальная масса молоди африканского клариевого сома в конце эксперимента у всех групп была примерно одинаковой и составила 1.02–1.19 г, минимальная длина в конце также не сильно отличалась 5.0–5.5 см. В то время как мак-

симальная масса молоди варьировала: контрольная группа – 8.2 г; опытная группа № 1 – 12.57 г; опытная группа № 2 – 10.55 г.

За время эксперимента во всех группах оценивали количество погибших рыб в вариантах (табл. 3). Изначально в опыте было задействовано по 260 экз. молоди африканского клариевого сома. Конечная выживаемость с учетом объема выборок не сильно разнилась и была следующей: контрольная группа – 234 экз. (90.0%), опытная группа № 1 – 230 экз. (88.5%), опытная группа № 2 – 229 экз. (88.1%). Такие показатели для данного вида являются нормой (Ковалев, 2006), так как они

Таблица 3. Показатели выживаемости молоди африканского клариевого сома

Сутки		Контроль	Опыт № 1	Опыт № 2
1	экз.	260	260	260
	%	100.0	100.0	100.0
6	экз.	258	256	254
	%	99.2	98.5	97.7
12	экз.	250	246	248
	%	96.2	94.6	95.4
18	экз.	249	240	244
	%	95.8	92.3	93.8
24	экз.	245	238	239
	%	94.2	91.5	91.9
30	экз.	234	230	229
	%	90.0	88.5	88.1

склонны к каннибализму и съедают ослабленных и мелкорослых особей. При этом данную разницу нельзя считать значительной и показательной.

Для оценки размерной структуры, полученной в конце эксперимента молоди африканского клариевого сома, составляли вариационные ряды (рис. 4, 5). Массу оценивали по шести размерным

классам с интервалом 2 г, длину по семи с интервалом 1 см.

Минимальная величина размерной группы по массе составила 1.0–2.9 г, а максимальная – 11.0–12.9 г, а по длине минимальная составила 5.0–5.9 см, максимальная – 11.0–11.9 см.

На рис. 4 видно, что в контрольной группе по сравнению с опытной группой № 1 и опытной группой № 2 отсутствуют особи в классовых интервалах 9.0–12.9 г. Наибольшей представительностью по массе в контрольной группе характеризовались рыбы в наименьшем размерном классе 1.0–2.9 г (38%). В опытной группе № 1 и 2 данный класс занимал меньшие объемы 22.6 и 18.3%, а основное количество особей находится в диапазоне 3.0–4.9 г (38.3 и 44.1% соответственно).

Необходимо отметить, что длина по сравнению с массой характеризуется меньшей изменчивостью во времени (рис. 5). В отличие от массы распределение особей по длине является нормальным, что видно из гистограмм на рис. 5. При этом в контрольной группе отсутствовали особи в классе 11.0–11.9 см, а основное количество особей во всех группах находилось в диапазоне длин от 7.0 до 9.9 см.

Показательным является изменение биомассы в течение эксперимента (табл. 4): начальная масса в каждой группе составляла 151 г. На протяжении

Таблица 4. Динамика прироста и биомассы молоди клариевого сома

Сутки	Показатель	Контроль	Опыт № 1	Опыт № 2
6	биомасса, г	151	151	151
	прирост, г/сут.	15.9	18.0	17.2
	C_w , %	8.1	9.0	8.7
12	биомасса, г	246.2	258.8	254.4
	прирост, г/сут.	20.5	20.9	22.2
	C_w , %	6.8	6.6	7.0
18	биомасса, г	369.2	384	387.6
	прирост, г/сут.	24.4	29.9	27.8
	C_w , %	5.6	6.4	6.0
24	биомасса, г	515.4	563.6	554.6
	прирост, г/сут.	29.1	41.2	38.8
	C_w , %	4.9	6.1	5.8
30	биомасса, г	690.2	810.6	787.1
	прирост, г/сут.	37.7	57.4	53.8
	C_w , %	4.7	5.9	5.7
Окончание опыта	биомасса, г	91.6	1155.2	1109.6

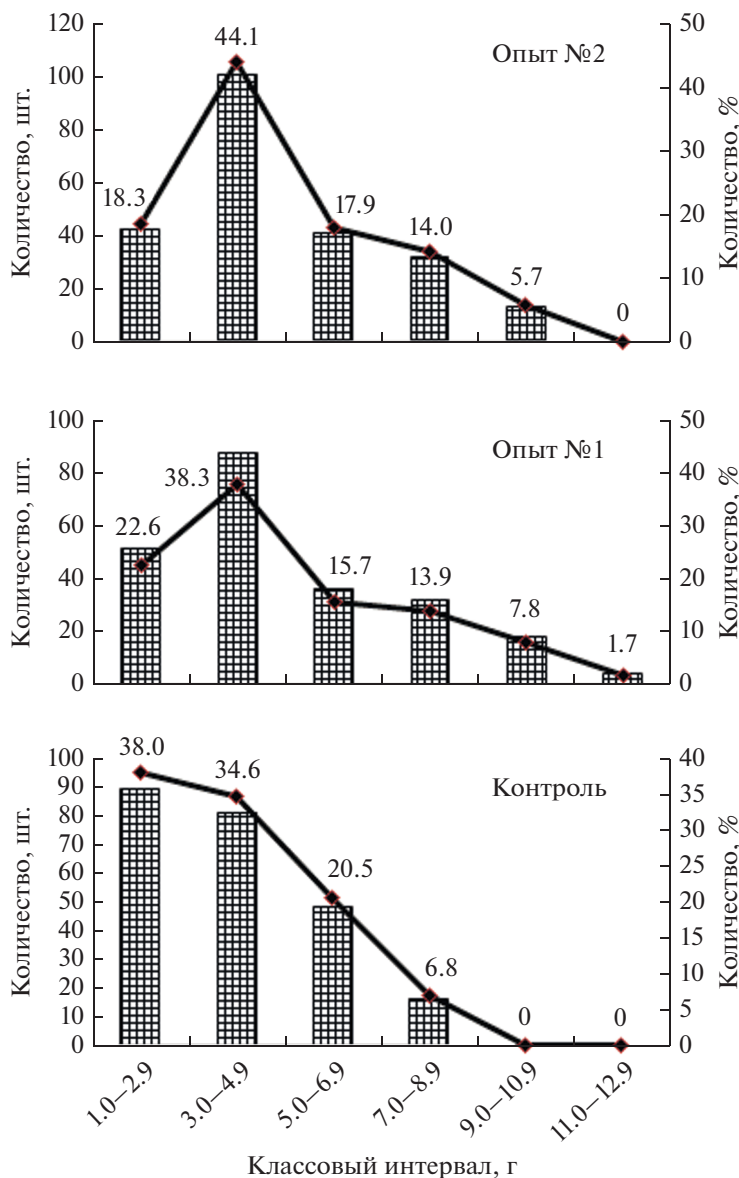


Рис. 4. Вариационный ряд длины молоди африканского клариевого сома по окончании опыта.

нии всего эксперимента в контрольной группе наблюдали отставание в наборе биомассы. Наибольшим фактическим приростом биомассы в 1004.2 г характеризовалась опытная группа № 1, при этом, в контрольной группе – 756.6 и 958.6 г в опытной группе № 2. Ежесуточный прирост в контрольной группе составлял от 15.9 до 37.7 г/сут, опытной группе № 1 от 18.0 до 57.4 г/сут и опытной группе № 2 от 17.2 до 53.8 г/сут.

Суточная норма кормления, выраженная в процентах, увеличивалась соизмеримо и закономерно растущей биомассе на каждом этапе. При этом, из-за выявленного отставания контрольной группы (с 6 сут эксперимента), основным инди-

катором роста являлось описание его удельной скорости, которая по мере взросления организма снижалась во всех группах: от 9.0 до 5.9% в опытной группе № 1, от 8.7 до 5.7% в опытной группе № 2 и особенно от 8.1 до 4.7% в контрольной группе. Вторым индикатором – относительный прирост биомассы. На рис. 6 можно заметить снижение биомассы, при этом у контрольной группы (24.7%) практически на всем протяжении эксперимента он всегда был ниже опытных групп № 1 (29.8%) и № 2 (29.1%).

Одним из показателей эффективности выращивания и работы организма в целом является кормовой коэффициент (табл. 5). В результате за

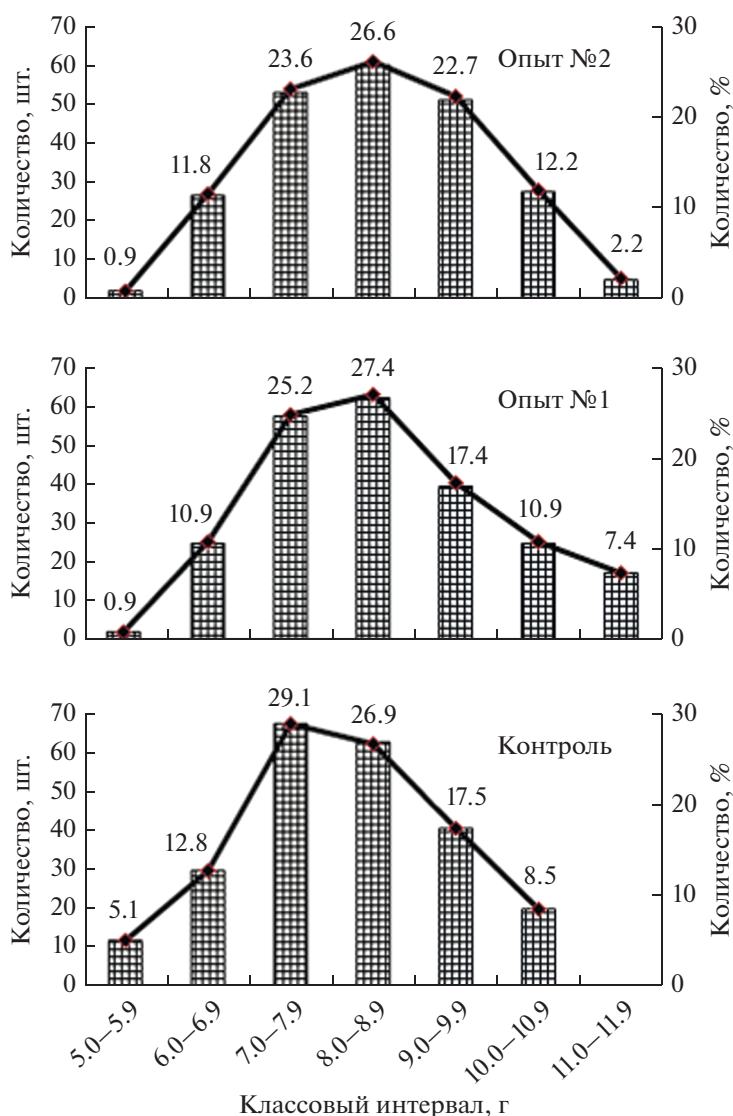


Рис. 5. Вариационный ряд длины молоди африканского клариевого сома по окончании опыта.

все время эксперимента больше всего корма было съедено опытной группой № 1 – 650.4 г, а опытной группой № 2 и контрольной группой 640.4 и 591.6 г, соответственно. Несмотря на то, что у опытной группы № 1 наибольший расход корма, кормовой коэффициент у него меньше, чем у других опытных групп и равен 0.65 ед., тогда как у контрольной группы – 0.77 ед., а у опытной группы № 2 – 0.67 ед.

Таким образом, в результате проведенных работ нами установлено, что снижение ОВП от +150...+250 до –600...–500 мВ с помощью электромембранного генератора без изменения солевого состава и кислотности с экспозицией 30 и 60 мин раз в сутки положительно сказывается на основных биологических показателях молоди африканского клариевого сома. Причем наилучший

показатель наблюдали в опытной группе с обработкой воды в течение 30 мин.

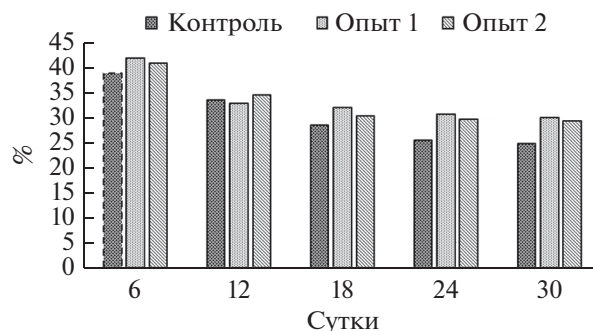


Рис. 6. Относительная динамика роста молоди африканского клариевого сома, %.

Таблица 5. Расход кормов в период проведения эксперимента

Опытная группа	Суточная норма кормления, г/сут расход корма за период, г					Итоговый расход корма, г	ПБМ, г	КК, ед.
	Сутки							
	6	12	18	24	30			
Контроль	$\frac{7.6}{45.3}$	$\frac{12.3}{73.9}$	$\frac{18.5}{110.8}$	$\frac{25.8}{154.6}$	$\frac{34.5}{207.1}$	591.6	765.6	0.77
Опыт № 1	$\frac{7.6}{45.3}$	$\frac{12.9}{77.6}$	$\frac{19.2}{115.2}$	$\frac{28.2}{169.1}$	$\frac{40.5}{243.2}$	650.4	1004.2	0.65
Опыт № 2	$\frac{7.6}{45.3}$	$\frac{12.7}{76.3}$	$\frac{19.4}{116.3}$	$\frac{27.7}{166.4}$	$\frac{39.4}{236.1}$	640.4	958.6	0.67

Примечание. ПБМ – прирост биомассы; КК – кормовой коэффициент.

Эффективность выражается в статистически достоверном увеличении средних и максимальных масс молоди в опытных группах № 1 и 2, по сравнению с контрольной группой. При этом конечная выживаемость по группам с учетом объема выборки достоверно не отличалась. Наиболее представительными по массе в контрольной группе характеризовались рыбы в наименьшем размерном классе 1.0–2.9 г (38%), в свою очередь, в опытных группах № 1 и 2 основное количество особей находилось в диапазоне 3.0–4.9 г (38.3 и 44.1% соответственно). Удельная скорость роста изменялась примерно одинаково во всех группах. Относительный прирост биомассы контрольной группы практически на всем протяжении эксперимента всегда был ниже опытных групп № 1 и 2. У опытных групп № 1 и 2 был меньший по сравнению с контролем кормовой коэффициент, что говорит об эффективном усвоении корма молодь.

Таким образом, наблюдаемое увеличение продуктивности выращивания молоди африканского клариевого сома является результатом воздействия воды с высоким отрицательным ОВП на стимулирование биологических процессов в организме, однако механизм данного эффекта влияния требует более детального и тщательного изучения. Возможно, резкое изменение ОВП среды обитания клариевого сома приводит к возникновению стресса, что оказывает выраженное влияние на динамику биохимических, клеточных, тканевых и системных регуляторных процессов. Кроме того, попадание молекулярного водорода в организм приводит к изменению в экспрессии генов в системных органах, что также может отражаться на физиологических показателях молоди африканского клариевого сома.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания ЮНЦ РАН (AAAA-A19-119040390083-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Власов В.А., Завьялов А.П.* Воспроизводство и выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в установках с замкнутым водообеспечением // Зоотехника. 2014. Т. 12. С. 22–24.
- Ковалев К.В.* Технологические аспекты выращивания клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в рыбководной установке с замкнутым циклом водообеспечения (УЗВ): дис. канд. с.-х. наук. М.: с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева. 2006. 132 с.
- Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
- Петрушанко И.Ю., Лобышев В.И.* Неравновесные состояния электрохимически активированной воды и ее биологической активности // Биофизика. 2001. Т. 46(3). С. 389–401.
- Петрушанко И.Ю., Лобышев В.И.* Физико-химические свойства водных растворов, полученных в мембранном электролизере // Биофизика. 2004. Т. 49(1). С. 22–31.
- Плутахин Г.А., Аидер М., Коцаев А. Г., Гнатко Е.Н.* Теоретические основы электрохимической обработки водных растворов // Политематический сетевой электронный научный журн. Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). 2013. Т. 8. Р. 092.
- Погорелов А.Г., Кузнецов А.Л., Панаит А.И., Погорелова М.А., Суворов О.А., Иванчицкий Г.Р.* Дезинтеграция бактериальной плёнки посредством электрохимически восстановленного водного раствора // Докл. академии наук. 2019. Т. 486(3). С. 395–397. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524863395-397>
- Сергунина Л.А.* Эффективный метод электролиза для обеззараживания питьевой воде // Гигиена и санитария. 1968. Т. 33(4). С. 16–21.
- Труфляк Е.В., Курченко Н.Ю., Яркин Д.С.* Изучение гидропосева овощных культур с применением электроактивированной воды // Научный журнал

- КуБГАУ. 2014. Т. 96(02). С. 1–15.
<http://doi.org/ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/06.pdf>
- Щербина М.А., Гамыгин Е.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: ВНИРО, 2006. 360 с.
- Abd-Elkareem M., Abou Khalil N.S., Sayed A.E.-D.H. Cytoprotective effect of *Nigella sativa* seed on 4-nonylphenol-induced renal damage in the African catfish (*Clarias gariepinus*) // *Chemosphere*. 2020. V. 259. P. 127379.
- Adeoye A.A., Akegbejo-Samsons Y., Fawole F.J., Davies S.J. Preliminary assessment of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval meal in the diet of African catfish (*Clarias gariepinus*): Impact on growth, body index, and hematological parameters // *J. World Aquaculture Society*. 2020. V. 51(4). P. 1024–1033.
- Audu B.S., Ajima M.N.O. Metabolic enzyme profile, behavioural changes and morphophysiological parameters of African catfish *Clarias gariepinus* juveniles in response to burnt waste tyres // *Comp. Clin. Pathology*. 2020. V. 29(4). P. 787–797.
- Bahir V. Electrochemical activation: A strategy for creation of environmentally benign technologies // *Activated Water*. 1996. V. 1. P. 1–7.
- Basov A., Fedulova L., Baryshev M., Dzhimak S. Deuterium-depleted water influence on the isotope $^2\text{H}/^1\text{H}$ regulation in body and individual adaptation // *Nutrients*. 2019a. V. 11(8). P. 1903.
<https://doi.org/10.3390/nu11081903>
- Basov A., Fedulova L., Vasilevskaya E., Dzhimak S. Possible mechanisms of biological effects observed in living systems during $^2\text{H}/^1\text{H}$ isotope fractionation and deuterium interactions with other biogenic isotopes // *Molecules*. 2019b. V. 24(22). P. 4101.
<https://doi.org/10.3390/molecules24224101>
- Basov A.A., Kozin S.V., Bikov I.M., Popov K.A., Moiseev A.V., Elkina A.A., Dzhimak S.S. Changes in prooxidant-antioxidant system indices in the blood and brain of rats with modelled acute hypoxia which consumed a deuterium-depleted drinking diet // *Biol. Bulletin*. 2019c. V. 46(6). P. 531–535.
<https://doi.org/10.1134/S1062359019060049>
- Dumbo J.C., Gilbert B.M., Avenant-Oldewage A. Oxidative stress biomarkers in the African sharp-tooth catfish, *Clarias gariepinus*, associated with infections by adult digeneans and water quality // *Intern. J. Parasitology: Parasites and Wildlife*. 2020. V. 12. P. 232–241.
- Hattori Y., Kotani T., Tsuda H., Mano Y., Tu L., Li H., Hirako S., Ushida T., Imai K., Nakano T., Sato Y., Miki R., Sumigama S., Iwase A., Toyokuni S., Kikkawa F. Maternal molecular hydrogen treatment attenuates lipopolysaccharide-induced rat fetal lung injury // *Free Radic Res*. 2015. V. 49. P. 1026–1037.
<https://doi.org/10.3109/10715762.2015.1038257>
- Huang G., Zhou J., Zhan W., Xiong Y., Hu C., Li X., Li Y., Liao X. The neuroprotective effects of intraperitoneal injection of hydrogen in rabbits with cardiac arrest // *Resuscitation*. 2013. V. 84(5). P. 690–5.
<https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.10.018>
- Ichihara M., Sobue S., Ito M., Ito M., Hirayama M., Ohno K. Beneficial biological effects and the underlying mechanisms of molecular hydrogen – comprehensive review of 321 original articles // *Med. Gas. Res*. 2015. V. 5. P. 12.
<https://doi.org/10.1186/s13618-015-0035-1>
- Ito M., Hirayama M., Yamai K., Goto S., Ito M., Ichihara M., Ohno K. Drinking hydrogen water and intermittent hydrogen gas exposure, but not lactulose or continuous hydrogen gas exposure, prevent 6-hydroxydopamine-induced Parkinson's disease in rats // *Med. Gas. Res*. 2012. V. 2. P. 15.
<https://doi.org/10.1186/2045-9912-2-15>
- Jing L., Wang Y., Zhao X.M., Zhao B., Han J.J., Qin S.C., Sun X.J. Cardioprotective Effect of Hydrogen-rich Saline on Isoproterenol-induced Myocardial Infarction in Rats // *Heart Lung Circ*. 2015. V. 24(6). P. 602–10.
<https://doi.org/10.1016/j.hlc.2014.11.018>
- Mareev S.A., Evdochenko E., Wessling M., Kozaderova O.A., Niftaliev S.I., Pismenskaya N.D., Nikonenko V.V. A comprehensive mathematical model of water splitting in bipolar membranes: Impact of the spatial distribution of fixed charges and catalyst at bipolar junction // *J. Memb. Science*. 2020. V. 603. P. 118010.
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118010>
- Mashaly M.I., Allam H.E., El-Naggat M.M. Impacts of physicochemical and heavy metal parameters on infestation level of the monogeneans, *Quadricanthus* spp. infesting Nile catfish, *Clarias gariepinus* of different water localities in Nile Delta, Egypt // *J. Parasitic Diseases*. 2020. V. 44(3). P. 579–589.
- Melnikov S.S., Mugtamo O.A., Zabolotsky V.I. Study of electro dialysis concentration process of inorganic acids and salts for the two-stage conversion of salts into acids utilizing bipolar electro dialysis // *Separ. Purif. Techn*. 2020. V. 235. P. 116198.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116198>
- Ohsawa I., Ishikawa M., Takahashi K., Watanabe M., Nishimaki K., Yamagata K., Katsura K.-I., Katayama Y., Asoh S., Ohta S. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals // *Nat. Med*. 2007. V. 13(6). P. 688–94.
<https://doi.org/10.1038/nm1577>
- Ohta S. Molecular hydrogen is a novel antioxidant to efficiently reduce oxidative stress with potential for the improvement of mitochondrial diseases // *Biochim Biophys Acta*. 2012. V. 1820(5). P. 586–94. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.05.006>
- Oluah N.S., Aguzie I.O., Ekechukwu N.E., Madu J.C., Ngene C.I., Oluah C. Hematological and immunological responses in the African catfish *Clarias gariepinus* exposed to sublethal concentrations of herbicide Ronstar® // *Ecot. Environ. Safety*. 2020. V. 201. P. 110824.
- Shinbo T., Kokubo K., Sato Y., Hagiri S., Hataishi R., Hirose M., Kobayashi H. Breathing nitric oxide plus hydrogen gas reduces ischemia-reperfusion injury and nitrotyrosine production in murine heart // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol*. 2013. V. 305(4). P. 542–550.
<https://doi.org/10.1152/ajpheart.00844.2012>
- Siqwepu O., Salie K., Goosen N. Evaluation of potassium diformate and potassium chloride in the diet of the African catfish, *Clarias gariepinus* in a recirculating aquaculture system // *Aquaculture*. 2020. V. 526. P. 735414.
- Stewart K.M. Physical Properties of Water // *Encyclopedia of Inland Waters*. 2009. P. 148–154.

- Sun Q., Kang Z., Cai J., Liu W., Liu Y., Zhang J.H., Denoble P.J., Tao H., Sun X. Hydrogen-rich saline protects myocardium against ischemia/reperfusion injury in rats // *Exp. Biol. Med. (Maywood)*. 2009. V. 234(10). P. 1212–1229.
https://doi.org/10.3181/0812-RM-349
- Sun X., Ohta S., Nakao A. *Hydrogen Molecular Biology and Medicine* // Springer. 2015. P. 122. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9691-0
- Swaleh S.B., Banday U.Z., Asadi M.-A., Usmani N. Biochemical profile and gene expression of *Clarias gariepinus* as a signature of heavy metal stress // *Environ. Pollution*. 2020. V. 264. P. 114693.
- Volchenko N.N., Samkov A.A., Malyshko V.V., Khudokormov A.A., Moiseev A.V., Elkina A.A., Baryshev M.G., Pershin S.M. Influence of the environmental isotope composition modification on growth and metabolic activity of *Rhodococcus* and *Saccharomyces* // *Biology Bulletin*. 2020. V. 47(4). P. 326–330. https://doi.org/10.1134/S1062359020040135
- Yanagihara T., Arai K., Miyamae K., Sato B., Shudo T., Yamada M., Aoyama M. Electrolyzed hydrogen-saturated water for drinking use elicits an antioxidative effect: a feeding test with rats // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2005. V. 69(10). P. 1985–1987.
- Zabolotsky V.I., Korzhov A.N., But A.Yu., Melnikov S.S. Reagent-free electromembrane process for decarbonization of natural water // *membranes and membrane technologies*. 2019. V. 1(6). P. 341–346.
https://doi.org/10.1134/S2517751619060076
- Zaid A., Isibor P., Aduljelili O., Akinsanya B. Effects of herbal mixture (Jedi, gbewutu and opa-eyin) on the health status of juvenile african catfish (*Clarias gariepinus*) // *Egyptian J. Aquatic Biol. Fish.* 2020. V. 24(1). P. 31–48.
- Zhang J., Blaszczyk A., Grifo J., Ozil J.P., Adler A., Berkeley A. Electrical activation and *in vitro* development of human oocytes which failed fertilization following intracytoplasmic sperm injection // *Fertility and Sterility*. 1999. V. 7. P. 509–512.
- Zhang G., Gao S., Li X., Zhang L., Tan H., Xu L., Chen Y., Geng Y., Lin Y., Aertker B., Sun Y. Pharmacological postconditioning with lactic acid and hydrogen rich saline alleviates myocardial reperfusion injury in rats // *Sci. Rep.* 2015. V. 5. P. 9858.
https://doi.org/10.1038/srep09858
- Zhang Y., Sun Q., He B., Xiao J., Wang Z., Sun X. Anti-inflammatory effect of hydrogen-rich saline in a rat model of regional myocardial ischemia and reperfusion // *Int. J. Cardiol.* 2011. V. 148(1). P. 91–95.
https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2010.08.058

Stimulating the Growth of African *Clarias gariepinus* Youth by Modification of the Reducing Oxidation Potential of Water

D. V. Shumeiko¹, S. A. Loza¹, A. N. Korzhov¹, V. K. Romashov¹, V. V. Malyshko^{2, 3}, A. A. Elkina^{1, 3, #}, and A. V. Moiseev⁴

¹ Kuban State University, st. Stavropolskaya, 149, Krasnodar, 350040 Russia

² Kuban State Medical University of the Ministry of Health of Russia, st. Sedina, 4, Krasnodar, 350063 Russia

³ Federal Research Center Southern Scientific Center RAS, pr. Chekhov, 41, Krasnodar, 344006 Russia

⁴ Kuban State Agrarian University, st. Kalinina, 13, Krasnodar, 350004 Russia

#e-mail: 013194@mail.ru

The effect of water with a high negative oxidation-reduction potential (ORP) on the physiological parameters of juvenile African Clarius catfish (*Clarias gariepinus*) was studied. As a result of the studies, it was found that a decrease in the ORP of water from +150...+250 mV to –600...–500 mV using an electromembrane generator without changing the salt composition with a slight change in pH with an exposure of 30 and 60 minutes once a day has a positive effect on the main biological indicators of juvenile African Clarius catfish. The increase in biomass in the control group was 756.6 g, and in the experimental group (30 min of treatment) – 1004.2 g. Fish in the smallest size range were characterized by the highest weight representation in the control group: 1.0–2.9 g (38%). In the experimental groups, it was 22.6 and 18.3%, and the main number of individuals was in the range of 3.0–4.9 g (38.3 and 44.1%, respectively). It was found that the best performance is achieved when the aquatic environment is treated for 30 minutes.

Keywords: *Clarias gariepinus*, redox potential, water, biological systems