

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭТАПОВ ПРЕДНЕРЕСТОВОГО СОДЕРЖАНИЯ И НЕРЕСТА ТИЛЯПИИ ПРИ ТОВАРНОМ ВЫРАЩИВАНИИ

*Е. Г. Васильева, И. В. Мельник*

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Российская Федерация*

Процесс получения товарной рыбы в современной аквакультуре высокотехнологичен и требует значительных затрат. Оптимизация технологических процессов при выращивании объектов аквакультуры – необходимое условие развития производства. Составление единой модели производства может являться сложной и практически неразрешимой задачей, поэтому целесообразно представить процесс в виде нескольких задач оптимизации, соответствующих каждому этапу технологического цикла. В качестве управляющих воздействий на этапах преднерестового содержания и нереста предложено регулирование таких показателей, как уровень кормления, значение рН, возраст производителей. Проведена оценка возможности использования данных параметров для оптимизации этапа и в целях подбора наилучших величин каждого фактора. Цель оптимизации – определение оптимального количества жизнестойкой икры, которое будет соответствовать минимальной себестоимости. Показано, что оптимальным уровнем кормления производителей является 4–4,5 % от массы тела рыбы. Увеличение уровня кормления не влияет в достаточной мере на плодовитость производителей, превышая себестоимость продукции. Установлено, что лучшими репродуктивными показателями обладают производители в возрасте 12–24 мес. Отмечено и предпочтительное качество потомства, полученного от производителей этой группы, что нашло отражение в таких показателях, как масса и диаметр икринок, выживаемость молоди и ее среднесуточный прирост. Еще одним фактором, который можно использовать для управления процессом, может стать уровень рН воды в бассейнах. Несмотря на относительную нетребовательность тилляпии к условиям среды и устойчивостью к значениям рН, возможно выделить оптимальный диапазон данного фактора. Он соответствует значению рН от 6 до 7,5. При данной реакции среды наблюдаются наилучшие показатели оплодотворяемости икры и выхода личинки.

**Ключевые слова:** аквакультура, тилляпия, оптимизация, нерест, кормление, производители, рН.

**Для цитирования:** *Васильева Е. Г., Мельник И. В.* Оптимизация этапов преднерестового содержания и нереста тилляпии при товарном выращивании // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 3. С. 120–126. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-3-120-126.

### Введение

В настоящее время аквакультура – активно развивающееся направление. Большую популярность приобрели объекты выращивания, являющиеся представителями тропических и субтропических районов (тилляпия, австралийские раки и т. д.). Продукция тепловодной аквакультуры ежегодно увеличивается [1, 2]. Перспективным становится выращивание тропических видов рыб и ракообразных на территории Российской Федерации, особенно в условиях теплого климата Южного федерального округа. Продолжительный летний сезон позволяет подращивать молодь рыб, креветок и раков до товарных размеров в открытых прудах на естественной кормовой базе, что значительно снижает стоимость производства. Наиболее сложным при этом становится этап содержания производителей, получения личинки и подращивания ее до жизнестойкой молоди. В направлении совершенствования технологии культивирования ведутся многочисленные исследования [2].

Процесс получения товарной рыбы в современной аквакультуре высокотехнологичен и требует значительных затрат [3]. При сохраняющейся конкуренции актуальными остаются вопросы совершенствования существующих производств. Оптимизация – целенаправленная деятельность, заключающаяся в получении наилучших результатов при минимальной себестоимости в заданных условиях [4].

*Целью нашей работы* являлось рассмотрение возможности оптимизации технологических этапов преднерестового содержания и нереста производителей. В качестве ресурсов оптимизации

нами предложены выбор оптимального значения рН воды, возраста производителей и уровня кормления. В качестве критерия оптимальности выбрана себестоимость икры тилапии. Этот критерий имеет ясный смысл, отражает существенные стороны процесса и имеет количественную оценку.

### Материалы и методы исследований

Объектом исследования послужила тимирязевская тилапия – гибрид нильской и голубой тилапии. Она обладает высокими темпами роста и отличными пищевыми свойствами, не требовательна к условиям содержания. Целесообразно рассмотреть оптимизацию первых двух этапов технологического процесса (преднерестовое содержание производителей и нерест) вместе, поскольку в качестве управляемого параметра на обоих этапах выбрана себестоимость получаемой икры тилапии. Ее технологическая составляющая будет включать расход воды, электроэнергии, количества корма на круглогодичное содержание и нерест производителей. Снижение себестоимости возможно при увеличении плодовитости производителей. Это позволит оптимизировать размер нерестового стада и, соответственно, снизить технологические затраты.

Цель оптимизации – определение оптимального количества жизнестойкой икры, которое будет соответствовать минимальной ее себестоимости. Ограничениями модели процесса являются температура, кратность водообмена, содержание кислорода и других основных веществ в бассейне. Выходной параметр модели – количество икринок. Управляющими воздействиями могут являться уровень кормления, плотность посадки и объем бассейна и уровень кислотности среды. Схема управления технологическим процессом на исследуемых этапах выращивания тилапии представлена на рис. 1.

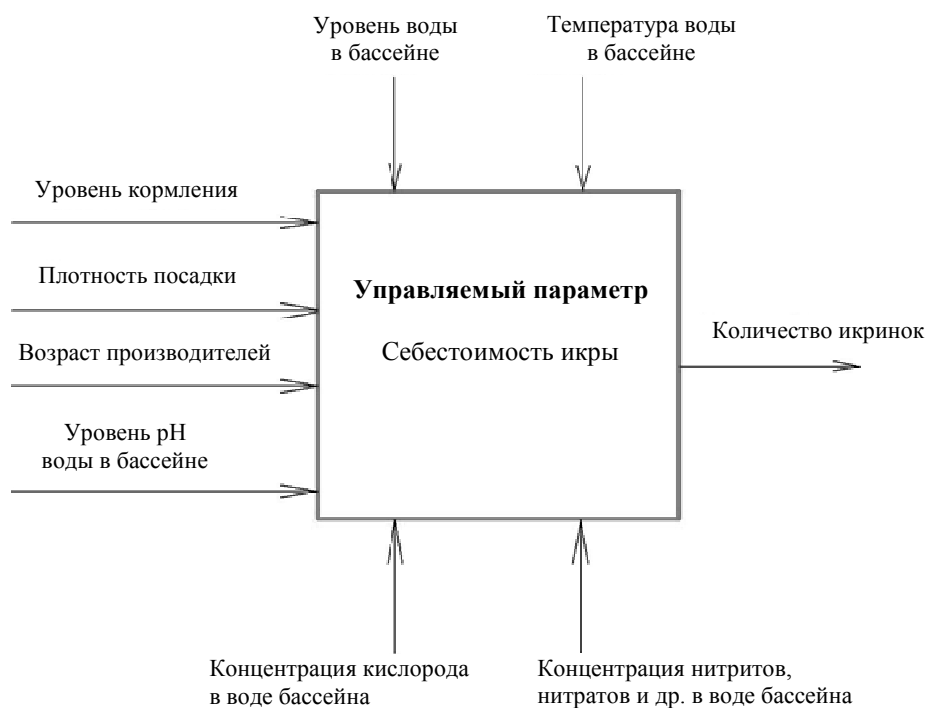


Рис. 1. Схема управления технологическим процессом на этапах преднерестового содержания и нереста производителей

Нами было рассмотрено отдельно каждое из управляющих воздействий для определения возможности их использования в процессе оптимизации этапа и в целях подбора наилучших величин каждого фактора. Проведен анализ изменения плодовитости самок в зависимости от уровня кормления. Найден оптимальный уровень кормления исходя из сопоставления затрат и полученного результата. Исследовано изменение репродуктивных параметров производителей в зависимости от их возраста и регулирования рН среды (относительная плодовитость, процент выхода личинок, масса и диаметр икринок). Проанализирована возможность использования параметра «плотность посадки» (объем бассейна) для оптимизации.

Данные получены авторами в 2015–2018 гг. на базе малого инновационного предприятия «ЭКО-Тропик» (Астраханская обл., Камызякский р-н) и лабораторий Астраханского государственного технического университета. Нерест тилапии проводили в бассейне ИЦА-2 полезной площадью 4 м<sup>2</sup> при групповом содержании самцов и самок рыб. Для размножения необходима нерестовая площадь от 1 до 2 м<sup>2</sup> на семью в зависимости от размеров самца. В один бассейн помещали на нерест 3–4 семьи производителей. Осмотр самок, отбор икры, эмбрионов и личинок проводили через 2–3 недели с момента посадки производителя на нерест. После отбора икру, эмбрионы и личинок помещали в отдельные емкости, а самок – в преднерестовый бассейн.

Полученные цифровые данные подвергались статистическому анализу при помощи компьютерной программы Microsoft Excel. В качестве критерия достоверности результатов использовали критерий Стьюдента. На графиках и в таблицах приведены средние величины показателей.

### Результаты исследований

Одно из наиболее значимых управляющих воздействий – кормление. По данным ряда авторов, в условиях аквакультуры затраты на кормление могут составлять от 55 до 80 % себестоимости выращиваемой рыбы [5]. Данное обстоятельство подтверждает целесообразность выбора уровня кормления в качестве управляющего воздействия в целях повышения экономической эффективности производства.

Производителей перед нерестом кормят смесью гранулированного (80 %) и пастообразного (20 %) корма с добавлением свежих растительных компонентов – моркови, капусты, ряски. Стоимость корма тилапии колеблется в пределах 68–136 руб. за кг в зависимости от качества и производителя. Нормой кормления для тимирязевской тилапии является 3–5 % от массы тела рыб.

На рис. 2 графически показано изменение плодовитости самки при разных уровнях кормления, а также суточный расход корма для одной семьи тилапии, которая состоит из 2 самок и 10 самцов (средний вес самки 450 г, самца 560 г).

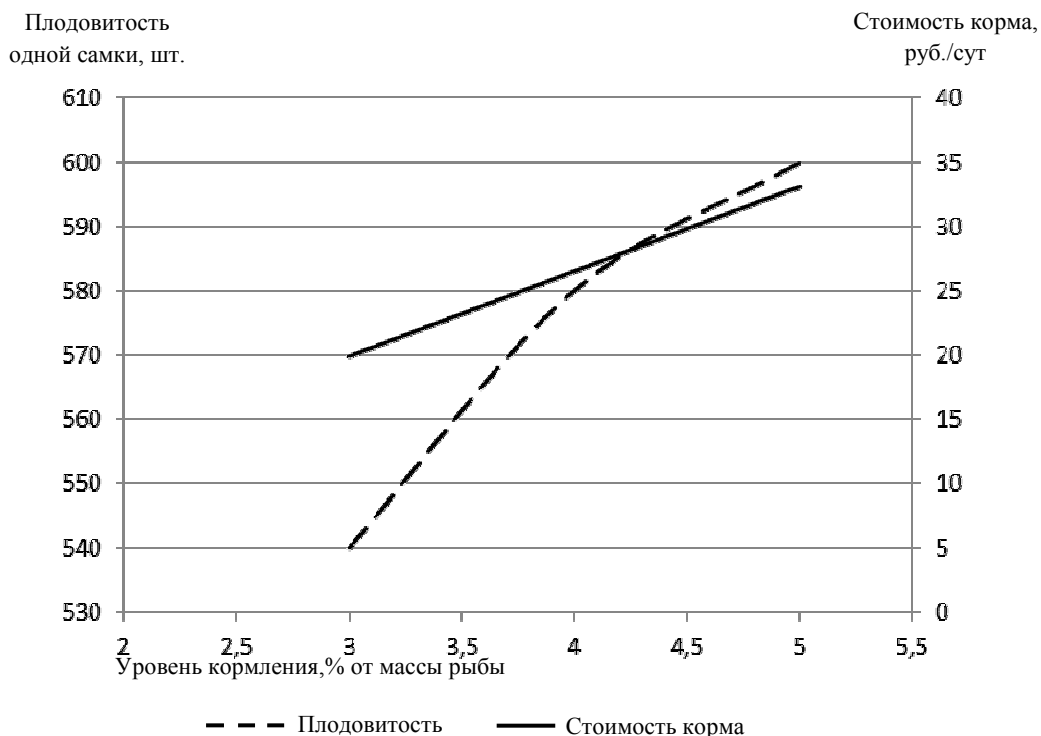


Рис. 2. Плодовитость самок тимирязевской тилапии в зависимости от уровня кормления

Очевидно, что повышение уровня кормления с 4-х до 5 % не приводит к значительному улучшению производительности самок. Графически найден оптимальный уровень кормления производителей в размере 4–4,5 % от массы тела рыб. Нормативы кормления производителей отличаются от норм для преднерестового стада. Уменьшение конкуренции в питании и потребности в движении позволяет снизить уровень кормления. Ограниченный размер стада делает целесообразным использование подачи корма вручную.

Второе управляющее воздействие – плотность посадки. Это параметр, зависящий от объема бассейна и численности нерестового стада. Для нормального прохождения нереста необходимо 3–4 семьи. Оптимальное соотношение самок и самцов в семье 2 : 10 соответственно [6]. Таким образом, минимально необходимое количество преднерестовых самок 6–8, самцов – 30–40 особей. Учитывая то, что при формировании нерестового стада требуется подбор производителей по размерно-весовым качествам и экстерьерным показателям, необходимо содержать преднерестовое стадо большего размера (самки 10–15 шт., самцы 50–60 шт.).

Для самок возможен расчет оптимальной плотности посадки исходя из показателя «изменение плодовитости». На рис. 3 показано изменение плодовитости одной самки в зависимости от различных условий посадки.

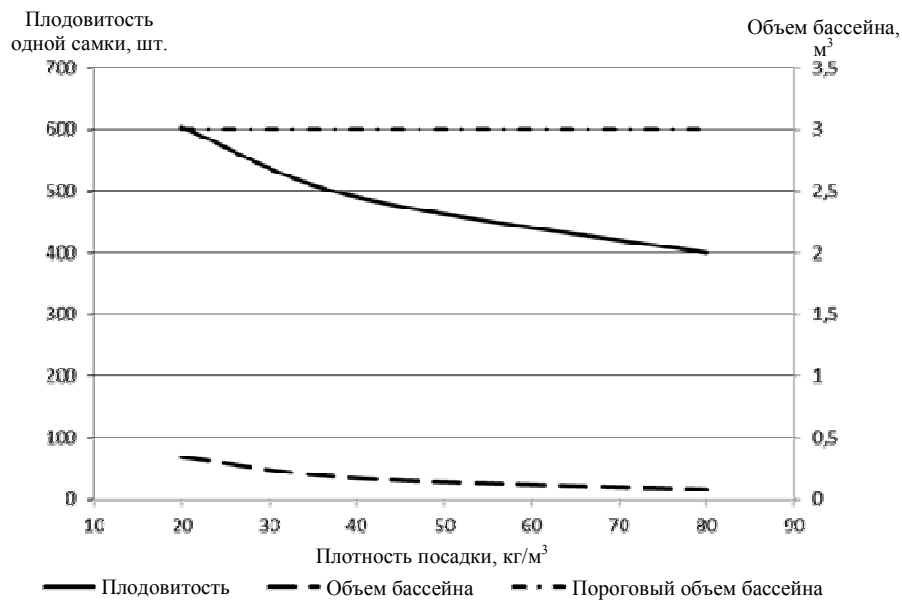


Рис. 3. Зависимость плодовитости самки тимиразевской тилляпии от плотности посадки

Прерывистой кривой показан объем бассейна, необходимый для содержания стада для соблюдения заданной плотности посадки. На графике видно, что показатель нельзя оптимизировать для стада самок, поскольку минимальным пороговым объемом бассейна, при котором осуществляется нормальное движение рыбы, является емкость в 3 м³. Таким образом, установлено, что этот параметр нельзя использовать в качестве управляющего воздействия.

Очевидно, что условия содержания самцов также могут влиять на качество их половых продуктов. Однако из расчета необходимых для стада самцов площадей посадки следует, что этот показатель также не может быть параметром оптимизации (рис. 4).

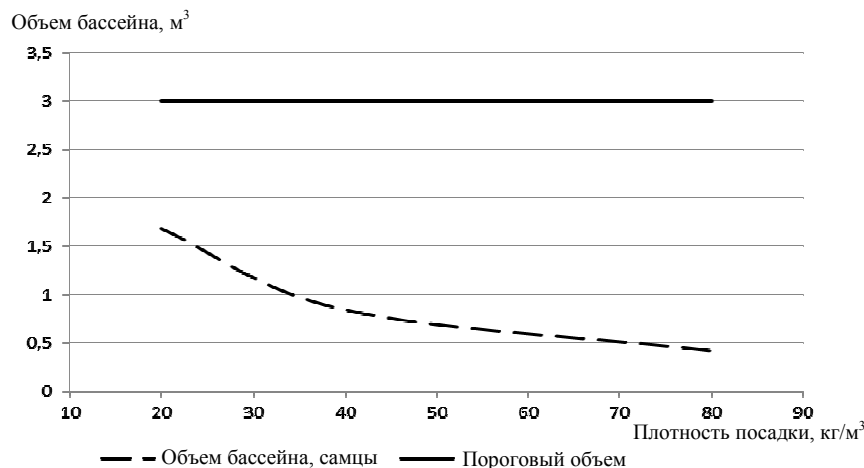


Рис. 4. Потребности самцов в объемах бассейна при различных плотностях посадки

Важными оптимизирующими параметрами, которые можно успешно использовать, являются возраст производителей и их размер. Параметры являются взаимосвязанными, поэтому при нахождении оптимального возраста производителя будут найдены его оптимальный размер и масса. Качество производителей во многом определяет результаты всего технологического процесса получения товарной продукции рыб. Оптимальным будет считаться возраст, при котором наблюдаются наилучшие репродуктивные качества рыб [6].

В наших исследованиях производители были разделены на три возрастные группы: 6–9, 12–24 и 24–36 месяцев. На рис. 5 показано изменение двух репродуктивных параметров (относительная плодовитость и процент выхода личинок, при инкубации икры в ротовой полости рыб).

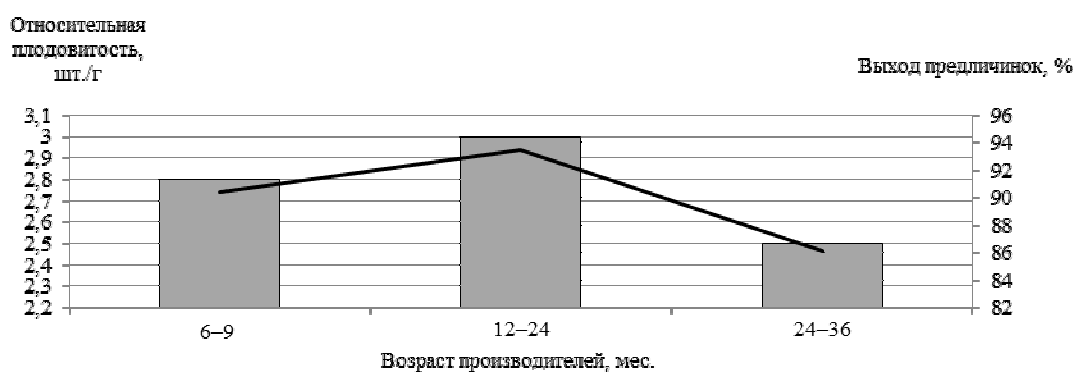


Рис. 5. Репродуктивные показатели производителей тимиразевской тилапии в зависимости от их возраста

Даже по этим двум параметрам видно, что предпочтение нужно отдавать производителям в возрасте 12–24 месяцев, средняя масса самки в этом возрасте составляет 650 г, самца – 800 г. Следует отметить, что от производителей данной группы отмечается и высокое качество потомства, определяемое показателями массы и диаметра икринок, процента выживаемости молоди и ее среднесуточный прирост (табл.).

#### Репродуктивные показатели производителей тимиразевской тилапии

Показатель	Возраст производителей, мес.		
	6–9	12–24	24–36
Масса икринки, мг	3,2 ± 0,1	3,5 ± 0,1	3,9 ± 0,1
Диаметр икринки, мм	4,4 ± 0,1	4,8 ± 0,1	5,1 ± 0,1
Среднесуточный прирост молоди, г	0,11	0,14	0,13
Выход молоди, %	71,5	80,4	69,7

Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимальный срок использования производителей можно ограничить возрастом 2–2,5 года, поскольку с увеличением возраста резко снижаются их относительная плодовитость (до 2,5 шт./г), процент выхода предличинок (до 86,5 %) и другие репродуктивные показатели.

Уровень pH может являться оптимизирующим параметром, поскольку тилапия выдерживает изменение его в широких пределах и может содержаться при уровне pH от 4,2 до 9 [7]. Однако параметр, безусловно, влияет на репродуктивные качества производителей. По материалам проведенных исследований установлено, что оплодотворяемость икры и выживаемость личинок имеют максимальные значения при pH в диапазоне 6–7,5. Подобные благоприятные пределы фактора среды подтверждаются работами ряда авторов при культивировании различных видов рыб, в том числе и тилапии [8].

#### Заключение

Из всех рассматриваемых факторов основными управляющими воздействиями для оптимизации этапа преднерестового содержания производителей могут стать уровень кормления и возраст производителей. Во многом от уровня кормления зависит себестоимость различных этапов технологического процесса выращивания рыбы в аквакультуре при соблюдении ограничений по остальным параметрам модели. Подбор оптимального значения управляющего воздействия позволяет снизить затраты на кормление и повысить плодовитость рыб при оптималь-

ной их размерно-возрастной структуре, что позитивно повлияет на себестоимость процесса. Для реализации данного управляющего воздействия не требуется значительных затрат. Возможно использование как ручной подачи корма, так и недорогих автокормушек.

Значение показателя рН трудно поддерживать в оптимальных пределах, поскольку параметр очень лабильный, зависит от многих факторов и процессов, протекающих в установках замкнутого водоснабжения (время дня, периоды кормления, работа фильтров). Для его поддержания в оптимальных пределах необходимо внедрение сложных автоматизированных контуров регулирования систем, что потребует значительных затрат, поэтому использование в качестве управляющего фактора рН в данный период времени нецелесообразно, но такая возможность не исключается в будущем при улучшении уровней управления в установках замкнутого водоснабжения и повышении доступности технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoof L., Fabi G., Johansen V., Lisbjerg D., Kraus G. Food from the ocean; towards a research agenda for sustainable use of our oceans' natural resources // *Marine Policy*. 2019. N. 105. P. 44–51.
2. Ottinger M., Clauss K., Kuenzer C. Opportunities and challenges for the estimation of aquaculture production based on earth observation data // *Remote Sensing*. 2018. N. 10 (7). P. 7–24.
3. Lima P. C. M., Abreu J. L., Silva A. E. M., Galvez A. O., Brito L. O. Nile tilapia fingerling cultivated in a low-salinity biofloc system at different stocking densities // *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2018. N. 16 (4). e0612. 9 p.
4. Рутковский А. Л., Ковалева М. А., Аликов А. Ю., Тедеева Н. В. Метод повышения эффективности расчета динамических характеристик объекта управления // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Системный анализ и информационные технологии*. 2017. № 2. С. 16–21.
5. Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Копенгаген: ФАО, 2010. 74 с.
6. Плиева Т. Х., Тетдоев В. В. Выращивание тилапии в водоемах с различными экологическими условиями // *Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та*. 2009. № 3 (23). С. 16–19.
7. Тетдоев В. В. Влияние кислой реакции среды на рост и репродуктивную систему тимирязевской тилапии // *Вестн. РУДН*. 2008. № 1. С. 16–20.
8. Боронецкая О. И. Репродуктивные показатели мозамбикской тилапии (*Oreochromis mossambicus*) в зависимости от рН реакции водной среды // *Изв. ТСХА*. 2010. № 6. С. 131–137.

Статья поступила в редакцию 18.01.2021

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Екатерина Геннадьевна Васильева** – канд. биол. наук; доцент кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; Россия, 414056, Астрахань; Katerina.84@mail.ru.

**Ирина Викторовна Мельник** – канд. биол. наук, доцент; доцент кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; Россия, 414056, Астрахань; irina\_1melnik@mail.ru.



### OPTIMIZATION OF STAGES OF PRE-SPAWNING AND SPAWNING PERIODS OF TILAPIA IN COMMERCIAL GROWING

*E. G. Vasileva, I. V. Melnik*

*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russian Federation*

**Abstract.** The article describes the process of commercial fish production in modern aquaculture, which requires high technologies and significant input. Optimization of technological processes while

breeding fish is a necessary condition for the development of the industry. It is difficult and virtually impossible to develop a universal production pattern, this is why it is reasonable to split the whole process into several optimization tasks corresponding to each of the stages of the technological cycle. It is proposed to regulate such indicators as the level of feeding, pH value, age of producers as control actions at the stages of pre-spawning and spawning periods. The possibility to use the mentioned parameters for stage optimization, as well as for selecting the best values for each of the factors was assessed. The optimization target is to define the optimal amount of viable eggs, which would correspond to the minimal prime cost. It has been demonstrated that the optimal feeding level for the producers equals to 4 – 4.5 per cent of the fish body weight. The increase in the feeding level influences the fertility of producers insufficiently, inflating the costs. It has been found out that 12 – 24 months old producers have the best reproduction indices. The preferred quality and the vital capacity of spawn received from the producers within this group have also been registered. Another factor which may be used in order to control the process is the pH of water in pools. Regardless of the fact that tilapia producers are relatively undemanding to the habitat conditions and resistant to pH values, it is possible to single out the optimal range of this factor. It corresponds to pH values between 6 and 7.5. This is when the best rates of eggs fertilization and survival are observed.

**Key words:** aquaculture, tilapia, optimization, spawning, feeding, producers, pH.

**For citation:** Vasileva E. G., Melnik I. V. Optimization of stages of pre-spawning and spawning periods of tilapia in commercial growing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2021;3:120-126. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2021-3-120-126.

#### REFERENCES

1. Hoof L., Fabi G., Johansen V., Lisbjerg D., Kraus G. Food from the ocean; towards a research agenda for sustainable use of our oceans' natural resources. *Marine Policy*, 2019, no. 105, pp. 44-51.
2. Ottinger M., Clauss K., Kuenzer C. Opportunities and challenges for the estimation of aquaculture production based on earth observation data. *Remote Sensing*, 2018, no. 10 (7), pp. 7-24.
3. Lima P. C. M., Abreu J. L., Silva A. E. M., Galvez A. O., Brito L. O. Nile tilapia fingerling cultivated in a low-salinity biofloc system at different stocking densities. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2018, no. 16 (4), e0612, 9 p.
4. Rutkovskii A. L., Kovaleva M. A., Alikov A. Iu., Tedeeva N. V. Metod povysheniia effektivnosti rascheta dinamicheskikh kharakteristik ob"ekta upravleniia [Method of increasing efficiency of calculating dynamic characteristics of control object]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyi analiz i informatsionnye tekhnologii*, 2017, no. 2, pp. 16-21.
5. Brainballe Ia. *Rukovodstvo po akvakul'ture v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniia* [Guidelines for aquaculture in recirculating water plants]. Kopengagen, FAO, 2010. 74 p.
6. Plieva T. Kh., Tetdov V. V. Vyrashchivanie tiliapii v vodoemakh s razlichnymi ekologicheskimi usloviiami [Growing tilapia in water bodies with different ecological conditions]. *Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2009, no. 3 (23), pp. 16-19.
7. Tetdov V. V. Vliianie kisloi reaktsii sredy na rost i reproduktivnuiu sistemu timiriazevskoi tiliapii [Influence of acidic reaction of environment on growth and reproductive system of Timiryazevskaya tilapia]. *Vestnik RUDN*, 2008, no. 1, pp. 16-20.
8. Boronetskaia O. I. Reproductivnye pokazateli mozambikskoi tiliapii (*Oreochromis mossambicus*) v zavisimosti ot pH reaktsii vodnoi sredy [Reproductive indices of Mozambican tilapia (*Oreochromis mossambicus*) depending on pH of reaction of aquatic environment]. *Izvestiia TSKhA*, 2010, no. 6, pp. 131-137.

The article submitted to the editors 18.01.2021

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ekaterina G. Vasileva** – Candidate of Biology; Assistant Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; Russia, 414056, Astrakhan; Katerina.84@mail.ru.

**Irina V. Melnik** – Candidate of Biology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; Russia, 414056, Astrakhan; irina\_1melnik@mail.ru.

