

Ключевые слова:
аквакультура, абиотические факторы, соленость, артемия, репродуктивный потенциал, выживаемость, стартовые живые корма

Keywords:
aquaculture, abiotic factors, salinity, artemia, reproductive potential, survival, starter live feeds

Влияние абиотических факторов на показатели продуктивности *A. var. Principalis* в аквакультуре

DOI

Кандидат биологических наук, доцент **В.Н. Любомирова** – доцент кафедры «Биология, экология, паразитология, водные биоресурсы и аквакультура»;

Доктор биологических наук, профессор **Е.М. Романова** – профессор кафедры «Биология, экология, паразитология, водные биоресурсы и аквакультура»;

Кандидат технических наук, доцент **В.В. Романов** – доцент кафедры «Информатика»;

аспирант **Фазилов Э.Б.** – кафедра «Биология, экология, паразитология, водные биоресурсы и аквакультура» –

Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина (ФГБОУ ВО «УлГАУ им. П.А. Столыпина»)

@ nvaselina@yandex.ru

THE INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON THE PRODUCTIVITY INDICATORS OF *A. VAR. PRINCIPALIS* IN AQUACULTURE

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor **V.N. Lyubomirova** – Associate Professor of the Department of Biology, Ecology, Parasitology, Aquatic Bioresources and Aquaculture;
Doctor of Biological Sciences, Professor **E.M. Romanova** – Professor of the Department of Biology, Ecology, Parasitology, Aquatic Bioresources and Aquaculture;
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **V.V. Romanov** – Associate Professor of the Department of Computer Science;
Postgraduate student **E.B. Fazilov** – Department of Biology, Ecology, Parasitology, Aquatic Bioresources and Aquaculture –
Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (FSUE VO "ULGAU named after P.A. Stolypin")

The work is devoted to the study of the influence of abiotic factors, primarily the salinity level on the productivity of artemia in aquaculture *in situ*. The problem is relevant, since in the last decade there has been an increase in global aquaculture production by 35%, which has led to an increase in the need for artemia cysts and the nauplia obtained from them. Due to the shortage on the world market of artemia cysts extracted in natural ecosystems and their high cost, there is a need to improve the methods of cultivating artemia in a closed cycle in an artificial ecosystem – in aquaculture. To develop effective methods of cultivating artemia *in situ*, it is important to know the production and morphological indicators of different types of artemia and its races in an artificially created environment. It is known that there is a wide ecological valence of the reproductive function of artemia in relation to varying environmental factors. One of the most important factors determining the reproductive potential of artemia is the salinity of the environment. The level of salinity of water has a great influence on the productivity of artemia crustaceans, both in the natural environment and in aquaculture. The aim of our study was to assess the reproductive potential of artemia and optimize the salinity of the environment to increase the reproductive potential in conditions of artificial breeding *in situ*. The results of the study showed that with an increase in the concentration of salt in the solution for the cultivation of the available artemia race – *A. var. Principalis*, – the proportion of synchronously fruiting females increased. When studying the absolute fertility of artemia, it was shown that an increase in the salinity level of the habitat at the reproductive age of females makes it possible to increase their absolute fertility when growing in a closed cycle in aquaculture.

ВВЕДЕНИЕ

Уникальность представителей семейства *Artemiidae*, как кормового объекта, объясняется их неприхотливостью и устойчивостью к действию неблагоприятных факторов. Высокая востребованность науплий артемии, как живого стартового корма для объектов аквакультуры, обусловлена, прежде всего, их малыми размерами и питательной ценностью [1; 2].

Артемия, как важнейший кормовой объект, используемый в качестве стартовых кормов, находит свое применение не только для выращивания рыб, но и для других гидробионтов.

В России и за рубежом спрос на цисты артемии неизменно растет, в связи с интенсивным развитием аквакультуры. Дефицит качественных стартовых кормов для аквакультуры стимулирует развитие биотехнологий культивирования артемии по замкнутому циклу в условиях аквакультуры. Актуальность развития таких биотехнологий продиктована тем, что объемы добычи цист артемии в естественных экосистемах не покрывают запросы мирового рынка.

Чтобы обеспечить запросы аквакультуры в живых стартовых кормах *in situ* необходимо, основываясь на видовых и биологических особенностях существующих рас максимально оптимизировать условия культивирования артемии в искусственной экосистеме, для наиболее полной реализации генетического потенциала продуктивности [3-5].

По данным литературных источников, минимальные значения плодовитости отмечались при критических для выживаемости рачков значениях солености воды, максимальные – при 150-160 и 250 г/дм³ [5; 9].

В то же время высокая соленость воды приводила не только к снижению продолжительности жизни, но и к снижению скорости линейного роста артемии и к более позднему созреванию. При этом такой важный показатель, как репродуктивный потенциал, реализуемый через живорождение, с повышением солености снижался [6-8].

В работах, посвященных изучению продуктивности *A. salina* (Velasco, S.J. et al., 2018) отмечено отсутствие значимых различий в количестве кладок и промежутке между кладками, при этом наблюдалось увеличение живорождений от 1 генерации до 4 [10].

Нельзя исключить, что при снижении уровня солености в среде культивирования, по сравнению с уровнем солености материнского водоема, следует ожидать, в виде адаптивной реакции, увеличение живорождения, что повлечет в последующих генерациях увеличение биомассы рачков на фоне снижения производства цист.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что существует широкая экологическая валентность репродуктивной функции артемии, по отношению к варьирующим абиотическим факторам среды обитания [8-11].

Целью нашего исследования было изучение репродуктивных параметров *A. salina* при разных уровнях солености в искусственно созданной экосистеме.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях использовались цисты артемии, произведенные ООО «Дина-Т-Внешторг», которые, при культивировании по морфологическим признакам,

Работа посвящена изучению влияния абиотических факторов, в первую очередь – уровня солености на продуктивность артемии в аквакультуре *in situ*. Проблема актуальна, поскольку в последнее десятилетие наблюдается рост продукции мировой аквакультуры на 35 %, что привело к увеличению потребности в цистах артемии и получаемых из них науплий. В связи с дефицитом на мировом рынке цист артемии, добываемых в естественных экосистемах и их высокой стоимостью, существует необходимость совершенствования способов культивирования артемии по замкнутому циклу в условиях искусственной экосистемы – в аквакультуре. Для разработки эффективных способов культивирования артемии *in situ* важно знать продукционные и морфологические показатели разных видов артемии и ее рас в искусственно созданной среде. Известно, что существует широкая экологическая валентность репродуктивной функции артемии по отношению к варьирующим факторам окружающей среды. Одним из наиболее важных факторов, определяющих репродуктивный потенциал артемии, является соленость среды. Уровень солености воды оказывает большое влияние на продуктивность рачков артемии, как в природной среде, так и в аквакультуре. Целью нашего исследования являлась оценка репродуктивного потенциала артемии и оптимизация солености среды для повышения репродуктивного потенциала в условиях искусственного разведения *in situ*. Результаты исследования показали, что с повышением концентрации соли в растворе для культивирования, имеющейся у нас в наличии расы артемии – *A. var. Principalis*, – возрастала доля синхронно плодоносящих самок. При исследовании абсолютной плодовитости артемии показано, что повышение уровня солености среды обитания в репродуктивном возрасте самок позволяет повысить их абсолютную плодовитость при выращивании по замкнутому циклу в аквакультуре.

были идентифицированы как экоморфа (раса) *A. var. Principalis*.

Нами исследовалось влияние солености воды на репродуктивные характеристики артемии расы *A. var. Principalis* в аквакультуре. Чтобы стимулировать продукцию цист мы постепенно повышали уровень солености в культуральной среде для *A. var. Principalis*. Чтобы оптимизировать процесс культивирования были заложены три опыта.

В первом опыте группа половозрелых артемий выращивалась в культуральной среде с 9‰ NaCl, вторая группа половозрелых артемий – при содержании соли 12‰, третья группа половозрелых артемий – в 15‰ растворе NaCl. Культивирование проводили при фиксированных остальных абиотических факторах: температура – 28°C, кислотность среды – pH 8,2, интенсивность освещения – 2000 люкс.

Определение репродуктивных параметров производили с помощью стереоскопического микроскопа

МБС-10. Отфильтрованный с помощью сита с мелкой ячейкой, раствор с содержимым (цисты, яйца и науплиусы) пересаживали в отдельную емкость. Отбирали определенную долю выборки, помещали в камеру Богорова и производили подсчет. Такой же подсчет половых продуктов яиц, цист и науплиусов производили и из яйцевых мешках самок. Результаты исследований подвергались традиционной биометрической обработке.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основная задача, решаемая в рамках данного исследования, ориентирована на повышение репродуктивного потенциала и производство цист артемии в условиях искусственного разведения.

Все виды артемии обитают в гипергалинных водоемах. Ведущий абиотический фактор, который оказывает решающее воздействие на запуск продукции цист артемии – это соленость водной среды.

В Казахстане в таких озерах как Маралды, Туз, Казы, Калатуз соленость достигает 250-300 г/л, а порогом выживаемости являются концентрации 360 г/л [2; 6]. Внешне артемии, обитающие при высоком содержании солей, отличаются от обитающих в водоемах с низким уровнем солёности окраской кожных покровов [9].

Артемии – обитатели водоемов с низким уровнем соли – зеленоватые или прозрачные, а артемии – обитатели водоемов с высоким содержанием солей, приближающиеся к верхнему порогу допустимой концентрации солей, – оранжевые [8; 10].

В природе распространение и развитие артемии зависит от солёности среды обитания. Влияние уровня солёности на жизнедеятельность артемии приведе-

но в таблице 1, приводится по Castro, M.J., 2013 [3; 5].

Имеющаяся у нас в разведении раса (экоморфа) артемии – зеленовато-прозрачная. По результатам наших исследований, наиболее высокий выклев науплий у нее наблюдается при 3-6% содержании NaCl в культуральной среде. При этом уровне солёности яйца у самок образовывались на 21 сутки. Популяция – партеногенетическая.

При благоприятных условиях развитие яиц полностью протекает в выводковом мешке (Рис. 1) и заканчивается яйцеживорождением: артемия выметывает или свободно плавающих науплий, или яйца, в которых за несколько часов завершается эмбриогенез.

Если жизненные условия ухудшаются, яйцеживорождение прекращается и самки выметывают цисты (свыше 300 в течение одной-двух недель). Цисты окружены толстой непрозрачной многослойной оболочкой. На высохших цистах часто образуется вмятина, исчезающая при намокании.

Чтобы стимулировать продукцию цист мы постепенно повышали уровень солёности в культуральной среде. С этой целью были заложены еще три дополнительных опыта. Спецификой этих трех опытов было постепенное, равномерное повышение уровня солёности: в первом опыте – до 9%, во втором – до 12%, в третьем – до 15%.

В дальнейшем велись ежедневные наблюдения за самками, чтобы нарастающим итогом определять долю самок, у которых образовались яйца и рассчитывалось их среднее количество. Делалось это, чтобы определить продуктивность. Результаты исследований приведены на рисунках 2 и 3.

Анализ диаграммы, отражающей синхронное плодоношения самок при разных уровнях солёности, показал, что этот процесс был наиболее выражен в тре-



Рисунок 1. Артемия в стадии яйценошения

Figure 1. Artemia in the egg-bearing stage

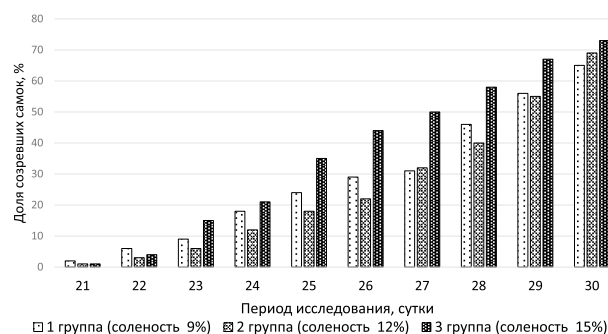


Рисунок 2. Доля самок-носителей яиц в культуральной среде с разным уровнем солёности

Figure 2. The proportion of female egg carriers in a culture medium with different levels of salinity

Таблица 1. Природные популяции артемии при солёности (г/л) /

Table 1. Natural populations of artemia at salinity (g/l)

Солёность, г/л	Результат влияния на артемию
30-400	Граница встречаемости рачков
70-230	Популяция артемии нормально развивается
70-150	Оптимальная для наращивания биомассы рачков
110-200	Оптимальная для продукции цист
30-50 и 250-400	Рачки встречаются единично

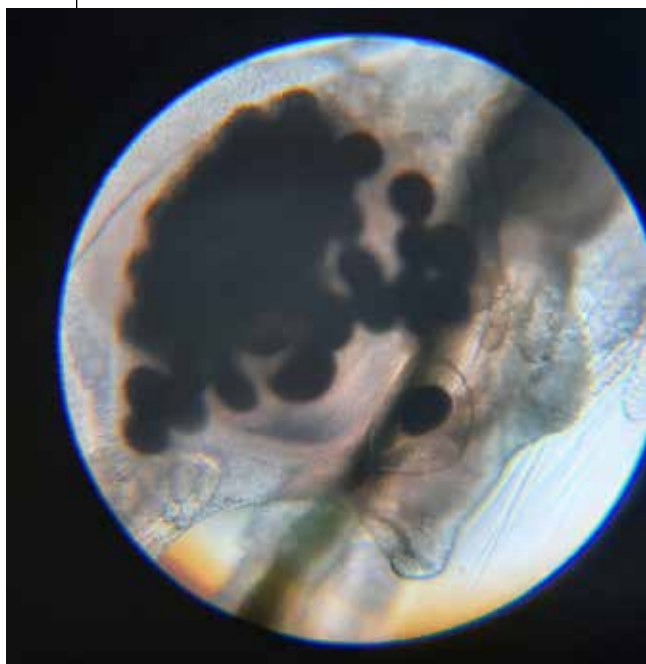


Рисунок 3. Артемии в стадии плодоношения. Яйцевой мешок с невыметанными яйцами

Figure 3. Artemia in the fruiting stage. Egg sac with unswept eggs

твом опыте. Доля созревших самок в третьем опыте была самой многочисленной и составила $73 \pm 1,6\%$ от их общего количества в опыте.

Количество синхронно плодоносящих самок во втором опыте составило $69 \pm 2,8\%$, что ниже, чем в опыте с 15% уровнем соли. Разница статистически не достоверна.

Доля самок – носителей яиц в первом опыте при 9% концентрации NaCl, составила $65\% \pm 2,2\%$. В первом опыте прослеживалась тенденция снижения доли плодоносящих самок, по сравнению с опытами с более высоким уровнем солёности.

Подытоживая, следует отметить, что для нашей экморфы артемии, с повышением концентрации

NaCl в культуральной среде до 15%, возрастала доля синхронно плодоносящих самок. Выращивание артемии при разных уровнях солёности воды влияет на ее репродуктивный процесс и его показатели.

Согласно литературным данным, абсолютная плодовитость артемии колеблется в довольно широких пределах и составляет от 16 до 184 яиц [3]. Артемии в стадии плодоношения представлены на рисунке 3.

Проведенные исследования абсолютной плодовитости самок, имеющейся у нас в наличии экморфы артемии, в зависимости от содержания соли в культуральной среде показали, что с повышением солёности воды до 15% репродуктивная активность самок возрастала. Полученные результаты представлены на рисунке 4.

Результаты исследования плодовитости артемии показали, что в основном она была реализована в виде яиц и цист, процент живорождения был низким. Абсолютная плодовитость самок с повышением концентрации соли увеличивалась, наиболее высокие показатели были отмечены в 3 опытной группе с 15% солевым раствором, в среднем количество яиц на 1 самку составило $72 \pm 10,5$ экземпляра. Во второй популяционной группе с 12% содержанием соли в культуральной среде количество яиц на 1 самку составило $51 \pm 8,1$ штук. Более низкие показатели абсолютной плодовитости были выявлены у самок первой популяционной групп при 9% уровне солёности. Количество яиц в среднем на 1 самку составило $38 \pm 6,3$ штук.

Исследования абсолютной плодовитости самок артемий, выращенных при разных концентрациях соли, позволяют сделать вывод, что увеличение солёности воды в репродуктивном возрасте самок позволяет повысить их абсолютную плодовитость при разведении в искусственных условиях.

Полученные результаты согласуются с данными литературных источников по репродуктивным показателям артемии в природных популяциях [4].

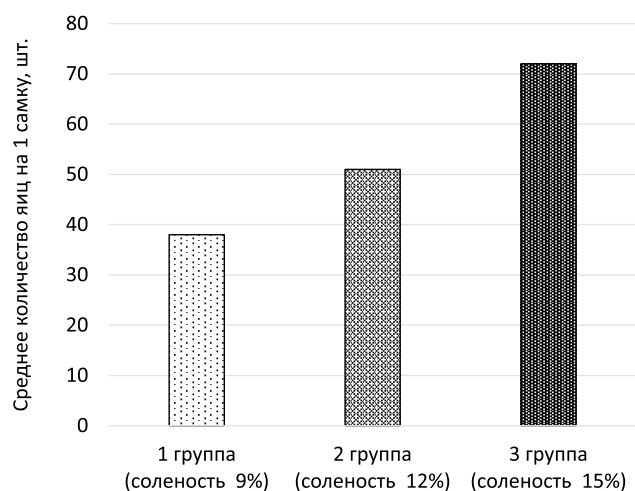


Рисунок 4. Влияние уровня солёности на число яиц в одной яйцекладке

Figure 4. The effect of the salinity level on the number of eggs in one oviposition

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что для используемой нами расы *A. var. Principalis*, с повышением концентрации NaCl в культуральной среде до 15% возрастала доля синхронно плодоносящих самок. Выращивание артемии, при разных уровнях солености воды, влияет на ее репродуктивный процесс и его показатели.

Повышение уровня солености среды обитания в репродуктивном возрасте самок позволяет повысить их абсолютную плодовитость при выращивании по замкнутому циклу в аквакультуре.

Результаты исследования плодовитости артемии показали, что в основном она была реализована в виде яиц и цист, процент живорождения был низким.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из полученных данных по абсолютной плодовитости самок артемий, выращенных при разных уровнях солености, можно прийти к заключению, что увеличение солености воды в репродуктивном возрасте самок позволяет повысить их абсолютную плодовитость (образование цист) при разведении в искусственно созданной экосистеме.

Высокая чувствительность артемии к такому абиотическому фактору среды как соленость среды согласуется с данными других литературных источников [3; 4; 9; 10; 12].

Полученные результаты, о влиянии уровня солености на репродуктивный потенциал артемии, демонстрируют теоретическую и практическую значимость работы, посвященной оптимизации факторов среды при культивировании в искусственной среде живых стартовых кормов для аквакультуры *in situ* по замкнутому циклу.

Исследования выполнялись при поддержке Программы развития Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова (Приоритет - 2030).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад в работу авторов: **В.В. Романов** – Концепция и дизайн исследования; **В.Н. Любимирова, Э.Б.У. Фазил** – сбор, планирование эксперимента, обработка материала; **Е.М. Романова, В.Н. Любимирова** – статистическая обработка данных, анализ и интерпретация данных; **В.В. Романов, Е.М. Романова, В.Н. Любимирова** – написание и редактирование текста.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution to the work of the authors: **V.V. Romanov** – The concept and design of the study; **V.N. Lyubomirova, E.B.U. Fazilov** – collection, planning of the experiment, processing of the material; **E.M. Romanova, V.N. Lyubomirova** – statistical data processing, analysis and interpretation of data; **V.V. Romanov, E.M. Romanova, V.N. Lyubomirova** – writing and editing text.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ /
REFERENCES AND SOURCES

1. Веснина, Л.В. Условия формирования популяций артемии и их продукционные показатели в разнотипных гипергалинных озерах Алтайского края / Л.В. Веснина // «Инновации и продовольственная безопасность». – 2020 (а). – № 4 (30). – С. 87–100. DOI:10.31677/2072-6724-2020-30-4-87-100

1. Vesnina, L.V. Conditions for the formation of artemia populations and their production indicators in different types of hyperhaline lakes of the Altai

Territory / L.V. Vesnina // "Innovations and food security". – 2020 (a). – № 4 (30). – Pp. 87-100. DOI:10.31677/2072-6724-2020-30-4-87-100

2. Разова, Л.Ф. Репродукционные особенности артемии сибирских популяций / Л.Ф. Разова, Л.И. Литвиненко // II Всерос. (нац.) научн.-практ. конф. Современные научно-практические решения в АПК / ГАУ Северного Зауралья. сб. статей. Тюмень. – 2018. – С. 249–258.

2. Razova, L.F. Reproductive features of artemia of Siberian populations / L.F. Razova, L.I. Litvinenko // II Vseros. (national) scientific- practical conf. Modern scientific and practical solutions in the agro-industrial complex / GAU of the Northern Trans-Urals. collection of articles. Tyumen. – 2018. – Pp. 249-258.

3. Castro, M.J. Salinity effects on the reproductive patterns of five coastal Pacific Artemia franciscana strains from Mexico / M.J. Castro, M.G. Castro, R. Bridi, C.D. De Oliveira // International Journal of Science and Knowledge. – 2013. – 2:(1). – P. 26–33.

4. Костромин, Е.А. Влияние факторов среды (соленость, температура, освещение) на инкубацию *Artemia salina* в эксперименте / Е.А. Костромин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 42. – С. 164–168. DOI:10.24411/2078-1318

4. Kostromin, E.A. The influence of environmental factors (salinity, temperature, lighting) on the incubation of *Artemia salina* in an experiment / E.A. Kostromin // Izvestiya St. Petersburg State Agrarian University. – 2016. – No. 42. – Pp. 164-168. DOI:10.24411/2078-1318

5. Castro, M.J. Efecto de la salinidad en la supervivencia, crecimiento y características reproductivas de 13 poblaciones mexicanas de *Artemia franciscana* / M.J. Castro // Doctoral thesis, Universidad Autonoma Metropolitana, Mexico, 2011. – P. 98.

6. Romanova E.M. Vectors for the development of high-tech industrial aquaculture / E.M. Romanova, V.V. Romanov, V.N. Lyubomirova, L.A. Shadyeva, T.M. Shlenkina // В сборнике: BIO WEB OF CONFERENCES. International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2020). EDP Sciences, 2020. – Pp. 00132.

7. Богатова, И.Б. Инкубация яиц *Artemia salina* в промышленных масштабах / И.Б. Богатова, Н.В. Печников, З.И. Шмакова // освоение теплых вод энергетических объектов для интенсивного рыбоводства // Материалы научной конференции. – Киев: Наукова думка. – 1978. – С. 245–248.

7. Bogatova, I.B. Incubation of *Artemia salina* eggs on an industrial scale / I.B. Bogatova, N.V. Pechnikov, Z.I. Shmakova // development of warm waters of energy facilities for intensive fish farming // Materials of the scientific conference. – Kiev: Naukova dumka. – 1978. – Pp. 245-248.

8. Романова, Е.М. Технология обогащения ранних науплий артемии и результативность их использования в качестве стартовых кормов / Е.М. Романова, В.В. Романов, В.Н. Любимирова, Э.Б.У. Фазил // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. – №4(60). – С. 150–155. DOI:10.18286/1816-4501-2022-4-150-155

8. Romanova, E.M. Technology of enrichment of early artemia nauplia and the effectiveness of their use as starter feeds / E.M. Romanova, V.V. Romanov, V.N. Lyubomirova, E.B.U. Fazilov // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. – №4 (60). – Pp. 150-155. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-4-150-155

9. Романова, Е.М. Факторы, регулирующие онтогенез *A. Salina* и ее продуктивность при культивировании *in vitro* / Е.М. Романова, В.В. Романов, В.Н. Любимирова, Э.Б.О. Фазил // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. – №3(59). – С. 148–153. DOI:10.18286/1816-4501-2022-3-148-153

9. Romanova, E.M. Factors regulating the ontogenesis of *A. Salina* and its productivity during *in vitro* cultivation / E.M. Romanova, V.V. Romanov, V.N. Lyubomirova, E.B.O. Fazilov // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. – №3 (59). – Pp. 148-153. DOI:10.18286/1816-4501-2022-3-148-153

10. Velasco, S.J. Effect of different salinities on the survival and reproductive characteristics of populations of *Artemia franciscana* Kellogg, 1906 from coastal and inland waters / S.J. Velasco, O.D. Retana, M.J. Castro, M.G. Castro, C.A.E. Castro // Journal of Entomology and Zoology Studies. – 2018. – 6(2). – Pp. 1090–1096.

11. Ковачева, Н.П. Современное состояние и перспективы развития аквакультуры артемии в России / Н.П. Ковачева, Л.И. Литвиненко, Е.М. Саенко, А.В. Жигин [и другие] // Труды ВНИРО. – 2019. – Т. 178. – С. 150–171. DOI:10.36038/2307-3497

11. Kovacheva, N.P. The current state and prospects for the development of aquaculture of artemia in Russia / N.P. Kovacheva, L.I. Litvinenko, E.M. Saenko, A.V. Zhigin [and others] // Proceedings of VNIRO. – 2019. – Vol. 178. – Pp. 150-171. DOI:10.36038/2307-3497

12. Бойко, Е.Г. Влияние экологических факторов на рост рачков рода *Artemia* уральских и сибирских популяций / Е.Г. Бойко // Сибирский экологический журнал. 2013. – Т. 20, №3. – С. 333–339. DOI:10.15372/SEJ

12. Boyko, E.G. The influence of environmental factors on the growth of crustaceans of the genus *Artemia* of Ural and Siberian populations / E.G. Boyko // Siberian Ecological Journal. 2013. – Vol. 20, No. 3. – Pp. 333-339. DOI:10.15372/SEJ