

ВЛИЯНИЕ ВИННОЙ КИСЛОТЫ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПЕРМАТОЗОИДОВ СИБИРСКОГО ОСЕТРА В ТЕЧЕНИЕ КРАТКОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ

К. Л. ШУМСКИЙ, Н. В. БАРУЛИН

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 29.01.2019)

В методике заводского размножения осетровых необходимым технологическим элементом является хранение сперматозоидов, что вызвано такими производственными ситуациями, как несвоевременное созревание самок, необходимость транспортировки в другие рыбоводные хозяйства, селекционно-племенная работа и др. Цель наших исследований заключалась в изучении влияния винной кислоты на качественные и количественные показатели сперматозоидов сибирского осетра ленской популяции в течение краткосрочного хранения. Проведенные исследования установили, что винная кислота способна влиять на качественные и количественные показатели спермы осетровых рыб, увеличивая общий срок краткосрочного хранения без использования криоконсервации (до 10 суток). При этом рекомендуемая дозировка винной кислоты при добавлении в сыроворотку спермы составляет 125 мг/л.

Ключевые слова: аквакультура, сибирский осетр, ленский осетр, сперма, сперматозоиды, краткосрочное хранение, подвижность, винная кислота.

In the method of sturgeon breeding, a necessary technological element is the storage of spermatozoa, which is caused by such production situations as the untimely maturation of females, the need for transportation to other fish farms, breeding work, etc. The goal of our research was to study the effect of tartaric acid on the qualitative and quantitative indicators of sperm cells of the Lena sturgeon during short-term storage. Studies have found that tartaric acid can affect the qualitative and quantitative indicators of sturgeon sperm, increasing the total period of short-term storage without the use of cryopreservation (up to 10 days). In this case, the recommended dosage of tartaric acid when added to the serum sperm is 125 mg / l.

Key words: aquaculture, Siberian sturgeon, Lena sturgeon, sperm, spermatozoa, short-term storage, mobility, tartaric acid.

Введение. Заводское воспроизводство рыб является вынужденной мерой для поддержания популяций многих редких видов рыб в естественных условиях, а также одним из важных технологических элементов современной аквакультуры [1, 3, 8]. В настоящее время технология искусственного оплодотворения рыб совершенствуется с каждым годом и по методическому уровню приближается к животноводству и некоторым медицинским методикам [10].

В настоящее время осетровые рыбы находятся на грани вымирания в естественных условиях, поэтому заводское искусственное воспроизводство является единственным методом для поддержания численности этих рыб в диких и аквакультурных условиях [1, 8].

Анализ источников. В методике заводского размножения осетровых необходимым технологическим элементом является хранение сперматозоидов, что вызвано такими производственными ситуациями, как несвоевременное созревание самок, необходимость транспортировки в другие рыбоводные хозяйства, селекционно-племенная работа и др. Также следует отметить, что сперма рыб является популярным биологическим объектом в научных исследованиях [2, 5, 6, 7, 9]. Одним из общепринятых способов хранения сперматозоидов животных, в т.ч. и рыб является криоконсервация. Однако данная методика способствует снижению подвижности и выживаемости сперматозоидов. Поэтому разработка методологических основ повышения продолжительности хранения охлажденной спермы рыб является актуальным направлением научных исследований [4].

Методика хранения спермы в охлажденном состоянии предполагает хранение сперматозоидов в условиях постоянно температуры 2–4 °С. При таких условиях период такого хранения может достигать нескольких дней, однако бескислородные условия, а также сильное микробное загрязнение снижают качественные характеристики сперматозоидов. Одним из путей снижения воздействия данных факторов является разбавление сперматозоидов в собственной семенной жидкости или в специализированных средах для разбавления, а также использования различных консервирующих веществ [10].

В наших предыдущих исследованиях было установлено, что разбавление способно оказывать влияние на качественные и количественные показатели спермы осетровых рыб, увеличивая общий срок краткосрочного хранения без использования криоконсервации в 4 раза (до 4 суток). При этом наиболее оптимальная концентрация разбавления составила 1:10 [4].

Цель работы заключалась в изучении влияния винной кислоты на качественные и количественные показатели сперматозоидов сибирского осетра ленской популяции в течение краткосрочного хранения.

Материал и методика исследований. В качестве объекта исследований была выбрана сперма самцов сибирского осетра ленской популяции, выращенных от стадии личинки до половозрелого состояния в условиях установки замкнутого водоснабжения (фермерское хозяйство «Василек», Дзержинский р-н, Минская обл.). Возраст самцов – 7 лет, средняя масса – 7,0 кг, средняя длина – 99,5 см. После проведения сцеживания спермы производили манипуляции по ее разбавлению. Разбавление осуществляли в сыворотке спермы в соотношении 1:10, которую получали индивидуально для каждого самца. Получение сыворотки осуществляли методом центрифугирования при скорости вращения ротора 800 об/мин в течение 2 мин, а затем на оборотах 3500 об/мин в течение 10 минут. Для проведения исследований были сформированы

следующие группы: контрольная группа, в которой сперма разбавлялась в сыворотке без добавления борной кислоты и опытные группы, в которых сперма разбавлялась в сыворотке с добавлением борной кислоты в концентрациях 125, 250, 500, 1000 мг/л. Исследуемая сперма помещалась в пробирки типа Eppendorf объемом 2 мл и хранилась в холодильнике при температуре 5 °С.

Более подробное описание методик содержания и подготовки самцов к получению спермы, анализа подвижности сперматозоидов и статистической обработки полученных результатов изложено в нашей предыдущей публикации [4].

Результаты исследований и их обсуждение. В результате проведенных исследований нами было установлено, что винная кислота оказывает выраженное действие на качественные и количественные показатели сперматозоидов сибирского осетра ленской популяции в течение краткосрочного хранения.

Общая средняя криволинейной скорость сперматозоидов (VCL). Через сутки после сцеживания (на 2-й день хранения) в контрольной группе, в сыворотку которой не добавляли винную кислоту, общая средняя криволинейной скорость сперматозоидов (VCL) составила $59,90 \pm 0,52$ м/с ($p \leq 0,001$). В опытных группах значения VCL составили: $27,89 \pm 1,46$ м/с ($p \leq 0,001$) при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л, $5,03 \pm 2,66$ м/с ($p \leq 0,001$) при концентрации винной кислоты 250 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 3-й день хранения в контрольной группе VCL составила $56,11 \pm 0,75$ м/с ($p \leq 0,001$). В опытной группе значение VCL составило: $23,56 \pm 1,28$ м/с ($p \leq 0,001$) при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 4-й день хранения в контрольной группе VCL составила $54,50 \pm 1,22$ м/с ($p \leq 0,001$). В опытной группе значение VCL составило: $25,28 \pm 1,26$ м/с ($p \leq 0,001$) при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 5-й день хранения в контрольной группе VCL составила $34,91 \pm 2,51$ м/с. В опытной группе значение VCL составило: $35,50 \pm 1,82$ при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 6-й день хранения в контрольной группе VCL составила $35,31 \pm 4,34$ м/с. В опытной группе значение VCL составило: $40,44 \pm 1,94$ м/с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы

125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 7-й день хранения в контрольной группе VCL составила $25,45 \pm 3,52$ м/с. В опытной группе значение VCL составило: $33,40 \pm 1,24$ м/с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 8-й день хранения в контрольной группе VCL составила $19,69 \pm 5,23$ м/с. В опытной группе значение VCL составило: $19,69 \pm 5,23$ м/с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 9-й день хранения в контрольной группе подвижных сперматозоидов обнаружено не было. В опытной группе значение VCL составило: $26,06 \pm 1,60$ м/с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л ($p \leq 0,05$). В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 10-й день хранения в контрольной группе подвижных сперматозоидов обнаружено не было. В опытной группе значение VCL составило: $22,71 \pm 4,77$ м/с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 11-й день хранения в контрольной группе и в опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

Визуализация полученных результатов представлена на рис. 1.

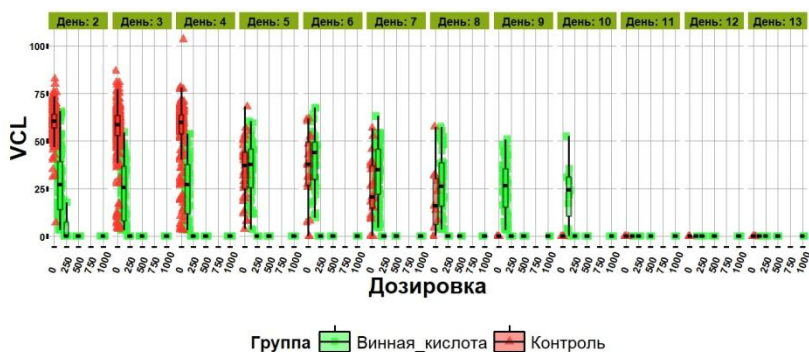


Рис. 1. Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов изменения общей средней криволинейной скорости сперматозоидов ленского осетра (VCL, м/с) под влиянием винной кислоты в период краткосрочного хранения. Прямоугольник диаграммы размахов обозначает медиану, а также 0,25 и 0,75 квантили

Средняя криволинейная скорость сперматозоидов категории А (VCL (A)). Выше рассматривался показатель, который фиксируется у сперматозоидов всех категорий, двигающихся поступательно, зигзагообразно и колебательно. Однако непосредственно в оплодотворении принимают участие сперматозоиды, относящиеся к категории А, имеющие высокую скорость поступательных движений, двигающихся стремительно, преимущественно по линейной траектории. По этой причине высокий интерес имеет оценка спермы по средней криволинейной скорости сперматозоидов категории А [4].

Через сутки после сцеживания (на 2-й день хранения) в контрольной группе, в сыворотку которой не добавляли винную кислоту, средняя криволинейная скорость сперматозоидов категории А (VCL (A)) составила $60,13 \pm 0,47$ μ /с. В опытной группе значение VCL (A) составило: $43,78 \pm 1,42$ μ /с ($p \leq 0,001$) при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 3-й день хранения в контрольной группе VCL (A) составила $58,86 \pm 0,45$ μ /с. В опытной группе значение VCL (A) составило: $39,04 \pm 0,74$ μ /с ($p \leq 0,001$) при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 4-й день хранения в контрольной группе VCL (A) составила $59,83 \pm 0,68$ μ /с. В опытной группе значение VCL (A) составило: $38,72 \pm 0,95$ μ /с ($p \leq 0,001$) при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 5-й день хранения в контрольной группе VCL (A) составила $44,06 \pm 1,83$ μ /с. В опытной группе значение VCL (A) составило: $43,17 \pm 1,19$ μ /с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 6-й день хранения в контрольной группе VCL (A) составила $39,89 \pm 4,63$ μ /с. В опытной группе значение VCL (A) составило: $46,99 \pm 1,51$ μ /с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 7-й день хранения в контрольной группе VCL (A) составила $34,15 \pm 6,13$ μ /с. В опытной группе значение VCL (A) составило: $43,48 \pm 0,77$ μ /с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 8-й день хранения в контрольной группе VCL (A) составила $24,30 \pm 10,95$ μ /с. В опытной группе значение VCL (A) составило:

44,35±1,88 μ /с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 9-й день хранения в контрольной группе подвижных сперматозоидов обнаружено не было. В опытной группе значение VCL (A) составило: 40,08±1,13 μ /с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л ($p \leq 0,05$). В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 10-й день хранения в контрольной группе подвижных сперматозоидов обнаружено не было. В опытной группе значение VCL (A) составило: 30,11±8,49 μ /с при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 11-й день хранения в контрольной группе и опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

Визуализация полученных результатов представлена на рис. 2.

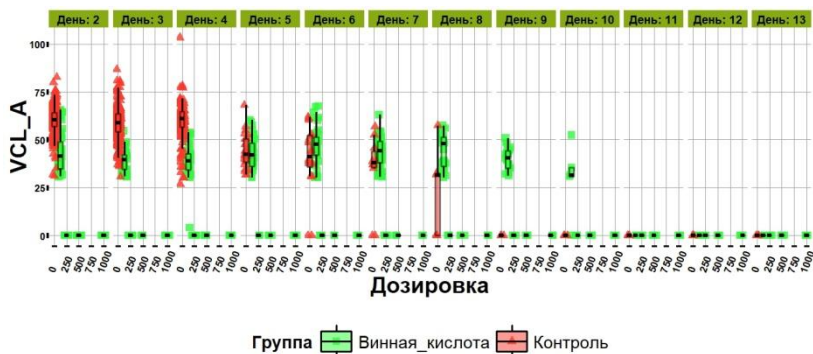


Рис. 2. Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов изменения средней криволинейной скорости сперматозоидов категории А ленского осетра (VCL, μ /с) под влиянием винной кислоты в период краткосрочного хранения. Прямоугольник диаграммы размахов обозначает медиану, а также 0,25 и 0,75 квантиль

Процент общей подвижности сперматозоидов. Наряду со скоростью подвижности сперматозоидов, особенно в условиях высокой продуктивности самок и разбавления водой, процент подвижности (количество подвижных) сперматозоидов является важным показателем [4].

Через сутки после сцеживания спермы (на 2-й день хранения) в контрольной группе, в сыворотку которой не добавляли винную кислоту, процент общей подвижности сперматозоидов составил 98,44±1,15 %. В опытных группах значения процента общей подвижности составили: 90,46±5,47 % при концентрации винной кислоты в

сыворотке спермы 125 мг/л, $1,41 \pm 1,41$ % при концентрации винной кислоты 250 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 3-й день хранения в контрольной группе процент общей подвижности составил $99,15 \pm 0,85$ %. В опытной группе значение процента общей подвижности сперматозоидов составило: $82,09 \pm 2,43$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 4-й день хранения в контрольной группе процент общей подвижности составил $85,06 \pm 9,97$ %. В опытной группе значение процента общей подвижности сперматозоидов составило: $71,42 \pm 7,88$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 5-й день хранения в контрольной группе процент общей подвижности составил $23,27 \pm 23,27$ %. В опытной группе значение процента общей подвижности сперматозоидов составило: $79,56 \pm 3,68$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 6-й день хранения в контрольной группе процент общей подвижности составил $33,33 \pm 3,33$ %. В опытной группе значение процента общей подвижности сперматозоидов составило: $81,11 \pm 18,89$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 7-й день хранения в контрольной группе процент общей подвижности составил $24,36 \pm 4,36$ %. В опытной группе значение процента общей подвижности сперматозоидов составило: $89,00 \pm 3,12$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 8-й день хранения в контрольной группе процент общей подвижности составил $3,75 \pm 3,75$ %. В опытной группе значение процента общей подвижности сперматозоидов составило: $66,39 \pm 16,97$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 9-й день хранения в контрольной группе подвижных сперматозоидов обнаружено не было. В опытной группе значение процента общей подвижности сперматозоидов составило: $34,35 \pm 11,04$ % при кон-

центрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 10-й день хранения в контрольной группе подвижных сперматозоидов обнаружено не было. В опытной группе значение процента общей подвижности составило: $29,27 \pm 23,16$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 11-й день хранения в контрольной группе и опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

Визуализация полученных результатов представлена на рис. 3.



Рис. 3. Диаграмма изменения средней общей подвижности сперматозоидов ленокского осетра (%) под влиянием винной кислоты в период краткосрочного хранения

Процент сперматозоидов категории А. Как и в случае со скоростью подвижности, выше рассматривался показатель, который фиксируется у сперматозоидов всех категорий,двигающихся поступательно, зигзагообразно и колебательно. Однако непосредственный интерес для изучения сперматозоидов участвующих в оплодотворении является изучения процента подвижных сперматозоидов относящихся к категории А [4].

Через сутки после сцеживания (на 2-й день хранения) в контрольной группе, в сыворотку которой не добавляли винную кислоту, процент сперматозоидов категории А составил $99,71 \pm 0,29$ %. В опытной группе процент сперматозоидов категории А составил: $44,33 \pm 9,67$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 3-й день хранения в контрольной группе процент сперматозоидов категории А составил $95,00 \pm 1,82$ %. В опытной группе процент сперматозоидов категории А составил: $44,75 \pm 14,76$ % при концентра-

ции винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 4-й день хранения в контрольной группе процент сперматозоидов категории А составил $88,64 \pm 1,45$ %. В опытной группе процент сперматозоидов категории А составил: $45,85 \pm 3,42$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 5-й день хранения в контрольной группе процент сперматозоидов категории А составил $21,62 \pm 21,62$ %. В опытной группе процент сперматозоидов категории А составил: $70,60 \pm 9,63$ % при концентрации борной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 6-й день хранения в контрольной группе процент сперматозоидов категории А составил $25,93 \pm 25,93$ %. В опытной группе процент сперматозоидов категории А составил: $71,89 \pm 9,04$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 7-й день хранения в контрольной группе процент сперматозоидов категории А составил $14,04 \pm 14,04$ %. В опытной группе процент сперматозоидов категории А составил: $60,98 \pm 7,17$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 8-й день хранения в контрольной группе процент сперматозоидов категории А составил $11,11 \pm 11,11$ %. В опытной группе процент сперматозоидов категории А составил: $50,33 \pm 14,85$ % при концентрации борной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 9-й день хранения в контрольной группе подвижных сперматозоидов обнаружено не было. В опытной группе процент сперматозоидов категории А составил: $43,10 \pm 12,90$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 10-й день хранения в контрольной группе подвижных сперматозоидов обнаружено не было. В опытной группе процент сперматозоидов категории А составил: $25,00 \pm 14,43$ % при концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 11-й день хранения в контрольной и опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

Как показали приведенные выше результаты, винная кислота оказывает влияние на качественные и количественные показатели сперматозоидов в течение краткосрочного хранения. При оценке спермы под микроскопом такое влияние визуально проявлялось в изменении ско-

рости подвижности, траектории движения, процента подвижных сперматозоидов.

Концентрации винной кислоты в сыворотке спермы 250, 500 и 1000 г/л произвели отрицательный эффект на краткосрочное хранение спермы. Винная кислота в концентрации 125 мг/л позволила сохранить подвижность сперматозоидов до 10 дней, что на 2 дня больше чем продолжительность подвижности сперматозоидов в контрольной группе.

Следует обратить внимание на тот факт, что в первые дни хранения спермы под влиянием винной кислоты в концентрации 125 мг/л происходило достоверное снижение средней криволинейной скорости сперматозоидов (общей и сперматозоидов категории А) относительно контрольной группы вплоть до 4 дня хранения. Этот эффект можно объяснить тем, что под влиянием винной кислоты в концентрации 125 мг/л происходило замедление метаболизма относительно контрольной группы, что позволило сохранить на более длительный период необходимый уровень АТФ, требуемый для биения жгутиков. Кроме данного эффекта, увеличение периода краткосрочного хранения спермы под влиянием винной кислоты можно объяснить ее антимикробным действием, поскольку длительные условия хранения спермы значительно затрагивают качество спермы, т.к. мощные микробные загрязнения уменьшают подвижность спермы и ее жизнеспособность [4].

Заключение. Таким образом, проведенные исследования на примере сибирского осетра установили, что винная кислота способна влиять на качественные и количественные показатели спермы осетровых рыб, увеличивая общий срок краткосрочного хранения без использования криоконсервации (до 10 суток). При этом рекомендуемая дозировка винной кислоты при добавлении в сыворотку спермы составляет 125 мг/л.

Полученные результаты представляют практический интерес для практики искусственного воспроизводства осетровых рыб и рекомендуются к использованию в инкубационных цехах в условиях неравномерного созревания производителей, а также при транспортировке спермы.

Авторы выражают благодарность сотрудникам фермерского хозяйства «Василек» В. Ф. Вергейчику, Ал. И. Лашкевичу, Ан. И. Лашкевичу за помощь в организации проведения исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных промышленных комплексах / Н. В. Барулин // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. (Серыя аграрных навук). – Мінск, 2015. – 3. – С. 107–111.

2. Барулин, Н. В. Лазерное излучение как важный элемент технологии аквакультуры / Н. В. Барулин, М. В. Шалак, В. Ю. Плавский // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 3. – С. 82 – 85.
3. Барулин, Н. В. Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных индустриальных комплексах (с временными нормативами) / Н. В. Барулин, М. С. Лиман, Е. Г. Новикова, К. Л. Шумский, Л. О. Атрощенко, С. В. Роговцов, Н. А. Суровец, А. В. Некрылов, В. Ю. Плавский. – Горки : БГСХА, 2016. – 179 с.
4. Барулин, Н. В. Влияние различной концентрации разбавления спермы сибирского осетра на качественные и количественные показатели сперматозоидов в течение краткосрочного хранения / Н. В. Барулин, К. Л. Шумский // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2018. – № 1. – С. 39 – 45.
5. Плавский, В. Ю. Влияние лазерного излучения инфракрасной области спектра на устойчивость молоди осетровых рыб к дефициту кислорода / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2008. – № 8 – 9. – С. 65 – 74.
6. Плавский, В. Ю. Влияние модуляции низкоинтенсивного лазерного излучения на его биологическую активность / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Лазерная медицина. – 2009. – Т. 13. – № 1. – С. 4–10.
7. Плавский, В. Ю. Фотофизические процессы, определяющие биологическую активность оптического излучения низкой интенсивности / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. – №6. – С. 23–40.
8. Kostousov, V. G. Development of industrial fish culture in Belarus // V. G. Kostousov, N.V. Barulin. – p. 44 – 48 // Handbook: Recirculation technologies in indoor and outdoor systems; Edited by: Peter Lengyel [et al.]. – Szarvas, Hungar: Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation, 2013. – 92 p.
9. Plavskii, V.Y. Fish Embryos as Model for Research of Biological Activity Mechanisms of Low Intensity Laser Radiation / V.Y. Plavskii, N.V. Barulin. – P. 1 – 47 // Advances in Laser and Optics Research. – Vol. 4; Editors: William T. Arkin – New York, USA: Nova Science Publishers, Inc., 2010. – Vol. 4. – 264 p.
10. Sperm biology and control of reproduction in sturgeon: (I) testicular development, sperm maturation and seminal plasma characteristics / S.M.H Alavi [et al.] // Rev Fish Biol Fish. – 2012. doi:10.1007/s11160- 012-9268-4.