

**ВЛИЯНИЕ ЦИНКА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ
ПОКАЗАТЕЛИ СПЕРМАТОЗОИДОВ СИБИРСКОГО ОСЕТРА В
ТЕЧЕНИЕ КРАТКОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ**

К.Л. ШУМСКИЙ, В.А. ГЕРАСИМЧИК

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», рыбовод рыбоводного
индустриального комплекса КПУП «Форелевое хозяйство «Лохва», магистр
сельскохозяйственных наук
г. Горки, Могилевская область, Республика Беларусь, 213407
e-mail: lahva@bk.ru*

**УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной
медицины», доктор ветеринарных наук, профессор
г. Витебск, Республика Беларусь, 210026
e-mail: uovgavm@vitebsk.by*

**INFLUENCE OF ZINCUM ON QUALITY AND QUANTITATIVE INDICES
OF SPERMATOZOONS OF THE SIBERIAN STURGEON DURING SHORT-
TERM STORAGE**

K. SHUMSKY, V. GERASIMCHIK

*УО «Belarusian State Agricultural Academy», fish breeder of the KPUP fish-breeding industrial
complex «Lokhva trout farm», master of agricultural sciences
Gorki, Mogilev area, Republic of Belarus, 213407
e-mail: lahva@bk.ru*

** УО « Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine», doctor of veterinary sciences, professor
Vitebsk, Republic of Belarus, 210026
e-mail: uovgavm@vitebsk.by*

Резюме. В технологии искусственного воспроизводства осетровых рыб важным моментом является период хранения спермы, поскольку этого требуют различные технологические ситуации (задержка созревания самок, необходимость транспортировки и др.). Известным способом хранения спермы является ее криоконсервация. Проведенные исследования на примере сибирского осетра установили, что, в отличие от борной и винной кислот, положительное влияние которых было установлено нами в предыдущих исследованиях, цинк не оказывает достоверного влияния на качественные и количественные показатели спермы сибирского осетра в период краткосрочного хранения.

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

Abstract. In technology of artificial reproduction of sturgeon fishes an important point is the sperm storage period as it is demanded by various technological situations (a delay of maturing of females, need of transportation, etc.). The known way of storage of sperm is its cryopreservation. The researche on the example of the Siberian sturgeon established that, unlike boric and wine acids which positive influence was established by us in the previous researches Zincum has no reliable impact on quality and quantitative indices of sperm of the Siberian sturgeon during short-term storage.

Key words. Aquaculture, Siberian sturgeon, Lensk sturgeon, sperm, spermatozoons, short-term storage, mobility, zincum.

Введение. Критическое снижение численности осетровых рыб в естественных условиях приобрело общемировую проблему. Одним из способов решения этой проблемы является аквакультура – выращивание рыб и других гидробионтов, в контролируемых человеком условиях, в том числе в рыбоводных индустриальных комплексах [1]. Однако выращивание осетровых рыб в условиях аквакультуры сталкивается с трудностями искусственного воспроизводства практически на каждом этапе технологического процесса – от формирования маточного стада, до получения жизнестойкой молоди [1, 2, 3]. В этой связи актуальным является разработка новых методов, направленных на повышение эффективности технологии воспроизводства осетровых [2, 5, 6, 7,10, 12].

В технологии искусственного воспроизводства осетровых рыб важным моментом является период хранения спермы, поскольку этого требуют различные технологические ситуации (задержка созревания самок, необходимость транспортировки и др.). Известным способом хранения спермы является ее криоконсервация [14]. Однако криоконсервация может значительно снизить качество сперматозоидов. По этой причине перспективным является разработка новых методов увеличения периода краткосрочного хранения спермы осетровых рыб [4].

Краткосрочное хранение спермы включает в себя разбавление собранной спермы либо в соответствующей семенной жидкости, либо в специальных разбавителях (растворах, предназначенные для поддержания сперматозоидов в состоянии покоя) в сочетании с хранением спермы при пониженных температурах (2–4 °С) в течение дней и недель [8, 9, 11]. Этот метод представляет собой важный инструмент для рыбоводческих хозяйств, например, в тех случаях, когда самцы из маточного стада реагируют на гормональную стимуляцию быстрее, чем самки. Использование разбавителя обеспечивает концентрацию ионов и осмотическое давление на изоосмотическом уровне, близком к уровню семенной плазмы, что

предотвращает активацию сперматозоидов [13], защищает сперму от осмотического повреждения и загрязнений, таких как моча [8, 15] и поддерживает источник АТФ, необходимый для избиения жгутиков, а также оплодотворяющей способности спермы [8, 9, 11]. При низких температурах сперматозоиды имеют низкий метаболизм и могут сохраняться в течение нескольких дней в соответствующих разбавителях спермы [8, 9, 11]. Тем не менее, длительные условия хранения в холодном месте могут значительно повлиять на качество спермы, поскольку анаэробные условия и связанные с ними мощные микробные загрязнения могут снизить подвижность и жизнеспособность сперматозоидов. Чтобы решить эту проблему, рекомендуется добавлять в разбавитель различные вещества, такие как антибиотики, консерванты и антиоксиданты.

В наших предыдущих исследованиях было установлено, что борная и винная кислоты способны влиять на качественные и количественные показатели спермы осетровых рыб, увеличивая общий срок краткосрочного хранения без использования криоконсервации до 13 суток (с борной кислотой) и до 10 суток (с виной кислотой) [16, 17].

Цель наших исследований заключалась в изучении влияния цинка на качественные и количественные показатели сперматозоидов сибирского осетра ленской популяции в течение краткосрочного хранения.

Материал и методы 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 район, Минская область). Возраст самцов – 7 лет, средняя масса – 7,0 кг, средняя длина – 99,5 см. Сперму получали индивидуально от каждого самца. Получение сыворотки осуществляли методом центрифугирования спермы при скорости вращения ротора центрифуги 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 цинка и опытные группы, в которых сперма разбавлялась в сыворотке с добавлением цинка (в форме сульфат цинка) в следующих 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 цинк не оказывает достоверного влияния на качественные и количественные показатели спермы сибирского осетра в период краткосрочного хранения или оказывает отрицательное влияние.

Общая средняя криволинейной скорость сперматозоидов (VCL). Значения общей средней криволинейной скорости сперматозоидов сибирского осетра (VCL, μ/c) под влиянием цинка в период краткосрочного хранения представлены в табл.1.

Таблица 1. – Значения общей средней криволинейной скорости сперматозоидов сибирского осетра (VCL, μ/c) под влиянием цинка в период краткосрочного хранения

День хранения	Значения VCL (μ/c) при исследуемой концентрации цинка (мг/л)				
	0 мг/л (контроль)	125 мг/л	250 мг/л	500 мг/л	1000 мг/л
2-й	59,90±0,52	60,68±0,65	57,6±1,11	–	подвижных сперматозоидов не обнаружено
3-й	56,11±0,75	52,11±0,76***	58,40±1,4	22,94±6,79***	
4-й	54,50±1,22	30,07±0,88***	31,87±1,11***	13,52±5,71	
5-й	34,91±2,51	14,56±0,50***	17,22±0,74***	–	
6-й	35,31±4,34	7,96±0,53***	7,41±0,44	–	
7-й	25,45±3,52	8,97±1,81**	7,54±1,23	–	
8-й	19,69±5,23	–	–	–	

Примечание: различия с контрольной группой достоверны при уровнях значимости * - $p=0,05$, ** - $p=0,01$, *** - $p=0,001$; символ «–» обозначает, что подвижных сперматозоидов не обнаружено.

Установлено, что присутствие цинка в сыворотке спермы сокращает общий срок краткосрочного хранения и значения общей средней криволинейной скорости сперматозоидов сибирского осетра.

Через сутки после сцеживания (на 2-й день хранения), максимальное значение общей средней криволинейной скорости сперматозоидов (VCL) установлено при концентрации цинка в сыворотке спермы 125 мг/л и составило 60,68±0,65 μ/c , в контрольной группе, в сыворотку спермы которой не добавляли цинк, общая средняя криволинейной скорости сперматозоидов (VCL) составила 59,90±0,52 μ/c . Однако зарегистрированные отличия не достоверны.

На 3-й день хранения, максимальное значение VCL – 58,40±1,40 μ/c отмечено при концентрации цинка 250 мг/л, минимальное – 22,94±6,79 μ/c ($p \leq$

0,001), в сыворотке содержащей 500 мг/л цинка, в контрольной группе VCL составила $56,11 \pm 0,75$ μ /с.

На 4-й день хранения максимальная скорость VCL наблюдалась в контрольной группе составила $54,50 \pm 1,22$ μ /с. В опытных группах значения VCL были достоверно ниже.

На 5-й, 6-й, 7-й день хранения, сохранилась установленная закономерность по превышению показателя VCL в контрольной группе, по сравнению с опытными.

На 8-й день хранения, в контрольной группе VCL составила $19,69 \pm 5,23$ μ /с. В опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 9-й день хранения, в контрольной группе и опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было. Визуализация полученных результатов представлена на рис.1.

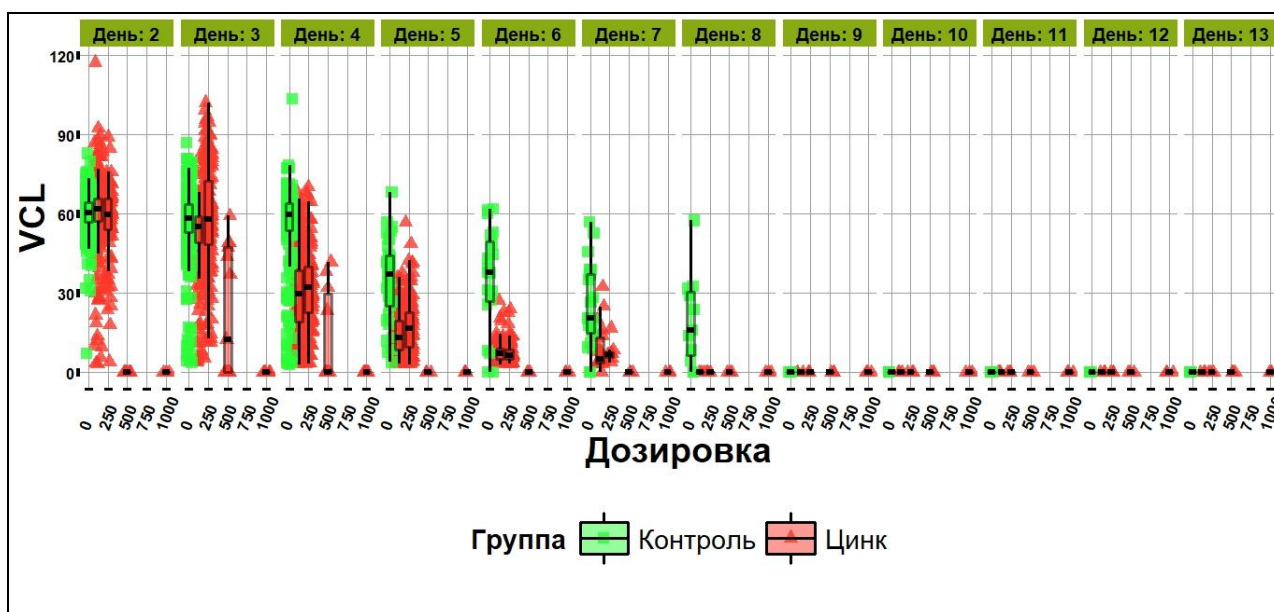


Рисунок 1. – Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов изменения общей средней криволинейной скорости сперматозоидов сибирского осетра (VCL, μ /с) под влиянием цинка в период краткосрочного хранения. Прямоугольник диаграммы размахов обозначает медиану, а также 0,25 и 0,75 квантиль

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]. Значения общей средней криволинейной скорости сперматозоидов категории А сибирского осетра (VCL, μ/c) в исследуемых группах представлены в табл.2.

Таблица 2. – Значения общей средней криволинейной скорости сперматозоидов категории А сибирского осетра (VCL, μ/c) под влиянием цинка в период краткосрочного хранения

День хранения	Значения VCL (А) (μ/c) при исследуемой концентрации цинка (мг/л)				
	0 мг/л (контроль)	125 мг/л	250 мг/л	500 мг/л	1000 мг/л
2-й	60,13 \pm 0,47	62,38 \pm 0,48	59,09 \pm 0,92		подвижных сперматозоидов не обнаружено
3-й	58,86 \pm 0,45	54,68 \pm 0,49***	62,02 \pm 1,19	23,81 \pm 7,32***	
4-й	59,83 \pm 0,68	41,65 \pm 0,82***	40,79 \pm 1,01***	12,43 \pm 6,27***	
5-й	44,06 \pm 1,83	33,64 \pm 1,17	38,64 \pm 2,48	–	
6-й	39,89 \pm 4,63	–	–	–	
7-й	34,15 \pm 6,13	7,33 \pm 7,33	–	–	
8-й	24,30 \pm 10,95	–	–	–	

Примечание: различия с контрольной группой достоверны при уровнях значимости * - $p=0,05$, ** - $p=0,01$, *** - $p=0,001$; символ «–» обозначает, что подвижных сперматозоидов не обнаружено.

Через сутки после сцеживания (на 2-й день хранения) максимальное значение общей средней криволинейной скорости сперматозоидов VCL (А) установлено при концентрации цинка в сыворотке спермы 125 мг/л и составило 62,38 \pm 0,48 μ/c , в контрольной группе средняя криволинейная скорость сперматозоидов категории составила 60,13 \pm 0,47 μ/c . В опытных группах с концентрацией цинка 500 и 1000 мг/л подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 3-й день хранения максимальное значение VCL (А) – 62,02 \pm 1,19 μ/c отмечено при концентрации цинка 250 мг/л, минимальное – 23,81 \pm 7,32 μ/c ($p \leq 0,001$), в сыворотке содержащей 500 мг/л цинка, в контрольной группе VCL (А) составила 58,86 \pm 0,45 μ/c . В опытной группе с концентрацией цинка 1000 мг/л подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 4-й день хранения максимальная скорость VCL (А) наблюдалась в контрольной группе составила 59,83 \pm 0,68 μ/c . Во всех опытных группах значения VCL (А) были достоверно ниже. В опытной группе с концентрацией цинка 1000 мг/л подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 5-й день хранения максимальное значение VCL (А) также сохранилось в контрольной группе и составило 44,06 \pm 1,83 μ/c . При концентрации цинка в

сыворотке спермы в количестве 500 мг/л и 1000 мг/л сперматозоидов категории А обнаружено не было.

На 6-й день хранения в контрольной группе VCL (A) составила $39,89 \pm 4,63$ μ /с. В опытных группах сперматозоидов категории А 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: $7,33 \pm 7,33$ μ /с при концентрации цинка в сыворотке спермы 125 мг/л. В остальных опытных группах сперматозоидов категории А обнаружено не было.

На 8-й день хранения, в контрольной группе VCL (A) составила $24,30 \pm 10,95$ μ /с. В опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 9-й день хранения, в контрольной группе и опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было. Визуализация полученных результатов представлена на рис. 2.

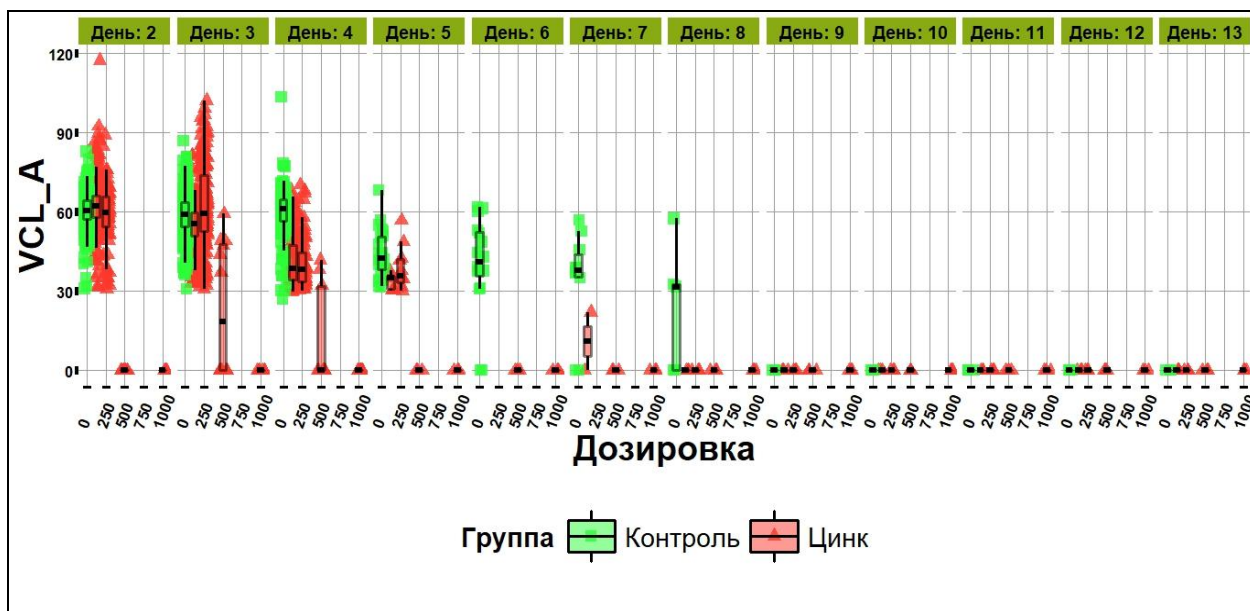


Рисунок 2. – Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов изменения средней криволинейной скорости сперматозоидов категории А сибирского осетра (VCL, μ /с) под влиянием цинка в период краткосрочного хранения. Прямоугольник диаграммы размахов обозначает медиану, а также 0,25 и 0,75 квантили

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]. Средняя общая подвижность сперматозоидов сибирского осетра (%) под влиянием цинка в период краткосрочного хранения представлена в табл. 3.

Таблица 3. – Средняя общая подвижность сперматозоидов сибирского осетра (%) под влиянием цинка в период краткосрочного хранения

День хранения	Процент общей подвижности сперматозоидов (%) при исследуемой концентрации цинка (мг/л)				
	0 мг/л (контроль)	125 мг/л	250 мг/л	500 мг/л	1000 мг/л
2-й	98,44±1,15	96,81±1,65	98,65±0,77	–	подвижных сперматозоидов не обнаружено
3-й	99,15±0,85	99,69±0,31	98,87±1,13	6,86±6,86	
4-й	85,06±9,97	97,15±1,59	93,32±2,23	3,70±3,70	
5-й	23,27±23,	81,03±4,59	83,70±3,11	–	
6-й	33,33±3,33	71,64±10,88	64,45±6,52	–	
7-й	24,36±4,36	33,42±17,49	11,89±5,29	–	
8-й	3,75±3,75	–	–	–	

Примечание: символ «–» обозначает, что подвижных сперматозоидов не обнаружено.

Через сутки после сцеживания спермы (на 2-й день хранения) процент общей подвижности сперматозоидов при концентрации цинка 0 мг/л, 125 мг/л и 250 мг/л был примерно на одном высоком уровне и составил: в контрольной группе –98,44±1,15%, 96,81±1,65% при концентрации цинка в сыворотке спермы 125 мг/л, 98,65±0,77% при концентрации цинка 250 мг/л. В опытных группах с концентрацией цинка в сыворотке спермы 500 и 1000 мг/л подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 3-й день хранения сохранилась отмеченная тенденция, минимальный процент общей подвижности сперматозоидов зафиксирован при концентрации цинка 500 мг/л – 6,86±6,86%. На 4-й день хранения, максимальный процент общей подвижности отмечен при концентрации цинка 125 мг/л и 250 мг/л и составил соответственно 97,15±1,59% и 93,32±2,23%, в контрольной группе процент общей подвижности составил 85,06±9,97%.

На 5-й и 6-й день хранения, при концентрации цинка в сперме в количестве 125 мг/л и 250 мг/л также отмечено превышение подвижных сперматозоидов по сравнению с контролем (табл.3). На 7-й день хранения наибольшее значение процентов общей подвижности составило 33,42±17,49% при концентрации цинка в сыворотке спермы 125 мг/л, в контрольной группе процент общей подвижности составил 24,36±4,36% и 11,89±5,29% при концентрации цинка 250 мг/л. На 8-й день хранения, в контрольной группе процент общей подвижности составил 3,75±3,75%. В опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

На 9-й день хранения, в контрольной группе и опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было. Визуализация полученных результатов представлена на рис. 3.

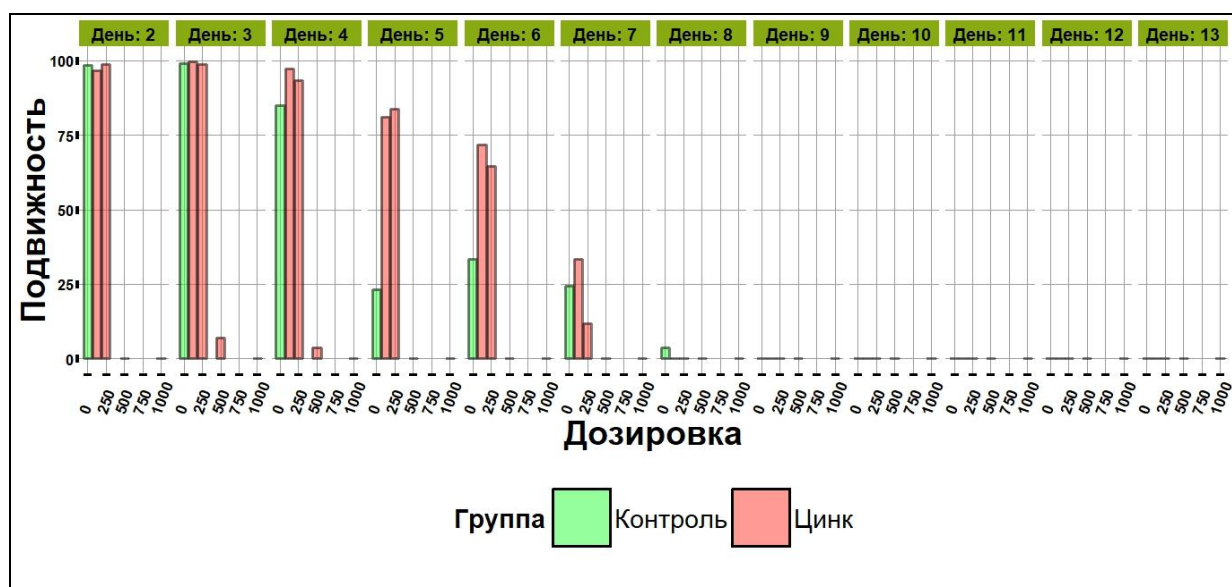


Рисунок 3. – Диаграмма изменения средней общей подвижности сперматозоидов сибирского осетра (%) под влиянием цинка в период краткосрочного хранения

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]. Содержание высокоподвижных спермиев категории А в исследуемых пробах представлено в таблице 4.

Таблица 4. – Процент сперматозоидов категории А сибирского осетра (%) под влиянием цинка в период краткосрочного хранения

День хранения	Процент сперматозоидов категории А (%) при исследуемой концентрации цинка (мг/л)				
	0 мг/л (контроль)	125 мг/л	250 мг/л	500 мг/л	1000 мг/л
2-й	99,71±0,29	96,43±1,06	96,67±1,12	–	подвижных сперматозоидов не обнаружено
3-й	95,00±1,82	93,63±3,12	91,05±3,23	28,57±28,57	
4-й	88,64±1,45	50,72±10,13	58,36±5,55	25,00±25,00	
5-й	21,62±21,62	2,33±1,55	6,50±0,42	–	
6-й	25,93±25,93	–	–	–	
7-й	14,04±14,04	2,56±2,56	–	–	
8-й	11,11±11,11	–	–	–	

Примечание: символ «—» обозначает, что подвижных сперматозоидов не обнаружено.

Через сутки после сцеживания (на 2-й день хранения) максимальный процент высокоподвижных спермиев отечен в контрольной группе и составил 99,71±0,29%. В некоторых опытных группах процент сперматозоидов

категории А был на достаточно высоком уровне и составил: $96,43 \pm 1,06\%$ при концентрации цинка в сыворотке спермы 125 мг/л, $96,67 \pm 1,12\%$ при концентрации цинка 250 мг/л. При концентрации цинка в сыворотке спермы 500 и 1000 мг/л сперматозоидов категории А обнаружено не было.

На 3-й день хранения, в контрольной группе процент сперматозоидов категории А составил $95,00 \pm 1,82\%$. В опытных группах значения процент сперматозоидов категории А составил: $93,63 \pm 3,12\%$ при концентрации цинка в сыворотке спермы 125 мг/л, $91,05 \pm 3,23\%$ – 250 мг/л цинка, $28,57 \pm 28,57\%$ – 500 мг/л цинка. На 4-й день хранения, в контрольной группе процент сперматозоидов категории А составил $88,64 \pm 1,45\%$. В опытных группах процент сперматозоидов категории А значительно снизился и составил: $50,72 \pm 10,13\%$ при концентрации цинка в сыворотке спермы 125 мг/л, $58,36 \pm 5,55\%$ – 250 мг/л цинка, $25,00 \pm 25,00\%$ – 500 мг/л цинка.

На 5-й день хранения, в контрольной группе процент сперматозоидов категории А составил $21,62 \pm 21,62\%$. В опытных группах процент сперматозоидов категории А составил: $2,33 \pm 1,55\%$ при концентрации цинка в сыворотке спермы 125 мг/л, $6,50 \pm 0,42\%$ – 250 мг/л цинка.

С 6-го по 8-й день хранения сперматозоиды категории А были обнаружены лишь в контрольной группе, где их количество в течение хранения постепенно снижалось (таблица 4)

На 9-й день хранения, в контрольной группе и опытных группах подвижных сперматозоидов обнаружено не было.

Как показали приведенные выше результаты, цинк оказывает отрицательное влияние на качественные и количественные показатели сперматозоидов в течение краткосрочного хранения. Среди опытных групп наилучший результат показали группы с концентрациями цинка в сыворотке спермы 125 и 250 мг/л. Однако данное исследование показало, что цинк не оказывает положительного влияния на увеличение срока хранения спермы. Сперматозоиды в контрольной группе, в сыворотку которой не добавляли цинк, были жизнеспособны на один день дольше, чем в опытных группах (125 и 250 мг/л цинка). Цинк также неблагоприятно повлиял на среднюю скорость сперматозоидов. С четвертого дня хранения наблюдалось значительное снижение значений VCL и VCL (A). Однако следует отметить тот факт, что значения процента подвижности всех сперматозоидов в опытных группах (125 и 250 мг/л цинка) были выше, чем в контрольной группе вплоть до 7-го дня хранения. Это можно объяснить тем, что цинк оказывает положительное влияние на поддержание жизнеспособности сперматозоидов относящихся к категории В, имеющих низкую скорость поступательных движений,двигающихся зигзагообразно, совершая круговые движения вокруг своей оси.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования на примере сибирского осетра установили, что цинк способен влиять на качественные и количественные показатели спермы осетровых рыб, сокращая общий срок краткосрочного хранения, однако увеличивая срок хранения сперматозоидов относящихся к категории В, что не представляет большой практической ценности, так как данные сперматозоиды в меньшей мере участвуют в процессе оплодотворения.

Полученные результаты представляют научный 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.

Список использованной литературы

1. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах / Н. В. Барулин // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 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 // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2008. – № 3. – С. 82–85.
3. Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных индустриальных комплексах (с временными нормативами) / Н. В. Барулин [и др.] ; Белорус. гос. с.-х. акад. – 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 ветеринар. 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 // Биомед. радиоэлектроника. – 2008. – № 8/9. – С. 65–74.
6. Плавский, В. Ю. Влияние модуляции низкоинтенсивного лазерного излучения на его биологическую активность / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Лазер. 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 // Биомед. радиоэлектроника. – 2009. – № 6. – С. 23–40.
8. Billard, R. Changes in structure and fertilising ability of marine and freshwater fish spermatozoa diluted in media of various salinities / R. Billard // Aquaculture. – 1978. – Vol. 14, № 3. – P. 187–198.
9. In vitro maturation of the potential for movement of carp spermatozoa / C. Redondo [et al.] // Molecular Reprod. a. Development. – 1991. – Vol. 29, № 3. – P. 259–270.
10. Kostousov, V. G. Development of industrial fish culture in Belarus // V. G. Kostousov, N. V. Barulin // Recirculation technologies in indoor and outdoor systems : handbook / ed.: P. Lengyel [et al.] ; Research Inst. for Fisheries, Aquaculture a. Irrigation. – Szarvas, 2013. – P. 44–48.
11. Kurokura solution as immobilizing medium for spermatozoa of tench (*Tinca tinca* L.) / M. Rodina [et al.] // Aquaculture Intern. – 2004. – Vol. 12, № 1. – P. 119–131.
12. Plavskii, V. Y. Fish embryos as model for research of biological activity mechanisms of low intensity laser radiation / V. Y. Plavskii, N. V. Barulin // Advances in laser and optics research / ed. W. T. Arkin. – New York, 2010. – Vol. 4. – P. 1–48.
13. Short term preservation of carp (*Cyprinus carpio*) semen / A. Saad [et al.] // Aquaculture. – 1988. – Vol. 71, № 1/2. – P. 133–150.
14. Sperm biology and control of reproduction in sturgeon: (I) testicular development, sperm maturation and seminal plasma characteristics / S. M. H. Alavi [et al.] // Rev. in Fish Biology a. Fisheries. – 2012. – Vol. 22, № 3. – P. 695–717.
15. Urinary bladder, ionic composition of seminal fluid and urine with characterization of sperm motility in tench (*Tinca tinca* L.) / O. Linhart [et al.] // J. of Appl. Ichthyology. – 2003. – Vol. 19, № 3. – P. 177–181.
16. Шумский, К. Л. Влияние винной кислоты на качественные и количественные показатели сперматозоидов сибирского осетра в течение краткосрочного хранения / К. Л. Шумский, Н. В. Барулин // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : сб. науч. тр. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки, 2019. – Вып. 22, ч. 1. – С. 9–19.
17. Шумский, К. Л. Влияние борной кислоты на качественные и количественные показатели сперматозоидов сибирского осетра в течение краткосрочного хранения / К. Л. Шумский, Н. В. Барулин, М. М. Усов // Животноводство и ветеринар. медицина. – 2019. – № 1 (32). – С. 3–10.