

УДК 591.166.1:591.545

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ ПРИ ПОЛОВОМ СОЗРЕВАНИИ В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

© 2021 г. Е. Н. Пономарева^{a, b}, П. П. Гераскин^b, Г. Ф. Металлов^a, А. Н. Неваленный^b,
В. А. Григорьев^{a, b}, М. Н. Сорокина^{a, b, *}, Ю. В. Федоровых^b

^aФедеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

^bАстраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

*e-mail: sor-marina@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.01.2019 г.

После доработки 07.11.2019 г.

Принята к публикации 24.07.2020 г.

Исследована динамика физиолого-биохимических показателей крови и мочи в процессе созревания гонад у самок гибрида стерлядь × белуга (*Acipenser ruthenus* L., 1758 × *Huso huso* L., 1758), выращиваемых по УЗВ-технологии. Показано, что при такой технологии гонадогенез самок гибрида сопровождается функциональными изменениями с появлением особенностей, отличающих его от такового у рыб из естественных популяций. Но, если в целом генеративный обмен, направленный на формирование гамет, такой же, как и у самок из природных популяций, то интенсивность этого процесса на разных этапах развития половых желез выражена не так отчетливо, как у самок, мигрирующих на нерест. Обсуждены возможные причины повышенного уровня исследуемых физиолого-биохимических показателей в крови у самок гибрида при выходе из искусственной зимовки.

Ключевые слова: осетровые, гематологические показатели, белковый, жировой и водно-солевой обмен, УЗВ, гаметогенез

DOI: 10.31857/S0320965221010113

ВВЕДЕНИЕ

В аквакультурной практике наиболее перспективными технологиями считают садковый и суперинтенсивный методы в УЗВ, предусматривающие формирование и эксплуатацию искусственно созданных репродуктивных стад (Пономарева и др., 2019). С развитием таких технологий появилась необходимость и в изучении процесса созревания гонад у самок в неестественных для них условиях.

Формирование продукционных стад в искусственных, т.е. в неадекватных условиях, резко отличающихся от природной среды их обитания, а также питание искусственными кормами, не являющимися всецело полноценными, может сказаться на их генеративной функции (Блинков, Кокоза, 2014; Гераскин и др., 2019).

Изучение генеративной функции ранее проводили в основном у осетровых из естественной среды обитания (Лукьяненко, Шелухин, 1970; Шелухин, 1974; Баденко и др., 1984; Гераскин и др., 1984;

Лукьяненко, Кулик, 1994; Geraskin et al., 1999). Полученные в этих исследованиях сведения позволили сформировать, хотя и недостаточно полно, представление об изменениях функционального состояния самок в периоды репродуктивного цикла у осетровых рыб естественных популяций (Баденко и др., 1984; Гераскин и др., 2017), что позволяет выявлять отклонения в генеративном обмене на разных этапах созревания гонад, в том числе и на последних.

Функциональные изменения в половом цикле у искусственно сформированных репродуктивных стад в неестественной для них среде мало изучены и требуют фундаментальных исследований по закономерностям созревания самок в этих условиях.

Наиболее удобным модельным объектом изучения функционального состояния в разные периоды полового цикла самок является гибрид стерлядь × белуга, который достаточно быстро вступает в репродуктивный период, а длительность межнерестовых интервалов часто составляет менее года, при этом он обладает некоторыми преимуществами при выращивании в УЗВ, по сравнению с чистыми видами (Пономарев, Ива-

Сокращения: СЗГ – стадия зрелости гонад; СОЭ – скорость оседания эритроцитов; УЗВ – установки замкнутого водоснабжения.

нов, 2009; Насыров, Подушка, 2017; Ponomareva et al., 2020).

Цель работы – исследовать особенности изменений физиолого-биохимических показателей крови и мочи у самок гибрида стерлядь × белуга, созревающих в модульной установке замкнутого водоснабжения с регулируемым гидролого-гидрохимическим режимом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена на научно-экспериментальной базе Южного научного центра Российской академии наук и в Астраханском государственном техническом университете. Самок гибрида стерлядь × белуга содержали в модульной установке замкнутого водоснабжения с регулируемым гидролого-гидрохимическим режимом при температуре 19–22°C. На завершающей стадии созревания половых желез самок вводили в режим искусственной зимовки, понижая в сутки температуру воды на 1 до 6°C. В режиме “зимовки” самок выдерживали от двух до четырех недель в зависимости от степени созревания ооцитов, а затем постепенно на 1°C в сут поднимали температуру воды до нерестовой – 14–15°C (Матишов и др., 2011). Зрелость половых желез определяли, применяя УЗИ диагностику (Чебанов, Галич, 2010) с уточнением биопсийным методом по шкале В.В. Трусова (1964). Кровь отбирали у самок гибрида, находящихся на различной стадии зрелости гонад из хвостовой вены, мочу из мочеточников катетером. Наряду с половозрелыми самками, исследовали молодых рыб на I СЗГ. В сыворотке крови исследовали содержание общего белка и липидов, β-липопротеидов, холестерина, в целой крови – концентрацию гемоглобина и скорость оседания эритроцитов. Величину общего белка определяли рефрактометрически (Филиппович и др., 1982), на рефрактометре ИРФ-454Б2М, общие липиды – колориметрическим методом на основе взаимодействия гидролизированных липидов с фосфорно-ванилиновым реактивом используя набор реактивов фирмы PLIVA – Lachema (Zöllner, N. and Kirsch, 1962), холестерин – энзиматическим колориметрическим методом с помощью наборов “Холестерин-Ольвекс”. Определение β-липопротеидов вели турбидиметрическим методом по (Burstein, Samaille, 1958), СОЭ – методом Панченкова (Лиманский и др., 1984), содержание гемоглобина в крови – унифицированным цианметгемоглобиновым фотометрическим методом (Van Kampen, Zijlstra, 1961), осмоляльность сыворотки крови и мочи – криоскопическим методом на осмометре OSKR-1. Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью пакетов программ Microsoft

Excel: описательной статистики и вычислением двухвыборочного t-теста с различными дисперсиями, в результате которого определяли уровень значимости (*p*) для сравниваемых неравночисленных малых выборок (Лакин, 1990).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование физиолого-биохимических показателей, проведенное на самках гибрида стерлядь × белуга, выращиваемых в УЗВ, выявило изменчивость их величин, в зависимости от зрелости половых желез (табл. 1). Функциональному состоянию молодых самок на I СЗГ соответствовали низкие значения исследуемых параметров крови, за исключением общих липидов. Самки на II СЗГ – это взрослые рыбы, вступившие в репродуктивный период с закономерным повышением в крови общего белка в 1.4 раза и β-липопротеинов – в 1.7 раза при некотором снижении концентрации общих липидов в 1.2 раза и примерно одинаковых значениях содержания гемоглобина и холестерина, в сравнении с молодыми особями, при статистическом подтверждении таких изменений (*p* < 0.05). Увеличение СОЭ в 1.5 раза, статистически не подтверждается (*p* > 0.05). Такие изменения в физиолого-биохимических показателях крови свойственны переходу от неполовозрелых рыб к половозрелым.

В динамике величин исследуемых показателей крови в половом цикле самок гибрида, выращиваемых в УЗВ, выявлена различная интенсивность изменений. Величина СОЭ и содержание в крови гемоглобина от II к IV_{нез} (незавершенная) СЗГ у самок гибрида изменяется мало. Можно отметить лишь небольшой статистически незначимый подъем содержания в крови гемоглобина в этот период. В то же время концентрация общего сывороточного белка увеличивается, но только к IV_{нез} СЗГ в 1.3 раза (*p* < 0.05) в отношении к предыдущей стадии полового цикла (III СЗГ). Несколько иная динамика содержания в крови холестерина. Его значение увеличивается у самок со II СЗГ к III в 1.3 раза и уменьшается к IV_{нез} почти до прежней величины. Однако это снижение не находит свое подтверждение статистически (*p* > 0.05). В динамике содержания β-липопротеинов в крови самок хотя и прослеживается некоторое их увеличение при переходе от II СЗГ к IV_{нез} в 1.5 раза, однако значимые различия (*p* < 0.05) появляются по этому параметру крови лишь между самками II и IV_{нез} СЗГ. Изменения значений концентрации этого липопротеида в период между II и III, а также III и IV_{нез} стадиями формирования половых желез оказываются несущественными (*p* > 0.05). Вариабельность содержания общих липидов в крови в половом цикле самок гибрида

Таблица 1. Характеристика физиолого-биохимических показателей крови ($M \pm m$) самок гибрида стерлядь \times белуга на разных стадиях полового созревания

Стадия зрелости гонад	СОЭ, мм/ч	Гемоглобин, г/л	Общий сывороточный белок, г/л	Холестерин, ммоль/л	β -липопротеины	Общие липиды
					г/л	
I	2.7 ± 0.6	65.5 ± 7.2	22.8 ± 2.6	2.30 ± 0.15	2.40 ± 0.14	6.48 ± 0.19
	5	4	5	5	5	5
II	4.1 ± 0.4	55.1 ± 2.7	$31.0 \pm 2.1^*$	2.60 ± 0.22	$4.03 \pm 0.33^*$	$5.30 \pm 0.46^*$
	23	23	22	22	22	13
III	3.9 ± 0.4	63.7 ± 5.2	30.4 ± 3.1	$3.47 \pm 0.33^*$	5.10 ± 0.66	$3.49 \pm 0.36^*$
	14	12	14	15	15	10
IV _{нез}	4.3 ± 0.3	61.0 ± 3.1	$41.0 \pm 3.2^*$	2.80 ± 0.20	5.90 ± 0.64	4.30 ± 0.52
	15	15	16	16	15	12
IV _{зав}	$2.9 \pm 0.5^*$	$76.7 \pm 3.8^*$	44.6 ± 1.6	$4.11 \pm 0.21^*$	7.32 ± 0.51	$8.40 \pm 0.70^*$
	11	11	11	11	11	11

Примечание. Здесь и в табл. 2 над чертой – среднее и его ошибка, под чертой – количество рыб в группе; IV_{нез} – самки до искусственной зимовки, IV_{зав} – после искусственной зимовки.

* $p < 0.05$ при сравнении с предыдущей стадией зрелости.

стерлядь \times белуга по своей динамике схожа с таковой общего сывороточного белка. Также снижается содержание общих липидов в крови у самок от II к III СЗГ, а затем увеличивается к IV_{нез} стадии, не достигая исходных значений. В первом случае концентрация липидов в крови снизилась в 1.5 раза ($p < 0.01$), во втором – повысилась в 1.2 при $p > 0.05$. Наиболее существенные изменения отмечены после проведения искусственной зимовки, при которой осуществляется переход от IV_{нез} к IV_{зав} (завершенной) стадии.

Дозревание ооцитов до IV_{зав} СЗГ у весенне-нерестующих осетровых в естественной среде протекает при низких температурах. Имитацией этих условий служит этап “зимовки” при УЗВ выращивании, при которой синхронизируется морфофизиологическое состояние ооцитов (Сариев и др., 2019; Щербина и др., 2019).

В этот период наблюдаются наиболее существенные изменения исследуемых нами физиолого-биохимических показателей крови. Значения всех показателей, за исключением СОЭ, увеличились после выдерживания самок при низких температурах: содержание гемоглобина в крови – в 1.3 раза ($p < 0.05$), холестерина – в 1.5 раза ($p < 0.001$), общих липидов – почти в 2 раза ($p < 0.001$). При этом скорость оседания эритроцитов, наоборот, снизилась в 1.5 раза ($p < 0.05$). Величины остальных показателей крови – общего сывороточного белка и β -липопротеинов – хотя и увеличиваются соответственно в 1.1 и 1.2 раза, но недостоверно ($p > 0.05$).

Осмоляльность крови и мочи у самок гибрида также имеет определенную вариабельность, в зависимости от стадий зрелости гонад (табл. 2). У молодых самок, I СЗГ, уровень осмоляльности

крови наибольший, при наименьшем в моче. У самок гибрида репродуктивного возраста в начале полового цикла (II СЗГ) величина осмоляльности крови несколько ниже, чем у молодых самок ($p > 0.05$). В то же время различия между осмоляльностями мочи у самок II и I СЗГ существенны и достигают 2.5 раза ($p < 0.001$).

Переход самок в фазу трофоплазматического роста ооцитов сопровождается небольшим (~4%) статистически незначимым снижением осмоляльности крови на III стадии формирования половых желез, с последующим увеличением на 5% ($p < 0.05$) на IV_{нез} по отношению к предыдущей стадии. Осмоляльность мочи недостоверно увеличивается от II к III СЗГ (на 14%), с дальнейшим увеличением на IV_{нез} стадии в 1.2 раза ($p < 0.05$). Более существенные изменения в осмоляльности

Таблица 2. Осмоляльность (ммоль/кг H₂O) крови и мочи у самок гибрида стерлядь \times белуга на разных стадиях полового созревания

Стадия зрелости гонад	Кровь	Моча
I	265 ± 4.6	19.60 ± 4.6
	3	5
II	256 ± 3.6	$49.67 \pm 3.0^*$
	32	20
III	247 ± 3.8	56.92 ± 5.0
	21	13
IV _{нез}	$260 \pm 4.6^*$	$70.84 \pm 6.1^*$
	24	19
IV _{зав}	$224 \pm 5.4^*$	$41.0 \pm 2.2^*$
	11	11

мочи наблюдаются уже после прохождения самками этапа искусственной зимовки и перехода самок в $IV_{\text{зав}}$ стадию формирования ооцитов. Ее величина снижается в 1.7 раза. Осмолярность крови также снижается на этом этапе, но лишь на ~16%. Изменения в обоих случаях подтверждаются статистическим анализом ($p < 0.05$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В условиях УЗВ изменения в функциональном состоянии самок, в зависимости от стадии зрелости гонад, имеют свои особенности, которые отсутствуют у самок из естественной популяции и чистых видов, и гибридов, выращиваемых при естественном (природном) температурном режиме. Исключением можно назвать переход самок гибрида в условиях УЗВ в репродуктивное состояние, т.е. с I во II СЗГ. По динамике большинства показателей крови такой переход соответствует подобному у естественных популяций (Лукьяненко, Гераскин, 1966; Шелухин, 1974; Субботкин, 1979). Однако рост содержания в крови белка и β -липопротеинов при переходе с I на II СЗГ в естественных популяциях отсутствует. Такие изменения наблюдаются на более ранних стадиях онтогенетического развития рыб по содержанию в крови белка и гемоглобина (Гершанович и др., 1987). Также отмечено увеличение концентрации β -липопротеинов в крови, но лишь на 15%, у самок I–II СЗГ, в сравнении с ювенальными особями, при исследовании русского осетра в море (Субботкин, 1979). Обращает на себя внимание и повышенный (более чем вдвое), в сравнении с белугой и другими видами осетровых рыб естественных популяций, уровень β -липопротеинов самок гибрида стерлядь \times белуга на II СЗГ в условиях УЗВ. Относительно низкий уровень в крови гемоглобина, который отмечается на всем протяжении развития половых желез, видимо, также свойственен выращиванию осетровых рыб в УЗВ. Так, у ленского осетра при выращивании по технологии УЗВ также выявлено более низкое содержание гемоглобина (55.6 г/л), в сравнении с тем же видом рыб (87.9 г/л), но в условиях тепловодного бассейнового хозяйства (Корабельникова, 2009).

Однако наибольшие особенности выявлены в динамике исследуемых показателей крови СОЭ, содержание в крови гемоглобина и общих липидов в разных фазах полового цикла рыб, хотя направленность изменений была такой же, как у естественных популяций, за некоторым исключением. Это СОЭ, содержание в крови гемоглобина и общих липидов.

Для самок природных популяций естественно повышение значений у показателей крови, характеризующих уровень белкового и жирового обмен

на в фазе трофоплазматического роста ооцитов, а также увеличение концентрации гемоглобина, обеспечивающего повышенную интенсивность обменных процессов у рыб, при некотором увеличении СОЭ на конечных этапах созревания (Гапонов, 1974; Шелухин, 1974; Гераскин и др., 1984, 2017). Максимальные значения они приобретают на III и промежуточной III–IV стадиях формирования половых желез. У полностью созревших самок содержание в крови гемоглобина, белка, β -липопротеинов снижается, в зависимости от показателя, в 1.5–3 раза. Исключением является холестерин, его содержание остается высоким до предовуляционного периода – гомогенезации содержимого ооцита. Содержание в крови общих липидов самок естественных популяций остается высоким до предовуляционного периода, с дальнейшим снижением (Шелухин, 1974). Необходимо заметить при этом, что функциональное состояние самок осетровых рыб из природных популяций на завершающих стадиях созревания ооцитов различны. В одних случаях оно ближе к предовуляционному состоянию, в других, наоборот, ближе к III стадии созревания. Однако направленность изменений всегда одна и та же.

У исследуемых нами самок гибридов направленность изменений содержания в крови гемоглобина, белка, β -липопротеинов, общих липидов и холестерина в половом цикле такая же, как и у природных популяций. Их выраженность нечеткая из-за небольшой разницы в величинах этих показателей у самок различных стадий созревания гонад. Кроме того, максимум содержания этих биохимических компонентов в крови до перевода самок на искусственную зимовку приходится на $IV_{\text{нез}}$ СЗГ, кроме общих липидов и концентрации в крови гемоглобина. Обращает на себя внимание почти неменяющаяся скорость оседания эритроцитов у исследуемых самок вплоть до $IV_{\text{нез}}$ СЗГ, в то время как у более зрелых рыб она должна увеличиваться (Гапонов, 1974; Гераскин и др., 1984).

Совершенно другую направленность, в сравнении с естественными популяциями, показали исследуемые нами физиолого-биохимические показатели крови после искусственной зимовки, которая инициирует переход из $IV_{\text{нез}}$ в $IV_{\text{зав}}$ СЗГ. Если у естественных популяций содержание в крови гемоглобина, белка и β -липопротеинов снижается, при постоянно высоком уровне холестерина и общих липидов и небольшом повышении скорости оседания эритроцитов, то у самок гибрида после зимовки они имеют противоположную направленность. Это, по всей видимости, является результатом дегидратации (сгущения) крови, вследствие чего снижается скорость оседания эритроцитов и повышается содержание составляющих ее компонентов, но в неравной

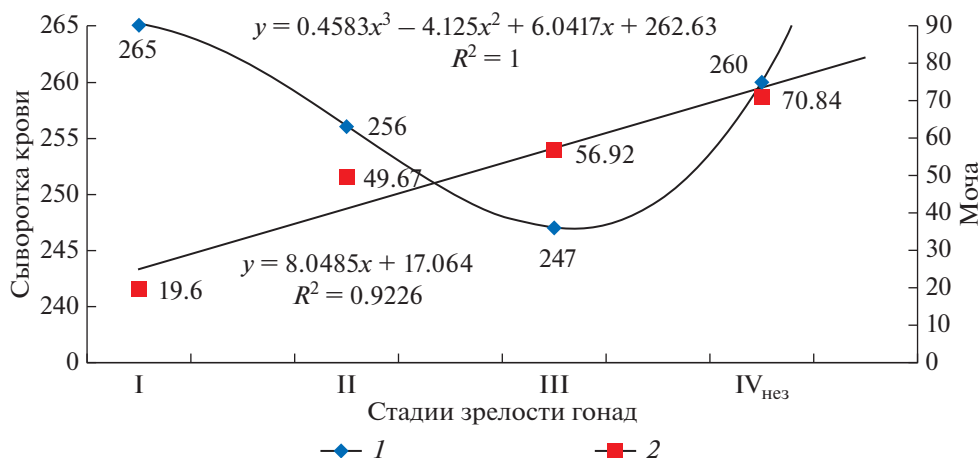


Рис. 1. Осмоляльность (ммоль/кг Н₂O) сыворотки крови и мочи у гибрида стерлядь × белуга в различные периоды гонадогенеза в условиях установки замкнутого водообеспечения. 1 – сыворотка крови (полиномиальная), 2 – моча (линейная).

степени. Если принять во внимание, что содержание в крови холестерина, по нашим ранее проведенным исследованиям, почти не изменяется, то можно предположить, что уровень изменений других показателей крови, по отношению к такому холестерину, показывает действительную направленность функциональных изменений. Если содержание холестерина увеличилось в 1.5 раза, то белка, β-липопротеинов и гемоглобина примерно в 1.1–1.3 раза. Из этого следует, что фактическое содержание белка, по расчетам, участвующим сгущение крови, уменьшилось примерно на 25%, а β-липопротеинов и гемоглобина осталось на прежнем уровне, как и скорость оседания эритроцитов. Содержание в крови общих липидов, даже с учетом дегидратации, увеличилось, в отличие от естественных популяций рыб, у которых оно остается примерно на том же уровне, т.е. при переходе от IV_{нез} к IV_{зав} стадии появляются особенности функционального состояния самок, не свойственные рыбам в естественных условиях.

По мнению некоторых авторов (Щербина и др., 2019) традиционная практика выращивания осетровых в УЗВ не учитывает специфику созревания ооцитов, связанную с сезонными изменениями обмена веществ и, в частности генеративного обмена. Считается (Айзенштадт, 1977; Детлаф и др., 1981), что осеннее снижение температуры в естественных условиях, как и последующая зимовка, оказывает существенное влияние на генеративный обмен, изменения в котором способствуют созреванию развивающихся яйцеклеток.

Сложные преобразования в процессе созревания самок осетровых рыб претерпевает и водно-солевой обмен. При этом изменения в осмоляльности крови и мочи при переходе самок в репродуктивный период (на II СЗГ) вписывается в об-

щую закономерность этих перестроек, свойственную уже половому циклу (рис. 1). Подобные изменения в водно-солевом обмене, имеют место и у других видов осетровых рыб при их созревании в естественной среде (Металлов и др., 1997, 2010), которые инициированы влиянием половых гормонов (Magnin, 1962; Наточин и др., 1995).

Неожиданным оказалось снижение осмоляльности крови и мочи у самок гибрида после прохождения искусственной зимовки. Исходя из полученных нами зависимостей, при их пролонгации должно быть повышение этих показателей. Кроме того, то же самое должно быть и при дегидратации крови. Это наводит на мысль, что в этом случае примешивается другой фактор, влияющий на водно-солевой обмен, по всей видимости, гормонального характера.

Проведенная серия опытов по влиянию гормонов гипофиза на осмоляльность крови неполовозрелых особей русского осетра (Металлов, 1977), однозначно свидетельствовала о снижении этого показателя в 1.3 раза. Та же направленность изменений наблюдалась и у пресноводных рыб при неблагоприятных внешних условиях, т.е. в условиях стресса (Мартемьянов, Борисовская, 2010; Мартемьянов, 2014).

Итак, снижение концентрации осмотически активных веществ в крови и моче самок гибрида, при их переходе в состояние искусственной зимовки и выхода из нее, является закономерным результатом интенсивной секреции через жабры во внешнюю среду ионов натрия, а значит снижения внутренней осмоляльности и повышения скорости диуреза (Мартемьянов, 2015). Последнее в совокупности с небольшой скоростью проникновения воды в тело рыб при низких температурах, по всей видимости, и приводит к сгущению крови.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование динамики физиолого-биохимических показателей у самок гибрида стерлядь × белуга на различных этапах формирования половых желез выявило ряд особенностей изменения их функционального состояния в сравнении с рыбами, созревающими в естественных условиях. Круглогодичное содержание осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения при достаточно высокой плотности и в отсутствие сезонных колебаний температуры, в условиях искусственного кормления и искусственной зимовки на завершающих этапах генеративного обмена оказывает влияние на естественную динамику метаболических процессов. В сравнении с рыбами из естественных популяций, интенсивность процессов несколько снижена, а вителлогенез растянут, со сдвигом максимальной интенсивности генеративного обмена в сторону следующей стадии формирования ооцитов, о чем свидетельствует уровень белка и β -липопротеинов в крови, максимум которого приходится на IV_{нез} СЗГ. Заметим при этом, что в состав β -липопротеинов входит вителлогенин или иначе овоцителлин (Ипатов, Лукьяненко, 1979), принимающий непосредственное участие в формировании ооцитов. На пониженную интенсивность обмена веществ указывает и относительно низкий уровень гемоглобина в крови в этот период. Как известно, высокая интенсивность метаболизма обеспечивается соответственной напряженностью тканевого дыхания и окислительных процессов (Шульман, 1972). Полученные материалы исследований однозначно показывают необходимость в дальнейшем совершенствовании технологии выращивания в УЗВ, обеспечивающей большую физиологичность процесса созревания ооцитов, особенно для получения жизнестойкого потомства. К такому же выводу приходят авторы, предлагающие ввести в технологический процесс, наряду с зимовкой, “осенний нагул” при сохранении кормления, имитирующего сезонные изменения в содержании производителей (Щербина и др., 2019).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. 01201354245 с использованием УНУ “МУК” Южного научного центра РАН и Биоресурсной коллекции редких и исчезающих видов рыб Южного научного центра РАН № 73602.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Айзенштадт Т.Б. 1977. Рост ооцитов и вителлогенез // Современные проблемы оогенеза. Москва: Наука. С. 5.

- Баденко Л.В., Дорошева Н.Г., Корниенко Г.Г., Чихачева В.П.* 1984. Эколого-физиологические основы повышения эффективности заводского разведения азоских осетровых // Воспроизводство рыбных запасов Каспийского и Азовского морей. Москва: ВНИРО. С. 88.
- Блинков Б.В., Кокоза А.А.* 2014. Особенности формирования репродуктивной функции в зависимости от режима кормления, на примере русского осетра, культивируемого в УЗВ // Рыбное хозяйство. № 4. С. 104.
- Гапонов В.С.* 1974. РОЭ у ходовых и инъектированных производителей осетровых // Тезисы отчетной сессии ЦНИОРХ (Посвящается 10-летию Института). Астрахань: ЦНИОРХ. С. 35.
- Гераскин П.П., Металлов Г.Ф., Аксенов В.П.* 1984. Физиолого-биохимическая характеристика самок севрюги, используемых для искусственного воспроизводства // Осетровое хозяйство водоемов СССР. Астрахань: Центрально-исследовательский институт осетрового хоз-ва. С. 81.
- Гераскин П.П., Металлов Г.Ф., Григорьев В.А., Яицкая М.В.* 2017. Физиолого-биохимические закономерности созревания самок осетровых рыб // Аквакультура: мировой опыт и российские разработки. Ростов-на-Дону: Южный научный центр РАН. С. 493.
- Гераскин П.П., Ковалева А.В., Григорьев В.А. и др.* 2019. Оценка физиологической подготовленности к репродуктивной функции доместичированных самок белуги и выращенных от икры в искусственных условиях // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. № 4. С. 95. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-4-95-103>
- Гершанович А.Д., Пегасов В.А., Шатуновский М.И.* 1987. Экология и физиология молоди осетровых. Москва: Агропромиздат.
- Детлаф Т.А., Гинзбург А.С., Шмальгаузен О.И.* 1981. Развитие осетровых рыб. Созревание яиц, оплодотворение, развитие зародышей и предличинок. Москва: Наука.
- Ипатов В.В., Лукьяненко В.И.* 1979. Сывороточные белки рыб: гетерогенность, структура и функции // Успехи соврем. биол. Вып. 1(4). Т. 88. С. 108.
- Корабельникова О.В.* 2009. Физиолого-биохимические показатели осетровых рыб (Acipenseridae Voparagte, 1832) при выращивании в индустриальных хозяйствах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва: ВНИРО.
- Лакин Г.Ф.* 1990. Биометрия. Москва: Высш. шк.
- Лиманский В.В., Яржомбек А.А., Бекина Е.Н., Андронников С.Б.* 1984. Инструкция по физиолого-биологическим анализам рыбы. Москва: ВНИИПРХ.
- Лукьяненко В.И., Гераскин П.П.* 1966. Количественная характеристика гемоглобина крови у осетровых в морской и речной периоды жизни // Тезисы докладов на Отчетной сессии Центрально-исследовательского института осетрового хозяйства “ЦНИОРХ” (22–25 февраля 1966 года). Астрахань: Центрально-исследовательский институт осетрового хозяйства. С. 41.

- Лукьяненко В.И., Кулик П.В. 1994. Физиолого-биохимическая и рыбоводная характеристика разновозрастных производителей волго-каспийских осетровых в связи с проблемой их искусственного воспроизводства. Рыбинск: Ин-т биологии внутренних вод РАН.
- Лукьяненко В.И., Шелухин Г.К. 1970. Особенности функционального состояния осетровых в морской и речной периоды жизни // Биологические процессы в морских и континентальных водоемах: Тез. докл. II съезда ВГБО. Кишинев: Ред.-издат. отдел АН СССР. С. 227.
- Мартемьянов В.И. 2014. Динамика содержания натрия и калия в плазме, эритроцитах и мышцах пресноводных рыб при продолжительном и комбинированном стрессе // Биол. внутр. вод. № 4. С. 78.
- Мартемьянов В.И. 2015. Физиологические механизмы регуляции водного гомеостаза у пресноводных гидробионтов при адаптации к факторам среды // Труды ИБВВ РАН. Вып. 72(75). С. 99.
- Мартемьянов В.И., Борисовская Е.В. 2010. Показатели водно-солевого обмена у вселившейся в рыбинское водохранилище тюлька *Clupeonella cultriventris* (Clupeiformes, Clupeidae) в сравнении с аборигенными морскими видами рыб // Рос. журн. биол. инвазий. Т. 3. № 2. С. 37.
- Матишов Г.Г., Пономарева Е.Н., Журавлева Н.Г. и др. 2011. Практическая аквакультура. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного научного центра РАН.
- Металлов Г.Ф. 1977. Концентрация осмотически активных веществ и ионов в сыворотке крови осетровых в морской и речной периоды жизни: Автореф. дис. ... к.б.н. Ленинград: Ин-т эволюц. физиол. биохим. им. И.М. Сеченова АН СССР.
- Металлов Г.Ф., Гераскин П.П., Аксенов В.П. 1997. Физиолого-биохимические аспекты оценки рыбоводного "качества" самок севрьюги *Acipenser stellatus* (Pall.) // Рыб. хоз-во. Сер. Аквакультура, информационный пакет. Москва: ВНИЭРХ. С. 4.
- Металлов Г.Ф., Пономарев С.В., Аксенов В.П., Гераскин П.П. 2010. Физиолого-биохимические механизмы эколого-адаптационной пластичности осморегулирующей системы осетровых рыб: монография. Астрахань: Изд-во Астрахан. гос.-техн. ун-та.
- Насыров Л.Ш., Подушка С.Б. 2017. Икорная продуктивность стербела – гибрида стерляди и белуги // Рыб. хоз-во. № 2. С. 80.
- Наточин Ю.В., Лукьяненко В.И., Шахматова Е.И. и др. 1995. Двадцатилетний мониторинг (70–90-е годы) физико-химических параметров сыворотки крови у русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* // Вопр. ихтиол. Т. 35. Вып. 2. С. 253.
- Пономарев С.В., Иванов Д.И. 2009. Осетроводство на интенсивной основе. Москва: Изд-во "Колос".
- Пономарева Е.Н., Ковалева А.В., Коваленко М.В. и др. 2019. Особенности роста различных гибридных форм осетровых видов рыб // Наука юга России. Т. 15. № 3. С. 81.
- Сариев Б.Т., Туменов А.Н., Бакиев С.С. и др. 2019. Влияние совокупности различных технологических факторов на эффективность процессов созревания и получения прижизненной икры // Международный научно-исследовательский журнал. № 10(88). Ч. 1. С. 95.
<https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.018>
- Субботкин М.Ф. 1979. Концентрация сывороточных бета-липопротеидов у каспийских осетровых в морской и речной периоды жизни // Осетровое хозяйство внутренних водоемов СССР. Астрахань: Типография издательства "Волга".
- Трусов В.З. 1964. Некоторые особенности созревания и шкала зрелости половых желез осетра // Труды ВНИРО: Осетровые Южных морей Советского Союза. Москва: Изд-во "Пищевая промышленность". Т. 56. С. 69.
- Филиппович Ю.Б., Егорова Т.А., Севастьянова Г.А. 1982. Практикум по общей биохимии. Москва: Просвещение.
- Чебанов М.С., Галич Е.В. 2010. Ультразвуковая диагностика осетровых рыб. Краснодар: Просвещение-Юг.
- Шульман Г.Е. 1972. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. Москва: Пищ. пром-сть.
- Шелухин Г.К. 1974. Физиолого-биохимические параметры осетровых в морской и речной периоды жизни: Автореф. дис. ... к.б.н. Петрозаводск: Петрозаводск. гос. ун-т им. О. В. Куусинена.
- Щербина М.А., Бурлаченко И.В., Мышкин А.В. и др. 2019. О целесообразности специального предзимнего кормления самок осетровых рыб в промышленных условиях // Труды ВНИРО. Т. 175. С. 175.
- Burstein M., Samaille J. 1958. Determination of serum beta-lipoproteins after selective precipitation of heparin // La Presse Medicale. V. 66. P. 974.
- Geraskin P.P., Shelukhin G.K., Metallow G.F., Aksenov V.P. 1999. Specific functional features of sexual maturation and quality of sevruga (*Acipenser stellatus* P.) females // J. Appl. Ichthyol. V. 15 (4–5). P. 339.
- Magnin E. 1962. Recherches sur la systematique et la biologie de Acipenserides (*A. sturio*, *A. oxyrinchus*, *A. fulvescens*) // Ann. Stat. Centr. Hydrob. 9. P. 170–242.
- Ponomareva E., Geraskin P., Sorokina M. et al. 2020. Features of the reproductive system development in the installations of closed water supply system // E3S Web Conf. XIII International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020". V. 175. P. 8.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017502012>
- Van Kampen E.J., Zijlstra W.G. 1961. Standardization of hemoglobin metry. II. The hemoglobin cyanide method // Clin. Chim. Acta. V. 6. P. 538.
- Zöllner, N. and Kirsch, K. 1962. Über die quantitative Bestimmung von Lipoiden (Mikromethode) mittels der vielen natürlichen Lipoiden (allen Bekannten plasmolipoiden) gemeinsamen Sulfophosphovanilin-Reaktion // Zeitschrift Für Die Gesamte Experimentelle Medicin. V. 135. № 6. P. 545.
<https://dx.doi.org/10.1007/BF02045455>

Features of Changes in the Functional State of Sturgeon During Maturation in Closed Water Supply Installations

E. N. Ponomareva^{1,2}, P. P. Geraskin², G. F. Metallov¹, A. N. Nevalennyi²,
V. A. Grigoriev^{1,2}, M. N. Sorokina^{1,2,*}, and Yu. V. Fedorovykh²

¹*Federal Research Center of Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia*

²*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

**e-mail: sor-marina@yandex.ru*

The dynamics of physiological and biochemical parameters of blood and urine in the process of gonad maturation in females of the sterlet × beluga hybrid (*Acipenser ruthenus* L., 1758 × *Huso huso* L., 1758) grown using ultrasound technology is studied. It is shown that with this technology, there are features in functional changes that accompany the gonadogenesis of female hybrids, distinguishing them from those of fish from natural populations. At the same time, the direction of generative exchange aimed at the formation of gametes is generally the same as in females from natural populations. However, the severity of this process, reflecting its intensity at different stages of development of the sexual glands, is not as distinct as in females migrating to spawn. Possible reasons for increased blood levels of the studied physiological and biochemical parameters in female hybrids when leaving artificial wintering are discussed.

Keywords: sturgeon, hematological parameters, protein, fat and water-salt metabolism, RAS, gametogenesis