

## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТРАНСФЕРРИНОВ И ИХ РОЛЬ В АКВАКУЛЬТУРЕ ОСЕТРОВЫХ РЫБ**

М.Ф. Субботкин, Т.А. Субботкина

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,  
Ярославская обл., Россия [smif@ibiw.yaroslavl.ru](mailto:smif@ibiw.yaroslavl.ru)

Биология большинства ныне существующих видов осетрообразных (отр. *Acipenseriformes*) в разной степени связана с соленостью воды. Несмотря на разнообразие экологических форм: от типично пресноводных рыб, какой можно считать байкальскую популяцию сибирского осетра, до анадромных мигрантов, обитающих в условиях океанической солености, таких как европейский и американский атлантические осетры или сахалинский осетр, - их всех объединяет одна общая особенность, заключающаяся в пресноводном размножении. Покатные миграции молоди из рек в море и нерестовые миграции производителей из морей в реки требуют специфической настройки разных физиолого-биохимических механизмов на изменение условий обитания и, в частности, на колебания солености. Одной из важнейших функций живого организма является дыхание, обеспечивающее жизнеспособность рыб в различных экологических условиях. Реализация этой функции осуществляется с участием многих биохимических систем организма. Доставка кислорода в клетки органов и тканей выполняется гемоглобинами крови, относящимися к группе железосодержащих белков. У разных по экологии видов и внутривидовых группировок современных осетровых они представлены множественными компонентами, которые отличаются своими биохимическими и функциональными характеристиками (Лукьяненко, Васильев, Лукьяненко, 1991; Лукьяненко, Васильев, Камшилов, 2000). Более того, фракционный состав гемоглобинов непостоянен, он подвержен онтогенетической изменчивости и зависит от возраста рыб (Гераскин, 1978). Метаболизм гемоглобинов невозможен без участия ионов трехвалентного железа, перенос которых в организме осуществляется трансферринами крови. Однако, это не единственная важная функция трансферринов. Они также способны распознавать гемоглобин-синтезирующие ретикулоциты, т.е. обеспечивать поставку железа только в те клетки, которые испытывают специфическую потребность в нем (Aisen, 1973). Это обуславливает четкую функциональную связь различных уровней метаболических процессов, участвующих в физиологии дыхания.

Проведенными нами иммунохимическими исследованиями установлена возрастная изменчивость антигенов белков крови, обнаружена этапность и гетерохронность их формирования в онтогенезе (Субботкин, Субботкина, 2004 а, б). Ранее было показано, что трансферрины крови осетров представлены двумя компонентами (Субботкин, Субботкина, 2003). У морских и пресноводных видов возрастная изменчивость трансферринов имеет однонаправленный характер, в отличие от изменчивости гемоглобинов (Субботкин, Субботкина, 2004б). Это важное обстоятельство делает трансферрины универсальным физиолого-биохимическим показателем при изучении различных видов осетровых, независимо от особенностей их экологии, связанных с местами обитания и размножения, в том числе в естественных водоемах и на рыбоводных заводах.

В онтогенезе трансферрины осетровых развиваются несинхронно (Субботкин, Субботкина, 2004 а, б). Первоначально, на ранних этапах постэмбрионального развития в крови появляется трансферрин "В", вероятно, узкоспециализированный белок, обеспечивающий синтез гемоглобинов, которые функционируют исключительно в пресной воде нерестовой реки. Этот компонент мы называем "пресноводным" трансферрином. В возрасте около 4 месяцев в крови появляется компонент "А", получивший название "универсального" трансферрина. Мы считаем, что он участвует в синтезе широкого пула гемоглобинов, которые одинаково эффективно функционируют как в пресной, так и соленой воде. В течение первого года жизни трансферрин "А" развивается в антиген, который, по размерам дуги преципитации, существенно не отличается от трансферрина "В". Затем в онтогенезе белков крови осетровых наступает период относительной стабильности, когда не происходит значительных изменений в спектре антигенов. Длительность такого периода может составлять до 6 лет. Однако мы не ис-

ключаем, что у некоторых видов с относительно коротким жизненным циклом (стерлядь) такой период может быть менее продолжительным. По завершению этого периода, синтез белка, приходящегося на трансферрин "А" усиливается, его доля в крови существенно возрастает. В конечном итоге, иммуноэлектрофореграммы белков приобретают черты взрослых рыб, у которых этот компонент трансферринов, наряду с основным компонентом альбуминов, является количественно доминирующим антигеном.

Этапность онтогенетических преобразований трансферринов у проходных рыб, являющаяся следствием и отражением длительной эволюции, связана с различными периодами жизненного цикла (пресная вода → солоноватоводные устья → вода океанической солености), когда требования организма рыб к газовому режиму окружающей среды меняются в соответствии с перестройкой физиологии дыхания. Современные пресноводные осетровые, в своем индивидуальном развитии не имеющие контактов с соленой водой, сохраняют этапность трансферринов, аналогичную проходным видам. Поэтому устойчивость разновозрастной и разного размера молодежи к дефициту кислорода будет зависеть не только от вида рыб, но и конкретного этапа онтогенетического развития белков крови. При этом определяющее значение могут иметь размеры рыб, а не их возраст.

Сравнительный анализ антигенов анадромных и потамодромных видов осетровых выявил различия по трансферринам, обусловленные экологией рыб. Компонент "В" выполняет важную роль в миграционном поведении у проходных форм как фактор, обеспечивающий синтез гемоглобинов, наиболее эффективно функционирующих только в пресной воде во время нерестовых миграций в реке. У пресноводных осетровых, которые не совершают миграций из соленой воды в пресную, этот белок не играет важной роли. В процессе созревания половых продуктов у пресноводных форм, таких как ленская и байкальская популяции сибирского осетра, *Acipenser baerii*, которые обитают в естественно сложных природно-климатических условиях (Рубан, 1999), или большой амударьинский лопатонос, *Pseudoscaphirhynchus kaufmanni*, находящийся в экстремальных условиях экологической катастрофы (Zholdasova, 1997), синтез трансферрина "В" может редуцироваться, что сопровождается понижением его уровня в крови. Масштабы таких изменений неодинаковы у разных особей, но могут приводить к полному исчезновению этого белка в крови. Редукция трансферрина "В" впервые отмечается уже у рыб с гонадами III стадии, далее прослеживается на более поздних стадиях, вплоть до нерестового состояния, и сохраняется у отнерестившихся рыб на стадии VI. По-видимому, синтез этого компонента трансферринов является энергетически высоко затратным процессом, поэтому пресноводные осетровые вынуждены жертвовать этим функционально мало значимым для них белком. Таким образом, в ходе эволюции у осетровых был выработан эффективный механизм сокращения затрат, необходимых для созревания половых продуктов, который заключается в редукции синтеза компонента "В" трансферринов. Этот феномен может быть использован для сокращения затрат на производство икры от различных видов осетровых рыб, в том числе и проходных форм, в условиях аквакультуры, за счет разработки способа блокирования синтеза трансферрина "В". На данном этапе исследований есть основания предполагать, что такой механизм уже реализован в природе естественным путем у американского веслоноса, *Polyodon spatula*, у которого пока не удалось обнаружить антигена, фенотипически сходного с трансферрином "В" других видов сем. *Acipenseridae*.

Таким образом, мониторинг качественного состава и количественного содержания трансферринов в крови осетровых рыб является новым перспективным показателем для аквакультуры, представляющим важное значение, как при формировании маточных стад, так и при производстве икры для коммерческих целей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гераскин П.П. 1978. Видоспецифичность фракционного состава гемоглобина крови осетровых рыб и динамика его формирования в раннем онтогенезе. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь. ИНБЮМ. 20 с.
2. Лукьяненко В.И., Васильев А.С., Лукьяненко В.В. 1991. Гетерогенность и полиморфизм гемоглобина рыб. С-Пб.: Наука. 392 с.
3. Лукьяненко В.И., Васильев А.С., Камшилов И.М. 2000. Гемоглобины рыб: Спектральные характеристики и функциональные свойства. Ярославль. ВВО РЭА. 187 с.
4. Рубан Г. И. 1999. Сибирский осетр *Acipenser baerii* Brandt (структура вида и экология). М.: Геос. 236 с.
5. Субботкин М.Ф., Субботкина Т.А. 2003. Сравнительное иммуноэлектрофоретическое исследование сывороточных белков амударьинского лопатоноса *Pseudoscapharhynchus kaufmanni*. Вopr. ихтиологии. Т. 43. № 2. С. 254-261.
6. Субботкин М.Ф., Субботкина Т.А. 2004 а. Иммуноэлектрофоретический анализ онтогенетической изменчивости белков сыворотки крови осетровых. Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Материалы международ. конф. Петрозаводск. с. 132-133.
7. Субботкин М.Ф., Субботкина Т.А. 2004 б. Возрастная изменчивость антигенных свойств белков осетров (*Acipenseridae*, *Acipenseriformes*). Онтогенез. Т. 35. № 5. С. 359-365.
8. Aisen P. 1973. The transferrins (siderophilins). In: Inorganic biochemistry. Elsevier: Amsterdam-London-New York. P. 280-303.
9. Zholdasova I. 1997. Sturgeons and the Aral Sea ecological catastrophe. *Env. Biol. Fish.* № 48. P. 373-380.