

К характеристике иммунного статуса рыб Новосибирского водохранилища

Н. А. ПОПОВА, П. А. ПОПОВ

Новосибирский государственный университет
630090 Новосибирск, просп. Пирогова, 2

Институт водных и экологических проблем СО РАН
630090 Новосибирск, Морской просп., 2

АННОТАЦИЯ

В работе анализируется ряд показателей иммунного статуса основных промысловых видов рыб Новосибирского водохранилища – леща, язя, плотвы, судака и окуня. Приводится информация по уровням реагирования иммунной системы рыб на эритроцитарные и бактериальные антигены, по содержанию иммуноглобулинов и лизоцима в сыворотке крови. Рассматривается зависимость этих показателей иммунного статуса от видовой принадлежности рыб, их биологического состояния (в частности, заражения леща плероциркоидами *Ligula intestinalis*), от температуры воды. Работа представляет как теоретический интерес – в плане изучения эволюции иммунной системы позвоночных животных, а также организации и функционирования этой системы у рыб – пойкилотермных организмов, так и практический – с точки зрения использования показателей иммунного статуса рыб при оценке состояния водных экосистем, в том числе характера и степени их загрязнения.

ВВЕДЕНИЕ

В современной ихтиологии большое внимание уделяется изучению иммунной системы морских и пресноводных рыб. Прежде всего это относится к исследованиям, проводимым в США, ряде стран Западной Европы, Израиле, Японии [1–5]. В России более или менее активно подобные работы проводятся в европейской части страны [6–9] и почти совсем не осуществляются на территории Сибири и Дальнего Востока.

В 1985 г. нами начато изучение ряда характеристик иммунного статуса рыб из водоемов правобережья Енисея (реки П. и Н. Тунгуски, Хантайка), Забайкалья (реки Витим, Б. Патом, Чара, Тунгир, Олекма), Горного Алтая. Частично результаты этих исследований опубликованы [10–13].

В этом же году нами начаты исследования иммунного статуса рыб Новосибирского водо-

хранилища и его нижнего бьефа (приплотинный участок р. Оби). Частично полученные результаты также вошли в указанные публикации. Основная же часть этих результатов приводится и анализируется в настоящей работе.

Под иммунным статусом рыб понимается совокупность таких характеристик их иммунной системы, как степень развития лимфоидных органов (пронефроса, тимуса, селезенки), общее количество Т- и В-лимфоцитов, активность комплемента, концентрация в сыворотке крови иммуноглобулинов и лизоцима, уровень реагирования антител на антигены и др. [6].

Как известно [2, 3, 14], одним из главных эффекторных механизмов иммунной системы рыб, как и других позвоночных животных, является синтез иммуноглобулинов (ИГ). В отличие от млекопитающих, у которых описано пять классов ИГ, у рыб известен лишь один из них – IgM. По аминокислотному составу и со-

держанию углеводов ИГ рыб сходны с ИГ млекопитающих, но отличаются от последних относительно меньшим разнообразием и низкой аффинностью. В качестве антигенов, с которыми взаимодействуют антитела рыб, выступают высокомолекулярные органические соединения и многие бактерии, в том числе живущие в водоемах.

Теоретическая значимость исследований иммунного статуса рыб определяется необходимостью изучения эволюции иммунной системы позвоночных животных, строения и функционирования этой системы у рыб – пойкилотермных организмов, механизмов адаптации их к условиям обитания. Практическое применение результаты таких исследований находят в рамках ихтиомониторинга качества воды и экологического состояния водных экосистем [15, 16]. Относительно подробно последний аспект рассмотрен нами ранее [17].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Выборки всех видов рыб, кроме леща, представлены половозрелыми особями без разделения по полу и возрасту. У леща часть выборок состоит из половозрелых не зараженных, а другая часть – из половозрелых и неполовозрелых особей, зараженных плероциркоидами ленточного червя *Ligula intestinalis* (L., 1758).

Общий биологический анализ отловленных рыб проводился по принятым в ихтиологии методикам [18]. Всего в период с 1985 по 1998 гг. из нижней и средней зон водохранилища исследовано 240 экз. леща, 120 язя, 105 плотвы, 120 судака и 128 экз. окуня. Каждая выборка состоит из 12–18 особей.

Отбор проб крови рыб, получение сыворотки, определение в ней количества иммуноглобулинов, а также постановка реакции агглютинации осуществлялись общепринятыми в иммунологии рыб методами, подробно описанными, в том числе нами, в предыдущих работах [10–12]. В качестве полидетерминантных антигенов использовали эритроциты барана (ЭБ), эритроциты лабораторных крыс (ЭК), эритроциты мышей (ЭМ) линии СВА, а также три бактериальных антигена – бруцеллу (*Brucella abortus* – *Br. a.*), сальмонеллу (*Salmonella thiphimurium* – *S. t.*) и кишечную палочку (*Echerichia coli* – *E. c.*).

Суспензия эритроцитов содержала 3×10^4 клеток в 1 мм^3 , суспензия бактерий 1×10^6 микробных тел в 1 мм^3 . Титр антител (наибольшее разведение сыворотки, вызывающее агглютинацию) выражали \log_2 разведения. Количество ИГ определяли только в летних и осенних выборках леща, судака и окуня. В связи с отсутствием в нашем распоряжении химически чистого лизоцима, его содержание определяли методом радиальной иммунодиффузии в агаре, содержащем *Micrococcus lysodeiticus* [19]. Калибровочную кривую строили по объединенной сыворотке отловленных в июле 1998 г. половозрелых здоровых (нелигулезных) рыб водохранилища (лещ, язь, судак и окунь); содержание лизоцима в этой сыворотке принимали за 100 % и считали эталоном.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фактические данные по уровню антител на вышеуказанные антигены и содержанию иммуноглобулинов в сыворотке крови исследованных рыб Новосибирского водохранилища отражены в табл. 1–3.

Лещ – *Abramis brama* (L.). У половозрелых особей этого вида рыб, не зараженных плероциркоидами лигулеза, наибольший уровень антител на большинство антигенов оказался в выборке рыб, отловленных в нижней зоне водохранилища 15.07.91 г. и средней зоне водохранилища 30.06 и 22.07.98 г. Заметно ниже уровень антител у леща из средней зоны в выборках 30.08.98 г. и существенно ниже из осенних выборок – 26.10.85, 15.09.95 и 17.09.98 гг. У особей из весенних выборок – 10.05.85, 5.05.91 и 30.04.98 гг. титры на все антигены сравнительно высоки, а в ряде случаев близки или даже превышают (на *S. t.* в выборках 10.05 и 30.04.98 г. по сравнению с выборкой 22.07 и 30.08.98 г.; на *E. c.* в выборках 10.05 и 30.04.98 г. по сравнению с выборкой 15.07.91, 30.06, 22.07 и 30.08.98 г.) титры летних выборок.

У половозрелого леща, зараженного плероциркоидами *L. intestinalis*, уровень антител на все антигены в 1,3 – 2,5 раза ниже, чем у здоровых, при одних и тех же или близких (20 и 22 °С) температурах воды. Лишь в выборках 22.07.98 г. на *E. coli* эта разница составила 1,1

Т а б л и ц а 1

Титры антител на ряд антигенов в сыворотке крови рыб Новосибирского водохранилища

| Вид рыб | Дата отлова | Место отлова | t воды, °С | Возраст рыб, лет | Длина тела рыб L, мм | Масса тела рыб Q, г | Эритроциты | | | Антигены | | |
|----------|-------------|-----------------------|------------|------------------|----------------------|---------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | | | | барана | крыс | мышей | <i>Br. a</i> | <i>S. t.</i> | <i>E. c.</i> |
| Лещ | 10.05.85 | Н. зона | 1,5 | Для всех | Для всех | Для всех | 2,5 ± 0,2 | 2,0 ± 0,3 | 2,2 ± 0,4 | 2,5 ± 0,2 | 1,9 ± 0,2 | 2,5 ± 0,2 |
| | 26.10.85 | Там же | 5 | выборок | выборок | выборок | 0,6 ± 0,1 | 0,5 ± 0,04 | 0,3 ± 0,01 | 1,1 ± 3,7 | 1,4 ± 0,03 | 2,0 ± 0,3 |
| | 5.05.91 | » | 0,8 | 5+ ÷ 8+ | 277–338 | 531–1030 | 2,3 ± 0,2 | 2,2 ± 0,2 | 2,4 ± 0,3 | 2,7 ± 0,3 | 2,2 ± 0,2 | 2,7 ± 0,3 |
| | 15.07.91 | » | 22 | | | | 3,5 ± 0,1 | 2,9 ± 0,2 | 3,2 ± 0,3 | 3,7 ± 0,3 | 2,5 ± 0,05 | 2,3 ± 0,2 |
| | 18.08.95 | Н. зона ^Л | 20 | | | | 1,9 ± 0,2 | 1,1 ± 0,2 | 1,4 ± 0,04 | 1,9 ± 0,2 | 1,0 ± 0,04 | 1,8 ± 0,2 |
| | 15.09.95 | Там же | 16 | | | | 0,9 ± 0,03 | 0,7 ± 0,03 | 0,8 ± 0,03 | 1,6 ± 0,3 | 0,7 ± 0,03 | 1,4 ± 0,3 |
| | 30.04.98 | Ср. зона | 2 | | | | 1,9 ± 0,2 | 2,0 ± 0,2 | 2,1 ± 0,2 | 2,3 ± 0,3 | 1,9 ± 0,2 | 2,5 ± 0,3 |
| | 30.06.98 | Там же | 20 | | | | 3,3 ± 0,2 | 2,8 ± 0,3 | 3,0 ± 0,4 | 3,7 ± 0,3 | 1,5 ± 0,06 | 2,4 ± 0,2 |
| | 30.06.98 | Ср. зона ^Л | 20 | | | | 1,6 ± 0,04 | 1,1 ± 0,04 | 1,2 ± 0,03 | 2,0 ± 0,2 | 1,0 ± 0,02 | 1,6 ± 0,2 |
| | 18.07.98 | Н. зона ^{ЛН} | 22 | | | | 0,4 ± 0,02 | 0,3 ± 0,03 | 0,6 ± 0,1 | 0,4 ± 0,03 | 0,8 ± 0,04 | 1,0 ± 0,02 |
| | 22.07.98 | Н. зона | 24 | | | | 2,8 ± 0,2 | 2,8 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 3,3 ± 0,04 | 1,6 ± 0,03 | 2,1 ± 0,2 |
| | 22.07.98 | Н. зона ^Л | 24 | | | | 1,4 ± 0,06 | 1,5 ± 0,05 | 1,4 ± 0,04 | 2,0 ± 0,2 | 1,2 ± 0,04 | 1,9 ± 0,06 |
| | 30.08.98 | Ср. зона | 18 | | | | 2,7 ± 0,2 | 2,1 ± 0,04 | 2,7 ± 0,2 | 3,0 ± 0,2 | 1,3 ± 0,03 | 1,9 ± 0,1 |
| | 30.08.98 | Ср. зона ^Л | 18 | | | | 1,1 ± 0,03 | 0,9 ± 0,03 | 1,2 ± 0,03 | 1,8 ± 0,04 | 0,9 ± 0,03 | 1,3 ± 0,03 |
| | 17.09.98 | Ср. зона | 14 | | | | 1,7 ± 0,03 | 1,6 ± 0,03 | 1,4 ± 0,03 | 1,4 ± 0,02 | 0,7 ± 0,02 | 1,0 ± 0,02 |
| | 17.09.98 | Ср. зона ^Л | 14 | | | | 0,7 ± 0,02 | 0,7 ± 0,02 | 0,6 ± 0,02 | 0,6 ± 0,02 | 0,5 ± 0,02 | 0,7 ± 0,02 |
| | Язь | 10.05.85 | Н. зона | 1,5 | Для всех | Для всех | Для всех | 2,7 ± 0,3 | 2,2 ± 0,2 | 2,1 ± 0,2 | 2,5 ± 0,3 | 2,2 ± 0,2 |
| 5.05.91 | | Там же | 5 | выборок | выборок | выборок | 2,5 ± 0,3 | 2,2 ± 0,2 | 1,9 ± 0,2 | 2,2 ± 0,2 | 1,8 ± 0,1 | 2,2 ± 0,2 |
| 15.07.91 | | » | 22 | 3+ ÷ 6+ | 261–350 | 389–877 | 3,0 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 3,3 ± 0,3 | 2,2 ± 0,2 | 2,3 ± 0,2 |
| 1.08.92 | | Ср. зона | 20 | | | | 3,1 ± 0,3 | 2,9 ± 0,3 | 3,3 ± 0,3 | 3,1 ± 0,3 | 2,5 ± 0,3 | 2,2 ± 0,2 |
| 26.10.92 | | Там же | 4 | | | | 0,4 ± 0,03 | 0,5 ± 0,04 | 0,5 ± 0,04 | 0,9 ± 0,05 | 1,1 ± 0,05 | 1,8 ± 0,2 |
| 30.04.98 | | » | 2 | | | | 1,7 ± 0,03 | 1,8 ± 0,04 | 2,0 ± 0,4 | 1,9 ± 0,2 | 2,0 ± 0,2 | 2,4 ± 0,3 |
| 30.06.98 | | » | 20 | | | | 2,8 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 2,8 ± 0,3 | 2,9 ± 0,3 | 1,8 ± 0,2 | 2,4 ± 0,3 |
| 17.09.98 | | » | 14 | | | | 0,5 ± 0,03 | 0,7 ± 0,03 | 0,7 ± 0,03 | 1,0 ± 0,03 | 0,9 ± 0,03 | 1,3 ± 0,03 |
| 10.05.85 | | Н. зона | 1,5 | Для всех | Для всех | Для всех | 2,7 ± 0,3 | 2,4 ± 0,3 | 2,2 ± 0,3 | 2,4 ± 0,3 | 2,4 ± 0,3 | 2,4 ± 0,3 |
| Плотва | 5.05.91 | Там же | 5 | выборок | выборок | выборок | 2,5 ± 0,3 | 2,4 ± 0,3 | 2,3 ± 0,3 | 2,3 ± 0,3 | 2,0 ± 0,2 | 2,3 ± 0,3 |
| | 15.07.91 | » | 22 | 3+ ÷ 6+ | 166–191 | 79–137 | 3,2 ± 0,4 | 2,9 ± 0,4 | 2,7 ± 0,4 | 2,9 ± 0,4 | 2,7 ± 0,4 | 2,7 ± 0,4 |
| | 1.08.92 | Ср. зона | 20 | | | | 3,1 ± 0,4 | 2,7 ± 0,4 | 2,8 ± 0,4 | 3,0 ± 0,4 | 2,8 ± 0,4 | 2,6 ± 0,4 |
| | 26.10.92 | Там же | 4 | | | | 0,8 ± 0,05 | 0,7 ± 0,05 | 0,9 ± 0,05 | 1,2 ± 0,05 | 1,2 ± 0,05 | 1,7 ± 0,1 |
| | 30.06.98 | » | 20 | | | | 3,0 ± 0,3 | 2,8 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 2,9 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 2,8 ± 0,3 |
| | 17.09.98 | » | 14 | | | | 1,1 ± 0,04 | 1,0 ± 0,03 | 1,2 ± 0,04 | 1,1 ± 0,03 | 1,0 ± 0,03 | 1,3 ± 0,04 |
| | 10.05.85 | Н. зона | 1,5 | Для всех | Для всех | Для всех | 1,8 ± 0,1 | 1,7 ± 0,1 | 1,8 ± 0,1 | 1,9 ± 0,2 | 1,8 ± 0,2 | 1,9 ± 0,2 |
| | 5.05.91 | Там же | 5 | выборок | выборок | выборок | 1,6 ± 0,1 | 1,6 ± 0,1 | 1,6 ± 0,1 | 1,8 ± 0,2 | 1,7 ± 0,2 | 1,7 ± 0,2 |
| | 15.07.91 | » | 22 | 4+ ÷ 7+ | 432–518 | 1092–1793 | 2,6 ± 0,3 | 2,5 ± 0,3 | 2,4 ± 0,3 | 2,6 ± 0,3 | 2,5 ± 0,3 | 2,5 ± 0,3 |
| Судак | 1.08.92 | Ср. зона | 20 | | | | 2,6 ± 0,3 | 2,4 ± 0,3 | 2,4 ± 0,3 | 2,5 ± 0,3 | 2,5 ± 0,3 | 2,3 ± 0,3 |
| | 26.10.92 | Там же | 4 | | | | 0,4 ± 0,03 | 0,4 ± 0,03 | 0,4 ± 0,03 | 0,6 ± 0,04 | 0,8 ± 0,03 | 1,2 ± 0,04 |
| | 30.06.98 | » | 20 | | | | 2,5 ± 0,4 | 2,5 ± 0,4 | 2,5 ± 0,4 | 2,4 ± 0,4 | 2,3 ± 0,4 | 2,3 ± 0,4 |
| | 17.09.98 | » | 14 | | | | 0,5 ± 0,03 | 0,5 ± 0,03 | 0,4 ± 0,03 | 0,7 ± 0,03 | 0,8 ± 0,03 | 0,9 ± 0,03 |
| | 10.05.85 | Н. зона | 1,5 | Для всех | Для всех | Для всех | 2,2 ± 0,3 | 2,1 ± 0,3 | 2,0 ± 0,3 | 2,2 ± 0,3 | 2,0 ± 0,3 | 2,1 ± 0,3 |
| | 5.05.91 | Там же | 5 | выборок | выборок | выборок | 2,0 ± 0,3 | 2,0 ± 0,3 | 1,9 ± 0,3 | 2,0 ± 0,3 | 1,8 ± 0,3 | 1,9 ± 0,3 |
| | 15.07.91 | » | 22 | 3+ ÷ 6+ | 238–320 | 254–694 | 3,3 ± 0,4 | 3,2 ± 0,4 | 3,0 ± 0,4 | 3,2 ± 0,4 | 2,9 ± 0,4 | 2,7 ± 0,4 |
| | 1.08.92 | Ср. зона | 20 | | | | 3,2 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 2,9 ± 0,3 | 3,1 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 2,7 ± 0,3 |
| | 6.10.92 | Там же | 4 | | | | 1,0 ± 0,04 | 1,0 ± 0,04 | 1,1 ± 0,04 | 1,3 ± 0,04 | 1,3 ± 0,04 | 1,4 ± 0,04 |
| Окунь | 30.06.98 | » | 20 | | | | 3,1 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 3,1 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 | 2,9 ± 0,3 | 3,0 ± 0,3 |
| | 17.09.98 | » | 14 | | | | 1,0 ± 0,04 | 1,1 ± 0,04 | 1,1 ± 0,04 | 0,9 ± 0,03 | 1,1 ± 0,04 | 1,3 ± 0,04 |

П р и м е ч а н и е. ^Л, ^{ЛН} – выборки лигулезного (^Л) и лигулезного не половозрелого (^{ЛН}) леща соответственно; титры антител – в lg₂ разведения сыворотки.

Количество иммуноглобулинов (ИГ) в сыворотке крови рыб Новосибирского водохранилища

| Вид рыб | Дата отлова | Место отлова | t воды, °С | Длина тела рыб L, мм | Масса тела рыб Q, г | Степень половой зрелости | Наличие паразитов | Количество ИГ, мг/мл |
|----------|-------------|--------------|------------|----------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|
| Лещ | 30.06.98 | Ср. зона | 20 | 380 | 750 | Пвз | Лигулы | 2,7 |
| | 30.06.98 | Там же | 20 | 375 | 730 | Пвз | Лигул нет | 3,0 |
| | 18.07.98 | Н. зона | 24 | 260 | 310 | Не пвз | Лигулы | 2,1 |
| | 30.08.98 | Ср. зона | 18 | 265 | 305 | Не пвз | » | 1,6 |
| | 30.08.98 | Там же | 18 | 265 | 315 | Не пвз | Лигул нет | 3,2 |
| | 30.08.98 | » | 18 | 380 | 760 | Пвз | Лигулы | 2,7 |
| | 30.08.98 | » | 18 | 375 | 740 | Пвз | Лигул нет | 3,2 |
| | 17.09.98 | » | 14 | 400 | 800 | Пвз | » | 2,9 |
| | Судак | 4.07.98 | » | 20 | 480 | 800 | Пвз | – |
| 30.08.98 | | » | 18 | 475 | 790 | Пвз | – | 3,2 |
| 17.09.98 | | » | 14 | 470 | 770 | Пвз | – | 2,8 |
| Окунь | 4.07.98 | » | 20 | 310 | 660 | Пвз | – | 3,2 |
| | 30.08.98 | » | 18 | 308 | 650 | Пвз | – | 3,0 |
| | 17.09.98 | » | 14 | 310 | 670 | Пвз | – | 2,9 |

раза. Также следует отметить, что при понижении температуры воды уменьшение титров антител у здоровых и больных лещей проявляется в большей мере на эритроцитарные и в меньшей мере – на бактериальные антигены.

У неполовозрелых лигулезных особей леща (выборка 18.07.98 г.) титры антител на все антигены существенно ниже, чем у половозрелых лигулезных (выборка 22.07.98 г.) и особенно у половозрелых нелигулезных (выборка 22.07.98 г.) – в 1,5–5,0 и 2,0 – 9,3 раза соответственно.

Сравнение результатов реакции агглютинации по антигенам показывает, что ранжирование уровней титров по этому параметру в разных выборках леща различается. Так, если в выборке 10.05.85 г. этот ряд выстраивается как ЭБ, *Br. a.*, *E. c.* > ЭМ, ЭК > *S. t.*, то в выборке 5.05.91 г. как *Br. a.*, *E. c.*, > ЭМ > ЭБ > *S. t.* Различия в рядах ранжирования имеют место и при сравнении титров на разные антигены во всех других вариантах сопоставления, в том числе выборок лигулезного леща между собой и с выборками здоровых рыб.

Наибольшее количество ИГ (3,2) отмечено как у половозрелых, так и у неполовозрелых нелигулезных особей леща из выборок 30.08.98 г. Близкое к этому количество ИГ (3,0, 2,9) определено в сыворотке крови у половозрелого нелигулезного леща, отловленного в средней зоне 30.06 и 17.09.98 г. Достоверно ниже (2,7) концентрация ИГ у половозрелого лигулезного леща из выборок 30.06 и

30.08.98 г. Существенно ниже (2,1, 1,6) количество ИГ у неполовозрелого лигулезного леща из выборок 18.07 и 30.08.1998 г.

Самый высокий процент (90) содержания лизоцима отмечен у половозрелого нелигулезного леща выборки 30.06.98 г.; в выборках 30.08, 22.07 и 17.09.98 г. этот процент был ниже (85, 79 и 79 соответственно). Еще ниже он был у половозрелых лигулезных (55–68) и особенно у неполовозрелых лигулезных (48) особей этого вида рыб.

Язь – *Leuciscus idus* (L.). Максимальный уровень антител на большинство антигенов выявлен у особей, выловленных 17.08.91 г. в нижней зоне, 1.08.92. и 30.06.98 г. в средней зоне водохранилища, при температуре воды 20–22 °С. Однако уровень антител на *S. t.* и *E. c.* в выборке 30.06.98 г. был заметно ниже (1,8, 2,0) не только по сравнению с титрами для августовских выборок 1991, 1992 гг., но и по сравнению с выборками 10.05.85 и 30.04.98 гг. Как и у леща, сравнительно высокий уровень антител на все антигены отмечен у язя весной – 30.04.98, 5.05.91 и 10.05.85 гг. при температуре воды 1,5–5 °С. Минимальные значения титры имели в осенний период – 17.09.98 и 26.10.92 гг. при температуре воды 14 и 4 °С. Но и в этих выборках уровень антител на бактерии был существенно выше, чем на эритроциты.

Ряды ранжирования значений титров по антигенам у язя, как и у леща, в разных выборках рыб имеют разный характер. Например, для ве-

Суммарный показатель иммунореагирования рыб Новосибирского водохранилища на ряд антигенов по сезонам года

| Сезон | Лещ | | | Язь | | | Плотва | | | Судак | | | Окунь | | | |
|-------------|-------|------|-----|------|------|-----|--------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| СИР весна | 13,6 | 6,7 | 6,9 | 14,3 | 7,0 | 7,3 | 14,5 | 7,3 | 7,2 | 10,9 | 5,3 | 5,6 | 12,6 | 6,3 | 6,2 | |
| | лето | 16,7 | 9,1 | 7,6 | 15,3 | 8,6 | 6,7 | 17,5 | 8,8 | 8,7 | 14,5 | 7,5 | 7,0 | 18,1 | 9,3 | 8,9 |
| | осень | 7,8 | 4,7 | 3,1 | 5,1 | 1,9 | 3,2 | 6,7 | 3,3 | 3,4 | 3,8 | 1,4 | 2,4 | 6,5 | 3,2 | 3,3 |
| Лето/весна* | 1,2 | 1,4 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 0,9 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | |
| Лето/осень | 2,1 | 1,9 | 2,4 | 3,0 | 4,5 | 2,1 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 3,8 | 5,4 | 2,9 | 2,8 | 2,9 | 2,7 | |
| Лето/осень | 1,7 | 1,4 | 2,2 | 2,8 | 3,7 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,6 | 2,6 | 3,8 | 2,3 | 1,9 | 2,0 | 1,9 | |

Примечание. 1 – сумма титров на все антигены, 2 – на эритроциты, 3 – на бактерии; даты отлова рыб: весной – 10.05, летом – 30.06, осенью – 17.09.98 г.; * – соотношение СИР – как частное от деления показателей СИР по сезонам года; выборки леща представлены половозрелыми нелигулезными особями.

Низкая аффинность естественных агглютининов рыб Новосибирского водохранилища к антигенам разной природы и их способность связывать многие из них были подтверждены нами в специально поставленном опыте, суть которого такова. Объединенную (от 10–15 особей каждого вида) сыворотку леща, язя и судака инкубировали с равным объемом ЭБ. В результате из сыворотки полностью исчезали антитела против ЭБ, но одновременно почти в 2 раза снижался титр агглютининов на ЭК, ЭМ и бактериальные антигены. Ранее этот феномен наблюдался нами в опытах на хариусе из р. П. Тунгуски, на пеляди из оз. Чаны и леще из р. Оби на приплотинном участке ГЭС.

сенней выборки 30.04.98 г. этот ряд выстраивается как $E. c. > S. t.$, ЭМ > Br. a. > ЭК > ЭБ, для летней выборки 30.06.98 г. как ЭК > Br. a. > ЭБ, ЭМ, $E. c. > S. t.$, для осенней выборки 17.09.98 г. как $E. c. > Br. a. > S. t. > ЭК$, ЭМ > ЭБ.

Содержание лизоцима у язя (выборка 30.08.98 г.) почти равно максимальному содержанию его у леща.

Плотва – *Rutilus rutilus* (L.). Близкая к язю картина наблюдается по плотве. Максимальные титры на все антигены отмечены 15.07.91, 1.08.92 и 30.06.98 гг., немногим меньше – в первой декаде мая, минимальные – осенью. В выборке 26.10.92 г. на бактериальные антигены титры существенно выше, чем на эритроцитарные, но в выборке 17.09.98 г. различий практически нет. Минимальны эти различия у плотвы из весенних и летних выборок.

Содержание лизоцима у плотвы в выборке 17.09.98 г. равнялось 91 %.

Судак – *Lucioperca lucioperca* (L.). Максимальные показатели реакции агглютинации на все антигены оказались в выборках рыб этого вида, отловленных 15.07.91, 1.08.92 и 30.06.98 гг. при температуре воды 20–22 °С. Уровень антител у судака из весенних выборок был заметно ниже летнего, но существенно выше осеннего. Различия в степени реагирования на разные антигены выражены слабо во всех выборках, кроме осенних, когда титры на бактерии в 1,5–2 раза превышали титры на эритроциты.

Количества ИГ у судака двух летних выборок оказались равными между собой и досто-

верно большими, чем у судака одной осенней выборки. Содержание лизоцима составило 90 % в выборке 30.08.98 г. и по 79 % – в выборках 30.06 и 17.09.98 г.

Окунь – *Perca fluviatilis* L. Наибольшие показатели реакции агглютинации на все антигены характерны для летних выборок окуня, затем идут весенние, а за ними – осенние выборки. Превышение титров на бактерии, по сравнению с титрами на эритроциты, в осенних выборках или отсутствует совсем (17.09.98 г.), или незначительное (17.09.92 г.). Небольшие различия реагирования на разные антигены характерны для этого вида рыб и из весенних, и из летних выборок.

Распределение величин концентрации ИГ у окуня несколько иное, чем у судака. Больше всего ИГ обнаружено у рыб из выборки 4.07.98 г., среднее количество – из выборки 30.08.98 г. и наименьшее – из выборки 17.09.98 г.

Содержание лизоцима у этого вида рыб равнялось 100 % в выборке 22.07.98 г. и 83 % – в выборках 30.06 и 30.08.98 г.

Теперь сравним уровень антител на разные антигены между видами рыб по сезонам года.

На ЭБ в весенних выборках (5.05.91 и 10.05.85 гг.) самые высокие и близкие между собой (2,5–2,7) титры были у нелигулезного половозрелого леща, язя и плотвы; в среднем на 19 % ниже этого оказались титры у окуня и на 35 % ниже – у судака. В выборках леща и плотвы 30.04.98 г. уровень антител составил 79

и 65 % соответственно от уровня майских выборок этих видов рыб.

На ЭК титры в майских выборках леща, язя, плотвы и окуня близки друг к другу, а у судака они составили около 75 % от них. На 18 % ниже титры у язя в выборке 30 апреля по сравнению с выборками этого же вида рыб 5 и 10 мая.

Близко к указанному для ЭБ и ЭК соотношение уровней антител на ЭМ и *Br. a.*, но на *S. t.* картина иная: максимальные титры оказались в майских выборках леща, язя и плотвы, меньшие (в среднем на 18 %) – в майских выборках судака и окуня и апрельской (в среднем на 12 %) – леща и язя.

На *E. c.* и в апрельской, и в майских выборках леща и язя титры близки между собой и в среднем на 34 % превышают титры у судака и окуня.

В летних выборках на ЭБ, ЭК, ЭМ и *Br. a.* в среднем близки друг к другу титры антител у леща, язя, плотвы и окуня, с превышением на 17–35 % титров у судака; на *S. t.* – титры у плотвы, судака и окуня, с превышением на 21 % титров у язя и на 45 % – у леща; на *E. c.* – титры у плотвы, судака и окуня, с превышением на 20 % титров у язя и на 22 % – у леща.

В осенних выборках на ЭБ равными были титры у язя и судака (0,45) и близкими – у леща, плотвы и окуня (1,15, 0,95 и 1,0 соответственно). Подобное же распределение уровней антител наблюдалось у этих видов рыб на ЭК и ЭМ. На *Br. a.*, *S. t.* и *E. c.* сходными по величине оказались титры у леща, язя, плотвы и окуня и в среднем на 40–57 % ниже – у судака.

С целью интегральной оценки силы реагирования иммунной системы каждого из изучавшегося вида рыб на весь ряд антигенов мы использовали "показатель суммарного реагирования" (СИР), равный арифметической сумме значений титров на все или часть используемых антигенов. На наш взгляд, СИР наиболее наглядно отражает уровень иммунореактивности каждого вида и позволяет эффективно сравнивать их по этому параметру между собой, что подтверждает анализ данных табл. 3. В частности, самый низкий СИР почти по всем вариантам сравнения оказался у судака. Напротив, другой акклиматизант – лещ – характеризуется высокими, часто наибольшими показателями СИР. Однако это касается только половозрелых нелигулезных особей этого вида

рыб. У половозрелого лигулезного (выборка 30.06.98 г.) и, особенно, у не половозрелого лигулезного (выборка 18.07.98 г.) леща СИР существенно меньше: в 2,0 и 4,8 раза соответственно по сумме титров на все антигены, в 2,3 и 7,0 раза соответственно – на эритроциты, и в 1,6 и 3,4 раза соответственно – на бактерии.

Также из данных табл. 3 следует, что наибольшие показатели СИР присущи летним выборкам всех пяти видов рыб; весенние показатели СИР уступают летним, в зависимости от вида рыб и группы антигенов (все, эритроциты, бактерии), в 0,9 – 1,5 раза, осенние летним – в 1,9–5,4 раза, осенние весенним – в 1,4–3,8 раза. У плотвы и окуня уменьшение показателей СИР по всем трем группам антигенов близкое друг к другу; у леща снижение титров на бактерии выражено в большей степени, чем на все антигены и эритроциты; напротив, у язя и судака осенние титры на бактерии снизились в меньшей степени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный фактический материал позволяет сделать ряд обобщений, касающихся характеристики ряда параметров иммунного статуса исследованных видов рыб Новосибирского водохранилища.

1. Иммунная система рыб водохранилища способна вырабатывать антитела с довольно широким спектром специфичности, что, отчасти, связано с низкой аффинностью антител к антигенам; последнее подтверждают результаты специально поставленного опыта.

2. Наблюдается существенное колебание уровня антител на один и тот же и разные антигены у каждого из видов рыб водохранилища; тем самым демонстрируется основной принцип иммунореактивности позвоночных животных – зависимость ее от видовой специфичности гено-типа организма и специфичности антигена.

3. Интегральная оценка уровня иммунореактивности показала, что самый высокий СИР среди половозрелых рыб присущ нелигулезным особям леща, самый низкий – половозрелым особям судака. По сезонам года наибольший СИР оказался у летних выборок, наименьший – у осенних; примечательным является меньшая степень снижения осенних СИР у язя

и судака по бактериальным антигенам по сравнению с эритроцитарными и всеми шестью.

4. Для всех выборок изучавшихся видов рыб характерна высокая степень индивидуальной изменчивости иммунореагирования. Характер этой изменчивости имеет не только видовую специфичность, но также зависит от физиологического состояния рыб выборки и факторов окружающей среды, в частности температуры воды.

5. Характер влияния физиологического состояния демонстрирует тот факт, что у особей всех пяти видов рыб, находящихся в преднерестовом состоянии в условиях низких температур воды, показатели титров близки к таковым половозрелых особей этих же видов рыб, отловленных в летний период, когда температура воды в 13–30 раз превышает весенние. Напротив, резко подавляется иммунореактивность больных рыб, в данном случае леща, зараженного *L. intestinalis*. Влияние температуры воды на характер и силу иммунореактивности рыб водохранилища весьма существенное и имеет близкую к прямопропорциональной зависимость при условии идентичности или, по крайней мере, близости сравниваемых особей или выборок рыб по целому ряду параметров их биологии, а также параметров условий их обитания.

6. Видовые различия по концентрации в сыворотке крови иммуноглобулинов у трех видов рыб водохранилища – леща, судака и окуня – не обнаружены, но для каждого из этих видов наблюдалась зависимость количества ИГ от сезона года – его снижение в осенний период. У леща проявилась и другая связь – снижение количества ИГ у половозрелых лигулезных и особенно у неполовозрелых лигулезных особей.

7. Содержание лизоцима у изучавшихся видов рыб составило 79–100 % от контроля. Но у половозрелого лигулезного и особенно у неполовозрелого лигулезного леща этот показатель равнялся 55–68 и 48 % соответственно. Сравнительно небольшой объем данных по лизоциму не позволяет сделать выводы о закономерностях его динамики по видам рыб, их биологическому состоянию, сезонам года.

8. Характер зависимости функционирования специфической (иммунной) и неспецифической (включая лизоцим) резистентности рыб от многих абиотических и биотических факторов позволяет говорить о возможности использования целого ряда параметров этой резистентности в качестве индикаторных при оценке состояния водных экосистем, в том числе характера и степени их загрязнения.

Работа поддержана грантами РФФИ 00-05-79082, 99-05-96017 и ФЦП "Интеграция" МО 369.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fish immunology, Pap. Int. Meet., N.-Y., 1985, 1–4, 1–444.
2. T. Susumi, K. Kunihiko, *Dev. and Comp. Immunol.*, 1985, 4, 797–802.
3. C. J. Lobb, *Vet. Immunol. and Immunopathol.*, 1986, 12: 1–4, 7–12.
4. O. Nacamura e. al., *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 1990, 11, 1749–1753.
5. R. R. Avtalion, *CRC Crit. Rev. Environ. Control*, 1981, 163–188.
6. В. И. Лукьяненко, Иммунология рыб, М., Пищевая пром-сть, 1974.
7. Т. А. Субботкина, Осетровое хозяйство водоемов СССР, Астрахань, ч. 1, 303–304.
8. Р. В. Микряков, Биология внутренних вод, Л., 1981, 51, 63–68.
9. В. Р. Микряков, А. Н. Андреева и др., Влияние стоков Череповецкого промузла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища, Рыбинск, 1990, 144–155.
10. П. А. Попов, Н. А. Попова, Природа Хангайской гидросистемы, Томск, 1988, 233–243.
11. П. А. Попов, Н. А. Попова, Деп. в ВИНТИ, 1991, 975–В–91.
12. Н. А. Попова, А. В. Черепанов и др., *Сиб. экол. журн.*, 1997, 2, 191–197.
13. N. A. Popova, P. A. Popov, 17th Annual International Symposium of the North American Lake Management Society, Houston, 1997, 110.
14. P. J. Glinn, A. L. Pulsford, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 1990, 70: 2, 429–440.
15. В. Р. Микряков, Л. В. Балабанова и др., Деп. в ВИНТИ, 1991, 809–В–91.
16. В. И. Лукьяненко, Экологические аспекты ихтиотоксикологии, М., Агропромиздат, 1987.
17. П. А. Попов, Н. А. Попова, *Сиб. экол. журн.*, 1995, 6, 536–539.
18. И. Ф. Правдин, Руководство по изучению рыб, М., 1966.
19. G. Mancini, A. Carbonara, J. Heremans, Immunological Quantitation of Antigens by Single Radial Immunodiffusion. *Immunochemistry*, Pergamon Press, 1965, 2, 235–254.

Some Characteristics of the Immunological State of Fishes of the Novosibirsk Reservoir

N. A. POPOVA, P. A. POPOV

Some parameters of immunological status of the main commercial fish species of the Novosibirsk reservoir – bream, ide, roach, sandre and perch – are analyzed. Information about the levels of reaction of the fishes' immune system to erythrocyte and bacterial antigens, blood lysozyme and immunoglobulin content is presented. Dependence of these characteristics of the immune state on their species belonging and biological condition (i. a., infection of bream by plerocircoids *Ligula intestinalis*), and water temperature is considered. The work is both of theoretical-in the aspect of studying the evolution of vertebrates' immunological system and its organization and functioning in fishes, and practical – from the point of view of using the immunological indices in fishes for estimation the condition of aquatic ecosystems, including the degree of their pollution – interest.