

## **ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, РОСТ СЕГОЛЕТОК КАРПА И ПОТРЕБЛЕНИЕ ИМИ КОРМА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ pH ВОДЫ**

**В. А. ВЛАСОВ**

(Кафедра прудового рыбоводства)

Приведены данные о влиянии pH воды на рост, жизнедеятельность сеголеток карпа и потребление ими корма. Установлены летальные значения pH для карпа. Найдена математическая зависимость между pH воды и суточным рационом рыб.

При нормированном кормлении карпа наряду с другими факторами необходимо учитывать кислотность или щелочность воды. Хорошее физиологическое состояние рыбы, при котором она способна интенсивно питаться, а соответственно и

расти, может поддерживаться при определенном уровне рН. Экстремальные значения рН для рыб находятся в пределах 3,5—10,5, наиболее рациональный их диапазон для интенсивного рыбоводства — 6—9 [3].

Низкие значения рН воды обычно обусловлены наличием в ней растворенного углекислого газа, минеральных и органических кислот, от которых зависит буферная способность или гидролиз некоторых минеральных солей. Любой из этих компонентов может содержаться в воде вследствие естественного выщелачивания минералов или промышленного загрязнения. Наряду с этим рН воды при недостаточной буферной емкости может существенно снизиться из-за дыхания рыб. Высокие значения рН воды обусловлены в основном присутствием карбонатов, бикарбонатов и гидроксильной группы. В период интенсивного цветения водорослей весь растворенный углекислый газ может быть потребленным растениями, в этом случае рН воды с недостаточной буферной емкостью превышает 10 [1].

Многие исследователи [1, 13, 14] считают, что темп роста карповых рыб в кислых водах в связи с их низкой продуктивностью (малая концентрация биогенных веществ) ниже, чем в щелочных. Проведенная в Бельгии [13] оценка показала, что продуктивность прудов с щелочными водами (рН 6—7,5) в 3 раза выше, чем с кислыми (рН 5—5,6). Следует также отметить, что в кислых водах карп особенно чувствителен к водным бактериям [17]. В некоторых

кислых водах содержится взвесь гидроокиси железа, которая может вызвать гибель рыбы [1]. При высоких значениях рН воды (более 10) темпы роста снижаются, а в некоторых случаях наблюдаются патологические явления (эрозия спинных плавников) и даже гибель карпа [7].

Экспериментальных данных о потребности сеголетками карпа корма при различных значениях рН воды в доступных литературных источниках нами не обнаружено, что послужило поводом для изучения этого вопроса.

#### Методика

Исследования проводили в марте — декабре 1989 г. в лаборатории кафедры прудового рыбоводства Тимирязевской академии. Сеголеток карпа выращивали в 200-литровых аквариумах. Вначале устанавливали летальный уровень рН воды для карпа, затем определяли количество корма, потребляемого в течение 30 мин при значениях рН воды 4,2—9,0. В дальнейшем изучали особенности роста, физиологического состояния карпа и суточного потребления корма при выращивании рыб в воде со средними значениями рН 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5 и 8,5. Суточные отклонения рН от средних значений составляли  $\pm 0,5$ . Контролем служила группа рыб, выращиваемых в воде с рН 7.

Для получения необходимого уровня рН воды использовали ионообменные смолы. Колонки, наполненные 300—400 г смолы, размещали на внутренней стенке аквариума над поверхностью воды рядом с эрлифтом. Вода, проходящая через эрлифтную трубку, направлялась в колонку, где при контакте со смолой изменялось значение рН. Через определенный промежуток времени, когда устанавливался необходимый уровень рН воды, колонки отключались.

Температуру воды в период исследований поддерживали на уровне 20 °С с помощью электронагревателей с программным управлением. Для очистки воды от остатков корма и экскрементов, а также для работы колонок с ионообменными смолами аквариумы были

оснащены эрлифтами с гравийными фильтрами. Благоприятный кислородный режим (выше 5 мг/л) в аквариумах создавали за счет работы микрокомпрессоров типа МК-2. Для снижения в воде концентрации продуктов метаболизма рыб один раз в 5 дней около 30 % воды заменяли свежей, отстоянной.

Рыбы получали гранулированный комбикорм (рецепт 12—80), в состав которого (60 %) входили корма животного и микробиологического происхождения, содержание протеина составляло около 40 %, жира — 9 %. Рыб кормили 7 раз в сутки в период с 7 до 17 ч через каждые 2 ч. Продолжительность одного кормления 30 мин. Корм задавали мелкими порциями, добываясь равновесия между выдачей и потреблением корма. Суточную потребность рыб в корме устанавливали по разности его массы до и после кормления.

Значения рН воды определяли с помощью рН-метра (рН 340), содержание растворенного в воде кислорода — перед ее заменой, интенсивность роста рыб и эффективность использования ими корма — ежедневно. Постоянно изучали реакцию рыб на задаваемые корма, их физиологическое состояние при различных значениях рН воды. Кровь у выращенных рыб брали пастеровской пипеткой из полости сердца. Концентрацию гемоглобина, количество эритроцитов определяли по методике [5], соотношение плазмы и форменных элементов крови — при помощи гематокритной пробирки путем центрифугирования в течение 30 мин при 3 тыс. оборотах. Морфологический состав белой крови изучали по методикам [5, 6, 9].

Данные о разовом потреблении корма в зависимости от рН воды обрабатывали на ЭВМ методом парного корреляционно-регрессивного анализа по 16 функциям (программа «КРА-16»); достоверность различий гаматологических и интерьерных показателей рыб устанавливали по методике [10].

### Результаты

Различий в поведении и состоянии рыб, содержащихся в воде при рН 6—8,5, не наблюдалось. Отклонения рН от указанных параметров обусловили изменения в поведении, окраске и

жизнедеятельности рыб. При уменьшении рН ниже 6 карпы стали избегать акваторию расположения колонки, где уровень рН был ниже. Движения их замедлялись, и лишь при выходе из зоны с более кислой средой рыбы становились более активными. При уменьшении значения рН до 5 движения рыб замедлялись сильнее. Отмечались вертикальные их передвижения в отдаленном от колонки участке аквариума. При значении рН 4,5 на теле рыб появлялся едва заметный серый налет. Кроме того, у некоторых рыб нарушалась координация движений. Дальнейшее снижение рН воды привело к образованию более интенсивного серого налета по всему телу карпа, в особенности на жабрах и плавниках. Состояние рыб резко ухудшалось, они плохо ориентировались в пространстве и натывались на стенки аквариума. При рН 3,9 некоторые карпы, прежде всего более мелкие, впадали в сублетальное состояние и переворачивались вверх брюшком. Однако основная часть группы рыб, по-видимому, физиологически более сильная, оставалась жизнедеятельной, и только при уменьшении рН до 3,7 все карпы впадали в сублетальное состояние, а при 1,5—2-часовой экспозиции рыбы погибали. Перенос карпов, находившихся в сублетальном состоянии, в слабощелочную воду (рН 7,5) позволил большинству рыб выйти из стрессовой ситуации и восстановить свою жизнедеятельность. У погибших рыб верхняя слизистая оболочка кожи была почти полностью разрушена, жабры приобрели темно-

красный цвет.

Следует отметить, что рыбы, ранее побывавшие в сублетальном состоянии, в повторных опытах погибали при более высоких значениях рН. Это свидетельствует о том, что у карпов, которые находились в кислой воде, процесс регенерации патологически измененных тканей длился довольно длительный период времени. Некоторые исследователи [4, 8] установили, что при низких значениях рН наблюдаются патологическое изменение проницаемости жабр карпа для ионов натрия и хлора, а также деструкция митохондрий и тубулярного ретикулума в их хлоридных клетках. Адаптация организма карпа к таким условиям продолжается 2—3 сут.

Высокая щелочность воды также вредна для карпа, а в некоторых случаях она приводила к летальному исходу. Увеличение значений рН выше 8,5 вызывало некоторое беспокойство у рыб. Их жизнедеятельность приобретала стайный характер, движения становились более энергичными. При рН 9 стая находилась у дна аквариума вдали от колонки. У карпа возрастала чувствительность к звуковому и световому раздражителям. В результате длительного пребывания рыб в такой воде их кожа светлела. При рН выше 9,5 состояние рыб резко ухудшалось, что проявлялось в вялости движений (поведение карпа мало чем отличалось от такового в период зимовки) и в нарушении стайности. Координация движений нарушалась, сублетальное состояние наступало при ме-

дианном значении рН 10,6. При переносе рыб в нейтральную среду их жизнедеятельность восстанавливалась в течение 2—3 ч. Тело у таких рыб было очень скользким, жабры приобрели темно-коричневый цвет. По-видимому, при высоких значениях рН, как и при низких, разрушался эпителий кожи и жаберных лепестков. Поражение респираторных складок последних отмечено даже при более низком значении рН (8,5) воды [2]. Вместе с тем авторы считают, что отрицательное воздействие на жабры оказали не только щелочность, но и ряд других факторов, вызвавших ухудшение качества воды пруда.

Очевидно, что рН воды целесообразно рассматривать совместно с другими изменяющимися параметрами среды. Нижний и верхний летальные пороги у рыб зависят от многих факторов и в первую очередь от скорости изменения значения рН и содержания в воде других токсикантов. Летальные пороги у карпа, как показано выше, при снижении или повышении значения рН на единицу в течение 5—7 ч находятся на уровне 3,7 и 10,6. При ускорении изменения значения рН в 2 раза нижний медианный летальный порог поднимается до 3,9, а верхний снижается до 10,2. Безопасный диапазон рН сужается при наличии в воде растворенного железа и хлора. Отмечена гибель карпа при рН 5,5 через 1,5 ч после замены 30 % объема воды в аквариуме водопроводной водой, содержащей в 1 л 0,1 мг растворенного хлора и 0,5 мг железа. При рН 6 рыбы находились в те-

чение 4 ч в сублетальном состоянии. Добавление в аквариумы водопроводной воды, значения рН которой были выше 6,5, не оказало заметного отрицательного влияния на состояние рыб.

Суть отрицательного действия добавленной водопроводной воды на рыб заключается в следующем. Значения рН водопроводной воды составляют 7,2. В таких условиях растворенный хлор содержится в воде в основном в виде гипохлорида. При снижении рН в результате смешивания водопроводной воды с кислой аквариумной гипохлорид переходит в хлорноватистую кислоту, которая по сравнению с гипохлоридом более токсична для рыб. Одной из причин гибели карпов является наличие в водопроводной воде железа. Известно, что токсичность железа и его солей обычно низкая [15, 16]. Однако закись железа, содержащаяся в воде с низким значением рН, может привести к гибели рыб. Гибель рыб в воде с рН 5,5 и сублетальное состояние при рН 6 были вызваны не только действием растворенного хлора, но и осаждением гидроксида и окиси железа на жабрах. Железо, осажденное на жабрах, препятствует транспорту кислорода через жаберный эпителий, а при длительном воздействии вызывает некроз жабер. Это подтверждается данными патологоанатомического вскрытия рыб. О токсическом действии на карпа растворенных в кислой воде хлора и железа свидетельствует тот факт, что жизнедеятельность рыб, перенесенных в слабощелочную чистую воду в сублетальном состоянии, не восстанавли-

валась. Между тем пересадка из более кислой воды (рН 3,7) рыб, не подвергшихся указанным выше токсикантам, дала возможность восстановить нормальные физиологические функции организма.

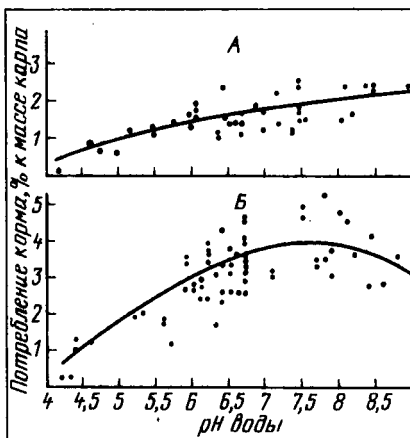
По мере накопления в щелочной воде (рН 8,5—9) продуктов метаболизма состояние рыб ухудшалось. По-видимому, главный токсикант в этом случае — выделяемый рыбами аммиак. В кислой воде он превращается в ион аммония, который относительно безвреден или слаботоксичен для рыб. В щелочной воде аммиак находится в основном в молекулярной форме, которая очень токсична. Для многих рыб предельной концентрацией аммиака при его хроническом воздействии является 0,02 мг/л. При значении рН 6,5 общее его содержание, при котором концентрация токсичного аммиака составляет 0,02 мг/л, равняется 15,4 мг/л, а при рН 8,5—0,2 мг/л. Отсюда следует, что при выращивании карпа в щелочной воде необходимо добиваться снижения содержания в ней общего аммиака, поскольку в таких условиях он в десятки раз токсичнее, чем в кислой воде.

Таким образом, для 25—40-граммовых карпов, содержащихся в воде при температуре 20 °С, значения рН, при которых состояние рыб заметно не ухудшается, находятся в пределах 6—8,5. По мере отклонения рН от этого уровня состояние рыб ухудшается, а снижение показателя рН до 3,7 и повышение до 10,6 приводят к летальному исходу. Гибель рыб может наступить и при более узком диа-

пазоне значений рН, если в воде присутствуют токсиканты (растворенные хлор, закись железа, аммиак).

Изучение разового потребления рыбами корма при различных значениях рН воды дало возможность установить определенную зависимость между этими показателями. Реакция на корм и его потребление при рН 6—8,5 находились в прямой зависимости от активности рыб. Разовое (в течение 30 мин) потребление рыбами корма после 12-часового перерыва в кормлении при рН 6 составило около 1,6 % массы карпа. Повышение значения рН на каждую единицу обусловило увеличение потребления карпами корма примерно на 0,2 %. При этом основную часть гранул карпы заглатывали во время их погружения на дно аквариума, а полное насыщение рыб происходило за 15—20 мин. Рыбы, содержащиеся в воде с рН в пределах 5—6, потребляли корм медленно, в основном брали его со дна. За 30 мин они съедали в среднем 1 % гранул к своей массе. Потребление корма резко снизилось при рН ниже 5. Карпы нехотя обсасывали гранулы, захватывая и выбрасывая их из ротовой полости несколько раз. При значениях рН ниже 4,2 рыбы не реагировали на корм.

Данные о потреблении рыбами корма при разных значениях рН воды приведены на рисунке. Корреляционно - регрессивный анализ показал, что между этими показателями существует тесная коррелятивная связь. Индекс корреляции равен 0,71. Разовое потребление корма сего-



Разовое (А) и суточное (Б) потребление рыбой корма в зависимости от рН воды.

летками карпа, выращиваемыми в воде при значениях рН 4,2—9,0, подчинено зависимости:  $P = -2,4 + 2,1 \ln \text{pH}$ , где  $P$  — потребление корма, % к массе рыбы.

Таким образом, существует тесная связь между разовым потреблением корма сеголетками карпа и значениями рН воды. Наиболее активно карп потребляет корм при рН 8,5. Повышенные рН до 9 не приводят к увеличению потребления корма. При снижении рН с 8,5 до 6 потребление корма уменьшается медленно, а при дальнейшем снижении рН — более резко. При значениях рН ниже 4,2 карп перестает реагировать на пищу.

На заключительном этапе исследований получен более широкий спектр данных о влиянии рН воды, изменяющейся в безопасных пределах — от 5,5 до 8,5, на рост, оплату корма и физиологическое состояние карпа. Наибольший прирост массы рыбы за 27 дней выращивания был в аквариуме № 5, где медиан-

Результаты выращивания карпа (г)

№ аквариума	Среднее значение рН	Общая масса рыб		Потреблено корма	Затраты корма на 1 г прироста рыбы
		в начале опыта	в конце опыта		
1	5,5	470,2	512,8	164,1	3,85
2	6,0	478,2	563,9	275,9	3,22
3	6,5	506,4	600,3	272,2	2,90
4	7,0	512,1	623,7	309,3	2,77
5	7,5	497,0	617,3	318,8	2,65
6	8,5	504,3	594,8	284,5	3,14

ные значения рН воды составляли 7,5. За этот период масса рыб увеличилась на 24,3 % (табл. 1). При отклонении значений рН от 7,5 темп роста карпа замедлялся. Наиболее низкий прирост массы рыб отмечен в аквариуме № 1 при значении рН воды 5,5. Скорость роста рыб в отдельные периоды опыта была различной. В первые 5 дней наиболее медленно росли карпы при низких значениях рН воды, максимальной скоростью роста отличались рыбы, выращиваемые в щелочной воде (рН 9). В последующий период интенсивность роста карпа, выращиваемого в кислой воде, возрастала. По-видимому, рыбы в определенной степени адаптировались к этим условиям среды. В щелочной среде скорость роста карпа уменьшалась. В дальнейшем рыбы лучше всего росли при рН воды 7,5.

Высокая скорость роста рыб, безусловно, обусловлена большим потреблением корма. Между этими показателями, как видно из табл. 1, имеется тесная коррелятивная связь. Различное потребление корма сказалось не только на росте рыб, но и на эффективности его использования. Самые низкие затраты корма на 1 кг прироста массы карпа

(2,65 кг) отмечены в аквариуме № 5 с слабощелочной водой, несколько выше — в аквариумах при рН воды 6,5—7,0. В аквариумах с щелочной и более кислой водой затраты корма на единицу прироста массы были соответственно на 19 и 45 % больше. Ухудшение эффективности использования корма при выращивании карпа в щелочной и кислой воде, как и меньший объем потребления корма, вероятно, связано со снижением перевариваемости питательных веществ в кишечнике. Это обусловлено изменением рН содержимого кишечника, замедлением действия пищеварительных ферментов, снижением уровня гидролиза и усвоения питательных веществ пищи в результате заглатывания рыбой вместе с потребленным кормом щелочной или кислой воды.

Величина суточного потребления корма при выращивании карпа колебалась в широких пределах. Наивысшее среднее значение этого показателя (4 % к массе рыбы) наблюдалось при рН воды 7,7. В диапазоне рН 7—8,2 суточное потребление корма изменялось незначительно. При снижении рН до 6 и 5 потребление рыбой корма уменьшалось соответственно в 1,4 и

2,2 раза. При увеличении значения рН выше 8,2 потребление карпом корма также снижалось.

Кривая суточного потребления корма (рис. 2) по сравнению с кривой разового потребления (рис. 1) более выпуклая. Это вызвано тем, что при многоразовом кормлении в нейтральной и слабощелочной воде карпы более равномерно в течение дня потребляли корм и в большем количестве, нежели в кислой и щелочной, когда большая часть корма съедалась в первое кормление после 12-часового перерыва. Вот почему величины суточного и разового потребления корма при значениях рН, близких к экстремальным, практически не различались.

Выявленная закономерность

изменения величины суточного потребления корма в зависимости от значений рН воды позволила рассчитать поправочные коэффициенты к суточным нормам корма при выращивании сеголеток карпа (табл. 2).

Об адаптации организма карпа к определенным условиям выращивания судили по изменению массы внутренних органов. Заметных патолого-анатомических отклонений в развитии внутренних органов у рыб, выращенных при различных значениях рН воды, не установлено. Отмечены лишь определенные различия в относительной массе некоторых органов. Относительная масса сердца у рыб колебалась в пределах 0,22—0,24 % (табл. 3). Наблюдалась тенденция к увеличению массы сердца у более ак-

Таблица 2

Поправочные коэффициенты к суточной норме корма для сеголеток карпа в зависимости от значения рН воды

рН воды	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	0	0,06	0,12	0,17	0,22	0,27	0,31	0,35	0,39	0,43
5	0,47	0,51	0,55	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71	0,74	0,77
6	0,80	0,83	0,86	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99
7	1,0	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,06	1,05
8	1,04	1,03	1,01	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83
9	0,80	0,76	0,72	0,68	0,63	0,58	0,52	0,45	0,38	0,30

Таблица 3

Относительная масса внутренних органов карпа (% к массе тела)

Орган	Средние значения рН воды					
	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,5
Сердце	0,22±0,02	0,22±0,02	0,23±0,01	0,24±0,02	0,23±0,04	0,22±0,01
Печень	2,96±0,08*	2,95±0,14	3,18±0,21	3,25±0,10	3,23±0,13	3,31±0,12
Желчный пузырь с желчью	0,29±0,01**	0,30±0,05	0,28±0,02	0,22±0,01	0,21±0,03	0,24±0,03
Почки	0,90±0,06	0,88±0,10	0,92±0,03	0,84±0,09	0,93±0,05	0,96±0,13
Селезенка	0,21±0,02**	0,26±0,02*	0,32±0,05	0,36±0,03	0,38±0,06	0,35±0,04
Кишечник	2,54±0,31	2,76±0,16	2,61±0,22	2,80±0,24	2,74±0,42	2,81±0,13

Примечание. В этой и последующих таблицах одной звездочкой обозначена достоверность разности при  $P < 0,05$ , двумя — при  $P < 0,01$ , тремя — при  $P < 0,001$ .



тивных рыб, выращенных при значениях рН воды 6,5—7,5. Относительная масса печени находилась в прямой зависимости от рН, т. е. при увеличении в воде концентрации гидроксильных групп масса печени возрастала. Количество желчи в желчном пузыре было меньше у интенсивно растущих рыб. По-видимому, у этих сеголеток желчь постоянно расходовалась на переваривание поступающей в кишечник пищи. У рыб, которые потребляли меньше корма, желчь расходовалась в меньшем количестве, поэтому она накапливалась в желчном пузыре. По относительной массе почек и кишечника рыбы существенно не различались. Наиболее заметные различия установлены по относительной массе селезенки. У карпов, выращенных в кислой воде

(рН 5,5 и 6), этот показатель был достоверно меньше, чем в контроле. Не исключено, что уменьшение объема селезенки вызвано постоянным выбросом из него в кровяное русло эритроцитов, необходимых для поддержания нормальных обменных процессов в организме карпа, содержащегося в неблагоприятных условиях среды.

О неодинаковом обмене веществ и состоянии здоровья рыб, выращенных при различных значениях рН воды, свидетельствуют результаты гематологических исследований (табл. 4 и 5). Наилучшие показатели красной крови отмечены у карпов, выращенных в нейтральной воде (рН 7). У них были более высокие содержание гемоглобина в «капле» крови, форменных элементов крови (гематокрит) и концен-

Таблица 4

Показатели красной крови карпа

Показатель	Средние значения рН воды				
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,5
Гематокрит, %	34,7±1,5	32,6±2,2	36,1±1,4	36,3±3,4	36,8±1,1
Гемоглобин, г%	6,2±0,5**	6,4±0,5	7,2±0,3	7,8±0,2	7,4±0,2
Эритроциты, млн/мм <sup>3</sup>	0,95±0,10	0,80±0,06	0,91±0,04	0,85±0,1	0,83±0,07
Объем 1 эритроцита, мкм <sup>3</sup>	397±53	410±20	402±29	482±89	458±51
Среднее содержание гемоглобина в 1 эритроците, пг	69,2±10,1	85,3±11,6	81,7±3,1	93,5±9,1	91,1±6,2
Среднеклеточная концентрация гемоглобина в 1 эритроците, %	17,3±0,5**	20,4±1,8	20,5±0,7	22,7±2,2	20,4±1,0
Соотношение клеток красной крови, %:					
гемоцитобласты,					
эритробласты и нормобласты	2,8±1,1	0,7±0,2	1,9±0,5	3,4±1,2	2,1±0,8
базофильные	11,7±1,6	13,7±2,2	10,1±2,8	22,5±7,0	15,0±2,2
полихроматофильные и зрелые эритроциты	8,55±2,4	85,6±2,2	88,0±3,2	74,1±7,8	83,0±2,8
Тромбоциты, %	0,76±0,16	1,02±0,27	0,65±0,16	0,62±0,06	0,05±0,02***
Разрушенные эритроциты, %	3,3±0,8	2,6±0,7	1,4±0,5	1,9±0,6	2,2±0,5
Общий белок, %	3,17±0,01**	3,53±0,18	3,50±0,23	3,54±0,17	3,99±0,06*

Количество и соотношения форм лейкоцитов в крови карпа

Показатель	Средние значения рН воды				
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,5
Количество лейкоцитов, тыс./мм <sup>3</sup>	7,8±2,0*	11,2±2,2	9,1±2,8	18,7±3,9	5,8±0,6**
Лейкоцитарный состав крови: %					
лимфоциты	74,4±4,3	88,8±3,2	88,5±1,5	78,4±3,1	81,0±3,3
моноциты	12,2±2,3	9,2±2,6	7,3±1,6	14,0±2,6	12,6±2,0
полиморфно-ядерные в т. ч. сегментоядерные	6,6±1,8	1,6±0,6*	3,0±1,2	5,8±1,3	5,6±1,5
палочкоядерные	6,1±1,7	1,6±0,6*	2,7±1,2	5,3±1,3	5,0±1,4
нейтрофилы	0,5±0,4	0	0,3±0,2	0,5±0,3	0,6±0,2
базофилы	4,1±2,3	0,4±0,2	1,3±0,3	1,2±0,6	0,6±0,2
	0,1±0,01	0	0,3±0,1	0	0

трация гемоглобина в 1 эритроците и в составе клеток красной крови ( $P < 0,05$ ). В крови этих рыб почти полностью отсутствовали тромбоциты, что указывает на слабую ее свертываемость. При содержании в кислой воде у рыб снижалась концентрация гемоглобина в «капле» крови и 1 эритроците. Так, при среднем значении рН 5,5 эти показатели были соответственно на 20,5 и 23,8 % ниже, чем у рыб контрольной группы. Установлено [8], что низкая концентрация гемоглобина вызвана разжижением крови из-за повреждения жабр рыб в кислой воде. Недостаток концентрации гемоглобина у этой группы карпа, по видимому, компенсируется большим количеством эритроцитов, которые, как указывалось выше, поступают в кровь из резервного депо — селезенки. Их количество в единице объема крови рыб, выращенных в кислой воде, было на 12 % больше, чем в контроле. В их крови содержалось значительно больше разрушенных эритроцитов, что свидетельствует о процессе гемолиза в результате воздействия на ор-

ганизм рыб воды с высокой кислотностью. Концентрация общего белка в сыворотке крови у этих рыб была наименьшей, что указывает на истощение организма вследствие недостаточного потребления корма.

Значительные изменения наблюдались в лейкоцитарном составе крови карпа (табл. 5). Количество лейкоцитов в крови рыб, выращенных в воде при минимальном и максимальном медианных значениях рН, было соответственно в 2,4 и 3,2 раза меньше, чем у карпа контрольной группы. Этот уровень выходит за предел колебаний данного показателя у клинически здоровых сеголеток карпа [12]. У карпа наступала лейкопения из-за стрессов, вызванных содержанием рыб в воде с низкими и высокими значениями рН. Кислая среда (рН 5,5) способствовала уменьшению количества лимфоцитов. Отмечена интересная закономерность изменения содержания в крови полиморфно-ядерных форм лейкоцитов. При снижении значения рН до 6,0 этот показатель резко уменьшается. Последующее снижение

pH вызывало значительное увеличение количества полиморфно-ядерных форм лейкоцитов за счет сегментоядерных форм. Определенной закономерности в изменении показателей моноцитов и нейтрофил не прослеживалось, относительное содержание последних превышало средний уровень для рыб данного вида.

Таким образом, результаты заключительного этапа исследований свидетельствуют о том, что для оптимального роста сеголеток карпа и эффективного использования ими корма необходима вода, значения pH которой близки медианному значению 7,5. Выращенные в такой воде рыбы характеризуются хорошим состоянием здоровья, о чем можно судить по данным патолого-анатомических и гематологических исследований. При повышении значений pH воды до 8,5 и особенно при их снижении до 5,5 уменьшается потребление корма, ухудшается состояние здоровья рыб, в результате резко снижается интенсивность их роста. У карпов, выращенных в воде при медианных значениях pH 5,5, относительная масса селезенки, количество лейкоцитов, концентрация гемоглобина и общего белка в крови находятся ниже предела колебания данных показателей у клинически здоровых рыб. При высоких значениях pH воды (8,5) в крови уменьшается количество лейкоцитов, тромбоцитов и увеличивается содержание общего белка.

#### Выводы

1. Для сеголеток карпа без-

опасным диапазоном pH воды является 6,0—8,5, а наиболее благоприятным для выращивания — 7,0—8,2. При снижении значений pH до 3,7 и повышении до 10,6 рыба погибает. Если содержание растворенного хлора и железа в поступающей воде составляет соответственно 0,1 и 0,5 мг/л, то летальный исход может наступить при pH 5,5.

2. Рост сеголеток и эффективность использования ими корма тесно связаны со значениями pH воды. Эти показатели наиболее высокие при медианных значениях pH 7,5. Выращивание рыб при более высоких или более низких значениях pH отрицательно сказывается на потреблении корма, скорости роста рыб и эффективности использования корма.

3. Между разовым потреблением рыбой корма и pH воды существует определенная зависимость, которую можно выразить следующим уравнением:  $P = -2,4 + 2,1 \ln \text{pH}$ . Карп потребляет максимальное количество корма при pH 7,7. Потребление корма снижается в 1,4 и 2,2 раза соответственно при pH 6 и 9,2 и pH 5, а при pH 4,2 рыбы перестают питаться.

4. Гематологические показатели у карпов при значении pH воды 7 наиболее высокие. В крови рыб, выращенных в кислой воде (pH 5,5), уменьшается концентрация гемоглобина, общего белка, количество лейкоцитов и повышается содержание эритроцитов, а у карпов, выращенных в щелочной воде (pH 8,5), снижается количество тромбоцитов, лейкоцитов и возрастает концентрация общего белка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алабастер Дж., Ллойд Р. Критерии качества воды для пресноводных рыб / Пер. с англ.— М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984.— 2. Андронников С. Б., Иванов Э. В., Лукина Т. М., Шестернин И. С. Оценка экологических условий водной среды по жаберному аппарату рыб.— В кн.: Экологическая физиология и биохимия рыб. Тез. докл. VI Всесоюз. конф. Вильнюс: Изд-во АН СССР, 1985, с. 8—9.— 3. Ведемейер Г. А., Мейер Ф. П., Смит Л. Стресс и болезни рыб / Пер. с англ.— М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1981.— 4. Виноградов Г. А., Комов В. Т. Физиологические адаптации пресноводных рыб к снижению рН и минерализации воды.— В кн.: Экологическая физиология и биохимия рыб. Тез. докл. IV Всесоюз. конф. Вильнюс: Изд-во АН СССР, 1985, с. 37—38.— 5. Голодец Г. Г. Лабораторный практикум по физиологии рыб.— М.: Пищепромиздат, 1955.— 6. Коржув П. А. Гемоглобин.— М.: Высшая школа, 1964.— 7. Мантельман И. И. Предельно допустимые значения рН для молоди некоторых видов рыб.— Изв. ГосНИОРХ, 1967, вып. 64, с. 79—83.— 8. Матей В. Е. Морфофункциональные реакции жаберного

эпителия рыб на изменение ионного состава среды.— В кн.: Экологическая физиология и биохимия рыб. Тез. докл. VI Всесоюз. конф. Вильнюс: Изд-во АН СССР, 1985, с. 144—146.— 9. Остроумова И. Н. Показатели крови и кроветворения в онтогенезе рыб.— Изв. ГосНИОРХ, 1957, т. XIII, вып. 3, с. 67—76.— 10. Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии.— М.: Изд-во МГУ, 1980.— 11. Привезенцев Ю. А. Гидрохимия пресных вод.— М.: Пищевая пром-сть, 1973.— 12. Яржомбек А. А., Лиманский В. В., Щербина Т. В. Справочник по физиологии рыб.— М.: Агропромиздат, 1986.— 13. Huet M.— Trav. Stn. Rech. Groenendaal, 1941 (D) 2.— 14. Ishio S.— Proc. int. conf. Wat. Pollut. Res., 1965, p. 19—40.— 15. Mc Kee I., Woff H. W.— Water quality criteria, 2 nd ed. Resources Agency of California. State Water Quality Control Board, Sacramento, Publ., 1963, N 3-A.— 16. Lewis W. M.— The Progressive Fish-Culturist, vol. 22 (2), 1960, p. 79—80.— 17. Neess I. C.— Trans. Am. Fish., 1949, Soc. 76, p. 335—358.— 18. Wedemeyer G. A., Vasutake W. T.— Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health, 1977, N 89.

*Статья поступила 5 февраля 1990 г.*

## SUMMARY

Data on the effect of water pH on growth, vital activity of this-year-brood carps and their fodder consumption are presented. Lethal pH values for carp have been established. Mathematical relationship between water pH and daily fish ration has been found.