



Среднего Приднепровья // Вестник зоологии. – Киев, 1972. – № 3. – С. 62-66. 8. Wimberger Peter H. The use of green plant material in bird nests to avoid ectoparasites // Auk. – 1984. – 101. – № 3. – P. 615 - 618. 9. Чурсинова Н.В. О необычной находке в гнезде домового воробья // Кавказский орнитологический вестник. – Ставрополь, 2001. – Вып. 13. – С. 160. 10. Хохлов А.Н. О зимнем и ранневесеннем гнездовании домового воробья в Центральном Предкавказье // Кавказский орнитологический вестник. – Ставрополь, 1992. – Вып. 3. – С. 144-145. 11. Ильенко А.И. Экология домовых воробьев и их эктопаразитов. – М.: Наука, 1976. – 120 с. 12. Матюхин А.В., Иваницкий В.В. О зимнем размножении домовых воробьев в Московской области // Птицы и урбанизированный ландшафт: Сборник кратких сообщений. – Каунас, 1984. – С. 95-96. 13. Лэк Д. Численность животных и ее регуляция в природе. – М., 1957. – 403 с. 14. Чурсинова Н.В., Ильях М.П. Эффективность размножения полевого воробья в Ставропольском крае // Природные ресурсы и экологическое образование на Северном Кавказе: Материалы 2-й межрегиональной научно – практической конференции. – Ставрополь, 2002. – С. 104-106. 15. Чурсинова Н.В., Хохлов А.Н., Ильях М.П. Об эффективности размножения домового воробья в Ставропольском крае // Кавказский орнитологический вестник. – Ставрополь, 2002. – Вып. 14. – С. 108-111.

УДК 577.1: 597

ТОКСИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НИТРИТОВ НА ОРГАНИЗМ РЫБ

© 2009. Черкесова Д.У., Шахназарова А.Б.
Дагестанский государственный университет

Представлен обзорный материал, касающийся токсичности нитритов и накопления их в водных экосистемах. Образование метгемоглобина, вследствие нитритной интоксикации, приводит к развитию гемической и гистотоксической гипоксиям, нарушению метаболических и морфологических процессов. Реакция рыб на воздействие нитритов зависит от вида и возраста рыб, дозы токсиканта и химического состава воды.

The article presents the data, that the toxical effect of nitrites and their accumulation in water ecosystems. Formation of methemoglobin as a result of nitrite intoxications, leads to destructions of the metabolism and morphophysiological processes. Reaction of fishes to nitrites depends on the species and age of fishes, a dose of the nitrite and chemical composition of water.

Ключевые слова: нитриты, гидробионты, метгемоглобин, гипоксия, токсичность.

Keywords: nitrites, hydrobionts, methaemoglobin, hypoxia, toxicity,

В настоящее время изучение нитросоединений как токсикантов привлекает большое внимание. Накопление нитритов в водных экосистемах происходит экзогенным и эндогенным путем. Основными источниками экзогенного загрязнения водоемов нитритами являются сельскохозяйственные угодья с внесенными в почву азотными минеральными удобрениями в завышенных дозах, животноводческие фермы и комплексы, стоки предприятий по производству красителей, целлюлоида и металлообрабатывающих заводов, грунтовые воды и донные отложения с высоким уровнем содержания азота, выделений рыб и беспозвоночных [13].

Эндогенное накопление нитритов осуществляется в процессе нитрификации, который включает в себя биологическое окисление аммиака до нитритов бактериями рода *Nitrosomonas*. Дальнейшее превращение нитритов в нитраты осуществляют бактерии рода *Nitrobacter*. Энергия окисления аммиака и нитритов используется этими организмами на удовлетворение своих потребностей в углероде путем фиксации углекислоты. На эффективность процессов превращения



вливают несколько факторов, включающих pH, температуру, концентрацию растворенного кислорода, численность нитрифицирующих бактерий и присутствие ингибирующих веществ [8].

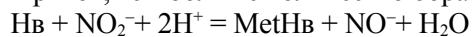
При нормальных условиях фаза превращения аммиака в нитриты является лимитирующей скоростью всего процесса, а превращение нитритов в нитраты происходит довольно быстро. По этой причине нитриты в большинстве природных пресных вод обычно присутствуют лишь в следовых количествах. Однако нередко процесс нитрификации остается незавершенным, что временно создает избыточный фон нитритов, которые в 10 раз токсичнее нитратов.

Процесс нитрификации может подавляться в присутствии азотистой кислоты (HNO_2) и неионизированного аммиака (NH_3). Если pH среды повышается естественно или в результате добавления оснований, концентрация неионизированного аммиака повышается. Неионизированный аммиак подавляет бактерии рода *Nitrobacter* при концентрациях (0,1 - 1,0 мг NH_3 /л) значительно более низких, чем таковые (10 - 150 мг/л), подавляющие бактерии рода *Nitrosomonas*. Это замедляет превращение нитритов в нитраты, вызывая накопление нитритов. При уменьшении pH аммоний и нитриты окисляются, происходит увеличение концентрации азотистой кислоты (HNO_2), которая подавляет бактерии родов *Nitrobacter* и *Nitrosomonas* (в диапазоне концентраций 0,22 - 2,8 мг/л), что вызывает увеличение количества нитритов. Основные процессы нитрификации и денитрификации отвечают потребностям экосистемы, но вмешательство человека вносит в них изменения, а в ряде случаев оказывает разрушительное действие на водоемы и гидробионты. Нитриты негативно влияют на химические и гидробиологические показатели воды, что в конечном итоге отражается на гидробионтах. Так, нитрит натрия, начиная с концентраций 0,25 мг/л, снижает содержание кислорода в воде [6].

В результате взаимодействия нитритов с низкомолекулярными аминами образуются нитрозамины, обладающие высокой токсичностью, тератогенностью и канцерогенностью [13]. В последние годы высказывается предположение, что опухоли у рыб могут вызывать нитрозосоединения, которые обладают хорошей растворимостью и значительной стабильностью в воде. Более того, нитрозосоединения могут формироваться из нитритов и вторичных аминов, образующихся в результате расщепления животных белков при гнилостных процессах. Концепция так называемого «эндогенного синтеза» нитрозаминов из предшественников, основанная на изучении этиологии опухолей у человека и млекопитающих до последнего времени не была проверена на гидробионтах. Лишь недавно удалось получить четкие данные, подтверждающие эту точку зрения [10].

Токсичность нитритов обусловлена метгемоглобинообразующим действием, которое является одним из механизмов токсичности растворенных в воде нитритов для рыб [1].

При взаимодействии нитритов с гемоглобином осуществляется окислительно-восстановительная реакция, сопровождающаяся окислением дезоксигемоглобина в метгемоглобин, а ионы NO_2^- восстанавливаются до NO^- в результате акцептирования электронов. Чем выше концентрация нитритов, тем больше количество образующего метгемоглобина.



Взаимодействуя с восстановленным гемоглобином, окись азота (NO^-) образует стабильные Hb-NO^- – комплексы. NO^- образует также комплексы с негемовым железом ферментов дыхательной цепи митохондрий [1].

Присутствие высоких концентраций метгемоглобина становится визуально очевидным, поскольку кровь становится коричневой [2]. Даже незначительные концентрации нитрита, проникая через жаберный аппарат, вызывает метгемоглобинемию и функциональную анемию [23].

Гемическая и гистотоксическая гипоксия, развивающаяся вследствие интоксикации нитритами, вызывает тяжелейшие сдвиги в метаболизме, усиление процессов ПОЛ, подавление систем антиоксидантной защиты организма с последующими деструктивными процессами на уровне ферментативных реакций, гуморальных факторов регуляции и клеточных мембран. Часто повторяющаяся и длительная интоксикация организма даже небольшими дозами токсикантов, сопро-



воздаются стрессами, приводит к истощению гипофизарно-адреналовой системы, подрыву защитных сил организма и ослаблению клеточного иммунитета [9].

Показано, что при длительной, в течение 48 дней экспозиции радужной форели в среде с содержанием сублетальных доз нитрита, в первые 14 дней концентрация метгемоглобина, нитритов и нитратов в крови увеличивается, а дальнейшее воздействие токсиканта приводит к уменьшению этих показателей. Авторами высказывается предположение, что эритроциты радужной форели обладают способностью к детоксикации нитритов путем окисления их до нитратов. Процесс этот находится в зависимости от окислительной нагрузки гемоглобина и содержания нитритов в среде [18]. Признаки интоксикации, развитие анемии и лейкопении, были обнаружены у форели при сублетальных концентрациях нитрита (1,25 мг/л). В растворах с нитритами, концентрацией 10,1; 5,1 и 2,5 мг/л, выявлен обратный хронозависимый эффект: гибель форели в начале опытов в результате образования метгемоглобина, а на последующих этапах снижение смертности и восстановление цвета крови. Авторы связывают эти особенности реакции форели на нитритную интоксикацию с активацией интерреналовой железы [2].

Развитие стресс-реакции, сопровождающейся увеличением в крови стероидных гормонов, становлено при 24-часовой инкубации радужной форели *Salmo irideus* в среде с содержанием сублетальных концентраций нитрита (0,24 мг/л) [17].

Известна толерантность некоторых видов рыб к наличию в крови 50 % и более метгемоглобина, благодаря активно функционирующей метгемоглобинредуктазной системе, причем, активность этой системы у рыб выше, чем у человека [20].

Согласно существующим данным [16;20] содержание метгемоглобина в крови рыб зависит не только от концентрации нитритов в воде, но и от продолжительности их контакта с рыбой. Чем больше по времени рыбы находятся в нитритсодержащей воде, тем выше уровень метгемоглобина в крови.

Многие исследователи отмечали при нитритных интоксикациях у рыб мышечные судороги, расстройство равновесия, гиперемии жабр, печени, головного мозга, вакуолизацию цитоплазмы, почечного эпителия, лизис ядер, волокнистость и зернистость вещества мозга, дегенеративные изменения в нервных клетках головного мозга [8].

При непродолжительном воздействии различных концентраций нитрита натрия, превышающих ПДК в 2, 4 и 8 раз (ПДК = 0,01 мг/л) были обнаружены фазные изменения содержания фосфолипидов и холестерина в теле гуппи (*Lebistes reticulatus*). На 10 и 16-е сутки экспозиции независимо от концентрации нитрита содержание суммарных фосфолипидов и холестерина снижается в результате вовлечения липидных компонентов клеточных мембран в катаболический процесс [11].

Повышение концентрации нитритов до 200 мг/л вызывало у карпов снижение содержания триацилглицеринов, особенно в головном мозге. Заметное снижение происходит в жирнокислотном составе фосфатидилхолинов и триацилглицеринов головного мозга, печени, мышц [3].

Дозы токсичности нитритов для рыб варьируют в широких пределах. На чувствительность к нитритам влияет видовая принадлежность, масса и возраст рыбы. Так, выживаемость личинок *Bidyanus bidyanus* при 25-дневной экспозиции в среде с содержанием нитрита 16, 2 мг/л не изменялась. Рост уменьшался при концентрации более 1,43 мг/л. При концентрации 2,78 мг/л происходило уменьшение роста на 5%. При этом, независимо от дозы токсиканта наблюдались гистопатологические изменения в жабрах под [19]. Концентрации нитрита 2-15 мг/л летальны для некоторых теплолюбивых видов рыб, таких как толстоголовый гальян (*Pimephales promelas*) и сомик (*Octalurus punctatus*). Устойчивы к нитритам чукучан (*Catostomus commersoni*), карпиодес (*Carpiodes cyprinus*) и подкаменщик (*Cottus bairdi*) [8]. Однако, при высоких концентрациях нитритов замедляется рост рыб, снижается уровень гемоглобина, гематокрита, белка в крови, количество эритроцитов [25]. Дозы нитрита 12,5 мг/л в хронических экспериментах смертельны для форели. Концентрации нитрита 200, 100, 50 и 25 мг/л при 80-дневной экспозиции не оказывают смертельного действия на карпа [16]. Очевидно, толерантность карповых к действию нитрита



связана с высокой концентрацией гемоглобина, достигающей 8-9 г%, и сравнительно высоким объемом крови к весу тела [7].

При концентрации нитратов и нитритов в воде (9,5 и 0,9 мг/л соответственно) в Нальчикском форелевом хозяйстве была отмечена гибель рыб в начале июня в период ливневых дождей, после обработки водосборной площади хозяйства аммиачной селитрой и мочевиной. В течение 10 дней погибло около 1 млн. экземпляров мальков форели живой массой 15-25 г. Токсикоз протекал с характерными для данного отравления клиническими признаками: уровень метгемоглобина достигал 20-30% у заболевших. У рыб 3-4-летнего возраста обнаруживали множественные опухоли кишечника, что, по-видимому, связано с постоянной хронической интоксикацией рыб, в период интенсивного применения азотно-минеральных удобрений [14].

Токсичность нитритов зависит от химического состава испытуемой воды [8].

Высокая смертность радужной форели обнаружена при воздействии нитритов (600 мМоль) в комбинации с аммиаком (500 мМоль). Более низкие концентрации аммиака (100-300 мМоль) в сочетании с нитритом (0-300 мМоль) вызывали спорадическую смертность особей [23].

При повышении концентрации одновалентных ионов содержание метгемоглобина в крови рыб уменьшается. Уменьшение уровня метгемоглобина у рыб более интенсивно происходит под действием ионов К, чем ионов Na и Ca. Одновалентные ионы конкурируют с нитратами и ингибируют проникновение нитритов в организм рыб через жаберный аппарат [4]. Установлено, что концентрация метгемоглобина и смертность рыб зависела от содержания ионов Cl в воде. Так, в солоноватой воде при концентрации нитритов 448 мг/л уровень метгемоглобина достигал 75,7%, а смертность составляла 33,3%. В пресной воде при концентрации нитритов 14 мг/л уровень метгемоглобина также составлял 75,7%, смертность достигала 58,5%. После выдерживания рыб в пресной воде при концентрации нитритов 14 мг/л уровень метгемоглобина достигал 68,7%. Однако после перевода рыб в чистую воду этот показатель снижался до нормального уровня через 24-26 часов. Эти данные свидетельствуют об особой опасности нитритов для рыб в пресноводных водоемах [16]. В солоноватой воде (соленость 16‰) токсическое действие нитритов на молодь ханоса (*Chanos chanos*) значительно ослабляется, и летальные концентрации повышаются с 12 мг/л в пресной воде до 675 мг/л в солоноватой воде. Наиболее оптимальным соотношением нитрита и Cl, при котором происходит резкое снижение токсичности нитритов для рыбы, является 5:1. При таком соотношении показатель СК₅₀ нитритов для рыбы возрастает в 5 раз [21].

Исследование воздействия нитритов на молодь белого амура (масса рыб 0,02-7,6 г) акклиматизированную к температурам 24°, 29° и 32° С в течение двух недель, показало, что на средний летальный уровень нитритов оказывает влияние масса тела и температура воды. Более крупные экземпляры белого амура, акклиматизированные к 29° С оказались более толерантны к нитритам, чем мелкие. Такая же тенденция отмечена и для амура, акклиматизированного к 32° С. Установлено, что молодь белого амура при температуре 29° С аккумулирует меньше нитритов в своем теле, чем рыбы при температуре 24° С [15].

В морской воде с добавлением нитритов у лосося были низкие уровни метгемоглобина (44%), но высокая смертность (70%). Рыбы, погибающие в пресной воде, часто имели красные жаберные лепестки, а не коричневые, типичные для метгемоглобинемии.

Таким образом, из приведенного литературного материала следует, что нитритная интоксикация вызывает широкий спектр нарушений метаболических и морфофизиологических процессов, зависящих от вида и возраста рыб, дозы токсиканта и химического состава воды.

Для лечения и профилактики отравления рыб нитритами предложены разные методы: инъекции аскорбиновой кислоты, применение метиленового синего в виде инъекций, растворов [8] или добавок в корм; внесение в воду хлоридов натрия или кальция [22;24]; внесение в воду марганцовокислого калия, установка цеолитовых фильтров на водоподаче или выстилка дна цеолитами, применение цеолитакиноптитолита в виде муки с кормом [12]. Наиболее подходящим методом очистки среды обитания рыб от нитритов является применение восстановительной каталити-



ческой системы, представляющей собой смесь перекиси водорода, аскорбиновой кислоты и микромолей железа, практически всегда присутствующих в воде [5].

Библиографический список

1. Ажипа Я.И., Реутова В.П., Каюшин П.П. Экологические аспекты загрязнения окружающей среды нитритами и нитратами / Физиология человека. – 1990. – Т.16. – № 3. – С.131–145.
2. Барсукова М.М. Изменение активности интерренальной железы у форели при отравлении нитритами / Сб. науч. тр. Гос.НИИ оз. и реч. рыб. хоз-ва. – 1993. – №35. – С.38–45.
3. Велдре И.А., Роома М.Я., Итра А.Р., Паальме П.П. Содержание канцерогенных веществ в налим и салаке. // В кн.: «Экспериментальная и клиническая онкология». – Таллин, 1986. – Вып.7. – С.186–193.
4. Велдре И.А., Роома М.Я. Токсическое воздействие нитритов на рыб // Экология, 1990. – №1. – С.71–73.
5. Верещагин Г.А. Биологические аспекты изучения перекисных реакций в искусственных водных экосистемах // Автореф. дис. канд. биол. наук. – М., 1988. – 23 с.
6. Кокуричева М.П. О токсичности минеральных удобрений для рыб. В кн.: «Актуальные вопросы патологоанатомической диагностики болезней животных». Материалы 8 Всес. конф. по патол. анатомии животных. Витебск, 15–17 сент., 1981, Л., 1982, с.124–127.
7. Леоненко Е.П. Оснащенность организма рыб гемоглобином как показатель их жизнестойкости и продуктивности / В книге: «Экологические особенности крови рыб». – М.: Изд-во «Наука», 1990. – С.42–49.
8. Руссо Р. Последние достижения в исследованиях токсичности нитритов для рыб / Сб.: Теор. вопр. водной токсикологии. Л.: Наука, 1981. – С.186–196.
9. Таранова Н.П. Липиды ЦНС при повреждающих воздействиях. Л.: Наука, 1988. – С.72.
10. Худолей В.В., Боговский С.П. Опухоли гидробионтов и мониторинг канцерогенных загрязнений биосферы. – Усп. совр. биологии, 1982, т.93, №3, с.466–472.
11. Черкесова Д.У., Исуев А.Р., Магомедгаджиева Д.Н., Абдуллаев Х.Т., Расулов С.Т. Воздействие нитритной интоксикации на содержание фосфолипидов и холестерина в теле рыб // В сб.: тез. докл. I конгр. ихтиологов России. – М.: «ВНИРО», 1997. – С.465.
12. Шахмурзов М.М., Призенко В.К. Отравление рыб нитритами в форелевых хозяйствах и организация мер борьбы с токсикозами // Вторая всесоюзная конф. по р/х токсикологии. Тез. докл. – С.-Петербург, 1991. – Т.2. – С.265–266.
13. Шахмурзов М.М., Казанчев М.Х., Гушин В.Н. Содержание нитритов и нитратов в воде и рыбе рыбохозяйственных водоемов Кабардино-Балкарии // Сб. н. тр. ВНИИ вет. сан., гигиены и экол. – 1998. – 104. – С.64–67.
14. Шахмурзов М.М. Охрана рыбохозяйственных водоемов при загрязнении азотсодержащими соединениями и пути снижения их токсичности для рыб. Автореф. дис. докт. биол. наук. – М. – 1994. – 28.
15. Alcaroza G., Espina S. Bull. Environ. Contand and toxid. – 1995. – № 3. – P.473–478.
16. Almendras J.M.E. Acute nitrite Toxicity and methemoglobinemia in juvenile milkfish (Chanos Forsskal) // Aquaculture, 1987. – V.61. – №1. – P.33–40.
17. Carballo M., Munoz M.J., Cuellar M., Tarazona J.V. Effects of waterborne copper, cyanide, ammonia, and nitrite on stress parameters and changes in susceptibility to saprolegniosis in rainbow trout // Applied and Enviromental Microbiology. – Vol.61. – №6. – 1995. – Pp.2108–2112.
18. Doblander C., Lackner R., Can J. Oxidation of nitrite to nitrate in isolated erythrocytes: A possible mechanism for adaptation to enviromental nitrite // Fist. Aguat. Sci. / J. Can. Sci. Halieut. Aguat. – Vol.54. – №1. – 1997. – Pp.157–161.
19. Frances J., Allan G.I., Nowak B.F. The effects of nitrite on the short-term growt of silver perch (Bidyanus bidyanus) // Aquaculture, 1998. – Vol.163. – № 1-2. – Pp. 63–72.
20. Hilmy A.M., El-Domiaty N.A., Wershana R. Acute and chronic toxicity of nitrite to Clarias lazera // Comp. Biochem. and Physiol. – 1987. – C.86. – № 2. – P. 247–253.
21. Thamavit W. Generation of high yields of syrian hamster cholangiocellular carcinomas and hepatocellular nodules by combined nitrite and aminopyrine administration and opesthorchis viverrini infection. // Jpn. J. Cancer Res. – 1988. – V.79. – P.909–916.
22. Tomasso J.R., Wrigt M.I., Simco B.A., Davis K.B. Ingibition of nitrite – induced toxicity in channel catfish by calcium chloride and sodium chloride // The Progressive Fish – Culturist. – 1980. – 42, №3. – P.144–146.
23. Vedel N.E., Korsgaard B., Jensen F. Isolated and combined exposure to ammonia and nitrite in rainbow trout: effects on electrolyte status, blood respiratory propertiers and brain glutamine/glutamate concentrations // Aguat. Toxicol. – Vol.41, no.4. – 1998. – Pp.325–342.
24. Wedemeyer G.A., Yasutake W.T. Prevention and treatment of nitrite toxicite in yuvenile steelhead trout (Salmo gairdneri) // J. Fish. Res. Board Can/ – 1978. – V.35. – №6. – P.822–827.
25. Yamagata Y., Niwa M. Nitrite toxicity to eels // Aquaculture, 1979. – 27, №1. – P.5–11.