

СЕЛЕКЦІЯ, ГЕНЕТИКА ТА БІОТЕХНОЛОГІЇ

УДК: [597.587.9+597.593.4]:556.114.621

ОПТИМАЛЬНЫЕ, КРИТИЧЕСКИЕ И ПОРОГОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НАСЫЩЕНИЯ ВОДЫ КИСЛОРОДОМ ДЛЯ КЕФАЛЕВЫХ И КАМБАЛОВЫХ РЫБ В ОНТОГЕНЕЗЕ

П. В. Шекк, shekk@ukr.net, Одесский государственный экологический университет, г. Одесса

Цель. Определить оптимальные, критические и пороговые значения насыщения воды кислородом для эмбрионов, личинок и мальков кефалевых и камбаловых рыб при различных температурных условиях.

Методика. Потребление кислорода изучали в хронических экспериментах методом «прерванного потока» с автоматической фиксацией содержания растворенного в воде кислорода при помощи кислородного датчика и автоматической, непрерывной записью полученных результатов. Определяли «критическое» ($P_{\text{крит}}$), и «пороговое» ($P_{\text{пор}}$) содержание кислорода в воде.

Результаты. При оптимальных условиях нормальный эмбриогенез кефалевых и камбаловых рыб до стадии гаструляции обеспечивало 90–130% насыщение воды кислородом. Критическое содержание составляло 80–85%, пороговое – 65–70% насыщения. На стадии «подвижный эмбрион» в зависимости от температуры воды и вида рыб оптимальный диапазон насыщения воды кислородом лежал в пределах 70–127,1%. Наиболее толерантна к дефициту кислорода камбала глосса ($P_{\text{крит}} - 25,4-27,5$; $P_{\text{пор}} - 20,5-22,5\%$), наименее устойчив к гипоксии – лобан ($P_{\text{крит}} - 50-60$; $P_{\text{пор}} - 35-40\%$).

Пределы критической и пороговой концентрации растворенного в воде кислорода прямо зависели от температуры и солёности воды, при которой происходит эмбриогенез. При повышении температуры и солёности воды критические и пороговые значения содержания кислорода в воде для эмбрионов возрастают. Мальки кефалевых и камбаловых рыб на всех этапах развития имели высокую толерантность к гипоксии, которая возрастала по мере их роста. Устойчивы они и к перенасыщению воды кислородом. Наиболее требовательны к кислородному режиму выращивания личинки и мальки лобана (*Mugil cephalus*) и сингиля (*Liza aurata*). Толерантность к гипоксии черноморского калкана (*Psetta taeoticus*) и камбалы глоссы (*Platichthys luscus*) на всех этапах развития очень высока. Мальки этих видов рыб длительное время могут без видимых последствий переносить снижение концентрации растворенного в воде кислорода до 2,10 и 1,65 мг $O_2/дм^3$ соответственно.

Научная новизна. Впервые экспериментально установлены оптимальные, критические и пороговые значения насыщения воды кислородом для эмбрионов, личинок и сеголеток кефалей лобана, сингиля, пиленгаса, камбалы глоссы и черноморского калкана.

Практическая значимость. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации условий культивирования и товарного выращивания кефалевых и камбаловых рыб.

Ключевые слова: насыщение воды кислородом, критические, пороговые значения, эмбрионы, личинки, сеголетки, кефалевые, камбаловые.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Содержание растворённого кислорода в воде – один из важнейших абиотических факторов, определяющий нормальный ход биохимических



процессов и жизнедеятельность организма рыб на всех этапах онтогенеза. Его содержание в воде и доступность для гидробионтов определяет их распространение, выживание, рост, упитанность, интенсивность питания, устойчивость к различным заболеваниям.

В литературе в основном приводят минимальные, пороговые значения содержания кислорода в воде для некоторых морских и пресноводных рыб. Знание пороговых величин необходимо для определения границ обитания того или иного вида, представляет научный интерес для понимания некоторых сторон физиологии дыхания и газообмена, но малоприспособно для практического использования. Вместе с тем, разрыв между пороговым содержанием кислорода, вызывающим гибель рыб и критическим, при котором наступает реальное угнетение дыхания, как правило, чрезвычайно мал, что делает гидробионтов уязвимыми при резком изменении кислородного режима [9, 24], а такие данные весьма скудны из-за технической сложности определения этих величин.

Устойчивость рыб к дефициту кислорода определяется видовыми и возрастными особенностями, их физиологическим состоянием, условиями среды (в первую очередь температуры). Вместе с тем, практически любое снижение концентрации кислорода в воде ниже уровня насыщения отрицательно влияет на рост, воспроизводство и другие физиологические функции организма [9, 16]. Так, в условиях гипоксии у черноморских рыб (ставрида, ласкирь и скорпена) и креветок происходит смена направленности энергетического метаболизма с использования липидно-углеводных на белковые субстраты. Значительная доля белка и продуктов азотистого метаболизма при этом используется в энергетическом обмене анаэробно [22]. У бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus*) в условиях гипоксии происходит рост значений гематокрита, увеличение ядер и ядерно-плазменных отношений в зрелых эритроцитах [20].

Рыбам вреден не только недостаток кислорода в воде, но и его избыток, который вызывает анемию и удушье. Выделение газовых пузырьков в тканях сопровождается разрывами кожных покровов и плавников, выпучиванием глаз, закупоркой кровеносных сосудов [1].

Чувствительность рыб к недостатку кислорода также прямо зависит от возрастных изменений интенсивности дыхания и величины порогового насыщения кислородом, как следствие различных требований развивающегося организма к окружающей среде [5, 8, 10]. При этом повышение кислородного порога не всегда совпадает с повышенной интенсивностью дыхания [11], а ухудшение кислородных условий выращивания, как правило, приводит к замедлению роста мальков [5, 25].

ВЫДЕЛЕНИЕ НЕРЕШЕННЫХ РАННЕ ЧАСТЕЙ ОБЩЕЙ ПРОБЛЕМЫ. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Основная масса имеющихся в литературе данных касается пороговых величин концентрации кислорода в воде для некоторых пресноводных рыб. Значительно хуже изучена толерантность к дефициту растворенного в воде кислорода морских рыб разной экологии, в особенности на ранних этапах онтогенеза: эмбриональном, личиночном и мальковом этапах развития [1].

В то же время, для решения практических рыбоводных задач наиболее важно знать оптимальную, «комфортную» зону, а также критическую концентрацию



кислорода в воде, что позволяет своевременно принимать меры по оптимизации условий содержания рыб на различных этапах онтогенеза [9, 24].

Цель настоящей работы состояла в определении критических и пороговых значений насыщения воды кислородом для эмбрионов, личинок и мальков кефалевых и камбаловых рыб при различных температурных условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование энергетического обмена морских рыб проводилось на экспериментальных базах ЮгНИРО «Заветное» (Керченский пролив) и «Будаки» (Шаболатский лиман северо-западной части Черного моря).

Объектом исследования служили эмбрионы, личинки и сеголетки: кефали лобана (*Mugil cephalus* L., 1758), сингиля (*Liza aurata* Risso), 1810, пиленгаса (*Liza haematocheilus* Temminck et Schlegel, 1845 = *Mugil so-iuy* Basilewsky, 1885), черноморского калкана (*Psetta maoticus*, Pallas 1814) и камбалы глоссы (*Platichthys luscus*, Pallas 1814) [17, 19].

Для изучения интенсивности потребления кислорода зародышами рыб наиболее известен «метод замкнутых сосудов». Однако, использование его связано с ошибками, возникающими в результате соприкосновения пробы воды с воздухом, беспокойства объектов исследования при отборе проб и невозможностью проведения длительных измерений у рыб предварительно адаптированных к условиям респирометра [2, 3, 6, 7].

Чтобы избежать этого, Т. G. Thompson и R. C. Miller [26] предложили специальную конструкцию сосудов, в которые реактивы могут добавляться без соприкосновения пробы воды с воздухом. К сожалению, такой метод не нашел широкого применения из-за большой трудоемкости. Наиболее удобным и точным для определения интенсивности потребления кислорода зародышами рыб считается микрометод Ван Дама с использованием шприцевой пипетки [7].

Энергетический обмен рыб, интегральным показателем которого может служить потребление кислорода, изучают в хронических экспериментах методом «прерванного потока» с автоматической фиксацией содержания растворенного в воде кислорода при помощи кислородного датчика и автоматической, непрерывной записью полученных результатов [6, 7, 18, 23].

Установка была изготовлена по нашим чертежам в мастерской ЮгНИРО, включала термостатируемую емкость, в которую помещали герметические проточные респирометры объемом от 5–10 мм³ до 50–60 дм³, где находились объекты исследования (эмбрионы, личинки, мальки). Концентрация растворенного в воде кислорода непрерывно измерялась с помощью кислородного (серебряно-свинцового) датчика и фиксировалась самописцем (МКА-750 СП). В респирационных камерах обеспечивался постоянный слабый ток воды. В зависимости от целей, задач и особенностей объекта исследования, эксперименты продолжались от нескольких часов – для эмбрионов, до суток – для личинок, и до 5–10 суток – для мальков. В период содержания в респирометрах личинок и мальков не кормили. При определении стандартного (фоновое) уровня энергетического обмена измерения проводились при концентрации кислорода, которая соответствовала максимальному насыщению воды при данном температурном режиме. После уменьшения содержания растворенного в воде кислорода в респирометре на 30% происходила автоматическая замена воды



и запись продолжалась. Заданные параметры среды поддерживались в автоматическом режиме, велась непрерывная запись потребления кислорода объектами исследования. Записи самописца расшифровывали с помощью калибровочных кривых.

В специальных экспериментах определяли «критическое содержание кислорода в воде» ($P_{\text{крит}}$), то есть момент, при котором организм не может более поддерживать неизменный уровень обмена он начинает снижаться, а также «пороговое содержание кислорода» ($P_{\text{пор}}$) и момент начала гибели рыб от асфиксии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

О потенциальной способности эмбрионов рыб к регуляции потребления кислорода можно судить на основании современных представлений об их газообмене [1, 9]. Если развивающаяся яйцеклетка находится в абсолютно неподвижной жидкости, то в результате поглощения кислорода концентрация его вокруг икринки постепенно уменьшается, что приведет к ее гибели. На ранних этапах эмбриогенеза перенос кислорода осуществляется за счет внешнего (окружающая вода) и внутреннего (перивителлиновое пространство) движения – перемешивания. Внешнее перемешивание обеспечивают конвективные токи воды, возникающие за счет течений, градиента температур, плотности водных масс, омывающих эмбрион; внутреннее – обеспечивается протоплазматической моторикой эмбриона, который в результате вращения в оболочке перемешивает жидкость перивителлинового пространства.

На начальных этапах эмбрионального развития у эмбриона практически полностью отсутствует регуляция потребления кислорода. В этот период инкубация икры исследованных видов морских рыб в диапазоне оптимальной температуры и солености успешно протекала при 90–130% насыщении воды кислородом и постоянном ее перемешивании. Снижение насыщения воды кислородом до 80–85% приводило к гибели до 30–45% эмбрионов, а при падении содержания кислорода в среде до 65–70% наблюдалась их массовая гибель.

Способность поддерживать определенный уровень потребления кислорода, независимо от его концентрации в воде, в достаточно широком диапазоне появляется у эмбриона по мере развития органов кровообращения. После установления кровообращения потребление кислорода остается на постоянном уровне вплоть до критической точки.

Нормальное развитие лобана на завершающих стадиях эмбриогенеза (в зоне оптимальной температуры 21–25°C и солености 18–19‰) обеспечивало 90–120% насыщение воды кислородом (6,9–10,2 мг $O_2/дм^3$). При снижении содержания кислорода в воде до 4,5–4,7 мг $O_2/дм^3$ (50–60% насыщения) повышался отход развивающейся икры, а при снижении его до 2,7–3,1 мг $O_2/дм^3$ (менее 40% насыщения) наблюдалась массовая гибель эмбрионов. При температуре воды 19–20°C и солености 19–20‰ (оптимальный диапазон) нормальное протекание ранних стадий эмбриогенеза сингиля также обеспечивало 100–120% насыщение воды кислородом. На завершающих стадиях развития эмбрионов критическое содержание кислорода в воде составляло менее 45% (около 3,0 мг $O_2/дм^3$). Полученные данные несколько расширяют сложившиеся ранее представления о толерантности эмбрионов лобана и сингиля к насыщению воды кислородом [4, 12, 13, 14].



На стадии «подвижный эмбрион» потребление кислорода пиленгасом оставалось на постоянном уровне вплоть до критической точки, которая в зависимости от условий культивирования составляла от 44,2 до 53,0% насыщения; пороговая концентрация находилась в пределах 29,2–37,1% насыщения. Пределы критической и пороговой концентрации растворенного в воде кислорода прямо зависели от температуры и солености воды, при которой происходит эмбриогенез. Оптимальное содержание кислорода в воде для эмбрионов пиленгаса лежит в пределах 78,5–127,1 мгО₂/дм³. При повышении температуры и солености чувствительность эмбрионов к дефициту кислорода растет. При температуре 18°C и солености 17–18‰ критическая концентрация составляла 2,61, а при 21–22‰ – 2,88 мгО₂/дм³ (44,2 и 49,1% насыщения соответственно). Пороговая концентрация растворенного в воде кислорода для эмбрионов пиленгаса составляла при аналогичных условиях соответственно 1,74 и 2,01 мгО₂/дм³, или 29,2 и 34,2% насыщения (табл. 1).

Таблица 1. Оптимальные, критические и пороговые значения насыщения воды кислородом для эмбрионов пиленгаса на завершающих стадиях развития

Концентрация кислорода	Соленость ‰					
	17-18			21-22		
	Температура, °C					
	18	19	20	18	19	20
Оптимальная						
мгО ₂ /дм ³	4,63-6,95	4,72-7,08	4,82-7,22	4,89-6,90	4,98-7,04	5,08-7,17
%	78,5-117,7	81,5-122,3	84,9-127,1	83,3-117,5	86,6-22,4	90,1-127,1
Критическая						
мгО ₂ /дм ³	2,61	2,66	2,71	2,88	2,94	2,99
%	44,2	45,9	47,7	49,1	51,1	53,0
Пороговая						
мгО ₂ /дм ³	1,74	1,77	1,81	2,01	2,05	2,09
%	29,2	30,6	31,9	34,2	35,7	37,1

Такая же закономерность наблюдалась для всего исследованного диапазона температуры и солености. Нормальное развитие эмбрионов калкана на ранних этапах развития (до стадии гастрულიции) обеспечивало насыщение воды кислородом на уровне 98–120%, а на стадии «подвижный эмбрион» оптимальный диапазон сужался до 75,0–117,5% (табл. 2).

Таблица 2. Оптимальные, критические и пороговые значения насыщения воды кислородом для эмбрионов калкана на завершающих стадиях развития при солености 20‰

Концентрация кислорода	Температура, °C				
	15	18	20	16	19
Оптимальная					
мгО ₂ /дм ³	4,73-6,94	4,54-6,33	4,56-6,28	4,89-6,72	4,80-6,76
%	75,0-110,0	76,5-110,0	80,0-110,0	80,0-110,0	83,5-117,5
Критическая					
мгО ₂ /дм ³	1,68	1,79	1,97	1,93	2,11
%	26,6	30,2	34,5	31,6	36,7
Пороговая					
мгО ₂ /дм ³	1,42	1,58	1,70	1,71	1,73
%	22,5	26,6	29,7	28,0	30,1



Для эмбрионов рыб этого вида установлена достаточно тесная зависимость критических концентраций кислорода от температуры воды ($r=0,885-0,987$). В диапазоне 15–19°C она находилась в пределах 26,6–36,7%.

На ранних этапах развития эмбрионов глоссы насыщение воды кислородом должно составлять не менее 100–120%, на завершающих этапах – допустимо снижение до 70–75%. Критическое содержание кислорода в исследованном температурном диапазоне лежит в границах 25,4–27,5%, пороговое – 20,5–22,5% (табл. 3).

Эксперименты, выполненные на предличинках глоссы (в возрасте 6–9 суток), кефали и калкана (до 5-суточного возраста), показали, что для успешного культивирования, при прочих оптимальных условиях выращивания, насыщение воды кислородом в этот период не должно быть ниже 100–120%.

Необходимость поддерживать столь высокую концентрацию растворенного в воде кислорода связана с внесением в выростные бассейны кормовых организмов перед началом внешнего питания и массовым заполнением плавательного пузыря.

Таблица 3. Оптимальные, критические и пороговые значения насыщения воды кислородом для эмбрионов глоссы на завершающих стадиях развития при солености 20 ‰

Концентрация кислорода	Температура, °C	
	9	10
Оптимальная		
$\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	5,33-8,53	5,21-8,34
%	70-120	75-120
Критическая		
$\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	1,81	1,91
%	25,4	27,5
Пороговая		
$\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	1,45	1,56
%	20,5	22,5

Как показали наблюдения, даже при прочих оптимальных условиях, снижение содержания кислорода в воде до 70–80% вызывало гибель 30–50% предличинок, выклюнувшихся из икры высокого качества (85–89% развития).

Очевидно, что благоприятный кислородный режим имеет приоритетное значение для обеспечения высокого уровня выживания предличинок морских рыб в период перехода на внешнее питание и заполнения плавательного пузыря.

Для личинок пиленгаса после заполнения плавательного пузыря допустимо снижение насыщения воды кислородом до 80% ($6,1-6,3 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$). При 60% насыщении активность личинок снижалась, они прекращали питаться. Перенасыщение воды кислородом и высокая температура приводили к образованию в кишечнике личинок пузырька воздуха и их гибели.

Установлено, что личинки и сеголетки исследуемых видов рыб более устойчивы к дефициту кислорода, чем предличинки. Мальки пиленгаса массой 0,5–1,0 г выдерживали снижение концентрации кислорода в воде до $0,8-0,2 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ в течение 12 часов (табл. 4). Недостаток кислорода в этом случае в какой-то мере компенсировался за счет атмосферного воздуха, который мальки захватывали, поднимаясь к поверхности.



Таблица 4. Пороговые и критические концентрации кислорода ($\text{мг O}_2/\text{дм}^3$) для личинок и мальков кефалевых и камбаловых рыб

Возраст, суток	Температура, °С	Соленость, ‰	Критическая $\bar{X} \pm S_x$	Пороговая $\bar{X} \pm S_x$
Пиленгас				
5-9	17-18	19-20	4,35±0,18	2,15±0,11
10-12	19-24	16	2,24±0,11	1,08±0,04
30-35	22-26	14-15	1,92±0,09	0,95±0,10
Лобан				
8-15	19-21	20-22	4,65±0,31	2,25±0,08
20-40	20-22	20,5	4,40±0,17	1,87±0,14
Сингиль				
10-15	20-22	18,5	4,65±0,11	2,17±0,09
25-40	18-20	21	3,30±0,12	1,35±0,11
Калкан				
4-7	14-15	20	3,53±0,08	2,09±0,08
9-15	15,5	18	3,32±0,02	1,45±0,09
18-25	19-20	17	3,30±0,12	1,25±0,06
35-60	20-22	18	2,10±0,04	0,97±0,13
Глосса				
10-20	14-15	18	3,40±0,05	1,63±0,60
30-50	17-19	15	1,65±0,12	0,82±0,05

Без доступа к поверхности воды гибель сеголеток наступала уже при концентрации кислорода 1,2–1,0 $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$. Мальки легко переносят перенасыщение воды кислородом до 20 $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$.

Наиболее требовательны к кислородному режиму выращивания личинки и мальки лобана и сингиля. Толерантность к гипоксии калкана и глоссы на всех этапах развития очень высока. Мальки этих видов длительное время могут без видимых последствий переносить снижение концентрации растворенного в воде кислорода до 2,10 и 1,65 $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$ соответственно.

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Наиболее чувствительны к дефициту кислорода эмбрионы и личинки кефалевых и камбаловых рыб на стадии заполнения плавательного пузыря. В этот период оптимальным является насыщение воды кислородом на уровне 100% и более.

По мере роста личинок и сеголеток устойчивость к гипоксии повышается. Эмбрионы и личинки лобана и сингиля менее устойчивы к дефициту кислорода, чем пиленгаса, калкана и глоссы.

Пределы критической и пороговой концентрации растворенного в воде кислорода прямо зависели от температуры и солености воды. При повышении температуры и солености чувствительность эмбрионов, личинок и мальков к дефициту кислорода растет.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что рыбы обладают мощными метаболическими механизмами, позволяющими им существовать в условиях гипоксии. При этом у активных пелагических видов (кефалевых) зависимость метаболизма от содержания кислорода в воде проявляется сильнее, чем у донных, малоподвижных видов (камбаловых).

Важным представляется исследование устойчивости к гипоксии морских рыб разной экологии в зависимости от температуры, возраста, размеров и



физиологического состояния. Такие исследования позволят оптимизировать условия товарного выращивания объектов марикультуры, повысить продуктивность товарных хозяйств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баклашова Т. А. Ихтиология / Баклашова Т. А. — М., 1980. — 323 с.
2. Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и температурная адаптация / Г. Г. Винберг // Успехи современной биологии. — 1936. — Т. 5, № 2. — С. 371—384.
3. Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб / Винберг Г. Г. — Минск : Изд-во Белорусского университета, 1956. — 253 с.
4. Инструкция по разведению кефали лобана / [Аронович Т. М., Маслова О. Н., Лапина Н. М. и др.] — М. : ВНИРО, 1986. — 54 с.
5. Касимов Р. Ю. Кислородный порог у молоди осетровых в раннем онтогенезе / Р. Ю. Касимов, З. К. Касимова // Научная сессия ЦНИОРХ : тез. докл. — Баку, 1967. — С. 34—35.
6. Кляшторин Л. Б. Определение стандартного обмена у рыб с помощью мембранного электрода / Л. Б. Кляшторин, А. А. Яржомбек // Труды ВНИРО. — 1972. — Т. 85. — С. 36—45.
7. Кляшторин Л. Б. Определение скорости дыхания рыб в регулируемых кислородных условиях / Л. Б. Кляшторин // Гидробиологический журнал. — 1976. — № 5. — С. 12—14.
8. Кляшторин Л. Б. О чувствительности молоди осетровых к дефициту кислорода / Л. Б. Кляшторин // Вопросы ихтиологии. — 1976. — Т. 16, вып. 4. — С. 744—748.
9. Кляшторин Л. Б. Водное дыхание и кислородные потребности рыб / Кляшторин Л. Б. — М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 167 с.
10. Кокоза А. А. Динамика устойчивости молоди осетровых к дефициту кислорода в период заводского выращивания / А. А. Кокоза // Науч. сессия, посвященная 100-летию осетроводства : мат. — Астрахань, 1969. — С. 49—58.
11. Коновалов П. М. Опыты с молодью севрюги на дыхание и кислородный порог / П. М. Коновалов // Сб. работ по ихтиологии и гидробиологии. — 1961. — Вып. 3. — С. 93—105.
12. Куликова Н. И. Биотехника искусственного воспроизводства кефалей (лобана, сингиля, пиленгаса) с описанием схемы типового рыбопитомника / Н. И. Куликова, П. В. Шекк. — Керчь : Издательский центр ЮгНИРО, 1996. — 27 с.
13. Маслова О. Н. Влияние температуры на скорость дыхания кефали лобана в раннем онтогенезе / О. Н. Маслова // Энергетический обмен рыб : Всесоюзное совещание : тез. докл. — Суздаль, 1986. — С. 39.
14. Маслова О. Н. Эколого-физиологическая характеристика ранних стадий развития кефали-лобана в условиях искусственного воспроизводства : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук : спец. 03.00.10 — ихтиология / О. Н. Маслова. — М., 1989. — 24 с.
15. Методические указания по разведению кефали пиленгаса *Mugil so-iuy* (Basilewsky) в водоёмах юга Украины / [Шекк П. В., Куликова Н. И., Федудина В. Н. и др.] — К. : Укррыбхоз, 1993. — 19 с.



16. Микодина Е. В. Биологические основы и методы управления функциями в раннем онтогенезе рыб / Е. В. Микодина; // Биологические основы марикультуры под ред. Л. А. Душкиной — М. : ВНИРО, 1998. — С. 178—205.
17. Мовчан Ю. В. Зауваження до складу іхтіофауни України (нечисленні, зниклі, нові види) та сучасні зміни в номенклатурі її таксонів : (у порядку обговорення) / Ю. В. Мовчан // Збірник праць Зоологічного музею. — 2006. — № 38. — С. 34—43.
18. Озернюк Н. Д. Энергетический обмен в раннем онтогенезе рыб / Озернюк Н. Д. — М. : Наука, 1985. — 173 с.
19. Парин Н. В. *Liza hematocheilus* – правильное видовое название кефали пиленгас (Mugilidae) / Н. В. Парин // Вопросы ихтиологии. — 2003. — Т. 43, № 3. — С. 418—419.
20. Парфенова И. А. Функциональная морфология циркулирующих эритроцитов бычка-кругляка в условиях экспериментальной гипоксии / И. А. Парфенова, А. А. Солдатов // Морской экологический журнал. — 2011. — Т. 10, № 2. — С. 59—67.
21. Резниченко П. Н. Преобразование и смена механизмов функций в онтогенезе низших позвоночных / Резниченко П. Н. — М. : Наука, 1982. — 216 с.
22. Ставицька О. М. Особливості енергетичного та азотистого обміну у риб Чорного моря при різних кисневих режимах: автореф дис. на здобуття вченого ступеня канд. біол. наук / Ставицька О. М. — Севастополь, 1997. — 24 с.
23. Шекк П. В. Применение метода «прерванного потока» в ихтиотоксикологических экспериментах / П. В. Шекк, Э. Ф. Костылев // Методы ихтиотоксикологических исследований : 1 Всесоюзный симпозиум : тезисы докл. — Л., 1987. — С. 67—68.
24. Шекк П. В. Биологически-технологические основы культивирования кефалевых и камбаловых рыб / Шекк П. В. — Херсон : ЧП Гринь, 2012. — 305 с.
25. Andrews J. W. The influence of dissolved oxygen on the growth of channel catfish. / J. W. Andrews, T. Murrai, G. Gibbons // Trans. Amer. Fish. Soc. — 1973. — Vol. 102, № 4. — P. 17.
26. Thompson T. G. Apparatus for microdetermination of dissolved oxygen / T. G. Thompson, R. C. Miller // Industr. Engineer. Chem. — 1928. — Vol. 20, № 7. — P. 56.
27. Fox H. M. A portable apparatus for determination of oxygen, dissolved in a small volume of water / H. M. Fox, C. A. Wingjield // J. Exptl. Biol. — 1938. — P. 15.

REFERENCES

1. Baklashova, T. A. (1980). *Ikhtiologiya*. Moskva.
2. Vinberg, G. G. (1936). Intensivnost' obmena i temperaturnaya adaptatsiya. *Uspekhi sovremennoy biologii*, 5, 2, 371-384.
3. Vinberg, G. G. (1956). *Intensivnost' obmena i pishchevye potrebnosti ryb*. Minsk: Izd-vo Belorusskogo universiteta.
4. Aronovich, T. M., Maslova, O. N., Lapina, N. M. et al. (1986). *Instruktsiya po razvedeniyu kefali lobana*. Moskva: VNIRO.
5. Kasimov, R. Yu., & Kasimova, Z. K. (1967). Kislorodnyy porog u molodi osetrovyykh v rannem ontogeneze. *Nauchnaya sessiya TsNIORKh*. Baku, pp. 34-35.



6. Klyashtorin, L. B., & Yarzhombek, A. A. (1972). Opredelenie standartnogo obmena u ryb s pomoshch'yu membrannogo elektroda. *Trudy VNIRO*, 85, 36-45.
7. Klyashtorin, L. B. (1976). Opredelenie skorosti dykhaniya ryb v reguliruemyykh kislorodnykh usloviyakh. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 5, 12-14.
8. Klyashtorin, L. B. (1976). O chuvstvitel'nosti molodi osetrovyykh k defitsitu kisloroda. *Voprosy ikhtiologii*, 16, 4, 744-748.
9. Klyashtorin, L. B. (1982). *Vodnoe dykhanie i kislorodnye potrebnosti ryb*. Moskva: Legkaya i pishchevaya promyshlennost'.
10. Kokoza, A. A. (1969). Dinamika ustoychivosti molodi osetrovyykh k defitsitu kisloroda v period zavodskogo vyrashchivaniya. *Nauch. sessiya posvyashchennaya 100-letiyu osetrovodstva*. Astrakhan', 49-58.
11. Konovalov P. M. (1961). Opyty s molod'yu sevryugi na dykhanie i kislorodnyy porog. *Sb. rabot po ikhtiologii i gidrobiologii*, 3, 93-105.
12. Kulikova, N. I., & Shekk, P. V. (1996). *Biotehnika iskusstvennogo vosproizvodstva kefaley (lobana, singilya, pilengasa) s opisaniem skhemy tipovogo rybopitomnika*. Kerch': Izdatel'skiy tsentr YugNIRO.
13. Maslova, O. N. (1986). Vliyanie temperatury na skorost' dykhaniya kefali lobana v rannem ontogeneze. *Energeticheskii obmen ryb: Vsesoyuznoe soveshchanie*. Suzdal', 39.
14. Maslova, O. N. (1989). Ekologo-fiziologicheskaya kharakteristika rannikh stadiy razvitiya kefali-lobana v usloviyakh iskusstvennogo vosproizvodstva. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moskva.
15. Shekk, P. V., Kulikova, N. I., Fedulina, V. N. et al. (1993). *Metodicheskie ukazaniya po razvedeniyu kefali pilengasa Mugil so-iny (Basilewsky) v vodoemakh yuga Ukrainy*. Kiev: Ukrrybkhkh.
16. Mikodina, E. V., & Dushkina, L. A. (Eds.). (1998). Biologicheskije osnovy i metody upravleniya funktsiyami v rannem ontogeneze ryb. *Biologicheskije osnovy marikul'tury*. Moskva: VNIRO, 178-205.
17. Movchan, Yu. V. (2006). Zauvazhennia do skladu ikhtiofauny Ukrainy (nechyslenni, znykli, novi vydy) ta suchasni zminy v nomenklaturi yii toksoniv : (u poriadku obhovorennia). *Zbirnyk prats zoolohichnoho muzeiu*, 38, 34-43.
18. Ozernyuk, N. D. (1985). *Energeticheskii obmen v rannem ontogeneze ryb*. Moskva: Nauka.
19. Parin, N. V. (2003). Liza hematocheilus - pravil'noe vidovoe nazvanie kefali pilengas (Mugilidae). *Voprosy ikhtiologii*, 43, 3, 418-419.
20. Parfenova, I. A., & Soldatov, A. A. (2011). Funktsional'naya morfologiya tsirkuliruyushchikh eritrotsitov bychka-kruglyaka v usloviyakh eksperimental'noy gipoksii. *Morskoy ekologicheskii zhurnal*, 10, 2, 59-67.
21. Reznichenko, P. N. (1982). *Preobrazovanie i smena mekhanizmov funktsiy v ontogeneze nizshikh pozvonochnykh*. Moskva: Nauka.
22. Stavyt'ska, O. M. (1997). Osoblyvosti enerhetychnoho ta azotystoho obminu u ryb Chornoho moria pry riznykh kysnevyykh rezhymakh. *Extended abstract of candidate's thesis*. Sevastopol.
23. Shekk, P. V., & Kostylev, E. F. (1987). Primenenie metoda «prervannogo potoka» v ikhtiotoksikologicheskikh eksperimentakh. *Metody ikhtiotoksikologicheskikh issledovaniy: I Vsesoyuznyy simpozium*. Leningrad, 67-68.
24. Shekk, P. V. (2012). *Biologicheskije-tehnologicheskije osnovy kul'tivirovaniya kefaleyvykh i kambalovykh ryb*. Kherson: ChP Grin'.
25. Andrews, J. W., Murrai, T., & Gibbons, G. (1973). The influence of dissolved oxygen on the growth of channel catfish. *Trans. Amer. Fish., Soc.*, 102, 4, 17.



26. Thompson, T. G., & Miller, R. C. (1928). Apparatus for microdetermination of dissolved oxygen. *Industr. Engineer. Chem.*, 20, 7, 56.
27. Fox, H. M., & Wingfield, C. A. (1938). A portable apparatus for determination of oxygen, dissolved in a small volume of water. *J. Exptl. Biol.*, 15.

ОПТИМАЛЬНІ, КРИТИЧНІ І ПОРОГОВІ ЗНАЧЕННЯ НАСИЧЕННЯ ВОДИ КИСНЕМ ДЛЯ КЕФАЛЕВИХ ТА КАМБАЛОВИХ РИБ В ОНТОГЕНЕЗІ

П. В. Шекк, shekk@ukr.net, Одеський державний екологічний університет, м. Одеса

Мета. Визначити оптимальні, критичні та порогові значення насичення води киснем для ембріонів, личинок і мальків кефалевих та камбалових риб за різних температурних умов.

Методика. Споживання кисню вивчали в хронічних експериментах методом «перерваного потоку» з автоматичною фіксацією вмісту розчиненого у воді кисню за допомогою кисневого датчика і автоматичним, безперервним записом отриманих результатів. Визначали «критичну» ($P_{\text{крит.}}$) і «порогову» ($P_{\text{пор.}}$) напругу кисню у воді.

Результати. За оптимальних умов нормальний ембріогенез кефалевих і камбалових риб до стадії гастрюляції забезпечувало 90–130% насичення води киснем. Критичний вміст становив 80–85%, граничний – 65–70%, насичення.

На стадії «рухливий ембріон» залежно від температури води і виду риб оптимальний діапазон насичення води киснем знаходився у межах 70–127,1%. Найбільш толерантна до дефіциту кисню глоса ($P_{\text{крит.}}$ – 25,4–27,5; $P_{\text{пор.}}$ – 20,5–22,5%), найменш стійкий до гіпоксії – лобан ($P_{\text{крит.}}$ – 50–60; $P_{\text{пор.}}$ – 35–40%).

Межі критичної і порогової концентрації розчиненого у воді кисню прямо залежали від температури і солоності води, за яких відбувався ембріогенез.

При підвищенні температури і солоності води критичні та порогові значення вмісту кисню у воді для ембріонів зростають.

Мальки кефалевих і камбалових риб на всіх етапах розвитку мали високу толерантність до гіпоксії, яка зростала в міру їхнього збільшення. Стійкі вони і до перенасичення води киснем.

Найбільш вимогливі до кисневого режиму вирощування личинки і мальки *Mugil cephalus* та *Liza aurata*. Толерантність до гіпоксії *Psetta maoticus* і *Platichthys luscus* на всіх етапах розвитку дуже висока.

Мальки цих видів риб тривалий час можуть без видимих наслідків переносити зниження концентрації розчиненого у воді кисню до 2,10 і 1,65 мгО₂ / дм³ відповідно.

Наукова новизна. Вперше експериментально встановлено оптимальні, критичні та порогові значення насичення води киснем для ембріонів, личинок і цьоголіток кефалеві лобана, сингіля, піленгаса і камбал глоси та чорноморського калкана.

Практична значимість. Отримані дані можуть бути використані для оптимізації умов культивування і товарного вирощування кефалевих і камбалових риб.

Ключові слова: насичення води киснем, критичні, порогові значення, ембріони, личинки, цьоголітки, кефалеві, камбалові.

OPTIMUM, CRITICAL AND THRESHOLD VALUES FOR WATER OXYGENATION FOR MULLET AND FLATFISHES IN ONTOGENESIS

P. Shekk, shekk@ukr.net, Odessa State Environmental University, Odessa

Purpose. To determine the optimum, critical, and threshold values of water oxygenation for embryos, larvae and fingerlings of mullets and flatfishes under different temperature conditions.



Methodology. Oxygen consumption was studied in chronic experiments with «interrupted flow» method with automatic fixation of dissolved oxygen in water with the aid of an oxygen sensor and automatic, continuous recording of the obtained results. «Critical» ($P_{crit.}$), and the «threshold» ($P_{thr.}$) oxygen tension in the water have been determined.

Findings. Under optimum conditions, the normal embryogenesis of mullets and flatfish to the gastrulation stage, provided 90–130% oxygen saturation. The critical content was 80–85%, the threshold – 65–70% of the saturation.

At the stage of «movable embryo» depending on water temperature and fish species, the optimum range of water oxygenation was within 70–127.1%. The most tolerant to oxygen deficiency was flounder ($P_{crit.} - 25.4-27.5$; $P_{thr.} - 20.5-22.5\%$), the least resistant to hypoxia was striped mullet ($P_{crit.} - 50-60$; $P_{thr.} - 35-40\%$).

The limits of the critical and threshold concentration of dissolved oxygen directly depended on the temperature and salinity, at which embryogenesis occurred.

An increase in water temperature and salinity resulted in an increase in critical and threshold values for oxygen tension embryos.

Mullet and flatfish fingerlings in all stages of development had a high tolerance to hypoxia, which increased as they grew. They were resistant to the oversaturation of water with oxygen.

The most demanding for the oxygen regime are larvae and fingerlings of *Mugil cephalus* and *Liza aurata*.

Hypoxia tolerance of *Psetta maoticus* and *Platichthys luscus* at all stages of development is very high. The fingerlings of these species can endure reduction of the dissolved oxygen in water to 2.10 and 1.65 mgO₂/dm³ respectively for a long time without visible effects.

Originality. For the first time, we experimentally established the optimum, critical and threshold values for water oxygenation for embryos, larvae and juveniles of striped mullet, golden mullet, haarder, flounder and Black Sea turbot.

Practical value. The obtained data can be used for the optimization of culture conditions and commodity cultivation of mullets and flatfishes.

Keywords: oxygen saturation, critical thresholds, embryos, larvae, fingerlings, mullets, flatfish.

