

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

УДК 591.639

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И МЕТАБОЛИЗМ ГИДРОБИОНТОВ  
В РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ АКВАКУЛЬТУРАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ  
ПОСТОЯННЫХ И ПЕРЕМЕННЫХ ТЕРМОРЕЖИМАХ**

© 2008 г. В.В. Зданович, В.Я. Пушкарь

Московский Государственный Университет, Биологический факультет,  
кафедра ихтиологии, Москва 119991

Поступила в редакцию 21.08.2007 г.

Окончательный вариант получен 07.09.2007 г.

В экспериментальных интегрированных рециркуляционных аквакультуральных системах исследовали продукционные и метаболические показатели золотой рыбки *Carassius auratus*, моллюска *Physa fontinalis*, сине-зеленых водорослей *Oscillatoria* spp. и *Lyngbya* spp. при постоянных и переменных терморежимах. Показано, что в условиях периодических синусоидальных колебаний температуры наблюдается повышение темпа роста и размножения гидробионтов, снижается интенсивность дыхания и расход кислорода на прирост единицы массы тела, повышаются эффективность использования пищи на рост и скорость продуцирования. Применение в индустриальной аквакультуре интегрированных рециркуляционных систем для выращивания гидробионтов разных трофических уровней в условиях переменных температурных режимов позволит в большей степени использовать питательные вещества корма на продукционные процессы, уменьшить потребление воды и сброс биогенных элементов в окружающую среду, получать больше продукции.

Бурное развитие аквакультуры в последние 15 лет обеспечило увеличение объема производимой продукции более чем в два раза (с 22,4 млн. т в 1993 г. до 54,8 млн. т в 2004 г.) и достигло трети от мирового объема добычи гидробионтов. В настоящее время в аквакультуре выращивают более 260 видов рыб, ракообразных, моллюсков (Gardibaldi, 1996), также разнообразные виды гидрофитов, при этом в общем объеме культивируемых гидробионтов 51% составляют рыбы, 27% гидрофиты, 17% моллюски и 4% ракообразные. Если объем промысла водных организмов в естественных водоемах в последнее время остается практически неизменным, ежегодный прирост получаемой продукции в аквакультуре составляет 7-10% (Макоедов, 2006).

Для культивирования гидробионтов используют как экстенсивные методы (выращивание в открытых водоемах, отгороженных их участках), так и методы интенсивного выращивания в садках, бассейнах, замкнутых рециркуляционных системах.

Интенсивная аквакультура гидробионтов в установках с замкнутым циклом водоснабжения позволяет уменьшать потребление используемых ресурсов, загрязнение окружающей среды, контролировать качество получаемой продукции. Создан ряд высокоэффективных установок для выращивания разных видов рыб (Спотт, 1983; Стеффенс, 1985; Liao et al., 2002; Summerfeld et al., 2004), однако при увеличении плотности посадки продуктивность ограничивается высоким уровнем накопления в воде азотистых продуктов метаболизма и расхода кислорода, что заставляет включать все более сложные системы биологической очистки и оксигенации воды.

Вопрос об эффективности использования пищи на рост – важнейший в биотехнологии аквакультуры. Задаче наиболее полного превращения задаваемых рыбе кормов в

биологическую продукцию в наибольшей мере отвечает создание комплексов в виде искусственных экосистем с высокой степенью замкнутости трофических цепей. Попыткой решить проблему утилизации вносимого в систему органического вещества было применение в рыбоводных установках поликультуры рыб, а также создание установок, в которых продукты обмена, выделяемые рыбами, используются для выращивания растений (Naegel, 1977; Yarish et al., 2002; Schuenhoff et al., 2003). В последнее время интенсивно разрабатываются интегрированные замкнутые рециркуляционные системы, в которых степень утилизации вносимых кормов повышается за счет совместного выращивания организмов разных трофических уровней при условии их пространственного разграничения. При выращивании рыбы в таких искусственных системах неиспользованные корма и продукты метаболизма утилизируются организмами других трофических уровней (водоросли, ракообразные, моллюски, макрофиты), культивируемых в отдельных блоках (Пушкарь и др., 1979; Neori et al., 2000, 2004; Troell et al., 2003).

Среди абиотических факторов температура относится к важнейшим, поскольку определяет интенсивность метаболизма и скорость продукционных процессов у пойкилотермных гидробионтов. В условиях индустриальной аквакультуры, как правило, используются постоянные температурные условия, прогнозируемые в качестве оптимальных для роста выращиваемых организмов, тогда как в естественных условиях реальные переменные. В последнее время на примере водорослей и макрогидрофитов (Константинов и др., 1998, 1999, 2003), простейших (Заар и др., 1977), коловраток (Константинов и др., 1995), ракообразных (Галковская, Сушня, 1978; Сарвино, 1983; Tian, Dong, 2006), моллюсков (Pilditch, Grant, 1999; Константинов и др., 2003), голотурий (Dong et al., 2006), рыб (Biette, Geen, 1980; Константинов, Зданович, 1986; Константинов и др., 1987, 1989, 1991; Gui et al., 1989; Зданович, 1999) выявлено положительное влияние некоторых колебаний температуры на рост, энергетику, продукционные показатели и физиологическое состояние гидробионтов. Показано, что периодические колебания температуры, не выходящие за пределы экологической нормы, значительно ускоряют темп роста рыб и беспозвоночных животных, снижают интенсивность их дыхания, расход кислорода на прирост единицы массы тела, повышают эффективность использования пищи на рост. Небольшие периодические колебания температуры оптимизируют рост, размножение, энергетику водорослей и высших растений-гидрофитов.

Цель настоящего исследования – выяснение особенностей роста, энергетики и продукционных характеристик гидробионтов разных трофических уровней (продуценты, консументы) при их совместном выращивании в замкнутой рециркуляционной системе в условиях пространственного разграничения при постоянных и переменных терморегимах.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В экспериментальных рециркуляционных установках, каждая из которых состояла из трех блоков, выращивали золотую рыбку *Carassius auratus*, брюхоногого моллюска физиу пузырчатую *Physa fontinalis* и смесь сине-зеленых водорослей *Oscillatoria* spp. и *Lyngbya* spp. (соотношение по численности соответственно 90 и 10%) в течение 14-23 сут. при постоянных и переменных терморегимах. Как модельные объекты моллюск физиа и синезеленые водоросли выбраны по ряду причин – являются обычными компонентами пресноводных экосистем, выдерживают значительное загрязнение воды органическими

веществами (мезосапробы), обладают высокими скоростями роста и развития. Кроме всего сине-зеленые водоросли по типу питания миксотрофы, т.е. наряду с фотосинтезом активно используют и готовые органические вещества, растворенные в воде. Вода из блока с рыбами (объем 20 л) с помощью аэрлифта подавалась в блок с моллюсками (объем 8 л) и затем поступала в блок с водорослями (объем 1,5 л, площадь 456 см<sup>2</sup>). Скорость протока составляла 3,5 л/ч. В установках с постоянной температурой (20, 23 и 26 °C) необходимый ее уровень поддерживался при помощи терморегуляторов с точностью  $\pm 0,5$  °C. В переменном терморежиме  $23 \pm 3$  °C синусоидальные колебания температуры осуществлялись в автоматическом режиме с периодом в 3 ч. Содержание кислорода в блоках с рыбами и моллюсками составляло 80-90% от полного насыщения (принудительная аэрация). Золотых рыбок кормили сухим кормом (Tetra Min XL Flakes; состав – 48% протеина, 8% липидов, 2% углеводов, содержание энергии – 15,07 кДж/г). Рацион составлял 5% (опыт 1) и 3% (опыт 2) от массы тела рыб в сутки. Кормили рыб два раза в сутки – утром и вечером.

Рыб взвешивали индивидуально на электронных весах с точностью 0,01 г перед началом каждого опыта и далее через каждые последующие 7 суток. Оценивали среднесуточный прирост, удельную скорость роста по сырой массе по формуле:  $C_w = (\ln W_2 - \ln W_1) / t \cdot 100\%$ , где  $W_1$  и  $W_2$  – средняя масса (г) рыб в начале и конце опыта,  $t$  – длительность опыта (сут.).

Для получения уравнения энергобаланса золотой рыбки в постоянных и переменных терморежимах определяли их рацион за время опыта, прирост и потребление кислорода. Для оценки эффективности использования пищи на рост оценивали кормовой коэффициент как отношение массы потребленного корма к приросту массы рыб, а также значения трофических коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ . Первый из них находили по уравнению:  $K_1 = Q_1 : Q$ , где  $Q_1$  – энергия прироста,  $Q$  – энергия потребленной пищи. Второй вычисляли по уравнению:  $K_2 = Q_1 / (Q - Q_2)$ , где  $Q_2$  – энергия неусвоенной части пищи. Оценивали также величину расхода кислорода на прирост 1 г массы тела рыб.

Интенсивность дыхания рыб определяли методом прерванного потока (Кляшторин, Саликзянов, 1979) при помощи оксиметра с точностью 0,01 мг O<sub>2</sub>/л. В респирометры (объем 2,75 л) сажали по 10-15 рыб и с 5-ти кратной повторностью определяли интенсивность их дыхания через каждые 7 суток опыта при постоянных и переменных терморежимах. В дальнейших расчетах интенсивность дыхания рыб принималась как среднее применительно к тому или иному терморежиму. Энерготраты определяли, принимая оксикалорийный коэффициент равным 14,2 кДж/г · O<sub>2</sub>. Для оценки содержания энергии в теле золотых рыбок использовали модификацию бихроматного окисления (Остапеня, 1965), которая составляла 6,174 кДж/г сырой массы.

В каждый блок с моллюсками сажали по 10-11 экз. и в конце опытов в каждом терморежиме оценивали число кладок, среднее число яиц в кладке, число молодых моллюсков, рассчитывали среднюю плодовитость. Перед началом опытов в блоки, где выращивали водоросли, вносили по 0,5 г их сырой массы. Рециркуляционные установки круглосуточно сверху освещали люминисцентными лампами (40 Вт, освещенность 3 тыс. лк). В конце опытов измеряли массу водорослей при каждом терморежиме, оценивали среднесуточный прирост и удельную скорость роста по сырой массе.

С целью оценки скорости продуцирования рыб и водорослей в рециркуляционных системах при постоянных и переменных температурах рассчитывали среднесуточный Р/В-коэффициент как отношение среднесуточного прироста массы каждого гидробионта к его средней биомассе за время опыта.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программы «Статистика 5» с использованием критерия Стьюдента.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 приведены данные о темпах роста, интенсивности обмена золотой рыбки и водорослей, а также о скорости размножения и плодовитости моллюска в постоянных и переменных терморегимах. Как видно из таблицы в переменном терморегиме среднесуточные приросты массы рыб и водорослей, скорости их роста превышали наблюдаемые не только при постоянной температуре, равной средней за цикл (23 °С), но и при 26 °С. В среднем суточные приросты массы тела рыб в 23±3 °С оказались соответственно в 1,26 и 1,23 раза больше, чем при постоянных температурах 23 и 26 °С ( $P<0,05$ ). Удельная скорость роста в переменном терморегиме в среднем в 1,08 раза была выше, чем при 23 °С и практически одинаковой с наблюдаемой в 26 °С. Интенсивность дыхания золотой рыбки в условиях температурной осцилляции оказалась достоверно ниже ( $P<0,001$ ) по сравнению с регистрируемыми при 23 и 26 °С (в среднем соответственно на 9 и 21%). Заметно снизился расход кислорода на прирост единицы массы тела – на 13% по сравнению с 23 °С и на 14% по сравнению с 26 °С.

Сходный эффект влияния переменной температуры отмечается и у культивируемых водорослей. Среднесуточные приросты массы и скорость роста при 23±3 °С превышали наблюдаемые в постоянной температуре 23 °С, равной средней за цикл, соответственно в 1,42 и 1,11 раза и были практически одинаковыми с регистрируемыми при постоянной температуре 26 °С.

В условиях осцилляции температуры наблюдается большая интенсивность размножения моллюсков по сравнению с постоянной температурой – отмечается большее число кладок яиц, больше молоди. Индивидуальная плодовитость в переменном терморегиме 23±3 °С была в среднем в 1,49 раза выше, чем при 23 °С. Повышение температуры с 23 до 26 °С привело к снижению интенсивности размножения моллюсков, поскольку приблизилась к верхней субоптимальной температурной границе вида.

В переменном терморегиме заметно улучшаются показатели использования рыбами пищи на рост. Как видно из таблицы 2 кормовой коэффициент в условиях осцилляции температуры в среднем соответственно на 18 и 12% ниже, чем при 23 и 26 °С. Трофический коэффициент первого порядка  $K_1$  при осцилляции температуры повышается по сравнению с постоянными терморегимами 23 и 26 °С в среднем соответственно в 1,18 и 1,11 раза, коэффициент  $K_2$  – в 1,07 и 1,10 раза.

Улучшение эффективности использования пищи на рост, повышение темпа роста, уменьшение расхода кислорода на прирост единицы массы тела рыб в переменном терморегиме в конечном итоге привели к заметным изменениям в уравнениях энергобюджета. Как видно из таблицы 3 доля энергии корма, идущая на прирост массы тела в переменном терморегиме в среднем в 1,20 раза больше, чем при постоянной температуре 23 °С и в 1,12 раза больше, чем при 26 °С.

**Таблица 1.** Продукционные и метаболические показатели гидробионтов в постоянных и переменных терморегимах.**Table 1.** Productional and metabolic parameters of hydrobionts at constants and variables thermoregimes.

Показатели	Терморегим, °C					
	Опыт 1		Опыт 2			
	23	23±3	20	23	26	23±3
Золотая рыбка						
Длительность опыта, сут	23	23	14	14	14	14
Число рыб, экз.	25	25	14	14	14	14
Рацион, % массы тела / сут.	5	5	3	3	3	3
Начальная средняя масса, г	0,320 ± 0,027	0,312 ± 0,026	1,26 ± 0,127	1,02 ± 0,152	1,01 ± 0,114	1,31 ± 0,084
Конечная средняя масса, г	0,796 ± 0,058	0,877 ± 0,081*	1,48 ± 0,165	1,36 ± 0,187	1,38 ± 0,148	1,75 ± 0,139*
Прирост массы тела, г/сут.	0,020	0,024*	0,016	0,024	0,026	0,032*
Прирост массы рыб за опыт, г	11,90	14,125	3,08	4,8	5,2	6,2
Удельная скорость роста, % г/сут.	3,96	4,49	1,15	2,05	2,25	2,13
Потреблено корма рыбами за опыт, г	18,9	18,9	6,2	5,9	5,9	6,3
Интенсивность дыхания, мг О <sub>2</sub> /г ч	0,554 ± 0,013	0,536 ± 0,017	0,548 ± 0,008	0,566 ± 0,009	0,611 ± 0,016	0,487 ± 0,013**
Потреблено кислорода рыбами за опыт, г	4,266	4,394	3,531	3,168	3,434	3,505
Расход кислорода на 1 г прироста массы тела, г	0,358	0,311	1,146	0,660	0,660	0,565
Моллюск						
Число моллюсков, экз.	10	10	11	11	11	11
Число кладок яиц моллюсков	69	119	6	26	10	33
Среднее число яиц в кладке, экз.	8	8	4	6	6	6
Всего яиц моллюсков в кладках, экз.	552	952	24	156	60	198
Число молоди моллюсков, экз.	210	330	-	-	-	-
Средняя плодовитость, экз./особь/сут.	2,4	4,1	0,16	1,01	0,39	1,28
Водоросли						
Масса водоросли, г	27,692	30,521	6,202	7,098	12,292	12,404
Прирост массы, г/сут.	1,204	1,327	0,443	0,507	0,878	0,886
Удельная скорость роста, % г/сут.	17,45	17,88	17,98	18,95	22,87	22,94

Примечание: \*p &lt; 0,05; \*\* p &lt; 0,01.

Note: \*p &lt; 0,05; \*\* p &lt; 0,01.

Одновременно снижается доля неиспользованной части энергии рациона. В опыте 1 высокие показатели величины неиспользованной энергии объясняются избыточным рационом, тогда как в опыте 2 при рационе, близком к насыщающему, с улучшением температурных условий она заметно сокращается. Величины энерготрат рыб в уравнениях энергобюджетов для каждого опыта остаются примерно одинаковыми. Сходный эффект оптимизации энергобюджета в условиях переменного терморегима отмечен и для других видов рыб. При осцилляции температуры, когда ее колебания не выходили за пределы экологической нормы, неизменно повышалась доля энергии рациона, идущая на прирост,

снижались величины неиспользованной энергии и энерготраты по сравнению с постоянными оптимальными для роста рыб температурами (Константинов и др., 2004, 2005).

**Таблица 2.** Эффективность использования пищи на рост золотой рыбкой в постоянных и переменных терморегимах.

**Table 2.** Efficiency of use of the consumed food on growth by goldfish at constants and variables thermoregimes.

Показатели	Терморегим, °C					
	Опыт 1		Опыт 2			
	23	23±3	20	23	26	23±3
Рацион, кДж	284,80	284,80	93,43	88,91	88,91	94,94
Прирост, кДж	73,47	87,18	19,01	29,63	32,10	38,28
Энерготраты, кДж	60,58	62,39	50,14	44,98	48,76	49,77
Неиспользованная энергия, кДж	134,52	119,00	18,95	9,23	2,98	1,47
Кормовой коэффициент	1,59	1,34	2,0	1,25	1,15	1,01
K <sub>1</sub> , %	26	30	20	33	36	40
K <sub>2</sub> , %	55	58	27	40	40	44

**Таблица 3.** Уравнения энергобюджета золотой рыбки в постоянных и переменных терморегимах.

**Table 3.** The equations energobudget of goldfish at constants and variables thermoregimes.

Терморегим, °C	Параметры уравнения энергобюджета
Опыт 1	
23	$100P = 25,8П + 21,3Т + 52,9Н$
23±3	$100P = 30,6П + 21,9Т + 47,5Н$
Опыт 2	
20	$100P = 20,3П + 53,7Т + 26,0Н$
23	$100P = 33,3П + 50,6Т + 16,1Н$
26	$100P = 36,1П + 54,8Т + 9,1Н$
23±3	$100P = 40,3П + 52,4Т + 7,3Н$

Изменение показателей темпа роста, эффективности конвертирования пищи золотой рыбкой на протяжении опыта представлены на рисунке 1. Видно, что оптимизация метаболизма рыб в условиях осцилляции температуры происходит довольно быстро и через 7 сут. выращивания среднесуточные приросты, скорость роста в переменном терморегиме превышают регистрируемые при постоянной температуре, тогда как кормовой коэффициент снижается. В последующие периоды подращивания наблюдается аналогичная картина соотношения регистрируемых показателей у рыб в переменном и постоянном терморегимах. Как показали исследования, проведенные на карпе *Cyprinus carpio*, плотве *Rutilus rutilus* и золотой рыбке, снижение интенсивности метаболизма рыб после смены постоянных температурных условий на переменные начинается в первые часы и заканчивается через 1-2 суток (Константинов и др., 1996; Зданович, Пушкарь, 2001).

Известно, что скорость продуцирования значительно возрастает с повышением экологической обеспеченности роста особей, с улучшением условий существования гидробионтов, в первую очередь температурных, трофических. На рисунке 2 представлены данные о величинах суточных Р/В-коэффициентов золотой рыбки и водорослей при разных температурных условиях. Видно, что скорость продуцирования гидробионтов повышается с увеличением температуры от 20 до 26 °C. Однако в условиях переменного терморегима 23±3 °C она неизменно выше, чем при 23 °C, равной средней температуре за цикл, и практически одинакова с наблюдаемой при 26 °C. Таким образом, при одинаковой сумме

тепла и даже меньшей, получаемой гидробионтами при переменном терморегиме, скорости продуцирования выше, чем наблюдаемые при постоянных температурах. Полученные данные еще раз подтверждают, что астатичные температурные условия, к которым эволюционно адаптированы гидробионты, являются экологической нормой, тогда как статичность – отклонением от нее, вызывающим некоторое ухудшение энергетики организмов. Сопряженность изменения различных параметров метаболизма, физиологического состояния, темпа роста, продукционных показателей гидробионтов, вызываемых колебаниями температуры, служит тому подтверждением (Зданович, 2004).

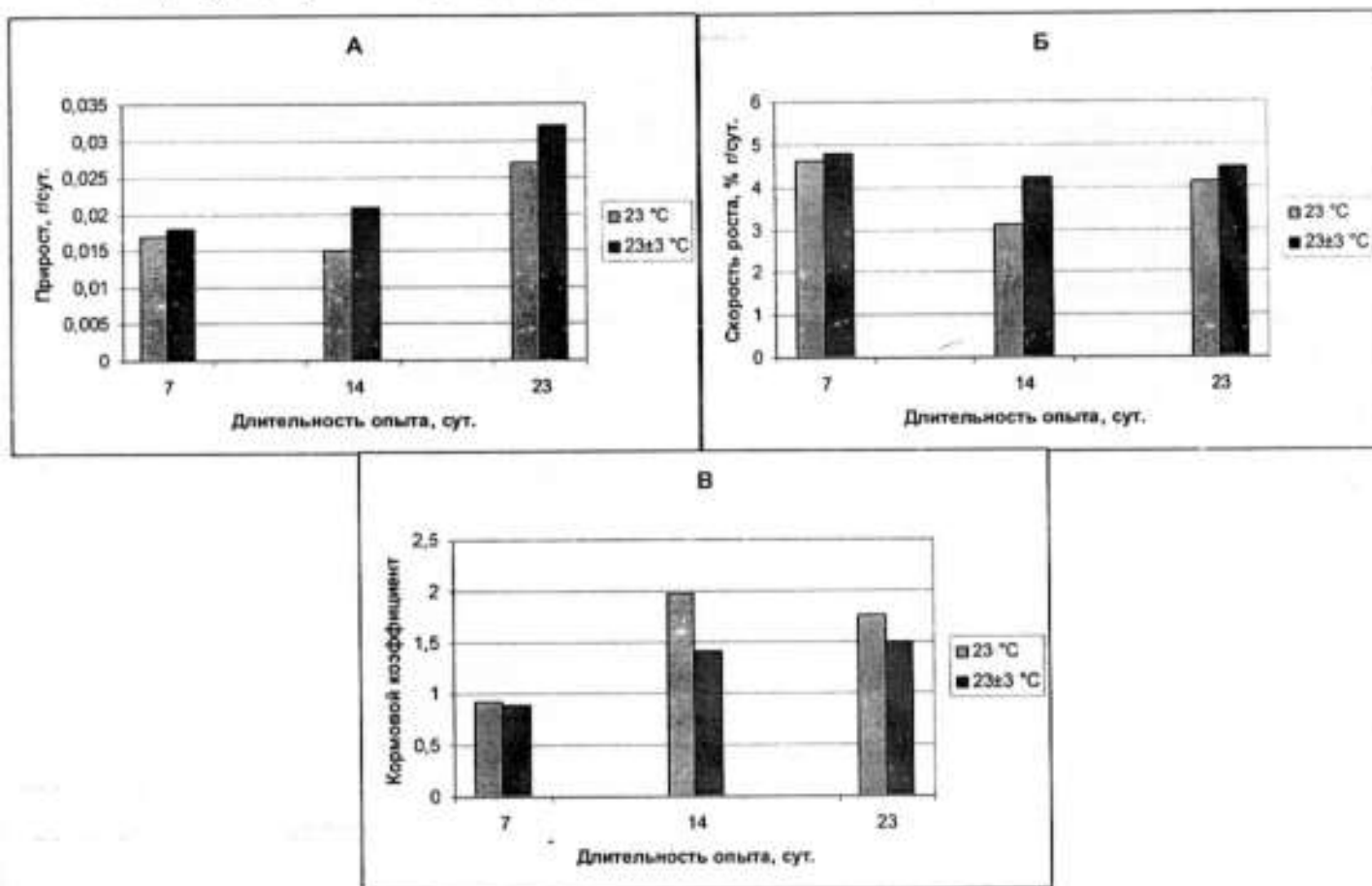
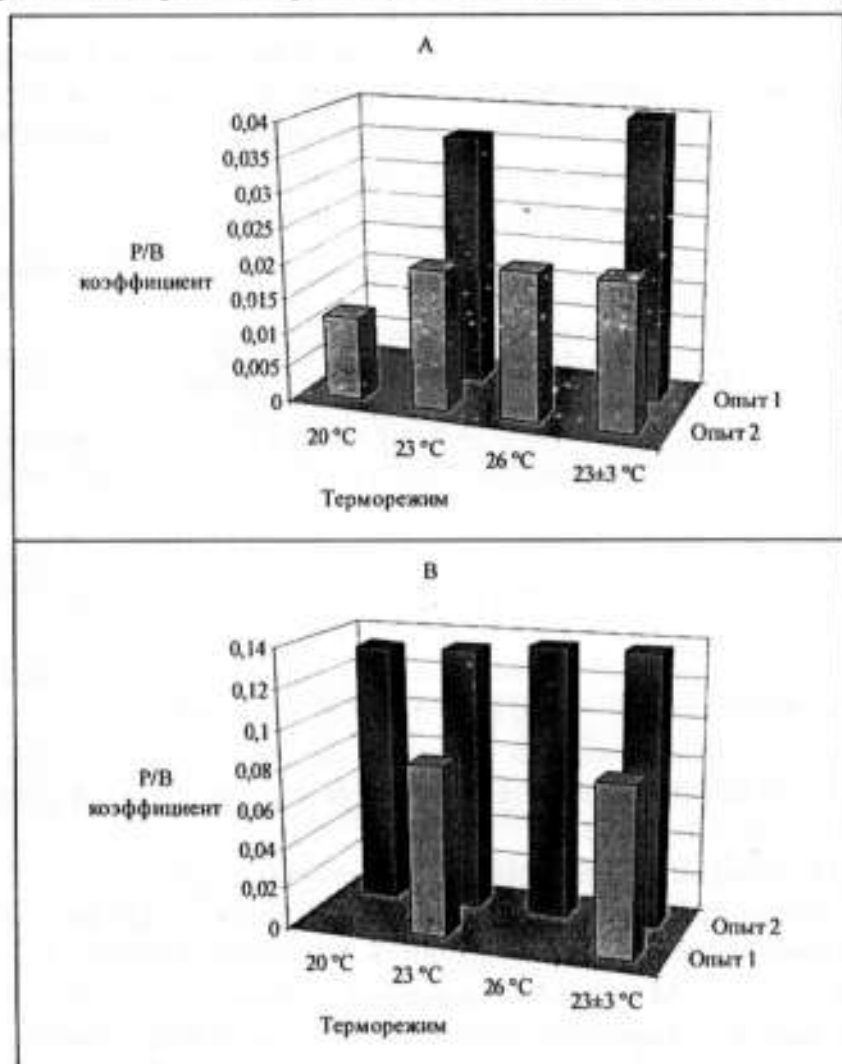


Рис. 1. Среднесуточные приросты (А), скорость роста (Б) и кормовой коэффициент (В) золотой рыбки в разные периоды выращивания при постоянном и переменном терморегимах.

Fig. 1. Daily average increase body mass gain (A), specific growth rate (Б) and feed conversion ratio (В) of goldfish during the different periods of cultivation at constants and variables thermoregimes.

При выращивании различных видов рыб в аквакультуре только 15-65% фосфора и 20-50% азота, содержащихся в кормах, утилизируются рыбами, тогда как остальная часть поступает в окружающую среду в растворенном виде и в составе фекалий (Schneider et al., 2005). Интегрированные рециркуляционные аквакультуральные системы с пространственным разграничением биокомпонентов (рыбы – моллюски – водоросли/макрофиты, рыбы – ракообразные – водоросли/макрофиты, рыбы – водоросли/макрофиты) позволяют в большей степени использовать питательные вещества корма на продукционные процессы, уменьшать потребление воды и сброс биогенных элементов в окружающую среду, получать больше

продукции. По расчетам с площади в 1 га интегрированного бассейнового хозяйства с рециркуляцией воды возможно ежегодно получать 25 т рыбы, 50 т двустворчатых моллюсков и 30 т сырой массы водорослей (Neori et al., 2004). В экспериментальной морской рециркуляционной установке площадью 3,3 м<sup>2</sup>, где в отдельных блоках выращивали золотистого спару *Sparus aurata*, брюхоного моллюска морское ушко *Haliotis discus hannai* и в качестве биофильтра использовали макроводоросль *Ulva lactuca*, вода от рыб поступала к моллюскам, затем в блок с водорослями и вновь возвращалась к рыбам, среднегодовая продукция составляла соответственно 28, 9,4 и 78 кг/м<sup>2</sup>. При прохождении воды от блоков с рыбами и моллюсками через блок с водорослями содержание аммонийного азота в воде снижалось с 45 до 10% ((Neori et al., 2000). В интегрированной рециркуляционной системе, где в трех бассейнах объемом по 70 м<sup>3</sup> выращивали трепанга *Apostichopus japonicus* и в одном водоросль *Ulva pertusa* при полном водообмене один раз в сутки водоросли из поступающей от трепангов воды изымали 68% общего аммонийного азота и 26% ортофосфата, при этом скорость их роста составляла 3,3 %/сут. (Wang et al., 2007).



**Рис. 2.** Суточные Р/В коэффициенты золотой рыбки (А) и водорослей (Б) в постоянных и переменных терморегимах.

**Fig. 2.** Daily P/B-coefficients a goldfish (A) and blue-green algae (B) at constants and variables thermoregimes.

В последние годы возрос интерес к культивированию в рециркуляционных системах сине-зеленых водорослей, в частности спироулы *Spirulina platensis*, которая в благоприятных условиях намного быстрее, чем эукариотные водоросли, накапливают биомассу, при этом эффективно изымает растворенные органические вещества из воды, обогащает воду кислородом и в дальнейшем используется как корм для выращиваемых рыб (Takeuchi et al., 2002; Palmegiano et al., 2005).

В условиях России наиболее перспективным направлением индустриальной аквакультуры признается выращивание рыбы на теплых сбросных водах предприятий энергетики и металлургии (Коротаев, 2007). Внедрение новых перспективных биотехнологий индустриального выращивания гидробионтов, таких как интегрированные рециркуляционные системы для совместного выращивания организмов разных трофических уровней с использованием переменных терморежимов, позволит в значительной мере повысить продуктивность, эффективность использования кормов, уменьшить загрязнение окружающей среды и снизить затраты на производство. Так использование астабильного температурного режима  $27 \pm 3$  °C при выращивании клариевого сома *Clarias gariepinus* в рыбоводной установке с замкнутым циклом водообеспечения за счет уменьшения затрат кормов, высокой выживаемости и большей скорости роста рыб обеспечило экономический эффект в размере 4 280 руб. на 1 т продукции по сравнению с результатами выращивания при постоянной оптимальной для роста температурой 27 °C (Ковалев, 2006).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Галковская Г.А., Суцеля Л.М. Рост водных животных при переменных температурах. Минск: Высшая школа, 1978. 144 с.
- Заар Л.П., Тополовский В.А., Трибис Ж.М. Роль переменных температур в размножении *Paramecium caudatum* // Журнал общей биологии. 1977. Т. 38. №4. С. 609-619.
- Зданович В.В. Некоторые особенности роста молоди мозамбикской тиляпии *Oreochromis mossambicus* при постоянных и переменных температурах // Вопросы ихтиологии. 1999. Т. 39. №1. С. 105-110.
- Зданович В.В. Сопряженность изменения различных параметров метаболизма карпа *Cyprinus carpio* при колебаниях температуры // Вестник Моск. ун-та. Сер.16. Биология. 2004. №3. С. 45-49.
- Зданович В.В., Пушкар В.Я. Влияние частых периодических колебаний температуры на метаболизм рыб // Вопросы ихтиологии. 2001. Т. 41. №3. С. 429-432.
- Кляшторин Л.Б., Саликзянов Р.Ф. Установка для автоматического измерения дыхания рыб и других гидробионтов при заданных температурных и кислородных условиях // Вопросы ихтиологии. 1979. Т. 19. №1. С. 558-561.
- Ковалев К.В. Технологические аспекты выращивания клариевого сома *Clarias gariepinus* в рыбоводной установке с замкнутым циклом водообеспечения. Автореферат дис. на соискание уч. степени канд. сельскохозяйств. наук. М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 2006. 21 с.
- Константинов А.С., Зданович В.В. Некоторые особенности роста рыб при переменных температурных режимах // Вопросы ихтиологии. 1986. Т. 26. №3. С. 448-456.
- Константинов А.С., Зданович В.В., Калашников А.А. Влияние переменной температуры на рост эвритермных и стенотермных рыб // Вопросы ихтиологии. 1987. Т. 27. Вып. 6. С. 971-977.

Константинов А.С., Зданович В.В., Костюк Ю.А., Соловьева Е.А. Скорость изменения метаболизма рыб при смене гомотермальной среды на гетеротермальную // Вопросы ихтиологии. 1996. Т. 36. Вып. 6. С. 834-837.

Константинов А.С., Зданович В.В., Пушкар В.Я. Энергобюджет карпа *Cyprinus carpio* и золотой рыбки *Carassius auratus* в оптимальных стационарных и переменных терморегимах // Вестник Моск. ун-та. Сер.16. Биология. 2005. №1. С. 39-44.

Константинов А.С., Зданович В.В., Тихомиров Д.Г. Влияние осцилляции температуры на интенсивность обмена и энергетику молоди рыб // Вопросы ихтиологии. 1989. Т. 29. Вып. 6. С. 1019-1027.

Константинов А.С., Зданович В.В., Шолохов А.М. Астатичность температурных условий как фактор оптимизации роста, энергетики и физиологического состояния рыб // Вестник МГУ. Сер. 16. Биология. 1991. №2. С. 38-44.

Константинов А.С., Пушкар В.Я., Аверьянова О.В. Влияние колебаний различных абиотических факторов на метаболизм некоторых гидробионтов // Изв. РАН. Сер. биол. 2003. №6. С. 1-7.

Константинов А.С., Пушкар В.Я., Зданович В.В., Аверьянова О.В., Речинский В.В. Энергобюджет молоди осетровых в постоянном, переменном терморегимах и при свободном плавании в термоградиентном пространстве // Вестник МГУ. Сер. 16. Биология. 2004. №1. С. 38-43.

Константинов А.С., Пушкар В.Я., Зданович В.В., Соловьева Е.А. Влияние колебаний температуры на скорость роста и размножение пресноводных планктонных водорослей // Вестник Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. 1998. №1. С. 47-50.

Константинов А.С., Пушкар В.Я., Зданович В.В., Соловьева Е.А. Влияние колебаний температуры на продукционные характеристики планктонной водоросли *Scenedesmus quadricauda* // Вестник Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. 1999. №2. С. 49-53.

Константинов А.С., Тагирова Н.А., Степаненко В.М., Соловьева Е.А. Влияние колебаний некоторых абиотических факторов на рост, размножение и энергетику коловратки *Euchlanis dilatata* // Гидробиологический журнал. 1995. №6. С. 25-29.

Коротаев Ю.А. Перспективы развития аквакультуры в России // Вопросы рыболовства. 2007. Т. 8. №1. С. 120-129.

Макоедов А.Н. Основные тенденции развития аквакультуры // Вопросы рыболовства. 2006. Т. 7. №3. С. 366-384.

Останеня А.П. Полнота окисления органического вещества водных беспозвоночных методом бихроматного окисления // ДАН БССР. 1965. Т. 9. №4. С. 273-276.

Пушкар В.Я., Дубровин В.Н., Григорьев В.Н. Установка для выращивания рыб: Авторское свидетельство СССР. 1979. №789082, МКИ: А01К 61/00.

Сарвио В.С. Экологическая оценка влияния термических колебаний на параметры роста бокоплава *Gammarus lacustris* // Гидробиологический журнал. 1983. Т. 19. №4. С. 71-73.

Spotт С. Содержание рыбы в замкнутых системах. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 192 с.

Стеффенс В. Индустриальные методы выращивания рыбы. М.: Агропромиздат, 1985. 384 с.

Biette R.M., Geen G.H. Growth of underyearling salmon (*Oncorhynchus nerka*) under constant and cyclic temperatures in relation to live zooplankton ration size // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1980. V. 37. №2. Pp. 203-210.

- Dong Y., Dong S., Tian X., Wang F., Zhang M. Effect of diel temperature fluctuations on growth, oxygen consumption and proximate body composition in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka // *Aquaculture*. 2006. V. 255. №1-4. Pp. 514-521.
- Gardibaldi L. List of animal species used in aquaculture // *FAO Fish. Circ.* 1996. №914. Pp. 1-38.
- Gui Y.M., Wang Z.Y., Chen Y.H. Use of fluctuating temperature to promote growth of *Tilapia niloticus* // *J. Fish. China*. 1989. V. 13. Pp. 326-331.
- Liao I.C., Hsu Y.K., Lee W.C. Technical innovations in eel culture systems // *Rev. Fish. Sci.* 2002. V. 10. №3-4. Pp. 433-450.
- Naegel L.C.A. Combined production of fish and plants in recirculating water // *Aquaculture*. 1977. V. 10. №1. Pp. 17-24.
- Neori A., Chopin T., Troell M. et al. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture // *Aquaculture*. 2004. V. 231. №1-4. Pp. 361-391.
- Neori A., Shpigel M., Ben-Ezra D. A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone // *Aquaculture*. 2000. V. 186. №3-4. Pp. 279-291.
- Palmegiano G.B., Agradi E., Fornesis G. et al. Spirulina as a nutrient source in diets for growing sturgeon (*Acipenser baerii*) // *Aquaculture Research*. 2005. V. 36. №2. Pp. 188-195.
- Pilditch, C.A., Grant, J. Effect of temperature fluctuations and food supply on the growth and metabolism of juvenile sea scallop (*Placopecten magellanicus*) // *Mar. Biol.* 1999. V. 134. Pp. 235-248.
- Schneider O., Seveti V., Eding E.H., Verreth J.A.J. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems // *Aquacultural Engineering*. 2005. V. 32. №3-4. Pp. 379-401.
- Schuenhoff A., Shpigel M., Lupatsch I., Ashkenazi A., Msuya F., Neori A. A semi-recirculating, integrated system for the culture of fish and seaweed // *Aquaculture*. 2003. V. 221. №1-4. Pp. 167-181.
- Summerfeld S.T., Wilton G., Roberts D., Rimmer T., Fonkalsrud K. Developments in recirculating systems for Arctic char culture in North America // *Aquacultural Engineering*. 2004. V. 30. №1-2. Pp. 31-71.
- Takeuchi T., Lu J., Yoshizaki G., Satoh S. Effect on the growth and body composition of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* fed raw *Spirulina* // *Fisheries Science*. 2002. V. 68. №1. Pp. 34-40.
- Tian X., Dong S. The effects of thermal amplitude on the growth of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* (Osbeck, 1765) // *Aquaculture*. 2006. V. 251. №2-4. Pp. 516-524.
- Troell M., Halling C., Neori A., Chopin T., Buschmann A.H., Kautsky N., Yarish C. Integrated mariculture: asking the right questions // *Aquaculture*. 2003. V. 226. №1-4. Pp. 69-90.
- Wang H., Liu C.F., Qin C.X., Cao S.Q., Ding J. Using a macroalgae *Ulva pertusa* biofilter in a recirculating system for production of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* // *Aquacultural Engineering*. 2007. V. 36. №3. Pp. 217-224.
- Yarish C., He P., Carmona R., Liu S. et al. The aquaculture of *Porphyra leucosticta* (Rhodophyta) for an integrated finfish/seaweed recirculating aquaculture system in an urban application // *Journal of Pshycology*. 2002. V. 38. №1. Pp. 39-68.

**BIOLOGICAL PRODUCTIVITY AND METABOLISM OF HYDROBIONTS IN  
RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM UNDER CONDITIONS OF  
CONSTANTS AND VARIABLE THERMOREGIMES**

© 2008 y. V.V. Zdanovich, V.Ya. Pushkar

*Moscow State University, Biological faculty, Moscow*

In experimental integrated recirculating aquaculture systems investigated biological productivity and metabolism of goldfish *Carassius auratus*, mollusk *Physa fontinalis*, blue-green algae *Oscillatoria* spp. and *Lyngbya* spp. at constants and variables thermoregimes. It is shown, that in conditions of periodic fluctuations of temperature increase of specific growth rate and reproduction of hydrobionts, intensity of respiration and oxygen consumption per unit of body mass gain decrease, raise of degree of using of consumed food on growth and biological production. Application integrated recirculating aquaculture systems for cultivation hydrobionts different trophic levels under conditions variable thermoregimes will allow to use in a greater degree nutrients of food on production processes, to reduce utilization of water and dump of biogenous elements in an environment, to receive more production.