

УДК 591. 639

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗГРАНИЧЕНИЕМ БИОКОМПОНЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННЫХ И ПЕРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

В.Я. Пушкарь, В.В. Зданович

(кафедра ихтиологии; e-mail: vpushkar@mail.ru)

Показано, что при выращивании гидробионтов в интегрированных рециркуляционных системах более чем в два раза повышается экологическая эффективность использования пищи по сравнению с монокультурой. Наиболее высокая биологическая продукция и более эффективное использование ассимилированной пищи наблюдаются в условиях осцилляции температуры.

**Ключевые слова:** гидробионты, эффективность культивирования, интегрированные рециркуляционные системы, постоянные и переменные температуры, аквакультура.

В настоящее время в биотехнологии аквакультуры одной из актуальных задач является повышение эффективности использования вносимых кормов на продуктивный рост гидробионтов. Выращивание рыбы в установках с замкнутым циклом водоснабжения позволяет в значительной степени снизить потребление используемых ресурсов и загрязнение окружающей среды. 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. При такой форме выращивания различных видов рыб 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 [1]. 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 [2]. 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. В случае выращивания рыбы в таких искусственных системах неиспользованные корма и продукты метаболизма утилизируются организмами других трофических уровней (водоросли, ракообразные, моллюски, макрофиты), содержащихся в отдельных блоках [3–5]. Показано, что принцип интегрированных рециркуляционных систем с пространственным разграни-

чением биоконпонентов можно успешно использовать как в различных промышленных рыбоводных установках, так и на открытых водоемах, например выростных и нагульных рыбоводных прудах. В условиях Узбекистана в нагульном пруду площадью 10 га, оборудованном двумя дополнительными блоками (площадь 0,3 га) для культивирования зоопланктона и биологической очистки воды организмами перифитона, при рециркуляции воды обеспечивался устойчивый режим функционирования системы при выходе рыбопродукции 105–115 ц/га [6]. 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 [7].

Известно, что скорость продуцирования гидробионтов значительно возрастает с повышением экологической обеспеченности роста, улучшением условий существования, в первую очередь температурных, трофических. В последнее время на примере водорослей и макрогидрофитов [8–10], простейших [11], колвраток [12], ракообразных [13–15], моллюсков [10–16], голотурий [17], рыб [18–24] 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. В условиях осцилляции температуры оптимизируются рост, размножение, энергетика 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 и оценка эффективности использования организмами вносимой в систему пищи в условиях постоянных и переменных температур.

### Материал и методика

Эксперименты выполнены на моделях рециркуляционных установок, каждая из которых состояла из трех аквариумных блоков. В одном блоке выращивали золотую рыбку *Carassius auratus*, в другом — брюхоногого моллюска физиу пузырчатую *Physa fontinalis* и ветвистоусого рачка *Daphnia longispina*, в третьем — смесь синезеленых водорослей *Oscillatoria* spp. и *Lyngbya* spp. (соотношение по численности соответственно 90 и 10%). Выбранные объекты культивирования являются обычными компонентами пресноводных экосистем, выдерживают значительное загрязнение воды органическими веществами (мезосапробы), обладают высокими скоростями роста и развития. Кроме того, синезеленые водоросли по типу питания миксотрофы, т.е. наряду с фотосинтезом активно используют и готовые органические вещества, растворенные в воде.

Вода из аквариумов с рыбами (объем 14 л) с помощью эрлифта подавалась в блок с моллюсками и дафниями (объем 8,5 л), затем поступала в блок с водорослями (объем 1,5 л, площадь 456 см<sup>2</sup>), после чего снова возвращалась в блок рыб. Скорость протока составляла 3,5 л/ч. Воду в аквариумы добавляли только в пределах трат на испарение (не более 5%). Для предотвращения выноса дафний с током воды на выходе из блоков устанавливались фильтры из капроновой сетки. В установках с постоянной температурой (20, 23 и 26°) необходимый ее уровень поддерживался при помощи терморегуляторов с точностью  $\pm 0,5^\circ$ . В переменном терморегиме  $23 \pm 3^\circ$  синусоидальные колебания температуры обеспечивались с помощью самопишущего потенциометра КСП-4, оснащенного регулятором температуры, с периодом 3 ч. Содержание кислорода в воде 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 рыб составлял 3% от массы тела рыб в сутки. Корм рыбам в течение суток вносили два раза — утром и вечером. В начале и в конце опытов рыб взвешивали индивидуально с точностью 0,01 г. Продолжительность опытов 14 сут.

В конце опытов у гидробионтов оценивали прирост, удельную скорость роста по сырой мас-

се по формуле  $C_W = (\ln W_2 - \ln W_1)/t \cdot 100\%$ , где  $W_1$  и  $W_2$  — средняя масса (г) в начале и конце опыта,  $t$  — длительность опыта (сут). Для оценки эффективности использования пищи на рост рассчитывали значения трофических коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ . Первый из них находили по уравнению  $K_1 = P/C$ , где  $P$  — энергия прироста,  $C$  — энергия потребленной пищи. Второй вычисляли по уравнению  $K_2 = P/(C - U)$ , где  $U$  — энергия неусвоенной части пищи. Оценивали также коэффициент усвояемости пищи  $\alpha = (P + R)/C$ , где  $R$  — энергия, расходуемая на процессы метаболизма.

Интенсивность дыхания рыб определяли методом прерванного протока в респирометрах [25] при помощи оксиметра с точностью 0,01 мг O<sub>2</sub>/л. В респирометры (объем 2,75 л) сажали рыб и с 5-кратной повторностью измеряли интенсивность их дыхания в постоянных и переменных терморегимах через 2—3 сут после начала и в конце опытов. В дальнейших расчетах интенсивность дыхания рыб принималась как среднее применительно к тем или иным температурным условиям. 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 [26], которая составляла 6,174 кДж/г сырой массы.

В конце опытов у моллюсков подсчитывали число кладок яиц, оценивали их массу. В блоки с моллюсками вносили дафний, достигших половой зрелости (средняя масса 0,04 мг). Массу взрослых дафний и молоди определяли расчетным путем по размерам. Для оценки биопродукционных характеристик моллюска использовали следующие значения:  $K_2 = 0,27$ ,  $\alpha = 0,6$ ; для дафнии:  $K_2 = 0,4$ ;  $\alpha = 0,6$ . Калорийность сырой массы моллюска и дафнии — 4,186 кДж/г [27—30]. В блоки, где выращивали водоросли, вносили по 0,5 г их сырой массы, круглосуточно сверху освещали люминесцентными лампами (40 Вт, освещенность 3 тыс. лк) и в конце опытов измеряли их массу. Калорийность сырой массы водорослей 2,93 кДж/г [27].

В каждом постоянном и переменном терморегиме кислородным методом определяли скорость деструкции органического вещества [31]. Время экспозиции затемненных склянок составляло 4 ч. Деструкцию за время опыта рассчитывали как среднее значение из величин, полученных в начале и в конце опыта, отнесенную к объему воды в системе. Считали, что доля использованного кислорода бактериопланктоном составляет 80% от величины биологического потребления кислорода и соответствует величине ассимилированной энергии [32]. При оценки энергии продукции бактерий принимали величину  $K_2 = 0,4$  [27].

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программы “Статистика 6” с использованием критерия Стьюдента.

## Результаты и обсуждение

В табл. 1 приведены экспериментальные данные о темпах роста, интенсивности обмена и продукционных показателях гидробионтов в рецирку-

ляционных системах при переменной и постоянных температурах.

Видно, что с повышением температуры от 20 до 26° у золотой рыбки наблюдается закономерное увеличение скорости роста ( $p < 0,05$ ), прирос-

Таблица 1

**Экспериментальные данные, применяемые для расчета энергетического баланса и эффективности использования пищи гидробионтами в рециркуляционных системах при переменном и постоянных терморежимах**

Показатели	Терморегим, °С			
	23 ± 3	20	23	26
Золотая рыбка (n = 14)				
Начальная средняя масса, г	1,26 ± 0,127	1,10 ± 0,152	1,01 ± 0,114	1,02 ± 0,123
Конечная средняя масса, г	1,73 ± 0,132*	1,30 ± 0,165	1,36 ± 0,183	1,40 ± 0,145
Продукция за опыт, г	6,5*	2,8	4,9	5,3
Удельная скорость роста ( $C_w$ ), г % сут	2,3	1,2	2,1	2,3
Потреблено пищи рыбами за опыт, г	7,6	6,5	6,7	6,9
Интенсивность дыхания рыб, мг O <sub>2</sub> /г · ч	0,480 ± 0,013**	0,540 ± 0,008	0,560 ± 0,009	0,600 ± 0,016
Потреблено O <sub>2</sub> рыбами за время опыта, г	3,37	3,04	3,12	3,40
Расход кислорода на 1 г прироста массы тела, г	0,518**	1,086	0,637	0,641
Дания (начальная численность 400 экз.)				
Конечная численность, экз.	3080	1920	3080	2540
— взрослых (средняя масса 0,05 мг), экз.	1580	1264	1848	1850
— молоди (средняя масса 0,02 мг), экз.	1500	656	1232	790
Начальная масса, мг	16	16	16	16
Конечная масса, мг	109	76	117	108
Продукция за опыт, мг	93	60	101	92
Удельная скорость роста ( $C_w$ ), мг % сут	13,7	11,1	14,2	13,6
Потреблено пищи, мг	436	320	466	433
Траты пищи на обмен, мг	157	115	168	156
Моллюск (n = 11 экз.)				
Начальная масса, г	0,40	0,40	0,40	0,40
Конечная масса, г	0,81	0,60	0,71	0,70
Число кладок яиц	33	16	26	10
Масса кладки яиц, мг	8,0	4,0	6,2	3,0
Продукция за опыт, г	0,41	0,20	0,31	0,30
Удельная скорость роста ( $C_w$ ), г % сут	4,9	2,9	4,0	4,0
Потреблено пищи, г	2,51	1,25	1,88	1,86
Траты пищи на обмен, г	1,10	0,55	0,82	0,82
Водоросли				
Продукция за опыт, г	12,4	4,0	7,0	12,0
Удельная скорость роста ( $C_w$ ), г % сут	22,9	14,8	18,8	22,7
Деструкция органического вещества				
Скорость деструкции органического вещества, мг O <sub>2</sub> /л · сут	4,2	2,7	3,9	4,1
Величина деструкции за время опыта, г O <sub>2</sub>	1,4	0,9	1,3	1,4

Примечание: \*p < 0,05; \*\*p < 0,01.

та массы тела ( $p < 0,01$ ), интенсивности дыхания ( $p < 0,01$ ) и снижение расхода кислорода на 1 г прироста массы тела ( $p < 0,01$ ). Однако в переменном терморегиме все перечисленные показатели значительно отличались от наблюдаемых при постоянных температурах. Прирост массы рыб в  $23 \pm 3^\circ$  оказался соответственно в 2,32, 1,33 и 1,23 раза больше, чем при постоянных температурах 20, 23 и  $26^\circ$  ( $p < 0,05$ ). Удельная скорость роста в переменном терморегиме в 1,92 и 1,09 раза была выше, чем при 20 и  $23^\circ$  и одинаковой с наблюдаемой в  $26^\circ$ . Интенсивность дыхания золотой рыбки в условиях переменного терморегима оказалась достоверно ниже ( $p < 0,01$ ) по сравнению с регистрируемой при 20, 23 и  $26^\circ$  (соответственно на 11, 14 и 20%). Заметно снизился расход кислорода на прирост единицы массы тела за время опыта — на 47 и 19% по сравнению с 20 и  $23^\circ$  и на 20% по сравнению с  $26^\circ$ .

Численность, скорость роста по сырой массе и величина продукции дафний возрастали с повышением температуры от 20 до  $23^\circ$  и несколько снизились при  $26^\circ$ , поскольку температура приблизилась к верхней субоптимальной границе вида. Величина продукции за время опыта и скорость роста в переменном терморегиме оказались в 1,55 и 1,23 раза больше, чем при  $20^\circ$ , несколько ниже по сравнению с  $23^\circ$  и практически одинаковы с  $26^\circ$ . Численность дафний в конце опытов в условиях осцилляции температуры была одинаковой с регистрируемой при  $23^\circ$  и в 1,60 и 1,21 раза больше, чем при 20 и  $26^\circ$ . Важно отметить, что молодь дафний в терморегиме  $23 \pm 3^\circ$  составляла 49% от общей численности, тогда как при постоянных температурах 20, 23 и  $26^\circ$  соответственно 34, 40 и 31%. В переменном терморегиме не отмечено взрослых дафний с покоящимися яйцами, тогда как при 20, 23 и  $26^\circ$  они составляли соответственно 4, 2 и 6% от общей численности.

У моллюска повышение температуры с 20 до  $23^\circ$  привело к увеличению в 1,55 и 1,38 раза величины продукции и скорости роста по сырой массе. Одновременно возросли число и масса кладок яиц в 1,62 и 1,55 раза. При  $26^\circ$  продукция и скорость роста оказались одинаковыми с наблюдаемыми при  $23^\circ$ , тогда как число и масса кладок яиц снижались более чем в два раза. Видимо, как и в случае с дафнией, это связано с тем, что  $26^\circ$  приближается к субоптимальной температурной границе вида. В переменном терморегиме у моллюска величина продукции за время опыта превышала наблюдаемые при 20, 23 и  $26^\circ$  соответственно в 2,05, 1,32 и 1,37 раза, скорость роста — в 1,69, 1,22 и 1,21 раза. В астатичных температурных условиях оказалась выше и интенсивность размножения моллюсков. Число кладок было больше, чем при 20, 23 и  $26^\circ$  соответственно в 2,06, 1,27 и 3,30 раза, масса кладки — в 2,0, 1,29 и 2,67 раза.

Значительное увеличение продукции и скорости роста с повышением температуры с 20 до  $26^\circ$  наблюдается и у водорослей (соответственно в 3,0 и 1,53 раза). Однако в переменном терморегиме эти показатели были выше, чем при постоянных температурах. Величина продукции водорослей за время опыта в  $23 \pm 3^\circ$  соответственно в 3,10, 1,77 и 1,03 раза превышала таковую при 20, 23 и  $26^\circ$ , а скорость роста — в 1,55, 1,22 и 1,01 раза.

Скорость деструкции органического вещества в переменном терморегиме на 35, 7 и 3% была больше, чем при постоянных температурах 20, 23 и  $26^\circ$ , что косвенно указывает на большую численность бактериопланктона в воде установок, где поддерживался переменный терморегим.

Результаты опытов еще раз подтверждают полученные нами ранее данные о том, что в условиях осцилляции температуры оптимизируются процессы жизнедеятельности гидробионтов — ускоряется темп роста, повышается продукция и интенсивность размножения, снижаются энергозатраты на прирост массы тела [10, 22].

Для сравнения биопродукционных характеристик культивируемых гидробионтов на основании собственных и литературных данных об эффективности использования ассимилированной пищи на рост ( $K_2$ ), усвояемости пищи ( $\alpha$ ) рассчитаны величины рациона, продукции и траты на обмен (табл. 1), которые представлены в табл. 2 в эквивалентных энергетических единицах. Видно, что основную долю продукции в рециркуляционных системах при переменном и постоянных терморегимах представляют рыбы, через которых прошло основное количество энергии пищи. Для других биоконпонентов системы источником энергии служили неиспользованная рыбами пища и продукты метаболизма. В основном энергия неусвоенной части пищи утилизировалась бактериопланктоном, и какая то ее часть — дафниями и моллюсками. Продукция бактериопланктона в  $23 \pm 3^\circ$  превышала суммарную продукцию дафний и моллюсков в 3,74 раза, а при 20, 23 и  $26^\circ$  соответственно в 4,55, 4,18 и 4,62 раза. Интенсивные процессы деструкции органического вещества бактериопланктоном способствовали значительному накоплению минеральных биогенных элементов, что обеспечило интенсивное развитие водорослей. В переменном терморегиме продукция водорослей оказалась близкой величине продукции рыб, а в  $26^\circ$  превысила ее.

В табл. 3 представлены параметры энергобюджета золотой рыбки при постоянных и переменном терморегимах и отражены коэффициенты, показывающие эффективность конвертирования пищи. Видно, что значения трофических коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  в  $23 \pm 3^\circ$  превышают таковые при постоянных температурах 20, 23 и  $26^\circ$ . Коэффициент усвояемости пищи в условиях осцилляции температуры был выше, чем при 20 и  $23^\circ$  и практически

Таблица 2

**Элементы энергетического баланса гидробионтов  
в рециркуляционных системах  
при переменном и постоянных терморегимах**

Показатели, кДж	Терморегим, °С			
	23 ± 3	20	23	26
Золотая рыбка				
Энергия рациона (C <sub>1</sub> )	114,8	98,0	101,0	104,0
Энергия прироста (P <sub>1</sub> )	40,1	17,3	30,2	32,7
Энергия метаболизма (R <sub>1</sub> )	47,7	43,0	44,1	48,1
Неусвоенная энергия (U <sub>1</sub> )	27,0	37,7	26,7	23,2
Дафния				
Энергия рациона (C <sub>2</sub> )	1,44	1,30	1,87	1,78
Энергия прироста (P <sub>2</sub> )	0,44	0,32	0,47	0,43
Энергия метаболизма (R <sub>2</sub> )	0,6	0,48	0,7	0,65
Неусвоенная энергия (U <sub>2</sub> )	0,4	0,5	0,7	0,7
Моллюск				
Энергия рациона (C <sub>3</sub> )	10,5	5,2	7,8	7,8
Энергия прироста (P <sub>3</sub> )	1,7	0,8	1,3	1,3
Энергия метаболизма (R <sub>3</sub> )	4,6	2,3	3,4	3,4
Неусвоенная энергия (U <sub>3</sub> )	4,2	2,1	3,1	3,1
Бактериопланктон				
Энергия прироста (P <sub>4</sub> )	8,0	5,1	7,4	8,0
Энергия метаболизма (R <sub>4</sub> )	12,0	7,7	11,1	12,0
Водоросли				
Энергия прироста (P <sub>5</sub> )	36,3	11,7	20,5	35,1

одинаковым с наблюдаемым при 26°. 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 параметрах уравнения

энергетического баланса золотой рыбки по сравнению с параметрами аналогичных уравнений в постоянных температурах. В переменном терморегиме 23 ± 3° доля энергии корма, идущая на прирост массы тела, оказалась соответственно в 1,98, 1,17 и 1,11 раза больше, чем при 20, 23 и 26°, тогда как энерготраты снижались соответственно на 5,2, 5,5 и 9,9%.

Таблица 3

**Параметры энергобюджета и показатели эффективности  
использования пищи золотой рыбкой  
при переменном и постоянных терморегимах**

Терморегим, °С	Параметры уравнения энергобюджета, %	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	α
23 ± 3	100C = 35,0P + 41,6R + 23,4U	0,35	0,45	0,76
20	100C = 17,6P + 43,9R + 38,5U	0,18	0,29	0,61
23	100C = 30,0P + 44,0R + 26,0U	0,30	0,41	0,73
26	100C = 31,4P + 46,2R + 22,4U	0,31	0,40	0,77

Результаты оценки экологической эффективности использования пищи гидробионтами в интегрированных рециркуляционных системах при разных терморегимах представлены в табл. 4. Видно, что доля суммарной энергии продукции консументов по отношению к энергии рациона оказалась наибольшей в переменном терморегиме (43%) и превышала таковую при постоянных температурах 20, 23 и 26° соответственно в 1,79, 1,10 и 1,05 раза. С учетом продукции водорослей в 23 ± 3° она возросла до 76% и была больше соответственно в 2,11, 1,29 и 1,03 раза, чем при постоянных температурах. Сравнение экологической эффективности использования энергии корма в рециркуляционных системах при постоянных и переменных терморегимах в случае выращивания только золотой рыбки (табл. 3) и в случае применения интегрированного метода выращивания гидробионтов разных трофи-

Таблица 4

**Оценка экологической эффективности использования  
энергии пищи гидробионтами в рециркуляционных системах при переменном и постоянных терморегимах**

Показатели	Терморегим, °С			
	23 ± 3	20	23	26
Энергия рациона (C <sub>1</sub> ), кДж	114,8	98,0	101,0	104,0
Энергия продукции (P <sub>1</sub> + P <sub>2</sub> + P <sub>3</sub> + P <sub>4</sub> ), кДж	50,24	23,52	39,37	42,43
Энергия метаболизма (R <sub>1</sub> + R <sub>2</sub> + R <sub>3</sub> + R <sub>4</sub> ), кДж	64,9	53,48	59,30	64,15
Отношение энергии продукции консументов к энергии рациона: (P <sub>1</sub> + P <sub>2</sub> + P <sub>3</sub> + P <sub>4</sub> )/C <sub>1</sub>	0,43	0,24	0,39	0,41
Энергия продукции водорослей (P <sub>5</sub> ), кДж	36,3	11,7	20,5	35,1
Отношение энергии продукции консументов и продуцентов к энергии рациона: (P <sub>1</sub> + P <sub>2</sub> + P <sub>3</sub> + P <sub>4</sub> + P <sub>5</sub> )/C <sub>1</sub>	0,76	0,36	0,59	0,74

ческих уровней (табл. 4) показывает неоспоримое превосходство последнего.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что в интегрированных рециркуляционных системах с пространственным разграничением культивируемых гидробионтов более чем в два раза повышается экологическая эффективность использования пищи по сравнению с монокультурой, при этом наибольший эффект наблюдается в условиях осцилляции температуры. Высокая биологическая продукция в интегрированных рециркуляционных системах свидетельствует о целесообразности совместного культивирования гидробионтов различных трофических уровней. Принцип подбора биокомпонентов, их пространственного разграничения в системе, позволяет целенаправленно

управлять трансформацией энергии вносимых кормов в ту или иную биологическую продукцию. Очевидно, что внедрение в аквакультуру биотехнологий интегрированных рециркуляционных систем с пространственным разграничением биокомпонентов разных трофических уровней с использованием оптимальных переменных терморежимов позволит в значительной мере повысить биологическую продуктивность, эффективность использования кормов, уменьшить загрязнение окружающей среды и снизить затраты на производство.

\* \* \*

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 07-04-00581).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schneider O., Seveti V., Eding E.H., Verreth J.A.J. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems // *Aquacultural Engineering*. 2005. Vol. 32. N 3—4. P. 379—401.
2. Naegel L.C.A. Combined production of fish and plants in recirculating water // *Aquaculture*. 1977. Vol. 10. N 1. P. 17—24.
3. Пушкарь В.Я., Дубровин В.Н., Григорьев В.Н. Установка для выращивания рыб: Авторское свидетельство СССР. 1979. № 789082, МКИ: А01К 61/00.
4. Neori A., Shpigel M., Ben-Ezra D. A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone // *Aquaculture*. 2000. Vol. 186. N 3—4. P. 279—291.
5. Troell M., Halling C., Neori A., Chopin T., Buschmann A.H., Kautsky N., Yarish C. Integrated mariculture: asking the right questions // *Aquaculture*. 2003. Vol. 226. N 1—4. P. 69—90.
6. Пушкарь В.Я., Дубровин В.Н. Поликультура рыб на индустриальной основе // *Рыбоводство*. 1986. № 1. С. 8—9.
7. Neori A., Chopin T., Troell M., Buschmann A.H., Kraemer G.P., Halling C., Shpigel M., Yarish C. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture // *Aquaculture*. 2004. Vol. 231. N 1—4. P. 361—391.
8. Константинов А.С., Пушкарь В.Я., Зданович В.В., Соловьева Е.А. Влияние колебаний температуры на скорость роста и размножение пресноводных планктонных водорослей // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология*. 1998. № 1. С. 47—50.
9. Константинов А.С., Пушкарь В.Я., Зданович В.В., Соловьева Е.А. Влияние колебаний температуры на продукционные характеристики планктонной водоросли *Scenedesmus quadricauda* // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология*. 1999. № 2. С. 49—53.
10. Константинов А.С., Пушкарь В.Я., Аверьянова О.В. Влияние колебаний различных абиотических факторов на метаболизм некоторых гидробионтов // *Изв. РАН. Сер. биол.* 2003. № 6. С. 1—7.
11. Заар Л.П., Тополовский В.А., Трибис Ж.М. Роль переменных температур в размножении *Paramecium caudatum* // *Журн. общ. биол.* 1977. Т. 38. № 4. С. 609—619.
12. 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* // *Гидробиол. журн.* 1995. Т. 31. № 6. С. 25—29.
13. Галковская Г.А., Сущеня Л.М. Рост водных животных при переменных температурах. Минск, 1978.
14. Сарвино В.С. Экологическая оценка влияния термических колебаний на параметры роста бокоплава *Gammarus lacustris* // *Гидробиол. журн.* 1983. Т. 19. № 4. С. 71—73.
15. Tian X., Dong S. The effects of thermal amplitude on the growth of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* (Osbeck, 1765) // *Aquaculture*. 2006. Vol. 251. N 2—4. P. 516—524.
16. 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. Vol. 134. P. 235—248.
17. 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. Vol. 255. N 1—4. P. 514—521.
18. 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. Vol. 37. N 2. P. 203—210.
19. Константинов А.С., Зданович В.В. Некоторые особенности роста рыб при переменных температурных режимах // *Вопр. ихтиологии*. 1986. Т. 26. № 3. С. 448—456.
20. Константинов А.С., Зданович В.В., Калашников А.А. Влияние переменной температуры на рост эвритермных и стенотермных рыб // *Вопр. ихтиологии*. 1987. Т. 27. № 6. С. 971—977.
21. Константинов А.С., Зданович В.В., Тихомиров Д.Г. Влияние осцилляции температуры на интенсивность обмена и энергетику молоди рыб // *Вопр. ихтиологии*. 1989. Т. 29. № 6. С. 1019—1027.
22. Константинов А.С., Зданович В.В., Шолохов А.М. Астатичность температурных условий как фактор опти-

мизации роста, энергетики и физиологического состояния рыб // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. 1991. № 2. С. 38—44.

23. *Gui Y.M., Wang Z.Y., Chen Y.H.* Use of fluctuating temperature to promote growth of *Tilapia niloticus* // J. Fish. China. 1989. Vol. 13. P. 326—331.

24. *Зданович В.В.* Некоторые особенности роста молоди мозамбикской тиляпии *Oreochromis mossambicus* при постоянных и переменных температурах // Вопр. ихтиологии. 1999. Т. 39. № 1. С. 105—110.

25. *Кляшторин Л.Б., Саликзянов Р.Ф.* Установка для автоматического измерения дыхания рыб и других гидробионтов при заданных температурных и кислородных условиях // Вопр. ихтиологии. 1979. Т. 19. № 1. С. 558—561.

26. *Остапеня А.П.* Полнота окисления органического вещества водных беспозвоночных методом бихро-

матного окисления // ДАН БССР. 1965. Т. 9. № 4. С. 273—276.

27. *Винберг Г.Г.* Обозначения, единицы измерения и эквиваленты, встречаемые при изучении продуктивности пресных вод. Л., 1972.

28. *Заика В.Е.* Удельная продукция водных беспозвоночных. Киев, 1972.

29. *Новосельцев Г.Е.* Биопродуктивная характеристика и трансформация энергетического потока в экосистеме Водлозерского водохранилища (Южная Карелия) // Основы изучения пресноводных экосистем. Л., 1981. С. 18—21.

30. *Алимов А.Ф.* Введение в продукционную гидробиологию. Л., 1989.

31. *Винберг Г.Г.* Первичная продукция водоемов. Минск, 1960.

32. *Романенко В.И., Кузнецов С.И.* Экология микроорганизмов пресных вод. Л., 1974.

Поступила в редакцию  
06.09.07

**EFFICIENCY CULTIVATION HYDROBIONTS  
IN INTEGRATED RECIRCULATING SYSTEMS  
WITH SPATIAL DIFFERENTIATION OF BIOCOMPONENTS  
IN CONDITIONS OF CONSTANTS AND VARIABLE TEMPERATURES**

*V.Ya. Pushkar, V.V. Zdanovich*

It is shown, that at cultivation hydrobionts in integrated recirculating systems more than twice ecological efficiency of use of food in comparison with a monoculture raises. The highest biological production and more effective utilization of the assimilated food are observed in conditions variable temperatures.

**Key words:** *hydrobionts, efficiency cultivation, integrated recirculating systems, constants and variable temperatures, aquaculture.*

**Сведения об авторах**

*Пушкарь Василий Яковлевич* — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., доц. кафедры ихтиологии биологического факультета МГУ. Тел. (495) 939-40-92; e-mail: vpushkar@mail.ru

*Зданович Владимир Владимирович* — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., доц. кафедры ихтиологии биологического факультета МГУ. Тел. (495) 939-25-38, (8-449656)-4-86-55; e-mail: zdanovich@mail.ru