

文章编号: 1000- 0615(2001)01- 0032- 06

不同密度的石莼与中国对虾的混养实验

王吉桥¹, 靳翠丽¹, 张欣², 刘革利²

(1. 大连水产学院养殖系, 辽宁 大连 116023; 2. 盘锦职业技术学院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 在 10 个水族箱 (53cm × 24cm × 23cm) 中各放养中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 4 尾, 混养孔石莼 (*Ulva pertusavar*) 0、4g、6g、8g 和 10g, 采用投饲精养。结果表明, 孔石莼能有效吸收 N、P 营养盐, 提高对虾对饲料中氮的利用率 (42.7% ~ 212.9%), 水质状况也优于单养对虾。混养的综合养殖指数高于单养对虾。对虾密度为 320~ 480 g·m⁻³, 石莼密度为 400~ 600 g·m⁻³ 时, 可以进行免充气养殖。

关键词: 石莼; 对虾; 混养; 水质

中图分类号: S962.92 文献标识码: A

Polyculture of experiment *Penaeus chinensis* with various biomass of *Ulva pertusavar*

WANG Ji-Qiao¹, JIN Cui-Li¹, ZHANG Xin², LIU Ge-Li²

(1. Department of Aquaculture, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

2. Panjin Professional Technique College, Panjin 124010, China)

Abstract: Polyculture of Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) with various biomass of *Ulva* (*Ulva pertusavar*) was conducted in ten aquaria of each 53cm × 24cm × 23cm from July to September in 1998. The results showed that *Ulva* could absorb N and P nutrients and improve water quality by decreasing the nitrogen and phosphorus loading and increase dissolved oxygen levels in the polyculture systems. The shrimp had total N and P utilization rates of 42.7% – 212.9% higher in the tanks with *Ulva* than those in the monoculture system. When the densities of shrimp and *Ulva* were optimal (320– 480 g·m⁻³ and 400– 600 g·m⁻³), the oxygen produced by *Ulva* was sufficient for shrimp's need without extra aeration.

Key words: *Ulva pertusavar*; *Penaeus chinensis*; polyculture; water quality

水产养殖对环境的压力^[1,2]使人们更加重视大型水生植物作为“生物净化器(biofilter)”的作用^[3,4], 纷纷把石莼或江蓠等大型藻类与鱼^[5-12]、虾^[13-16]、贝^[17,18]等混养在一起, 除去养殖废水中的营养物, 收到了显著的经济、社会和生态效益^[19]。但这些研究多将植物净水和动物产生废水的过程在时空上隔离开, 不利于分析对虾和石莼混养时的生态作用。为此, 我们把对虾和石莼同池混养, 考查水体氮磷营

收稿日期: 2000-08-31

基金项目: 国家自然科学基金重点项目资助(39430102); 国家攀登计划 B 专题(PD-B6-7-3)

第一作者: 王吉桥(1950), 男, 大连瓦房店人, 教授, 博士, 主要从事水产养殖生态学研究。Tel: 0411-4762691

养元素在持续排放下, 石莼对营养盐的吸收和利用及养殖环境的水质状况, 并根据对虾和石莼的生长、营养需要和耗氧率等综合养殖评价指标体系, 求出对虾和石莼的最适比例。

1 材料与方法

1.1 材料

中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 取自大连南关岭养殖场, 体长(5.5±0.7) cm, 体重(1.8±0.5) g。孔石莼 (*Uva pertusar*) 取自大连黑石礁海边。实验容器为 53cm×24cm×23cm 硬质塑料水族箱。

实验正式开始前, 将对虾养殖环境盐度升至 15, 石莼淡化至 15, 并在水族箱中分别放养了 5, 10, 15 或 20 尾对虾, 进行对虾适宜放养密度的预试验。预试验证实, 对虾互相残食较严重(尤其是在蜕皮时), 每箱放养 4 尾对虾较适宜。实验用海水由大连水产学院育苗室过滤海水与自来水调配而成。

1.2 试验设计

实验于 1998 年 7 月 30 日至 9 月 2 日, 共进行了 35d。实验分五组, 每组对虾 4 尾, A 组不放石莼(对照组), B 组、C 组、D 组和 E 组分别放石莼 4g、6g、8g 和 10g(石莼称重前用滤纸沾干表面水分)。实验重复一次。

1.3 日常管理

实验期间, 水温 20~23 °C, 盐度 15 左右。每 10d 换一次水, 吸去底部污物, 换水量不超过 20%。给对虾投喂颗粒饲料, 投喂量为虾体重 2%, 每天早 6:00 和晚 19:00 两次。除对照组外均不充气。

1.4 项目监测

每 3d 测水质一次。用 Nessler 法测总氨, 磺胺萘乙二胺法测 NO_2^- -N, 二氧化锡法测 PO_4^{3-} -P, 化学耗氧量法测有机物, 碘量法测水中溶解氧(DO)。实验开始和结束时测对虾体长、体重和石莼湿重。

1.5 数据处理

对虾生长速度用方差分析和 Duncan 多重比较。石莼生长用日生长率(DGR)比较。

$\text{DGR}(\%) = (\frac{\sqrt[n]{S_t}}{S_0}) \times 100$, 式中 n 为饲养天数, S_0 、 S_t 分别为实验开始、结束时湿重量(g)^[16]。

N 绝对利用率(%)和相对利用率(%)按王吉桥等^[20]公式计算, 对虾、石莼和饵料蛋白质含量分别为 20%、5.86%和 45%。

水质状况用系统聚类分析法。综合养殖效果用主成分分析法。

2 结果

2.1 各组的水质状况

试验组的水质状况见表 1。D(8)和 A(0)组的总氨较高, 其中 A(0)与室外天然虾池氨氮水平(0.92 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)接近^[21]。B(2)、C(6)、E(10)偏低, 基本符合对虾养殖水质要求, E(10)氨氮水平最低。 NO_2^- -N 和 PO_4^{3-} -P 均是 A(0)、E(10)偏低, B(2)、C(6)居中, D(8)最高。而 COD 则相反, A(0)和 E(10)偏高, D(8)最低, 但各组均远远低于室外虾池平均水平(17 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)^[21]。A(0)和 E(10)的 DO 最高, D(8)最低。从变化范围看, E(10)组各项指标波动最小, A(0)和 D(8)波动较大。

表 1 对虾与石莼混养池的水质状况

Tab. 1 Water quality in the aquaria with shrimp and Ulva

组别	A(0)		B(4)		C(6)		D(8)		E(10)	
	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围
总氮 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.94	0.32~ 1.62	0.75	0.32~ 1.39	0.74	0.12~ 1.76	1.47	0.97~ 2.38	0.63	0.14~ 1.17
$\text{NO}_2\text{-N}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	11.2	6.02~ 16.31	14.7	10.00~ 21.43	13.56	6.94~ 19.5	16.69	9.35~ 26.21	11.7	6.69~ 14.11
$\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.63	0.30~ 5.90	2.53	0.62~ 4.35	2.87	0.30~ 14.3	4.63	2.22~ 8.49	1.54	0.30~ 4.03
COD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	4.83	3.00~ 6.36	5.35	4.20~ 6.40	5.01	3.28~ 5.6	5.57	4.90~ 6.64	5.65	4.72~ 6.40
DO ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	6.76	3.21~ 8.52	5.98	4.33~ 7.92	6.52	4.62~ 8.9	5.25	3.94~ 6.81	6.94	5.71~ 8.83

各组水中的物质负荷与溶氧量明显呈负相关。D(8) 组溶氧最低, 其余各项指标均最高即物质负荷最高, E(10) 和 A(0) 则溶氧高而物质负荷低。各组之间水质优劣并不完全取决于某一个单项指标, 因此, 用聚类分析法对水质状况进行综合分析(图 1)。

系统聚类将各组水质状况分为三类: B(4)、C(6) 两组最为接近, A(0) 经综合后与之相近, 因此, 这三组并为一类, 综合水平居中, 称之为中度物质负荷水体。D(8) 组物质负荷极高, 溶氧偏低, 自成一类, 为重度物质负荷水体。E(10) 组为一类, 物质负荷极低, 溶氧极高, 为轻度物质负荷水体。

2.2 各组对虾的成活率和生长

对虾的成活率与石莼的养殖密度显著相关。未养石莼的 A(0) 组对虾成活率最低(50%), 而养石莼组中, 对虾的成活率随石莼生物量的增加而升高, 当石莼的密度在每箱 4g 以上时, 成活率均为 100%。

在本实验的密度范围内, 石莼生物量越大, 对虾生长越快(表 2)。A(0) 组增长速度不及 E(10) 组的一半。方差分析和 Duncan 多重比较表明, E(10) 组对虾生长最快 ($P < 0.05$)。其余各组虽然生长速度不同, 但差异不显著。

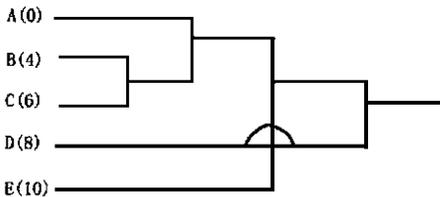


图 1 各组水质的聚类分析

Fig. 1 Clustering analysis of water quality in various treatments

表 2 各实验组对虾生长速度的 Duncan 多重比较

Tab. 2 Duncan comparison of growth rates of the shrimp in the various treatments

组别	A(0)	C(6)	B(4)	D(8)
体长增长 (cm)	0.400	0.450	0.525	0.750
E(10)	0.975	0.575*	0.525*	0.450*
D(8)	0.750	0.350	0.300	0.225
B(4)	0.525	0.125	0.075	
C(6)	0.450	0.050		

注: * 表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 各组石莼的生长状况

各组石莼的绝对增重量随其放养量的增加而增加(表 3), 但 DGR 却是 C(6) 生长最慢, E(10) 生长最快, 前者只是后者的 1/2。

表 3 各实验组中石莼的生长情况

Tab. 3 Growth performance of Ulva in various treatments

组别	A(0)	B(4)	C(6)	D(8)	E(10)
初重(g)	-	4.0	6.0	8.0	10.0
终重(g)	-	5.5	8.0	13.0	17.5
增重(g)	-	1.5	2.0	5.0	7.5
DGR(%)	-	0.91	0.83	1.39	1.61

2.4 各组对氮的利用

混养石莼组饵料系数均比对照组低(表 4)。

E(10) 组饵料系数只是 A(0) 组的 36%。总饵料系数随石莼量增加而迅速降低, 说明石莼越多, 单位饵料

生产出的物质(对虾和石莼)越多;等量饵料投入, E(10)组对虾产量最高,对虾、石莼总产量也最高。各实验组 N 的绝对和相对利用率均与石莼的养殖密度呈正相关。其中, A(0)组对虾对 N 的绝对和相对利用率均最低, E(10)组最高,后者分别是前者的 2.8 倍和 2.9 倍。石莼对 N 的利用率随石莼放养生物量的增大而显著增加, E(10)组是 B(4)组的 5 倍。总 N 利用率, B(4)、C(6)相近且偏低, E(10)最高,比 B(4)提高约 200%。若以对照组对虾对氮的利用率为 100%,在 B、C、D、E 混养组中,石莼分别使氮的利用率提高了 42.7%, 56.7%, 141.8%, 212.9%。

3 讨论

3.1 对虾综合养殖效果评价模式

迄今,人们已进行了大量对虾与鱼、贝和藻混养的生产性实验,提出了多种综合养殖模式。本文以主成分分析为基础,建立了单一综合指数体系来评价不同综合养殖方式的生产和生态效果。

先将欲评价模式的结果按主养种、混养种、水质三大类进行汇总(表 5)。项目力求全面多样,各指标的顺序、量纲不影响评价结果。再将表 5 中可比较项目选出,进行主成分分析。本试验中总饵料系数、石莼生长量、石莼日生长率三项因对照组无此数据,故不予选择,而将定性指标量化为定量指标。本实验中将浮游植物折算为石莼当量。

表 5 综合养殖结果汇总

Tab. 5 Summary of the polyculture results

组别	对 虾					水 质		石 莼	
	x_1	x_2	x_3	x_4		x_5	x_6	总生长量 (g)	生长率 (%)
	成活率 (%)	体长增量 (cm)	体重增量 (g)	饵料系数	总饵料系数	溶氧 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		
A(0)	50	1.6	1.04	9.8	-	6.76	0.94	-	-
B(4)	75	2.1	1.55	6.5	3.3	5.98	0.75	1.5	0.91
C(6)	100	1.8	1.33	7.6	3.1	6.52	0.74	2.0	0.83
D(8)	100	3.0	2.22	4.6	1.4	5.25	1.47	5.0	1.39
E(10)	100	.9	2.89	3.5	0.98	6.94	0.63	7.5	1.61

依累积贡献率对原分量贡献率均不小于 70% 的原则,选择主成分。本实验选取 y_1, y_2 两个主成分:

$$y_1 = 0.39x_1 + 0.51x_2 + 0.52x_3 - 0.53x_4 - 0.18x_5 + 0.043x_6$$

$$y_2 = 0.38x_1 + 0.031x_2 + 0.017x_3 + 0.076x_4 + 0.55x_5 - 0.74x_6$$

由 y_1, y_2 系数可知, y_1 由 x_2, x_3, x_4 决定。这些值越大,对虾生长越好,称之为“对虾生长综合因子”。

y_2 由 x_5, x_6 决定。这些值越大水质越好,称之为“水质综合因子”。

综合指数 Y 是 y_1, y_2 与贡献率的加权和,即 $Y = y_1 \times \text{贡献率} + y_2 \times \text{贡献率}$ 。将表 5 中各指标分别代入,求得 y_1, y_2 和 Y ,列入表 6。综合指数最大者为 E(10)组,即 10g 石莼—4 尾对虾组为对虾—石莼综合养殖模式中的最佳配置。

表 4 对虾与石莼混养池中 N 的利用率 (%)

Tab. 4 Utilization of nitrogen by shrimp and Ulva in polyculture aquaria (%)

项 目	A(0)	B(4)	C(6)	D(8)	E(10)
对虾对 N 的绝对利用 (%)	4.5	6.78	5.79	9.67	12.6
石莼对 N 的绝对利用 (%)	-	1.92	2.55	6.38	9.58
对虾的饲料系数	9.8	6.5	7.6	4.6	4.5
总饲料系数	-	3.3	3.1	1.4	0.9
N 的总绝对利用率 (%)	-	8.70	8.34	16.05	22.18
对虾对 N 的相对利用 (%)	37.7	56.7	48.5	80.9	105.4
石莼对 N 的相对利用 (%)	-	16.1	21.3	53.4	80.2
N 的总相对利用率 (%)	-	72.8	68.8	134.3	185.6

表 6 综合评价结果

Tab. 6 Comprehensive evaluation of the results

组别	对虾生长因子 y_1	水质因子 y_2	综合指数 Y
A(0)	14.482	22.837	15.78
B(4)	26.631	31.811	25.83
C(6)	35.438	41.699	34.17
D(8)	38.365	40.281	35.48
E(10)	39.411	41.791	36.57

3.2 石莼在对虾养殖生态系中的作用

本实验证明,石莼等大型藻类在对虾综合养殖生态系中主要有营养功能(吸收水中N、P等物质制造有机物,光合放氧及释放其他物质,改善水质状况等)和结构功能(为对虾提供活动、栖息和掩蔽场所以及稀疏对虾密度和分布,形成对虾活动区阻隔等)。这对提高对虾的成活率和生长速度具有重要意义。天然虾池中的植物类群多是自然发生的浮游植物,且种类繁多,适宜种类难以形成优势种群或优势种群更替频繁,难以控制在适宜的水平上,因而水质变化迅速而频繁,常造成对虾大量死亡。在对虾—石莼综合养殖中,石莼是人工引入的,数量、密度完全可控,预测性强,能创造良好而稳定的水质,并使对虾蜕皮时免遭袭击而死亡。而且,石莼、江蓠等本身又是一种经济藻类,其价值日益受到重视^[3]。因此,用石莼等大型藻类代替浮游植物有利于建立可控性强的养殖生态系。这种系统对水产养殖与环境协调发展的可持续无污染海水综合养殖具有重要意义。在海水鱼类养殖中,投喂饲料中约有70%~80%以溶解和颗粒物的形式排入环境中^[22,23]。综合养殖的目的之一就是将这些污染源转化成有益物。按综合养殖的种类来划分,有鱼、虾、蟹、贝、藻之间的二元、三元、四元或五元综合养殖;按混养种类的时空来划分,有同池综合养殖和异池综合养殖两大类(图2)^[11,18]。

由图2看出,综合养殖的核心是投入物质的多层次、多环节的重复利用;关键是适时清除水中的氮磷等营养盐;基础是大型植物的生长,即消除大型藻类生长中的碳和氮限制,激活碳酸酐酶^[24]。同池综合养殖更有利于发挥大型藻类的结构功能。

3.3 对虾和石莼的适宜比例

石莼与对虾混养的效果与二者数量比例有关。据光合作用实验(黑白瓶法)表明,在光照4 000~12 000Lux,水温20~30℃条件下,每天光合时数按12h计,每g湿重石莼1d可产生7~14mg O₂,呼吸(24h)消耗1.2~1.5mg O₂,扣除自身呼吸后,净提供5.5~12.5 mg O₂。对虾耗氧率由 $Q_0 = 0.515W^{-0.126}$ ^[25]可得,1g对虾一天需消耗11mg O₂,至少需要1g石莼供氧。对虾排氨率按 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 计^[25],则1g对虾一天排氨1.2 mg。据测定,石莼降解氨率为 $0.06 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,则1g石莼一天可降解1.4mg氨。加上水中细菌的降解作用,对虾和石莼等量配置可有效避免水体氨氮积累。这与本实验最佳综合指数组(10g石莼配4尾对虾)相一致。因此,在静水对虾与石莼综合养殖中,二者的密度(生物量)以 $320 \sim 480 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 比 $400 \sim 600 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 为宜。在60 cm深池塘中,每平方米放1 kg石莼(*U. lactuca*),在入水中氨氮含量达 $10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,可除出90%以上的氨氮;在入水中氨氮含量达 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,可除去40%的氨氮^[9]。石莼的产量和相对生长率与氨浓度的关系呈正双曲线关系,符合米-曼动力学^[10]。随密度由 $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 增至 $6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,石莼的产量和相对生长速度显著下降,其C:N比由15降至7,其适宜放养量为 $1 \sim 2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,适宜氨氮浓度为 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 。此外,石莼等大型水藻单位色素吸收光能效率低,光饱和点高,N、P吸收率低,C转化慢,生长速度较浮游植物慢^[26],应尽早引入石莼,以占据生长优势。其次应依水温、盐度、栽培和饲养管理等,选择适合本地环境条件的种类。如果石莼原生活海区与虾池盐度差较大,应在入池前对石莼进行驯化处理。

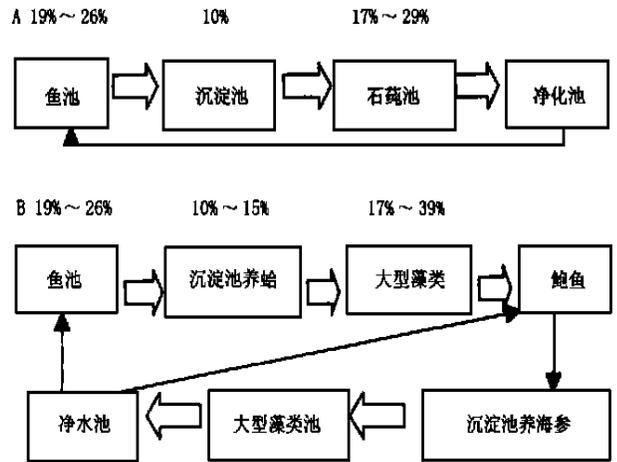


图2 二元(A)和四元或五元(B)异池综合养殖示意图

Fig. 2 Polyculture with two(A) and four or five (B) species
注:图中的数值为每一环节对氮的利用率。

参考文献:

- [1] Naylor R L, Goldburg R L, Mooney H. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming [J]. *Science*, 1998, 282: 883- 884.
- [2] Ackefors H, Enell M. Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas [J]. *Ambio*, 1990, 19(1): 28- 35.
- [3] 毕庶万. 石莼的开发和利用 [J]. *现代渔业信息*, 1993, 8(11): 21- 23.
- [4] 金送笛. 草菹(*Potamogeton crispus*) 对水中氮磷营养盐的吸收及若干影响因素 [J]. *生态学报*, 1994, 14(2): 167- 170.
- [5] Petrell R J, Alie S Y. Integrated cultivation of salmonids and seaweeds in open systems [J]. *Hydrobiologia*, 1996, 326: 67- 73.
- [6] Buschmann A H, Troell M, Kautsky N, et al. Integrated tank cultivation of salmonids and *Graillaria chilensis* [J]. *Hydrobiologia*, 1996, 326: 75- 82.
- [7] Buschmann A H. An introduction to integrated farming and the use of seaweeds as biofilters [J]. *Hydrobiologia*, 1996b, 326: 59- 60.
- [8] Rio M J, Ramazanov Z, Garcia-Reina G. *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilters for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluents [J]. *Hydrobiologia*, 1996, 326/ 327: 61- 66.
- [9] Cohen I, Neori A. *Ulva rigida* biofilters for marine fishpond effluents I. Ammonia uptake kinetics and nitrogen content [J]. *Botanica Marina*, 1991, 34: 475- 482.
- [10] Neori A, Cohen I, Gordin H. *Ulva rigida* biofilters for marine fishpond effluents II. Growth, yield and C/N ratio [J]. *Botanica Marina*, 1991, 34: 483- 489.
- [11] Krom M D, Elher S, van Rijn J, et al. Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype "non-polluting" integrated mariculture system, Eilat, Israel [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1995, 118: 25- 36.
- [12] Vandermeulen H, Gordin H. Ammonium uptake using *Ulva* (Chlorophyta) in intensive fishpond systems: mass culture and treatment of effluent [J]. *J Appl Phycol*, 1990, 2: 363- 374.
- [13] 张起信, 王立超. 虾藻混养技术的研究 [J]. *海洋科学*, 1985, 9(3): 32- 35.
- [14] 王焕明. 藻虾混养的研究 I. 江蓠与新对虾、青蟹在鱼塘中混养的试验 [J]. *海洋湖沼通报*, 1994, 3: 52- 59.
- [15] 王焕明, 李少芬, 陈浩如, 等. 江蓠与新对虾、青蟹混养试验 [J]. *水产学报*, 1993, 17(4): 273- 281.
- [16] Danakusuma E, Hirata H. 对虾、石莼混养试验 [J]. *齐鲁渔业*, 1993, (2): 45- 48.
- [17] Ryther J H, Goldman J C, Gifford C E, et al. Physical models of integrated waste recycling-marine polyculture systems [J]. *Aquac*, 1975, 5: 163- 177.
- [18] Shpigel M, Neori A. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems I. Proportions of size and projected revenue [J]. *Aquac Engin*, 1996, 15(5): 313- 326.
- [19] Bodvin T, Indergaard M, Norgaard E, et al. Clean technology in aquaculture —— a production without waste products [J]? *Hydrobiologia*, 1996, 326: 83- 86.
- [20] 王吉桥, 李德尚, 董双林, 等. 对虾不同综合养殖系统效率和效益的比较研究 [J]. *水产学报*, 1999, 23(1): 45- 52.
- [21] 臧维玲, 戴习林, 黄旭雄, 等. 防病养虾塘水质管理模式 [J]. *水产学报*, 1997, 21(4): 422- 427.
- [22] Pot C P, Krom M D, Robbins M G, et al. Ammonia excretion and total N budget for gilthead seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions [J]. *Aquac*, 1987, 66: 287- 298.
- [23] Hall P O J, Holby O, Kollberg S, et al. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm IV. Nitrogen [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1992, 89: 81- 91.
- [24] Rio M Jd, Ramazanov Z, Reina G G. Effect of nitrogen supply on photosynthesis and carbonic anhydrase activity in the green seaweed *Ulva rigida* (Chlorophyta) [J]. *Marine Biology*, 1995, 123: 687- 691.
- [25] 张 硕, 董双林, 王 芳. 中国对虾生物能量学研究 I. 温度、体重、盐度和摄食状态对耗氧率和排氮率的影响 [J]. *青岛海洋大学学报*, 1998, 28(2): 223- 227.
- [26] Carlos M D. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes [J]. *Ophelia*, 1995, 41: 87- 112.