

凡纳滨对虾高位池养殖氮、磷收支研究及养殖效果分析

李金亮, 陈雪芬, 赖秋明, 鲁春雨, 陈金玲, 苏树叶

(海南大学海洋学院, 热带生物资源教育部重点实验室, 海南 海口 570228)

摘要: 对凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 高位池养殖氮 (N) 和磷 (P) 收支情况进行系统研究, 比较分析不同放养季节、虾苗品系以及是否进行分段养殖引起养殖效果的差异。结果显示, 饲料是最主要的 N 和 P 输入源, 分别占池塘 N 和 P 总输入的 91.76% ~ 93.68% 和 94.55% ~ 96.97%。收获对虾输出 N 和 P 分别占总输入的 29.46% ~ 40.46% 和 12.64% ~ 17.41%, 随养殖废水排出的 N 和 P 分别占 24.63% ~ 54.52% 和 23.03% ~ 59.02%, 沉积在池塘底部的 N 和 P 分别占 14.10% ~ 44.59% 和 27.59% ~ 62.25%。放养季节和虾苗品系对养殖效果有显著影响。夏季组 (ZS) 对虾平均生长速度达到 $0.175 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, 分别比秋季组 (ZF) 和冬季普通组 (ZW) 高 73.0% 和 139.3%。ZW 成活率 77.70% ~ 87.75%, 显著高于 ZS 和 ZF。与相同养殖季节放养一代苗的 ZW 相比, 放养本地苗的冬季组 (BW) 养殖成活率 62.10% ~ 72.30%, 单位面积产量 $8\,821 \sim 9\,878 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 均显著较低。采用分段养殖的冬季标粗组 (ZWb) 养成池塘单造使用周期缩短 56.13%。

关键词: 凡纳滨对虾; 高位池; 氮; 磷; 收支

中图分类号: S 968.22*9.23

文献标志码: A

文章编号: 1673-2227-(2010)05-0013-08

Study on nitrogen and phosphorus budgets and production performance in higher-place pond of *Litopenaeus vannamei*

LI Jinliang, CHEN Xuefen, LAI Qiuming, LU Chunyu, CHEN Jinling, SU Shuye

(Key Lab. of Tropical Biological Resources, Ministry of Education, Ocean College of Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Nitrogen and phosphorus budgets in the higher-place ponds of *Litopenaeus vannamei* were studied systematically to investigate the effects of stocking seasons, shrimp larvae strains and grading culture on shrimp production. Results indicate that feed is the main source of nitrogen and phosphorus inputs, accounting for 91.76% ~ 93.68% and 94.55% ~ 96.97% of total inputs, respectively, while 29.46% ~ 40.46% of total nitrogen and 12.64% ~ 17.41% of total phosphorus were deposited into harvested shrimp; 24.63% ~ 54.52% of total nitrogen and 23.03% ~ 59.02% of total phosphorus were discharged into effluent; 14.10% ~ 44.59% of total nitrogen and 27.59% ~ 62.25% of total phosphorus were accumulated in pond sediment. Shrimp production is significantly affected by different stocking seasons and shrimp larvae strains. The average growth rate of trial ZS in summer reaches $0.175 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, which is 73.0% and 139.3% higher than that of trial ZF in fall and trial ZW in winter, respectively. The survival of ZW is 77.70% ~ 87.75%, which is significantly higher than that of ZS and ZF. Compared with ZW stocked at the same season, the survival of trial BW is 62.10% ~ 72.30% with yield per unit area of $8\,821 \sim 9\,878 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, which are both significantly low. Trial ZWb of grading cultured shortens the culture cycle by 56.13%.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; higher-place pond; nitrogen; phosphorus; budget

收稿日期: 2010-07-11; 修回日期: 2010-07-21

资助项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAD29B06)

作者简介: 李金亮 (1983-), 男, 硕士研究生, 从事池塘养殖生态学研究。E-mail: jinliang3698@gmail.com

通讯作者: 赖秋明, E-mail: lqmin815@163.com

氮 (N) 和磷 (P) 收支作为池塘动力学研究的重要组成部分, 不仅能够揭示养殖过程中营养物质的来源和归宿, 还是评价池塘生态系统营养转化情况及养殖污染程度的有效方法^[1]。在对虾集约化养殖生态系统中, 饲料和肥料是主要的 N 和 P 输入形式, 此外还包括进水、苗种和降雨等。不同的对虾养殖品种和养殖模式, 其收获对虾输出 N 和 P 在输入总量中所占比例存在很大差异^[2-8]。国内外相关研究, 大多将虾池视为封闭体系^[5-6]或采用围隔试验的方式进行^[4,8], 品种以斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 和中国对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 为主, 放养密度在 30 ~ 50 ind·m⁻² 之间, 而关于凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 高位池高密度精养模式下 N 和 P 收支情况的研究尚未见报道。

高位池主要建造在开敞性海区的沿岸潮上带, 依靠动力抽取海水进行对虾养殖, 池塘面积约 0.15 ~ 0.35 hm², 具有中央底部排污系统和机械增氧设施, 是目前中国南方主要的对虾养殖模式之一。文章通过对凡纳滨对虾不同放养季节、不同虾苗品系和分段养殖试验, 研究了对虾高位池养殖 N 和 P 收支, 并分析比较了对虾养殖效果的差异, 旨在为今后开展对虾养殖生态学研究以及无公害健康养殖提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

该试验于 2008 年 6 月至 2009 年 8 月期间在海南省文昌市正瑞水产有限公司龙马养殖基地 (N19°14.556', E110°28.144') 和琼海市博鳌对虾养殖场 (N19°37.086', E110°45.551') 进行。正瑞公司的养殖试验设置为夏季组 (ZS)、秋季组 (ZF)、冬季普通组 (ZW) 和冬季标粗组 (ZWb); 博鳌虾场的养殖试验设置为冬季组 (BW)。除 ZWb 设置 3 口试验池塘外, 其余各组分别设置 4 口试验池塘。所选试验池塘均为高位池, 四周和塘底铺设塑料地膜, 底膜上铺设 10 ~ 20 cm 细沙。清塘后施用石灰 1 200 ~ 1 500 kg·hm⁻², 曝晒塘底 4 ~ 5 d, 注水淹没池底, 施用 30 × 10⁻³ kg·m⁻³ 的漂白粉进行消毒处理。2 d 后加注 120 cm 海水, 再施用无机肥料和生物有机肥料培养基础饵料生物。

正瑞公司放养由进口 SPF (specific pathogen

free, 无特定病原疾病) 亲虾繁殖的虾苗, 俗称一代苗, 而博鳌虾场则放养由本地选育亲虾繁殖的虾苗, 俗称本地苗; 放养虾苗体长规格为 0.8 ~ 1.0 cm。ZWb 采用分段养殖, 虾苗经过 87 d 的标粗培育, 当个体规格达到 300 ind·kg⁻¹ (约 0.33 g) 后分塘养殖。

根据不同对虾生长阶段, 投喂不同型号的“卜蜂”牌对虾配合饲料。设置饲料观察台 2 个, 及时调整投饵量。所有试验池塘养殖全程使用桨叶式增氧机增氧, 增氧机装机容量为 15 台·hm⁻²。

1.2 采样与测定方法

养殖试验期间, 每 20 d 对试验虾塘的养殖水质进行 1 次测定分析。溶解氧、温度、pH、透明度和水深采用便携式仪器现场测定。同时用柱状采水器分别采集水源以及各试验池塘水体的表层 (距水面 10 cm)、中层和底层 (距池底 10 cm) 水样各 1 000 mL 分别装入聚乙烯瓶中, 加入三氯甲烷 3 mL 固定 (最终体积分数约为 0.3%), 然后放入盛有碎冰的泡沫箱进行低温保存。水样带回实验室测定其总氮 (TN) 和总磷 (TP) 含量; 经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后进行总氨氮 (TNH₄⁺-N)、亚硝酸盐氮 (NO₂⁻-N)、硝酸盐氮 (NO₃⁻-N) 及活性磷酸盐 (PO₄³⁻-P) 的测定。记录养殖过程中每口试验池塘的进水量和排水量。养殖试验期间采用雨水收集器收集雨水样品, 计算降雨量并测定其 TN 和 TP 含量。水样各化学指标的测定参照《海洋调查规范第 4 部分: 海水化学要素调查 (GB/T 12763.4-2007)》^[9]。

对虾放养前和收获后, 分别在各个试验池塘底部同一对角线上 5 个不同的位点用柱状采泥器 (V = 174.98 cm³) 采取表层 10 cm 的底泥样品。底泥风干后称量质量, 并测定其 TN 和 TP 含量。

放养前和收获后, 分别采集虾苗和商品虾的样品; 养殖过程中采集施用肥料和投喂饲料的样品, 分别记录各试验池塘的肥料和饲料的使用量。虾体、饲料和肥料样品于 60 °C 烘干测定其水分含量后, 研磨并测定其 TN 和 TP 含量。

固体样品 TN 测定采用半微量凯氏定氮法, TP 测定采用酸式-钼锑抗比色法^[10]。

1.3 数据处理

池塘 N (P) 输入总量:

$$W_{TN(P)} = W_{FN(P)} + W_{fN(P)} + W_{SN(P)} + W_{WN(P)} +$$

$W_{RN(P)}$

养殖废水排放 N (P) 量根据物料平衡法计算,

N: $W_{EN} = W_{TN} - W_{HN} - W_{BN} - W_{AA}$

P: $W_{EP} = W_{TP} - W_{HP} - W_{BP}$

式中 $W_{SN(P)}$ 表示以放养虾苗形式输入的 N (P) 量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); $W_{HN(P)}$ 表示以收获对虾形式输出的 N (P) 量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); $W_{FN(P)}$ 和 $W_{fN(P)}$ 分别表示以饲料和肥料形式输入的 N (P) 量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); $W_{WN(P)}$ 和 $W_{RN(P)}$ 分别表示以进水和降雨形式输入的 N (P) 量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); $W_{EN(P)}$ 表示养殖以废水排放形式输出的 N (P) 量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); $W_{BN(P)}$ 表示以底泥沉积形式输出的 N (P) 量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$);

W_{AA} (氨氮挥发量, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 根据 BLAIN^[11] 的公式和 WEILER^[12] 的物质转化系数计算求得。

ZWb 前期标粗阶段饲料 N (P) 输入量根据搬苗数量折算计入养成池塘的 N (P) 输入总量。由于该试验水体中浮游藻类以绿藻和硅藻为主, 蓝藻

很少, 故没有考虑固氮作用, 同时由于所选试验池塘均为提水式高位池, 四周和塘底铺设塑料地膜, 因此 N (P) 输出形式没有考虑渗漏。

所得数据利用 SPSS 16.0 软件进行单因子方差 (ANOVA) 和 Duncan 多重比较分析处理, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 各试验组养殖情况统计

根据不同试验组对虾养殖情况统计 (表 1), 不同养殖季节凡纳滨对虾生长速度存在显著性差异 ($P < 0.05$); 并且养殖周期与对虾生长速度呈显著负相关 ($R = -0.905$, $P < 0.01$)。同一养殖模式 ZS 的对虾生长速度最快, ZF 次之, ZW 最慢。与 ZW 相比, ZS 和 ZF 成活率显著较低 ($P < 0.05$)。ZS 单位面积饲料投喂量 16 198 ~ 17 296 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 饵料系数 1.50 ~ 1.60, 其单位面积饲料投喂量和饵料系数均显著高于 ZF 和 ZW ($P < 0.05$); 而这 3 个试验组 (ZS、ZF 和 ZW) 之间单位面积养殖产量无显著性差异。

表 1 不同试验组养殖情况统计 ($\bar{X} \pm \text{SD}$)

Tab. 1 Culture information for different trial groups

项目 item	ZS	ZF	ZW	ZWb	BW
放养时间 stocking time	6 月初	9 月初	11 月初	11 月初	10 月末
放养密度/ $\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$ stocking density	98.86 \pm 2.30 ^a	124.96 \pm 1.91 ^c	122.96 \pm 8.73 ^c	118.13 \pm 2.23 ^c	108.00 \pm 0.00 ^b
养殖周期/d culture period	92.50 \pm 1.26 ^a	116.50 \pm 3.00 ^b	155.50 \pm 10.47 ^c	154.67 \pm 0.58 ^c	164.00 \pm 0.00 ^d
生长速度/ $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ growth rate	0.175 \pm 0.007 ^c	0.101 \pm 0.006 ^b	0.073 \pm 0.002 ^a	0.074 \pm 0.001 ^a	0.079 \pm 0.003 ^a
成活率/% survival rate	68.28 \pm 4.45 ^a	71.67 \pm 3.48 ^a	83.34 \pm 4.21 ^b	78.45 \pm 1.78 ^b	66.59 \pm 5.13 ^a
饲料/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ feed	16 722 \pm 528 ^b	13 991 \pm 1 488 ^a	14 716 \pm 1 169 ^a	14 019 \pm 338 ^a	13 132 \pm 886 ^a
产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ yield	10 887 \pm 633 ^{bc}	10 555 \pm 795 ^b	11 628 \pm 871 ^{bc}	11 858 \pm 729 ^c	9 270 \pm 515 ^a
饵料系数 feed conversion ratio	1.54 \pm 0.05 ^c	1.33 \pm 0.16 ^{ab}	1.27 \pm 0.10 ^{ab}	1.18 \pm 0.05 ^a	1.42 \pm 0.12 ^{bc}

注: 同一项目不同试验组之间所标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 后表同此

Note: Data with different superscripts in the same item are significantly different ($P < 0.05$); the same case in the following tables.

该试验中对虾放养密度为 95 ~ 133 $\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 放养密度与养殖周期、单位面积养殖产量和饲料投喂量之间均无显著相关性, 同时放养密度与成活率之间亦未表现出显著负相关。然而, 虾苗品系与成活率具有显著相关性 ($R = 0.438$, $P < 0.05$), 且与单位面积养殖产量表现出极显著相

关性 ($R = 0.712$, $P < 0.01$)。在相同的养殖生产季节, 与放养一代苗的 ZW 和 ZWb 相比, 放养本地苗的 BW 养殖成活率和单位面积养殖产量均显著较低 ($P < 0.05$)。进行分段养殖的 ZWb 成活率、单位面积养殖产量及饵料系数与 ZW 均无显著性差异。

2.2 各试验组 N 和 P 收支情况

对虾精养池塘 N 和 P 输入总量分别为 808.93 ~ 1 155.58 和 160.08 ~ 239.49 kg·hm⁻² (表 2)。饲料是最主要的 N 和 P 输入形式, 养殖过程中有 746.39 ~ 1 082.52 kg·hm⁻² 的 N 和 154.45 ~ 229.65 kg·hm⁻² 的 P 以饲料形式输入, 分别占池塘 N 和 P 输入总量的 91.76% ~ 93.68% 和 94.55% ~ 96.97% (表 3)。ZS 的饲料 N 和 P 输入量最高, 与其他各试验组存在显著性差异 ($P < 0.05$)。各试验组以肥料形式输入 N 和 P 分别占输入总量的

0.66% ~ 4.71% 和 0.78% ~ 4.11%; 以进水形式输入 N 和 P 分别占 2.73% ~ 6.90% 和 1.05% ~ 2.60%; 以降雨形式输入 N 和 P 分别占 0.25% ~ 0.39% 和 0.07% ~ 0.20%; 而放养虾苗所带入的 N 和 P 所占比例最小, 不足 0.01%。

池塘 N 和 P 输出的主要形式包括收获对虾、底泥沉积及养殖废水排放等。以收获对虾形式输出 N 和 P 量分别为 278.43 ~ 405.38 kg·hm⁻² 和 24.65 ~ 35.89 kg·hm⁻², 占池塘 N 和 P 输入总量的 29.46% ~ 40.46% 和 12.64% ~ 17.41% (表 3 和表

表 2 不同试验组池塘 N 和 P 输入情况 ($\bar{X} \pm SD$)

Tab. 2 Inputs of nitrogen and phosphorous in shrimp ponds for different trial groups

kg·hm⁻²

项目 item	ZS	ZF	ZW	ZWb	BW
氮 nitrogen					
总量 total	1 119.84 ± 34.37 ^b	946.63 ± 100.97 ^a	999.30 ± 73.13 ^a	949.17 ± 21.72 ^a	907.72 ± 58.36 ^a
饲料 feed	1 046.64 ± 33.04 ^b	876.43 ± 93.95 ^a	925.20 ± 72.55 ^a	877.13 ± 21.08 ^a	841.88 ± 57.32 ^a
肥料 fertilizer	33.09 ± 2.93 ^b	38.98 ± 8.34 ^b	34.49 ± 5.16 ^b	33.60 ± 0.31 ^b	7.01 ± 1.66 ^a
虾苗 larvae	0.088 ± 0.002 ^a	0.112 ± 0.002 ^d	0.108 ± 0.006 ^{cd}	0.105 ± 0.002 ^c	0.096 ± 0.000 ^b
进水 influent	36.62 ± 0.83 ^b	28.09 ± 0.81 ^a	36.06 ± 0.65 ^b	35.89 ± 0.88 ^b	56.16 ± 2.11 ^c
降雨 rainfall	3.39 ± 0.00 ^{bc}	3.02 ± 0.00 ^b	3.45 ± 0.53 ^c	2.44 ± 0.00 ^a	2.58 ± 0.00 ^a
磷 phosphorous					
总量 total	231.36 ± 7.41 ^c	195.28 ± 21.38 ^{ab}	204.89 ± 15.39 ^b	195.12 ± 4.55 ^{ab}	176.64 ± 11.74 ^a
饲料 feed	222.07 ± 7.01 ^c	186.12 ± 19.99 ^{ab}	195.78 ± 15.04 ^b	186.56 ± 4.53 ^{ab}	170.80 ± 11.46 ^a
肥料 fertilizer	5.38 ± 0.47 ^b	6.66 ± 1.96 ^b	6.23 ± 1.52 ^b	5.76 ± 0.06 ^b	1.61 ± 0.41 ^a
虾苗 larvae	0.011 ± 0.000 ^a	0.014 ± 0.000 ^b	0.014 ± 0.001 ^b	0.014 ± 0.000 ^b	0.012 ± 0.000 ^a
进水 influent	3.61 ± 0.08 ^c	2.23 ± 0.06 ^a	2.55 ± 0.05 ^b	2.54 ± 0.06 ^b	4.10 ± 0.15 ^d
降雨 rainfall	0.28 ± 0.00 ^{bc}	0.25 ± 0.00 ^b	0.32 ± 0.09 ^c	0.25 ± 0.00 ^b	0.12 ± 0.00 ^a

表 3 不同试验组 N 和 P 收支项目所占比例 (\bar{X})

Tab. 3 Percentage of nitrogen and phosphorous budgets for different trial groups

%

项目 item	氮收支 nitrogen budget					磷收支 phosphorous budget				
	ZS	ZF	ZW	ZWb	BW	ZS	ZF	ZW	ZWb	BW
饲料 feed	93.46 ^b	92.58 ^a	92.56 ^a	92.41 ^a	92.73 ^{ab}	95.99 ^{ab}	95.33 ^a	95.54 ^a	95.61 ^a	96.69 ^b
肥料 fertilizer	2.95 ^b	4.10 ^c	3.46 ^{bc}	3.54 ^{bc}	0.77 ^a	2.32 ^b	3.38 ^c	3.04 ^{bc}	2.95 ^{bc}	0.90 ^a
虾苗 larvae	0.008 ^a	0.012 ^b	0.011 ^b	0.011 ^b	0.011 ^b	0.005 ^a	0.007 ^b	0.007 ^b	0.007 ^b	0.007 ^b
进水 influent	3.27 ^{ab}	2.99 ^a	3.63 ^{bc}	3.78 ^c	6.21 ^d	1.56 ^b	1.15 ^a	1.25 ^a	1.30 ^a	2.33 ^c
降雨 rainfall	0.30 ^{a^{bc}}	0.32 ^{bc}	0.35 ^c	0.26 ^a	0.28 ^{ab}	0.12 ^b	0.13 ^{bc}	0.16 ^c	0.13 ^{bc}	0.07 ^a
收获对虾 harvested shrimp	30.67 ^a	35.45 ^{bc}	36.79 ^c	39.41 ^c	32.35 ^{ab}	13.15 ^a	15.22 ^{bc}	15.89 ^{bc}	16.97 ^c	14.72 ^{ab}
底泥沉积 sediment	17.44 ^a	31.02 ^{bc}	28.43 ^b	28.28 ^b	41.06 ^c	31.70 ^a	42.79 ^b	47.75 ^{bc}	41.42 ^{ab}	55.86 ^c
养殖废水 effluent	51.08 ^b	33.35 ^a	34.44 ^a	31.66 ^a	25.96 ^a	55.15 ^c	41.98 ^b	36.35 ^{ab}	41.59 ^b	29.42 ^a
氨挥发 volatilization of ammonia	0.80 ^b	0.16 ^a	0.32 ^a	0.64 ^b	0.62 ^b	—	—	—	—	—

表4 不同试验组池塘N和P输出情况 ($\bar{X} \pm SD$)

Tab. 4 Outputs of nitrogen and phosphorous from shrimp ponds for different trial groups		kg·hm ⁻²				
项目 item		ZS	ZF	ZW	ZWb	BW
氮 nitrogen	收获对虾 harvested shrimp	343.70 ± 20.00 ^{bc}	333.19 ± 25.10 ^b	367.06 ± 27.50 ^{bc}	374.42 ± 23.02 ^c	292.65 ± 16.26 ^a
	底泥沉积 sediment	195.40 ± 31.56 ^a	292.97 ± 35.72 ^{ab}	280.19 ± 100.31 ^{ab}	267.38 ± 60.75 ^a	373.76 ± 48.72 ^b
	养殖废水 effluent	571.73 ± 23.18 ^b	318.90 ± 91.68 ^a	348.69 ± 125.83 ^a	301.29 ± 61.29 ^a	235.58 ± 16.44 ^a
	氨挥发 volatilization of ammonia	8.91 ± 2.13 ^c	1.46 ± 0.36 ^a	3.26 ± 1.09 ^a	6.07 ± 2.16 ^b	5.63 ± 1.18 ^b
磷 phosphorous	收获对虾 harvested shrimp	30.43 ± 1.77 ^{bc}	29.50 ± 2.22 ^b	32.50 ± 2.43 ^{bc}	33.14 ± 2.04 ^c	25.91 ± 1.44 ^a
	底泥沉积 sediment	73.25 ± 10.84 ^a	82.69 ± 3.85 ^{ab}	97.34 ± 8.65 ^b	80.65 ± 18.34 ^{ab}	99.18 ± 16.74 ^b
	养殖废水 effluent	127.67 ± 12.40 ^c	83.08 ± 22.69 ^b	75.04 ± 16.86 ^{ab}	81.32 ± 19.99 ^b	51.54 ± 6.33 ^a

4)。随养殖废水排出的N和P分别占24.63%~54.52%和23.03%~59.02%，沉积在池塘底部的N和P分别占14.10%~44.59%和27.59%~62.25%。NH₃-N挥发所占比例最小，仅为0.10%~1.00%。

2.3 不同试验组收获对虾输出N和P在输入总量中所占比例

同样是放养一代苗，与ZW和ZF相比，ZS以收获对虾形式输出N和P在输入总量中所占比例显著较低 ($P < 0.05$)，仅为29.46%~31.58%和12.64%~13.49% (表4)。同一养殖季节，与放养一代苗的ZW相比，放养本地苗的BW以收获对虾形式输出N在池塘N输入总量中所占比例显著较低 ($P < 0.05$)，仅为30.18%~36.37%。进行分段养殖的ZWb收获对虾输出N和P在输入总量中所占比例最高，分别达到37.63%~40.46%和16.21%~17.41%。

3 讨论

3.1 养殖季节对养殖效果的影响

同样是放养卜蜂水产种苗公司生产的进口SPF凡纳滨对虾一代苗，在不同的放养季节，对虾的生长速度表现出显著的差异。ZS对虾生长速度最快，平均日增重0.175 g·d⁻¹，分别比ZF和ZW高73.0%和139.3%。不同养殖季节对虾生长速度的

差异主要是由池塘水温引起的。凡纳滨对虾最适生长温度为25~32℃^[13-14]。ZS整个养殖期间水温变化范围为28.7~35.3℃，基本上与凡纳滨对虾的最适生长水温相吻合，夏季水温高，对虾摄食量大，生长速度快；而ZF和ZW在2008年11月~2009年1月养殖期间，池塘水温变化范围17.5~22.7℃，普遍低于凡纳滨对虾最低生长适温25℃，对虾生长速度明显比ZS要慢。WYBAN等^[15]研究表明，温度在23~27℃之间时凡纳滨对虾的生长速度随温度升高显著加快。

比较正瑞公司3组对虾养殖效果，ZS对虾养殖平均成活率仅68.28%，比ZW低15.06%；并且该组以收获对虾形式输出N和P量在输入总量中所占比例也显著低于ZF和ZW。这与夏季水质管理难度大有密切关系。夏季水温较高，凡纳滨对虾的摄食量和排泄量增加，有机物在水中的分解速度加快，引起养殖后期池水总NH₃-N浓度升高，池塘中央底层水体溶解氧含量和pH值有不同程度的下降，发生轻微的“耗底”现象。

3.2 虾苗品系对养殖效果的影响

目前，市面上由进口凡纳滨对虾SPF亲虾繁育的一代苗价格通常为每万尾150~180元，比当地选育亲虾繁育的本地苗要高出1倍多，为了节省购买虾苗的费用，有部分养殖户选择放养本地苗。相同的养殖模式和养殖季节，放养一代苗的ZW单

位面积平均产量达 $11\,628\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，比放养本地苗的 BW 高 25.42%；平均养殖成活率为 83.34%，比 BW 高 16.75%，一代苗的养殖效果显示出明显的优势。这可能是由于本地一些虾苗繁育单位在亲虾选择过程中，更多的是注重个体的选择，而忽视了群体的选择，致使选留的亲虾多数来自于同一池塘或同一群体，发生近亲繁殖的几率很高。随着繁育世代的增加，凡纳滨对虾遗传多样性降低，虾苗杂合型优良性状逐渐弱化，繁育后代（本地苗）对环境适应能力明显降低^[16-18]。

到目前为止，中国已经开展了许多针对凡纳滨对虾育苗工作的相关研究，通过建立家系在凡纳滨对虾育种方面取得一定进展，但是对引进种群以及引进后繁育所形成的本地种群的遗传变异水平还缺乏足够了解^[19]。一些企业急功近利，将一些遗传性状尚未稳定的选育品系当作亲本开展规模化育苗生产，这也是导致利用本地选育亲虾繁育出来的虾苗养殖效果欠佳的重要原因。

据笔者统计，在对虾养殖生产成本中饲料投入成本所占比例最大，达 50%~60%，而虾苗成本仅占 5%~8%。因此，从经济效益和生态效益 2 方面考虑，建议养殖条件较好的对虾养殖场应尽量选择放养生长性状较好的一代苗。

3.3 分段养殖对养殖效果的影响

虾苗放养前期阶段，对虾个体小，活动能力和摄食能力较弱，开展虾苗的高密度标粗培育，不但有利于投喂管理，提高饲料的摄食率，而且还可以充分利用水体空间，缩短养成池塘的养殖周期。ZWb 平均养殖周期为 155 d，其中虾苗标粗 87 d，标粗后养殖时间为 68 d。ZWb 除标粗池塘外，进行标粗后养殖的 2 口试验池塘实际养殖时间仅为 68 d，单造使用周期缩短 56.13%，有效减轻了养殖水体富营养化程度和有机质污染程度，利于保持养成池塘生态环境的稳定。虽然在前期标粗阶段放苗密度很高，达 $400\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ，并且分塘时幼虾出现一定数量的损耗，但是 ZWb 对虾生长速度、成活率以及单位面积养殖产量均与 ZW 无显著性差异。另外，暂养标粗后养成阶段对虾成活率高，便于确定养成阶段的投喂量，避免过量投喂。

采用分段养殖模式，不但不会影响对虾的成活率和养殖产量，还可以有效地增加养殖池塘的使用频次，相对缩短池塘的单造使用周期，降低养殖风

险，提高养殖效益。曾祥高等^[20]报道进行凡纳滨对虾的分段养殖，暂养标粗阶段的放苗密度在 $450\sim 750\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间，虾苗个体规格达 3~5 cm 既可进行分塘养殖，综合养殖效果也较好。

3.4 对虾高位池养殖对 N 和 P 收支

在对虾高位池精养生产模式中，对虾生长所需的营养物质几乎完全依赖于人工配合饲料的投喂，池塘饵料生物提供的营养物质所占的份量极少。该试验以饲料形式输入的 N 和 P 所占比例分别达 91.76%~93.68% 和 94.55%~96.97%，反映出对虾精养程度的提高（表 5）。此外，由于仅在放苗前或养殖前期施用少量肥料培养浮游植物来营造池塘水色，随着养殖时间的延长，水中的营养盐逐渐丰富，藻类生长旺盛，水色也随之变得越来越浓，在中、后期不再需要追加肥料，从而以肥料形式输入 N 和 P 量在池塘 N 和 P 输入总量中所占的比例很小，与 BRIGGS 和 FUNGE-SMITH^[2] 以及杨逸萍等^[5] 的研究结果十分接近。

不同的对虾养殖品种和精养程度，以收获对虾形式输出 N 和 P 量在池塘生态系统 N 和 P 输入总量中所占比例存在很大差异。该试验中凡纳滨对虾单位面积养殖产量达 $8\,821\sim 12\,842\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，以收获对虾形式输出 N 和 P 在输入总量中所占比例分别为 29.46%~40.46% 和 12.64%~17.41%，均比上述报道的研究结果要高（表 5）。以收获对虾形式输出 N 和 P 在输入总量中所占比例是反映对虾养殖效果的一个综合指数，比例的大小与养殖品种、虾苗的生长性状以及养殖技术管理水平都有密切的关系。若养殖水质管理得当，对虾摄食生长旺盛，投喂管理科学合理、避免过量投喂而造成饲料的浪费，则可降低对虾养殖的饵料系数，提高收获对虾输出 N 和 P 在输入总量中所占的比例，反之亦然。

罗杰等^[21]报道凡纳滨对虾放养密度在 $90\sim 150\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 范围内，放养密度对成活率并没有直接影响；而曹梅等^[22]的研究发现，当放养密度达 $360\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 时，放养密度与成活率呈负相关。该研究中凡纳滨对虾放养密度为 $95\sim 133\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ，养殖密度较合理，养殖过程中通过维持藻类的正常生长、换水、使用有益微生物制剂和加强增氧等综合技术措施，使池塘养殖水质始终调控在适宜的范围，获得了较高的养殖成活率和养殖产量，这是收

表5 不同对虾养殖模式池塘N和P收支研究

Tab. 5 Budgets of nitrogen and phosphorous for different culture modes

养殖品种 species	密度/ind·m ⁻² stocking density	收获对虾输出 N (P) 比例/% percentage of shrimp output in total N (P) input		参考文献 reference
		N	P	
斑节对虾 <i>P. monodon</i>	50 ~ 60	21.3	6.4	[2]
斑节对虾 <i>P. monodon</i>	—	18	6	[3]
中国对虾 <i>F. chinensis</i>	5 ~ 8	5.76 ~ 9.71	2.50 ~ 3.18	[4]
斑节对虾 <i>P. monodon</i>	30	19	—	[5]
斑节对虾 <i>P. monodon</i>	25 ~ 50	23 ~ 31	10 ~ 13	[6]
斑节对虾 <i>P. monodon</i>	32 ~ 35	22	—	[7]
凡纳滨对虾 <i>L. vannamei</i>	30	25.01	11.22	[8]

获对虾输出 N 和 P 在输入总量中所占比例较高的的主要原因。

养殖环境 N 和 P 负荷是指单位时间进入养殖环境的 N 和 P 量，或者生产单位质量的对虾进入养殖环境的 N 和 P 量。BRIGGS 和 FUNGE-SMITH^[2]报道每生产 1 t 虾，要向环境排放 102 kg 的 N 和 46 kg 的 P，其中以养殖废水形式直接排放的 N 和 P 量分别为 46 和 5 kg。根据研究结果计算，在对虾高位池精养生产模式中平均每生产 1 t 对虾，养殖环境 N 负荷为 54.93 kg，P 负荷为 15.31 kg。养殖环境 N 和 P 负荷降低，表现出对虾养殖集约化程度和养殖水平的提高。然而，养殖过程中仍有 31.90 kg N 和 7.53 kg P 以污水的形式直接排入大海，而其余沉积在池塘底部的部分（N，23.03 kg；P，7.78 kg），亦会在对虾收获后通过池塘清洗的途径排入周围海域。

养殖过程中所排放的大量无机盐和富含 N 和 P 的有机物质使附近海域出现不同程度的富营养化，甚至引发赤潮，对近岸海域渔业生态环境造成巨大的冲击。

参考文献：

- [1] GREEN B W, BOYD C E. Chemical budgets for organically fertilized fish ponds in the dry tropics [J]. J World Aquac Soc, 1995, 26 (3): 284–296.
- [2] BRIGGS M R P, FUNGE-SMITH S F. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand [J]. Aquac Fish Manag, 1994, 25 (8): 789–811.
- [3] FUNGE-SMITH S F, BRIGGS M R P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implication for sustainability [J]. Aquac, 1998, 164 (1/4): 117–133.
- [4] 齐振雄, 李德尚, 张曼平, 等. 对虾养殖池塘氮磷收支的实验研究 [J]. 水产学报, 1998, 22 (2): 124–128.
- [5] 杨逸萍, 王增焕, 孙建, 等. 精养虾池主要水化学因子变化规律和氮的收支 [J]. 海洋科学, 1999 (1): 15–17.
- [6] DHIRENDRA P T, LIN C K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems [J]. Aquac Engin, 2003, 27 (3): 159–176.
- [7] CHRISTOPHER J, NIGEL P, PETER J T, et al. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm [J]. Aquac, 2003, 218 (1/4): 397–411.
- [8] 常杰, 田相利, 董双林, 等. 对虾、青蛤和江篱混养系统氮磷收支的实验研究 [J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36 (Sup): 33–39.
- [9] 国家质量技术监督局. GB/T 12763. 4-2007, 海洋调查规范第4部分: 海水化学要素调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 146–168.
- [11] BLAIN W A. Ammonia nitrogen loss from streams discussion [J]. J San Eng Div Am Soc Soc Eng, 1969, 95: 975–978.
- [12] WEILER R. Rate of loss of ammonia from water to the atmosphere [J]. Fish Res Board, 1979, 36: 685–689.
- [13] LESTER L J, PANTE M J. Penaeid temperature and salinity responses [M] // FAST A W, LESTER L J. Marine shrimp culture: principles and practices. Amsterdam: Elsevier, 1992: 515–534.
- [14] MENZ A, BOWERS A B. Bionomics of *Penaeus vannamei* Boone and *Penaeus stylirostris* Stimpson in a lagoon on the Mexican Pacific coast [J]. Est Coast Mar Sci, 1980, 10 (6): 685–697.
- [15] WYBAN J, WALSH W A, GODIN D M. Temperature effects on growth, feeding rate and food conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. Aquac, 1995, 138 (1/4): 267–279.

- [16] 颀晓勇, 苏天凤, 陈文. 凡纳滨对虾6个养殖群体遗传多样性的比较分析 [J]. 南方水产, 2008, 4 (6): 42-48.
- [17] 张海琪, 丁雪燕, 薛辉利, 等. 南美白对虾两养殖群体遗传多样性的比较分析 [J]. 宁波大学学报: 自然科学版, 2006, 19 (1): 44-48.
- [18] 童馨, 龚世圆, 喻达辉, 等. 凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 不同世代养殖群体的遗传多样性分析 [J]. 海洋与湖沼, 2009, 40 (2): 214-220.
- [19] 王鸿霞, 吴长功, 相建海. 凡纳滨对虾繁殖中不同亲本对子代遗传贡献率的差异 [J]. 动物学报, 2006, 52 (1): 175-181.
- [20] 曾祥高, 张东霞, 刘宗理. 南美白对虾虾苗暂养技术 [J]. 齐鲁渔业, 2006, 25 (7): 40.
- [21] 罗杰, 钟志华, 罗伟林. 凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 高位池养殖中几个单项因子试验 [J]. 海洋湖沼通报, 2005 (3): 38-43.
- [22] 曹梅, 王兴强, 阎斌伦. 密度和投饵频率对凡纳滨对虾存活和生长的影响 [J]. 水利渔业, 2006, 26 (2): 34-35.