

盐度和营养对凡纳滨对虾生长、耗氧率及排氨率的影响

申玉春, 陈作洲, 吴灶和, 黄翔鹄

(南海水产经济动物增殖养殖广东普通高校重点实验室, 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025)

摘要: 研究了盐度和饲料蛋白水平与凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 生长、耗氧率、排氨率的关系, 并分析了实验对虾肌肉成分。结果表明, 随着饲料蛋白水平的提高, 凡纳滨对虾的生长速率逐渐提高, 但饲料蛋白水平对其存活率影响不显著 ($P>0.05$)。在不同饲料蛋白水平下, 实验对虾的存活率随着盐度的增加而增加, 差异不显著 ($P>0.05$)。实验对虾的生长速率在低盐度水平下随着盐度的增加而增加, 在盐度 18‰ 时达到最快的生长速率, 而后生长速率随着盐度的增加而降低。随着盐度的提高, 实验对虾肌肉中粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量显著提高 ($P<0.05$); 而肌肉含水率、无氮浸出物的含量则显著下降 ($P<0.05$)。随着饲料蛋白水平的提高, 实验对虾肌肉中粗蛋白质和灰分含量显著提高 ($P<0.05$); 肌肉含水率、无氮浸出物的含量则显著下降 ($P<0.05$), 而粗脂肪含量差异不显著 ($P>0.05$)。盐度和饲料蛋白水平对凡纳滨对虾的耗氧率、排氨率有显著的影响 ($P<0.05$)。随着盐度和饲料蛋白水平的提高, 对虾的耗氧率显著下降 ($P<0.05$), 耗氧率高峰期出现在摄食后 2—3 h。排氨率随着饲料蛋白水平的提高逐渐升高, 随盐度的升高逐渐降低, 排氨率高峰期出现在摄食后 2 h。盐度与饲料蛋白水平对凡纳滨对虾氧氮比影响显著 ($P<0.05$)。

关键词: 盐度; 营养; 生长; 耗氧率; 排氨率; 凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei*

中图分类号: S968.22 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)05-0111-08

Effects of salinity and nutrition on growth, respiration and excretion of *Litopenaeus vannamei*

SHEN Yu-chun, CHEN Zuo-zhou, WU Zao-he, HUANG Xiang-hu

(Key Laboratory of Aquaculture in South China Sea for Aquatic Economic Animal, Regular High Education Institution of Guangdong Province; Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, 524088)

Abstract: An experiment was conducted to determine the effects of salinity and dietary protein levels on growth, respiration and excretion of *Litopenaeus vannamei*. The composition of body muscle was analyzed. The results showed that the growth rate was increased with the increase of dietary protein level, but the survival rate was not significantly affected ($P>0.05$). The survival rate was not significantly increased with the increase of salinity in the different dietary protein levels ($P>0.05$). The growth rate was increased with the increase of salinity in a low salinity levels, the highest growth rate was obtained at 18, then it was decreased with further increase of salinity. The analysis of body composition showed that the crude protein, crude fat and ash content significantly increased with the increase of salinity ($P<0.05$), but moisture and nitrogen-free extract content decreased significantly ($P<0.05$). Crude protein and ash content significantly increased with the increase of dietary protein level ($P<0.05$), but moisture and nitrogen-free extract content decreased significantly ($P<0.05$), crude fat was not significantly affected ($P>0.05$). The oxygen consumption rate and the ammonia excretion rate were affected significantly by the different salinity and dietary protein levels ($P<0.05$). The oxygen consumption rate was significantly decreased with the increase of salinity and dietary protein level ($P<0.05$), appearance time of the high peak was 2—3 h after ingestion. The ammonia excretion rate increased with the increase of dietary protein level, but decreased with the increase of salinity, appearance time of the high

收稿日期: 2008-11-03; 修订日期: 2009-01-30。刘学东编辑

基金项目: 广东省科技计划项目(2008B020800009、2007A032600004); 科技部农业科技成果转化项目(2006GB2E000224); 广东省重大科技兴海项目(B200608A03)

作者简介: 申玉春(1964—), 男, 内蒙古赤峰市人, 教授, 博士, 主要从事水域生态与健康养殖的研究。

通信作者: 吴灶和, 教授, 博士; E-mail: Wuzh@gdou.edu.cn

peak was 2 h after ingestion. The oxygen-nitrogen ratio was affected significantly by the different salinity and the dietary protein levels ($P < 0.05$).

Key words: salinity; nutrition; growth; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate; *Litopenaeus vannamei*

凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei*, 又称南美白对虾, 原产于中南美洲和太平洋沿岸水域。该对虾具有肉质细嫩, 出肉率高(65%), 适应性强、耐高温、生长快等特点, 已成为我国对虾养殖的主要种类之一。目前对虾养殖饲料利用效率低下, 养殖自身污染严重, 已成为限制其产业可持续发展的突出问题。因此深入研究环境和营养与养殖对虾生长和物质代谢的关系, 对提高对虾饲料利用效率和对虾养殖系统的物质与能量转化效率, 减少有机污染物和氮、磷等废弃物的排放数量具有重要的理论和实践意义。关于盐度和营养与凡纳滨对虾生长、耗氧率及排氮率关系的研究, 国内外学者主要集中在盐度、营养等单因子对凡纳滨对虾生长和代谢的影响方面^[1-4], 而对于盐度和营养双因子与凡纳滨对虾生长、耗氧率和排氮率关系的研究尚未见报道。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验在湛江市东海岛对虾良种养殖基地进行, 该养殖基地所在自然海区盐度在 30‰—32‰之间。实验用凡纳滨对虾初始体重(湿重)为 2.01 ± 0.02 g (Mean \pm S.E.)。实验对虾在 5 个玻璃钢纤维水槽 (200cm \times 80cm \times 65cm) 中暂养 3d, 暂养盐度为 24‰, 暂养水温为 28.0 ± 1.0 °C。在暂养盐度基础上, 以每天降低或升高 6 个盐度的速率使 5 个暂养水槽水体的盐度最终分别为 6‰、12‰、18‰、24‰和 30‰5 个水平, 驯养 7 d。低盐度海水用过滤海水加地下水配制, 高盐度海水用过滤海水加工业氯化钠配制。

1.2 实验饲料

实验饲料依照能值基本相等的原则设计 A、B、C 3 组, 其蛋白质和碳水化合物水平分别为 26%、44%、37%、32.5%、48%和 21%。饲料配方见表 1。饲料制成直径 1.6mm 的颗粒, 65°C 烘干, 4 °C 冷藏备用。

1.3 实验方法

对虾生长实验采用 5 \times 3 析因设计, 每个水族箱 (容积 200L, 养殖水体 150L) 放养试验对虾 20 尾, 每个处理设 3 个重复, 共 45 组。水族箱的排列采用完全随机化区组设计。实验前 24 h 停止投喂。实验开始前与结束时分别用电子天平称量对虾体重, 精确

表 1 实验饲料配方及营养组成(干物质)

Tab. 1 Formulation and proximate composition of experimental diets(dry matter)

饲料组成/%	A	B	C
鱼粉	20	31	42
豆粕	10	20	30
花生粕	0	5	10
面粉	57.75	32.25	6.75
鲑鱼内脏粉	2	2	2
鱼油	3.5	3.0	2.5
卵磷脂	2	2	2
胆固醇	0.25	0.25	0.25
褐藻酸钠	1.5	1.5	1.5
复合矿物质	1	1	1
复合维生素	2	2	2
营养组成/%	A	B	C
粗蛋白	26	37	48
脂肪	8.15	8.00	7.82
碳水化合物	44	32.5	21
能量(MJ/Kg)	16.96	17.49	18.01

至 0.01g, 称重时用滤纸吸去实验虾体表水分。实验期间 5 个盐度水平平均分别投喂 A、B、C 组 3 种饲料, 日投喂 3 次(7:00, 12:00 和 18:00), 过量投喂, 投喂 2 h 后吸污。日换水量 1/3, 所用海水经砂滤、沉淀、曝气, DO > 6.0mg \cdot L⁻¹, pH 为 7.7—8.2。光周期 14L:10D, 水温 28.0 ± 1.0 °C。实验周期 30d, 每天记录对虾死亡数量。

呼吸排泄实验采用封闭流水系统。每个呼吸瓶 (1000ml) 内放置对虾 1 尾, 设 3 个重复, 1 个空白组。实验前 24h 停止投喂, 实验从 7:00(记为 0 时)开始, 每隔 1h 收集一次样品, 并测定水流速率, 连续测定 4h。在投喂 0.5h 后吸出残饵粪便, 并让其循环换掉 3 倍左右呼吸瓶体积的水量。实验结束时称量对虾体重, 溶解氧采用碘量法测定, 水中氨浓度采用次溴酸钠氧化法测定, 排氮率与耗氧率的测定同步进行。

1.4 实验指标的测定与计算

1.4.1 存活和生长性能指标

$$\text{存活率(\%)} = 100 \times (N_0 - N_t) / N_0$$

$$\text{相对增重率(\%)} = 100 \times (W_t - W_0) / W_0$$

特定生长率($\% \cdot d^{-1}$) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / T$

其中对虾体重为湿重(W , g), W_0 、 W_t 分别为实验开始及结束时对虾的湿重, N_0 、 N_t 分别为实验初始及结束时对虾的数量, T 为实验持续时间(d)。

1.4.2 对虾肌肉主要成分的测定

实验结束时每个水族箱内的对虾分别称量湿重, 取 9 尾虾作为一个样品。水分含量用常压干燥法 65 ℃ 烘干至恒重, 粗蛋白的测定用凯氏定氮法, 粗脂肪测定采用索氏抽提法, 灰分测定用 550 马福炉灼烧法, 无氮浸出物用减量法计算。

1.4.3 耗氧率和排氮率以及氧氮比的计算

耗氧率($mg O_2 / (g \cdot h^{-1})$) = $\{(C_1 - C_0)V_1 - (C_1 - C_c)V_2\} / W$

排氮率($mg NH_4^+ / (g \cdot h^{-1})$) = $\{(C_0 - C_1)V_1 - (C_c - C_1)V_2\} / W$

氧氮比(O/N) = (耗氧率/16) / (排氮率/14) =

$(mg O_2 / h / 16) / (mg NH_4 / h / 14)$

上式中: C_0 、 C_1 和 C_c 分别为处理组呼吸仪出口、进口和空白对照呼吸仪出口的 O_2 和 NH_4^+ 的浓度($mg \cdot ml^{-1}$); W 为实验对虾湿重(W , g); V_1 和 V_2 分别为通过处理组和空白对照呼吸仪的水流速率($ml \cdot h^{-1}$)。

1.5 实验数据的统计分析

采用 SPSS11.5 对实验数据进行单因素方差分析, 双因素方差分析以及三因素方差分析和 Duncan'S 多重比较, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平, 描述性统计值采用平均值±标准误(Mean±S.E.)表示。

表 2 盐度和饲料蛋白水平对凡纳滨对虾存活和生长的影响

Tab. 2 The effects of salinity and dietary protein levels on growth and survival rate of *L.vannamei*

盐度/‰	饲料组	存活率/%	特定生长率/%	相对增重率/%
6	A	83.33±1.67 ^a	3.43±0.03 ^a	180.03±2.91 ^a
	B	88.33±7.64 ^{abc}	3.45±0.10 ^{ab}	180.03±9.44 ^a
	C	86.67±4.41 ^{ab}	3.84±0.26 ^{abc}	216.75±7.70 ^{bc}
12	A	88.33±4.41 ^{abc}	3.81±0.06 ^{abc}	213.25±4.13 ^{ab}
	B	93.33±1.67 ^{bcd}	4.57±0.23 ^d	213.25±10.40 ^{ab}
	C	91.67±4.41 ^{abcd}	4.31±0.42 ^{cd}	264.83±23.71 ^{de}
18	A	93.33±1.67 ^{bcd}	4.29±0.18 ^{cd}	262.58±4.23 ^{de}
	B	96.67±1.67 ^{cd}	4.29±0.07 ^{cd}	280.59±9.18 ^e
	C	95.00±0 ^{bcd}	4.44±0.23 ^{cd}	278.80±14.93 ^e
24	A	95.00±2.89 ^{bcd}	4.08±0.09 ^{bcd}	239.98±4.43 ^{bcd}
	B	96.67±1.67 ^{cd}	4.08±0.33 ^{bcd}	259.63±9.52 ^{de}
	C	96.67±3.33 ^{cd}	4.31±0.15 ^{cd}	264.30±12.35 ^{de}
30	A	96.67±3.33 ^{cd}	4.12±0.14 ^{cd}	243.79±4.51 ^{bcd}
	B	98.33±1.37 ^d	4.12±0.12 ^{cd}	249.67±7.18 ^{cde}
	C	98.33±1.67 ^d	4.32±0.10 ^{cd}	265.98±18.95 ^{de}
方差分析(P 值)	盐度	0.000	0.000	0.000
	饲料	0.197	0.075	0.001
	盐度×饲料	0.999	0.586	0.419

注: 上述数据为 3 个平行组的平均值。同列数据右上角标有不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同。方差分析(P 值): 单因素方差分析或双因素方差分析或三因素方差分析。

2 结果

2.1 盐度和饲料蛋白水平与凡纳滨对虾存活和生长的关系

从表 2 的研究结果可以看出, 随着饲料蛋白水平的提高实验对虾的生长率逐渐提高, 而饲料蛋白水平对对虾的存活率和特定生长率影响不显著($P > 0.05$), 对相对增重率影响显著($P < 0.05$)。在 A、B、C 3 种饲料蛋白水平下, 实验对虾的存活率随着盐度的增加而增加, 多重比较分析差异不显著($P > 0.05$)。其中, 盐度 6‰ 实验组对虾存活率最低, 盐度 30‰ 实验组对虾存活率最高。实验对虾的生长速率在低盐度水平下随着盐度的增加而显著增加($P < 0.05$), 在盐度 18‰ 实验组拥有最快的生长速率; 在高盐度水平下对虾的生长速率随着盐度增加而降低, 统计分析差异不显著($P > 0.05$)。双因素方差分析显示盐度和蛋白水平交互作用对对虾的存活率、特定生长率、相对增重率影响差异均不显著($P > 0.05$)。

2.2 盐度和饲料蛋白水平与凡纳滨对虾肌肉成分的关系

分析了各实验组凡纳滨对虾肌肉组成成分(表 3)。结果表明, 随着盐度的提高, 实验对虾肌肉中粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量显著提高($P < 0.05$); 而肌肉含水率、无氮浸出物的含量则呈现显著下降($P <$

表 3 不同盐度和饲料蛋白水平下凡纳滨对虾肌肉组成成分(鲜样)

Tab. 3 The effects of salinity and dietary protein levels on composition of body muscle of *L. vannamei* (fresh sample)

盐度/‰	饲料组	水分/%	粗蛋白/%	粗脂肪/%	粗灰分/%	无氮浸出物/%
6	A	79.15±0.22 ^k	17.32±0.09 ^a	0.95±0.08 ^a	1.37±0.08 ^a	1.21±0.02 ^h
	B	78.32±0.10 ^j	18.13±0.08 ^b	0.96±0.02 ^{ab}	1.53±0.05 ^{abc}	1.06±0.02 ^{def}
	C	77.91±0.23 ^{ij}	18.36±0.18 ^{bc}	1.02±0.09 ^{abc}	1.58±0.07 ^{bc}	1.13±0.03 ^{efh}
12	A	77.60±0.40 ⁱ	18.64±0.28 ^c	1.14±0.04 ^{bcd}	1.44±0.06 ^{ab}	1.18±0.05 ^{gh}
	B	75.45±0.06 ^g	20.77±0.14 ^e	1.12±0.09 ^{abcd}	1.65±0.05 ^{cd}	1.01±0.01 ^{cd}
	C	75.07±0.05 ^g	20.93±0.06 ^e	1.21±0.05 ^{de}	1.71±0.06 ^{cd}	1.08±0.05 ^{def}
18	A	76.39±0.27 ^h	19.79±0.15 ^d	1.16±0.10 ^{cde}	1.53±0.04 ^{abc}	1.13±0.02 ^{efh}
	B	74.21±0.07 ^f	21.83±0.11 ^f	1.19±0.04 ^{cde}	1.79±0.06 ^{de}	0.98±0.04 ^{bc}
	C	73.92±0.06 ^{ef}	22.01±0.06 ^f	1.23±0.04 ^{de}	1.82±0.08 ^{de}	1.02±0.03 ^{cde}
24	A	73.44±0.12 ^{de}	22.25±0.16 ^{fg}	1.24±0.03 ^{de}	1.97±0.05 ^e	1.10±0.03 ^{efg}
	B	73.18±0.28 ^{cd}	22.46±0.27 ^{gh}	1.22±0.02 ^{de}	2.21±0.03 ^f	0.93±0.02 ^{ab}
	C	72.65±0.20 ^{bc}	22.83±0.07 ^{hi}	1.28±0.07 ^{de}	2.32±0.07 ^{fg}	0.92±0.02 ^{ab}
30	A	72.77±0.08 ^{bc}	22.67±0.11 ^{gh}	1.27±0.05 ^{de}	2.26±0.07 ^f	1.03±0.01 ^{cde}
	B	72.23±0.03 ^{ab}	23.19±0.06 ^{ij}	1.28±0.06 ^{de}	2.41±0.11 ^{fg}	0.89±0.02 ^a
	C	71.78±0.17 ^a	23.56±0.10 ^j	1.33±0.05 ^e	2.47±0.06 ^g	0.86±0.01 ^a
方差分析(P 值)	盐度	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	饲料	0.000	0.000	0.178	0.000	0.000
	盐度×饲料	0.001	0.000	1.000	0.970	0.411

0.05)。随饲料蛋白水平的提高,实验对虾肌肉中粗蛋白质和灰分含量显著提高($P<0.05$);肌肉含水率、无氮浸出物的含量则呈现显著下降($P<0.05$),而粗脂肪含量差异不显著($P>0.05$)。

同一盐度不同饲料蛋白水平实验组内对虾肌肉中粗脂肪和粗蛋白以及无氮浸出物的含量变化趋势有所不同。同一盐度不同饲料蛋白水平实验组内对虾肌肉中粗脂肪含量差异不显著($P>0.05$),而粗蛋白和无氮浸出物含量差异显著($P<0.05$)。其中,盐度为 6‰的实验组,以投喂饲料 A 的对虾肌肉粗蛋白、粗脂肪和灰分含量最低;盐度为 30‰实验组,以投喂饲料 C 对虾肌肉无氮浸出物和水分含量最低。双因素方差分析显示盐度和蛋白水平交互作用对虾体的水分和粗蛋白含量影响差异显著($P<0.05$),对粗脂肪、粗灰分和无氮浸出物影响差异不显著($P>0.05$)。

2.3 盐度和饲料蛋白水平与凡纳滨对虾耗氧率的关系

实验结果表明(表 4),盐度、蛋白水平和测定时间三者交互作用对对虾耗氧率影响差异显著($P<0.05$),随着盐度和饲料蛋白水平的提高,实验对虾不同时段耗氧率总体呈现出显著($P<0.05$)下降的变化趋势。盐度为 6‰、12‰、24‰实验组及盐度

为 18‰实验组饲料 A,实验对虾耗氧率高峰值出现在摄食后 3h;盐度为 30‰实验组以及盐度为 18‰实验组的饲料 B 和饲料 C,实验对虾耗氧率高峰值出现在摄食后 2h。双因素方差分析显示盐度和蛋白水平、盐度和测定时间、蛋白水平和测定时间交互作用对对虾的耗氧率影响差异显著($P<0.05$)。

2.4 盐度和饲料蛋白水平与凡纳滨对虾排氨率的关系

从表 5 的研究结果可以看出,盐度和饲料蛋白水平对凡纳滨对虾的排氨率有显著的影响。随着饲料蛋白水平的提高实验对虾的排氨率逐渐升高,而随着盐度的升高其排氨率逐渐降低。各实验组对虾的排氨率高峰值均出现在摄食后 2h。盐度 6 和 12 实验组,实验对虾排氨率的最低值出现在摄食后 1h,盐度 18‰、24‰、30‰实验组排氨率最低值出现在摄食后 0h,多重比较结果显示 5 个盐度水平,排氨率最低值在摄食后 0h 和摄食后 1h,差异不显著($P>0.05$)。双因素方差分析显示盐度和蛋白水平、盐度和测定时间、蛋白水平和测定时间交互作用对对虾的排氨率影响差异显著($P<0.05$),盐度、蛋白水平和测定时间三者交互作用对对虾排氨率影响差异亦显著($P<0.05$)。

表 4 不同盐度和饲料蛋白水平下凡纳滨对虾的耗氧率

Tab. 4 The oxygen consumption rates of *L. vannamei* under different salinity and dietary protein levels

盐度/‰	测定时间/h	耗氧率/(mg·(g·h) ⁻¹)		
		饲料 A 组	饲料 B 组	饲料 C 组
6	0	0.946 ± 0.065 ^{ab}	0.841 ± 0.051 ^{ab}	0.823 ± 0.075 ^a
	1	0.852 ± 0.050 ^{ab}	0.907 ± 0.028 ^{ab}	1.049 ± 0.055 ^b
	2	1.745 ± 0.073 ^{de}	1.657 ± 0.074 ^{de}	1.552 ± 0.090 ^d
	3	2.400 ± 0.100 ^d	2.294 ± 0.078 ^f	1.810 ± 0.032 ^c
	4	1.292 ± 0.041 ^c	1.656 ± 0.088 ^{de}	1.048 ± 0.070 ^b
12	0	0.844 ± 0.024 ^{bcd}	0.702 ± 0.015 ^{ab}	0.692 ± 0.005 ^{ab}
	1	0.744 ± 0.031 ^{abc}	0.863 ± 0.027 ^{cd}	0.928 ± 0.029 ^d
	2	1.688 ± 0.054 ^g	1.643 ± 0.010 ^{fg}	0.651 ± 0.038 ^a
	3	2.208 ± 0.153 ⁱ	1.871 ± 0.068 ^h	1.524 ± 0.024 ^f
	4	1.185 ± 0.010 ^e	1.564 ± 0.025 ^{fg}	0.975 ± 0.039 ^d
18	0	0.598 ± 0.030 ^a	0.595 ± 0.064 ^a	0.592 ± 0.020 ^a
	1	0.678 ± 0.025 ^{ab}	0.734 ± 0.048 ^{ab}	0.855 ± 0.040 ^b
	2	1.569 ± 0.081 ^{de}	1.484 ± 0.072 ^{de}	1.671 ± 0.069 ^c
	3	1.976 ± 0.140 ^f	1.440 ± 0.069 ^d	1.461 ± 0.041 ^d
	4	1.192 ± 0.066 ^c	1.105 ± 0.052 ^c	0.830 ± 0.039 ^b
24	0	0.453 ± 0.014 ^{ab}	0.421 ± 0.014 ^a	0.404 ± 0.024 ^a
	1	0.538 ± 0.020 ^c	0.522 ± 0.021 ^{bc}	0.498 ± 0.010 ^{bc}
	2	1.237 ± 0.013 ^h	1.149 ± 0.011 ^g	1.163 ± 0.014 ^g
	3	1.543 ± 0.028 ⁱ	1.531 ± 0.013 ⁱ	1.538 ± 0.030 ⁱ
	4	1.002 ± 0.060 ^f	0.883 ± 0.006 ^e	0.762 ± 0.015 ^d
30	0	0.360 ± 0.025 ^a	0.298 ± 0.014 ^a	0.324 ± 0.013 ^a
	1	0.391 ± 0.043 ^a	0.321 ± 0.036 ^a	0.352 ± 0.016 ^a
	2	0.823 ± 0.052 ^c	0.779 ± 0.051 ^c	0.815 ± 0.028 ^c
	3	0.806 ± 0.008 ^c	0.747 ± 0.022 ^c	0.766 ± 0.019 ^c
	4	0.737 ± 0.041 ^c	0.512 ± 0.021 ^b	0.555 ± 0.038 ^b
方差分析(P 值)	盐度		0.000	
	饲料		0.000	
	测定时间		0.000	
	盐度×饲料		0.000	
	盐度×测定时间		0.000	

2.5 盐度和饲料蛋白水平与凡纳滨对虾氧氮比平均值的关系

对盐度和饲料蛋白水平与凡纳滨对虾氧氮比平均值的关系进行双因素方差分析表明(表 6), 盐度与饲料蛋白水平对凡纳滨对虾氧氮比平均值有显著 ($P < 0.05$) 的影响。表现为在设定的 5 个盐度水平下, 氧氮比随着饲料蛋白水平的提高而下降。其中, 投喂饲料 A 和饲料 C 的氧氮比, 在盐度为 18‰ 的实验组出现最大值, 分别为 14.37 ± 0.09 和 8.17 ± 0.03 ; 投喂饲料 B 实验组, 氧氮比在盐度 24‰ 时达到最大值, 为 12.01 ± 0.45 。

3 讨论

3.1 盐度与饲料蛋白水平对凡纳滨对虾生长的影响

研究结果表明, 随着饲料蛋白水平的提高, 对虾的生长速率逐渐提高, 而饲料蛋白水平对对虾的存活率影响不显著。说明适当提高饲料蛋白水平可加快对虾的生长速率, 缩短养殖周期。盐度对凡纳滨对虾的存活和生长有显著影响。关于凡纳滨对虾的最适生长盐度, 不同的研究者得出的实验结果不同, 本实验在 3 种实验饲料蛋白水平下, 以盐度为 18 的实验组凡纳滨对虾生长最快。这低于

表 5 不同盐度和饲料蛋白水平下凡纳滨对虾的排氮率

Tab. 5 The ammonia excretion rates of *L. vannamei* under different salinity and dietary protein levels

盐度/‰	测定时间/h	排氮率/(mg·(g·h) ⁻¹)		
		饲料 A 组	饲料 B 组	饲料 C 组
6	0	0.109±0.007 ^{ab}	0.136±0.006 ^{cd}	0.157±0.012 ^{def}
	1	0.092±0.007 ^a	0.146±0.006 ^{cde}	0.181±0.006 ^f
	2	0.169±0.008 ^{ef}	0.217±0.011 ^g	0.273±0.013 ^h
	3	0.125±0.007 ^{bc}	0.141±0.005 ^{cd}	0.172±0.007 ^f
	4	0.096±0.003 ^a	0.134±0.007 ^{cd}	0.168±0.006 ^{ef}
12	0	0.084±0.012 ^{ab}	0.095±0.004 ^{abc}	0.136±0.007 ^a
	1	0.080±0.007 ^a	0.115±0.006 ^{cd}	0.159±0.006 ^f
	2	0.142±0.006 ^{ef}	0.183±0.005 ^g	0.247±0.007 ^h
	3	0.104±0.006 ^{bc}	0.115±0.007 ^{cd}	0.137±0.002 ^{de}
	4	0.081±0.003 ^a	0.108±0.007 ^c	0.134±0.014 ^{de}
18	0	0.052±0.002 ^a	0.067±0.005 ^b	0.084±0.005 ^{cd}
	1	0.055±0.002 ^a	0.084±0.005 ^{cd}	0.116±0.006 ^f
	2	0.116±0.006 ^f	0.139±0.004 ^g	0.183±0.007 ^h
	3	0.075±0.005 ^{bc}	0.069±0.002 ^b	0.101±0.003 ^c
	4	0.068±0.003 ^b	0.072±0.002 ^{bc}	0.095±0.003 ^{de}
24	0	0.047±0.006 ^a	0.051±0.001 ^a	0.069±0.003 ^{ab}
	1	0.050±0.003 ^a	0.059±0.002 ^a	0.078±0.006 ^{bc}
	2	0.093±0.008 ^{cd}	0.114±0.007 ^d	1.155±0.021 ^e
	3	0.054±0.005 ^{ab}	0.058±0.003 ^{ab}	0.072±0.006 ^{abc}
	4	0.059±0.002 ^{ab}	0.047±0.002 ^a	0.071±0.010 ^{abc}
30	0	0.039±0.002 ^{ab}	0.046±0.003 ^{ab}	0.058±0.003 ^{cd}
	1	0.043±0.004 ^{ab}	0.049±0.005 ^{bc}	0.062±0.003 ^d
	2	0.076±0.005 ^c	0.093±0.004 ^f	0.125±0.004 ^g
	3	0.038±0.001 ^{ab}	0.041±0.001 ^{ab}	0.062±0.002 ^d
	4	0.042±0.003 ^{ab}	0.035±0.001 ^a	0.065±0.005 ^d
方差分析(P 值)	盐度		0.000	
	饲料		0.000	
	测定时间		0.000	
	盐度×饲料		0.000	
	盐度×测定时间		0.000	
	盐度×饲料×测定时间		0.000	

表 6 不同盐度和饲料蛋白水平下凡纳滨对虾氧氮比平均值

Tab. 6 The mean of the oxygen-nitrogen ratio of *L. vannamei* under different salinity and dietary protein levels

盐度/‰	氧氮比		
	饲料 A 组	饲料 B 组	饲料 C 组
6	10.715±0.080 ^f	8.318±0.076 ^d	5.781±0.087 ^{bc}
12	11.928±0.658 ^g	9.445±0.176 ^e	5.139±0.147 ^b
18	14.372±0.093 ^h	10.881±0.101 ^f	8.174±0.032 ^d
24	13.851±0.738 ^h	12.014±0.45 ^g	2.644±0.042 ^a
30	11.463±0.119 ^{fg}	8.807±0.19 ^{de}	6.623±0.115 ^c
方差分析(P 值)	盐度	0.000	
	饲料	0.000	
	盐度×饲料	0.000	

Huang^[5](25‰—40‰)、Ponce-Palafox^[6](33‰—40‰)、王兴强^[3](22.93‰)、李二超^[7](22)和黄凯^[4](20), 高于 Bay^[8](5‰—15‰)的研究结果。综合以上研究结果, 一般认为, 凡纳滨对虾的最适盐度在 20‰左右^[9]。不同研究结果的差异可能与实验对虾的来源有关, 凡纳滨对虾是一种广盐性(2‰—40‰)虾类, 在某一地区进行长期养殖已经适应该养殖方式下的盐度水平, 而国内凡纳滨对虾养殖环境的特点是较低的盐度水平。海洋无脊椎动物生活在低盐度水体中存在水盐平衡的问题。虾类在海水中, 体液和海水等渗, 进入盐分较低的水域, 一方面通过盐分的回收而使体液渗透压提高, 另一方面通过 Na⁺、Cl⁻ 等离子的排出和氨基酸的分解而使细胞内的渗透压适当降低, 从而使体液和细胞的渗透压达到平衡。可见这种调节过程要消耗能量。Claybrook 等^[10]研究也表明, 甲壳类在低盐度条件下用蛋白质作为氨基酸源维持渗透压平衡, 因而要消耗一部分蛋白质, 与此同时, 由于凡纳滨对虾己糖激酶的活力不高, 限制了葡萄糖作为能量来源。因此在低盐度养殖环境中, 最大量添加碳水化合物水平基础上, 适当提高饲料蛋白水平有利于凡纳滨对虾的存活生长。

3.2 盐度和饲料蛋白水平对凡纳滨对虾肌肉成分的影响

对凡纳滨对虾虾体组成分析表明, 随着盐度和饲料蛋白水平的提高, 实验对虾肌肉中粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量显著提高; 肌肉含水率、无氮浸出物的含量则呈现相反的变化趋势。高的蛋白含量、低的含水率, 则虾体肌肉致密; 高的灰分水平, 说明虾体甲壳增多、个体增大; 适当提高盐度和饲料蛋白水平能促进实验对虾蛋白质和脂肪积累, 加快其生长速率, 也有利于鲜味氨基酸和不饱和脂肪酸的积累。因此, 对虾养殖生产实践中, 低盐度环境下养殖的对虾, 上市前在较高盐度环境下暂养一段时间, 可以提高对虾产品的质量和海鲜风味。

3.3 盐度与饲料蛋白水平对凡纳滨对虾呼吸和排泄代谢的影响

盐度和饲料蛋白水平对凡纳滨对虾的耗氧率、

排氮率有显著的影响。实验表明, 随着盐度和饲料蛋白水平的提高, 对虾耗氧率逐渐下降; 耗氧率高峰期出现在摄食后 2—3 h。动物摄食后引起代谢增强, 耗氧率增加的现象称为特殊动力作用(SDA)^[11]。SDA 水平主要受饲料营养组成、日粮水平、环境因子和动物自身生理状态等的影响。一般认为对虾的 SDA 效应与饲料蛋白质含量成正比^[12], 且盐度与饲料碳水化合物水平有显著交互作用。

实验对虾排氮率随着饲料蛋白水平的提高逐渐升高, 而随盐度的升高逐渐降低; 各实验组对虾的排氮率高峰期均出现在摄食后 2h。这与 Chen 等^[13]报道的日本对虾在盐度为 5‰—35‰时排氮率随盐度下降而升高的研究结果一致。在低渗条件下, 虾体以饲料蛋白作氨基酸源充当渗透调节效应因子^[10], 使自由氨基酸浓度升高, 导致排氮率升高。也有研究表明, 低盐度环境中高蛋白、低碳水化合物饲料可能使对虾体内谷氨酸脱氢酶活性增高, 改变物质代谢途径, 导致 SDA 和排氮率增加^[14]。

3.4 凡纳滨对虾虾体供能物质分析

氧氮比值(O/N)是耗氧率和排氮率的原子比, 可用于估算生物体代谢中能源物质的组成比例。以往的研究表明, 完全以蛋白质供能, 其 O/N 比为 7—10^[15]; 由蛋白质和脂肪等比例供能, 其 O/N 比为 24^[16]; Conover^[17] 则认为, 随着脂类和碳水化合物利用比例的提高, 其 O/N 比逐渐增大, 完全以脂肪或碳水化合物供能, 其 O/N 比将无穷大。本实验结果表明(表 6), 盐度与饲料蛋白水平对凡纳滨对虾氧氮比平均值有显著($P < 0.05$)的影响。表现为在 5 个盐度水平下, 氧氮比随着饲料蛋白水平的提高而下降。O/N 比介于 2.64±0.04 和 14.37±0.09 之间, 小于 24, 说明在蛋白质和碳水化合物分别为 26%、44%, 37%、32.5%, 48%和 21%的营养水平下, 凡纳滨对虾以蛋白质供能为主, 脂肪和碳水化合物次之。投喂 C 饲料的凡纳滨对虾各实验组 O/N 比介于 2.64±0.04 和 8.17±0.03 之间, 小于 10, 说明在相对较高的蛋白质水平(蛋白质和碳水化合物分别为 48%、21%)下, 凡纳滨对虾完全以蛋白质供能。

参考文献

- [1] BINDU R P, DIWAN A D. Effects of acute salinity stress on oxygen consumption and ammonia excretion rates of the marine shrimp *Metapenaeus monoceros* [J]. Journal of Crustacean Biology, 2002, 22(1): 45—52.
- [2] JIANG D H, LAWRENCE A L, Neill H N, et al. Effects of temperature and salinity on nitrogenous excretion by *Litopenaeus vannamei* juveniles [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2000, 253: 193—209.

- [3] 王兴强, 马甦, 董双林. 盐度和蛋白质水平对凡纳滨对虾存活、生长和能量转换的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(1): 33–37.
- [4] 黄凯, 王武, 卢洁. 南美白对虾幼虾饲料蛋白质的需要量[J]. 中国水产科学, 2003, 10(4): 318–324.
- [5] HUANG H J. Factors affecting the successful culture of *Penaeus stylirostris* and *Penaeus vannamei* at an estuarine power plant site: Temperature, salinity, inherent growth variability, damselfly nymph predation, population density and distribution and poly culture [D]. Texas A & M University, College Station, TX, USA, 1983: 221.
- [6] PONNCE-PALAFIX J, MARTINEZ-PALACIOS C A, ROSS L G. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931[J]. Aquaculture, 1997, 157: 107–115.
- [7] 李二超, 陈立侨, 曾嶂, 等. 不同盐度下饵料蛋白质含量对凡纳滨对虾生长、体成分和肝胰腺组织结构的影响[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 425–433.
- [8] BARY W A, LAWRENCE A L, LEUNG-TRUJILLO J R. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHNV virus and salinity[J]. Aquaculture, 1994, 122: 133–146.
- [9] LI E C, CHEN L Q, ZENG C, et al. Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities [J]. Aquaculture, 2007, 265: 385–390.
- [10] CLAYBROOK D L. Nitrogen metabolism[M]//Mantel L H. The biology of Crustacea, integral anatomy and physiological regulation. New York: Academic Press, 1983: 163–213.
- [11] NELSON S G, KNIGHT A W, LI H W. The metabolic cost food utilization and ammonia production by juvenile *Macrobrachium rosenbergii*(Crustacea:Palaeomonidae)[J]. Comp Biochem Physiol, 1997, (57A): 67–72.
- [12] ROSAS C, SANCHEZ A. Effect of dietary protein level on apparent heat increment and post-prandial nitrogen excretion of *Penaeus setiferus*, *P. schmitti*, *P. duorarum* and *P. notialis postlarvae* [J]. J World Aquac Soc, 1996, 27(1): 92–102.
- [13] CHEN J C, LAI S H. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1993, 165: 161–170.
- [14] 王吉桥, 罗鸣, 张德治, 等. 水温和盐度对南美白对虾幼虾能量收支的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(2): 161–166.
- [15] MAYZALLD P. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton IV: the influence of starvation on the metabolism and biochemical composition of some species [J]. Mar Biol, 1976, 37: 47–58.
- [16] IKEDA T. Nutrition ecology of marine zooplankton [J]. Mem Fac Fish Hokkaido Univ, 1974, 22: 1–77.
- [17] CONOVER R J. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles [J]. J Mar Biol Assoc UK, 1968, 48: 49–75.