

不同品牌饲料对斑节对虾生长及水质影响的研究

张加润^{1,2}, 江世贵¹, 林黑着¹, 黄忠¹, 牛津¹, 黄建华¹, 王芸¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东广州 510300;

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 选取6种不同品牌斑节对虾商品饲料(D1、D2、D3、D4、D5和D6)进行60 d养殖试验, 评价其对斑节对虾(*Penaeus monodon*)生长及水质的影响。D1、D5和D6的对虾增重率和特定生长率显著高于D2和D4($P < 0.05$); D5和D6的饲料系数显著低于D2和D4($P < 0.05$)。D4和D5的蛋白质消化率显著高于D1~D3各饲料($P < 0.05$)。第20天水体化学需氧量(COD)D1最低, 显著低于D5和D6($P < 0.05$)。第40天时D5和D6的COD显著低于D1~D4各饲料($P < 0.05$), D2的氨氮(NH_4^+-N)最低, 显著低于D4~D6各饲料, 总氮(TN)、总磷(TP)分别在D4、D6最低。第60天时D1和D2的 NH_4^+-N 显著低于其他各饲料($P < 0.05$), D5和D6的TN显著低于D1~D4各饲料($P < 0.05$), 而TP在D2最低, 显著低于D1和D4($P < 0.05$)。氮(N)排放率在D1和D6显著低于其余4种饲料($P < 0.05$), 磷(P)排放率则D1最低。投喂D1、D5和D6能够使对虾获得较优生长性能, 且对水体污染最小。

关键词: 商品饲料; 斑节对虾; 生长性能; 水质

中图分类号: S 816.32

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2013)06-0020-07

Effects of different brands of feeds on growth of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and water quality

ZHANG Jiarun^{1,2}, JIANG Shigui¹, LIN Heizhao¹, HUANG Zhong¹,

NIU Jin¹, HUANG Jianhua¹, WANG Yun¹

(1. Key Lab. of Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To investigate the effects of different brands of commercial diets (D1, D2, D3, D4, D5 and D6) on the growth performance of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and water quality, we fed the shrimps [average initial wet weight (2.82 ± 0.02) g] with 6 diets for 60 d. The results show that the weight gain and special growth rate of shrimps fed with D1, D5 and D6 are significantly higher than those with D2 and D4 ($P < 0.05$), and the feed conversion ratios of shrimps fed with D5 and D6 are significantly lower than those with D2 and D4 ($P < 0.05$). The apparent protein digestibility of shrimps fed with D4 and D5 is much higher than those with D1~D3 ($P < 0.05$). At 20th day, the chemical oxygen demand (COD) with D1 treatment is the lowest and significantly lower than that with D5 and D6 ($P < 0.05$). At 40th day, the COD with D5 and D6 treatments are significantly lower than that with D1~D4 treatments ($P < 0.05$). The NH_4^+-N with D2 treatment is the lowest and significantly lower than that with D4~D6 treatments ($P < 0.05$).

收稿日期: 2012-12-27; 修回日期: 2013-03-06

资助项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA10A409-02); 广东省海洋渔业科技推广专项(A201101B03, A201201C01); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2011YD01, 2010YD02); 广州市科技计划项目(2012J2200065)

作者简介: 张加润(1987-), 女, 硕士研究生, 从事水产动物营养研究。E-mail: zhang.jia.run@163.com

通信作者: 林黑着(1965-), 男, 博士, 研究员, 从事水产动物营养研究。E-mail: linheizhao@163.com

0.05), and the total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) are the lowest with D4 and D6 treatments. At 60th day, the NH₄⁺-N with D1 treatment is the lowest and significantly lower than that with the other treatments except D2 treatment ($P < 0.05$), and the TN with D5 and D6 treatments are significantly lower than that with D1 ~ D4 treatments ($P < 0.05$), but the TP with D2 treatment is the lowest and significantly lower than that with D1 and D4 treatments ($P < 0.05$). The excretion rates of nitrogen with D1 and D6 treatments are the lowest and significantly lower than that with the other diet treatments ($P < 0.05$). The minimum excretion rate of phosphorus is with D1 treatment. In conclusion, the shrimps fed with D1, D5 and D6 perform better in growth, and D1, D5 and D6 diets have minimal pollution to the water.

Key words: commercial feed; black tiger shrimp; growth performance; water quality

斑节对虾(*Penaeus monodon*)广泛分布于印度洋和西太平洋的大部分海区,中国从南海到东海都有分布,是世界上重要的海水经济虾类,也是中国南方沿海诸省的重要养殖对象^[1-2]。对虾养殖业的快速发展与饲料品质好坏息息相关,现今市场上水产饲料种类繁多、品质不等,挑选优质饲料是养殖業者成功养殖的关键。饲料品质需要从对虾生长性能和水质等方面综合评价。在高密度对虾养殖模式下,水环境突变及水质恶化是制约对虾正常生长的关键因子,且良好的水体环境是水产养殖取得成功的基础^[3]。国内外有关饲料对对虾生长和水质指标影响的报道较少,主要有柳旭东等^[4]的4种饲料水中稳定性及其对水质指标影响的研究,王广军等^[5]对比冰鲜鱼及配合饲

料饲喂黑口鲈(*Micropterus salmoides*)对水质指标的影响,杨原志等^[6]的3种微粒饲料对凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)生长及水质因子的研究,以及SHISHEHCHIAN等^[7]研究不同类型饵料对斑节对虾幼体氮(N)排放情况等。笔者试验随机选取市场上6种不同品牌斑节对虾商品饲料,结合斑节对虾生长及水质指标的综合评价,以了解商品饲料在对虾养殖中的应用情况。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

选取6种不同品牌斑节对虾商品饲料(D1、D2、D3、D4、D5和D6)为试验饲料进行分析评价。饲料营养成分分析结果见表1。

表1 试验饲料营养成分

Tab. 1 Nutritional components of experimental diets

%

营养成分 nutritional component	饲料编号 feed No.					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
水分 moisture	9.56	9.43	8.77	8.90	8.43	9.10
灰分 ash	12.55	11.43	10.69	11.74	12.25	10.49
粗蛋白 crude protein	40.29	43.56	44.93	42.07	43.47	41.74
粗脂肪 crude fat	8.18	8.08	8.64	8.41	8.39	8.73
总磷 total phosphorus	1.00	1.31	1.36	1.25	1.23	1.26

1.2 试验对象及试验管理

试验在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳基地养殖车间室内进行,选取来源于同一批次孵化、大小均匀和健康的斑节对虾[初始体质量为(2.83 ± 0.02)g]。试验开展参考《水产配合饲料环境安全性评价规程》,每个水泥池(182 cm × 160 cm × 150 cm)放50尾虾,每个处理5个重复,养殖周期60 d。该试验全程不换水,养殖水体为2.15 m³,养殖期间水温27 ~ 29 °C,溶解氧5.6 ~

6.4 mg·L⁻¹,盐度25 ~ 30, pH 8.1 ~ 8.3,自然采光,24 h充气。水泥池内放置饵料台,采用定时表观饱食法进行投喂(8:00、17:00和22:00),每次投喂后分别在第1小时和第1.5小时观察饵料台内的饲料剩余情况,在1 h内吃完的试验组则增加投饵量,1.5 h内还有剩余饵料的试验组则减少投饵量,投喂量为对虾体质量的4% ~ 8%。

当试验进行到第60天时对虾饥饿24 h后称质量(精确到0.01 g),计算增重率、特定生长率、

饲料系数和成活率等。

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

$$\text{特定生长率}(\text{SGR}, \% \cdot \text{d}^{-1}) = 100 \times [(\ln W_t - \ln W_0)] / t$$

$$\text{饲料系数}(\text{FCR}) = FI / W$$

$$\text{成活率}(\text{SR}, \%) = 100 \times FN / IN$$

其中 W_t 为试验结束时对虾平均质量(g), W_0 为试验开始时对虾平均质量(g), t 为养殖时间(d), FI 为试验期间对虾摄食饲料的干物质总质量(g), W 为养殖对虾的增质量(g), FN 为终末虾尾数, IN 为初始虾尾数。

1.4 全虾营养成分分析与磷(P)质量分数测定

在试验开始时随机选取初始全虾样品进行 N、P 质量分数的测定。试验结束时每个组随机选取 10 尾虾于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰柜中保存, 用于体成分及 P 质量分数的测定。水分测定采用 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干法; 粗蛋白测定采用凯氏定氮法(FOSS Kjeltac 2300); 粗脂肪测定采用索氏抽提法(FOSS Soxtec 2050); 粗灰分测定采用马弗炉 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 煅烧法(YATMATO FO610C); P 质量分数测定采用分光光度法, 在 400 nm 波长下进行比色。粗蛋白、粗脂肪、灰分的检测结果均以干质量计。其中初始和终末的全虾样品 N、P 质量分数数据用以 N、P 排放率的计算。

$$\text{N、P 排放率}(\text{NLR、PLR}, \%) = [1 - (A - B) / (FI \times C)] \times 100$$

式中 A 为终末虾体含 N、P 的质量(g), B 为初始虾体含 N、P 的质量(g), FI 为总摄食量(g), C 为饲料中 N、P 的质量分数(%)。

1.5 水样采集与水质的测定

在养殖时间第 20、第 40 和第 60 天时采集水样进行水质指标的测定。投喂饲料 1 h 后采用虹吸法选取水泥池的四角及中间点采集水样, 虹吸管用颜色标识, 以便确保在同一深度采集水样。采集完的水样混匀后装入 500 mL 白色聚乙烯塑料瓶内, 放置阴凉避光处密闭保存, 24 h 内测定完毕。化学需氧量(COD)、氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、总氮(TN)、总磷(TP)采用 HACH 试剂包测定, 具体操作步骤按说明书进行。

1.6 粪便收集与蛋白质、脂肪消化率的测定

将商品料粉碎后添加 0.01% 氧化钇(Y_2O_3)作为消化率测定的外源指示剂, 重新混匀、加水、搅拌后用挤条机[F-26(Ⅲ)型双螺旋杆挤条机]挤压

成条后经制粒制成粒径为 1.5 mm 的颗粒, 置于 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱熟化 2 h 后空调抽干, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰柜保存待用。

投料前清理残饵及排泄物, 在投料 2 h 后进行粪便收集。用镊子挑选新鲜、外表带有包膜的完整粪便, 蒸馏水漂洗后用滤纸吸干水分, 放在 50 mL 白色塑料瓶中 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存备用。测定前粪便使用冷冻干燥机(Virtis Wizard 2.0)冻干后过 60 目筛, 粪便和饲料样品委托中国广州分析测试中心测定 Y_2O_3 质量分数, 剩下样品分别使用全自动凯氏定氮仪和索氏抽提仪测定粗蛋白和粗脂肪质量分数。

$$\text{蛋白质、脂肪表观消化率}(\text{APD、AFD}, \%) = 100 \times [1 - (A \times D / B \times C)]$$

式中 A 为饲料中 Y_2O_3 的质量分数, B 为粪便中 Y_2O_3 的质量分数, C 为饲料中的蛋白质、脂肪质量分数, D 为粪便中的蛋白质、脂肪质量分数。

1.7 数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行统计分析, 先对数据进行单因素方差分析(ANOVA), 处理若有显著差异, 再进行 Duncan's 多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著, 所有数值用平均数 \pm 标准差($\bar{X} \pm \text{SD}$)表示。

2 结果与分析

2.1 不同品牌饲料对生长性能的影响

养殖 60 d 的斑节对虾生长性能存在着差异(表 2)。不同品牌商品料对对虾成活率没有显著影响, 均高于 92% ($P > 0.05$); 饲料系数在投喂 D5 和 D6 时最低, 且显著低于 D2 和 D4 ($P < 0.05$); 对虾的特定生长率与增重率均在摄食 D1、D5 和 D6 饲料时显著高于 D2 和 D4 ($P < 0.05$)。综合对虾生长数据来看, 投喂 D1、D5 和 D6 能够获得较优生长性能。

2.2 不同品牌饲料对全虾体成分的影响

投喂不同品牌商品料对全虾体成分的水分和灰分质量分数无显著性影响 ($P > 0.05$), 而对全虾粗蛋白、粗脂肪质量分数影响显著 ($P < 0.05$) (表 3)。虾体粗蛋白在投喂 D3 显著高于投喂 D5 和 D6 ($P < 0.05$), 而与其他各组无显著性差异 ($P > 0.05$)。虾体脂肪质量分数在投喂 D5 时最高 (5.52%), 显著高于 D1、D2 和 D3 ($P < 0.05$)。

表 2 不同品牌饲料对斑节对虾生长表现的影响 ($\bar{X} \pm SD$)

Tab. 2 Effect of different brands of feeds on growth performance of *P. monodon*

饲料编号 feed No.	初均质量/g initial weight	末均质量/g final weight	成活率/% survival	特定增长率/%/d special growth rate	增重率/% weight gain	饲料系数 feed conversion ratio
D1	2. 84 ± 0. 03	10. 05 ± 0. 88 ^b	92. 00 ± 7. 75	2. 29 ± 0. 17 ^c	254. 19 ± 34. 20 ^b	1. 46 ± 0. 16 ^{ab}
D2	2. 80 ± 0. 02	9. 00 ± 0. 35 ^a	95. 60 ± 2. 61	2. 12 ± 0. 06 ^{ab}	221. 85 ± 10. 97 ^a	1. 59 ± 0. 05 ^{bc}
D3	2. 82 ± 0. 04	9. 45 ± 0. 45 ^{ab}	96. 40 ± 2. 19	2. 20 ± 0. 07 ^{bc}	235. 34 ± 13. 38 ^{ab}	1. 48 ± 0. 11 ^{ab}
D4	2. 81 ± 0. 04	8. 75 ± 0. 74 ^a	95. 20 ± 3. 63	2. 06 ± 0. 13 ^a	210. 60 ± 22. 60 ^a	1. 70 ± 0. 20 ^c
D5	2. 85 ± 0. 04	10. 00 ± 0. 35 ^b	96. 00 ± 3. 16	2. 28 ± 0. 06 ^c	250. 82 ± 11. 16 ^b	1. 39 ± 0. 06 ^a
D6	2. 85 ± 0. 05	10. 06 ± 0. 27 ^b	96. 80 ± 1. 10	2. 30 ± 0. 06 ^c	253. 57 ± 11. 19 ^b	1. 34 ± 0. 06 ^a

注：同列数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$)，后表同此
Note: Values in the same column with different superscripts are significantly different from one other ($P < 0.05$). The same case in the following tables.

表 3 不同品牌饲料对斑节对虾全虾营养成分的影响 ($\bar{X} \pm SD$)

Tab. 3 Effect of different brands of feeds on whole body composition of *P. monodon* %

饲料编号 feed No.	水分 moisture	灰分 ash	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat
D1	74. 93 ± 0. 82	15. 63 ± 0. 82	74. 11 ± 1. 02 ^{bc}	4. 22 ± 0. 22 ^a
D2	75. 32 ± 0. 73	15. 39 ± 0. 56	74. 15 ± 0. 83 ^{bc}	3. 98 ± 0. 54 ^a
D3	75. 30 ± 1. 17	14. 91 ± 1. 02	74. 27 ± 0. 40 ^c	4. 59 ± 0. 72 ^{ab}
D4	75. 67 ± 0. 35	15. 23 ± 0. 68	73. 75 ± 0. 51 ^{bc}	5. 09 ± 0. 48 ^{bc}
D5	75. 89 ± 1. 20	15. 11 ± 0. 90	72. 74 ± 0. 57 ^a	5. 52 ± 0. 67 ^c
D6	75. 19 ± 0. 60	14. 76 ± 1. 02	73. 26 ± 0. 69 ^{ab}	4. 99 ± 0. 41 ^{bc}

2.3 不同品牌饲料对蛋白质、脂肪消化率的影响

不同品牌饲料对斑节对虾蛋白质、脂肪表观消化率产生显著性影响($P < 0.05$) (表 4)。蛋白质的消化率(78.88% ~ 84.30%) 在投喂 D4 和 D5 时最高，显著高于 D1 ~ D3 各组($P < 0.05$)。投喂 D1 (88.21%) 和 D2(88.57%) 的对虾脂肪消化率显著低于 D3 ~ D6 各组($P < 0.05$)。

2.4 不同品牌饲料对不同阶段水质指标的影响

养殖水体的水质好坏直接关系到对虾生长快慢和成活率等。不同品牌斑节对虾商品饲料对养殖水体的水质有不同影响(表 5)。随着养殖时间的延长，水体中的 TN、TP 水平呈上升趋势。第 1 次(第 20 天)采样分析结果表明，投喂不同品牌商品料对水体中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、TN 和 TP 没有显著性影响

表 4 不同品牌饲料对斑节对虾蛋白质、脂肪消化率的影响 ($\bar{X} \pm SD$)

Tab. 4 Effect of different brands of feeds on protein and fat digestibility of *P. monodon* %

饲料编号 feed No.	蛋白质消化率 apparent crude protein digestibility	脂类消化率 apparent crude lipid digestibility
D1	78. 88 ± 1. 42 ^a	88. 21 ± 1. 56 ^a
D2	81. 28 ± 0. 87 ^b	88. 57 ± 0. 50 ^a
D3	80. 89 ± 1. 83 ^{ab}	94. 59 ± 2. 10 ^b
D4	84. 30 ± 0. 54 ^c	93. 47 ± 2. 25 ^b
D5	84. 21 ± 0. 44 ^c	94. 91 ± 1. 29 ^b
D6	82. 29 ± 1. 13 ^{bc}	95. 00 ± 0. 76 ^b

($P > 0.05$), 但对 COD 的影响显著($P < 0.05$)。投喂 D6 的 COD 最高, 显著高于 D1 ~ D4 各组($P < 0.05$)。第 2 次(第 40 天)采样结果得出不同品牌饲料对水体中的各个指标都产生了显著性影响; COD 在投喂 D5 最低, 显著低于除 D6 的其他各组($P < 0.05$); $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 在投喂 D2 最低, 显著低于 D4 ~ D6 各组($P < 0.05$); 投喂 D4 试验组 TN 最低, 显著低于除 D5 的其他各组($P < 0.05$); TP 在投喂 D6 组最低, 显著低于其他各组($P < 0.05$)。第 3 次(第 60 天)水样分析表明, 投喂 D4 的 COD 显著低于除 D3 外的其他各组($P < 0.05$); $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 在投喂 D1 和 D2 时显著低于其他各组($P < 0.05$); 投喂 D5 和 D6 时 TN 显著低于 D1 ~ D4 各组($P <$

0.05); 而 TP 在投喂 D2 时最低, 显著低于 D1 和 D4($P < 0.05$)。

2.5 不同品牌饲料对对虾 N、P 排放率的影响

不同品牌饲料对对虾的 N、P 排放率影响显著, N 排放率为 66.48%~73.79%, D1(66.64%)和 D6(66.48%)显著低于其余 4 组($P < 0.05$); P 排放率则 D1 最低(78.55%), 显著低于其他各组($P < 0.05$)(表 6)。

3 讨论

试验中不同品牌饲料对斑节对虾成活率的影响无显著性差异, 且均高于 92%, 说明该试验条件能够满足对虾正常生长。对虾特定生长率、增重率、

表 5 不同品牌饲料对养殖不同阶段水质指标的影响($\bar{X} \pm \text{SD}$)

Tab. 5 Effect of different brand feeds on water quality index during different breeding periods of <i>P. monodon</i> mg·L⁻¹							
时间 time	项目 item	饲料编号 feed No.					
		D1	D2	D3	D4	D5	D6
第 20 天	化学需氧量 COD	26.08 ± 1.27 ^a	27.64 ± 2.14 ^{ab}	27.56 ± 1.33 ^{ab}	28.22 ± 2.20 ^{ab}	28.56 ± 1.00 ^{bc}	30.50 ± 0.71 ^c
the 20 th day	氨氮 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$	0.03 ± 0.03	0.02 ± 0.03	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.03	0.03 ± 0.03
	总氮 TN	1.78 ± 0.33	2.16 ± 0.48	2.52 ± 0.82	2.38 ± 0.61	2.68 ± 0.93	1.96 ± 0.85
	总磷 TP	1.05 ± 0.20	0.75 ± 0.14	0.70 ± 0.10	0.79 ± 0.03	0.77 ± 0.13	0.64 ± 0.06
第 40 天	化学需氧量 COD	29.68 ± 0.29 ^b	28.53 ± 0.71 ^b	29.15 ± 0.30 ^b	28.62 ± 0.59 ^b	26.54 ± 1.27 ^a	26.80 ± 2.74 ^a
the 40 th day	氨氮 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$	0.04 ± 0.01 ^{ab}	0.03 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.02 ^{abc}	0.07 ± 0.03 ^{cd}	0.07 ± 0.04 ^{bcd}	0.08 ± 0.02 ^d
	总氮 TN	4.16 ± 0.96 ^d	3.50 ± 0.62 ^{cd}	3.82 ± 0.55 ^{cd}	2.24 ± 0.52 ^a	2.50 ± 0.40 ^{ab}	3.06 ± 0.29 ^{bc}
	总磷 TP	1.59 ± 0.12 ^c	1.37 ± 0.12 ^b	1.38 ± 0.03 ^b	1.66 ± 0.14 ^c	1.48 ± 0.17 ^{bc}	1.07 ± 0.15 ^a
第 60 天	化学需氧量 COD	29.88 ± 0.30 ^b	30.00 ± 0.12 ^b	29.38 ± 0.78 ^{ab}	28.86 ± 0.76 ^a	30.18 ± 1.10 ^b	29.80 ± 0.47 ^b
the 60 th day	氨氮 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$	0.01 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.01 ^b	0.11 ± 0.01 ^b	0.10 ± 0.00 ^b	0.10 ± 0.02 ^b
	总氮 TN	9.78 ± 0.96 ^c	10.06 ± 0.25 ^c	11.18 ± 1.15 ^c	6.52 ± 1.78 ^b	4.50 ± 0.81 ^a	5.12 ± 0.72 ^a
	总磷 TP	2.89 ± 0.32 ^c	1.92 ± 0.24 ^a	2.36 ± 0.19 ^{ab}	2.60 ± 0.14 ^{bc}	2.10 ± 0.74 ^{ab}	2.16 ± 0.25 ^{ab}

表 6 不同品牌饲料对对虾氮、磷排放率的影响($\bar{X} \pm \text{SD}$)

Tab. 6 Effect of different brands of feeds on excretion rate of nitrogen and phosphorus of <i>P. monodon</i> %		
饲料编号 feed No.	氮排放率 excretion rate of nitrogen	磷排放率 excretion rate of phosphorus
D1	66.64 ± 3.58 ^a	78.55 ± 3.71 ^a
D2	72.44 ± 1.21 ^b	87.89 ± 1.37 ^c
D3	71.14 ± 3.84 ^b	87.05 ± 3.57 ^c
D4	73.79 ± 2.68 ^b	87.69 ± 1.79 ^c
D5	70.25 ± 1.64 ^b	83.86 ± 0.61 ^b
D6	66.48 ± 1.23 ^a	87.43 ± 0.73 ^c

饲料系数是衡量其生长性能常用的指标,在该试验中对虾特定生长率、增重率均在投喂 D1、D5 和 D6 饲料时显著高于 D2 和 D4 饲料,饲料系数在投喂 D5 和 D6 饲料显著低于 D2 和 D4 饲料,综合以上说明 D1、D5 和 D6 饲料能够使斑节对虾获得较优生长性能。该试验开展 60 d 使斑节对虾从 2.8 g 长至 10 g 左右,基本反映了对虾的生长特性,饲料系数在 1.3 ~ 1.7,也能较好发挥饲料的应有作用,说明这 6 种饲料能满足对虾的养殖需求,在实际养殖生产中是可行的。全虾营养成分分析得知, D3 的粗蛋白质量分数显著高于 D5 和 D6,这与饲料中各营养成分水平有关。D3 饲料成分中粗蛋白质量分数最高,说明饲料中较高的蛋白水平在一定程度上有利于虾体蛋白沉积,这与笔者对斑节对虾饲料蛋白需求的研究结果类似^[8]。刘兴旺等^[9]也认为,随着饲料蛋白水平的升高,鱼体蛋白质量分数显著增加。但并不表示饲料中蛋白水平越高虾体蛋白沉积就越多,当饲料中能量相对不足时,多余的蛋白质将通过脱氨基作用氧化供能,从而使虾体的蛋白水平降低^[10]。另外,也有研究者认为饲料蛋白水平不影响动物体组织中蛋白质含量^[11-12]。由此可见,动物的品种和规格、饲料蛋白源的氨基酸平衡与可消化性以及养殖环境等的不同都会引起结果不一致。饲料中蛋白源的可消化性影响饲料品质和动物生长性能。因此,动物对饲料蛋白源的表观消化率是评定饲料源营养价值和配制饲料的重要参数^[13]。试验中对虾蛋白质表观消化率在 D4 和 D5 显著高于 D1 ~ D3 各组,与 D6 无显著性差异;脂肪表观消化率在 D3 ~ D6 各组显著高于 D1 ~ D2 各组。综合来看,对于这两大类营养物质的表观消化率均在 D4、D5 和 D6 饲料中较高,这与摄食 D5 和 D6 饲料的对虾生长性能较好相吻合。

在对虾养殖过程中由于人工投饵和施肥,且随着养殖时间延长,水体中的 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和亚硝酸氮($\text{NO}_2\text{-N}$)含量不断增加,导致水质恶化,抑制了对虾的生长,甚至引发疾病和造成死亡^[14-15]。COD 越高,表示水中还原性污染物越多,水质越差。该试验中,随着养殖时间延长, COD 基本呈现升高趋势,说明在养殖后期尤其要注意水质调控,避免引起疾病导致对虾死亡。试验初期 D1 和 D2 的 COD 获得较低值,中期则 D5 和 D6 最低,后期是 D3 和 D4 较低。不同品牌饲料分别在养殖的不同阶段 COD 出现较小值,这也许与水体中的

藻相和微生物有关,具体原因需进一步探讨。有研究指出, COD 与营养流失量成正比关系^[16],此试验中 COD 偏高的饲料组,有可能是饲料稳定性差所造成。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是虾蟹类养殖池中最常见的污染物,其水中含量与水体的 pH、温度和盐度有关,且非离子氨易于进入虾体产生毒害作用^[17]。有研究报道凡纳滨对虾对总 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的安全质量浓度为 $2.667 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[18]。试验中各个时期的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 水平均在对虾的安全质量浓度范围之内,随着养殖时间延长,其浓度值基本呈现增大趋势,这与曾祥玲和王安利^[19]的研究结果一致。对虾摄食过量蛋白质或氨基酸组成不平衡的饲料,会导致外源 N 排泄增加,同时增加水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 等有害物质的含量^[20-21]。另外,饲料耐水性差导致大量营养物质溶解到水中、投料过量造成残饵以及养殖密度过大使虾体排泄物增大等都是造成 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 过高的原因。

饲料中 N、P 含量是饲料的基本营养学指标。P 在水中含量少且不易吸收,因此水产饲料中一般通过添加磷酸二氢钙(CaH_2PO_4)来满足鱼虾的营养需求^[22]。众所周知, N、P 是决定藻类生长的限制因素,在养殖生态环境中浮游微藻扮演着初级生产者的角色,对构建稳健平衡的生态系统起着重要作用^[23]。有研究报道饲料投入水中后,随着时间的延长,水体中的 TN、TP 含量都呈上升趋势,过量的 N、P 排放会使水体藻类旺盛繁殖,处于富营养化的状态,引起赤潮、水华的发生^[24],所以在生产中养殖者要根据对虾摄食的具体情况及时调整投料量,避免过多的剩料造成水中 TN、TP 含量的增加。饲料中添加碳水化合物可以增加虾体的 N 保留,降低饲料蛋白水平以及降低池塘中总 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 含量等作用^[25]。鱼体的 N 和 P 的排泄量主要受食物种类、食物中蛋白质及 P 含量的影响^[26]。从饲料营养成分测定结果看出, D1 和 D6 饲料 N 质量分数相对较低, D1 饲料 P 质量分数最低。这与 N 排放率在 D1 和 D6 显著低于其他各组、P 排放率在 D1 最低相吻合,说明了饲料中的 N、P 质量分数与 N、P 排放率成正相关的关系。且 N、P 排放率较低的 D1 和 D6 对对虾生长性能较优,可见控制饲料中 N、P 质量分数对水质调节以及对对虾生长有着极其重要的作用。

4 结论

6 种不同品牌饲料均能满足对虾生长需要,对

水质影响较小的 D1、D5 和 D6 3 种饲料能使对虾获得较优生长性能,且饲料对水质污染程度越小,对虾生长性能越优。

参考文献:

- [1] BENZIE J A H. Population genetic structure in penaeid prawns[J]. Aquac Res, 2000, 31(1): 95-119.
- [2] 钟振如,李辉权,张月平,等.南海西北部水域斑节对虾资源的调查研究[J].热带海洋,1999,18(3): 58-65.
- [3] 李奕雯,李卓佳,曹煜成,等.对虾海水高密度养殖后期水质因子的昼夜变化规律[J].南方水产,2010,6(6): 26-31.
- [4] 柳旭东,梁萌青,张利民,等.国内外4种微颗粒饲料的水中稳定性及其对部分水质指标的影响[J].渔业科学进展,2009,30(2): 89-93.
- [5] 王广军,吴锐全,谢骏,等.大口黑鲈投喂两种不同饲料对水质指标的影响[J].水产学杂志,2009,22(1): 35-37.
- [6] 杨原志,张新节,耿旭,等.3种微粒饲料对凡纳滨对虾仔虾生长和水质因子的研究[J].饲料研究,2010(1): 1-4.
- [7] SHISHEHCHIAN F, YUSOFF F M, OMAR H, et al. Nitrogenous excretion of *Penaeus monodon* postlarvae fed with different diets[J]. Mar Poll Bull, 1999, 39: 224-227.
- [8] 张加润,黄忠,林黑着,牛津,等.饲料中不同蛋白含量对斑节对虾幼虾生长及消化酶的影响[J].海洋渔业,2012,34(4): 431-437.
- [9] 刘兴旺,许丹,张海涛,等.卵形鲳鲹幼鱼蛋白质需要量的研究[J].南方水产科学,2011,7(1): 45-49.
- [10] 邵庆均,苏小凤,许梓荣,等.饲料蛋白水平对宝石鲈生长和体组成影响研究[J].水生生物学报,2004,28(4): 367-373.
- [11] 李广丽,朱春华,周歧存.不同蛋白质水平的饲料对南美白对虾生长的影响[J].海洋科学,2001,25(4): 1-4.
- [12] WINFREE R A, STICKNEY R R. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*[J]. J Nutr, 1981, 111(6): 1001-1012.
- [13] 周成东,李海洋,何吉祥.玉米蛋白粉替代鱼粉对罗氏沼虾表观消化率和蛋白酶活性的影响[J].畜牧与饲料科学,2010,31(5): 50-52.
- [14] 沈南南,李纯厚,贾小平,等.小球藻与芽孢杆菌对对虾养殖水质调控作用的研究[J].海洋水产研究,2008,29(2): 48-52.
- [15] 邱德全,杨世平.对虾高密度养殖水体中有机物含量的变化[J].水产科学,2005,24(10): 12-14.
- [16] 欧阳喆,丁玉庭,雷中芸,等.颗粒饲料的水中保形和致腐性评价研究[J].饲料工业,2005,26(24): 29-34.
- [17] 孙舰军,丁美丽.氨氮对中国对虾抗病力的影响[J].海洋与湖沼,1999,30(3): 267-272.
- [18] 孙国铭,汤建华,仲霞铭.氨氮和亚硝酸盐对南美白对虾的毒性研究[J].水产养殖,2002(1): 22-24.
- [19] 曾祥玲,王安利.凡纳对虾育苗水中氨氮和亚硝酸盐氮的变化及对幼体的影响[J].科学技术与工程,2006,6(16): 2433-2437.
- [20] 李松青,林小涛,李卓佳,等.摄食对凡纳滨对虾耗氧率和氮、磷排放率的影响[J].热带海洋学报,2006,25(2): 44-48.
- [21] SCHMITT A S C, SANTOS E A. Ammonia-nefflux rate and nutritional state of juvenile pink shrimp, *Penaeus paulensis* (Perez-Farfante), in relation to food type[J]. Aquac Res, 1998, 29(7): 495-502.
- [22] 李爱杰.水产动物营养与饲料学[M].北京:中国农业出版社,1996: 56-58.
- [23] 彭聪聪,李卓佳,曹煜成,等.虾池浮游微藻与养殖水环境调控的研究概况[J].南方水产,2010,6(5): 74-80.
- [24] 杨世勇,黄代伟,杜宗君,等.浸泡对浮性饲料粗蛋白含量及水质的影响[J].水产科学,2011,30(5): 295-297.
- [25] HARI B, MADHUSOODANA K B, VARGHESE J T, et al. The effects of carbohydrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems[J]. Aquaculture, 2006, 252(2): 248-263.
- [26] CHO C Y, BUREAU D P. Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feed and feeding[J]. Prog Fish-Cult, 1997, 59(2): 155-160.