

小球藻藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾 生长性能和氮磷排放的影响

何亚丁, 华雪铭*, 孔 纯, 吴 钊, 陈晓明, 朱伟星, 焦建刚, 周志刚
(上海海洋大学农业部水产种质资源与利用重点开放实验室, 上海 201306)

摘要: 为探究小球藻藻渣替代凡纳滨对虾饲料中的豆粕对其生长性能及氮磷排放的影响, 实验设计 6 种等氮等能饲料: 使用 6%、11%、16%、21% (A1、A2、A3、A4 组) 的藻渣分别替代饲料中 5.5%、10.0%、14.5%、19.0% 的豆粕, 使用 8% 的藻渣替代饲料中 5.1% 的鱼粉 (B 组) 和不使用藻渣的对照组。用上述 6 种饲料饲喂初始体质量为 (5.02 ± 0.73) g 的凡纳滨对虾 45 d。结果发现, 存活率 A3 组显著低于对照组; 增重率和特定生长率 A2 组和 A4 组与对照组差异不显著, 其他各组显著低于对照组; 饲料系数 A3 组显著高于对照组, 其他各组无显著性差异; 蛋白质效率 A3 组最低, B 组其次, 其他四组无显著性差异。肌肉鲜样中蛋白质含量组间无显著性差异; 对照组总磷含量最低, A4 组最高。肌肉总氨基酸和总必需氨基酸呈现先上升后下降的趋势, A2 组含量最高; 总非必需氨基酸 A1、A2 和 A4 组显著高于对照组, 其他组与对照组无显著性差异。肠道中, 除 A1 组外, 其他各组蛋白酶活力显著低于对照组; 脂肪酶 A2 组显著高于对照组; 淀粉酶 A4 组显著低于对照组。肝胰脏中, 蛋白酶活力 A1 组最低, 其他组与对照组差异不显著; 5 个实验组脂肪酶活力均显著高于对照组, 且 A3 组最高; 淀粉酶除 A3 组外, 其他各组显著低于对照组。耗氧率各组间差异不显著; 排氮率呈先上升后下降的趋势, A3 组最高。各替代组排放率均不高于对照组; 氮排放率 A3 最高, 其他组均不高于对照组。研究表明, 小球藻藻渣可以部分替代凡纳滨对虾饲料中的豆粕, 当其用量为 11% 时, 可使豆粕的用量从 19.0% 降至 10.0% 而不影响凡纳滨对虾的生长和氮排放, 并降低磷排放。

关键词: 凡纳滨对虾; 藻渣; 豆粕; 鱼粉; 替代

中图分类号: S 963

文献标志码: A

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 俗称南美白对虾, 属节肢动物门 (Arthropoda), 甲壳纲 (Crustacea), 十足目 (Decapoda), 对虾科 (Penaeidae), 对虾属 (*Penaeus*), 是广温、广盐性热带虾类。自然状态下栖息于水底, 入暮后活动频繁; 对环境适应能力较强, 高温的忍受极限可达 $43.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1]。该虾肉质鲜美、单位产量高, 是我国目前最主要的养殖对象之一。研究表明, 凡纳滨对虾对蛋白质有较高的需求量, 其成虾饲料最适蛋白水平为 35%~40%, 幼虾饲料的蛋白需求比成虾更高, 约 42.37%~44.12%^[2-5]。

使用优质鱼粉是满足凡纳滨对虾高蛋白需求的主要方法。据报道, 全球渔获量的 35% 被用来作为生产鱼粉^[6], 按照目前的速度消耗, 鱼粉资源将无法继续满足日益增长的水产养殖需求。因此, 一些研究者已经致力于用其他蛋白源替代鱼粉的研究^[7-9], 其中应用最多的属豆粕, 它具有消化吸收率高、资源丰富等特点。但近年来, 由于大豆价格继续大幅上涨, 豆粕价格也不断提升, 同时, 豆粕也存在多种影响水产动物生长和代谢的抗营养因子^[10], 因此, 寻找新的廉价蛋白源替代豆粕将成为必然趋势。

收稿日期: 2014-03-24 修回日期: 2014-04-21

资助项目: 国家海洋局专项 (SHME2011SW02); 上海高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种中心 (ZF1206)

通信作者: 华雪铭, E-mail: xmhua@shou.edu.cn

微藻是全球最大的再生能源之一,其中小球藻(*Chlorella* sp.)、葡萄藻(*Botryococcus*)、三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)、杜氏盐藻(*Dunaliella primolecta*)因含油量高、易于培养、单位面积产量大等特点,被选为制作生物柴油的重要品种^[11]。同时,小球藻因本身富含多种氨基酸等营养成分,也被用作优质的食品保健品和饲料蛋白源。生产上提取生物柴油后的小球藻被称作小球藻副产品或小球藻藻渣。经前期研究发现,这些藻渣依然保留着小球藻原有的各种氨基酸(如色氨酸和呈味氨基酸等)、维生素、矿物质和多种生长因子等^[11],仍具备优良饲料原料的特点。因此,本实验探讨小球藻藻渣在凡纳滨对虾

饲料中替代豆粕对其生长性能和氮磷排泄等营养生理反应的影响,并比较藻渣替代豆粕和鱼粉的效果差异,为增加小球藻产品附加值、开发饲料原料和降低饲料成本提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验设计与饲料

所用藻渣为小球藻粉(购自中国台湾)提取生物柴油后的副产品,其概略养分分别为干物质 92.86%、粗蛋白 49.22%、粗脂肪 7.37%、粗纤维 5.86%、无氮浸出物 13.37%、钙 0.4% 和总磷 1.4%。对比其营养组成,发现藻渣的成分与豆粕接近,故本实验设计6组等氮等能的饲料(表1):

表 1 实验饲料组成及营养水平(风干基础)
Tab.1 Composition and nutrient levels of basal diets(air dry basis) %

原料 ingredients	饲料 diets					
	对照组 control	A1	A2	A3	A4	B
鱼粉 fish meal	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	24.6
肉骨粉 meat and bone meal	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
大豆粕 soybean meal	19.0	13.5	9.0	4.5	0.0	19.0
花生粕 peanut meal	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
干啤酒酵母 beer yeast	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
面粉 wheat flour	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	21.6
乌贼粉 squid meal	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
虾壳粉 shrimp shell meal	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
鱼油 fish oil	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
磷脂油 phospholipids oil	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
复合多维 ¹ compound vitamins	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
复合多矿 ² compound minerals	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
小球藻藻渣 ³ <i>C. vulgaris</i> Co-products	0.0	6.0	11.0	16.0	21.0	8.0
营养水平 nutrient levels						
粗蛋白 crude protein	42.49	42.46	42.46	42.47	42.47	42.46
粗脂肪 crude fat	6.30	6.62	6.89	7.16	7.43	6.57
钙 Ca	1.84	1.84	1.84	1.85	1.85	1.66
磷 P	1.47	1.52	1.56	1.59	1.63	1.42
赖氨酸 Lys	2.47	2.46	2.46	2.46	2.46	2.42
蛋氨酸 Met	0.71	0.74	0.76	0.77	0.79	0.71
粗纤维 crude fiber	2.65	2.79	2.91	3.02	3.14	3.01
总能 gross energy/(MJ/kg)	17.72	17.66	17.61	17.56	17.52	17.64
粗灰分 crude ash	7.12	7.70	8.18	8.66	9.15	7.59
无氮浸出物 nitrogen-free extract	27.58	26.39	25.38	24.35	23.33	26.15
钾 K	0.89	0.94	0.99	1.04	1.09	1.07

注:1. 复合多维,2. 复合多矿;均来自于上海市农好饲料有限公司。3. 藻渣:为小球藻粉(购自中国台湾)提取生物柴油后的副产品。每 10 g 小球藻粉中加入 0.7 g KOH 和 30 mL 甲醇,经过超声波辅助提取,静置、过滤、萃取和蒸馏得到生物柴油,剩余成分即为藻渣
Notes:1,2. Compound vitamins and compound minerals were obtained from Nonghao Ltd. 3. Co-products:It was the remnant of *Chlorella*(from Taiwan China) after extracted biodiesel. The steps are as follows: firstly, 10 g *C. vulgaris* was added to reaction bulb with 0.7 g KOH and 30 mL methanol; then, it was processed by ultrasonic wave catalysis; finally, biodiesel and co-products samples were detached through standing culture, filtration and extractive distillation

用 6%、11%、16%、21% 的藻渣分别替代饲料中 5.5%、10.0%、14.5%、19.0% 的豆粕(简称 A1 组、A2 组、A3 组、A4 组),用 8% 的藻渣替代饲料中 5.1% 的鱼粉(简称 B 组),以不含有藻渣的饲料为对照组。用上述 6 种饲料分别饲喂 6 组凡纳滨对虾,每组 4 个重复,每个重复 60 尾。饲料原料按照配方设计制成粒径为 1.5 mm 的颗粒料,晾干备用。

1.2 实验动物与饲养管理

实验在上海市惠南镇上海海洋大学滨海实验基地养殖池内进行,共设 24 个养殖单元(2 m × 1 m × 1 m),消毒后直接使用。实验所用凡纳滨对虾初始体质量为(5.02 ± 0.73) g。用对照组饲料暂养一周,待适应养殖环境后,开始正式实验。实验期间,每天投喂 3 次(06:00、18:00、23:00),直接投撒至网箱中,投喂量为体质量的 3%~5%,随着虾体质量及摄食状况加以调整,且无天然饵料补充。实验期间用水为过滤池塘水,保持养殖的网箱水深在 60~70 cm,温度为 27~35 ℃;24 h 连续充气,氨氮(NH₄⁺-N) < 0.3 mg/L,溶解氧(DO) > 5 mg/L。实验期为 45 d。

1.3 样品采集

实验期结束后,用一次性注射器从虾头胸部背而后端的围心室内取血淋巴,4 ℃ 静置 6 h 后,4 000 r/min、4 ℃ 离心 10 min,取血清;无菌条件下取肝胰脏、肌肉和肠道(经生理盐水冲洗,去除内容物),-20 ℃ 保存待测。

1.4 指标测定

生长性能测定 实验期结束后捞出网箱中虾,计数称重,并计算成活率、增重率及特定生长率。计算方法如下:

成活率(survival rate, SR, %) = $100 \times N_t / N_0$;

增重率(weight gain rate, WGR, %) = $100 \times (W_t - W_0) / W_0$;

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$;

摄食率(feeding rate, FR, %) = $100 \times \text{总投饵量} / [t \times (W_t + W_0) / 2]$;

饲料系数(feed coefficient ratio, FCR) = 总投饵量 / (终末总重 - 初始总重 + 死亡总重)

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %) = $100 \times (\text{终末总重} - \text{初始总重}) / (\text{总投}$

饵量 × 饲料蛋白质含量)。

式中, N_t (尾)和 N_0 (尾)分别为实验末期和初期虾的存活数; W_t (g)、 W_0 (g)分别为实验末期和初期的平均体质量; t (d)为实验周期。

肌肉组成 肌肉制成风干样,在(105 ± 2) ℃ 条件下烘至恒重,按 GB 6435 - 86 方法测量水分含量;粗蛋白按 GB/T 6432 - 94 方法用凯氏定氮仪测定;饲料粗脂肪采用氯仿甲醇法测定^[12];粗灰分按 GB/T 6438 - 92 方法测定;钙和磷分别用 GB/T 6436 - 92 高锰酸钾法测定和 GB/T 6437 - 92 分光光度法测定;肌肉氨基酸经盐酸水解后采用氨基酸分析仪(Model S7130, Sykna)测定其含量(GB/T 18246 - 2000)。

蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力 肝胰脏和肠道内蛋白酶活力采用福林酚法^[13]。酶活力定义:每毫克蛋白在 40 ℃ 下每分钟水解酪蛋白产生 1 μg 酪氨酸,定义为 1 个蛋白酶活力(U/mg prot)。淀粉酶的活性采用碘-淀粉比色法测定,酶活力定义:每毫克蛋白在 37 ℃ 与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活力单位(U/mg prot)。脂肪酶使用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒,酶活力定义:37 ℃ 条件下,每毫克蛋白在本反应体系中与底物反应 1 分钟,每消耗 1 μmol 底物为一个酶活力单位(U/mg prot)。采用全自动生化分析仪测定所有样品中酶蛋白含量。

耗氧率和排氨率 养殖实验结束后从每个实验组中随机捞取 15 尾虾,平均放入 3 个 5 000 mL 注满水的三角烧瓶中,实验采用饥饿状态下虾类活动空间受到限制条件下测得的耗氧率和排氨率作为基础代谢基准,并以不放入凡纳滨对虾的满水三角烧瓶作为空白组。实验过程中,瓶口均用保鲜膜封严,温度保持在 27 ℃ 左右,持续进行 2 h。实验结束后分别用溶氧仪、纳氏试剂比色法测定水体中的溶解氧含量和氨氮含量(HJ 535 - 2009),用电子天平称量虾体湿重(精确至 0.001 g),并计算耗氧率[mg/(g · h)]和排氨率[mg/(g · h)]^[14-15]。

耗氧率计算公式:

$$\text{耗氧率} = \frac{(C_0 - C_1) \times V}{W \times T}$$

式中, C_0 为实验结束时空白组水中的溶解氧浓度

(mg/L); C_1 为实验结束时实验组水样中溶解氧浓度(mg/L); V 为水样的体积(L); W 为实验对虾的体质量(g); T 为实验持续的时间(h)。

排氮率计算公式:

排氮率 =
$$\frac{(N_1 - N_0) \times V}{W \times T}$$

式中, N_0 为实验结束时空白组水样中氨氮的浓度(mg/L); N_1 为实验结束时实验组水样中氨氮的浓度(mg/L); V 为水样的体积(L); W 为实验对虾的体质量(g); T 为实验持续的时间(h)。

饲料环境安全评价 氮排放率(NRL)和磷排放率(PLR)根据 GBT 23309-2009 测定。

$$NLR = 100 \times [1 - (F_N - I_N) / (FI * D_N)]$$

$$PLR = 100 \times [1 - (F_P - I_P) / (FI * D_P)]$$

式中, FI (g)为总摄食量; F_N (g)为终末虾体含氮的质量; I_N (g)为初始虾体含氮的质量; D_N (%)为饲料中氮的含量; F_P (g)为终末虾体含磷的质量; I_P (g)为初始虾体含磷的质量; D_P (%)为饲料中磷的含量。

1.5 数据处理

实验数据以平均数 ± 标准差(mean ± SD)形式表示。利用 SPSS 17.0 软件对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA, LSD),差异显著时再进行 Duncan 多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾生长性能的影响

与对照组相比,A3 组存活率最低,为 38.34% ($P < 0.05$),其他各组间无显著性差异($P > 0.05$)。增重率和特定生长率 A2 组和 A4 组与对照组差异不显著($P > 0.05$),其他各组显著低于对照组($P < 0.05$)(表 2)。摄食率各组间无显著性差异($P > 0.05$);饲料系数 A3 组显著高于对照组,其他各组间无显著性差异;蛋白质效率 A3 组显著低于对照组,其他组与对照组差异不显著($P > 0.05$)。

表 2 凡纳滨对虾的生长性能
Tab.2 Growth performance of *L. vannamei*

组别 group	存活率/% SR	增重率/% WGR	特定生长率/% SGR	摄食率/% FR	饲料系数 FCR	蛋白质效率/% PER
对照组	70.00 ± 14.14 ^b	81.03 ± 0.38 ^b	1.49 ± 0.01 ^b	3.97 ± 0.17	2.06 ± 0.04 ^a	1.24 ± 0.09 ^{bc}
A1	68.34 ± 16.50 ^b	34.46 ± 16.84 ^a	0.73 ± 0.31 ^a	3.94 ± 0.20	2.07 ± 0.12 ^a	1.33 ± 0.02 ^c
A2	65.84 ± 1.18 ^b	84.27 ± 0.50 ^b	1.53 ± 0.01 ^b	3.93 ± 0.14	1.90 ± 0.05 ^a	1.32 ± 0.00 ^c
A3	38.34 ± 4.72 ^a	30.73 ± 11.39 ^a	0.67 ± 0.22 ^a	3.82 ± 0.35	2.45 ± 0.08 ^b	1.05 ± 0.11 ^a
A4	64.17 ± 3.54 ^b	85.63 ± 1.61 ^b	1.55 ± 0.02 ^b	3.58 ± 0.32	1.89 ± 0.10 ^a	1.26 ± 0.04 ^{bc}
B	52.78 ± 9.18 ^{ab}	40.21 ± 12.57 ^a	0.84 ± 0.23 ^a	3.52 ± 0.26	2.12 ± 0.24 ^a	1.12 ± 0.07 ^{ab}

注:同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同字母表示差异显著($P < 0.05$),下表同
Notes:In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference($P > 0.05$), while different letter superscripts mean significant difference($P < 0.05$), same as below

2.2 藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾肌肉组成的影响

虾肌肉鲜样中的蛋白质含量各组间无显著性差异($P > 0.05$);与肌肉脂肪含量相比,A4 组最高($P < 0.05$),其他组与对照组无显著性差异($P > 0.05$);对照组中肌肉灰分含量最低,A4 组最高;钙含量各组间无显著性差异($P > 0.05$);总磷以对照组的含量最低,A4 组最高($P < 0.05$)(表 3)。

6 组虾肌肉中均检测出 10 种必需氨基酸。总氨基酸和总必需氨基酸呈现先上升后下降的趋势,A2 组含量最高;总非必需氨基酸 A1、A2 和 A4 组显著高于对照组($P < 0.05$),其他组与对照

组无显著性差异($P > 0.05$)。A3 组肌肉各氨基酸含量较其他组低($P < 0.05$)(表 4)。必需氨基酸中缬氨酸(Val)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)和精氨酸(Arg)的含量 A2 组最高,对照组和 A3 组最低($P < 0.05$);蛋氨酸(Met)含量 A3 组最低($P < 0.05$),其他组间无显著性差异($P > 0.05$)。非必需氨基酸中天冬氨酸(Asp)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、半胱氨酸(Cys)和酪氨酸(Tyr)的含量均是 A2 组最高,A3 组最低($P < 0.05$);丙氨酸(Ala)的变化趋势与缬氨酸一致;脯氨酸(Pro)含量 A1 与 A2 组最高,A3 组最低($P < 0.05$)。

表 3 凡纳滨对虾肌肉组成(鲜样%)
Tab.3 Muscle composition of *L. vannamei* %

组别 group	水分 moisture	蛋白 protein	脂肪 crude fat	灰分 crude ash	钙 calcium	总磷 phosphorus
对照组 control	75.77 ± 0.76	21.21 ± 0.43	1.15 ± 0.02 ^{ab}	1.24 ± 0.02 ^a	0.34 ± 0.01	0.43 ± 0.00 ^a
A1	73.37 ± 3.62	21.32 ± 0.36	1.17 ± 0.01 ^{ab}	1.32 ± 0.01 ^b	0.33 ± 0.01	0.51 ± 0.01 ^b
A2	73.74 ± 2.33	21.41 ± 0.06	1.23 ± 0.00 ^{ab}	1.31 ± 0.00 ^b	0.31 ± 0.02	0.49 ± 0.02 ^{bc}
A3	72.74 ± 6.78	20.81 ± 0.56	1.33 ± 0.19 ^b	1.31 ± 0.02 ^b	0.33 ± 0.13	0.53 ± 0.01 ^c
A4	71.31 ± 4.01	21.54 ± 0.52	1.55 ± 0.05 ^c	1.49 ± 0.04 ^c	0.33 ± 0.00	0.65 ± 0.01 ^d
B	75.34 ± 1.62	21.48 ± 0.61	1.07 ± 0.06 ^a	1.32 ± 0.00 ^b	0.38 ± 0.08	0.53 ± 0.02 ^c

表 4 肌肉氨基酸组成(干物质%)
Tab.4 Amino acid composition of *L. vannamei* in muscles %

氨基酸 amino acid	对照组 control	A1	A2	A3	A4	B
必需氨基酸 EAA						
缬氨酸 Val	0.44 ± 0.10 ^a	0.59 ± 0.01 ^{bc}	0.75 ± 0.11 ^d	0.44 ± 0.08 ^a	0.65 ± 0.15 ^c	0.55 ± 0.09 ^b
蛋氨酸 Met	0.27 ± 0.06 ^b	0.34 ± 0.16 ^b	0.34 ± 0.03 ^b	0.13 ± 0.10 ^a	0.33 ± 0.13 ^b	0.36 ± 0.06 ^b
异亮氨酸 Ile	0.35 ± 0.08 ^a	0.50 ± 0.04 ^{cd}	0.64 ± 0.09 ^e	0.38 ± 0.07 ^{ab}	0.57 ± 0.14 ^{de}	0.45 ± 0.06 ^{bc}
亮氨酸 Leu	1.25 ± 0.31 ^a	1.56 ± 0.05 ^b	1.91 ± 0.22 ^c	1.16 ± 0.15 ^a	1.67 ± 0.37 ^b	1.51 ± 0.14 ^b
苏氨酸 Thr	0.67 ± 0.17 ^a	0.87 ± 0.01 ^b	1.06 ± 0.11 ^c	0.63 ± 0.09 ^a	0.93 ± 0.21 ^b	0.81 ± 0.06 ^b
苯丙氨酸 Phe	0.86 ± 0.22 ^{ab}	0.99 ± 0.04 ^{bc}	1.18 ± 0.09 ^d	0.73 ± 0.09 ^a	1.02 ± 0.23 ^c	0.97 ± 0.04 ^{bc}
赖氨酸 Lys	1.44 ± 0.36 ^a	1.78 ± 0.08 ^b	2.18 ± 0.23 ^c	1.33 ± 0.17 ^a	1.87 ± 0.38 ^b	1.70 ± 0.15 ^b
组氨酸 His	0.42 ± 0.09 ^{ab}	0.51 ± 0.01 ^c	0.61 ± 0.07 ^d	0.38 ± 0.06 ^a	0.53 ± 0.10 ^c	0.47 ± 0.04 ^{bc}
精氨酸 Arg	1.66 ± 0.47 ^a	2.08 ± 0.13 ^b	2.45 ± 0.29 ^c	1.66 ± 0.12 ^a	2.27 ± 0.45 ^{bc}	2.09 ± 0.15 ^b
ΣEAA *	7.34 ± 0.92 ^a	9.20 ± 0.21 ^b	11.11 ± 0.61 ^c	6.82 ± 0.46 ^a	9.82 ± 1.08 ^{bc}	8.88 ± 0.40 ^b
非必需氨基酸 NEAA						
天冬氨酸 Asp	2.14 ± 0.58 ^{ab}	2.50 ± 0.10 ^{bc}	2.99 ± 0.25 ^d	1.86 ± 0.22 ^a	2.60 ± 0.52 ^c	2.43 ± 0.22 ^{bc}
丝氨酸 Ser	0.79 ± 0.20 ^{ab}	0.94 ± 0.03 ^c	1.12 ± 0.10 ^d	0.70 ± 0.08 ^a	0.99 ± 0.23 ^c	0.92 ± 0.07 ^{bc}
谷氨酸 Glu	3.03 ± 0.76 ^{ab}	3.56 ± 0.15 ^c	4.25 ± 0.36 ^d	2.62 ± 0.32 ^a	3.71 ± 0.75 ^c	3.33 ± 0.37 ^{bc}
甘氨酸 Gly	1.43 ± 0.36 ^a	1.64 ± 0.13 ^{ab}	2.04 ± 0.26 ^c	1.55 ± 0.15 ^a	2.04 ± 0.27 ^c	1.83 ± 0.18 ^{bc}
丙氨酸 Ala	1.30 ± 0.30 ^a	1.53 ± 0.11 ^b	1.84 ± 0.19 ^c	1.13 ± 0.13 ^a	1.57 ± 0.26 ^b	1.56 ± 0.05 ^b
半胱氨酸 Cys	0.29 ± 0.07 ^b	0.33 ± 0.01 ^c	0.43 ± 0.04 ^d	0.24 ± 0.03 ^a	0.36 ± 0.01 ^c	0.34 ± 0.02 ^c
酪氨酸 Tyr	0.59 ± 0.13 ^b	0.69 ± 0.02 ^c	0.82 ± 0.07 ^d	0.50 ± 0.07 ^a	0.72 ± 0.15 ^c	0.67 ± 0.03 ^{bc}
脯氨酸 Pro	1.19 ± 0.34 ^b	1.51 ± 0.07 ^c	1.68 ± 0.25 ^c	0.76 ± 0.28 ^a	1.14 ± 0.60 ^b	1.21 ± 0.07 ^b
ΣNEAA *	10.73 ± 1.37 ^{ab}	12.68 ± 0.25 ^c	15.16 ± 0.51 ^d	9.33 ± 0.49 ^a	13.11 ± 1.39 ^c	12.28 ± 0.43 ^{bc}
ΣAA *	18.07 ± 2.29 ^a	21.89 ± 0.46 ^b	26.26 ± 1.11 ^c	16.15 ± 0.96 ^a	22.94 ± 2.48 ^b	21.16 ± 0.82 ^b

注: ΣEAA:总必需氨基酸(total essential amino acids); ΣNEAA:总非必需氨基酸(total nonessential amino acids); ΣAA:总氨基酸(total amino acids);同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Notes: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference($P>0.05$), while different letter superscripts mean significant difference($P<0.05$)

2.3 藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾肠道和肝胰脏酶活力的影响

肠道蛋白酶活力除 A1 组与对照组无显著性差异外,其他各组均显著低于对照组($P<0.05$);肠道脂肪酶 A2 组显著高于对照组($P<0.05$),其他各组与对照组差异不显著($P>0.05$);肠道淀粉酶对照组

显著高于 A4($P<0.05$),其他各组与对照组无显著性差异($P>0.05$)。肝胰脏蛋白酶活力 A1 组最低,其他组与对照组差异不显著($P>0.05$);5 个实验组肝胰脏脂肪酶活力均显著高于对照组, A3 组最高($P<0.05$);对照组肝胰脏淀粉酶与 A3 组无显著性差异($P>0.05$),显著高于其他各组($P<0.05$)。

表 5 肠道与肝胰脏中蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力
Tab.5 Protease activity, lipase activity and amylase activity in intestine and hepatopancreas U/(mg prot)

组别 group	肠道 intestine			肝胰脏 hepatopancreas		
	蛋白酶 protease	脂肪酶 lipase	淀粉酶 amylase	蛋白酶 protease	脂肪酶 lipase	淀粉酶 amylase
对照组	34.51 ± 4.33 ^c	0.33 ± 0.02 ^{ab}	2.37 ± 0.01 ^b	0.11 ± 0.00 ^{bc}	0.13 ± 0.03 ^a	1.31 ± 0.41 ^b
A1	35.78 ± 5.20 ^c	0.33 ± 0.02 ^{ab}	1.85 ± 0.02 ^{ab}	0.09 ± 0.01 ^a	0.21 ± 0.05 ^b	0.62 ± 0.01 ^a
A2	13.91 ± 4.01 ^a	0.50 ± 0.06 ^c	2.09 ± 0.56 ^{ab}	0.11 ± 0.02 ^{ab}	0.23 ± 0.03 ^b	0.77 ± 0.02 ^a
A3	24.15 ± 5.22 ^b	0.31 ± 0.03 ^{ab}	1.69 ± 0.09 ^{ab}	0.10 ± 0.01 ^{ab}	0.28 ± 0.01 ^c	1.03 ± 0.04 ^{ab}
A4	12.16 ± 0.26 ^a	0.41 ± 0.02 ^{bc}	1.57 ± 0.20 ^a	0.09 ± 0.01 ^{ab}	0.21 ± 0.08 ^b	0.65 ± 0.00 ^a
B	19.65 ± 0.89 ^{ab}	0.28 ± 0.06 ^a	1.65 ± 0.42 ^{ab}	0.12 ± 0.01 ^c	0.22 ± 0.01 ^b	0.68 ± 0.01 ^a

2.4 藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾耗氧率、排氮率、氮排放率和磷排放率的影响

藻渣替代饲料蛋白源对凡纳滨对虾的耗氧率影响不显著 ($P > 0.05$); 排氮率呈先上升后下降的趋势, A3 组最高(表 6)。A3 组氮排放率显著高于对照组, A2 和 A4 组显著低于对照组 ($P < 0.05$), 其他组与对照组无显著性差异 ($P > 0.05$); 磷排放率, A2 和 A4 组显著低于对照组 ($P < 0.05$), 其他组与对照组无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 6 藻渣替代饲料蛋白源对凡纳滨对虾的耗氧率、排氮率和氮磷排放的影响
Tab.6 Effect of replacing soybean or fish meal by co-product on respiration, nitrogen excretion, nitrogen loading rate and phosphorus loading rate of *L. vannamei*

组别 group	耗氧率/[mg/(g·h)] respiration	排氮率/[mg/(g·h)] excretion	氮排放率/% NLR	磷排放率/% PLR
对照组 control	0.21 ± 0.01	0.033 ± 0.003 ^a	82.34 ± 1.14 ^b	50.84 ± 3.89 ^{cd}
A1	0.22 ± 0.02	0.060 ± 0.006 ^c	82.42 ± 0.27 ^b	53.84 ± 0.73 ^d
A2	0.22 ± 0.02	0.054 ± 0.000 ^{bc}	76.53 ± 0.78 ^a	40.31 ± 4.20 ^{ab}
A3	0.21 ± 0.02	0.077 ± 0.001 ^d	89.22 ± 1.45 ^c	44.46 ± 3.96 ^{bc}
A4	0.22 ± 0.01	0.048 ± 0.000 ^b	78.50 ± 1.65 ^a	34.30 ± 0.17 ^a
B	0.23 ± 0.03	0.051 ± 0.002 ^b	84.80 ± 0.30 ^b	53.75 ± 0.93 ^d

3 讨论

3.1 藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾生长性能的影响

本实验使用小球藻去脂副产品—藻渣替代凡纳滨对虾饲料原料中的豆粕或鱼粉,在等氮等能条件下,存活率除 A3 组较低外,其他组均无显著性差异。养殖过程中观察到 A3 组水中生长了某些苔藓,可能是因为该组饲料氮排放较多,导致苔藓生长,并由此影响到虾的存活。总体而言,适宜含量的藻渣替代凡纳滨对虾饲料的豆粕不影响虾的存活和增重,但增重效果不明显,可能与整个养殖周期中阴雨天和高温天居多有关。蛋白质效率以 A1 和 A2 组最高,说明用适量的藻渣替代豆粕,虾对饲料中植物蛋白源的转化能力并没有降低。替代鱼粉组与对照组在蛋白质效率上虽无显著性差异,但微小的变化已造成虾的生长和存活率不同程度的下降,可能源于替代引起的赖氨酸(Lys)和半胱氨酸(Cys)等氨基酸含量的降低^[16-17]对实验虾造成的负面影响。部分替代鱼

粉的效果不如豆粕理想,在生长、存活和蛋白质效率等方面都有较为充分的体现。

3.2 藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾肌肉品质的影响

虾的营养品质主要取决于肌肉蛋白和脂肪的含量。通常水分含量高,蛋白质和脂肪比例降低,肌肉品质下降^[18]。而虾体蛋白主要由饲料中的蛋白经消化转变为肽和氨基酸等小分子被吸收后转化而来。因此饲料蛋白源的品质与消化吸收率是影响肌肉品质的主要因素。本实验结果显示,随着藻渣的替代量增加和鱼粉部分被替代,虾肌肉的水分、蛋白质和钙含量与对照组相比无显著变化;脂肪、总磷和灰分有上升趋势,总体平稳。说明凡纳滨对虾常规营养成分没有受到藻渣的显著影响。

本实验中,除 A3 组外,其余各组虾 10 种必需氨基酸含量均高于之前学者的研究结果^[19],且替代组的总氨基酸、必需氨基酸和非必需氨基酸含量均高于对照组。各组虾肌肉的赖氨酸含量也都较高,约 1.70%;此外,亮氨酸、苏氨酸、苯丙氨酸和精氨酸等必需氨基酸都较丰富。由此说明,

藻渣替代饲料中的豆粕或鱼粉后,并不会降低虾肌肉的氨基酸含量。

研究发现,天门冬氨酸、甘氨酸、谷氨酸和丙氨酸能够影响人类对食物味道的辨别,被称为呈味氨基酸或鲜味氨基酸。藻渣替代豆粕或鱼粉后,除 A3 组外,这几种氨基酸都有增加的趋势。原因可能为与鱼粉或豆粕相比,小球藻中这几种呈味氨基酸含量更高^[20-21]。提取油脂后各氨基酸并没有受到较大的破坏,仍保留较高的含量。

3.3 藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾消化酶活性的影响

消化酶活性变化可以体现虾不同营养状况下的生理反应^[2]。研究发现花生粕替代鱼粉超过 20% 后会造成凡纳滨对虾肝胰脏蛋白酶和脂肪酶的活力显著下降^[22];曹俊明等^[23]用蝇蛆粉作为蛋白源替代鱼粉,并没有显著提高消化酶酶活。本实验中藻渣替代少量的豆粕不影响肠道蛋白酶的分泌能力,超过一定量则会降低这种能力。有研究表明,虾的蛋白酶在偏酸性条件下活性较高^[24],经过 KOH 处理的藻渣饲料进入肠道时,可能因为钾离子和酸碱度的变化引起蛋白酶分泌的变化。随着饲料中藻渣替代豆粕比例增加,脂肪含量逐渐升高,肝胰脏脂肪代谢增强,脂肪酶的活力也随之增强。刘立鹤等^[25]研究认为,在一定范围内,随着饲料中淀粉含量的升高,甲壳动物淀粉酶活性升高。多数学者认为对虾饲料中淀粉适宜含量为 20%~26%。因此本实验中,随着饲料中无氮浸出物含量的降低,肝胰脏和肠道中淀粉酶活力也呈现下降的趋势。

3.4 藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾耗氧率和排氨率的影响

呼吸和排泄是呈现机体新陈代谢强度的两种最基本最重要的方式,在水产动物中常用耗氧率和排氨率衡量呼吸和排泄强度^[26]。研究发现,温度^[27]、盐度^[14,28]和摄食^[26]都能显著影响凡纳滨对虾耗氧率。申玉春等^[29]研究了盐度、营养交互作用对凡纳滨对虾耗氧率的影响,结果表明在相同盐度下,随着饲料蛋白质水平的升高,耗氧率呈现降低趋势。Taboada 等^[30]的研究却发现,若饲料中蛋白水平高于或低于虾的营养需求,耗氧率均会显著升高。因此耗氧率能够准确反映凡纳滨对虾对饲料蛋白的需求量。本实验结果发现,藻渣替代豆粕或鱼粉后,虾的耗氧率没有显著变化,说明在虾的生长过程中,消耗的总能量没有因为饲料组成的变化而变化。

虾、蟹等甲壳类动物的蛋白质代谢主要以氨的形式排出体外,同时还含有一定量的尿素和尿酸。凡纳滨对虾氮的排泄中 61.9%~84.3% 为氨氮^[31-32],因此,氨氮排泄状况直接反映蛋白质的代谢作用。代谢底物中的氮排泄物增加表示蛋白质作为能源物质消耗的比例增大^[33]。本实验中各替代组的排氨率均高于对照组,说明用藻渣替代后的饲料组,虾体内的蛋白质代谢增强,从而有更多的蛋白质作为能源物质而被消耗。与豆粕或鱼粉蛋白相比较,藻渣蛋白质中的亮氨酸、苏氨酸、苯丙氨酸和精氨酸含量较高,氨基酸平衡性较差,由此可能造成氮的代谢增强。与此同时,在耗氧率不变即虾所消耗的总能量保持不变的情况下,结合消化酶分泌特点,推测藻渣替代豆粕或鱼粉后脂肪能量代谢升高,糖类能量代谢降低。因此,可以认为小球藻藻渣替代豆粕或鱼粉不同程度地改变了能源物质的供能结构。

3.5 藻渣替代豆粕对凡纳滨对虾氮磷排放率的影响

氮磷排放主要是指水生动物的外源性排泄,即食物源性排泄。从饲料中摄取的蛋白质主要通过排粪和排氨的方式排出体外,其中粪便中的氮主要源于饲料中未被吸收的氮。与氨排泄相似,饲料中的氨基酸不平衡或不能满足虾类的需要,也会引起粪氮的增加^[34]。藻渣替代豆粕后,尽管虾体蛋白质代谢增强,排氨率增加,但随着虾摄食和蛋白质消化吸收的下降,粪氮排放亦可能下降,随之氮排放率呈现不变或下降。

鱼粉等动物性饲料原料的磷元素多为有效磷,植物性饲料原料中的磷元素常以植酸磷的形式存在而无法被利用,随粪便排出体外。小球藻中的磷主要以核酸磷等形式存在,可以被水产动物吸收利用。因此,在本实验中,随着藻渣对豆粕替代量的增加,磷排放有降低趋势,说明藻渣能够很好地替代豆粕;替代鱼粉组,因饲料总磷含量没有变化,结合磷在肌肉中的含量变化和磷排放,认为藻渣少量替代鱼粉不会显著降低凡纳滨对虾对磷的利用。

4 结论

在本实验条件下,结合凡纳滨对虾的生长性能和氮磷排放的结果,认为小球藻藻渣可以部分替代凡纳滨对虾饲料中的豆粕;其在饲料中的适宜用量在 11% 左右,可以使豆粕的用量从 19.0%

降至 10.0%。

参考文献:

- [1] Zhang W Q. The world's major aquaculture species——biological introduction to *Penaeus vannamei* [J]. Marine Science, 1990 (3): 69 – 73. [张伟权. 世界重要养殖品种——南美白对虾生物学简介. 海洋科学, 1990(3): 69 – 73.]
- [2] Le M G, Klein B, Sellos D, et al. Adaptation of trypsin, chymotrypsin and α -amylase to casein level and protein source in *Penaeus vannamei* (Crustacea Decapoda) [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1997, 208(1): 107 – 125.
- [3] Sheen J. Feedback control of gene expression [J]. Photosynthesis Research, 1994, 39(3): 427 – 438.
- [4] Shiau S Y, Chou B S. Effects of dietary protein and energy on growth performance of tiger shrimp *Penaeus monodon* reared in seawater [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1991, 57(12): 2271 – 2276.
- [5] Li G L, Zhu C H, Zhou Q C. Effect of dietary protein level on the growth of *Penaeus vannamei* [J]. Marine Science, 2001, 25(4): 1 – 4. [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. 海洋科学, 2001, 25(4): 1 – 4.]
- [6] Zhou Q C, Mai K S, Liu Y J, et al. Advances in animal and plant protein sources in places of fish meal [J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(3): 404 – 410. [周歧存, 麦康森, 刘永坚, 等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展. 水产学报, 2005, 29(3): 404 – 410.]
- [7] Millamena O M. Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper (*Epinephelus coioides*) [J]. Aquaculture, 2002, 204(1): 75 – 84.
- [8] Sanz A, Morales A E, Higuera D M, et al. Sunflower meal compared with soybean meals as partial substitutes for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: protein and energy utilization [J]. Aquaculture, 1994, 128(3): 287 – 300.
- [9] Smith L L, Lee P G, Lawrence A L, et al. Growth and digestibility by three sizes of *Penaeus vannamei* Boone; Effects of dietary protein level and protein source [J]. Aquaculture, 1985, 46(2): 85 – 96.
- [10] Francis G, Makkar H P, Becker K. Anti-nutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish [J]. Aquaculture, 2001, 199(3): 197 – 227.
- [11] Xia J L, Wan M X, Wang R M, et al. Current status and progress of microalgal biodiesel [J]. China Biotechnology, 2009, 572(8524): 52 – 57. [夏金兰, 万民熙, 王润民, 等. 微藻生物柴油的现状与进展. 中国生物工程杂志, 2009, 572(8524): 52 – 57.]
- [12] Fox J M, Lawrence A L, Li C E. Dietary requirement for lysine by juvenile *Penaeus vannamei* using intact and free amino acid sources [J]. Aquaculture, 1995, 131(3): 279 – 290.
- [13] Pan L Q, Wang K X. The experimental studies on activities of digestive enzyme in the larvae *Penaeus chinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 1997, 21(001): 26 – 31. [潘鲁青, 王克行. 中国对虾幼体消化酶活力的实验研究. 水产学报, 1997, 21(1): 26 – 31.]
- [14] Song X F, Liu P, Ge C Z. Interactive effects of temperature and salinity on oxygen consumption, ammonia-nitrogen excretion and phosphate excretion in *Litopenaeus vannamei* [J]. Fishery Modernization, 2009(2): 1 – 6. [宋协法, 刘鹏, 葛长宇. 温度, 盐度交互作用对凡纳滨对虾耗氧和氨氮, 磷排泄的影响. 渔业现代化, 2009(2): 1 – 6.]
- [15] Wang W N, Niu D H, Shang L X, et al. Effect of low temperature on oxygen consumption, ammonia-N excretion and Na^+/K^+ ATPase of *Macrobrachium nipponense* [J]. China Journal of Applied Environmental Biology, 2005, 10(5): 602 – 604. [王维娜, 牛东红, 商利新, 等. 低温对日本沼虾耗氧率, 排氨率和 Na^+/K^+ ATPase 比活力的影响. 应用与环境生物学报, 2005, 10(5): 602 – 604.]
- [16] Leng X J, Wang W L, Zhou H Q, et al. The use of various soybean products as partial substitute for fish meal in diets for *Penaeus vannamei* [J]. Freshwater Fisheries, 2006, 36(3): 47 – 49. [冷向军, 王文龙, 周洪琪, 等. 不同大豆产品替代鱼粉饲养南美白对虾的实验. 淡水渔业, 2006, 36(3): 47 – 49.]
- [17] Yang L S, Chen L S. Analysis of the contents of protein and amino acid in the powder of *Chlorella pyrenoidosa* and its nutritive value [J]. Subtropical Plant Science, 2003, 32(1): 36 – 38. [杨鹭生, 陈林水. 蛋白核小球藻粉的蛋白质, 氨基酸含量及营养价值评价. 亚热带植物科学, 2003, 32(1): 36 – 38.]
- [18] Lu G T, He X G, Gong S X, et al. The muscle quality evaluation of *Penaeus vannamei* [J]. Irrigation Fisheries, 2008, 28(4): 69 – 71. [卢光涛, 何绪刚, 龚世园, 等. 南美白对虾肌肉品质的评价. 水利渔业, 2008, 28(4): 69 – 71.]

- [19] Pan Y, Wang R C, Luo Y J. Analysis of the nutritive composition in muscle of marine cultured and fresh water cultured *Penaeus vannamei* [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2001, 31(6): 828 – 834. [潘英, 王如才, 罗永巨. 海水和淡水养殖南美白对虾肌肉营养成分的分析比较. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(6): 828 – 834.]
- [20] Lavens P, Sorgeloos P. Manual on the production and use of live food for aquaculture [M]. Food and Agriculture Organization. 1996: 31 – 35.
- [21] Pulz O, Gross W. Valuable products from biotechnology of microalgae [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2004, 65(6): 635 – 648.
- [22] Yang Q H, Tan B P, Dong X H, et al. Replacement of fish meal with peanut meal in diets for white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(10): 1733 – 1744. [杨奇慧, 谭北平, 董晓慧, 等. 凡纳滨对虾饲料中用花生粕替代鱼粉的研究. 动物营养学报, 2011, 23(10): 1733 – 1744.]
- [23] Chao J M, Yan J, Wang G X, et al. Effects of replacement of fish meal with housefly maggot meal on digestive enzymes, transaminases activities and hepatopancreas histological structure of *Litopenaeus vannamei* [J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(5): 72 – 79. [曹俊明, 严晶, 王国霞, 等. 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾消化酶, 转氨酶活性和肝胰腺组织结构的影响. 南方水产科学, 2012, 8(5): 72 – 79.]
- [24] Huang Y H, Wang G X, Liu X H, et al. Effects of temperature and pH on activities of digestive enzymes in *Penaeus vannamei* [J]. Journal of South China Agriculture University, 2008, 29(4): 87 – 90. [黄燕华, 王国霞, 刘襄河, 等. 温度和 pH 对南美白对虾主要消化酶活性的影响. 华南农业大学学报, 2008, 29(4): 87 – 90.]
- [25] Liu L H, Chen L Q, Zhou Y K, et al. Research on digestive enzymes of crustaceans [J]. Feed Industry, 2006, 27(18): 56 – 62. [刘立鹤, 陈立侨, 周永奎, 等. 甲壳动物消化酶的研究. 饲料工业, 2006, 27(18): 56 – 62.]
- [26] Li S Q, Lin X T, Li Z J, et al. Feeding of effects on metabolism of white Pacific shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2006, 25(2): 44 – 48. [李松青, 林小涛, 李卓佳, 等. 摄食对凡纳滨对虾耗氧率和氮, 磷排泄率的影响. 热带海洋学报, 2006, 25(2): 44 – 48.]
- [27] Ma H J, Zang W L, Cui Y. Effect of temperature on the instantaneous rate of oxygen consumption of *Litopenaeus vannamei* and the dissolved oxygen level [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2004, 13(1): 52 – 55. [马海娟, 臧维玲, 崔莹. 温度对南美白对虾瞬时耗氧速率与溶氧水平的影响. 上海水产大学学报, 2004, 13(1): 52 – 55.]
- [28] Yang J F. Effects of varying levels of potassium supplementation to the low salinity waters or diets on growth and physiological characteristics of shrimp, *Litopenaeus vannamei* Boone [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2011. [杨金芳. 添加钾离子对低盐度水体养殖凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 的生长与生理特性的影响. 湛江: 广东海洋大学, 2011.]
- [29] Shen Y C, Chen Z Z, Wu Z H, et al. Effects of salinity and nutrition on growth, respiration and excretion of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2011, 29(5): 111 – 118. [申玉春, 陈作洲, 吴灶和, 等. 盐度和营养对凡纳滨对虾生长, 耗氧率及排氮率的影响. 热带海洋学报, 2011, 29(5): 111 – 118.]
- [30] Taboada G, Gaxiola G, García T, et al. Oxygen consumption and ammonia-N excretion related to protein requirements for growth of white shrimp, *Penaeus setiferus* (L.), juveniles [J]. Aquaculture Research, 1998, 29(11): 823 – 833.
- [31] Jiang D, Lawrence A L, Neill W H, et al. Effects of temperature and salinity on nitrogenous excretion by *Litopenaeus vannamei* juveniles [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2000, 253(2): 193 – 209.
- [32] Zhang Y. Comparison of culture effect, discharge of nitrogen and phosphorous and environmental influence for three kinds of cages [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2012. [张耀. 三种模式网箱养鱼效果, 氮磷排放和对水质影响的比较. 武汉: 华中农业大学, 2012.]
- [33] Pan L Q. Effects of environment factors on osmoregulation and immune parameters of crustaceans [D]. Qingdao: China Ocean University, 2004. [潘鲁青. 环境因子对甲壳动物渗透调节与免疫力的影响. 青岛: 中国海洋大学, 2004.]
- [34] Li S Q. Studies on nitrogen and phosphorus budgets and environmental N&P loading of white shrimp (*Penaeus vannamei*) [D]. Guangzhou: Jinan University, 2003. [李松青. 南美白对虾的氮磷收支及养殖环境氮磷负荷的研究. 广州: 暨南大学, 2003.]

Effects of the replacement of soybean meal by co-products of *Chlorella* on *Litopenaeus vannamei* growth performance, nitrogen and phosphorus loading

HE Yading, HUA Xueming*, KONG Chun, WU Zhao, CHEN Xiaoming,
ZHU Weixing, JIAO Jiangang, ZHOU Zhigang

(Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: As the residue of defatted microalgae, *Chlorella* co-products were still rich in nutrient component. If the residue wasn't rationally utilized, it would not only become a waste of resources, but also cause environmental pollution. Some researchers are very conscious of the problems involved. Although they focused on protein content of the co-products, there was few detail to deal with it. This study researched on whether *Chlorella* co-products could replace soybean meal or fish meal in the diet of *Litopenaeus vannamei*. Six isonitrogenous and isoenergetic feeds were formulated and fed to white shrimp with initial weight (5.02 ± 0.73) g for 45 days. The feeds contained 0%, 6%, 11%, 16%, 21% co-products to replace soybean meal respectively; and contained 8% co-products to replace fish meal. The six feeds were also named control, A1, A2, A3, A4 and B groups respectively. The results showed that group A3 had lower survival rate compared with control. There were no significant differences in weight gain rate and specific growth rate among group A2, A4 and control. Feed Coefficient Ratio in group A3 was the lowest compared with other groups. Protein efficiency ratio in A3 was the lowest and group B was also lower than other groups. No significant differences were found in muscle protein contents among all groups, while total phosphorus contents in all replacement groups were higher than control, and group A4 was the highest. Total amino acids and total essential amino acids were first increased and then decreased, group A3 was the highest; total nonessential amino acids of control were lower than groups A1, A2 and A4. Protease activity of intestine in control was higher than other groups except group A1; but group A2 had higher lipase activity and group A4 had lower amylase activity of intestine. In hepatopancreas, group A1 had a lower protease activity, and no significant differences among other groups. Lipase activities of all groups were higher than the control, and the A3 was the highest. Amylase activities of all groups were lower than control except A3. There were no significant differences between any groups on respiration of shrimp. The trend of nitrogen excretion was first increased and then decreased, group A3 was the highest. Phosphorus loading rates in all replacement groups was not higher than control group; nitrogen loading rate in group A3 was the highest, and that in all other replacement groups was not higher than control group. It is concluded that in view of growth performance, and nitrogen and phosphorus loading, feed containing 10% co-products to replace soybean meal which decreased to 11% from 19% may suit *L. vannamei*.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; *Chlorella* co-products; soybean meal; fish meal; replacement

Corresponding author: HUA Xueming. E-mail: xmhua@shou.edu.cn