

芽孢杆菌对斑节对虾饲料表观消化率的影响

於叶兵^{1,2}, 江世贵¹, 林黑着¹, 黄建华¹, 温为庚¹, 周发林¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2. 上海水产大学 生命科学与技术学院, 上海 200090)

摘要:研究了斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 饲料中添加不同剂量的芽孢杆菌制剂 (*Bacillus* sp., 10^9 CFU/g) 对饲料干物质、粗蛋白、脂肪、磷、氨基酸和脂肪酸的表观消化率的影响。饲料 1 (对照组)、饲料 2、饲料 3、饲料 4、饲料 5 和饲料 6 中芽孢杆菌制剂的添加量分别为 0、1.0 g/kg、2.0 g/kg、3.0 g/kg、4.0 g/kg 和 5.0 g/kg 饲料。养殖实验在室外水泥池进行, 每池养虾 40 尾, 每组实验设 3 个重复。以 Y_2O_3 为指示剂, 添加量为 0.01%, 连续收集粪便 20 d。6 个实验组中, 对饲料中各营养素的表观消化率分别为: 干物质, 74.35%~77.89%; 粗蛋白, 87.29%~89.01%; 脂肪, 86.46%~89.67%; 磷, 35.83%~44.17%; 必需氨基酸, 93.01%~94.04%; 非必需氨基酸, 91.05%~92.42%; 饱和脂肪酸, 86.88%~89.95%; 单不饱和脂肪酸, 90.39%~93.40%; 多不饱和脂肪酸+高不饱和脂肪酸, 87.97%~91.32%。对照组的脂肪表观消化率高于饲料 2、饲料 5 和饲料 6 组, 但低于饲料 3 和饲料 4 组。饲料 3 组的脂肪和部分脂肪酸的表观消化率最高。对照组的干物质、粗蛋白、氨基酸和磷的表观消化率最低, 芽孢杆菌添加量在 1.0~3.0 g/kg 饲料范围内, 随着芽孢杆菌添加量的增加, 表观消化率逐渐上升, 饲料 4 组的表观消化率最高, 与其他组相比差异显著 ($P<0.05$), 添加量超过 3.0 g/kg 的各组, 随着芽孢杆菌添加量的增加, 表观消化率又逐渐下降。实验结果表明, 在饲料中添加适量的芽孢杆菌可以显著的提高干物质、粗蛋白、氨基酸和磷的表观消化率。[中国水产科学, 2007, 14(6): 919-925]

关键词: 芽孢杆菌; 斑节对虾; 营养素; 表观消化率

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2007)06-0919-07

微生态制剂是近年迅速发展起来的新型绿色添加剂, 它不但能改善养殖动物肠道微生物群落环境^[1]、增强消化酶活力^[2]、促进虾体生长^[3], 还能降低养殖环境中氨氮、亚硝酸盐等有害物质的含量, 减少养殖生产对水域环境造成的污染^[4]。同时, 由于其具有无毒副作用、无耐药性、无残留、生产成本低、应用效果显著等诸多特点, 深受广大养殖者的喜爱^[5]。芽孢杆菌能耐受饲料制粒过程中压力、温度和水分的变化^[6]。在饲料中添加芽孢杆菌, 能够促进斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 生长^[3]并增强其免疫力^[7], 提高凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)^[8]和异育银鲫 (*Allogynogenetic crucian carp*)^[9]饲料营养素的表观消化率。消化率是评定饲料营养价值的重要指标, 也是配制饲料的前提^[10]。使用消化率高的配合饲料是减少饲料物质对养殖水域环境污染、降低疾病发生率的有效途径之一^[8]。目前国内有关芽孢杆菌制剂对斑节对虾饲料表观消化率的影

响还未见报道。本研究拟探讨芽孢杆菌制剂对斑节对虾饲料干物质、粗蛋白、脂肪、磷、氨基酸和脂肪酸的表观消化率的影响, 以期对芽孢杆菌在斑节对虾饲料上的合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验用虾及实验条件

实验用斑节对虾购自三亚的养殖场, 正式实验前, 以基础饲料投喂, 每天饱食投喂 3 次, 投喂时间分别为 07:30、15:30、21:00, 使对虾逐渐适应实验饲料, 并且状态稳定。经过 7 d 暂养, 挑选健康且大小均匀的斑节对虾, 体质量 (11.5 ± 1.5) g, 于室外水泥池 (1 m×1 m×1 m) 分组进行实验, 每组饲料实验设 3 个重复, 每个重复养殖 40 尾虾。在水泥池上方 1.5 m 处遮盖黑色遮阳布。养殖用水为自然海水经沉淀和砂滤。采用流水养殖, 流量约 1.0 L/min, 保持连续充气。实验期间, 水温为 28.5~31.5 °C, 盐度 30, 溶

收稿日期: 2006-12-25; 修订日期: 2007-03-21.

基金项目: 农业结构调整项目 (06-05-01B).

作者简介: 於叶兵 (1980-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水产动物营养与饲料. E-mail: yuyebing2005@126.com

通讯作者: 江世贵. Tel: 020-84195176; E-mail: jiangsg@21cn.com

解氧 6.6~7.0 mg/L, 氨氮 0.3~0.5 mg/L。

1.2 实验饲料的配制

实验饲料 1、饲料 2、饲料 3、饲料 4、饲料 5 和饲料 6 中芽孢杆菌的添加量分别为 0、1.0 g/kg、2.0 g/kg、3.0 g/kg、4.0 g/kg 和 5.0 g/kg 基础饲料, 各组饲料中芽孢杆菌的添加量的差额以等量的麸皮替代。基础饲料组成见表 1。芽孢杆菌 (*Bacil-*

lus sp., 10^9 CFU/g) 为南海水产研究所饲料与健康养殖开发中心产品。以 Y_2O_3 为指示剂, 添加量为 0.01%。饲料原料粉混匀后加入 40% 自来水搅拌均匀, 制成粒径 2.0 mm 的颗粒, 晒干后于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存备用。营养成分以及氨基酸和脂肪酸组成分别见表 2、表 3 和表 4。

表 1 基础饲料成分组成
Tab.1 Composition of the basal diet

成分 Ingredients	质量分数 Content	%
秘鲁鱼粉 Peruvian fish meal	27.0	
豆粕 Extracted soybean meal	20.0	
花生粕 Peanut meal	28.0	
小麦麸皮 Wheat gluten	14.4	
虾头粉 Shrimp meal	5.0	
鱼油 Fish oil	3.0	
高稳维生素 C ^a Vitamin C	0.1	
混合维生素 ^b Vitamin premix	0.5	
混合矿物质 ^c Mineral premix	2.0	

注: ^a高稳维生素 C: 150 mg (Vc) /kg。

^b1 kg 混合维生素含: V_{B1} 5.0 g, V_{B2} 5.0 g, V_{B6} 4.0 g, V_{B12} 0.01 g, V_K 4.0 g, V_E 4.0 g, V_A 5.0 g, V_{D3} 4.8 g, V_{D5} 20.0 g, 泛酸钙 10.0 g, V_H 0.6 g, 叶酸 1.5 g, 肌醇 200.0 g, 纤维素 622.99 g。

^c100 g 混合矿物质含: $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ 12.287 g, 乳酸钙 47.424 g, $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ 4.203 g, K_2SO_4 16.383 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 1.078 g, 柠檬酸铁 3.826 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 4.419 g, $MnSO_4 \cdot H_2O$ 0.033 g, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.022 g, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.043 g, KIO_4 0.002 g, $NaCl$ 3.233 g, KCl 6.575 g。

Note: ^aStay V_c : 150 mg (Vc) /kg。

^b Containing as unit /1 kg vitamin mixture: thiamine 5.0 g, riboflavin 5.0 g, pyridoxine 4.0 g, vitamin B_{12} 0.01 g, menadione 4.0 g, tocopherol acetate 4.0 g, vitamin A 5.0 g, vitamin D_3 4.8 g, nicotinic acid 20.0 g, Ca-pantothenate 10.0 g, biotin 0.6 g, folic acid 1.5 g, inositol 200.0 g, cellulose 622.99 g。

^c Containing as unit /100 g mineral mixture: $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ 12.287 g, calcium lactate 47.424 g, $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ 4.203 g, K_2SO_4 16.383 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 1.078 g, ferric citrate 3.826 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 4.419 g, $MnSO_4 \cdot H_2O$ 0.033 g, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.022 g, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.043 g, KIO_4 0.002 g, $NaCl$ 3.233 g, KCl 6.575 g。

表 2 实验饲料芽孢杆菌添加量与饲料营养组成

Tab.2 *Bacillus* sp. addition and composition of the experimental diets

成分 Composition	饲料 1 Diet 1 (0)	饲料 2 Diet 2 (1)	饲料 3 Diet 3 (2)	饲料 4 Diet 4 (3)	饲料 5 Diet 5 (4)	饲料 6 Diet 6 (5)	%
水分 Moisture	9.40	8.50	8.70	9.50	9.50	9.20	
粗蛋白 Crude protein	40.30	40.10	40.60	39.70	40.20	40.20	
粗脂肪 Crude lipid	6.56	6.62	6.60	6.40	6.46	6.54	
磷 Phosphorus	1.58	1.50	1.50	1.48	1.55	1.66	

注: 括号中数值为芽孢杆菌添加量, 单位 g/kg。

Note: The values in brackets are *Bacillus* sp. addition with the unit of g/kg。

表 3 实验饲料氨基酸组成

Tab.3 Amino acid compositions of the experimental diets

% of total amino acids

氨基酸 Amino acid	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4	饲料 5 Diet 5	饲料 6 Diet 6
苏氨酸 Threonine	1.43	1.47	1.44	1.43	1.46	1.49
缬氨酸 Valine	2.30	2.37	2.32	2.32	2.35	2.40
蛋氨酸 Methionine	0.93	1.00	0.95	0.94	0.96	0.98
异亮氨酸 Isoleucine	1.95	2.01	1.98	1.96	2.00	2.02
亮氨酸 Leucine	3.31	3.35	3.34	3.31	3.39	3.44
苯丙氨酸 Phenylalanine	2.07	2.16	2.13	2.13	2.18	2.21
赖氨酸 Lysine	2.55	2.58	2.58	2.44	2.56	2.59
组氨酸 Histidine	0.96	0.94	0.94	0.86	0.89	0.90
精氨酸 Arginine	3.09	3.18	3.13	3.11	3.18	3.24
必需氨基酸 Essential amino acids	18.59	19.06	18.81	18.50	18.97	19.27
门冬氨酸 Aspartic acid	4.20	4.25	4.21	4.18	4.26	4.33
丝氨酸 Serine	1.39	1.48	1.46	1.43	1.50	1.53
谷氨酸 Glutamic acid	6.45	6.58	6.51	6.45	6.64	6.72
脯氨酸 Proline	1.88	1.95	1.90	1.89	1.93	1.99
甘氨酸 Glycine	2.60	2.63	2.62	2.6	2.66	2.71
丙氨酸 Alanine	2.34	2.39	2.37	2.35	2.40	2.44
胱氨酸 Cystine	0.18	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18
酪氨酸 Tyrosine	1.01	0.98	1.03	1.07	1.04	1.11
非必需氨基酸 Non-essential amino acids	20.05	20.44	20.27	20.15	20.61	21.01

表 4 实验饲料脂肪酸组成

Tab.4 Fatty acid compositions of the experimental diets

% of total lipid

脂肪酸 Fatty acid	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4	饲料 5 Diet 5	饲料 6 Diet 6
C _{12:00}	0.21	0.22	0.21	0.21	0.2	0.19
C _{14:00}	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
C _{16:00}	1.22	1.28	1.22	1.24	1.24	1.26
C _{18:00}	0.27	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26
饱和脂肪酸 $\sum$ Saturates	1.73	1.81	1.74	1.75	1.74	1.74
C _{16:01}	0.27	0.28	0.26	0.28	0.27	0.28
C _{18:01}	1.46	1.53	1.57	1.47	1.5	1.55
单不饱和脂肪酸 $\sum$ Monounsaturates	1.73	1.81	1.83	1.75	1.77	1.83
C _{18:02}	1.27	1.38	1.38	1.32	1.31	1.36
C _{18:03}	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
C _{20:05}	0.43	0.42	0.46	0.43	0.41	0.43
C _{22:06}	0.94	0.92	0.86	0.89	0.99	0.89
多不饱和脂肪酸 + 高度不饱和脂肪酸 $\sum$ (PUFA + HUFA)	3.44	3.52	3.5	3.44	3.51	3.48
总计 Total	6.90	7.14	7.07	6.94	7.02	7.05

注:饱和脂肪酸: C_{12:00}、C_{14:00}、C_{16:00}、C_{18:00}; 单不饱和脂肪酸: C_{16:01}、C_{18:01}; 多不饱和脂肪酸 + 高度不饱和脂肪酸: C_{18:02}、C_{18:03}、C_{20:05}、C_{22:06}。

Note: SFA: C_{12:00}, C_{14:00}, C_{16:00}, C_{18:00}; MUFA: C_{16:01}, C_{18:01}; PUFA + HUFA: C_{18:02}, C_{18:03}, C_{20:05}, C_{22:06}。

1.3 粪便的收集

粪便的收集采用虹吸法。在分组实验的第5天开始收集粪便。每天饱食投喂3次,投喂时间与暂养期间相同,在投饵0.5 h后清理未吃完的残饵和粪便。投饵1 h后收集粪便,用镊子挑选新鲜、外表带有包膜的完整粪便,蒸馏水小心洗涤并用滤纸吸干,立即-20 ℃冰冻保存。各池收集约15 g的粪便以供分析。

1.4 样品分析

将饲料和粪便用ALPHA1-4冷冻干燥机冷冻干燥。蛋白质采用凯氏定氮法,脂肪采用索氏抽提法,水解氨基酸用Hitachi Model 835-50分析仪,脂肪酸用GC-9A (SHINADZU, Japan)分析,磷用分光光度计分析,钼用原子吸收法分析,水分通过105 ℃烘干至恒重称量计算。

1.5 相关指标的计算公式

$$\text{干物质的表观消化率} = \left(1 - \frac{A}{a}\right) \times 100\%$$

$$\text{营养素的表观消化率} = \left(1 - \left(\frac{A}{a} \times \frac{b}{B}\right)\right) \times 100\%$$

式中:A:饲料中指示剂的含量

a:粪便中指示剂的含量

B:饲料中营养素的含量

b:粪便中营养素的含量

1.6 统计分析

数据统计分析采用SPSS 12.0软件处理,对数据作单因素方差分析(ANOVA),并进行Duncan's多重比较法分析组间的差异显著性($P < 0.05$),结果以平均值±标准差($\bar{X} \pm SD$)。

2 结果与分析

2.1 干物质和营养素的表观消化率

由表5可知,对照组的粗脂肪表观消化率与各实验组相比,不存在显著差异($P > 0.05$)。饲料3的脂肪表观消化率最高,但除了与饲料5、饲料6存在显著性差异外($P < 0.05$),与其他饲料组不存在显著差异($P > 0.05$)。随着饲料中芽孢杆菌添加量的增大,干物质、粗蛋白和磷的表观消化率均先上升后下降,饲料4即添加芽孢杆菌3.0 g/kg饲料时,上述3组表观消化率均最高($P < 0.05$),对照组的表观消化率最低,但与饲料2和饲料6之间不存在显著差异($P > 0.05$)。

表5 各实验组干物质、粗蛋白、粗脂肪和磷的表观消化率

Tab.5 Apparent digestibility coefficients of dry matter, crude protein, lipid and phosphorus of the test diets

$n = 3; \bar{X} \pm SD; \%$

饲料 Diet	干物质 Dry matter	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Lipid	磷 Phosphorus
1 (Cont)	74.35 ± 0.12 ^a	87.29 ± 0.28 ^a	87.94 ± 0.54 ^{ab}	35.83 ± 1.38 ^a
2	74.79 ± 0.18 ^a	87.51 ± 0.34 ^{ab}	87.79 ± 1.08 ^{ab}	35.87 ± 1.40 ^a
3	75.84 ± 0.27 ^b	88.06 ± 0.19 ^{bc}	89.69 ± 0.64 ^b	38.90 ± 2.59 ^{ab}
4	77.89 ± 0.39 ^c	89.01 ± 0.26 ^d	88.16 ± 1.06 ^{ab}	44.17 ± 1.96 ^c
5	75.53 ± 0.59 ^b	88.12 ± 0.35 ^c	86.46 ± 0.55 ^a	41.00 ± 2.26 ^{bc}
6	74.52 ± 0.43 ^a	87.49 ± 0.40 ^{ab}	87.48 ± 1.65 ^a	36.50 ± 1.71 ^a

注:同列数据上标字母不同者之间存在显著差异($P < 0.05$)。

Note: Values with different superscripts in the same columns are significantly different ($P < 0.05$).

2.2 氨基酸的表观消化率

由表6可知,氨基酸的表观消化率的变化趋势与粗蛋白质表观消化率相似,随着饲料中芽孢杆菌添加量的增加,氨基酸的表观消化率均先上升后下降。饲料4组中绝大部分氨基酸的表观消化率最高,并且与其他组相比差异显著($P < 0.05$)。各饲料组中所有氨基酸的表观消化率都超过85%,必需氨基酸总和的表观消化率大于非必需氨基酸总和的表观消化率。

2.3 脂肪酸的表观消化率

由表7可知,脂肪酸的表观消化率的变化趋势总体与粗脂肪表观消化率相似,但单个脂肪酸的消化率是变化的。除C_{12:00}和C_{16:00}外饲料3组中其余各脂肪酸的表观消化率均最高,而饲料5组中除了C_{18:03}外各脂肪酸的表观消化率最低。各组饲料所有的脂肪酸的消化率都超过85%。除饲料2组外,各组饲料脂肪酸表观消化率的排列顺序依高到低为MUFA、PUFA+HUFA、SFA。

表 6 各实验组氨基酸的表观消化率

Tab.6 Apparent digestibility coefficients of amino acids in different treatments $n = 3; \bar{X} \pm SD; \%$

氨基酸 Amino acids	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4	饲料 5 Diet 5	饲料 6 Diet 6
苏氨酸 Threonine	88.82 ± 0.0 ^a	89.44 ± 0.19 ^c	89.71 ± 0.08 ^c	90.70 ± 0.20 ^d	89.41 ± 0.20 ^{bc}	89.09 ± 0.25 ^{ab}
缬氨酸 Valine	89.41 ± 0.22 ^a	89.88 ± 0.19 ^{ab}	90.11 ± 0.17 ^b	91.13 ± 0.14 ^c	90.36 ± 0.40 ^b	89.83 ± 0.43 ^{ab}
蛋氨酸 Methionine	88.69 ± 0.38 ^a	89.51 ± 0.20 ^b	89.57 ± 0.10 ^b	90.71 ± 0.15 ^c	89.63 ± 0.16 ^b	89.49 ± 0.56 ^b
异亮氨酸 Isoleucine	89.86 ± 0.18 ^a	90.25 ± 0.21 ^{ab}	90.50 ± 0.22 ^b	91.60 ± 0.27 ^c	90.67 ± 0.33 ^b	89.98 ± 0.39 ^a
亮氨酸 Leucine	91.14 ± 0.22 ^a	91.20 ± 0.19 ^{ab}	91.54 ± 0.09 ^{bc}	92.45 ± 0.16 ^d	91.79 ± 0.26 ^c	91.21 ± 0.19 ^{ab}
苯丙氨酸 Phenylalanine	89.51 ± 0.26 ^a	89.92 ± 0.19 ^b	90.19 ± 0.11 ^{bc}	91.34 ± 0.15 ^c	90.82 ± 0.30 ^d	90.31 ± 0.07 ^c
赖氨酸 Lysine	92.46 ± 0.39 ^a	92.23 ± 0.18 ^a	92.69 ± 0.23 ^a	93.23 ± 0.27 ^b	93.43 ± 0.29 ^b	92.63 ± 0.31 ^a
组氨酸 Histidine	92.27 ± 0.51 ^b	92.29 ± 0.11 ^b	92.89 ± 0.35 ^{bc}	93.06 ± 0.16 ^c	92.75 ± 0.60 ^{bc}	90.84 ± 0.35 ^a
精氨酸 Arginine	93.72 ± 0.28 ^a	93.80 ± 0.13 ^a	93.98 ± 0.09 ^a	94.68 ± 0.10 ^c	94.34 ± 0.19 ^b	93.97 ± 0.03 ^a
必需氨基酸 Essential amino acids	93.01 ± 0.22 ^a	93.11 ± 0.13 ^{ab}	93.36 ± 0.10 ^b	94.04 ± 0.12 ^d	93.65 ± 0.20 ^c	93.15 ± 0.03 ^{ab}
门冬氨酸 Aspartic acid	90.72 ± 0.19 ^a	90.92 ± 0.17 ^{ab}	91.20 ± 0.10 ^{bc}	92.08 ± 0.10 ^d	91.42 ± 0.25 ^c	91.00 ± 0.25 ^{ab}
丝氨酸 Serine	89.55 ± 0.11 ^a	90.32 ± 0.15 ^b	90.76 ± 0.28 ^c	91.32 ± 0.24 ^d	89.66 ± 0.17 ^a	89.62 ± 0.15 ^a
谷氨酸 Glutamic acid	93.72 ± 0.13 ^a	93.92 ± 0.13 ^{ab}	94.12 ± 0.07 ^{bc}	94.70 ± 0.09 ^d	94.24 ± 0.20 ^c	93.95 ± 0.20 ^{ab}
脯氨酸 Proline	89.48 ± 0.42 ^a	89.84 ± 0.22 ^a	90.00 ± 0.14 ^{ab}	90.90 ± 0.10 ^c	90.71 ± 0.37 ^c	90.41 ± 0.39 ^{bc}
甘氨酸 Glycine	85.04 ± 0.17 ^a	85.46 ± 0.33 ^{ab}	85.92 ± 0.09 ^{bc}	87.27 ± 0.15 ^d	86.43 ± 0.71 ^c	85.52 ± 0.32 ^{ab}
丙氨酸 Alanine	89.17 ± 0.15 ^a	89.54 ± 0.23 ^{ab}	89.85 ± 0.11 ^{bc}	90.89 ± 0.05 ^d	90.05 ± 0.34 ^c	89.54 ± 0.30 ^{ab}
胱氨酸 Cystine	85.15 ± 0.36 ^a	86.33 ± 0.59 ^b	86.73 ± 0.63 ^b	87.79 ± 0.44 ^c	86.11 ± 0.35 ^b	86.69 ± 0.55 ^b
酪氨酸 Tyrosine	93.61 ± 0.59 ^a	93.89 ± 0.28 ^a	94.13 ± 0.16 ^a	95.03 ± 0.41 ^b	93.67 ± 0.21 ^a	94.21 ± 0.45 ^c
非必需氨基酸 Non-essential amino acids	91.05 ± 0.16 ^a	91.41 ± 0.17 ^{ab}	92.01 ± 0.66 ^c	92.42 ± 0.06 ^d	91.75 ± 0.24 ^{bc}	91.40 ± 0.22 ^{ab}

注:同行数据上标字母不同者之间存在显著差异 ($P < 0.05$).Note: Values with different superscripts in the same rows are significantly different ($P < 0.05$).

表 7 各实验组脂肪酸的表观消化率

Tab.7 Apparent digestibility coefficient of fatty acids of the different treatments $n = 3; \bar{X} \pm SD; \%$

脂肪酸 Fatty acid	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4	饲料 5 Diet 5	饲料 6 Diet 6
C _{12:00}	91.57 ± 0.64 ^b	92.83 ± 1.51 ^b	91.55 ± 1.53 ^b	92.67 ± 1.15 ^b	88.60 ± 1.19 ^a	91.42 ± 1.03 ^b
C _{14:00}	88.35 ± 1.20	87.83 ± 1.93	88.61 ± 1.05	88.13 ± 2.73	86.35 ± 3.62	88.32 ± 1.31
C _{16:00}	87.09 ± 1.52 ^{ab}	89.25 ± 2.24 ^b	88.39 ± 1.37 ^{ab}	86.72 ± 0.74 ^{ab}	85.89 ± 1.23 ^a	86.52 ± 0.49 ^a
C _{18:00}	88.32 ± 2.59	90.24 ± 3.02	90.25 ± 0.92	87.95 ± 0.71	87.67 ± 1.02	88.04 ± 2.47
C _{16:01}	88.02 ± 1.73	87.95 ± 2.49	89.32 ± 2.05	89.20 ± 1.09	86.73 ± 1.21	88.85 ± 1.81
C _{18:01}	91.90 ± 0.55 ^a	92.43 ± 1.59 ^{ab}	94.08 ± 0.67 ^b	91.77 ± 0.74 ^a	91.07 ± 1.31 ^a	91.85 ± 0.85 ^a
C _{18:02}	91.49 ± 0.52 ^{ab}	92.30 ± 2.04 ^{ab}	93.48 ± 0.97 ^b	91.95 ± 1.56 ^{ab}	90.51 ± 1.22 ^a	91.83 ± 1.03 ^{ab}
C _{18:03}	91.76 ± 2.10	88.84 ± 1.75	92.08 ± 2.85	91.96 ± 3.85	90.31 ± 3.86	90.75 ± 3.96
C _{20:05}	88.30 ± 0.75 ^a	89.45 ± 1.39 ^{ab}	92.07 ± 0.25 ^c	90.81 ± 1.44 ^{bc}	88.27 ± 1.68 ^a	88.72 ± 1.04 ^{ab}
C _{22:06}	85.96 ± 2.61 ^{ab}	82.24 ± 1.68 ^a	87.38 ± 0.48 ^b	84.79 ± 0.93 ^{ab}	84.27 ± 1.17 ^{ab}	85.26 ± 3.62 ^{ab}
SFA	88.41 ± 0.46 ^{ab}	88.90 ± 1.50 ^b	89.95 ± 0.66 ^b	88.64 ± 0.95 ^{ab}	86.88 ± 0.65 ^a	87.99 ± 1.48 ^{ab}
MUFA	91.29 ± 0.68 ^a	91.66 ± 1.58 ^{ab}	93.40 ± 0.49 ^b	91.36 ± 0.50 ^a	90.39 ± 1.25 ^a	91.39 ± 0.95 ^a
PUFA + HUFA	89.09 ± 1.31 ^{ab}	88.46 ± 1.13 ^a	91.32 ± 0.72 ^b	89.43 ± 1.23 ^{ab}	87.97 ± 0.87 ^a	89.20 ± 1.88 ^{ab}

注:同行数据上标字母不同者之间存在显著差异 ($P < 0.05$).Note: Values with different superscripts in the same rows are significantly different ($P < 0.05$).

3 讨论

在饲料中添加适量的芽孢杆菌制剂能够促进凡纳滨对虾的生长和提高消化酶活性^[11],提高饲料的消化率^[8]。本实验在饲料中添加芽孢杆菌在 0~3.0 g/kg 范围内时,随着饲料中芽孢杆菌含量的增加,干物质、粗蛋白、氨基酸和磷的表观消化率逐渐上升,可能是因为在饲料中添加适量的芽孢杆菌可以提高肠道有益菌的数量和改善肠道菌群平衡^[12],增强消化酶的活力^[11],从而提高饲料的消化吸收率。

刘波等^[9]的研究显示,随着饲料中芽孢杆菌添加量的逐渐增加,干物质、粗蛋白和磷的消化率均先上升后下降。这与本研究结果相似。添加芽孢杆菌 3.0 g/kg 时,干物质、粗蛋白、磷和氨基酸的表观消化率最高,而在 3.0~5.0 g/kg 范围内,随着添加量的增加,表观消化率又逐渐下降。推测其可能原因有两个:一是在正常情况下,动物肠道微生物种群及其数量处于一个动态的微生态平衡,饲料中添加芽孢杆菌过少,其在肠道内不容易定植、增殖,添加过多的芽孢杆菌又会使这种平衡被破坏,导致体内菌群比例失调^[13];二是本实验用的芽孢杆菌菌种,有学者研究表明其胞外产物具有较高的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活力^[14-16],过量的芽孢杆菌在对虾肠道产生过量的胞外产物,有可能影响机体内源酶活性或者抑制内源酶的分泌,从而整体上降低对营养物质的分解作用。王爱民等^[17]也发现在异育银鲫饲料中添加过量的外源酶会导致动物内源酶分泌降低,同时降低了饲料的表观消化率。

本实验中,饲料 3 的脂肪消化率最高,但与其他组相比,仅与饲料 5、饲料 6 存在显著性差异。脂肪酸的表观消化率的变化趋势与脂肪相似。有些脂肪酸的表观消化率在各饲料组间存在显著性差异而有些脂肪酸差异不显著。这可能是因为脂肪酶可能对某些脂肪酸的活性高而有些低,从而导致不同脂肪酸之间的消化吸收存在差异,另外脂肪酸的消化率受到脂肪链的长度、不饱和度、脂肪酸的含量与组成以及脂肪酸的熔点等诸多因素的影响^[18]。

本研究发现在饲料中添加不同量的芽孢杆菌能够对斑节对虾干物质、粗蛋白、氨基酸和磷的表观消化率产生显著影响。关于在饲料中添加不同剂量的芽孢杆菌后对斑节对虾肠道菌群的种群和数量的变化以及对对虾消化酶活性的影响则有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李卓佳,林亮,杨莺莺,等.芽孢杆菌制剂对凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 肠道微生物群落的影响[J].南方水产,2005,1(3):54-59.
- [2] 刘小刚,华雪铭,周洪琪,等.微生态制剂对异育银鲫消化酶活性的影响[J].水产学报,2002,26(5):448-452.
- [3] Rengpipat S, Phianphank W, Piyatiratitivorakul S, et al. Effects of a probiotic bacterium on black tiger shrimp *Penaeus monodon* survival and growth [J]. Aquaculture, 1998, 167 (3/4): 301-313.
- [4] 张庆,李卓佳,陈康德.复合微生物对养殖水体生态因子的影响[J].上海水产大学学报,1999,8(1):43-47.
- [5] 薛恒平,薛彦青.水产养殖同微生态及微生态之间关系初探[J].饲料工业,1997,18(2):23-26.
- [6] 李卓佳,杨莺莺,陈康德,等.几株有益芽孢杆菌对温度、制粒工艺及 pH 值的耐受性[J].湛江海洋大学学报,2003,23(6):16-20.
- [7] Rengpipat S, Rukpratanporn S, Piyatiratitivorakul S, et al. Immunity enhancement in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) by a probiont bacterium (*Bacillus S11*) [J]. Aquaculture, 2000, 191(4):271-288.
- [8] Lin H Z, Guo Z X, Yang Y Y, et al. Effect of dietary probiotics on apparent digestibility coefficients of nutrients of white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone [J]. Aquac Res, 2004, 35(15):1441-1447.
- [9] 刘波,刘文斌,王恬.地衣芽孢杆菌对异育银鲫消化机能和生长的影响[J].南京农业大学学报,2005,28(4):80-84.
- [10] 林仕梅,罗莉,叶元土.草鱼对 17 种饲料原料粗蛋白和粗脂肪的表观消化率[J].中国水产科学,2001,8(3):54-59.
- [11] 丁贤,李卓佳,陈永青,等.芽孢杆菌对凡纳对虾生长和消化酶活性的影响[J].中国水产科学,2004,11(6):580-584.
- [12] 王红宁,胡延秀,何明清,等.微生物添加剂饲喂鲤鱼肠道菌群的变化研究[J].四川农业大学学报,1994,12(增刊):654-657.
- [13] 华雪铭,周洪琪,邱小琮,等.饲料中添加芽孢杆菌和硒酵母对异育银鲫的生长及抗病力的影响[J].水产学报,2001,25(25):448-453.
- [14] 曹煜成,李卓佳,陈永青,等.地衣芽孢杆菌 De 株的胞外产物对凡纳滨对虾脂肪酶活性影响的体外实验[J].高技术通讯,2006,16(2):191-195.
- [15] 曹煜成,李卓佳,冯娟,等.地衣芽孢杆菌胞外产物消化活性的研究[J].热带海洋学报,2005,24(6):6-12.
- [16] 曹煜成,李卓佳,吴灶和,等.地衣芽孢杆菌胞外蛋白酶的纯化及特性分析[J].水生生物学报,2006,30(3):262-268.
- [17] 王爱民,刘文斌.外源酶对异育银鲫鱼种生长及表观消化率的影响研究[J].饲料工业,2006,27(2):26-29.
- [18] Gunasekera R M, Leelarasamee K, Silva S S. Lipid and fatty acid digestibility of three oil types in the Australian shortfin eel, *Anguilla australis* [J]. Aquaculture, 2002, 203(3-4):335-347.

Effects of *Bacillus* sp. bacteria on apparent digestibility coefficients of nutrients for tiger shrimp *Penaeus monodon*

YU Ye-bing^{1,2}, JIANG Shi-gui¹, LIN Hei-zhao¹, HUANG Jiang-hua¹, WEN Wei-geng¹, ZHOU Fa-lin¹

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: This study was conducted to determine the effects of different *Bacillus* sp. (10^9 CFU/g) levels on apparent digestibility coefficients (ADCs) of dry mater (DM), crude protein (CP), lipid, phosphorus (P), essential amino acids (EAA), nonessential amino acids (NEAA) and fatty acids for tiger shrimp (*Penaeus monodon*). Shrimps were at in outdoor concrete tanks, fed with 6 different diets supplemented with 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 and 5.0 g *Bacillus* sp. per kg diet. Groups of 40 shrimp were used in each tank, and each diet was fed in triplicate. ADCs were determined using 0.01% Y_2O_3 as an indicator. Fecal matter was collected for 20 d. ADCs of 6 diets were: DM, 74.35% – 77.89%; CP, 87.29% – 89.01%; lipid, 86.46% – 89.67%; P, 35.83% – 44.17%; EAA, 93.01% – 94.04%; NEAA, 91.05% – 92.42%; saturated fatty acids, 86.88% – 89.95%; monounsaturated fatty acids, 90.39% – 93.40%; and polyunsaturated fatty acids with highly unsaturated fatty acids, 87.97% – 91.32%. ADC of CP in control diet was higher than those in diet 2, diet 5 and diet 6, lower than those in diet 3 and diet 4. ADCs of lipid and some fatty acids were the highest when diet contained 2.0 g (probiotics) /kg basal diet. ADCs of DM, CP, P, EAA and NEAA in control were lower than those of in other diets. ADCs of DM, CP, P, EAA and NEAA were increased as diets contained *Bacillus* sp. ranging from 1.0 to 3.0 g/kg diet, and ADCs of diet 4 were higher than those in other diets and the difference was significant ($P < 0.05$). ADCs of DM, CP, P, EAA and NEAA were decreased while diets contained *Bacillus* sp. ranging from 3.0 to 5.0 g/kg diet. The results showed that appropriate dietary *Bacillus* sp. applications could improve ADCs of DM, CP, lipid, phosphorus, amino acids for shrimps. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (6): 919 – 925]

Key words: *Bacillus* sp.; *Penaeus monodon*; nutrients; apparent digestibility coefficients

Corresponding author: JIANG Shi-gui. E-mail: jiangsg@21cn.com