

饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾生长性能、 饲料利用及血清指标的影响

袁野, 黄晓玲, 陆游, 马红娜, 周歧存*

(宁波大学海洋学院, 鱼类营养研究室, 浙江宁波 315211)

摘要: 为研究饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾生长性能、饲料利用及血清指标的影响, 实验配制6种等氮等脂(41%粗蛋白质和8%粗脂肪)的实验饲料, 泛酸添加水平分别为0(对照组)、50、100、150、300和600 mg/kg, 饲料中实测泛酸水平分别为20.9、69.3、99.0、150.2、304.4和513.6 mg/kg。选用初始体质量为(0.73±0.12) g的凡纳滨对虾720尾, 随机分为6组(每组3个重复, 每个重复40尾), 进行为期8周的养殖实验。结果显示, 饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾增重率和特定生长率的影响不显著; 对照组凡纳滨对虾成活率显著低于泛酸添加组, 然而各泛酸添加组的成活率组间差异不显著。随着泛酸水平从20.9 mg/kg增加到99.0 mg/kg时, 饲料效率和蛋白质效率显著提高, 而随着泛酸水平的进一步增加, 饲料效率和蛋白质效率显著降低。饲料中泛酸水平对凡纳滨对虾全虾和肌肉主要成分无显著性影响。对照组对虾血清葡萄糖含量显著低于泛酸各添加组, 然而泛酸各添加组之间无显著差异; 投喂150.2 mg/kg泛酸组血清甘油三酯含量显著低于对照组和513.6 mg/kg; 而血清总蛋白和胆固醇含量不受饲料中泛酸水平的影响。随着饲料中泛酸水平由20.9 mg/kg增至150.2 mg/kg, 血清超氧化物歧化酶活力显著提高, 而随着饲料中泛酸水平的进一步增加, 血清超氧化物歧化酶活力显著降低; 饲料中泛酸水平为99.0 mg/kg组凡纳滨对虾血清总氧化能力显著高于其他各组; 投喂对照组和泛酸水平为69.3 mg/kg组的凡纳滨对虾血清丙二醛含量最高, 投喂泛酸水平为150.2 mg/kg组血清的丙二醛含量显著低于其他各组。以凡纳滨对虾的饲料效率和蛋白质沉积率为评价指标, 通过折线模型分析得到凡纳滨对虾泛酸最适需要量分别为113.40和119.87 mg/kg。

关键词: 凡纳滨对虾; 泛酸; 生长性能; 饲料利用; 抗氧化能力

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

泛酸(pantothenic acid, PA)是两种重要的辅酶——酰基载体蛋白(acyl carrier protein, ACP)和辅酶A(CoA)的组成成分^[1], 是鱼类的必需营养物质之一。泛酸缺乏时会引起鱼类器官病变, 其中最典型的就是棒状鳃^[2-3]。蓝色罗非鱼(*Oreochromis aureus*)在缺乏泛酸时表现为出血、高死亡率及严重的鳃瓣上皮细胞增生^[4]; 湖红点鲑(*Salvelinus namaycush*)在缺乏泛酸时表现为厌食、消瘦以及

高死亡率^[5]; 斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)表现为厌食、体质量下降、成活率低及皮肤、鳍和胡须糜烂^[6]; 蓝鹦嘴鱼(*Scarus coeruleus*)则表现为生长停止以及低成活率^[7]; 斑节对虾(*Penaeus monodon*)泛酸缺乏症表现为甲壳较薄而软、生长不良和高死亡率^[1]。以上研究结果表明, 泛酸是水产动物正常生长所必需的营养物质^[8]。

多种养殖鱼类泛酸的需要量已有报道, 包

收稿日期: 2016-01-22 修回日期: 2016-05-16

资助项目: 国家自然科学基金(31272670, 41476125); 公益性行业(农业)科研专项(201003020); 宁波市农业攻关项目(2011C10006); 浙江省重中之重一级学科建设项目。

通信作者: 周歧存, E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

括太平洋鲑(*Oncorhynchus* spp.)^[9]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[10-11]、斑点叉尾鲷^[2, 6]、鲤(*Cyprinus carpio*)^[12]、五条鲮(*Seriola quinqueradiata*)^[13]、蓝色罗非鱼^[4]、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[14]和建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)^[15]; 饲料里的泛酸需要量为10~50 mg/kg^[16]。与鱼类比较, 甲壳类泛酸需要量的研究报道则较少。Shiau等^[1]以增重率、肝胰腺中泛酸积累量及辅酶A活力为评价指标, 得到斑节对虾泛酸的需要量为101~139 mg/kg, 中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)的泛酸需要量为100 mg/kg^[17], Boonyaratpalin^[18]以生长性能和成活率为评价指标, 得到印度明对虾(*Fenneropenaeus indicus*)泛酸的最适宜需要量为750 mg/kg。迄今为止, 有关凡纳滨对虾泛酸需要量的研究尚未见报道。因此, 本实验以凡纳滨对虾作为对象, 研究不同泛酸水平对其生长性能、饲料利用及血清抗氧化指标等的影响, 以饲料效率和蛋白质沉积率作为评价指标, 确定凡纳滨对虾对泛酸的最适需要量。

1 材料与方法

1.1 实验设计和实验饲料配制

实验以鱼粉、豆粕和小麦蛋白粉为蛋白源, 面粉为糖源, 鱼油和大豆卵磷脂为脂肪源, 并补充矿物质和维生素预混料(不含泛酸), 配制成基础饲料, 在其基础上分别添加0、50、100、150、300和600 mg/kg 6种不同水平的泛酸, 目前广为使用的泛酸有3种形式, 即泛酸钙、泛醇和泛硫乙胺, 本实验所用泛酸为D-泛酸钙, 纯度为92%, 由帝斯曼维生素(上海)有限公司提供。制成6种等氮等脂的实验饲料(粗蛋白41.0%, 粗脂肪8.0%), 通过高效液相色谱法^[19]测定6种实验饲料中的泛酸水平分别为20.9、69.3、99.0、150.2、304.4和513.6 mg/kg, 其中泛酸未添加组(对照组)测得的泛酸水平为20.9 mg/kg。实验配方和营养成分见表1, 按照表1的配方准确称量各种饲料原料, 粉碎过80目筛, 维生素和矿物质等微量成分采取逐级扩大法进行混合, 再加入鱼油、卵磷脂以及水混合均匀, 用双螺杆挤条机制成粒径为1和1.5 mm的硬颗粒饲料, 在烘箱中90 °C熟化30 min, 阴凉处风干, 饲料密封后保存在-20 °C冰柜中。

1.2 养殖管理

养殖实验在广东恒兴集团国家(八六三)计划

海水养殖种子工程南方基地进行, 实验所用凡纳滨对虾幼体购自广东恒兴集团虾苗厂, 虾苗暂养于1000 L玻璃钢桶中2周, 并以虾片和饲料饱食投喂, 暂养结束后停食24 h, 挑选初始体质量约为(0.73±0.12) g的虾, 随机分为6组(每组3个重复, 每个重复40尾虾), 随机分配于18个500 L的玻璃钢桶中, 实验周期为8周。每天投喂4次, 投喂时间为7:00、12:00、17:00以及21:00, 日投喂量为其体质量的8%~10%, 早晚投喂量占总投喂量的60%。前期每隔两天换一次水, 中后期每天换水一次。实验用水采用沙滤的天然海水, 不间断充氧, 实验期间海水温度为(28.7±2.3) °C, 盐度为17.4±2.7, pH为7.8±0.1, 溶解氧大于6.0 mg/L, 氨氮小于0.05 mg/L。

1.3 样品采集与分析

养殖实验结束后饥饿24 h, 称重并记录每个玻璃钢桶中的凡纳滨对虾尾数及总重, 计算成活率、增重率和特定生长率, 每个玻璃钢桶随机取6~8尾虾, 用来测定全虾的粗蛋白、粗脂肪和粗灰分, 另取6~8尾虾, 剥其肌肉用来测定其常规组分, 再取6~8尾虾, 用1 mL无菌注射器在围心窦处取血, 注入到1.5 mL离心管中, 4 °C冰箱中静置过夜, 10 000 r/min离心10 min, 取上清液分装, 置于-80 °C冰箱, 用来检测血清中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活力、过氧化氢酶(catalase, CAT)活力、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量和总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)。

参照AOAC(1995)^[20]方法, 分别测定全虾样品中的粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量。粗蛋白质含量采用凯氏定氮法测定, 粗脂肪含量采用索氏抽提法测定, 粗灰分含量采用550 °C马弗炉灼烧法测定。血清中总蛋白(total protein, TP)、葡萄糖(glucose, GLU)、甘油三酯(triglyceride, TG)以及总胆固醇(cholesterol, CHOL)含量使用日立7600-110型全自动生化分析仪进行检测。血清超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活力、丙二醛含量以及总抗氧化能力采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行检测。

1.4 数据处理及统计分析

成活率(survival rate, SR,%) = 100 × 终末尾数 / 初始尾数;

增重率(weight gain rate, WGR,%) = 100 × (终末体质量 - 初始体质量) / 初始体质量;

表1 实验饲料组成及营养水平(风干基础)

Tab. 1 Ingredients and proximate composition of the experimental diet(air-dry basis)

项目 items	饲料 diets					
	1	2	3	4	5	6
鱼粉/% fish meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
豆粕/% soybean meal	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
小麦蛋白粉/% wheat gluten meal	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
面粉/% wheat flour	35.59	35.59	35.59	35.59	35.59	35.59
鱼油/% fish oil	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
维生素预混料/% vitamin premix ¹	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质预混料/% mineral premix ²	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
磷酸二氢钙/% Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱/% choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
大豆卵磷脂/% soybean lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
泛酸/(mg/kg) pantothenic acid	0.00	50.0	100.0	150.0	300.0	600.0
纤维素/% cellulose	0.06	0.055	0.05	0.045	0.03	0.00
合计/% total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 nutrient levels³						
干物质/% dry matter	89.49	89.54	89.22	89.32	89.92	88.54
粗蛋白质/% crude protein	41.10	41.52	41.57	41.67	41.49	41.50
粗脂肪/% crude lipid	8.07	7.98	7.90	8.00	7.99	8.02
粗灰分/% ash	9.63	9.42	9.43	9.53	9.58	9.77

注: 1. 维生素预混料由下列成分组成(g/kg预混料): 维生素A 5 000 IU; 维生素B₁60 g; 维生素B₂50 g; 维生素B₁₂0.1 g; 维生素D₃2 000 IU; 维生素E 100 IU; 维生素K 60 g; 肌醇 200 g; 烟酸 100 g; 生物素 6 g; 叶酸 10 g; VC磷酸盐 0.3 g; 吡哆醇 60 g。2. 矿物质预混料由下列成分组成(g/kg预混料): 蛋氨酸钴 5.0 g; 五水硫酸铜 10.2041 g; 氯化钾(99.5%) 191.62 g; 柠檬酸铁 6.8571 g; 硫酸锰 6.2893 g; 碘化钾(0.99%) 1.7034 g; 氯化钠(99.5%) 76.69 g; 硫酸镁(99%) 614.48 g; 乳酸钙(99.5%) 77.83 g; 硫酸锌 9.2754 g; 亚硒酸钠 0.5 g。3. 营养水平为实测值。
Notes: 1. the vitamin mixture supplied the following (g/kg mixture): VA 5 000 IU; VB₁ 60 g; VB₂ 50 g; VB₁₂ 0.1 g; VD₃ 2 000 IU; VE 100 IU; VK 60 g; inositol 200 g; nicotinic acid 100 g; biotin 6g; folic acid 10 g; VC phosphate 0.3 g; pyridoxine 60 g. 2. C₁₀H₂₂N₂O₄S₂Co 5.0 g; CuSO₄5H₂O 10.2041 g; KCl(99.5%) 191.62 g; FeC₆H₅O₇5H₂O 6.8571 g; MnSO₄H₂O 6.2893 g; KI(0.99%) 1.7034 g; NaCl(99.5%) 76.69 g; MgSO₄7H₂O(99%) 614.48 g; C₆H₁₀CaO₅H₂O(99.5%) 77.83 g; ZnSO₄7H₂O 9.2754 g; Na₂SeO₃ 0.5g。 3. Nutrient levels were measured values

特定生长率(specific growth rate, SGR,%/d)=
100×[ln(终末均重)-ln(初始均重)]/实验天数;

饲料效率(feed efficiency, FE)=(终末体质量-
初始体质量)/摄入干饲料的量;

蛋白质效率(protein efficiency rate, PER)=
(终末体质量-初始体质量)/摄入饲料的蛋白质
总量;

蛋白质沉积率(productive protein value, PPV,%)=
100×(TW_t×CP_t-TW₀×CP₀)/摄入饲料的蛋白质总量;

式中, 终末均重和终末体质量均包括了死虾质
量, TW_t为实验结束时虾的总重; TW₀为实验开
始时虾的总重; CP_t为实验结束时全虾粗蛋白质
含量; CP₀为实验开始时全虾粗蛋白质含量。

实验数据用mean±SE表示, 采用SPSS 17.0统
计软件进行分析, 对数据进行单因素方差分析
(One-Way ANOVA), 并结合Turkey检验进行多重
比较, P<0.05表示处理间差异显著。

2 结果

2.1 饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾生长 性能和饲料利用的影响

饲料中泛酸未添加组凡纳滨对虾成活率显
著低于泛酸添加组(P<0.05), 然而各添加组之
间成活率差异不显著。凡纳滨对虾的增重率和特
定生长率不受饲料中泛酸水平的影响, 各组间

无显著性差异($P>0.05$)。未添加泛酸组的饲料效率和蛋白质效率显著低于泛酸各添加组($P<0.05$)，且当饲料中泛酸水平由20.9 mg/kg增加到150.2 mg/kg时，饲料效率和蛋白质效率显著提高，当饲料中泛酸水平由150.2 mg/kg增加到513.6 mg/kg时，饲料效率和蛋白质效率显著降低。当饲料中泛酸水平由69.3 mg/kg增加到150.2 mg/kg时，凡纳滨对虾的蛋白质沉积率显著高于其他各组($P<0.05$)(表2)。以FE为评价指标，得折线回归方程 $y=0.001\ 16x+0.676\ 79(R^2=0.997\ 22, x<113.40)$ 和 $y=-0.000\ 33x+0.845\ 76(R^2=0.992\ 42, x>113.40)$ ，由此计算出凡纳滨对虾的泛酸最适需要量为113.40

mg/kg(图1)。以PPV为评价指标，得折线回归方程 $y=0.023\ 97x+31.288(R^2=0.997\ 81, x<119.78)$ 和 $y=-0.014\ 05x+35.842(R^2=0.980\ 64, x>119.78)$ ，由此得出凡纳滨对虾的泛酸最适需要量为119.78 mg/kg(图2)。

2.2 饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾全虾和肌肉成分的影响

随着饲料中泛酸水平从20.9 mg/kg增加到513.6 mg/kg，凡纳滨对虾全虾和肌肉的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分均无显著性差异($P>0.05$)(表3)。

表2 饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾生长性能和饲料利用的影响

Tab. 2 Effects of different dietary pantothenic acid levels on growth performance and feed utilization of *L.vannamei*

项目 items	饲料 diets					
	1	2	3	4	5	6
初始体质量/g IBW	0.73±0.12	0.73±0.12	0.73±0.12	0.73±0.12	0.73±0.12	0.73±0.12
终末体质量/g FBW	11.32±0.57	11.36±0.48	11.54±0.44	11.67±0.50	10.84±0.56	10.74±0.70
成活率/% SR	86.67±5.77 ^a	97.50±2.50 ^b	100.0±0.00 ^b	97.50±4.33 ^b	95.83±7.22 ^b	98.33±2.89 ^b
增重率/% WGR	1450.4±74.3	1462.0±59.6	1484.7±65.4	1503.9±76.2	1388.6±71.0	1375.7±92.6
特定增长率/(%/d) SGR	4.89±0.08	4.91±0.06	4.93±0.07	4.96±0.08	4.82±0.08	4.81±0.12
饲料效率 FE	0.70±0.03 ^a	0.76±0.02 ^{bc}	0.79±0.02 ^c	0.80±0.04 ^c	0.73±0.01 ^{ab}	0.72±0.04 ^{ab}
蛋白质效率 PER	1.69±0.07 ^a	1.84±0.05 ^{bc}	1.90±0.05 ^c	1.92±0.08 ^c	1.75±0.03 ^{ab}	1.73±0.10 ^{ab}
蛋白质沉积率/% PPV	30.01±1.76 ^a	33.00±1.66 ^b	33.63±1.27 ^b	33.07±0.90 ^b	30.52±0.63 ^a	29.98±1.18 ^a

注：同行数据肩注不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，下表同

Notes: values in the same line with different Lower-case letter superscripts mean significant difference($P<0.05$), the same below

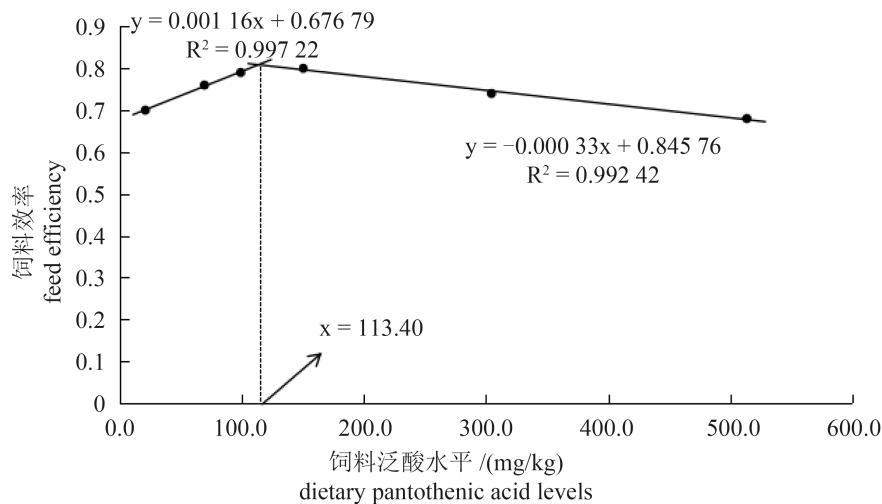


图1 凡纳滨对虾饲料效率与饲料中泛酸水平的折线回归关系

Fig. 1 Broken-line analysis of the relationship between dietary pantothenic acid levels and feed efficiency of *L.vannamei*

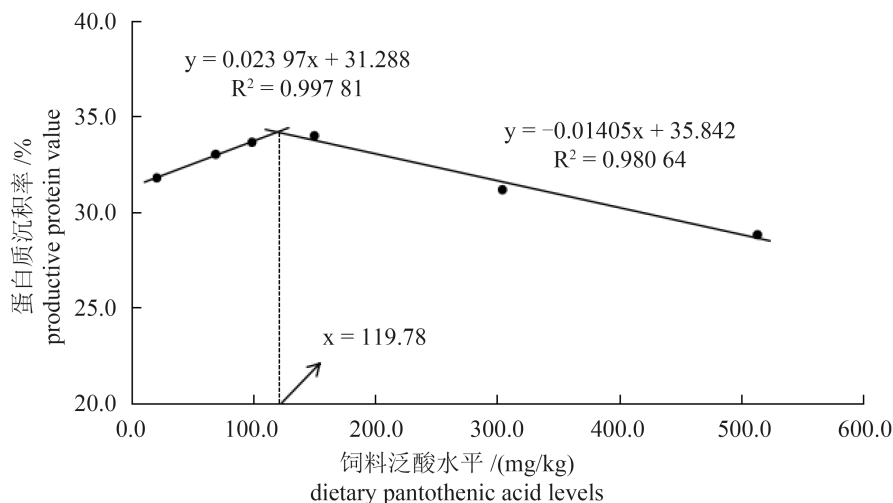


图2 凡纳滨对虾蛋白质沉积率与饲料中泛酸水平的折线回归关系

Fig. 2 Broken-line analysis of the relationship between dietary pantothenic acid levels and productive protein value of *L.vannamei*

表3 饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾全虾和肌肉组成成分的影响

Tab. 3 Effects of different dietary pantothenic acid levels on composition of whole body and muscle of *L. vannamei*

项目 items	饲料 diets					
	1	2	3	4	5	6
全虾 whole shrimp						
干物质/% dry matter	22.16±0.34	22.52±1.18	21.85±0.86	21.62±0.38	22.04±0.27	21.80±0.10
粗蛋白质/% crude protein	17.43±0.16	17.80±0.76	17.46±0.62	17.15±0.34	17.21±0.08	16.99±0.06
粗脂肪/% crude lipid	1.53±0.12	1.61±0.14	1.64±0.28	1.63±0.01	1.57±0.21	1.42±0.06
粗灰分/% ash	2.95±0.04	3.03±0.06	2.96±0.15	2.98±0.08	3.07±0.06	3.08±0.04
肌肉 muscle						
干物质/% dry matter	23.69±0.08	23.55±0.36	23.32±0.22	23.69±0.31	23.94±0.64	23.81±0.05
粗蛋白质/% crude protein	21.55±0.27	21.43±0.30	21.55±0.24	21.82±0.35	21.84±0.26	21.97±0.29
粗脂肪/% crude lipid	1.38±0.12	1.27±0.07	1.26±0.01	1.37±0.14	1.39±0.24	1.26±0.12
粗灰分/% ash	1.67±0.11	1.67±0.07	1.70±0.10	1.71±0.05	1.71±0.02	1.75±0.03

2.3 饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾血清生化指标的影响

随着饲料泛酸水平从20.9 mg/kg增加到513.6 mg/kg, 凡纳滨对虾血清中的TP和CHOL含量均无显著性差异($P>0.05$)。添加泛酸组的血清葡萄糖含量显著高于对照组($P<0.05$), 并在150.2 mg/kg泛酸水平时, 葡萄糖含量达到最大值。相反地, TG含量呈现先下降后上升的趋势, 在150.2 mg/kg达到最小值, 该组血清中的TG含量显著低于其他各组($P<0.05$)(表4)。

2.4 饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾血清抗氧化指标的影响

当饲料中泛酸水平从20.9 mg/kg增加到150.2 mg/kg时, 凡纳滨对虾血清中的SOD活力显著上升($P<0.05$), 当泛酸水平继续增加到513.6 mg/kg时, 凡纳滨对虾血清中SOD活力显著下降($P<0.05$)。随着饲料中泛酸水平从20.9 mg/kg增加到513.6 mg/kg时, 凡纳滨对虾血清中CAT活力无显著性差异($P>0.05$)。当饲料中泛酸水平为150.2 mg/kg时, 凡纳滨对虾血清中MDA含量显著低于其他各组

($P < 0.05$), 且对照组的MDA含量最高。当饲料中泛酸水平为99.0 mg/kg时, 凡纳滨对虾血清中T-AOC显著高于其他各组($P < 0.05$)(表5)。

3 讨论

本实验结果表明, 以凡纳滨对虾饲料效率和蛋白质沉积率作为评价指标, 通过折线模型获得凡纳滨对虾泛酸最适需要量分别为113.40 mg/kg和119.78 mg/kg。这一结果接近于已报道的斑节对虾泛酸(101~139 mg/kg)^[1]和中国明对虾泛酸需要量(100 mg/kg)^[17]; 低于印度明对虾的泛酸需要量(750 mg/kg)^[18]。而高于研究者确定的鱼类泛酸需要量(10~50 mg/kg)^[21]。不同养殖品种泛酸需要量不尽相同, 这可能与养殖对象的种类和大小、实验饲料配方、实验设计、实验条件和评价指标等多种因素有关。

本实验中, 当饲料泛酸水平由69.3 mg/kg增加到150.2 mg/kg时, 饲料效率、蛋白质效率和蛋白质沉积率均显著高于对照组; 而对照组的成活率显著低于泛酸添加组。这一结果说明当饲料中缺乏泛酸时, 凡纳滨对虾成活率降低, 并导致饲料利用率的下降。Shiau等^[1]在研究斑节对虾时发现, 当泛酸水平达到或高于40 mg/kg时, 斑节对虾的饲料效率、蛋白质效率和成活率显

著高于未添加泛酸组, 这一结果同本实验得出的结果相似。Wen等^[15]指出饲料中适宜的泛酸水平可以改善鱼的饲料利用率, 泛酸作为辅酶A的组成成分, 参与蛋白质的合成和转化, 促进脂肪代谢和脂肪酸彻底氧化供能。除了成活率和饲料利用效率降低外, 未见泛酸缺乏症其他的典型症状, Cowey等^[22]的研究表明, 自由游动的鱼类易出现典型的泛酸缺乏症, 而底栖生活的鱼类和虾类由于长时间呆在水底缓慢运动, 不易出现此类缺乏症, 这与本实验所观察到的结果一致。Shiau等^[1]在研究斑节对虾时发现, 当泛酸水平低于20 mg/kg时, 斑节对虾会表现出躁动不安、体表颜色转浅、生长不良和高死亡率, 凡纳滨对虾的泛酸需要量与斑节对虾接近, 可能是由于基础饲料中的泛酸水平可以满足其正常生长的需要, 而有关甲壳类泛酸缺乏症还有待进一步研究。

黄凤等^[23]的研究表明, 吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)全鱼粗蛋白质含量不受饲料泛酸含量的影响, 泛酸含量对鱼体水分、粗脂肪和灰分含量影响显著。刘安龙等^[14]的研究显示, 草鱼幼鱼鱼体灰分含量不受饲料中泛酸含量的影响, 但能提高鱼体水分、蛋白质和脂肪含量。本实验饲料中泛酸水平对凡纳滨对虾全虾和肌肉主要

表4 饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾血清生化指标的影响

Tab. 4 Effects of different dietary pantothenic acid levels on serum biochemical indices of *L. vannamei*

项目 items	饲料 diets					
	1	2	3	4	5	6
总蛋白/(g/L) TP	96.00±3.00	99.00±8.54	96.67±1.53	100.67±9.07	95.67±2.08	92.67±6.11
葡萄糖/(mmol/L) glucose	0.44±0.21 ^a	0.83±0.19 ^b	0.91±0.13 ^b	1.01±0.08 ^b	0.92±0.19 ^b	0.89±0.12 ^b
甘油三酯/(mmol/L) TG	1.33±0.06 ^b	1.17±0.03 ^{ab}	1.10±0.04 ^{ab}	0.99±0.12 ^a	1.18±0.08 ^{ab}	1.32±0.26 ^b
总胆固醇/(mmol/L) CHOL	0.33±0.15	0.30±0.17	0.20±0.10	0.20±0.10	0.33±0.15	0.20±0.10

表5 饲料中不同泛酸水平对凡纳滨对虾血清抗氧化指标的影响

Tab. 5 Effects of different dietary pantothenic acid levels on serum anti-oxidant indices of *L. vannamei*

项目 items	饲料 diets					
	1	2	3	4	5	6
超氧化物歧化酶/(U/mL) SOD	262.46±11.68 ^a	310.49±22.7 ^b	312.3±22.33 ^b	347.4±15.58 ^c	286.1±20.33 ^{ab}	295.95±10.9 ^b
过氧化氢酶/(U/mL) CAT	3.20±0.29	4.18±1.18	3.00±0.45	3.47±0.36	3.02±0.92	3.85±1.48
丙二醛/(nmol/mL) MDA	13.05±1.10 ^c	12.68±0.73 ^c	10.57±0.28 ^b	7.80±1.22 ^a	9.60±1.24 ^b	10.00±1.06 ^b
总抗氧化能力/(U/mL) T-AOC	10.48±2.64 ^a	9.99±1.29 ^a	14.99±1.92 ^b	9.66±2.06 ^a	9.41±0.26 ^a	8.57±0.31 ^a

组成成分的影响不显著,可能是凡纳滨对虾初始个体规格过小,对饲料中泛酸的需要量较少,使得泛酸对凡纳滨对虾生长前期全虾和肌肉组成成分影响降低,造成凡纳滨对虾生长后期全虾和肌肉的组成成分无显著性差异。

泛酸对脂肪的合成与代谢起着十分重要的作用^[24-25],缺乏泛酸时,会影响机体对能量的利用和养分的储存^[26]。在本实验中,未添加泛酸组的甘油三酯含量显著高于最适需要量区间的添加组,这可能是由于泛酸的缺乏影响了凡纳滨对虾的脂肪代谢。泛酸在体内是合成辅酶A的主要原料,而CoA参与体内100多种不同的代谢反应,在碳水化合物、氨基酸和脂肪代谢过程中转移乙酰基具有很重要的作用^[24]。Shiau等^[1]在研究斑节对虾泛酸需要量时发现,未添加泛酸组的斑节对虾肝脏脂肪含量显著高于泛酸添加组。Wittwer等^[27]研究表明,给大鼠投喂缺乏泛酸的饲料后,大鼠血清中泛酸和肝CoA显著下降,血清甘油三酯和游离脂肪酸浓度显著升高。Avogaro等^[28]研究表明,泛酸的代谢产物双泛酸硫乙胺可以降低与糖尿病有关的脂代谢紊乱、高胆固醇血症、高脂蛋白血症患者的血清总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和甘油三酯含量。此外,泛酸添加组的葡萄糖含量显著高于泛酸未添加组,可能是泛酸促进了凡纳滨对虾体内糖类的代谢,适宜水平的泛酸是否促进了凡纳滨对虾肠道对糖类的吸收还需要进一步的研究。

需氧生物具有一整套完善的抗氧化防御机制维持机体自由基产生和清除之间的平衡,防御活性氧所致的损伤效应。这种抗氧化防御机制主要包括抗氧化酶系统和非酶抗氧化系统2种类型。抗氧化酶系统主要是超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶。非酶抗氧化系统主要有谷胱甘肽、维生素E、维生素C、类胡萝卜素等,甲壳类与鱼类及哺乳动物在氧化损伤和抗氧化防御系统的组成方面是相似的^[29]。丁玉琴^[30]的研究表明,泛酸不仅促进脂肪酸的氧化,而且还通过不同的机制保护生物膜系统,对抗脂质过氧化,保证机体细胞结构的完整性,从而维持机体的正常生理功能。油脂氧化是自由基链反应,产生的自由基能攻击生物膜中的不饱和脂肪酸引发脂质过氧化,形成脂质过氧化产物并降解为丙二醛,其含量的高低可以反映体内脂质过氧化强弱,间接反映组织细

胞的损伤程度^[31-32]。本实验中,当饲料泛酸水平为150.9 mg/kg时,血清中的MDA含量显著低于其他各组,未添加泛酸组的MDA含量最高,表明饲料中适宜的泛酸水平能有效地起到抗脂质过氧化和保护细胞的作用。赵楠等^[33]对獭兔的研究也表明饲料中添加泛酸显著降低了脂质过氧化产物与蛋白质过氧化产物的含量,增强了细胞的抗氧化能力。超氧化物歧化酶通过O₂转化为H₂O₂和O₂来清除组织当中的O₂自由基,是体内最重要的抗氧化酶之一^[34],并且被认为是动物抗氧化应激最重要的一个生化指标^[35-36]。饲料中泛酸水平显著影响了凡纳滨对虾血清中的SOD活力,未添加泛酸组的SOD活力显著低于泛酸添加组,当泛酸水平为150.2 mg/kg时,血清中的SOD活力显著高于其他各组,表明饲料中适宜的泛酸水平能明显提高凡纳滨对虾血清中的SOD活力,增强机体清除自由基的能力,饲料中过高的泛酸水平可能会降低血清中SOD活力,抑制对虾清除自由基的能力。近年来的研究发现,T-AOC可衡量机体抗氧化系统的功能状况,反映机体非酶促系统和抗氧化酶系统对机体自由基代谢的状态。饲料中泛酸水平为99.0 mg/kg时,接近凡纳滨对虾泛酸的最适需要量,血清中T-AOC显著高于其他各组,表明饲料中适宜的泛酸水平会增强凡纳滨对虾机体的非酶促系统和抗氧化酶系统对自由基的代谢能力。

4 结论

本实验结果表明,当饲料泛酸水平为20.9 mg/kg时,凡纳滨对虾成活率、饲料效率、蛋白质效率和蛋白质沉积率显著低于各添加泛酸组。以饲料效率和蛋白质沉积率为评价指标,凡纳滨对虾泛酸的最适需要量分别为113.40和119.78 mg/kg。此外,饲料中适宜水平的泛酸能降低血清中丙二醛含量,提高血清中SOD活力和T-AOC,增强细胞抗脂质过氧化的能力和机体清除自由基的能力。

参考文献:

- [1] Shiau S Y, Hsu C W. Dietary pantothenic acid requirement of juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon*[J]. The Journal of Nutrition, 1999, 129(3): 718-721.
- [2] Wilson R P, Bowser P R, Poe W E. Dietary pantothenic

- acid requirement of fingerling channel catfish[J]. The Journal of Nutrition, 1983, 113(10): 2124-2128.
- [3] Butthep C, Sitasit P, Boonyaratpalin M. Water-soluble vitamins essential for the growth of *Clarias*[C]//Cho C Y, Cowey C B, Watanabe T. Finfish nutrition in Asia: Methodological approaches to research and development. Ottawa: International Development Research Center, 1985: 118-129.
- [4] Soliman A K, Wilson R P. Water-soluble vitamin requirements of tilapia. I Pantothenic acid requirement of blue tilapia, *Oreochromis aureus*[J]. Aquaculture, 1992, 104(1): 121-126.
- [5] Poston H A, Page J W. Gross and histological signs of dietary deficiencies of biotin and pantothenic acid in lake trout, *Salvelinus namaycush*[J]. The Cornell Veterinarian, 1982, 72(3): 242-261.
- [6] Murai T, Andrews J W. Pantothenic acid requirements of Channel catfish fingerlings[J]. The Journal of Nutrition, 1979, 109(7): 1140-1142.
- [7] Ikeda S, Ishibashi Y, Murata O, *et al.* Qualitative requirements of the Japanese parrot fish for water-soluble vitamins[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1988, 54(11): 2029-2035.
- [8] Halver J E. The vitamins[M]//Halver J E. Fish Nutrition. New York, NY: Academic Press, 1972: 29-103.
- [9] McLaren B A, Keller E, O'DONNELL D J, *et al.* The nutrition of rainbow trout. I. Studies of vitamin requirements[J]. Archives of Biochemistry, 1947, 15(2): 169-178.
- [10] Leith D, Holmes J, Kaattari S. Effects of vitamin nutrition on the immune response of hatchery-reared salmonids[R]. Final Report, Project 84-45A and 84-45B. Portland, Ore, Bonneville Power Administration, 1990.
- [11] Cho C Y, Woodward B. Dietary pantothenic acid requirements of young rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. The FASEB Journal, 1990, 4: 3747.
- [12] Ogino C. B vitamin requirements of carp-II. Requirements for riboflavin and pantothenic acid[J]. Bulletin of the Japanese Society Scientific Fisheries, 1967, 33(4): 351-354.
- [13] Shimeno S. Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*[M]//Wilson R P, Handbook of nutrient requirements of finfish. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1991: 181-191.
- [14] 刘安龙, 文华, 蒋明, 等. 草鱼幼鱼对饲料中泛酸需要量的研究[J]. 水产科学, 2007, 26(5): 263-266.
- Liu A L, Wen H, Jiang M, *et al.* Dietary pantothenic acid requirement of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fingerlings[J]. Fisheries Science, 2007, 26(5): 263-266(in Chinese).
- [15] Wen Z P, Zhou X Q, Feng L, *et al.* Effect of dietary pantothenic acid supplement on growth, body composition and intestinal enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2009, 15(5): 470-476.
- [16] National Research Council(NRC). Nutrient requirements of fish and shrimp[M]. Washington DC: Academies Press, 2011.
- [17] Liu T B, Zhang J M, Li A J. Studies on the optimal requirements of pantothenic acid, biotin, folic acid and vitamin B12 in the shrimp *Penaeus chinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1995, 2(5): 48-55.
- [18] Boonyaratpalin M. Nutrition of *Penaeus merguensis* and *Penaeus idicus*[J]. Reviews in Fisheries Science, 1998, 6(1-2): 69-78.
- [19] Tryfiates G P, Sattangi S. Separation of vitamin B6 compounds by paired-ion high-performance liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications, 1982, 227(1): 181-186.
- [20] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis of official analytical chemists international[M]. 16th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [21] Mohamed J S. Dietary pyridoxine requirement of the Indian catfish, *Heteropneustes fossilis*[J]. Aquaculture, 2001, 194(3): 327-335.
- [22] Cowey C B, Adron J W, Knox D, *et al.* Studies on the nutrition of marine flatfish: The thiamin requirement of turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. British Journal of Nutrition, 1975, 34(3): 383-390.
- [23] 黄凤, 蒋明, 文华, 等. 吉富罗非鱼对饲料中泛酸的需要量[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1531-1537.
- Huang F, Jiang M, Wen H, *et al.* Dietary pantothenic acid requirement of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1531-1537(in Chinese).
- [24] Robishaw J D, Neely J R. Coenzyme A metabolism[J].

- American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism, 1985, 248(1): E1-E9.
- [25] 翟凤英, 何宇娜, 王志宏, 等. 推荐的每日膳食中营养素供给量的说明[J]. 营养学报, 1990, 12(01): 1-9. Zhai F Y, He Y N, Wang Z H, *et al.* The status and trends of dietary nutrients intake of Chinese population[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1990, 12(01): 1-9.
- [26] 黄世蕉, 沈竑. 维生素B₆对草鱼脂肪代谢的影响[J]. 水生生物学报, 1992, 16(4): 313-321. Huang S J, Shen H. The effect of Vitamine B6 on the lipid metabolism of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1992, 16(4): 313-321(in Chinese).
- [27] Wittwer C T, Beck S, Peterson M, *et al.* Mild pantothenate deficiency in rats elevates serum triglyceride and free fatty acid levels[J]. The Journal of Nutrition, 1990, 120(7): 719-725.
- [28] Avogaro P, Bon G B, Fusello M. Effect of pantethine on lipids, lipoproteins and apolipoproteins in man[J]. Current Therapeutic Research-Clinical and Experimental, 1983, 33(3): 488-493.
- [29] Machlin L J, Bendich A. Free radical tissue damage: protective role of antioxidant nutrients[J]. The FASEB Journal, 1987, 1(6): 441-445.
- [30] 丁玉琴. 125泛酸在脂肪酸代谢中的作用[J]. 国外医学: 卫生学分册, 2000, 27(5): 304-306. Ding Y Q. The role of 125 pantothenic acid in fatty acid metabolism[J]. Foreign Medical Sciences(Section of Hygiene), 2000, 27(5): 304-306. (in Chinese)
- [31] Yang S P, Wu Z H, Jian J C, *et al.* Effect of marine red yeast *Rhodosporidium Paludigenum* on growth and antioxidant competence of *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2010, 309(1-4): 62-65.
- [32] Lin C C, Liang J H. Effect of antioxidants on the oxidative stability of chicken breast meat in a dispersion system[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(2): 530-533.
- [33] 赵楠, 刘公言, 刘磊, 等. 饲料泛酸添加水平对3~5月龄獭兔生产性能和抗氧化功能的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(8): 2614-2621. Zhao N, Liu G, Liu L, *et al.* Effects of dietary pantothenic acid supplemental levels on performance and antioxidant function of 3 to 5-month-old rex rabbits[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(8): 2614-2621(in Chinese).
- [34] Li Y, Wang Y J, Wang L, *et al.* Influence of several non-nutrient additives on nonspecific immunity and growth of juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* L.[J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14(5): 387-395.
- [35] Kohen R, Nyska A. Invited review: Oxidation of biological systems: oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification[J]. Toxicologic Pathology, 2002, 30(6): 620-650.
- [36] Shen W Y, Fu L L, Li W F, *et al.* Effect of dietary supplementation with *Bacillus subtilis* on the growth, performance, immune response and antioxidant activities of the shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. Aquaculture Research, 2010, 41(11): 1691-1698.

Effects of different dietary pantothenic acid levels on growth performance, feed utilization and serum indices of juvenile *Litopenaeus vannamei*

YUAN Ye, HUANG Xiaoling, LU You, MA Hongna, ZHOU Qicun*

(Laboratory of Fish Nutrition, School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: An 8-week feeding trial was conducted to evaluate the effects of different dietary pantothenic acid levels on growth performance, feed utilization and serum indices of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Six isonitrogenous and isolipidic practical diets (41% crude protein and 8% crude lipid) were formulated to supplement with pantothenic acid levels were of (control diet), 50, 100, 150, 300 and 600 mg/kg, respectively. The analyzed values of dietary pantothenic acid are 20.9, 69.3, 99.0, 150.2, 304.4 and 513.6 mg/kg, respectively. Each diet was randomly assigned to 3 replicates of 40 juvenile shrimps (initial weight approximately 0.73 ± 0.12 g). The results indicated that weight gain rate and specific growth rate were not significantly affected by dietary pantothenic acid levels ($P>0.05$). However, shrimp fed the control diet had lower survival rate than those fed the diets supplemented with pantothenic acid ($P<0.05$), while there were no significant differences among those supplemented with pantothenic acid. Feed efficiency and protein efficiency rate significantly increased with dietary pantothenic acid level increasing from 20.9 mg/kg to 99.0 mg/kg, then decreased with further increase of dietary pantothenic acid level from 150.2 mg/kg to 513.6 mg/kg. Composition of whole body and muscle in the juvenile *L. vannamei* were not significantly influenced by the dietary pantothenic acid levels ($P>0.05$). Shrimp fed control pantothenic acid diet had lower glucose concentration in serum than those fed the other diets, while there were no significant differences among all diets supplemented with pantothenic acid. Shrimp fed the diet containing 150.2 mg/kg pantothenic acid had lower TG in serum than those fed the diets containing 20.9 mg/kg and 513.6 mg/kg. Total protein and cholesterol in serum were not affected by dietary pantothenic acid levels. SOD activity in serum increased significantly with dietary pantothenic acid level increasing from 20.9 mg/kg to 150.2 mg/kg, then decreased significantly with further increase of dietary pantothenic acid level ($P<0.05$). Shrimp fed the diet containing 99.0 mg/kg pantothenic acid had higher T-AOC than the other diets. Shrimp fed the diet containing 69.3 mg/kg pantothenic acid and control diet had higher level MDA in serum than those fed the other diets, and the lowest MDA in serum occurred at diet containing 150.2 mg/kg pantothenic acid ($P<0.05$). Based on a two-slope broken-line model between feed efficiency, productive protein value and dietary pantothenic acid levels, the optimal dietary pantothenic acid requirement is estimated to be 113.40 and 119.87 mg/kg for juvenile Pacific white shrimp, respectively.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; pantothenic acid; growth performance; feed utilization; antioxidant capacity

Corresponding author: ZHOU Qicun. E-mail:zhouqicun@nbu.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31272670, 41476125); Special Public Service Sectors of the Ministry of Agriculture (201003020); Agricultural Research Projects in the Ningbo Science and Technology Department (2011C10006); Open Fund of Zhejiang Provincial Top Key Discipline of Aquaculture in Ningbo University