

吉富罗非鱼对饲料中泛酸的需要量

黄 凤¹, 蒋 明^{1,2}, 文 华^{1*}, 吴 凡¹, 刘 伟¹, 田 娟^{1,2}, 杨长庚¹

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所,农业部淡水生物多样性保护与利用重点开放实验室,湖北 武汉 430223;

2. 淡水水产健康养殖湖北省协同创新中心,湖北 武汉 430070)

摘要: 选用初始体质量为 (79.4 ± 1.6) g 吉富罗非鱼 270 尾,随机分成 6 组(每组 3 重复,每重复 15 尾),养殖于 500 L 养殖桶中,分别饲喂泛酸含量为 0.5、4.8、9.5、18.2、36.3 和 74.4 mg/kg 纯化饲料 12 周,研究确定其对泛酸的需要量。结果表明,随着饲料泛酸含量增加,吉富罗非鱼增重率、肝脏和肌肉泛酸含量均呈先线性增加后稳定的趋势;肥满度和肝体比呈先增加后降低的趋势,均以 4.8 mg/kg 组最高。全鱼水分含量先降低后增加,全鱼脂肪含量呈现与水分含量相反的趋势。肝总脂含量显著降低,添加组显著低于未添加组 ($P < 0.05$)。血清高密度脂蛋白含量随着饲料泛酸含量的增加而显著增加 ($P < 0.05$)。折线回归分析结果表明,吉富罗非鱼(80~350 g)获得最佳生长时对饲料泛酸需要量为 10.5 mg/kg,饲料中 12.6 和 13.5 mg/kg 泛酸可以分别使肝脏和肌肉泛酸累积量达到最大。

关键词: 吉富罗非鱼;泛酸;需要量;生长

中图分类号: S 963

文献标志码: A

泛酸(pantothenic acid, PA)在生物体内主要以辅酶 A (CoA) 和酰基载体蛋白(acyl carrier protein, ACP)2 种活性形式存在,在碳水化合物、脂肪和蛋白质代谢的酰基转移过程中起着重要的作用^[1],是鱼类必需营养物质之一。鱼类缺乏泛酸可能表现出棒状鳃、生长不良、高死亡率、贫血、厌食、出血、皮肤腐烂和游泳不协调等症状^[2-4],因此,准确把握鱼类饲料泛酸的配比对维持其正常生长和生理功能具有重要意义。国内外对鱼类泛酸需要量的研究较多,如石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)^[5]的泛酸需要量为 11.0 mg/kg;宝石鲈(*Scortum barcoo*)^[6]为 12.4~13.5 mg/kg;幼建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)^[7]为 23.0 mg/kg;鲤(*Cyprinus carpio*)^[8]为 30.0~50.0 mg/kg;黄尾鲷(*Seriola quinqueradiata*)^[9]为 35.9 mg/kg。以上研究结果显示,不同种类的鱼对饲料泛酸的需要量存在较大的差异,因此,有必要研究确定不同养殖鱼类泛酸的需要量。

Roem 等^[10]研究表明,饲料中 6.0 mg/kg 泛酸可以满足 2.0 g 蓝罗非鱼(*Oreochromis aurea*)正常生长需要,10.0 mg/kg 泛酸可以避免疾病的产生。Soliman 等^[11]表明,饲料 10.0 mg/kg 泛酸可以满足 0.71 g 蓝罗非鱼营养需要。以上报道的研究对象均为罗非鱼幼鱼,还未见大规格罗非鱼鱼种对泛酸需要量的研究报道。Mjoun 等^[12]研究表明,罗非鱼营养需要量受鱼体规格大小的影响较大,Wen 等^[7]也认为鲤饲料泛酸需要量受鱼体规格大小影响。因此,有必要研究确定大规格罗非鱼鱼种对饲料泛酸的需要量。吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)是中国罗非鱼养殖中最主要的养殖品系之一,是通过对 4 个非洲原种品系尼罗罗非鱼和 4 个亚洲品系尼罗罗非鱼进行种内杂交选育而成^[13],经过多年培育,其生长速度较其他罗非鱼品系提高 5%~30%,其对泛酸的需要可能已经发生改变。因此,本实验通过在基础纯化饲料中添加不同梯度的泛酸投喂吉富罗非鱼,

收稿日期:2014-04-01 修回日期:2014-05-08

资助项目:现代农业产业技术体系专项(CARS-49);公益性行业(农业)科研专项(201003020)

通信作者:文 华,E-mail:wenhua_hb@163.com

研究其对实验鱼生长性能、饲料效率、全鱼基本营养成分、部分血清指标及组织泛酸累积量的影响,旨在确定吉富罗非鱼[初始平均体质量(79.4 g)]对饲料泛酸的需要量,为其饲料配制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以酪蛋白和明胶为蛋白源,以豆油和玉米油为脂肪源(1:1),配制成粗蛋白质含量为31.0%,粗脂肪含量为7.9%的基础饲料(表1)。在基础

表 1 基础饲料配方及其基本营养组成(干重) Tab.1 Formulation and proximate analysis of the basal diet (on dry weight basis)	
原料 ingredient	含量/% content
酪蛋白 casein	30
明胶 glutin	7.5
糊精 dextrine	38
玉米油 corn oil	4
大豆油 soybean oil	4
氯化胆碱 choline chloride	0.25
维生素预混料 ¹ vitamin premix	1
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	1
矿物盐预混料 ² mineral premix	4
微晶纤维素 micro-cellulose	10.25
基本营养组成/% proximate composition	
水分 moisture	9.7
粗蛋白 crude protein	31.0
粗脂肪 crude lipid	7.9
灰分 ash	2.9

注:1. 维生素预混料由下列成分组成(mg/g 预混料),硫酸素盐,5;核黄素,10;D-生物素,0.6;盐酸吡哆醇,4;叶酸,1.5;肌醇,200;L-维生素 C-2-磷酸镁,60;烟酸,6.05;α-维生素 E 醋酸酯,50;维生素 K,4;视黄醇醋酸酯,2 000 IU 和维生素 D3,400 IU,再用微晶纤维素添加至 1 g。2. 矿物盐预混料由下列成分组成(mg/g 预混料),磷酸二氢钙,135.8;乳酸钙,327;硫酸亚铁,2.125;硫酸镁,137;磷酸二氢钠,87.2;氯化钠,43.5;氯化铝,0.15;碘酸钾,0.125;氯化钾,75;氯化铜,0.1;硫酸锰,0.80;氯化钴,1 和硫酸锌 3,再用微晶纤维素添加至 1 g
Notes:1. the vitamin mixture supplied the following(mg/g mixture), thiamin hydrochloride, 5; riboflavin, 10; D-biotin, 0.6; pyridoxine hydrochloride, 4; folic acid, 1.5; inositol, 200; L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg,60; nicotinic acid,6.05; α-tocopheryl acetate,50; menadione,4; retinol acetate,2 000 IU and cholecaliferol,400 IU. All ingredients were diluted with micro-cellulose to 1 g. 2. the mineral mixture supplied the following(mg/g diet), Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 135.8; Ca(CH₃CHOHCOO)₂·5H₂O,327; FeSO₄·6H₂O,2.125; MgSO₄·7H₂O,137; NaH₂PO₄,87.2; NaCl,43.5; AlCl₃·6H₂O,0.15; KIO₃,0.125; KCl,75; CuCl₂·2H₂O,0.1; MnSO₄·H₂O,0.80; CoCl₂·6H₂O,1 and ZnSO₄·7H₂O,3. All ingredients were diluted with micro-cellulose to 1 g

饲料中分别添加泛酸 0、5、10、20、40 和 80 mg/kg (以泛酸钙的形式添加),共配制成 6 种实验饲料。微生物法检测^[14]6 种饲料中泛酸含量分别为 0.5、4.8、9.5、18.2、36.3 和 74.4 mg/kg。饲料原料经粉碎后过 60 目分级筛,准确称重后逐步混匀,加适量的水用绞肉机挤压成条状,电扇吹干后,破碎成 Φ2.0 mm,长约 4.0 mm 的圆柱形颗粒,-20℃保存备用。

1.2 实验鱼和实验方法

实验鱼为广西罗非鱼国家级育种试验场繁育的吉富罗非鱼,正式实验前挑选健康活泼、规格一致的罗非鱼暂养于长江水产研究所室内循环水养殖系统养殖桶(500 L)中,投喂基础饲料驯化,2 周后挑选规格均匀的吉富罗非鱼[平均初始体质量为(79.4±1.6)g]随机分配至 18 个养殖桶中,每养殖桶放养 15 尾,随机分成 6 组,每组设 3 个重复,分别投喂 6 组实验饲料,每天 3 次投喂(8:30~9:30,12:30~1:30,16:30~17:30),表观饱食投喂。日换水 1 次,日换水量约占总体积 1/3 并清除桶内粪便。养殖持续 12 周,饲养期间平均水温 28~33℃,pH 7.1~7.3,连续不间断充氧确保溶氧 5.0 mg/L 以上,总氨氮低于 0.5 mg/L,自然光照周期。

1.3 样品采集、测定与计算

实验开始和结束时,鱼体均禁食 24 h,称量并记录实验鱼初始鱼体总质量和终末鱼体总质量,同时计数罗非鱼尾数,计算增重率(weight gain rate, WGR)和成活率(survival rate, SR)。实验结束后统计每个重复投喂的饲料质量,计算饲料效率(feed efficiency, FE);每个养殖桶随机取 3 尾鱼,用绞肉机制作全鱼样品,用于测定全鱼基本营养成分^[14];另从每个养殖桶中随机取 3 尾鱼并测量其体质量和体长,计算肥满度(condition factor, CF);之后从尾部静脉采血,4℃静置 2 h,3 000 r/min 离心 10 min,取上层血清用于血清总胆固醇(total cholesterol, TCHO)、甘油三脂(triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇含量(high density lipoprotein cholesterol, HDLC)和碱性磷酸酶活性(alkaline phosphatase, ALP)的检测,用 Sysmex 全自动生化分析仪(Chemix-800)测定;再对鱼体进行解剖,分离内脏和肝脏并称质量,计算脏体比(hepatosomatic index, HSI)

和肝体比 (viscerosomatic index, VSI), 之后采集鱼体背部肌肉, 将肝脏和肌肉样品保存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, 用于泛酸含量的测定。饲料、肝脏和肌肉中泛酸含量均采用微生物法检测^[14]。

相关计算公式如下:

$$\text{成活率 (survival rate, SR, \%)} = 100 \times N_t / N_0 \quad (1)$$

$$\text{增重率 (weight gain rate, WGR, \%)} = 100 \times (FBW - IBW) / IBW \quad (2)$$

$$\text{饲料效率 (feed efficiency, FE)} = (FTBW - ITBW) / FG \quad (3)$$

$$\text{肥满度 (condition factor, CF, g/cm}^3\text{)} = 100 \times W / L^3 \quad (4)$$

$$\text{肝体比 (hepatosomatic index, HSI, \%)} = 100 \times HW / W \quad (5)$$

$$\text{脏体比 (viscerosomatic index, VSI, \%)} = 100 \times VW / W \quad (6)$$

式中, N_t 为终末尾数, N_0 为初始尾数, IBW 为初始体质量 (g), FBW 为终末体质量 (g), W 为鱼体质量 (g), L 为鱼体长 (cm), HW 为肝脏质量 (g), VW 为内脏质量 (g), FG 为饲料总消耗量, $ITBW$ 为初始鱼体总质量 (g), $FTBW$ 为终末鱼体总质量 (g)。

1.4 统计分析

实验结果均以平均值 $\pm$ 标准差 (means $\pm$ SD) 表示, 用 SPSS 18.0 统计软件中 One-Way ANOVA 单因素方差分析和 Tukey's 均值多重比较法对实验结果的差异显著性进行分析处理, 当 $P < 0.05$ 时, 表示差异显著。

2 结果

2.1 饲料泛酸含量对吉富罗非鱼生长和饲料利用的影响

12 周养殖后, 各个组实验鱼成活率均为 100%。未添加泛酸组的鱼除了生长缓慢外, 未表现任何肉眼可见的缺乏症。随着饲料中泛酸含量的增加, 吉富罗非鱼增重率呈先线性增加后稳定的趋势; 其中 $\geq 9.5\text{ mg/kg}$ 泛酸组鱼体增重率显著高于其他处理组 ($P < 0.05$), 4.8 mg/kg 泛酸组鱼体增重率显著高于未添加泛酸组 ($P < 0.05$) (表 2)。肥满度和肝体比呈先增后降的趋势, 均在 4.8 mg/kg 泛酸组达到最高。饲料中添加泛酸对吉富罗非鱼饲料效率和脏体比均无显著影响 ($P > 0.05$)。应用折线模型分析鱼体增重率与饲料泛酸含量的关系, 得 10.5 mg/kg 泛酸可以满足吉富罗非鱼最佳生长需要 (图 1)。

表 2 投喂不同泛酸含量饲料 12 周后吉富罗非鱼生长性能、成活率及形体指标
Tab. 2 Weight gain, feed efficiency and body indices of GIFT tilapia fed different diets for 12 weeks

	饲料泛酸含量/(mg/kg) dietary pantothenic acid levels					
	0.5	4.8	9.5	18.2	36.3	74.4
初始鱼体总质量/g IBW	79.2 $\pm$ 2.3	78.6 $\pm$ 1.2	79.7 $\pm$ 2.4	79.1 $\pm$ 0.9	80.5 $\pm$ 1.6	79.4 $\pm$ 1.4
终末鱼体总质量/g FBW	318.9 $\pm$ 11.1 ^a	330.9 $\pm$ 2.7 ^a	357.5 $\pm$ 13.6 ^b	357.5 $\pm$ 2.9 ^b	364.7 $\pm$ 5.7 ^b	363.1 $\pm$ 6.9 ^b
增重率/% WGR	302.5 $\pm$ 2.2 ^a	321.3 $\pm$ 3.2 ^b	348.5 $\pm$ 3.7 ^c	351.8 $\pm$ 4.7 ^c	353.3 $\pm$ 3.1 ^c	357.1 $\pm$ 1.8 ^c
饲料效率 FE	0.8 $\pm$ 0.0 ^a	0.8 $\pm$ 0.1 ^a	0.9 $\pm$ 0.0 ^a	0.9 $\pm$ 0.1 ^a	0.9 $\pm$ 0.1 ^a	0.9 $\pm$ 0.0 ^a
肥满度/(g/cm ³) CF	4.0 $\pm$ 0.2 ^{ab}	4.4 $\pm$ 0.4 ^b	4.0 $\pm$ 0.3 ^{ab}	4.2 $\pm$ 0.2 ^{ab}	3.8 $\pm$ 0.4 ^a	3.9 $\pm$ 0.4 ^{ab}
肝体比/% HSI	1.8 $\pm$ 0.2 ^{ab}	1.9 $\pm$ 0.5 ^b	1.9 $\pm$ 0.2 ^{ab}	1.8 $\pm$ 0.3 ^{ab}	1.6 $\pm$ 0.1 ^{ab}	1.3 $\pm$ 0.1 ^b
脏体比/% VSI	8.2 $\pm$ 0.1 ^a	7.9 $\pm$ 0.4 ^a	8.4 $\pm$ 0.7 ^a	9.2 $\pm$ 0.6 ^a	8.3 $\pm$ 0.9 ^a	8.2 $\pm$ 0.6 ^a

注: 同行数据后相同小写字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$, Tukey's 法)。下同

Notes: means in the same line sharing a same superscript letter are not significantly different determined by Tukey's test ($P > 0.05$). The same as below

2.2 饲料泛酸含量对吉富罗非鱼肝脏和肌肉泛酸含量以及肝总脂含量的影响

饲料泛酸含量对吉富罗非鱼肝脏和肌肉泛酸含量以及肝总脂含量均有显著影响 ($P < 0.05$)。随着饲料泛酸含量增加, 吉富罗非鱼肝脏泛酸含量先呈线性增加后处于饱和状态; 肌肉泛酸含量

呈现同肝脏泛酸含量一致的变化趋势 (表 3, 图 2 和图 3)。 $\geq 18.2\text{ mg/kg}$ 泛酸添加组肝脏、肌肉泛酸含量分别显著高于 $\leq 9.5\text{ mg/kg}$ 泛酸添加组肝脏、肌肉泛酸含量 ($P < 0.05$)。肝总脂含量显著降低, 所有添加组均显著低于未添加组 ($P < 0.05$)。应用折线模型分别分析鱼体肝脏、肌肉

的泛酸含量与饲料泛酸含量关系,确定饲料 12.6 和 13.5 mg/kg 泛酸可以分别使罗非鱼肝脏、肌肉的泛酸含量达到饱和(图 2 和图 3)。

2.3 饲料泛酸含量对吉富罗非鱼鱼体成分组成的影响

饲料泛酸含量对吉富罗非鱼粗蛋白含量无显著影响($P>0.05$),对鱼体水分、粗脂肪和灰分含量均有显著影响($P<0.05$)。随着饲料泛酸含量增加,全鱼水分含量先降低后升高,全鱼粗脂肪含量呈现与全鱼水分含量相反的趋势;18.2 mg/kg 泛酸组鱼体水分含量最低,粗脂肪含量最高。鱼体灰分含量于 18.2 mg/kg 泛酸组最低,显著低于 9.5 mg/kg 泛酸组($P<0.05$),与其他组无显著差异($P>0.05$)(表 4)。

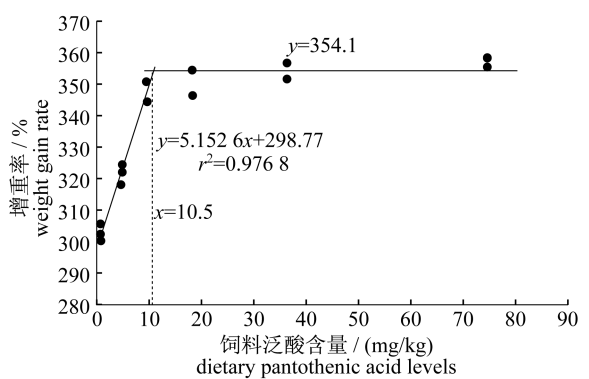


图 1 吉富罗非鱼增重率与饲料中泛酸含量的折线回归关系
Fig.1 Broken-line analysis of the relationship between dietary pantothenic acid level and weight gain rate of GIFT tilapia

表 3 投喂不同泛酸含量饲料 12 周后吉富罗非鱼肝脏和肌肉泛酸含量以及肝总脂含量
Tab.3 Hepatic and muscle pantothenic acid (PA) ,hepatic total lipid concentration of GIFT tilapia fed different diets for 12 weeks

	饲料泛酸含量/(mg/kg) dietary pantothenic acid levels					
	0.5	4.8	9.5	18.2	36.3	74.4
肝脏泛酸含量/(μg/g) hepatic PA content	15.9±1.3 ^a	18.8±1.3 ^b	30.5±0.9 ^c	34.4±0.8 ^d	34.3±1.0 ^d	34.3±0.9 ^d
肌肉泛酸含量/(μg/g) muscle PA content	10.1±1.0 ^a	13.3±0.6 ^b	19.4±0.7 ^c	23.3±1.5 ^d	23.1±1.2 ^d	23.4±0.7 ^d
肝总脂含量/% hepatic lipid content	14.4±0.6 ^a	11.1±0.1 ^b	10.6±1.0 ^b	10.1±0.5 ^{bc}	9.2±0.3 ^c	10.2±0.4 ^{bc}

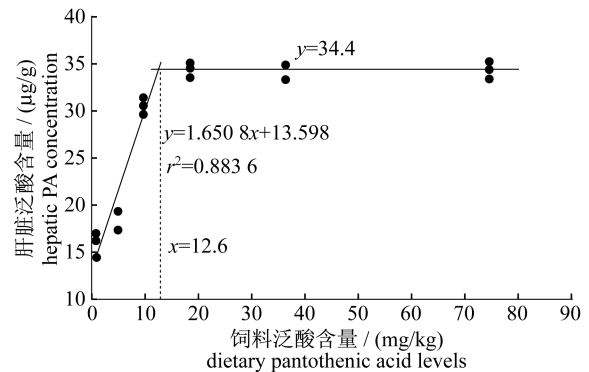


图 2 吉富罗非鱼肝脏泛酸含量与饲料中泛酸含量的折线回归关系
Fig.2 Broken-line analysis of the relationship between dietary pantothenic acid (PA) and hepatic PA concentration of GIFT tilapia

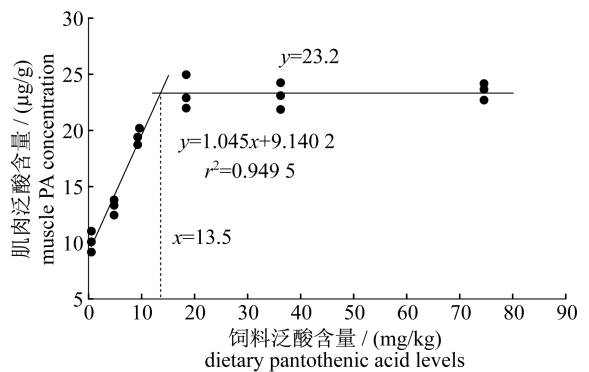


图 3 吉富罗非鱼肌肉泛酸含量与饲料中泛酸含量的折线回归关系
Fig.3 Broken-line analysis of the relationship between dietary pantothenic acid (PA) and muscle PA concentration of GIFT tilapia

表 4 投喂不同泛酸含量饲料 12 周吉富罗非鱼体成分组成
Tab.4 Proximate composition of GIFT tilapia fed different diets for 12 weeks

	饲料泛酸含量/(mg/kg) dietary pantothenic acid levels					
	0.5	4.8	9.5	18.2	36.3	74.4
水分/% moisture	70.0±1.4 ^{ab}	70.0±1.5 ^{ab}	68.7±0.5 ^{ab}	68.2±1.1 ^a	69.8±1.3 ^{ab}	70.6±1.2 ^b
粗脂肪/% crude lipid	9.7±0.7 ^{ab}	10.9±0.7 ^{bc}	10.6±0.1 ^{abc}	11.6±0.2 ^c	10.5±0.8 ^{abc}	9.6±0.8 ^a
灰分/% ash	3.5±0.1 ^{ab}	3.5±0.1 ^{ab}	4.0±0.6 ^b	3.3±0.3 ^a	3.5±0.2 ^{ab}	3.5±0.1 ^{ab}
粗蛋白/% crude protein	15.4±0.7 ^a	15.4±0.3 ^a	15.6±0.3 ^a	15.4±0.5 ^a	15.5±0.5 ^a	16.3±0.6 ^a

2.4 饲料泛酸含量对吉富罗非鱼部分血清生化指标的影响

随着饲料泛酸含量增加,吉富罗非鱼血清高密度脂蛋白含量显著增加,其中 18.2 和 74.4

mg/kg 泛酸组显著高于未添加泛酸组 ($P < 0.05$),与其他处理组无显著差异 ($P > 0.05$) (表 5)。血清碱性磷酸酶活性、甘油三脂和总胆固醇含量在各处理间均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 5 投喂不同泛酸含量饲料的吉富罗非鱼部分血清生化指标含量
Tab. 5 Serum biochemical indices of GIFT tilapia fed different diets for 12 weeks

	饲料泛酸含量/(mg/kg) dietary pantothenic acid levels					
	0.5	4.8	9.5	18.2	36.3	74.4
碱性磷酸酶/(IU/mL) ALP	19.0 ± 1.8 ^a	22.5 ± 3.9 ^a	23.3 ± 1.7 ^a	23.7 ± 4.0 ^a	20.3 ± 2.3 ^a	22.3 ± 4.2 ^a
甘油三脂/(mmol/L) TG	2.6 ± 0.6 ^a	2.3 ± 0.3 ^a	3.4 ± 0.5 ^a	3.1 ± 0.7 ^a	3.2 ± 0.6 ^a	2.7 ± 0.5 ^a
总胆固醇/(mmol/L) TCHO	3.1 ± 0.7 ^a	3.2 ± 0.5 ^a	3.1 ± 0.4 ^a	4.2 ± 0.9 ^a	4.1 ± 0.7 ^a	4.2 ± 0.5 ^a
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) HDLC	2.8 ± 0.4 ^a	3.1 ± 0.2 ^{ab}	3.0 ± 0.2 ^{ab}	3.6 ± 0.5 ^b	3.3 ± 0.2 ^{ab}	3.6 ± 0.5 ^b

3 讨论

本实验表明,饲料添加泛酸对吉富罗非鱼增重率和饲料系数均有改善作用。在基础饲料中添加不同含量的泛酸,经过 12 周的养殖,发现饲料中泛酸含量不足时吉富罗非鱼的终末体质量和增重率显著降低,进一步提高饲料泛酸水平后,吉富罗非鱼增重率显著增加,饲料效率有所提高。本实验结果与其他学者对蓝罗非鱼^[10-11],军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[15],斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)^[4],斑节对虾 (*Penaeus monodon*)^[1]和皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai* Ino)^[16]饲料泛酸需要量的研究结果一致,以上结果表明泛酸是大部分水产动物生长必不可少的营养物质。Wen 等^[7]认为泛酸提高鱼体增重率和饲料效率与泛酸重要生理作用有关: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。本实验中未添加泛酸组吉富罗非鱼除生长缓慢外未表现任何肉眼可见的缺乏症,且各处理组成活率均为 100%。有研究表明石斑鱼^[5]、蓝罗非鱼^[10-11]、黄尾鲷^[9]和大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)^[17]泛酸缺乏时表现出鳃增生或棒状鳃的症状;斑点叉尾鲷^[4,18]、黄尾鲷^[19]、宝石鲈^[6]和鲤^[8]缺乏泛酸时出现贫血的症状。大部分鱼类缺乏泛酸时还表现出生长缓慢,高死亡率,鳃色苍白、体表出血和游动缓慢等症状^[2]。本实验未表现上述缺乏症状可能是由于所采用的吉富罗非鱼规格相对较大,鱼体代谢相对缓慢,因而体内贮存的泛酸足够阻止缺乏症的产生,延长养殖周期鱼体缺乏症可能产生。

本实验饲料中添加泛酸还能显著影响吉富罗非鱼肝脏脂肪含量,摄食未添加泛酸饲料的实验鱼肝脏脂肪含量显著高于添加组,这可能是泛酸的缺乏影响了吉富罗非鱼脂肪代谢的结果。泛酸在体内是合成辅酶 A 和磷酸泛酰巯基乙胺的主要原料,对脂肪代谢过程中乙酰基的转移具有很重要的作用^[20],因而泛酸的缺乏将影响到脂肪酸 β-氧化过程,导致过多脂肪在肝脏中累积。对石斑鱼^[5]、湖鲮 (*Salvelinus namaycush*)^[21]、蓝罗非鱼^[10]、军曹鱼^[15]和斑节对虾^[1]泛酸需要量的研究也表明未添加泛酸组肝脏脂肪含量显著高于添加泛酸组,且随着饲料中泛酸含量的增加,肝脏脂肪含量逐渐降低并最终维持稳定状态。本实验研究还发现饲料泛酸含量显著影响吉富罗非鱼肝脏泛酸含量,肝脏泛酸含量随着饲料泛酸含量的增加呈现先增加后稳定的趋势。该结果与 Lin 等^[5]对石斑鱼、宋理平^[6]对宝石鲈、刘凯^[15]对军曹鱼以及 Zhu 等^[16]对幼鲍的研究结果相类似。这些结果表明在一定添加范围内,肝脏泛酸含量的变化可以很好地反映饲料泛酸的变化。

本实验中以增重率为评价指标,得到吉富罗非鱼泛酸的需要量为 10.5 mg/kg。该值与蓝罗非鱼^[11,22] (6.0 ~ 10.0 mg/kg)泛酸需要量一致,研究表明饲料 6.0 mg/kg 泛酸可以满足 2.0 g 蓝罗非鱼正常生长需要,10.0 mg/kg 泛酸可以避免病理的产生;10.0 mg/kg 泛酸可以满足 0.71 g 蓝罗非鱼营养需要。分析以上研究结果推断个体规格大小可能对罗非鱼泛酸的需要量影响较小,而本研究结果与其他学者在鲤鱼上的研究结果不一致,研究表明幼建鲤 (13.0 ~ 73.0 g) 正常生长泛酸需要量 (23.0 mg/kg) 低于普通鲤 (2.8 ~ 7.7 g)^[2,8]需要

量(30~45 mg/kg),Wen 等^[6]认为这可能是由于幼建鲤体质量大于 Ognio^[8]的实验鱼造成的。与其他鱼的泛酸需要量相比,本研究确定的需要量与斑点叉尾鲷^[4,18](10.0 mg/kg;15.0 mg/kg)、蓝罗非鱼^[11,22](6.0~10.0 mg/kg)、真鲷(*Pagrus major*)^[23](10.0 mg/kg)和宝石鲈^[6](12.40 mg/kg)的泛酸需要量相似,而低于军曹鱼^[15](16.4 mg/kg)、太平洋鲑(*Oncorhynchus tshawytscha*)^[24](17.0 mg/kg)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[25](20.0 mg/kg)、鲤^[8](30.0~50.0 mg/kg)和黄尾鲷^[9](35.9 mg/kg)的泛酸需要量。大部分研究还表明,除增重率外,肝脏泛酸含量也可以用来评价鲤^[8]、黄尾鲷^[9]和草虾^[1]的需要量。本实验中肝脏、肌肉泛酸含量同饲料泛酸含量的关系吻合折线回归模型($r^2=0.883\ 6$ 和 $r^2=0.949\ 5$),因此也适合用于评价吉富罗非鱼的需要量。以肝脏和肌肉总泛酸为评价指标,分别得吉富罗非鱼泛酸需要量为12.6和13.5 mg/kg,该值与依据增重率获得值(10.5 mg/kg)相接近。

Avogaro 等^[26]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,并能提高体内高密度脂蛋白胆固醇水平。在本实验中,添加适量的泛酸显著提高了吉富罗非鱼高密度脂蛋白胆固醇含量,而饲料中添加泛酸对血清碱性磷酸酶活性,甘油三酯以及总胆固醇含量无显著影响。目前泛酸对鱼类血清血脂指标的影响的研究很少,仅有对草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)幼鱼的研究中报道过饲料中添加泛酸显著提高血清中甘油三酯、总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量^[27]。关于泛酸对鱼体血清血脂指标的影响机理还有待进一步研究。

饲料泛酸含量对鱼体组成的影响在不同鱼种间存在很大的差异。Soliman 等^[11]研究表明饲料泛酸含量对蓝罗非鱼鱼体组成无显著影响;而 Poston 等^[21]研究表明湖鳟脂肪含量随着饲料泛酸含量增加而增加。相反,Wen 等^[7]研究表明,幼建鲤鱼体脂肪含量随着饲料泛酸含量增加而下降,蛋白含量显著上升。在本实验中,随着饲料泛酸含量增加,吉富罗非鱼全鱼粗脂肪含量增加,粗蛋白含量在各组间无显著差异。

4 总结

综上所述,泛酸是维持吉富罗非鱼正常生长和生理所必需的维生素,其不足会造成鱼体生长缓慢。随着饲料中泛酸含量的增加,吉富罗非鱼增重率、肝脏和肌肉总泛酸含量呈先线性增加后稳定,肝总脂含量显著降低,血清高密度脂蛋白含量显著增加。以增重率、肝脏和肌肉总泛酸含量为评价指标,分别得吉富罗非鱼对泛酸的需要量为10.5、12.6和13.5 mg/kg。

参考文献:

- [1] Shiau S Y, Hsu C W. Dietary pantothenic acid requirement of juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon* [J]. Journal of Nutrition, 1999, 129 (3): 718-721.
- [2] National Research Council (NRC). Vitamins [M] // Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington, D. C.: National Academy Press, 2011: 186-220.
- [3] Halver J E. The vitamins [M] // Halver J E, Hardy R W. Fish nutrition. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2002: 61-141.
- [4] Wilson R P, Bowser P R, Poe W E. Dietary pantothenic acid requirement of fingerling channel catfish [J]. Journal of Nutrition, 1983, 113 (10): 2124-2128.
- [5] Lin Y H, Lin H Y, Shiau S Y. Estimation of dietary pantothenic acid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus* according to physiological and biochemical parameters [J]. Aquaculture, 2012, 324-325: 92-96.
- [6] Song L P. Study of nutritional requirement of jade perch (*Scortum barcoo*) [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2009. [宋理平. 宝石鲈营养需求的研究. 济南: 山东师范大学, 2009.]
- [7] 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.
- [8] Ogino C. B vitamin requirements of carp—II. Requirements for riboflavin and pantothenic acid [J]. Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish, 1967, 33 (4): 351-354.
- [9] Shimeno S. Yellowtail, *Seriola quinqueradiata* [M] // Wilson R P, Boca R. Handbook of nutrient

- requirements of finfish. Florida: CRC Press, 1991: 181 – 191.
- [10] Roem A J, Stickney R R, Kohler C C. Dietary pantothenic acid requirement of the blue tilapia[J]. The Progressive Fish-Culturist, 1991, 53 (4): 216 – 219.
- [11] Soliman A K, Wilson R P. Water-soluble vitamin requirements of tilapia. 1 Pantothenic acid requirement of blue tilapia, *Oreochromis aureus*[J]. Aquaculture, 1992, 104(1 – 2): 121 – 126.
- [12] Mjoun K, Rosentrater K A, Brown M L. Tilapia: Environmental biology and nutritional requirements [M]. South Dakota State University, South Dakota Cooperative Extension Service, USDA-ARS Extension Publications, 2010.
- [13] Tendencia E A, Fermin A C, Dela Peña M R, *et al.* Effect of *Epinephelus coioides*, *Chanos chanos*, and GIFT tilapia in polyculture with *Penaeus monodon* on the growth of the luminous bacteria *Vibrio harveyi* [J]. Aquaculture, 2006, 253(1 – 4): 48 – 56.
- [14] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis of AOAC international [M]. Arlington: AOAC International, 1995.
- [15] Liu K. Studies on nutritional physiology of pyridoxine, Myo-inositol and pantothenic acid for cobia *Rachycentron canadum* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008. [刘凯. 军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 吡哆醇、肌醇和泛酸营养生理的研究. 青岛: 中国海洋大学, 2008.]
- [16] Zhu W, Mai K, Tan B, *et al.* Dietary pantothenic acid requirement of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino [J]. Journal of Shellfish Research, 2004, 23(4): 1045 – 1050.
- [17] Zhang C X. Studies on nutritional physiology of major B vitamins and mineral-phosphorus for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. and Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006. [张春晓. 大黄鱼、鲈鱼主要 B 族维生素和矿物质—磷的营养生理研究. 青岛: 中国海洋大学, 2006.]
- [18] Murai T, Andrews J W. Pantothenic acid requirements of channel catfish fingerlings [J]. Journal of Nutrition, 1979, 109(7): 1140–1142.
- [19] Hosokawa H. The vitamin requirements of fingerling yellowtail, *Seriola quinqueradiata* [D]. Japan: Kochi University, 1989.
- [20] Robishaw J D, Neely J R. Coenzyme A metabolism [J]. The American Journal of Physiology, 1985, 248(1): E1–E9.
- [21] 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.
- [22] Roem A J, Stickney R R, Kohler C C. Vitamin requirements of blue tilapias in a recirculating water system [J]. The Progressive Fish-Culturist, 1990, 52(1): 15 – 18.
- [23] Yano T, Nakao M, Furuichi M, *et al.* Effects of dietary choline, pantothenic acid and vitamin C on the serum complement activity of red sea bream [J]. Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish, 1988, 54(1): 141 – 144.
- [24] Leith D. Effects of vitamin nutrition on the immune response of hatchery-reared salmonids, 1986 Annual Report [R]. United States. Bonneville Power Administration. Abernathy Salmon Culture Technology Center, 1986.
- [25] Cho C Y, Woodward B. Dietary pantothenic acid requirements of young rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology, 1990, 4(4): A912.
- [26] Avogaro P, Bon G B, Fusello M. Effect of pantothenic acid on lipids, lipoproteins and apolipoproteins in man [J]. Current Therapeutic Research-Clinical and Experimental, 1983, 33(3): 488 – 493.
- [27] 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. [刘安龙, 文华, 蒋明, 等. 草鱼幼鱼对饲料中泛酸需要量的研究. 水产科学, 2007, 26(5): 263 – 266.]

Dietary pantothenic acid requirement of GIFT tilapia(*Oreochromis niloticus*)

HUANG Feng¹, JIANG Ming^{1,2}, WEN Hua^{1*}, WU Fan¹, LIU Wei¹, TIAN Juan^{1,2}, YANG Changgeng¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation and Utilization, Ministry of Agriculture,
Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;
2. Freshwater Aquaculture Collaborative Innovative Centre of Hubei Province, Wuhan 430070, China)

Abstract: A 12-week growth experiment was conducted to quantify the optimum dietary pantothenic acid (PA) requirement of GIFT tilapia *Oreochromis niloticus*. Triplicate groups of experimental tilapia with initial body weight $[(79.4 \pm 1.6) \text{ g}]$ were cultured in 500 L aquaria ($r = 0.9 \text{ m}$, $h = 0.75 \text{ m}$; 15 fish each aquarium) and fed with the experimental diets at six levels (0.5, 4.8, 9.5, 18.2, 36.3 and 74.4 mg/kg diet, respectively) of PA (supplied as Calcium d-PA). The results showed that, with the increasing of dietary PA level, weight gain rate of tilapia first increased linearly, then remained nearly unchanged at high PA treatments. Hepatic and muscle PA contents presented the same tendency with weight gain rate. Condition factor and hepatosomatic index first increased, then decreased with the increase of dietary PA level, and they were highest in 4.8 mg/kg PA supplement group. Whole body moisture content of tilapia first decreased, then increased as dietary PA increased, while whole body crude lipid content presented an opposite tendency. Hepatic total lipid concentration significantly decreased, the supplement groups showed significantly lower values than that in the un-supplemented group ($P < 0.05$). The increase of dietary PA level also significantly increased serum high density lipoprotein cholesterol content ($P < 0.05$). Broken-line regression analysis showed the optimum dietary PA requirement of GIFT tilapia was estimated to be 10.5 mg/kg for maximum growth, 12.6 and 13.5 mg/kg for maximum hepatic and muscle PA concentration, respectively.

Key words: GIFT tilapia(*Oreochromis niloticus*); pantothenic acid; requirement; growth

Corresponding author: WEN Hua. E-mail: wenhua.hb@163.com