

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20191012001

http://www.yykxjz.cn/

周莹, 王际英, 李宝山, 王成强, 王世信, 孙永智, 马长兴. 许氏平鲷幼鱼对饲料中维生素 B<sub>6</sub>需求量的研究. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 37-48

Zhou Y, Wang JY, Li BS, Wang CQ, Wang SX, Sun YZ, Ma CX. Dietary vitamin B<sub>6</sub> requirements of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(6): 37-48

## 许氏平鲷幼鱼对饲料中维生素 B<sub>6</sub>需求量的研究\*

周莹<sup>1,2</sup> 王际英<sup>2①</sup> 李宝山<sup>2</sup> 王成强<sup>2</sup> 王世信<sup>2</sup> 孙永智<sup>2</sup> 马长兴<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心 农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心

水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心 上海 201306;

2. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室 烟台 264006)

**摘要** 本实验旨在研究饲料中维生素 B<sub>6</sub>含量对许氏平鲷(*Sebastes schlegeli*)幼鱼生长、体成分、肝脏酶活和转氨酶基因表达的影响,以确定其对维生素 B<sub>6</sub>的需求量。配制 6 组维生素 B<sub>6</sub>实际含量分别为 2.08(对照组)、3.25、4.16、6.32、10.17 和 31.14 mg/kg 的实验饲料,饲喂初始体重为(36.35±0.06) g 的许氏平鲷幼鱼 63 d。结果显示,随着维生素 B<sub>6</sub>含量的增加,实验鱼的增重率(WGR)和特定生长率(SGR)均呈先升高后降低的趋势,4.16 mg/kg 组达到最高。4.16 mg/kg 组脏体比(VSI)显著高于对照组( $P<0.05$ ),3.25~10.17 mg/kg 组的肝体比(HSI)和肠体比(ISI)显著高于对照组( $P<0.05$ )。3.25~31.14 mg/kg 组的肌肉水分含量显著低于对照组( $P<0.05$ ),全鱼和肌肉的粗蛋白和粗脂肪均呈先升后降的趋势。肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活力先升高后降低,4.16~10.17 mg/kg 组显著高于对照组( $P<0.05$ );丙二醛含量(MDA)先降低后升高,3.25~31.14 mg/kg 组显著低于对照组( $P<0.05$ );肝脏维生素 B<sub>6</sub>含量先升高后平稳;3.25~31.14 mg/kg 组谷草转氨酶(GOT)和谷丙转氨酶(GPT)活力显著高于对照组( $P<0.05$ )。谷草转氨酶(GOT1 和 GOT2)基因相对表达量先升后降,3.25~31.14 mg/kg 组显著高于对照组( $P<0.05$ );谷丙转氨酶(GPT1 和 GPT2)基因相对表达量先升后降,均在 6.32 mg/kg 组达到最大值;酪氨酸转氨酶(TAT)基因相对表达量先升后降,4.16~10.17 mg/kg 组显著高于其他组( $P<0.05$ );丝氨酸转氨酶(SerC)基因相对表达量呈下降趋势,4.16~31.14 mg/kg 组显著低于对照组和 3.25 mg/kg 组( $P<0.05$ )。以 WGR、肝脏维生素 B<sub>6</sub>含量和 GPT 为评价指标,经折线回归分析表明,体重 36 g 的许氏平鲷幼鱼维生素 B<sub>6</sub>的需求量为 3.53~6.32 mg/kg 饲料。

**关键词** 许氏平鲷; 维生素 B<sub>6</sub>; 需求; 转氨酶

**中图分类号** S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2020)06-0037-12

维生素 B<sub>6</sub>是一种水溶性维生素,以吡哆醇、吡哆醛和吡哆胺 3 种形式存在(Halsted, 2003)。维生素 B<sub>6</sub>与生物体内营养物质的代谢密切相关。首先,维生素 B<sub>6</sub>作为生物体内转氨酶和脱羧酶的辅酶,参与催化氨基

酸转氨、脱羧、消旋、脱硫和裂解等反应,在氨基酸代谢中起重要作用(Shiau *et al*, 2003);其次,作为糖原磷酸化酶的辅酶参与碳水化合物代谢,为糖异生提供碳架,维持血糖浓度;同时,其与必需脂肪酸的代

\* 烟台市科技计划(2017ZH068)资助 [This work was supported by Science and Technology Development Plan of Yantai (2017ZH068)]. 周莹, E-mail: zhouying7910@163.com

① 通讯作者: 王际英, 研究员, E-mail: ytwjy@126.com

收稿日期: 2019-10-12, 收修改稿日期: 2019-11-12

谢、mRNA的合成,糖皮质激素及白蛋白的基因表达有关(Zehra *et al*, 2018; Natori *et al*, 1997);此外,它还参与神经物质如 $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)、多巴胺、组胺、5-羟色胺(5-HT)等的生物合成,从而影响神经系统的发育和功能(Huang *et al*, 2005; Akhtar *et al*, 2010)。水产动物缺乏维生素B<sub>6</sub>会产生相应的缺乏症,但维生素B<sub>6</sub>过量并不会对水产动物产生明显的毒副作用。通过生长指标、肝脏维生素B<sub>6</sub>的含量、转氨酶活性等评价指标,确定了水产动物维生素B<sub>6</sub>的需求量约为1~12 mg/kg(He *et al*, 2009; Zehra *et al*, 2018; Hosokawa *et al*, 1992),其中,斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)维生素B<sub>6</sub>需求量为1.75~2.22 mg/kg(Huang *et al*, 2005),缺乏时表现为厌食,生长不良,惊厥,螺旋状游泳等;大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)维生素B<sub>6</sub>需求量为1~2.5 mg/kg(Adron *et al*, 1978),缺乏时表现为生长不良,厌食,运动失调,水肿,神经紊乱等;金头鲷(*Spatrus aurata*)维生素B<sub>6</sub>需求量为1.97 mg/kg(Kissil *et al*, 1981),缺乏时表现为生长迟缓,死亡率高,游泳行为不稳定和周围神经退化性改变等。

许氏平鲷(*Sebastes schlegeli*),隶属于鲷形目(Scorpaeniformes)、鲷科(Scorpaenidae)、平鲷属(*Sebastes*),又称黑鲷、黑头等,是一种冷温性卵胎生的鱼类,分布于我国黄海、渤海和东海,国外分布于朝鲜、日本和鄂霍次克海南部(刘蝉馨, 1988; 朱龙等, 1999)。许氏平鲷肉质鲜美,在沿海有黑石斑的美誉,是人工鱼礁资源增殖和网箱养殖的理想种类(冒树泉等, 2014)。目前,关于许氏平鲷营养需求研究主要涉及蛋白质、脂肪、糖类、矿物质及饲料添加剂等方面(Lee *et al*, 2002、2009; Cho *et al*, 2015; Katya *et al*, 2017),维生素营养需求的报道仅见维生素C(Lee *et al*, 1998)和维生素E(Bai *et al*, 1998),B族维生素研究方面尚处于空白。本研究通过在饲料中添加不同梯度的维生素B<sub>6</sub>,研究其对生长、肝脏酶活和转氨酶基因表达等指标的影响,确定许氏平鲷幼鱼对维生素B<sub>6</sub>的最适需求量,为其配合饲料的开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

以鱼粉、酪蛋白为主要蛋白源,鱼油为主要脂肪源,设计粗蛋白约为49.56%、粗脂肪约为9.12%的基础饲料配方。在基础饲料中分别添加0、1、2、4、8和32 mg/kg的盐酸吡哆醇(纯度为98.6%,购自上海麦克林生化科技有限公司),配制维生素B<sub>6</sub>实际含量为2.08、3.25、4.16、6.32、10.17和31.14 mg/kg

6组等氮等能的实验饲料,命名为D1、D2、D3、D4、D5和D6组,其中,D1为对照组。表1为实验饲料的配方及营养组成。

各原料经粉碎过80目标准筛,按配比称重后,逐级扩大法混合均匀,添加鱼油和适宜的蒸馏水,再次混合混匀,用小型饲料挤压机制成粒径为2和4 mm的颗粒饲料,60℃烘干,用塑料袋密封后于-20℃冰箱保存备用。

### 1.2 实验用鱼及饲养管理

实验所用许氏平鲷幼鱼购自山东日照传真养殖场,养殖实验在山东日照片联绿色养殖示范基地的水泥养殖池内挂网箱(60 cm×60 cm×50 cm)中进行。正式实验前采用对照组饲料驯化,14 d后挑选体质健壮、大小均一、初始体重为(36.35±0.06) g的实验鱼540尾。实验随机分为6个组,每组3个重复,每个网箱30尾鱼,共18个网箱。养殖期间持续充气,养殖用水为深井海水,采用流水养殖。水温为16℃~18℃,溶解氧(DO)>5.0 mg/L, pH为7.0左右,氨氮和亚硝态氮<0.05 mg/L。每天08:00和16:00投喂2次,初始投喂量为鱼体重的1%,并按其摄食情况调整,每日记录死鱼数量和重量。实验进行63 d。

### 1.3 样品采集及分析

养殖实验结束后,禁食24 h,记录每个网箱鱼的数量并称重,每个网箱随机取4尾鱼,用于鱼体常规成分测定,另取8尾鱼测量体重及体长后,尾静脉取血,解剖分离内脏,分别称量内脏团、肝脏脏、肠道的重量。全鱼、背肌、肝脏样品置于-80℃条件下保存,待测。每桶中随机取2尾鱼,无菌环境下解剖,取肝尖置于无RNase离心管中并迅速置于液氮中速冻,后于-80℃超低温冰箱中保存,用于组织中相关基因表达量的分析。

实验饲料及样品中水分采用105℃恒重法测定(GB/T6435-2014),粗蛋白采用凯氏定氮法测定(GB/T6432-2018),粗脂肪采用索氏抽提法测定(GB/T6433-2006),粗灰分采用550℃失重法测定(GB/T6438-2007),能量采用燃烧法测定(IKA, C6000, 德国)。

肝脏中维生素B<sub>6</sub>的含量采用上海酶联生物科技有限公司试剂盒测定。超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)、谷草转氨酶(Glutamic oxalacetic transaminase, GOT)和谷丙转氨酶(Glutamic-pyruvic transaminase, GPT)均采用南京建成生物工程的试剂盒进行测定,肝脏组织蛋白含量采用考马斯亮兰法测定,酶活力单位定义参照试剂盒说明书。

表 1 饲料配方及营养组成(%干物质)  
Tab.1 Formulation and nutrient composition of the experimental diets(% dry matter)

项目 Items	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
酪蛋白 Casein	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
α-淀粉 α-starch	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
鱼油 Fish oil	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素预混料 Mineral premix <sup>a</sup>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
矿物质预混料 Vitamin premix <sup>b</sup>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
甜菜碱 Betaine	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
抗氧化剂 Antioxidant	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
羧甲基纤维素钠 CMC	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
盐酸吡哆醇 Pyridoxine Hydrochloride (mg/kg)	0	1.00	2.00	4.00	8.00	32.00
营养组成(%干物质)Nutrient composition (% dry matter)						
粗蛋白 Crude protein	49.73	49.79	49.55	49.41	49.71	49.18
粗脂肪 Crude lipid	8.93	8.99	9.37	9.17	9.23	9.00
粗灰分 Crude ash	12.09	11.78	12.01	11.79	11.83	12.07
能量 Energy (KJ/g)	20.77	20.81	20.81	20.77	20.81	20.72
维生素 B <sub>6</sub> Vitamin B <sub>6</sub> (mg/kg)	2.08	3.25	4.16	6.32	10.17	31.14

注: a: 维生素预混料(g/kg 饲料): 维生素 C 121.2 g; 维生素 E 18.8 g; 维生素 B<sub>1</sub> 2.7 g; 维生素 B<sub>2</sub> 9.1 g; 烟酸 27.8 g; 泛酸钙 12.7 g; 肌醇 181.8 g; 生物素 0.27 g; 叶酸 0.68 g; 维生素 K 1.8 g; 维生素 A 0.73 g; 维生素 D 0.003 g; 维生素 B<sub>12</sub> 0.003 g

b: 矿物质预混料(g/kg 饲料): 硫酸镁 80 g; 磷酸二氢钠 370 g; 氯化钾 130 g; 柠檬酸铁 40 g; 硫酸锌 20 g; 氯化亚铜 0.2 g; 氯化铝 0.15 g; 碘化钾 0.15 g; 亚硒酸钠 0.01 g; 蛋氨酸锰 2.0 g; 氯化钴 1.0 g

Note: a: vitamin premix (g/kg diet): vitamin C 121.2 g; vitamin E 18.8 g; vitamin B<sub>1</sub> 2.7 g; vitamin B<sub>2</sub> 9.1 g; niacin 27.8 g; calcium pantothenate 12.7 g; inositol 181.8 g; biotin 0.27 g; folic acid 0.68 g; vitamin K 1.8 g; vitamin A 0.73 g; vitamin D 0.003 g; vitamin B<sub>12</sub> 0.003 g

b: Mineral premix (g/kg diet): magnesium sulfate 80 g; sodium dihydrogen phosphate 370.0 g; potassium chloride 130 g; ferric citrate 40 g; zinc sulfate 20.0 g; cuprous chloride 0.2 g; aluminum chloride 0.15 g; potassium iodide 0.15 g; sodium selenite 0.01 g; manganese methionine 2.0 g; cobalt chloride 1.0 g

使用 Trizol 法提取总 RNA, 提取完成后使用核酸蛋白仪(Nanoprop 2000, 美国)检验 RNA 的浓度, 并使用琼脂糖凝胶电泳检测 RNA 的完整性。采用 PrimeScript<sup>TM</sup> RT reagent Kit with gDNA Eraser 反转录试剂盒(Takara, 日本)去除基因组 DNA 并反转录成 cDNA 后于 -80℃ 保存待用。根据本实验室所得的许氏平鲉转录组数据, 找到谷草转氨酶(GOT1 和 GOT2)、谷丙转氨酶(GPT1 和 GPT2)、酪氨酸转氨酶(TAT)、丝氨酸转氨酶(SerC)的基因序列, NCBI Nucleotide BLAST 进行同源性比对分析, 确定同源性较高的基因序列, 利用 Primer 5.0 软件设计引物, 选

用核糖体蛋白 L17(RPL17)作为内参基因(Ma *et al.*, 2013), 引物由上海生工生物技术有限公司合成, 引物序列如表 2 所示。实时荧光定量 PCR 试剂盒为 TaKaRa 的 TB Green<sup>TM</sup>Premix Ex Taq<sup>TM</sup>II (TliRNaseH Plus)。PCR 程序: 95℃ 预变性 30 s, 1 个循环; 95℃ 变性 5 s, 相应基因退火温度下退火 30 s, 72℃ 延伸 60 s, 共 40 个循环后增长至 95℃。通过荧光定量 PCR 仪得出目的基因及内参基因的 C<sub>t</sub> 值, 按照 2<sup>-ΔΔC<sub>t</sub></sup> 计算目的基因的相对表达量。本研究中, RPL17、GOT1、GOT2、GPT1、GPT2、TAT 和 SerC 的扩增效率分别为 0.992、0.962、0.979、0.965、0.989、1.055 和 1.027。

表2 基因表达的引物序列  
Tab.2 Primer sequences for gene expression

引物名称 Primers	核苷酸序列(5'~3') Sequence(5'~3')
RPL17	Forward: AGGCGACGCACCTACCG Reverse: CCTCTGGTTTGGGGACGA
GOT1	Forward: GCGTTGTTGCCATAACTCTT Reverse: CTGCTCTGTGATGTGGTCCC
GOT2	Forward: TGTAACGACGCAGAGGAGGCA Reverse: TTGGTGGGTTGGAGTAAATGG
GPT1	Forward: CTGGTGTTCGGTGCCTCTGT Reverse: CTGCCGCCTTTGCCTTGT
GPT2	Forward: TGGACAGGCTCTAATGGACC Reverse: TTTTCAGGGATGCTTATGCG
TAT	Forward: GGCTGGATGATGCGTGGACAAC Reverse: CACTGCTTGCCCTCGCTGAC
SerC	Forward: TTGCTGCCTTTGCCGACCAC Reverse: GACAGTTCAGCGGCGTTCCTC

#### 1.4 指标计算及数据统计

增重率(Weight gain rate, WGR, %)=(鱼体末重-鱼体初重)/鱼体初重×100;

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)=(ln 鱼体末重-ln 鱼体初重)/养殖周期×100;

摄食率(Feed intake, FI, %/d)=摄食饲料量/(鱼体初重+鱼体末重)/2×养殖天数×100;

饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)=摄食饲料量/(鱼体末重-鱼体初重);

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER, %)=(鱼

体末重-鱼体初重)/(摄食饲料量×饲料中粗蛋白的含量)×100;

脏体比(Viscerosomatic index, VSI, %)=内脏团重/鱼体末重×100;

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %)=肝脏重/鱼体末重×100;

肠体比(Intestine-somatic index, ISI, %)=肠道重/鱼体末重×100;

肥满度(Condition factor, CF)=鱼体末重/体长<sup>3</sup>×100;

存活率(Survival rate, SR, %)=终末鱼尾数/初始鱼尾数×100。

数据统计使用 SPSS 18.0 统计软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)。每组数据采用平均值±标准误(Mean±SE)表示,差异显著( $P<0.05$ )时用 Duncan's 检验进行多重比较分析。采用折线模型拟合数据,确定许氏平鲈维生素 B<sub>6</sub> 的最适需求量。

## 2 结果

### 2.1 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼生长和形体指标的影响

由表 3 可知,随着维生素 B<sub>6</sub> 含量的升高,实验鱼增重率和特定生长率呈先上升后下降的趋势, D3 组显著高于对照组( $P<0.05$ )。D2~D6 组的摄食率无显著差异( $P>0.05$ ),均显著高于对照组( $P<0.05$ )。D3 组饲料系数最低, D3~D6 组显著低于对照组( $P<0.05$ )。蛋白质效率呈现先上升后下降的趋势, D3 组最高。

表3 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼生长和形体指标的影响

Tab.3 Effects of dietary vitamin B<sub>6</sub> on growth performance and body indices of juvenile *S. schlegelii*

生长性能 Growth performances	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
初始体质量 IBW (g)	36.36±0.04	36.31±0.03	36.41±0.08	36.33±0.04	36.34±0.06	36.34±0.01
终末体质量 FBW (g)	67.46±0.40 <sup>a</sup>	75.25±0.33 <sup>b</sup>	78.57±0.94 <sup>c</sup>	76.78±1.85 <sup>bc</sup>	74.99±0.18 <sup>b</sup>	74.97±0.90 <sup>b</sup>
增重率 WGR (%)	85.57±1.27 <sup>a</sup>	107.24±0.75 <sup>b</sup>	115.78±2.25 <sup>c</sup>	111.32±4.93 <sup>bc</sup>	106.33±0.51 <sup>b</sup>	105.02±2.68 <sup>b</sup>
特定生长率 SGR (%/d)	1.00±0.01 <sup>a</sup>	1.18±0.01 <sup>b</sup>	1.24±0.02 <sup>c</sup>	1.21±0.04 <sup>bc</sup>	1.17±0.01 <sup>b</sup>	1.16±0.02 <sup>b</sup>
摄食率 FI (%/d)	1.05±0.02 <sup>a</sup>	1.19±0.01 <sup>b</sup>	1.21±0.01 <sup>b</sup>	1.21±0.03 <sup>b</sup>	1.19±0.00 <sup>b</sup>	1.18±0.00 <sup>b</sup>
饲料系数 FCR	1.14±0.03 <sup>c</sup>	1.10±0.03 <sup>bc</sup>	1.02±0.01 <sup>a</sup>	1.07±0.03 <sup>ab</sup>	1.07±0.01 <sup>ab</sup>	1.07±0.01 <sup>ab</sup>
蛋白质效率 PER (%)	1.77±0.04 <sup>a</sup>	1.83±0.05 <sup>ab</sup>	1.98±0.02 <sup>c</sup>	1.88±0.04 <sup>bc</sup>	1.89±0.01 <sup>bc</sup>	1.88±0.01 <sup>bc</sup>
脏体比 VSI (%)	9.03±0.08 <sup>a</sup>	9.27±0.10 <sup>ab</sup>	9.35±0.11 <sup>b</sup>	9.32±0.05 <sup>ab</sup>	9.24±0.12 <sup>ab</sup>	9.27±0.08 <sup>ab</sup>
肝体比 HSI (%)	2.30±0.03 <sup>a</sup>	2.47±0.01 <sup>b</sup>	2.49±0.06 <sup>b</sup>	2.46±0.02 <sup>b</sup>	2.46±0.05 <sup>b</sup>	2.42±0.07 <sup>ab</sup>
肠体比 ISI (%)	1.57±0.02 <sup>a</sup>	1.64±0.04 <sup>b</sup>	1.76±0.01 <sup>d</sup>	1.72±0.01 <sup>cd</sup>	1.69±0.01 <sup>bc</sup>	1.68±0.01 <sup>bc</sup>
肥满度 CF	2.75±0.02	2.73±0.02	2.72±0.01	2.74±0.01	2.72±0.01	2.76±0.02
存活率 SR (%)	95.56±2.94	96.67±1.93	98.89±1.11	96.67±0.00	100±0.00	97.78±1.11

注:同一行的不同上标字母代表差异显著( $P<0.05$ ),下同

Note: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P<0.05$ ), the same as below

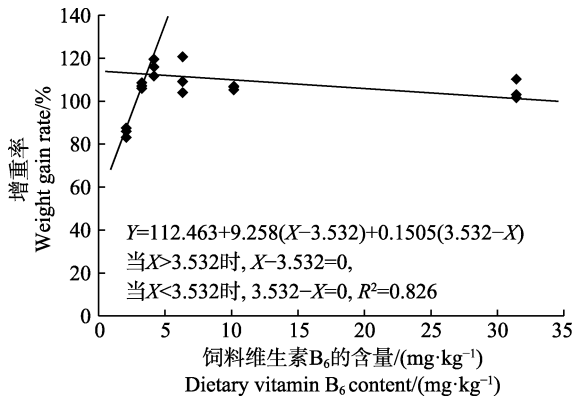


图 1 许氏平鲈幼鱼增重率与饲料中维生素 B<sub>6</sub> 含量的折线回归关系

Fig.1 The broken-line regression analysis based on weight gain rate and dietary vitamin B<sub>6</sub> of juvenile *S. schlegeli*

D3 组的脏体比显著高于对照组( $P<0.05$ ); D2~D5 组的肝体比显著高于对照组( $P<0.05$ ); D2~D6 组的肠体比显著高于对照组( $P<0.05$ ), 呈先升后降的趋势, 在 D3 组达到最高值; 各组间的肥满度和存活率无显著

差异( $P>0.05$ )。

以增重率为评价指标, 经折线模型拟合后得许氏平鲈幼鱼对饲料维生素 B<sub>6</sub> 的需求量为 3.53 mg/kg(图 1)。

### 2.2 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼鱼体常规成分的影响

由表 4 可知, 维生素 B<sub>6</sub> 含量对许氏平鲈幼鱼全鱼水分和粗灰分含量无显著影响( $P>0.05$ ), 全鱼粗蛋白呈先上升后下降的趋势, D3~D6 组的全鱼粗蛋白显著高于对照组( $P<0.05$ ), 且在 D4 组达到最高值; 全鱼粗脂肪呈先上升后下降的趋势, 对照组有最低值, D5 组有最高值, D3~D6 组之间无显著差异( $P>0.05$ )。

许氏平鲈幼鱼 D3~D6 组肌肉水分含量显著低于对照组( $P<0.05$ ); 肌肉粗蛋白随着维生素 B<sub>6</sub> 含量的增加呈先上升后下降的趋势, 对照组含量最低, D3~D6 组无显著差异( $P>0.05$ ); 对照组肌肉粗脂肪呈先上升后下降的趋势, D4 组最高; 肌肉粗灰分含量无显著变化( $P>0.05$ )。

表 4 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼鱼体常规成分的影响(%湿重)

Tab.4 Effects of dietary vitamin B<sub>6</sub> on proximate composition of juvenile *S. schlegeli* (% wet weight)

体组成 Body composition	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
全鱼 Whole body						
水分 Moisture	72.27±0.22	70.04±1.52	70.42±0.06	70.01±0.47	70.39±0.79	70.99±0.65
粗蛋白 Crude protein	15.91±0.08 <sup>a</sup>	16.14±0.20 <sup>ab</sup>	16.50±0.08 <sup>bc</sup>	16.74±0.15 <sup>c</sup>	16.45±0.01 <sup>bc</sup>	16.36±0.03 <sup>b</sup>
粗脂肪 Crude lipid	6.31±0.03 <sup>a</sup>	7.07±0.14 <sup>b</sup>	8.17±0.07 <sup>c</sup>	8.23±0.03 <sup>c</sup>	8.31±0.10 <sup>c</sup>	8.16±0.25 <sup>c</sup>
粗灰分 Crude ash	4.61±0.02	4.58±0.05	4.44±0.03	4.49±0.08	4.53±0.03	4.58±0.08
肌肉 Muscle						
水分 Moisture	76.68±0.39 <sup>b</sup>	74.76±0.08 <sup>a</sup>	75.08±0.35 <sup>a</sup>	74.84±0.13 <sup>a</sup>	74.83±0.15 <sup>a</sup>	75.17±0.39 <sup>a</sup>
粗蛋白 Crude protein	19.89±0.08 <sup>a</sup>	20.30±0.06 <sup>b</sup>	20.96±0.03 <sup>c</sup>	20.68±0.03 <sup>c</sup>	20.68±0.05 <sup>c</sup>	20.68±0.18 <sup>c</sup>
粗脂肪 Crude lipid	2.79±0.03 <sup>a</sup>	3.54±0.05 <sup>bc</sup>	3.57±0.05 <sup>bc</sup>	3.67±0.06 <sup>c</sup>	3.38±0.13 <sup>b</sup>	3.4±0.11 <sup>b</sup>
粗灰分 Crude ash	1.31±0.01	1.29±0.01	1.30±0.01	1.29±0.01	1.31±0.02	1.31±0.01

### 2.3 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼肝脏酶活及维生素 B<sub>6</sub> 含量的影响

由表 5 可知, 随着维生素 B<sub>6</sub> 含量的增加, 肝脏超氧化物歧化酶活力呈先上升后下降的趋势, D3~D5 组显著高于对照组( $P<0.05$ ), D3 组最高。丙二醛含量呈现先下降后上升的趋势, D2~D6 组显著低于对照组( $P<0.05$ ), D3 组最低。D2~D6 组的肝脏谷草转氨酶活力显著高于对照组( $P<0.05$ ), D4~D6 组之间无显著差异( $P>0.05$ )。肝脏谷丙转氨酶活力呈先上升后下降的趋势, D3~D6 组显著高于对照组( $P<0.05$ )。肝脏维生素 B<sub>6</sub> 含量随着饲料维生素 B<sub>6</sub> 含量的增加, 呈先升高后平稳的趋势, D2~D6 组显著高于对照组

( $P<0.05$ ), D3~D6 组间无显著差异( $P>0.05$ )。

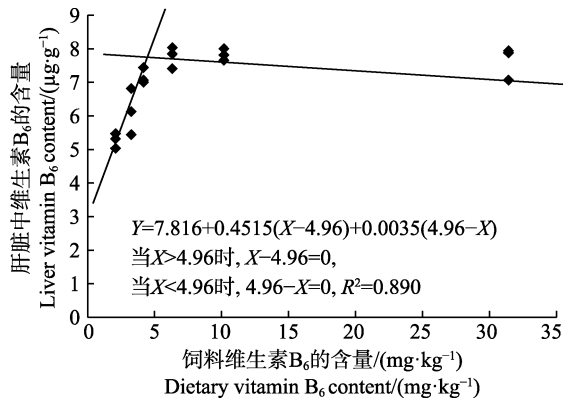
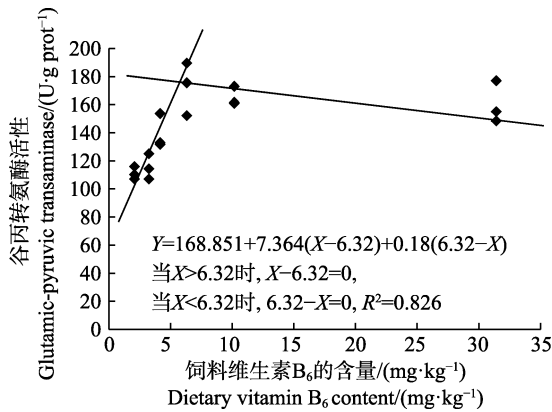
以肝脏维生素 B<sub>6</sub> 含量为评价指标, 经折线模型拟合后得许氏平鲈幼鱼对饲料维生素 B<sub>6</sub> 的需求量为 4.96 mg/kg(图 2); 以肝脏谷丙转氨酶活力为评价指标, 经折线模型拟合后得许氏平鲈对饲料维生素 B<sub>6</sub> 的需求量为 6.32 mg/kg(图 3)。

### 2.4 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼转氨酶基因表达量的影响

随着维生素 B<sub>6</sub> 含量的增加, 谷草转氨酶 1(GOT1) 基因相对表达量呈先上升后下降的趋势, D4 组显著高于对照组( $P<0.05$ ), D3~D6 组之间无显著差异( $P>0.05$ )(图 4); D2~D6 组谷草转氨酶 2(GOT2) 基因相

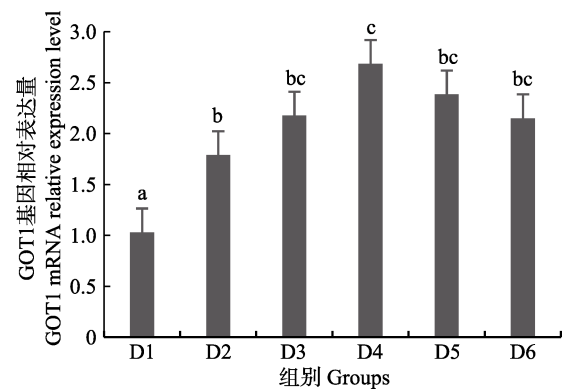
表5 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼肝脏酶活及维生素 B<sub>6</sub> 含量的影响Tab.5 Effects of dietary vitamin B<sub>6</sub> on liver enzyme activities and vitamin B<sub>6</sub> content of juvenile *S. schlegeli*

肝脏酶活力 Liver enzyme activities	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
超氧化物歧化酶 SOD(U/mg prot)	1382.95±24.77 <sup>a</sup>	1494.70±16.83 <sup>ab</sup>	1659.47±28.28 <sup>c</sup>	1536.36±20.49 <sup>b</sup>	1529.73±55.12 <sup>b</sup>	1502.27±64.03 <sup>ab</sup>
丙二醛 MDA(nmol/mg prot)	0.92±0.01 <sup>c</sup>	0.74±0.02 <sup>b</sup>	0.54±0.03 <sup>a</sup>	0.68±0.03 <sup>b</sup>	0.68±0.02 <sup>b</sup>	0.72±0.01 <sup>b</sup>
谷草转氨酶 GOT (U/g prot)	18.67±2.35 <sup>a</sup>	29.61±1.88 <sup>b</sup>	32.82±1.82 <sup>bc</sup>	40.72±4.56 <sup>cd</sup>	40.42±2.30 <sup>cd</sup>	48.56±3.22 <sup>d</sup>
谷丙转氨酶 GPT (U/g prot)	111.05±2.62 <sup>a</sup>	115.43±5.24 <sup>a</sup>	139.42±7.14 <sup>b</sup>	172.42±10.91 <sup>c</sup>	165.16±3.92 <sup>c</sup>	160.11±8.67 <sup>bc</sup>
维生素 B <sub>6</sub> 含量 Vitamin B <sub>6</sub> content (μg/g)	5.28±0.13 <sup>a</sup>	6.13±0.40 <sup>b</sup>	7.17±0.14 <sup>c</sup>	7.77±0.19 <sup>c</sup>	7.83±0.10 <sup>c</sup>	7.63±0.28 <sup>c</sup>

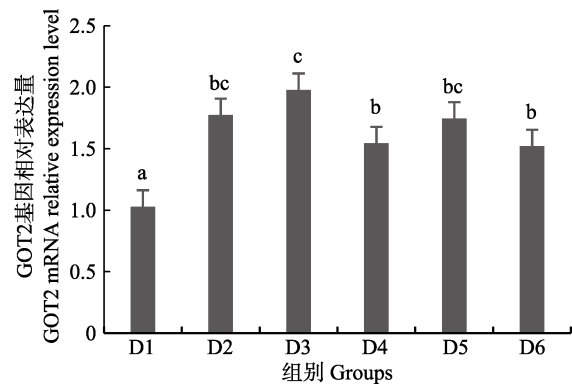
图2 许氏平鲈幼鱼肝脏维生素 B<sub>6</sub> 含量与饲料中维生素 B<sub>6</sub> 含量的折线回归关系Fig.2 The broken-line regression analysis based on liver vitamin B<sub>6</sub> content and dietary vitamin B<sub>6</sub> content of juvenile *S. schlegeli*图3 许氏平鲈幼鱼肝脏谷丙转氨酶活性与饲料中维生素 B<sub>6</sub> 含量的折线回归关系Fig.3 The broken-line regression analysis based on liver glutamic-pyruvic transaminase and dietary vitamin B<sub>6</sub> content of juvenile *S. schlegeli*

对表达量显著高于对照组( $P>0.05$ ), D3 组为最大值, D4~D6 组间差异不显著( $P>0.05$ )(图 5); 谷丙转氨酶 1(GPT1)和谷丙转氨酶 2(GPT2)基因相对表达量呈先上升后下降的趋势, 均在 D4 组有最大值, 且显著高于对照组和 D2 组( $P<0.05$ ), D3~D6 组差异不显著( $P>0.05$ )(图 6 和图 7); 酪氨酸转氨酶(TAT)呈先上升后下降的趋势, D4 组有最大值, D3~D5 组显著高于其

他组( $P<0.05$ )(图 8); 丝氨酸转氨酶(SerC)呈下降趋势, D3~D6 组显著低于对照组和 D2 组( $P<0.05$ ), D6 组为最低值(图 9)。

图4 肝脏谷草转氨酶 1(GOT1)基因相对表达量  
Fig.4 The relative expression level of the glutamic oxalacetic transaminase1(GOT1) mRNA in liver

不同小写字母代表组间差异显著( $P<0.05$ ), 下同  
Columns with different letters indicate significantly different between groups ( $P<0.05$ ), the same as the following

图5 肝脏谷草转氨酶 2 (GOT2)基因相对表达量  
Fig.5 The relative expression level of the glutamic oxalacetic transaminase2(GOT2) mRNA in liver

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 含量对许氏平鲈幼鱼生长的影响

实验结束后, 对照组的增重率和特定生长率均显

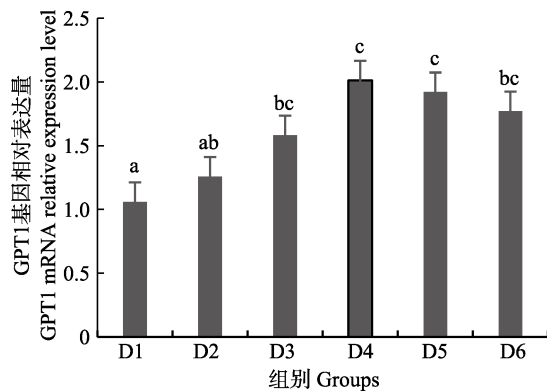


图6 肝脏谷丙转氨酶1(GPT1)基因相对表达量

Fig.6 The relative expression level of the glutamic-pyruvic transaminase 1(GPT1) mRNA in liver

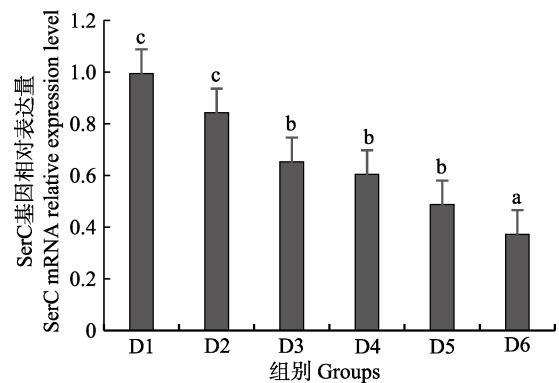


图9 肝脏丝氨酸转氨酶(SerC)基因相对表达量

Fig.9 The relative expression level of the serine aminotransferase (SerC) mRNA in liver

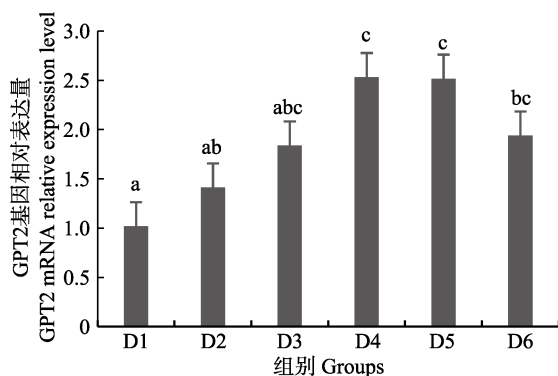


图7 肝脏谷丙转氨酶2(GPT2)基因相对表达量

Fig.7 The relative expression level of the glutamic-pyruvic transaminase 2(GPT2) mRNA in liver

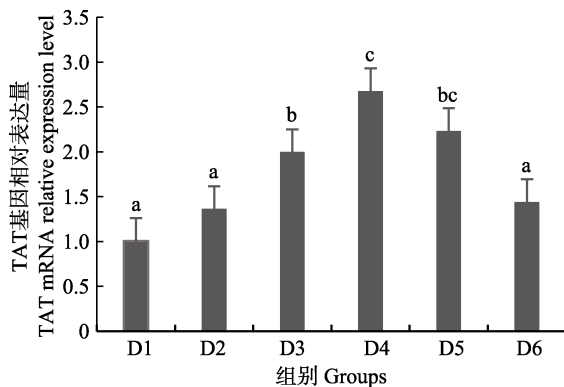


图8 肝脏酪氨酸转氨酶(TAT)基因相对表达量

Fig.8 The relative expression level of the tyrosine aminotransferase (TAT) mRNA in liver

著低于其他组,且随着维生素 B<sub>6</sub> 含量的增加呈先上升后下降的趋势,说明维生素 B<sub>6</sub> 是维持许氏平鲷正常生长发育所必需的营养物质。维生素 B<sub>6</sub> 在多种代谢过程中起作用,它的缺乏可导致细胞蛋白质合成和转化反应的错位,在饲料中添加适量的维生素 B<sub>6</sub> 会提高蛋白质的利用率(Baker *et al.*, 1995)。本研究中,添加维生素 B<sub>6</sub> 组的蛋白质效率显著高于对照组,饲料

系数呈先降后升的趋势,饲料利用率有所提高。水产动物缺乏维生素 B<sub>6</sub> 会出现相应的症状,如黄尾鲷(*Seriolalalandi*)出现厌食,生长不良,贫血,神经紊乱和高死亡率的缺乏症(Hosokawa *et al.*, 1992);条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)的缺乏症是生长缓慢,厌食,神经失调,游泳异常,高死亡率和贫血(Ishibashi *et al.*, 2002)。实验中对对照组未出现常见的维生素 B<sub>6</sub> 缺乏症,有可能因为实验开始前,许氏平鲷幼鱼体内积累了一部分维生素 B<sub>6</sub>;养殖实验在水泥池挂网箱中进行,水体中也有部分维生素 B<sub>6</sub> 的存在,而不能及时排出;摄食饲料中也添加了鱼粉(含有一些维生素 B<sub>6</sub>),因此,对照组缺乏症不明显,只出现了摄食不积极的症状,但存活率较其他组无显著差异,说明 2.08 mg/kg 的维生素 B<sub>6</sub> 可以防止许氏平鲷幼鱼出现严重的缺乏症。

本实验以增重率、肝脏维生素 B<sub>6</sub> 含量和谷丙转氨酶为评价指标,得出许氏平鲷幼鱼维生素 B<sub>6</sub> 的需求量为 3.53~6.32 mg/kg,与印度鲶(*Heteropneustes fossilis*) 3.21 mg/kg(Mohamed, 2001)、红罗非鱼(*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*) 3 mg/kg(Lim *et al.*, 1995)、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*) 4.49~4.61 mg/kg(张春晓, 2006)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*) 4.38~4.53 mg/kg(张春晓, 2006)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*) 4.17~5.02 mg/kg(王莹等, 2013)的需求量类似;高于大菱鲆 1~2.5 mg/kg(Adron *et al.*, 1978)、斜带石斑鱼 1.75~2.22 mg/kg(Huang *et al.*, 2005)的需求量;低于翠鲳(*Channa punctatus*) 7.6~10.4 mg/kg(Zehra *et al.*, 2018)、黄尾鲷 2.2~11.7 mg/kg(Hosokawa *et al.*, 1992)、吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*) 9.22~10.11 mg/kg(吴凡等, 2018)的需求量。不同实验鱼有不同需求量,原因可能与实验鱼的种类、大小、实验环境、实验饲料、饲喂频率和方式、实验方法和评估标准的有关。

鱼体营养状态可以通过形体指标来反映,如脏体比、肝体比和肠体比。研究表明,未添加维生素 B<sub>6</sub>时,吉富罗非鱼和异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)肝体比显著低于其他组(吴凡等, 2018; 王锦林等, 2011); 大西洋鲑(*Salmo salar*)10 mg/kg 组的肝体比显著高于其他组(Albrektsen *et al.*, 1994); 建鲤(*Cyprinus carpio*)对照组的肠体比为最低值(He *et al.*, 2009), 本实验的脏体比、肝体比和肠体比均呈先上升后下降的趋势, 对照组最低, 说明维生素 B<sub>6</sub> 不足可能会影响许氏平鲈幼鱼的器官发育能力。

### 3.2 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼鱼体常规成分的影响

随维生素 B<sub>6</sub> 的增加, 许氏平鲈幼鱼全鱼粗蛋白、全鱼和肌肉的粗脂肪呈先上升后下降的趋势, 肌肉粗蛋白含量先上升后趋于平稳, 对照组肌肉水分显著低于其他各组, 这与吉富罗非鱼(吴凡等, 2018)、异育银鲫(王锦林等, 2011)的研究结果类似。维生素 B<sub>6</sub> 以 5'-磷酸吡哆醛的形式作为转氨酶的辅酶, 参与氨基酸分解代谢的第一步去除  $\alpha$ -氨基, 使氨基酸转化为相应的酮酸。维生素 B<sub>6</sub> 含量的增加会提高鱼体蛋白利用率, 增加机体蛋白的含量, 促进蛋白的合成(Baker *et al.*, 1995; Giri *et al.*, 1997); 因此, 全鱼和肌肉的粗蛋白含量会随维生素 B<sub>6</sub> 含量的增加而有所提高。此外, 维生素 B<sub>6</sub> 在乙酰辅酶 A 和脂肪酸利用等方面的脂质代谢中起重要作用。在草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)和皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)中发现添加维生素 B<sub>6</sub> 可以调节和平衡多不饱和脂肪酸的代谢, 有助于脂蛋白酯酶等的合成与释放, 促进了脂肪的运输和利用, 避免了脂质的沉积(冯秀妮, 2005; 黄世蕉等, 1992)。本研究中, 对照组全鱼和肌肉的粗脂肪含量显著低于其他各组, 随着维生素 B<sub>6</sub> 的增加, D5、D6 组肌肉的粗脂肪和 D6 组全鱼的粗脂肪出现了下降, 在印度鲷(*Cirrhinus mrigala*)的研究上也有类似结果(Zehra *et al.*, 2017)。大西洋鲑未添加维生素 B<sub>6</sub> 组的全鱼和肝脏脂质含量最低(Albrektsen *et al.*, 1994)。以上结果说明, 添加适量的维生素 B<sub>6</sub>, 能促进机体蛋白质的合成和脂质代谢反应的正常进行。

### 3.3 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼肝脏维生素 B<sub>6</sub> 含量和抗氧化酶的影响

维生素 B<sub>6</sub> 在氨基酸代谢和含氮化合物的反应中充当氨基转移酶和脱羧酶的辅酶, 参与非必需氨基酸的合成(Baker *et al.*, 1995)。鱼类肝脏是维生素代谢和蓄积的重要器官, 肠道吸收的水溶性维生素被运送到

肝脏, 以满足新陈代谢的需要, 肝脏中维生素 B<sub>6</sub> 的含量常作为特征性的评价指标(Zehra *et al.*, 2017)。因此, 测定肝脏中维生素 B<sub>6</sub> 的含量能更好的确定维生素 B<sub>6</sub> 的需求量。通过折线回归模型, 以肝脏维生素 B<sub>6</sub> 含量为评价指标, 许氏平鲈幼鱼维生素 B<sub>6</sub> 需求量为 4.96 mg/kg。

维生素 B<sub>6</sub> 具有间接的抗氧化作用, 可以清除机体超氧化物自由基并进一步预防氧化应激, 而缺乏维生素 B<sub>6</sub> 会增加自由基的生成、降低抗氧化酶活性(Kumar *et al.*, 2017)。抗氧化酶作为鱼体抗氧化防御的重要组成部分, 其中, SOD 是一类抗氧化酶, 从细胞环境中清除具有破坏性的活性氧(ROS), 具有清除体内自由基的能力, 抑制超氧化物的生成, 在机体的防御系统和免疫系统中发挥着重要的作用(胡凯, 2008; Cui *et al.*, 2016)。MDA 是脂质过氧化的终产物, 含量可反映机体细胞受自由基攻击的严重程度(Mccord, 1969)。在斜带石斑鱼、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的研究中发现, 维生素 B<sub>6</sub> 缺乏组 SOD 活性显著降低(Huang *et al.*, 2005; 黄晓玲, 2014), 与本实验结果相似, 随着饲料维生素 B<sub>6</sub> 含量的增加, SOD 活性呈先上升后下降的趋势, MDA 呈先下降后上升的趋势, 均在 D3 组出现极值, 这表明添加适当含量的维生素 B<sub>6</sub> 可以提高机体的抗氧化能力。

### 3.4 饲料中维生素 B<sub>6</sub> 对许氏平鲈幼鱼肝脏转氨酶活力及其基因表达量的影响

维生素 B<sub>6</sub> 以 5'-磷酸吡哆醛的形式, 作为转氨酶参与氨基酸代谢的标志性辅酶(Zehra *et al.*, 2018), 肝脏作为氨基酸代谢的主要场所, 肝脏的谷草转氨酶和谷丙转氨酶常被用作评价鱼体营养状况的敏感指标, 其活力间接反映蛋白质合成效率, 同时, 也是反映肝功能是否正常的重要指标(陈壮等, 2014; 马俊等, 2016; Smith *et al.*, 1974)。故测定肝脏中谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活力可以更准确得出维生素 B<sub>6</sub> 的需求量。本研究表明, 对照组肝脏维生素 B<sub>6</sub> 含量和转氨酶活力均显著低于其他组, 随着维生素 B<sub>6</sub> 含量的增加, 肝脏维生素 B<sub>6</sub> 含量呈先上升后平稳的趋势; 谷草转氨酶呈上升的趋势, 但在 D3~D6 组无显著差异; 谷丙转氨酶呈先上升后下降的趋势。这与吉富罗非鱼、异育银鲫和印度鲷的研究结果类似(Mohamed, 2001; 吴凡等, 2018; 王锦林等, 2011), 说明添加维生素 B<sub>6</sub> 可以提高转氨酶的活力, 保证鱼体蛋白质代谢的正常进行。通过折线回归模型, 以谷丙转氨酶为评价指标, 许氏平鲈幼鱼维生素 B<sub>6</sub> 需求量为 6.32 mg/kg。

GOT 在真核细胞中存在 2 种遗传上不同的同工



酶,细胞质和线粒体蛋白分别由 GOT1 和 GOT2 基因编码(Jiang *et al*, 2015); GPT 基因也常分为 2 个亚型,即肝细胞质中的谷丙转氨酶 1(GPT1)和位于肝线粒体中的谷丙转氨酶 2(GPT2)(荆晓丽, 2010)。目前,在水产动物上尚无关于维生素 B<sub>6</sub> 对转氨酶基因表达水平影响的报道,但研究发现,维生素 B<sub>6</sub> 缺乏的大鼠(*Rattus norvegicus*)肝脏细胞质的谷草转氨酶 mRNA 水平比对照组高 7 倍,施用皮质醇可以诱导肝谷草转氨酶 mRNA 的表达,而给予维生素 B<sub>6</sub> 会抑制由皮质醇诱导的谷草转氨酶的合成;缺乏维生素 B<sub>6</sub> 会增强糖皮质激素受体的 DNA 结合活性,提高谷草转氨酶的基因表达(Kondo *et al*, 1985; Oka *et al*, 1995)。研究表明,维生素 B<sub>6</sub> 缺乏不但降低了肝脏丙氨酸-乙醛酸转氨酶活性,而且还下调了肝细胞丙氨酸-乙醛酸转氨酶的基因表达(Nishijima *et al*, 2003)。给大鼠喂食缺乏维生素 B<sub>6</sub> 的饲料后,丙氨酸-乙醛酸转氨酶 1 活性的降低比丙氨酸-乙醛酸转氨酶 2 活性(在 14 d 内降低 33%相比 86%)更快速和显著(Takada *et al*, 1984)。5'-磷酸吡哆醛(PLP)作为糖皮质激素受体的体内调节剂,PLP 水平变化会影响糖皮质激素受体的 DNA 结合位点,并最终影响酪氨酸转氨酶(TAT)的活性(Disorbo *et al*, 1981)。丝氨酸转氨酶(SerC)参与氨基酸合成通路的表达,使谷氨酸转氨酶生成 3-磷酸丝氨酸,SerC 基因作为调控和关键酶参与 L-丝氨酸的合成(刘浩等, 2015),维生素 B<sub>6</sub> 作为所有转氨酶的辅酶,也会影响丝氨酸转氨酶基因的表达水平。

本研究中,随着饲料中维生素 B<sub>6</sub> 含量的升高,GOT1 的 mRNA 基因表达呈先上升后下降的趋势,对照组的基因表达量显著低于其他各组,D3~D6 组间没有显著差异;GOT2 的对照组基因表达水平最低,D3 组高表达,以上结果表明,添加维生素 B<sub>6</sub> 会提高谷草转氨酶的基因表达。GPT1 和 GPT2 的 mRNA 基因表达水平呈相似的趋势,均是先升高后降低,且在 D4 组表达量最高,对照组表达量最低,由此可见,维生素 B<sub>6</sub> 缺乏会降低谷丙转氨酶的基因表达,适宜的维生素 B<sub>6</sub> 添加会使其高表达。同时,TAT 的基因表达水平也是对照组最低,在 D3~D5 组表达量显著高于对照组、D2 和 D6 组。SerC 基因表达水平呈下降趋势,对照组和 D2 组表达量显著高于 D3~D6 组。本研究结果与以上结论有差异的原因可能是物种、实验条件和方法、实验形式等所致。

随着维生素 B<sub>6</sub> 的添加,谷草转氨酶活力呈上升趋势,谷丙转氨酶活力先升后降,这与 mRNA 表达水平趋势类似,说明适宜含量的维生素 B<sub>6</sub> 能促进谷草转氨酶和谷丙转氨酶基因的转录,提高谷草转氨酶

和谷丙转氨酶的活力,促进鱼体蛋白质合成效率和利用率,更好的调控许氏平鲈幼鱼的蛋白质代谢。此外,添加维生素 B<sub>6</sub> 会上调酪氨酸转氨酶基因的表达量,下调丝氨酸转氨酶基因的表达量,具体作用机制需要进一步的实验来证实。

## 4 结论

综上,维生素 B<sub>6</sub> 是许氏平鲈幼鱼生长发育和维持正常生理功能的必需营养物质。适宜含量的维生素 B<sub>6</sub> 可以提高许氏平鲈幼鱼抗氧化能力和代谢酶活性,提高谷草转氨酶、谷丙转氨酶和酪氨酸的基因表达水平,降低丝氨酸转氨酶的基因表达水平。以增重率、肝脏维生素 B<sub>6</sub> 含量和谷丙转氨酶为评价指标,36 g 的许氏平鲈幼鱼维生素 B<sub>6</sub> 的需求量为 3.53~6.32 mg/kg 饲料。

## 参 考 文 献

- Adron JW, Knox D, Cowey CB, *et al*. Studies on the nutrition of marine flatfish. The pyridoxine requirement of turbot (*Scophthalmus maximus*). *British Journal of Nutrition*, 1978, 40(2): 261-268
- Akhtar MS, Pal AK, Sahu NP, *et al*. Stress mitigating and immunomodulatory effect of dietary pyridoxine in *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings. *Aquaculture Research*, 2010, 41(7): 991-1002
- Albrektsen S, Hagve TA, Lie Ø. The effect of dietary on vitamin B<sub>6</sub> on tissue fat contents and lipid composition in livers and gills of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Physiology*, 1994, 109(2): 403-411
- Bai SC, Lee KJ. Different levels of dietary DL- $\alpha$ -tocopheryl acetate affect the vitamin E status of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture*, 1998, 161(1): 405-414
- Baker RTM, Davies SJ. The effect of pyridoxine supplementation on dietary protein utilization in gilthead seabream fry. *Animal Science*, 1995, 60(1): 157-162
- Chen Z, Liang MQ, Zheng KK, *et al*. Impact of dietary protein level on growth performance, body composition and protease activity of juvenile *Lateolabrax japonicus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(2): 51-59 [陈壮, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 饲料蛋白水平对鲈鱼生长、体组成及蛋白酶活力的影响. *渔业科学进展*, 2014, 35(2): 51-59]
- Cho SH, Kim HS, Myung SH, *et al*. Optimum dietary protein and lipid levels for juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*, Hilgendorf 1880). *Aquaculture Research*, 2015, 46(12): 2954-2961
- Cui P, Zhou QC, Huang XL, *et al*. Effect of dietary vitamin B<sub>6</sub> on growth, feed utilization, health and non-specific immune of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 2016, 22(5): 1143-1151

- Disorbo DM, Litwack G. Changes in the intracellular levels of pyridoxal 5'-phosphate affect the induction of tyrosine aminotransferase by glucocorticoids. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 1981, 99(4): 1203–1208
- Feng XN. Effects of dietary vitamin C and vitamin B<sub>6</sub> on the metaboloam responses and shell biomineralization of juvenile abalone *Haliotis discus hannai* Ino. Master's Thesis of Ocean University of China, 2005 [冯秀妮. 维生素 C 和 B<sub>6</sub> 对皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino)代谢反应和贝壳生物矿化影响的研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2005]
- Giri INA, Teshima SI, Kanazawa A, *et al.* Effects of dietary pyridoxine and protein levels on growth, vitamin B<sub>6</sub> content, and free amino acid profile of juvenile *Penaeus japonicus*. *Aquaculture*, 1997, 157(3–4): 263–275
- Halsted CH. Absorption of water-soluble vitamins. *Current Opinion in Gastroenterology*, 2003, 19(2): 113–117
- Hang SJ, Shen Z. The effect of vitamin B<sub>6</sub> on the lipid metabolism of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1992, 16(4): 313–321 [黄世蕉, 沈竑. 维生素 B<sub>6</sub> 对草鱼脂肪代谢的影响. *水生生物学报*, 1992, 16(4): 313–321]
- He W, Zhou XQ, Feng L, *et al.* Dietary pyridoxine requirement of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture Nutrition*, 2009, 15: 402–408
- Hosokawa H, Teraoka R, Saito Y, *et al.* Dietary pyridoxine requirement of fingerling yellowtail. *Aquaculture Science*, 1992, 40(2): 215–220
- Hu K. Effects of pyridoxine on the mechanism of antioxidative in Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian), and pathology of the pyridoxine deficiency syndrome in juvenile Jian carp. Master's Thesis of Sichuan Agricultural University, 2008 [胡凯. 吡哆醇对幼建鲤抗氧化能力的影响及其缺乏症研究. 四川农业大学硕士研究生学位论文, 2008]
- Huang JW, Tian LX, Du ZY, *et al.* Pyridoxine deficiency of grouper, *Epinephelus coioides*: Physiological and biochemical alteration. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2005, 31(4): 331–337
- Huang XL. Study on the requirements of thiamin, pantothenic acid, vitamin B<sub>6</sub> and inositol for juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Master's Thesis of Ningbo University, 2014 [黄晓玲. 凡纳滨对虾幼虾对硫胺素、泛酸、维生素 B<sub>6</sub> 和肌醇需要量的研究. 宁波大学硕士研究生学位论文, 2014]
- Ishibashi Y, Kato K, Ikeda S, *et al.* Dietary pyridoxine requirement of juvenile Japanese parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. *Suisanzoshoku*, 2002, 50(3): 347–353
- Jiang XP, Chang HY, Zhou Y. Expression, purification and preliminary crystallographic studies of human glutamate oxaloacetate transaminase 1 (GOT1). *Protein Expression and Purification*, 2015, 113: 102–106
- Jing XL. Cloning, expression and functional analysis of amphialt in amphioxus *Branchiostoma japonicus*. Master's Thesis of Ocean University of China, 2010 [荆晓丽. 青岛文昌鱼谷丙转氨酶基因克隆、表达和功能研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2010]
- Katya K, Lee SH, Bharadwaj AS, *et al.* Effects of inorganic and chelated trace mineral (Cu, Zn, Mn and Fe) premixes in marine rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf), fed diets containing phytic acid. *Aquaculture Research*, 2017, 48: 4165–4173
- Kissil GW, Cowey CB, Adron JW, *et al.* Pyridoxine requirements of the gilthead bream, *Sparus aurata*. *Aquaculture*, 1981, 23(1–4): 243–255
- Kondo T, Okada M. Effect of pyridoxine administration on the induction of cytosolic aspartate aminotransferase in the liver of rats treated with hydrocortisone. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 1985, 31(5): 509–517
- Kumar N, Ambasankar K, Krishnani KK, *et al.* Dietary pyridoxine promotes growth and cellular metabolic plasticity of *Chanos chanos* fingerlings exposed to endosulfan induced stress. *Aquaculture Research*, 2017, 48(5): 2074–2087
- Lee KJ, Kim KW, Bai SC. Effects of different dietary levels of L-ascorbic acid on growth and tissue vitamin C concentration in juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). *Aquaculture Research*, 1998, 29(4): 237–244
- Lee SM, Jeon IG, Lee JY. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 2002, 211(1–4): 227–239
- Lee SM, Kim KD. Effects of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth and body composition of juvenile and grower rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture Research*, 2009, 40(16): 1830–1837
- Lim C, Leamaster BR, Brock JA. Pyridoxine requirement of fingerling red hybrid tilapia grown in seawater. *Journal of Applied Aquaculture*, 1995, 5(2): 49–60
- Liu CX. Artificial breeding of *Sebastes schlegeli*. *Aquatic Science*, 1988, 17(1): 22–23 [刘蝉馨. 黑鲷的人工育苗. *水产科学*, 1988, 17(1): 22–23]
- Liu H, Huang W. Identification and characterization of a phosphoserine aminotransferase 1 cDNA in *Pseudosciaena crocea*. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2015, 34(3): 209–215 [刘浩, 黄伟. 大黄鱼 SerC 基因的克隆、鉴定以及信息学分析. *浙江海洋学院学报 (自然科学版)*, 2015, 34(3): 209–215]
- Ma J, Wei ZH, Xing SJ, *et al.* Effects of dietary oligomethionine on the growth performance, feed utilization and protein metabolism responses of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Progress in Fishery Sciences*,

- 2016, 37(3): 126–133 [马俊, 魏泽宏, 邢淑娟, 等. 饲料中添加蛋氨酸寡肽对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)生长、饲料利用和蛋白质代谢反应的影响. 渔业科学进展, 2016, 37(3): 126–133]
- Ma LM, Wang WJ, Liu CH, *et al.* Selection of reference genes for reverse transcription quantitative real-time PCR normalization in black rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Marine Genomics*, 2013, 11: 67–73
- Mao SQ, Zou MY, Wang CS, *et al.* Optimal feeding frequency for *Sebastes schlegeli* juveniles. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(8): 2379–2385 [冒树泉, 邹明好, 王春生, 等. 许氏平鲈幼鱼适宜投喂频率的研究. 动物营养学报, 2014, 26(8): 2379–2385]
- Mccord JM. Superoxide dismutase: An enzymatic function for erythrocyte (Hemocuprein). *Journal of Biological Chemistry*, 1969, 244(22): 6049–6055
- Mohamed JS. Dietary pyridoxine requirement of the Indian catfish, *Heteropneustes fossilis*. *Aquaculture*, 2001, 194(3–4): 327–335
- Natori Y, Oka T. Vitamin B<sub>6</sub> modulation of gene expression. *Nutrition Research*, 1997, 17(7): 1199–1207
- Nishijima S, Sugaya K, Morozumi M, *et al.* Hepatic alanine-glyoxylate aminotransferase activity and oxalate metabolism in vitamin B<sub>6</sub> deficient rats. *Journal of Urology*, 2003, 169(2): 683–686
- Oka T, Komori N, Kuwahata M, *et al.* Pyridoxal 5'-phosphate modulates expression of cytosolic aspartate aminotransferase gene by inactivation of glucocorticoid receptor. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 1995, 41(3): 363–375
- Shiau SY, Wu MH. Dietary vitamin B<sub>6</sub> requirement of grass shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 2003, 225(1–4): 397–404
- Smith CE, Brin M, Halver JE. Biochemical, physiological, and pathological changes in pyridoxine-deficient rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1974, 31(12): 1893–1898
- Takada Y, Mori T, Noguchi T. The effect of vitamin B<sub>6</sub> deficiency on alanine: Glyoxylate aminotransferase isoenzymes in rat liver. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1984, 229(1): 1–6
- Wang JL, Zhu XM, Lei W, *et al.* Dietary vitamin B<sub>6</sub> requirement of juvenile gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(1): 98–104 [王锦林, 朱晓鸣, 雷武, 等. 异育银鲫幼鱼对饲料中维生素 B<sub>6</sub> 需求量的研究. 水生生物学报, 2011, 35(1): 98–104]
- Wang Y, Li XF, Zhang WW, *et al.* Optimal dietary pyridoxine requirement of juvenil blunt snout brea, *Megalobrama amblycephala*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(4): 632–639 [王莹, 李向飞, 张微微, 等. 团头鲂幼鱼吡哆醇适宜需求量的研究. 水生生物学报, 2013, 37(4): 632–639]
- Wu F, Ren C, Wen H, *et al.* Dietary vitamin B<sub>6</sub> requirement of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(5): 1781–1788 [吴凡, 任春, 文华, 等. 吉富罗非鱼对饲料中维生素 B<sub>6</sub> 的需要量. 动物营养学报, 2018, 30(5): 1781–1788]
- Zehra S, Khan MA. Dietary pyridoxine requirement of fingerling *Channa punctatus* (Bloch) based on growth performance, liver pyridoxine concentration, and carcass composition. *Journal of Applied Aquaculture*, 2018, 30(3): 238–255
- Zehra S, Khan MA. Dietary thiamin and pyridoxine requirements of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). *Aquaculture Research*, 2017, 1–13
- Zhang CX. Studies on nutritional physiology of major B vitamins and mineral-phosphorus for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. and Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Doctoral Dissertation of 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. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2006]
- Zhu L, Sui FM. Biology and artificial culture of *Sebastes schlegeli* Hilgendorf. *Modern Fisheries Information*, 1999, 14(4): 21–25 [朱龙, 隋风美. 许氏平鲈的生物学特征及其人工养殖. 现代渔业信息, 1999, 14(4): 21–25]

(编辑 陈 辉)

## Dietary Vitamin B<sub>6</sub> Requirements of Juvenile Rockfish (*Sebastes schlegeli*)

ZHOU Ying<sup>1,2</sup>, WANG Jiying<sup>2①</sup>, LI Baoshan<sup>2</sup>, WANG Chengqiang<sup>2</sup>,  
WANG Shixin<sup>2</sup>, SUN Yongzhi<sup>2</sup>, MA Changxing<sup>1,2</sup>

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition (CREEFN) of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Shandong Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006)

**Abstract** This experiment investigated the effects of dietary vitamin B<sub>6</sub> content on growth performance, body composition, liver enzyme activities, and transaminase gene expression in juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Six experimental diets were formulated with different levels of vitamin B<sub>6</sub>: 2.08 (control group), 3.25, 4.16, 6.32, 10.17, 31.14 mg/kg. The juvenile rockfish average initial body weight was (36.35±0.06) g. After 9 weeks of treatment, the results showed that, with an increase in dietary vitamin B<sub>6</sub> content, the weight gain rate and specific growth rate of the experimental fish initially increased and then decreased, with the largest changes seen in the 4.16 mg/kg group. The viscerosomatic index of the 4.16 mg/kg group was significantly higher than that of the control group ( $P<0.05$ ). The hepatosomatic and intestine-somatic indexes of the 3.25 to 10.17 mg/kg groups were significantly higher than those in the control group ( $P<0.05$ ). Muscle moisture content in the 3.25 to 31.14 mg/kg groups was significantly lower than in the control group ( $P<0.05$ ). Crude protein and crude lipids of the whole fish and muscle showed increasing trends and then decreases. The activity of superoxide dismutase in livers increased at first and then decreased, with the 4.16 to 10.17 mg/kg groups showing significantly higher activity than the control group ( $P<0.05$ ). Malondialdehyde content also decreased and then increased, with the 3.25 to 31.14 mg/kg group showing significantly lower content than the control group ( $P<0.05$ ). Liver vitamin B<sub>6</sub> content increased at first and then stabilized. The activities of glutamic oxalacetic transaminase and glutamic-pyruvic transaminase in the 3.25 to 31.14 mg/kg groups were significantly higher than in the control group ( $P<0.05$ ). The relative expression level of GOT1 and GOT2 genes increased at first and then decreased, with the 3.25 to 31.14 mg/kg groups showing significantly lower expression levels than the control group ( $P<0.05$ ). Relative expression level of GPT1 and GPT2 genes increased at first and then decreased, reaching a maximum in 6.32 mg/kg group. Relative expression of the tyrosine aminotransferase gene increased at first and then decreased, with the 4.16 to 10.17 mg/kg groups showing significantly higher expression levels than the other groups ( $P<0.05$ ). Relative expression of the serine transaminase gene decreased, with expression levels in the 4.16 to 31.14 mg/kg groups significantly lower than in the control and the 3.25 mg/kg groups ( $P<0.05$ ). A broken-line regression analysis of the WGR, liver vitamin B<sub>6</sub> content, and GPT parameters showed that the dietary vitamin B<sub>6</sub> requirement of juvenile rockfish with a body weight of 36 g was 3.52 to 6.32 mg/kg.

**Key words** Rockfish; Vitamin B<sub>6</sub>; Requirement; Transaminase

① Corresponding author: WANG Jiying, E-mail: ytwjy@126.com