

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00098

异育银鲫幼鱼对饲料中维生素 B₆ 需求量的研究

王锦林^{1,2} 朱晓鸣¹ 雷武¹ 韩冬¹ 杨云霞¹ 解绶启^{1,3}

(1. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 上海高校 E-研究院, 上海 200025)

摘要: 通过 8 周的生长实验, 研究饲料中维生素 B₆ 的含量对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)(初始体重 3.3 g)生长、饲料利用及生化指标的影响。配制 7 组等氮等能的饲料, 饲料中维生素 B₆ 的含量分别为 0、1.11、3.29、5.41、12.7、13.3 和 27.3 mg/kg。实验结果表明, 饲料中缺乏维生素 B₆ 会显著降低异育银鲫的特定生长率、饲料转化效率、蛋白质效率、存活率、肝体指数, 但对摄食率没有显著影响。饲料中维生素 B₆ 的含量为 12.70 mg/kg 时, 肝脏谷草转氨酶活性(GOT)活性最强, 并且显著高于对照组($P < 0.05$)。在饲料中维生素 B₆ 含量为 5.41 mg/kg 时, 肝脏谷丙转氨酶活性(GPT)活性显著提高。当饲料中维生素 B₆ 含量为 12.7 mg/kg 时, 肝脏中维生素 B₆ 的沉积最高。通过折线法, 根据特定生长率和饲料中维生素 B₆ 含量的关系, 得出异育银鲫最大生长时饲料维生素 B₆ 的适宜含量为 0.95 mg/kg; 而以肝脏 GOT 和 GPT 活性为指标时, 其饲料维生素 B₆ 的适宜含量分别为 11.36 和 7.62 mg/kg。

关键词: 异育银鲫; 特定生长率; 维生素 B₆ 需求量; 谷丙转氨酶活性; 谷草转氨酶活性

中图分类号: S963.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2011)01-0098-07

维生素 B₆(VB₆)与生物体的氨基酸代谢密切相关。它主要是作为辅酶参与脱羧、去氨基和转氨基等反应。VB₆ 为含硫氨基酸及色氨酸正常代谢所必需, 在色氨酸转变为烟酸的过程中具有重要作用。在鲢鳊鱼类的营养学研究中, VB₆ 已经被证明为鲢鳊鱼类所必需的一种营养因子^[1-5]。另外在其他的鱼类如沟鲈 (*Ictalurus punctatus*)^[6]、鲤 (*Cyprinus carpio*)^[7]、黄尾鲷 (*Seriola lalandi Valenciennes*)^[8] 和鳗 (*Anguila japonica*)^[9] 等的研究中, VB₆ 的重要功用功能同样得到了证实。因此, 当饲料中缺乏 VB₆ 时, 鱼类会表现出许多的缺乏症状, 主要包括: 生长缓慢、厌食、水肿、抽搐、疯狂游动和其他的一些神经紊乱的症状^[10]。

水产动物对于 VB₆ 需求量的报道已经有很多。

对鲤(*Cyprinus carpio*)^[7]、真鲷(*Taius tumifrons*)^[11]、大菱鲈(*Scophthalmus maximus*)^[12]、沟鲈(*Ictalurus punctatus*)^[13]、金头鲷(*Spatrus aurata*)^[14]、红奥尼罗非鱼(*Parabramis peknensis*)^[15]、奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[16] 和印度鲈(*Heteropneustes fossilis*)^[17] 的研究表明, 它们对 VB₆ 的需求量介于 1—15 mg/kg 之间, 而草虾(*Penaeus monodon*)对 VB₆ 的需求量要远远高于以上所研究的这些鱼类, 为 72—89 mg/kg^[18]。

异育银鲫是我国主要淡水养殖品种之一, 年产量近 300 万吨。有关异育银鲫的营养及饲料已有较多的研究, 但是对于 VB₆ 的需求量目前尚未见报道, 本研究的目的在于: (1)探讨饲料 VB₆ 的含量对异育银鲫生长、饲料利用、相关酶的活性和身体成分的

收稿日期: 2008-05-08; 修订日期: 2010-02-16

基金项目: 农业部“大宗淡水鱼类产业体系, NYCYT-49-19”; 国家基金“淡水养殖鱼类肉品质研究的营养学基础, 30700626”; 国家科技支撑项目“高效环保渔用饲料配制技术开发与产业化示范, 2006BAD03B03”; 淡水生态与生物技术国家重点实验室自主项目“异育银鲫(中科 3 号)对微量营养素需求的研究 2009FB203”; 国家 973 项目“草食性鱼类的营养需求与代谢及其调控机理 2009CB118702”资助

作者简介: 王锦林(1980—), 男, 山东泰安人; 硕士研究生; 主要从事水产动物营养学研究。E-mail: wangjinlin2013@126.com

通讯作者: 解绶启, E-mail: sqxie@ihb.ac.cn

影响; (2) 确定异育银鲫幼鱼对饲料中 VB₆ 的需求量。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

实验的基础饲料配方(表 1), 基础饲料主要营养素按异育银鲫最适需要量配制^[19-21]。VB₆(盐酸吡哆醇)的添加采用梯度稀释法。首先将晶体 VB₆ 与纤维素按一定比例混合成一定浓度的 VB₆ 预混物, 然后按照饲料的设计梯度向基础饲料中添加不同量的 VB₆ 预混物配制成不同 VB₆ 含量的 7 组饲料, VB₆ 预混物的增减用纤维素平衡。7 组饲料的 VB₆ 的含量分别为 0、1.11、3.29、5.41、12.7、13.3 和 27.3 mg/kg。没有添加 VB₆ 的饲料组为对照组。配制饲料时将原料充分混匀并加入适量的水, 然后用绞肉机做成直

径 2—3 mm 的颗粒。先在遮光的房间用风扇吹干一段时间, 然后转入烘箱 45℃ 烘干, 将饲料贮存于 -4℃ 冰柜备用。

1.2 实验过程

实验用异育银鲫由武汉关桥渔场提供。在实验鱼进入养殖系统暂养前, 先用适当浓度的高锰酸钾和食盐的混合水溶液将实验鱼进行消毒处理。实验鱼在实验条件下暂养约 4 周进行驯养。暂养饲料为本实验室自制的颗粒饲料(蛋白含量约 36%)。在正式养殖实验开始之前, 用对照组饲料投喂实验鱼 1 周。

养殖实验在室内流水养殖系统中进行。该系统由 21 个玻璃钢养鱼缸(直径 70 cm, 容积 190 L)组成。自来水经曝气除去余氯后流入每个养鱼缸内。水流流速约 1800 mL/min。实验期间, 水温保持在 24℃—28℃, pH 是 6.7 左右, 溶氧大于 6.7 mg/L, 氨氮水平为 0.16—0.21 mg/L。实验室用日光灯作为光源, 光照周期 12D:12L, 光照时间每天从 8:00 到 20:00。

实验开始前, 将异育银鲫饥饿 24h, 选取体质健康、规格均匀的个体, 称重后随机放入 21 个养鱼缸中, 每缸 20 尾(平均体重约 3.28 g)。同时, 随机另取三组鱼(约 30 尾鱼), 称重, 冰冻, 留作鱼体初始生化成分分析之用。

整个养殖实验持续 8 周。养殖期间, 每天 9:00 和 15:00 各投喂一次, 每次投喂持续 1h, 使实验鱼达到表观饱食, 缸内没有或基本没有残饵。记录每天的投喂量。每天观测实验鱼的状况, 记录死鱼数目和状态。

实验结束时, 实验鱼饥饿 24h 后称量每个养鱼缸实验鱼的总重量。每缸随机取 6 尾鱼, 称重后 70℃ 烘干至恒重, 用于测定实验结束时的鱼体生化组成。另取 6 尾鱼, 称量每尾鱼的体重和肝胰脏的重量计算肝体比。每缸另取 3—5 尾鱼, 在冰盘上解剖取出肝胰脏混合均匀, 马上放入液氮中速冻, 然后放入 -20℃ 冰箱保存用来测定谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性。用尾静脉取血法在每缸随机抽取足量的血液用来测定实验鱼的血红细胞数和血球容积比。

1.3 样品分析

饲料和肝脏中 VB₆ 的含量由北京谱尼理化分析测试中心使用 GB/T 5009.154-2003 方法测定。肝脏中谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性使用南京建成生物工程研究所研制的测试盒测定。

鱼体和饲料样品生化成分测试包括干物质、粗

表 1 实验基础饲料配方及化学组成(% 干物质)

Tab. 1 Formulation and chemical composition of the basal diet for juvenile gibel carp (% dry matter)

成分 Ingredients	含量 Content (%)
不含维生素酪蛋白 Casein (Vitamin free, Sigma)	41.00
明胶 Gelatin	2.00
糊精 Dextrin	6.00
玉米淀粉 Corn starch	15.00
纤维素 Cellulose	15.16
沸石粉 Zeolite powder	4.33
鱼油 Fish oil	5.00
玉米胚芽油 Corn embryo oil	5.00
维生素预混物 ¹ Vitamin premix	0.40
矿物质预混物 ² Mineral premix	5.00
胆碱 Choline	0.11
三氧化二铬 Cr ₂ O ₃	1.00
化学组成(% 干物质)	
粗蛋白 Crude protein (%)	42.81
粗脂肪 Crude lipid (%)	7.98
灰分 Ash (%)	9.06
能值 Gross energy (kJ/g)	19.54

注: 1. 维生素预混物 (mg/kg diet): 维生素 A vitamin A, 1.83; 维生素 D vitamin D, 0.5; 维生素 E vitamin E, 10; 维生素 K vitamin K, 10; 烟酸 niacin, 100; 核黄素 riboflavin, 20; 硫胺素 thiamin, 20; D-泛酸钙 D-calcium pantothenate, 50; 生物素 biotin, 1.0; 叶酸 folic acid, 5; 维生素 B₁₂ vitamin B₁₂, 2; 抗坏血酸 ascorbic acid, 400; 肌醇 inositol, 100; 2. 矿物质预混物(mg kg⁻¹ diet): 氯化钠 NaCl, 0.80; 硫酸镁 MgSO₄·7H₂O, 12; 磷酸二氢钠 NaH₂PO₄·2H₂O, 20; 磷酸二氢钾 KH₂PO₄, 25.6; 磷酸二氢钙 Ca (H₂PO₄)₂·H₂O, 16; 硫酸亚铁 FeSO₄·5H₂O, 2; 乳酸钙 C₆H₁₀CaO₆·5H₂O, 2.8; 硫酸锌 ZnSO₄·7H₂O, 0.028; 硫酸锰 MnSO₄·4H₂O, 0.013; 硫酸铜 CuSO₄·5H₂O, 0.0025; 氯化钴 CoCl₂·6H₂O, 0.0008; 碘酸钾 KIO₃, 0.0024; 纤维素 Cellulose, 0.36

蛋白、粗脂肪、灰分含量和能量含量。干物质在 105 °C 烘干至恒重, 通过失重法测定。粗蛋白用凯氏定氮仪测定(2300 Kjeltac Analyzer Unit, FOSS TECATOR, Sweden)。粗脂肪用索氏抽提仪测定(Soxtec System HT6, Tecator, Hoganas, Sweden)。能量用半微量弹式能量计测定(Phillipson microbomb calorimeter, Gentry Instruments Inc., Aiken, U.S.A)。灰分在马福炉中 550 °C 下燃烧 6h 测定。每个样品至少测定两个平行。

1.4 数据处理

本研究异育银鲫的生长性能用摄食率、特定生长率、饲料效率、蛋白质效率、存活率和肝体比表示, 计算公式如下:

特定生长率(SGR , %/d)= $100 \times [\ln \text{鱼体末重} - \ln \text{鱼体初重}] / \text{天数}$

饲料效率(FCE , %)= $100 \times \text{鱼体增重} / \text{摄食饲料干重}$

摄食率(FR , %/d)= $100 \times \text{总摄食量} / [(\text{初始体重} + \text{终末体重}) / 2] / \text{天数}$

蛋白质效率(PER , %)= $\text{增重} / \text{粗蛋白摄入量}$

存活率(%) = $100 \times (\text{每缸放鱼总数} - \text{每缸中死亡的鱼数}) / \text{每缸放鱼总数}$

肝体比(HSI , %)= $100 \times \text{肝脏重} / \text{体重}$

1.5 统计学分析

饲料中 VB_6 含量对鱼体生长、饲料利用和生理指标的影响采用单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan's 多重比较, 显著水平以 $P < 0.05$ 为标准。实验鱼的特定生长率, 谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性与饲料中 VB_6 含量的关系通过折线法(Broken-line analysis)求出^[22]。统计分析使用统计软件 Statistica 5.0 for Windows 完成。

2 结果

2.1 生长与饲料利用

异育银鲫的特定生长率、存活率、饲料转化效率的结果(表 2)。对照组实验鱼的特定生长率和存活率都显著低于其他各组($P < 0.05$)。特定生长率随着饲料中 VB_6 含量的增加而上升, 并在 13.3 mg/kg 组达到最高(图 1)。饲料转化效率、蛋白质效率和肝体比的变化趋势与特定生长率的变化一致。

2.2 缺乏症

实验开始约 2 周后, 对照组异育银鲫出现了厌食和萎靡不振的症状, 有的甚至出现了抽搐痉挛的症状。在实验的第 7 周, 1.11 mg/kg 添加组实验鱼中有一尾异育银鲫也出现了抽搐痉挛的症状。

2.3 血液与酶活指标

如表 3 所示, 随着饲料中 VB_6 含量的增加, 实验鱼的血液红细胞数和血球容积比也在逐渐增大, 在 3.29 mg/kg 添加组达到最大, 但是对照组与添加组以及各添加组之间差异不显著($P > 0.05$)。对照组谷草转氨酶活性最低, VB_6 含量高于 12.7 mg/kg 的各添加组的谷草转氨酶活性显著高于对照组实验鱼的谷草转氨酶的活性($P < 0.05$)。 VB_6 含量高于 5.41 mg/kg 的添加组的谷丙转氨酶活性显著高于其他各处理组($P < 0.05$)。

2.4 鱼体生化组成与肝脏 VB_6 含量

异育银鲫鱼体生化组成与肝脏中 VB_6 含量(表 3、表 4)。对照组鱼体的干物质、粗蛋白和粗脂肪含量最低, 并且显著低于各添加组($P < 0.05$)。对照组实验鱼的粗灰分最高。随着饲料中 VB_6 添加水平的

表 2 不同 VB_6 浓度饲料对异育银鲫生长、饲料利用和肝体比的影响(平均值±标准误)*
Tab. 2 Effect of dietary VB_6 content on growth, feed utilization and HSI of juvenile gibel carp (Mean±S.E.) *

饲料 VB_6 含量 Dietary VB_6 content (mg/kg)	0	1.11	3.29	5.41	12.70	13.30	27.30
平均初重 IBW (g)	3.28±0.02	3.26±0.01	3.29±0.01	3.28±0.01	3.29±0.00	3.29±0.01	3.29±0.01
平均末重 FBW (g)	6.85±0.27 ^a	8.70±0.16 ^b	8.58±0.36 ^b	8.13±0.15 ^b	8.07±0.23 ^b	8.96±0.41 ^b	8.39±0.30 ^b
特定生长率 SGR (%/d)	1.31±0.08 ^a	1.75±0.03 ^b	1.71±0.08 ^b	1.62±0.03 ^b	1.60±0.05 ^b	1.78±0.08 ^b	1.67±0.07 ^b
摄食率 FR (%/d)	0.78±0.03	0.78±0.00	0.77±0.02	0.80±0.04	0.78±0.00	0.77±0.01	0.81±0.02
饲料效率 FCE (%)	36.61±1.74 ^a	51.15±0.14 ^b	49.17±2.69 ^b	47.86±1.62 ^b	47.02±2.31 ^b	53.48±3.10 ^b	46.88±2.95 ^b
蛋白质效率 PER (%)	0.86±0.04 ^a	1.19±0.00 ^b	1.14±0.06 ^b	1.11±0.04 ^b	1.10±0.05 ^b	1.26±0.07 ^b	1.09±0.07 ^b
存活率 Survival (%)	63.33±6.01 ^a	93.33±1.67 ^b	88.33±9.28 ^b	96.67±1.67 ^b	96.67±3.33 ^b	100.00±0.00 ^b	93.33±1.67 ^b
肝体比 HSI (%)	5.85±0.72 ^a	9.29±1.46 ^b	11.72±0.66 ^b	9.91±0.93 ^b	11.13±1.62 ^b	12.43±0.41 ^b	9.72±0.87 ^b

注: *表中同行各数值后面的不同上标表示均值有显著差异($P < 0.05$); 肝脏 VB_6 含量为三个平行的均匀混合样含量; 下同

Note: *Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$); Liver VB₆ content was determined by the mixture of three replicates; the same below

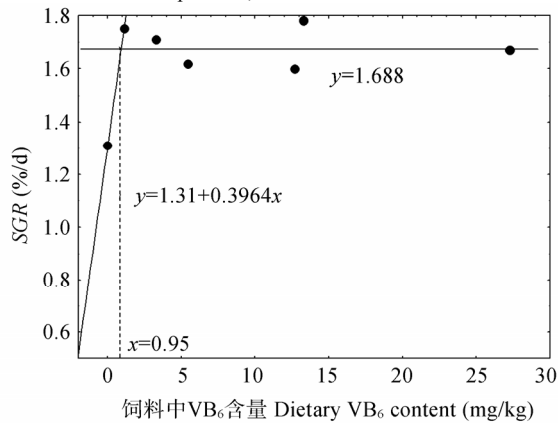


图1 异育银鲫特定生长率与饲料中 VB₆ 浓度之间的关系

Fig. 1 Relationship between specific growth rate (SGR, %/d) and dietary pyridoxine level (pyridoxine mg/kg diet) for gibel carp

上升, 肝脏中 VB₆ 含量呈现先上升后下降的趋势, 含量为 1.80—4.33 $\mu\text{g/g}$ 肝脏组织。

2.5 维生素 B₆ 需求量

通过折线法分析, 以特定增长率、谷草转氨酶活性(图 2)、谷丙转氨酶活性(图 3)为评价指标, 得到这些指标最大时, 饲料中 VB₆ 的最适含量分别为每

千克饲料 0.95、11.36 和 7.26 mg。

3 讨论

本研究表明, VB₆ 在异育银鲫正常的生长和生理代谢中起着重要的作用。研究表明, 动物可能会积累过多的脂肪而非真正的生长, 所以单纯以增重来计算动物对营养因子的需求量是不恰当的, 然而特定的酶活可以作为动物对营养因子需求量的有效指标^[4]。因此, 本研究以异育银鲫肝脏的谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性为依据, 用折线回归的方法求出异育银鲫对于 VB₆ 的需求量为 7.62—11.36 mg/kg。

本研究结果表明, 异育银鲫幼鱼对 VB₆ 的缺乏非常敏感, 当饲料中缺乏 VB₆ 时出现严重的缺乏症。对照组实验鱼出现厌食、萎靡不振、抽搐痉挛、狂游以及高死亡率现象。相似的缺乏症在其他鱼类中已经有所报道, 如鲢鳙鱼类^[2,3,23]、沟鲶(*Ictalurus punctatus*)^[6,13]、鲤(*Cyprinus carpio*)^[7]、黄尾鲷(*Seriola lalandi Valenciennes*)^[8]、日本鳗鲡(*Anguila japonica*)^[9]、金头鲷(*Sparus aurata*)^[14]、乌鳢(*Channa*

表 3 不同 VB₆ 浓度饲料对异育银鲫血液指标、酶活性及肝脏中 VB₆ 含量的影响(平均值±标准误)

Tab. 3 Effect of dietary VB₆ content on haematological indices, enzyme activity and liver vitamin content in juvenile gibel carp (Mean±S.E.)

饲料 VB ₆ 含量 Dietary VB ₆ content (mg/kg)	0	1.11	3.29	5.41	12.70	13.30	27.30
红细胞数 RBC ($\times 10^8/\text{mL}$)	9.22±1.19	10.20±2.74	12.60±0.41	11.00±1.13	11.90±1.52	10.60±1.52	11.10±0.89
血球容积比 <i>Ht</i> (%)	33.25±0.77	36.31±3.32	38.84±0.87	38.48±1.34	35.95±0.72	35.45±1.79	35.17±2.26
谷草转氨酶 GOT (U/mg 蛋白)	149.1±41.5 ^a	197.1±34.8 ^{ab}	236.4±42.2 ^{ab}	250.2±30.8 ^{ab}	315.6±22.3 ^b	306.2±48.8 ^b	308.5±30.5 ^b
谷丙转氨酶 GPT (U/mg 蛋白)	111.9±22.1 ^a	97.6±15.9 ^a	119.6±4.1 ^a	189.9±13.1 ^b	206.1±9.1 ^b	219.1±28.4 ^b	210.4±15.2 ^b
肝脏 VB ₆ 含量 Liver VB ₆ content ($\mu\text{g/g}$ 组织)	1.90	1.96	4.14	3.01	4.33	1.80	2.67

表 4 不同 VB₆ 浓度对异育银鲫鱼体生化组成的影响(平均值±标准误)

Tab. 4 Effect of dietary VB₆ content on body composition of gibel carp (Mean±S.E.)

饲料 VB ₆ 含量 Dietary VB ₆ content (mg/kg)	干物质 Dry matter (%)	粗蛋白 Crude protein (%)	粗脂肪 Crude lipid (%)	粗灰分 Crude ash (%)
0	19.93±0.41 ^a	11.76±0.35 ^a	4.11±0.05 ^a	16.49±0.10 ^c
1.11	26.83±0.25 ^b	13.19±0.11 ^b	6.31±0.40 ^b	13.89±1.10 ^a
3.29	26.56±0.35 ^b	12.96±0.11 ^b	6.25±0.32 ^b	14.47±0.24 ^{ab}
5.41	25.66±0.64 ^b	12.80±0.34 ^{ab}	5.56±0.70 ^{ab}	14.90±0.59 ^{ab}
12.70	26.68±0.76 ^b	12.62±0.27 ^{ab}	6.65±0.32 ^b	14.16±0.53 ^{ab}
13.30	26.91±1.02 ^b	13.49±0.58 ^b	5.82±0.94 ^b	14.04±0.51 ^a
27.30	25.58±0.17 ^b	12.77±0.28 ^{ab}	5.60±0.29 ^{ab}	15.48±0.58 ^{bc}

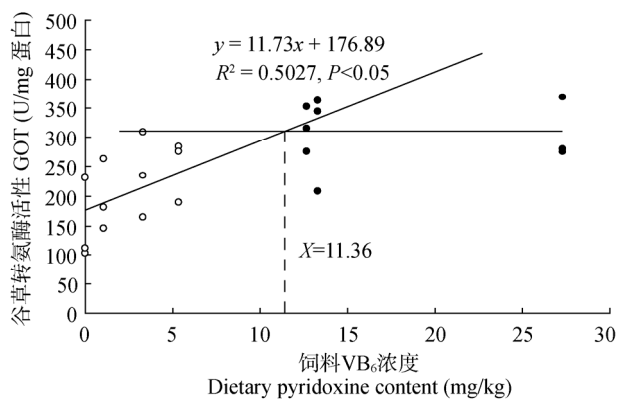


图 2 异育银鲫肝脏谷草转氨酶活性与饲料中 VB₆ 水平之间的关系

Fig. 2 Relationship between GOT activity (GOT, U/mg prot) and dietary pyridoxine level (pyridoxine mg/kg diet) for gibel carp

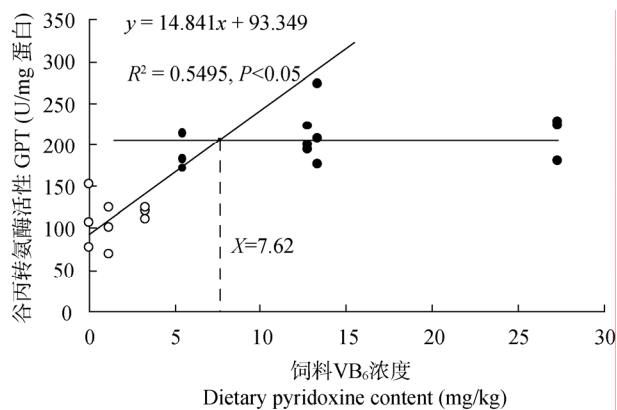


图 3 异育银鲫肝脏谷丙转氨酶活性与饲料中 VB₆ 水平之间的关系

Fig. 3 Relationship between GPT activity (GPT, U/mg prot) and dietary pyridoxine level (pyridoxine mg/kg diet) for gibel carp

punctatus)^[24]、红奥尼罗非鱼(*Parabramis pekensis*)^[15]、奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[16]和印度鲶(*Heteropneustes fossilis*)^[17]。在本研究的实验周期内, 3.29 mg/kg 以上的 VB₆ 饲料组可以阻止异育银鲫幼鱼各种缺乏症的出现。

本研究表明, 如果根据生长判断, 饲料中 VB₆ 的适宜含量为 0.95 mg/kg, 低于报道的其他鱼类需求量^[25]。当以肝脏 GOT 和 GPT 活性判断时, 7.62—11.36 mg/kg VB₆ 为异育银鲫幼鱼的最适需求量。此需求量高于鲤 (*Cyprinus carpio*)^[7]、沟鲶 (*Ictalurus punctatus*)^[13]、大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)^[12]、金头鲷 (*Spatrus aurata*)^[14]、红奥尼罗非鱼 (*Parabramis pekensis*)^[15] 和印度鲶 (*Hetero-*

pneustes fossilis)^[17] 的 VB₆ 需求量, 但是要比奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[16] 的需求量低。为什么不同种类的鱼有不同的 VB₆ 需求量目前仍不清楚, 可能的原因有以下几点: 种类的差异性, 营养因子在水中从饲料颗粒中的溶失以及研究需求量所使用的方法和依据的标准不同。有的研究报道, 鱼类对 VB₆ 的需求量与实验饲料的蛋白含量有关^[16,26]。

在以往的很多研究中, 发现投喂不含 VB₆ 饲料的鱼表现出贫血的症状, 如大鳞大麻哈鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*)^[3]、虹鳟 (*Salmo gairdneri*)^[23] 和乌鳢 (*Channa punctatus*)^[27]。也有一些研究, 如在沟鲶 (*Ictalurus punctatus*)^[13]、大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)^[12] 和奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[16] 的研究中就没有发现贫血的症状。在本研究中, 异育银鲫幼鱼虽然并没有表现出明显的贫血症状, 但是对照组实验鱼的红细胞数和血球容积比要低于其他各处理组。研究推测, 当缺乏 VB₆ 时是否会出现贫血症状可能与实验鱼的其他缺乏症的严重程度有关^[13], 并且在有的鱼类, 贫血症状可能会因早期的生长停止或者实验鱼的死亡而被阻止。在本研究中没有出现明显的贫血症状, 另一个原因可能是本研究的实验周期不够长(8 周)。在有些发现贫血症状的研究中, 其实验周期达到了 10 至 15 周之久^[15, 17]。在对沟鲶 (*Ictalurus punctatus*)^[13] 和奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[16] 的研究中, 发现摄食高含量 VB₆ 饲料的实验鱼反而出现了贫血症状。在后者的研究中, Shiao, et al.^[16] 推测贫血症状的发生可能与饲料的蛋白含量有关。但是这一推论有待进一步研究证实。

在本研究中, 发现投喂对照组饲料的异育银鲫幼鱼除了肝脏萎缩外, 没有发现其他各组织表现可见的病理损伤。在沟鲶的研究中也发现了类似的实验现象, 他们认为, 这可能是由于生长停止和实验鱼死亡先于了组织病理损伤的发生^[13]。

异育银鲫肝脏中 VB₆ 的贮存量反映了鱼体对 VB₆ 的利用情况, 贮存量越大说明鱼体对 VB₆ 的利用越好。在本研究中, 饲料中 12.7 mg/kg 的 VB₆ 含量可以使异育银鲫幼鱼的鱼体维生素贮存达到最大值。实验过程中, 投喂 1.11 mg/kg 饲料的处理组有一尾异育银鲫在第 7 周出现了抽搐痉挛的症状, 因

此我们推测, 1.11 mg/kg 的 VB₆ 浓度不能满足实验鱼的正常需求。所以我们认为, 根据特定生长率以折线回归法求出的 VB₆ 需求量很有可能偏低(图 1)。以往研究表明, 组织酶活性是比生长数据更灵敏的指标, 所以在本研究中以这两种指标得出的需求量差别比较大^[28-30]。

综上所述, 异育银鲫饲料中最大生长率下的 VB₆ 的适宜含量为 0.95 mg/kg。当以谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性为依据, 根据折线回归法得出异育银鲫幼鱼的 VB₆ 需求量为 7.62—11.36 mg/kg。

参考文献:

- [1] Wolf L E. Dietary gill disease of trout [J]. *New York Cons. Dept., Fish. Res. Bull.*, 1945, (7), 1—30
- [2] McLaren BA, Keller E, O'Donnell D J, *et al.* The nutrition of rainbow trout, I. Studies of vitamin requirements [J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1947, **15**: 169—178
- [3] Halver J E. Nutrition of salmonid fishes. III. Water-soluble vitamin requirements of Chinook salmon [J]. *Journal of Nutrition*, 1957, **62**: 225—243
- [4] Phillips A M, Brockway D R. The nutrition of trout, IV. Vitamin requirements [J]. *The Progressive Fish-Culturist*, 1957, **19**: 119—123
- [5] Coates J A, Halver J E. Water soluble vitamin requirements of silver salmon [M]. Washington DC: U. S. Fish Wildl. Serv. Bur., Sport Fish Wildl. Spec.Sci. Rep. Wildl. 1958, 1—9
- [6] Dupree H K. Vitamins Essential for Growth of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus* [M]. Bureau of Sport Fish. and Wildl., Washington, DC. Tech. 1966, 7: 12
- [7] Ogino C B. Vitamin requirements of carp, *Cyprinus carpio*: I. Deficiency symptoms and requirements of vitamin B₆ [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1965, **31**: 546—551
- [8] Sakaguchi H, Takeda F, Tange K. Studies on vitamin requirements by yellowtail: 1. Vitamin B₆ and vitamin C deficiency symptoms [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1969, **35**: 1201—1206
- [9] Arai S T, Nose T, Hashimoto Y. Qualitative requirements of young eels (*Anguila japonica*) for water soluble-vitamins and their deficiency symptoms [J]. *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. Tokyo*, 1972, **22**, 69—83
- [10] Halver J E. The vitamins [M]. In: Halver J E (Eds.), *Fish Nutrition*. 3rd ed. Academic Press, New York. 2002, 62—132
- [11] Takeda T, Yone Y. Studies of nutrition of red seabream. 2. Comparison of vitamin B₆ requirement level between fish fed a synthetic diet and fish fed beef liver during prefeeding period [J]. *Rep. Fish. Res. Lab., Kyushu Univ.*, 1971, **1**: 37—47
- [12] Adron J W, Knox D, Cowey C B. Studies on the nutrition of marine flatfish. The pyridoxine requirement of turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. *British Journal of Nutrition*, 1978, **40**: 261—268
- [13] Andrews J W, Murai T. Pyridoxine requirements of channel catfish [J]. *Journal of Nutrition*, 1979, **109**: 533—537
- [14] Kissil G W, Cowey C B, Adron J W, *et al.* Pyridoxine requirements of the gilthead bream, *Spatrus aurata* [J]. *Aquaculture*, 1981, **23**: 243—255
- [15] Lim C, LeaMaster B R, Brock J A. Pyridoxine requirement of fingerling red hybrid tilapia grown in seawater [J]. *Journal of Applied Aquaculture*, 1995, **5**: 49—60
- [16] Shiau S Y, Hsieh H L. Vitamin B₆ requirements of tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* fed two dietary protein concentrations [J]. *Fisheries Science*, 1997, **63**: 1002—1007
- [17] Mohamed J S. Dietary pyridoxine requirement of the Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* [J]. *Aquaculture*, 2001, **194**: 327—335
- [18] Shiau S Y, Wu M H. Dietary vitamin B₆ requirement of grass shrimp, *Penaeus monodon* [J]. *Aquaculture*, 2003, **225**: 397—404
- [19] Qian X Q. Nutritional energetics in juvenile Chinese longsnout catfish and gibel carp in relation to dietary protein level [D]. Doctoral dissertation of Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences. 2001, 35—48 [钱雪桥. 长吻鲢和异育银鲫幼鱼饲料蛋白需求的比较营养能量学研究. 中国科学院水生生物研究所博士论文. 2001, 35—48]
- [20] Pei Z H, Xie S Q, Lei W, *et al.* Comparative study on the effect of dietary corn starch content on growth, feed utilization and body composition of Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) and gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(2): 239—246 [裴之华, 解绶启, 雷武, 等. 长吻鲢和异育银鲫对玉米淀粉利用差异的比较研究. 水生生物学报, 2005, **29**(2): 239—246]
- [21] Pei Z H, Xie S Q, Lei W, *et al.* Comparative study on the effect of dietary lipid level on growth and feed utilization for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2004, **10**: 209—216
- [22] Robbins K R. A method, SAS program, and examples for fitting the broken line to growth data. University of Tennessee Res. Rep. 86—90. University of Tennessee Agric. Exp. Sta. Knoxville, K Y. 1986
- [23] Smith C E, Brin M, Halver J E. Biochemical, physiological and pathological changes in pyridoxine-deficient rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1974, **31**: 1893—1898
- [24] Agrawal N K, Mahajan C L. Pathology of vitamin B-6 deficiency in *Channa punctatus* Bloch [J]. *Journal of Fish Diseases*, 1983, **6**: 439—450
- [25] Li A J. Nutrition and feed of Aquatic Animals [M]. Beijing:

- Chinese Agriculture Press. 1996, 53 [李爱杰, 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社. 1996, 53]
- [26] Phillips A M, Podoliak H A, Livingston D L, *et al.* Effect of dietary protein on the sensitivity of brook trout to a pyridoxine deficient deficiency [J]. *N.Y. State Conserv. Dept. Fish Res. Bull.*, 1959, **23**: 67—71
- [27] Agrawal N K, Mahajan C L. Haematological and haematopoietic studies in pyridoxine deficient fish, *Channa punctatus* Bloch [J]. *Journal of Fish Biology*, 1983, **22**: 91—
- [28] Baker D H. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients [J]. *Journal of Nutrition*, 1986, **116**: 2339—2349
- [29] Woodward B. Sensitivity of hepatic d-amino acid oxidase and glutathione reductase to the riboflavin status of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Aquaculture*, 1983, **34**: 193—201
- [30] Woodward B, Frigg M. Dietary biotin requirements of young rainbow trout (*Salmo gairdneri*) determined by weight gain, hepatic biotin concentration and maximal biotin-dependent enzyme activities in liver and white muscle [J]. *Journal of Nutrition*, 1989, **119**: 54—60

DIETARY VITAMIN B₆ REQUIREMENT OF JUVENILE GIBEL CARP, *CARASSIUS AURATUS GIBELIO*

WANG Jin-Lin^{1, 2}, ZHU Xiao-Ming¹, LEI Wu¹, HAN Dong¹, YANG Yun-Xia¹ and XIE Shou-Qi^{1, 3}

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, China 430072; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China 100049; 3. Aquaculture Divisions, E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai, China 200025)

Abstract: An 8-week growth trial was conducted to determine the dietary VB₆ requirement for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) (initial body weight of 3.3g). Seven iso-nitrogenous and iso-caloric experimental diets were formulated to contain different levels of VB₆ (0, 1.11, 3.29, 5.41, 12.7, 13.3 and 27.3 mg/kg, respectively). The results showed that fish fed the control diet without supplementation of VB₆ showed significantly lower specific growth rate, feed conversion efficiency, protein efficiency ratio, survival and hepatosomatic index than fish fed diets supplemented with VB₆. The feeding rate exhibited no significant differences among the treatments ($P > 0.05$). Fish fed the diet containing 12.70 mg/kg VB₆ obtained significantly higher liver GOT activity than the other groups. The liver GPT activity significantly increased in fish fed diets containing ≥ 5.41 mg VB₆/kg. Liver VB₆ concentration was highest when fish fed the diet containing 12.7 mg/kg VB₆. Based on the broken-line method of the relationships between specific growth rate, GOT and GPT activities and dietary VB₆ concentrations, it can be concluded that the dietary VB₆ requirement for gibel carp was considered to be 0.95, 11.36 or 7.62 mg/kg diet.

Key words: Gibel carp (*Carassius auratus gibelio*); Specific growth rate; Vitamin B₆ requirement; GPT activity; GOT activity