

王菲,李向飞,李鹏飞,等. 饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼生长性能、体组成、抗氧化功能和肠道酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2016, 44(5):319-324.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.093

饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼生长性能、体组成、抗氧化功能和肠道酶活性的影响

王菲,李向飞,李鹏飞,蔡万存,王凯周,钱 妤,刘文斌

(南京农业大学动物科技学院/江苏省水产动物营养重点实验室,江苏南京 210095)

摘要:研究了团头鲂幼鱼饲料中维生素 B₂ 的最适需求量及维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼生长性能、体组成、抗氧化功能和肠道消化酶活性的影响。试验采用单因子浓度梯度法,将鱼随机分为 6 组,投喂不同水平的维生素 B₂,分别为 1.66、2.83、4.29、6.15、8.37、11.28 mg/kg 的半纯合饲料,每日 3 次,饱食投喂 12 周。结果表明,饲料中维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼饵料系数、存活率和形体指标均无显著影响。当饲料中维生素 B₂ 水平从 1.66 mg/kg 升至 6.15 mg/kg 时,团头鲂幼鱼的增质量率和特定生长率均显著增加;当维生素水平进一步升高时,则显著下降。饲料中维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼全鱼的水分、粗蛋白和粗灰分水平均无显著影响。团头鲂幼鱼全鱼粗脂肪水平在饲料中维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 6.15 mg/kg 时则显著升高;当维生素 B₂ 水平进一步升高时,则显著下降。当饲料中维生素 B₂ 水平从 1.66 mg/kg 升至 4.29 mg/kg 时,团头鲂幼鱼肝脏中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性和还原型谷胱甘肽的含量,以及肠道淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶活性均显著升高,当维生素 B₂ 水平进一步升高时,则显著下降;丙二醛含量变化趋势则与之相反。根据团头鲂幼鱼增质量率、肝脏维生素 B₂ 沉积量和肝脏 D-AAO 活性进行回归分析结果,团头鲂幼鱼饲料中维生素 B₂ 最适添加量分别为 5.21、4.65、6.02 mg/kg。

关键词:团头鲂;维生素 B₂;生长性能;体组成;抗氧化;肠道酶活性

中图分类号: S963.73⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0319-05

维生素 B₂, 又称核黄素,是动物必需的水溶性维生素之一,参与机体内氧化还原反应、细胞代谢和呼吸链反应^[1]。研究表明,鱼类缺乏维生素 B₂ 一般会呈现食欲减退和生长缓慢的症状^[2]。鲑属鱼类缺乏维生素 B₂ 时,除了生长缓慢,眼睛还会出现畏光、白内障、出血及角膜新生血管等症状^[3-5],大鳞大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)、虹鳟(*Salmo gairdneri*)还会出现体色变深和身体平衡失调等情况^[4,6];然而,Woodward 在虹鳟幼鱼缺乏维生素 B₂ 试验中并未发现以上症状,但缺乏维生素 B₂ 的幼鱼却表现出严重的鳍部侵蚀、体色变浅和高死亡率的情况^[7]。此外,同种鱼类维生素 B₂ 的缺乏亦有不同表症。例如,斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)缺乏维生素 B₂ 时会出现单侧或 2 侧的白内障^[8],Murai 等发现维生素 B₂ 的缺乏仅会导致斑点叉尾鲷生长迟缓和体长变短^[9]。研究表明,维生素 B₂ 缺乏症具有明显的特异性,且与鱼类的种类、生长阶段、环境、食性等有着密切的联系。鱼类饲料原料中的维生素 B₂ 水平并不能满足鱼类生长的需要,必

须额外添加一定量的维生素 B₂ 进行补充^[1-2],充分说明维生素 B₂ 对鱼类生长的必要性。

Chen 等发现,缺乏维生素 B₂ 会削弱草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)幼鱼鳃部的抗氧化能力^[10];Yates 等研究表明,维生素 B₂ 可提高大鼠(*Rattus norvegicus*)的胃肠道功能^[11];Li 等也在对建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)的研究中得出,饲料中添加维生素 B₂ 会促进其幼鱼消化能力的增强^[12]。前人研究指出,鱼类的生长和其抗氧化功能及肠道酶活性密切相关^[10,13],目前,尚未有文献直接指明饲料维生素 B₂ 水平与团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)幼鱼抗氧化功能和肠道酶活性的关系,因此本试验开展团头鲂幼鱼营养需求相关方面的研究。

团头鲂是中国重要的草食性淡水经济鱼类^[14]。近年来,团头鲂的养殖量迅速增长^[15],但针对团头鲂营养需求的研究还很有限。目前,团头鲂的营养需求研究主要集中在三大营养物质、氨基酸和脂溶性维生素等方面^[16-20],而水溶性维生素的研究尚较缺乏。本试验着重探讨了团头鲂幼鱼的适宜维生素 B₂ 需求量及其对鱼体抗氧化功能和肠道酶活性的影响,以为团头鲂维生素营养需求资料的完善提供理论基础,并为营养饲料配方提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

本试验采用单因子设计,配制 6 组半纯合饲料,分别添加

收稿日期:2016-03-01

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-49-20)。

作者简介:王菲(1990—),女,江苏扬州人,硕士研究生,主要从事水产动物营养与饲料的研究。E-mail: 2013105053@njau.edu.cn。

通信作者:刘文斌,教授,博士生导师,主要从事水产动物生理与营养学的研究。E-mail: wbliu@njau.edu.cn。

维生素 B₂ 水平为 0.2、4、6、8、10 mg/kg^[12] (饲料中维生素 B₂ 实际水平为 1.66、2.83、4.29、6.15、8.37、11.28 mg/kg)。试验饲料以进口的秘鲁鱼粉、酪蛋白和明胶为蛋白源,以豆油和鱼油为脂肪源(按照 1:1 的比例添加),以玉米淀粉为糖源,以微晶纤维素作为填充物,以羧甲基纤维素钠为黏结剂^[14]。饲料原料先粉碎,按照配方称重后将各原料逐级均匀混合,充分混合后加入一定量的水再混合,然后用小型制粒机加工成粒径为 2 mm 左右的颗粒饲料,常温风干后置于 4 ℃ 冰箱保存备用^[14,16,18]。饲料组成及营养成分见表 1。

表 1 饲料配方组成和营养成分

项目	原料	含量(%)
饲料配方	鱼粉	4.00
	酪蛋白	29.50
	明胶	7.00
	玉米淀粉	38.30
	鱼油	3.10
	豆油	3.10
	微晶纤维素	10.00
	复合预混料	1.20
	磷酸二氢钙	1.80
	羧甲基纤维素钠	2.00
营养成分	粗蛋白	31.28
	粗脂肪	5.86
	粗灰分	3.21
	能量	16.27 MJ/kg

注:1 kg 预混料为饲料提供以下矿物质和维生素:CuSO₄·5H₂O 2.0 g、FeSO₄·7H₂O 25 g、ZnSO₄·7H₂O 22 g、MnSO₄·4H₂O 7 g、Na₂SeO₃ 0.04 g、KI 0.026 g、CoCl₂·6H₂O 0.1 g、维生素 A 900 000 IU、维生素 D 200 000 IU、维生素 E 4 500 mg、维生素 K₃ 220 mg、维生素 B₁ 320 mg、维生素 B₅ 2 000 mg、维生素 B₆ 500 mg、维生素 B₁₂ 1.6 mg、维生素 C 5 000 mg、泛酸 1 000 mg、叶酸 165 mg、胆碱 60 000 mg。

1.2 试验团头鲂及养殖管理

试验鱼养殖于南京农业大学浦口试验基地室内流水系统中,驯化 14 d,其间投喂不含维生素 B₂ 的基础饲料,驯化后挑选体格健壮、规格整齐、体质量为(41.52±0.15)g 的幼鱼 288 尾,随机分成 6 组,每组 4 个重复,每个重复 12 尾。每日饱食投喂 3 次(时间分别在 07:30、11:30、16:30),养殖期为 12 周。试验期间,全程微流水循环(1.5 L/min),水温控制在 25~30 ℃,pH 值为 7.0~7.5,全天 24 h 充氧。

1.3 指标测定方法

1.3.1 生产性能统计和样本采集 养殖结束后,将鱼饥饿 24 h 采样。统计每缸的尾数并称总质量,从中随机取出 6 尾鱼逐尾称质量和测量体长,其中 2 尾鱼冰冻保存用以测定全鱼体组成,另外 4 尾鱼置于冰盘上解剖,取出内脏团称质量。然后,分离出肝脏,用预冷的 0.85% 生理盐水清洗,用滤纸吸干并称质量,将其置于 -70 ℃ 冷冻保存,用于抗氧化功能的测定;取肠道中段,并用生理盐水冲洗肠道内部清除内容物,将其置于 -70 ℃ 冷冻保存,用于肠道酶活性的测定。

生产性能的计算公式如下:

增质量率(WGR) = $(m_t - m_0) / m_0 \times 100\%$;
特定生长率(%/d) = $[\ln(m_t) - \ln(m_0)] / t \times 100\%$;

饵料系数(FCR) = $F / (m_t - m_0)$;
肥满度(CF) = $m_t(\text{g}) / \text{体长}^3(\text{cm}^3) \times 100\%$;
肝体比(HSI) = 肝脏质量(g) / 全鱼质量(g) × 100% ;
脏体比(VSI) = 内脏质量(g) / 全鱼质量(g) × 100% ;
成活率(SR) = 试验结束时总尾数 / 试验开始时总尾数 × 100% 。

式中: m_0 为鱼体初质量,g; m_t 为鱼体末质量,g; F 为摄食量,g; t 为饲养天数,d。

1.3.2 样品测定 饲料原料和团头鲂幼鱼全鱼概略养分测定参考 AOAC 的方法^[21]。将饲料和全鱼称质量后置于培养皿中,在(105±2) ℃ 的烘箱中烘至恒质量测定水分水平。粗蛋白(N×6.25)水平采用全自动凯氏定氮仪(FOSS KT260,瑞士)测定;粗脂肪水平采用索氏抽提法测定(2050;FOSS Tector);将样品置于电炉上炭化后,在马福炉中于(550±20) ℃ 下灼烧 5 h 后测得饲料和全鱼中粗灰分水平;饲料总能采用氧弹测热仪(Parr 1281,美国)测定。

饲料及团头鲂幼鱼肝脏中维生素 B₂ 水平参考 Callmer 等的方法^[22]测定。肝脏组织匀浆液的制备及酶活性的测定:将肝脏准确称质量,以 1:4(组织:生理盐水)的比例加入预冷的生理盐水后冰浴匀浆,然后于 3 000 r/min 离心 10 min,收集上清液并存放于 4 ℃ 冰箱。待测肝脏 D-氨基酸氧化酶(D-amino acid oxidation,D-AAO)活性参考 Woodward 的方法^[23]进行测定。肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性按照 Jin 等描述的方法^[24]测定;还原型谷胱甘肽(GSH)和丙二醛(MDA)水平参照 Zhang 等的方法测定^[25];过氧化氢酶(CAT)活性测定参考 Jiang 等的方法测定^[26]。

肠道组织匀浆液的制备及酶活性的测定:将肠道准确称质量,按 1:9(组织:生理盐水)加入预冷生理盐水后冰浴匀浆,制成 20% 组织匀浆,然后于 3 000 r/min 离心 10 min,收集上清液并存放于 4 ℃ 冰箱。肠道蛋白酶采用福林-酚法^[27]测定;淀粉酶和脂肪酶活性参考 Furné 等的方法^[28]测定。

1.4 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 19.0 软件分析,结果以“平均值±标准误”表示。先进行单因素方差分析,采用 Tukey 氏法做多重比较分析组间差异显著程度,显著水平设定为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼生长性能和形体指标的影响

饲料中维生素 B₂ 水平量对团头鲂幼鱼饵料系数、存活率和形体指标均无显著影响(表 2)。当饲料中维生素 B₂ 水平从 1.66 mg/kg 升至 6.15 mg/kg 时,团头鲂幼鱼的增质量率和特定生长率均显著增加;而当维生素水平进一步升高时,又显著下降。以饲料中维生素 B₂ 水平为横坐标,团头鲂幼鱼增质量率为纵坐标进行双折线回归分析,得出 $y = 4.0327x + 64.532(r = 0.9780)$ 和 $y = -0.6432x + 88.905(r = 0.9432)$ 2 个方程式。对其求解,得出当饲料中维生素 B₂ 水平为 5.21 mg/kg 时,团头鲂幼鱼有最大增质量率(图 1)。

2.2 饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼肝脏维生素 B₂ 沉积量和 D-氨基酸氧化酶活性的影响

当饲料中维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 8.37 mg/kg

表 2 不同维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼生长性能和形体指标的影响

维生素 B ₂ 水平 (mg/kg)	初质量 (g)	末质量 (g)	增质量率 (%)	特定生长率 (%/d)	饵料系数	肝体比 (%)	脏体比 (%)	肥满度 (%)	存活率 (%)
1.66	41.40±0.31a	70.50±1.35c	70.36±3.79d	0.63±0.03d	2.52±0.11	1.36±0.06	12.67±0.56	2.16±0.04	98.33±1.67
2.83	41.29±0.32a	77.25±0.63b	87.08±0.36b	0.75±0.00c	2.45±0.12	1.29±0.07	12.23±0.28	2.23±0.04	100±0.00
4.29	41.65±0.29a	81.25±0.85ab	95.12±2.31abc	0.80±0.01abc	2.29±0.12	1.43±0.03	11.83±0.34	2.19±0.06	98.33±1.67
6.15	41.27±0.46a	85.33±1.17a	106.24±3.40a	0.86±0.02a	2.38±0.26	1.47±0.05	11.97±0.58	2.16±0.06	98.33±1.67
8.37	41.08±0.29a	82.85±0.53a	101.68±0.77ab	0.84±0.00ab	2.16±0.03	1.33±0.04	12.38±0.46	2.20±0.04	100±0.00
11.28	42.42±0.17a	81.94±1.75ab	92.68±3.84bc	0.78±0.02bc	2.31±0.14	1.40±0.11	11.73±0.26	2.15±0.02	98.33±1.67

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 3 至表 6 同。

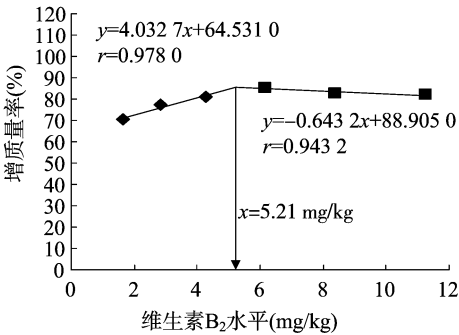


图1 团头鲂幼鱼增质量率与饲料维生素B₂水平的关系

时,团头鲂幼鱼肝脏中维生素 B₂ 沉积量显著增加;当维生素 B₂ 水平进一步升高时,则无显著差异。饲料中维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 6.15 mg/kg 时,团头鲂幼鱼肝脏 D-AAO 活性显著增加;当维生素 B₂ 水平进一步升高时,则显著下降(表 3)。

表 3 不同维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼肝脏维生素 B₂ 沉积量和肝脏 D-氨基酸氧化酶的影响

维生素 B ₂ 水平 (mg/kg)	肝脏维生素 B ₂ 沉积量 (mg/kg)	肝脏 D-AAO 活性 (U/L)
1.66	4.60±0.13c	28.89±0.97c
2.83	5.85±0.13b	30.97±0.97c
4.29	5.99±0.09b	37.48±0.65b
6.15	6.18±0.03ab	43.31±0.48a
8.37	6.71±0.10a	38.94±0.38b
11.28	6.04±0.06ab	37.87±0.89b

以饲料中维生素 B₂ 水平为横坐标,团头鲂幼鱼肝脏维生素 B₂ 沉积量为纵坐标进行双折线回归分析,得出 $y = 0.5109x + 3.9874$ ($r = 0.8797$) 和 $y = -0.0332x + 6.5123$ ($r = 0.3995$) 2 个方程式。对其求解,得出当饲料中维生素 B₂ 添加量为 4.65 mg/kg 时,团头鲂幼鱼有最大肝脏维生素 B₂ 沉积量(图 2)。

以饲料中维生素 B₂ 水平为横坐标,团头鲂幼鱼肝脏

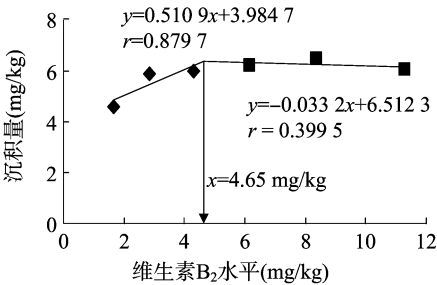


图2 团头鲂幼鱼肝脏维生素B₂沉积量与饲料维生素B₂水平的关系

D-AAO活性为纵坐标进行双折线回归分析,得出 $y = 3.3146x + 22.746$ ($r = 0.9746$) 和 $y = -1.0254x + 48.858$ ($r = 0.9152$) 2 个方程式。对其求解,得出当饲料中维生素 B₂ 水平为 6.02 mg/kg 时,团头鲂幼鱼有最大肝脏 D-AAO 活性(图 3)。

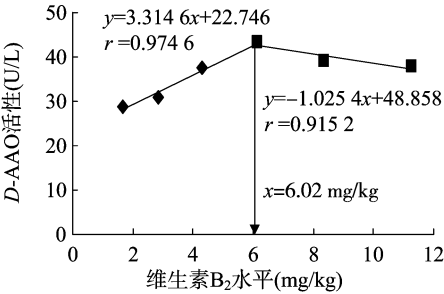


图3 团头鲂幼鱼肝脏D-AAO活性与饲料维生素B₂水平的关系

- 2.3 饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼全鱼体组成的影响
- 饲料中维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼全鱼的水分、粗蛋白和粗灰分均无显著影响(表 4)。当饲料中维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 6.15 mg/kg 时,团头鲂幼鱼全鱼粗脂肪含量显著增加;当维生素 B₂ 水平进一步增加时,则显著下降。
- 2.4 饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼肝脏抗氧化功能的影响

当饲料中维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 4.29 mg/kg 时,团头鲂幼鱼肝脏中超氧化物歧化酶、还原型谷胱甘肽和过

表 4 不同维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼全鱼组成的影响

维生素 B ₂ 水平 (mg/kg)	全鱼组成(鲜样,%)			
	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
1.66	74.82±0.26a	17.41±0.30a	2.66±0.14c	3.80±0.06a
2.83	75.04±1.00a	17.22±0.61a	2.96±0.16bc	3.72±0.10a
4.29	74.92±0.65a	17.61±0.21a	3.12±0.24bc	3.80±0.31a
6.15	74.02±0.67a	17.26±0.26a	4.25±0.11a	3.79±0.09a
8.37	74.89±0.51a	17.50±0.16a	3.44±0.19b	3.83±0.07a
11.28	74.85±0.74a	17.41±0.26a	3.43±0.15b	3.85±0.10a

氧化氢酶都显著升高;当维生素 B₂ 水平进一步升高时,则显著下降。饲料中维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 2.83 mg/kg 时,团头鲂幼鱼肝脏丙二醛含量显著降低;当维生素 B₂ 水平进一步升高时,则差异不显著(表 5)。

表 5 不同维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼肝脏抗氧化功能的影响

维生素 B ₂ 水平 (mg/kg)	超氧化歧化酶 (U/mg)	还原型谷胱甘肽 (μmol/g)	过氧化氢酶 (U/mg)	丙二醛 (nmol/mg)
1.66	69.12 ± 1.71c	2.22 ± 0.07c	3.32 ± 0.06b	3.43 ± 0.28b
2.83	78.46 ± 2.47bc	3.03 ± 0.06b	3.50 ± 0.14b	1.08 ± 0.04a
4.29	98.40 ± 1.12a	3.88 ± 0.13a	4.20 ± 0.11a	0.53 ± 0.01a
6.15	87.33 ± 5.73ab	3.43 ± 0.11b	3.77 ± 0.04ab	0.62 ± 0.07a
8.37	81.42 ± 1.16bc	3.32 ± 0.06b	3.50 ± 0.04b	0.66 ± 0.03a
11.28	79.34 ± 0.81bc	3.15 ± 0.08b	3.38 ± 0.14b	0.90 ± 0.04a

2.5 饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼肠道消化酶活性的影响

饲料中维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 4.29 mg/kg 时,团头鲂幼鱼肠道蛋白酶活性显著升高,当维生素 B₂ 水平进一步升高时,则差异不显著;饲料中维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 6.15 mg/kg 时,团头鲂幼鱼肠道淀粉酶和脂肪酶活性显著升高,当维生素 B₂ 水平进一步升高时,淀粉酶活性则差异不显著,而脂肪酶活性显著下降(表 6)。

表 6 不同维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼肠道消化酶活性的影响

维生素 B ₂ 水平 (mg/kg)	淀粉酶 (U/mg)	蛋白酶 (U/mg)	脂肪酶 (U/g)
1.66	0.12 ± 0.01b	13.26 ± 1.33b	22.73 ± 1.88c
2.83	0.14 ± 0.01ab	14.39 ± 1.38ab	24.00 ± 1.72c
4.29	0.14 ± 0.01ab	16.79 ± 1.51a	44.10 ± 1.79ab
6.15	0.16 ± 0.02a	16.64 ± 1.56a	45.76 ± 2.72a
8.37	0.15 ± 0.02ab	16.38 ± 1.81a	37.50 ± 2.57b
11.28	0.14 ± 0.02ab	14.64 ± 1.39ab	24.01 ± 1.72c

3 讨论与结论

3.1 饲料维生素 B₂ 最适需求量

根据前人研究,有些鱼类缺乏维生素 B₂ 会出现眼球出血、畏光等情况^[3-5]。Deng 等饲喂肉食性鱼类杂交鲂(*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂) 8 周试验中,出现上述缺乏症^[1]。而本试验中,团头鲂幼鱼却并未出现此种症状。这可能是由于养殖试验环境、周期、鱼的种类和食性不同所致^[1,12]。鱼类缺乏维生素 B₂ 最为普遍的症状便是生长减缓^[3-6],与本试验结果一致。当饲料中维生素 B₂ 水平是 1.66 mg/kg 时,团头鲂幼鱼末质量、增质量率和特定生长率均最小,与维生素 B₂ 水平较多的处理组相比有显著差异;当维生素 B₂ 水平达到 6.15 mg/kg 时,末质量、增质量率和特定生长率达到最大值,这可能是由于在此条件下,团头鲂幼鱼有较高肠道消化酶活性,从而提高其对饲料的利用率^[29]。根据团头鲂幼鱼增质量率和饲料中维生素 B₂ 水平进行回归分析,得出团头鲂幼鱼维生素 B₂ 最适需求量为 5.21 mg/kg,比建鲤维生素 B₂ 最适需求量 4.22 mg/kg^[12] 偏大,这可能是因为其试验采用的建鲤幼鱼初质量在 23.39 g 左右,比本试验所用的团头鲂幼鱼小,而小鱼对于维生素 B₂ 的缺乏较为敏感^[1]。

肝脏维生素 B₂ 的沉积量也是衡量鱼类维生素 B₂ 需求量的一个重要指标^[30]。通过对团头鲂幼鱼肝脏维生素 B₂ 沉积量进行回归分析,饲料中维生素 B₂ 最适添加量为

4.65 mg/kg,与 Halver 在鲑鱼 6~8 mg/kg^[30] 和 Amezaa 在虹鳟 4.4~11.4 mg/kg^[31] 中所得的结果有所差别,这可能是由于鱼的种类不同导致肝脏维生素 B₂ 沉积量的差异,同时也证明了维生素 B₂ 并不会在肝脏中累积。除此之外,Woodward 在针对虹鳟的试验中表明,D-AAO 活性是衡量其维生素 B₂ 需求量一个更为敏感稳定的指标^[32],该论断也在本试验中得到验证。以肝脏 D-AAO 活性为考量进行回归分析,得出团头鲂幼鱼饲料中维生素 B₂ 最适添加量为 6.02 mg/kg,与 Serrini 在斑点叉尾鲷研究中所得最适需求量为 6 mg/kg 结果^[33] 基本一致,表明团头鲂幼鱼维持生理需求的维生素 B₂ 水平高于正常生长需要水平。

生产实践中一般推荐以增质量率为指标,回归分析所得最适需求量作为考量,但鉴于鱼类对维生素 B₂ 的需求量与很多环境因素相关^[1,14],且日粮中合理的原料配比可以降低其对维生素 B₂ 的需求量^[32],所以试验所得数据若要应用于生产,应仔细考虑生产实践与试验条件的差异,并进行合理调整。

3.2 饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼全鱼体组成的影响

本试验结果表明,饲料中维生素添加量对团头鲂幼鱼全鱼水分、蛋白质和灰分均无显著影响。根据以往的研究可知该结果是合理的,鱼类全鱼体组成中,粗蛋白和粗灰分水平与日粮组成并无直接联系,而与其年龄与规格有关^[34-35]。当饲料中维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 6.15 mg/kg 时,团头鲂幼鱼全鱼粗脂肪水平显著增加,当维生素 B₂ 水平进一步增加时,则又呈显著下降趋势,这也与 Li 等在草鱼中所得结果^[12] 一致。由前人研究可知,维生素 B₂ 确实与机体脂肪代谢相关^[2],但其粗脂肪水平的变化是否因为维生素 B₂ 水平变化而直接引起的还有待进一步研究。

3.3 饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼肝脏抗氧化功能的影响

机体在呼吸和细胞代谢过程中会产生氧自由基,当氧自由基及代谢过程副产物过量时,机体会出现不同程度的氧化损伤^[14,36],及时清除过量的自由基可以降低机体氧化损伤的程度。本试验中当维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 4.29 mg/kg 时,肝脏 MDA 含量显著下降,当维生素 B₂ 水平进一步上升时,则差异不显著。表明维生素 B₂ 水平的升高可以在一定范围内减弱鱼体遭受自由基攻击的程度,减轻鱼体的氧化应激损伤^[36-38]。当维生素 B₂ 水平由 1.66 mg/kg 升至 4.29 mg/kg 时,肝脏 SOD、CAT 活性和 GSH 含量均呈上升趋势,并与对照组差异显著;而当维生素 B₂ 水平进一步升高时,则差异不显著。表明维生素 B₂ 水平的升高可以促使 CAT

活性提高,使之能更好地消除体内过多的过氧化氢,避免多余自由基的产生,从而使细胞免受过氧化损伤;促使 SOD 和 GSH 清除自由基的能力增强,减弱自由基对鱼体的胁迫程度^[36-38]。因此,在饲料中适当升高维生素 B₂ 水平可以降低 MDA 含量,提高 SOD、CAT 活性,增加 GSH 含量,进而提高团头鲂幼鱼的抗氧化功能。

3.4 饲料维生素 B₂ 水平对团头鲂幼鱼肠道消化功能的影响

肠道是鱼类进行消化吸收的主要场所,尤其对无胃鱼类来说^[12,38],肠道消化酶参与细胞腔消化,可在一定程度上反映鱼类的消化能力,对鱼类生长起着重要作用^[12,29]。本试验中随着维生素 B₂ 水平的升高,团头鲂幼鱼肠道淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶活性也显著增加,但当维生素 B₂ 水平进一步升高时,淀粉酶和蛋白酶活性无显著差异,表明维生素 B₂ 可以在一定范围内提高团头鲂肠道消化酶的活性,从而增强其对营养物质的消化,增加其消化功能,这与 Li 等对建鲤的研究结果^[12]一致。本试验中肠道酶活性较高的组也有较好的增质量率,进一步证明肠道酶活性对鱼类生长起重要作用^[29]。

综上所述,分别根据团头鲂幼鱼增质量率、肝脏维生素 B₂ 沉积量和肝脏 D-AAO 活性进行回归分析,饲料中维生素 B₂ 最适添加水平分别为 5.21、4.65、6.02 mg/kg,并且在一定范围内添加饲料中维生素 B₂ 水平可以显著提高团头鲂幼鱼的抗氧化能力,增强肠道消化功能。

参考文献:

- [1] Deng D F, Wilson R P. The riboflavin requirement of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂) [J]. Aquaculture, 2003, 218: 695 – 701.
- [2] National Research Council. Nutrient requirements of fish and shrimp [M]. Washington D C: the National Academies Press, 2011.
- [3] McLaren B A, Keller E, O'Donnell D J, et al. The nutrition of rainbow trout. 1. Studies of vitamin requirements [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1947, 15: 169 – 178.
- [4] Halver J E. Nutrition of salmonids fishes. 4. Water – soluble vitamin requirements of Chinook salmon [J]. The Journal of Nutrition, 1957, 62: 225 – 243.
- [5] Takeuchi L, Takeuchi T, Ogino C. Riboflavin requirements in carp and rainbow trout [J]. Bullentin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1980, 46: 733 – 737.
- [6] Kitamura S, Suwa T, Ohara S, et al. Studies on vitamin requirements of rainbow trout. 2. The deficiency symptoms of fourteen kinds of vitamins [J]. Bullentin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1967, 33: 1120 – 1125.
- [7] Woodward B. Symptoms of severe riboflavin deficiency without ocular opacity in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. Aquaculture, 1984, 39: 275 – 281.
- [8] Dupree H K. Vitamins essential for growth of channel catfish, *Ictalurus punctatus*; Technical Paper No. 7 [R]. Washington D C: U. S. Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, 1966: 7.
- [9] Murai T, Andrews J W. Riboflavin requirement of channel catfish fingerlings [J]. The Journal of Nutrition, 1978, 108(9): 1512 – 1517.
- [10] Chen L, Feng L, Jiang W D, et al. Dietary riboflavin deficiency decreases immunity and antioxidant capacity, and changes tight junction proteins and related signaling molecules mRNA expression in the gills of young grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 45(2): 307 – 320.
- [11] Yates C A, Evans G S, Pearson T, et al. Absence of luminal riboflavin disturbs early postnatal development of the gastrointestinal tract [J]. Digestive Diseases and Sciences, 2003, 48(6): 1159 – 1164.
- [12] Li W, Zhou X Q, Feng L, et al. Effect of dietary riboflavin on growth, feed utilization, body composition and intestinal enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16(2): 137 – 143.
- [13] Hakim Y, Uni Z, Hulata G, et al. Relationship between intestinal brush border enzymatic activity and growth rate in tilapias fed diets containing 30% or 48% protein [J]. Aquaculture, 2006, 257(1/2/3/4): 420 – 428.
- [14] Qian Y, Li X F, Sun C X, et al. Dietary biotin requirement of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. Aquaculture Nutrition, 2014, 20(6): 616 – 622.
- [15] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 31 – 32.
- [16] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, et al. Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings [J]. Aquaculture, 2010, 303: 65 – 70.
- [17] Zhou Z, Ren Z, Zeng H, et al. Apparent digestibility of various feedstuffs for blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14: 153 – 165.
- [18] 姜雪姣, 梁丹妮, 刘文斌, 等. 团头鲂对 8 种非常规饲料原料中营养物质的表观消化率 [J]. 水产学报, 2011, 35(6): 932 – 939.
- [19] 刘梅珍, 石文雷, 朱晨炜, 等. 饲料中脂肪的含量对团头鲂鱼种生长的影响 [J]. 水产学报, 1992, 16(4): 330 – 336.
- [20] 周明, 刘波, 戈贤平, 等. 饲料维生素 E 添加水平对团头鲂生长性能及血液和肌肉理化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2013, 25(7): 1488 – 1496.
- [21] Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis [M]. Washington D C: AOAC, 1980.
- [22] Callmer K, Davies L. Separation and determination of vitamin B₁, B₂, B₆ and nicotinamide in commercial vitamin preparations using high performance cation – exchange chromatography [J]. Chromatographia, 1974, 7: 644 – 650.
- [23] Woodward B. Riboflavin requirement for growth, tissue saturation and maximal flavin – dependent enzyme activity in young rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at two temperatures [J]. The Journal of Nutrition, 1985, 115: 78 – 84.
- [24] Jin Y, Tian L X, Zeng S L, et al. Dietary lipid requirement on non – specific immune responses in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2013, 34(5): 1202 – 1208.
- [25] Zhang X D, Zhu Y F, Cai L S, et al. Effects of fasting on the meat quality and antioxidant defenses of market – size farmed large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Aquaculture, 2008, 280(1/2/3/4): 136 – 139.
- [26] Jiang W D, Feng L, Liu Y, et al. Myo – inositol prevents oxidative damage, inhibits oxygen radical generation and increases antioxidant enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. Aquaculture Research, 2009, 40(15): 1770 – 1776.

周 西,詹政军,季亚培,等. 饵料种类对黄颡鱼仔稚鱼不同阶段生长和存活的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):324-327.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.094

饵料种类对黄颡鱼仔稚鱼不同阶段生长和存活的影响

周 西,詹政军,季亚培,郁晴雯,尚国玲,许欢欢,杨家新

(南京师范大学/江苏省水产生物饵料重点实验室,南京 210023)

摘要:为探讨开口饵料种类在黄颡鱼仔稚鱼阶段的投喂效果,研究了不同饵料组合对黄颡鱼仔稚鱼开口期及后期存活与生长的影响。试验选用 480 尾刚出膜 4 d 的黄颡鱼幼鱼,随机分为 8 组,开口期分别投喂蛋黄(蛋黄开口组,前 4 组)、轮虫(轮虫开口组,后 4 组),后期对蛋黄组和轮虫组分别改投喂蛋黄、轮虫、卤虫及轮虫与卤虫组合。试验结束以存活率(SR)、特定生长率(SGR)、增质量率(WGR)、最终肥满度(CF)为指标,综合评价不同的饵料组合对黄颡鱼仔稚鱼的影响。结果显示:在黄颡鱼仔稚鱼开口期投喂轮虫,苗种的 SR 最高,可达 90.83%,而投喂蛋黄组的 SR 只有 63.75%,同时前者的 SGR 也显著高于后者($P < 0.05$);后期阶段,前期投喂轮虫的组别分别改投喂蛋黄、轮虫、卤虫及轮虫与卤虫混合的 4 个试验组,SR 分别为 35.00%、48.33%、56.67% 和 50.00%,SGR 分别为 2.48%、3.05%、5.88% 和 5.22%,SR 和 SGR 均以后期投喂卤虫组为最高,蛋黄组呈现类似结果;就黄颡鱼仔稚鱼整个生长阶段(4~24 d)来看,开口期投喂轮虫且后期投喂卤虫的饵料组合下,苗种的 SR 最高,为 56.67%;WGR 也最大,为 3 300%。SGR 以开口期投喂蛋黄且后期投喂卤虫的组合最高,为 5.00%,开口期投喂轮虫且后期也投喂轮虫的组合 CF 最大,为 1.23%。研究表明,在黄颡鱼苗种开口期投喂轮虫,后期投喂卤虫可以有效地保证苗种较高的存活率以及较快的生长速度。

关键词:黄颡鱼仔稚鱼;蛋黄;轮虫;卤虫;饵料

中图分类号: S963 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0324-04

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)隶属于鲇形目(Siluriformes)、鲿科(Bagride)、黄颡鱼属(*Pelteobagrus*)^[1],是我国江河湖泊中常见的底栖肉食性鱼类,因其肉质鲜美、市场

潜力巨大而成为我国新型的名特优养殖种类。目前,国内多家单位已经开展黄颡鱼的人工繁殖和养殖研究^[2],但在黄颡鱼苗种培育阶段,由于开口生物饵料同步化技术受限,仔稚鱼死亡率很高、苗种生长速度参差不齐、苗种培育成活率差异显著。开口饵料的供给状况和饵料质量是制约黄颡鱼大规模苗种培育稳定性的主要瓶颈。

国内外许多学者做过黄颡鱼食性^[3-4]、疾病防治^[5]等方面的报道,并进一步做了组织^[6]、细胞^[7]及分子水平^[8]等方面的研究,但迄今为止有关不同饵料对黄颡鱼仔稚鱼生长、发育和存活影响的研究尚不多见。本研究就轮虫对黄颡鱼开口

收稿日期:2016-01-14

资助项目:江苏省科技支撑计划(编号:BE2011366);江苏省水产三新工程(编号:Y2014-32)。

作者简介:周 西(1989—),女,硕士研究生,研究方向为生态毒理学。E-mail:1012630205@qq.com。

通信作者:杨家新,博士,教授,研究方向为水产生物饵料学。

E-mail:yangjx@njnu.edu.cn。

[27] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent [J]. The Journal of Biological Chemistry, 1951, 193 (1): 265-275.

[28] Furné M, Hidalgo M C, López A, et al. Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: a comparative study [J]. Aquaculture, 2005, 250 (1/2): 391-398.

[29] Hakim Y, Uni Z, Hulata G, et al. Relationship between intestinal brush border enzymatic activity and growth rate in tilapias fed diets containing 30 or 48 protein [J]. Aquaculture, 2006, 257 (1/2/3/4): 420-428.

[30] Halver J E. The vitamins [M]//Halver J E. Fish nutrition. 3rd ed. New York: Academic Press, 2002: 66-98.

[31] Amezcaga M R, Knox D. Riboflavin requirements in on-growing rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture, 1990, 88: 87-98.

[32] 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.

[33] Serrini G, Zhang Z, Wilson R P. Dietary riboflavin requirement of fingerling Channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture, 1996, 139: 285-290.

[34] Woodward B. Dietary vitamin requirements of cultured young fish, with emphasis on quantitative estimates for salmonids [J]. Aquaculture, 1994, 124: 133-168.

[35] Lanari D, Poli B M, Ballestrazzi R. The effects of dietary fat and NFE levels on growing European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): Growth rate, body and fillet composition, carcass traits and nutrient retention efficiency [J]. Aquaculture, 1999, 179: 351-364.

[36] Lackner R. Oxidative stress in fish by environmental pollutants [J]. Fish Ecotoxicology, 1998, 86: 203-224.

[37] 韩雨哲,姜志强,任同军,等. 氧化鱼油与棕榈油对花鲈肝脏抗氧化酶及组织结构的影响 [J]. 中国水产科学, 2010, 17 (4): 798-806.

[38] 钱 好,孙存鑫,刘文斌,等. 饲料生物素水平对团头鲂幼鱼肠道消化酶活性、胴体组成及肝脏抗氧化能力的影响 [J]. 浙江农业学报, 2014, 26 (2): 309-314.