

饲料中添加谷胱甘肽对草鱼生长、生理指标和抗病力的影响

赵红霞, 谭永刚, 周萌, 朱选, 杨大伟, 曹俊明

(广东省农业科学院 畜牧研究所, 广东 广州 510640)

摘要: 选用初始体质量约 8.50 g 的草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*), 在 56 d 的饲养期中分别投喂添加 5 种不同剂量谷胱甘肽 (GSH) (添加量分别为 0 mg/kg、100 mg/kg、200 mg/kg、300 mg/kg 和 400 mg/kg) 的试验饲料, 观察 GSH 对草鱼生长、生理指标和抗病力的影响。结果表明, 饲料中添加 GSH 能够提高草鱼特定生长率、存活率和饲料效率。其中, 300 mg/kg GSH 组草鱼的特定生长率和 400 mg/kg GSH 组草鱼的存活率显著高于对照组; 添加 GSH 各组草鱼的饲料效率均显著高于对照组, 当添加量为 200 mg/kg 时草鱼饲料效率达到最高。与对照组相比, 饲料中添加 GSH 的各組草鱼肝胰指数明显升高, 其中 200 mg/kg 组达到显著水平。饲料中添加 GSH 能够提高血清 IGF-1 水平, 其中 300 mg/kg 和 400 mg/kg 组显著高于对照组。与对照组相比, 各实验组草鱼血液白细胞数目有不同程度升高, 其中 300 mg/kg 和 400 mg/kg 组均达到显著水平。饲料中添加 GSH 可以提高草鱼对嗜水气单胞菌的抵抗能力, 其中 200 mg/kg GSH 组草鱼攻毒后存活率达到最高。以特定生长率为判定指标, GSH 在草鱼饲料中的适宜添加量为 350 mg/kg。[中国水产科学, 2007, 14 (4): 678-683]

关键词: 草鱼; 谷胱甘肽; 生长; 生理指标; 抗病力

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2007)04-0678-06

谷胱甘肽 (glutathione, GSH) 是由 γ -谷氨酸、半胱氨酸、甘氨酸组成的生物活性肽, 分为还原型谷胱甘肽和氧化型谷胱甘肽。通常所称谷胱甘肽是指还原型谷胱甘肽, 是机体内的主要活性物质, 具有清除自由基、解毒、促进铁质吸收及维持红细胞膜的完整性、维持 DNA 的生物合成、细胞的正常生长及细胞免疫等多种生理功能。目前, 谷胱甘肽在畜禽生产中研究较多, 已证实谷胱甘肽可以提高猪卵母细胞成熟率及显微受精胚的卵裂率, 提高泌乳动物的泌乳性能, 解除黄曲霉毒素 B1 对雏鸡的毒性^[1-3]。张甬元等^[4]发现谷胱甘肽可解除鱼体微囊藻毒素引起的中毒症。Zambohino 等^[5]报道谷胱甘肽能提高鲈鱼生长速度和成活率。迄今为止, 有关谷胱甘肽在水产动物中的报道非常有限, 而关于谷胱甘肽在草鱼中的研究则尚未见报道。

草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 是中国重要的淡水养殖经济鱼类, 营养丰富, 经济价值高。年产量约占中国淡水鱼总产量的 30%, 年产值 500 亿元以上。草鱼还作为出口品种, 畅销罗马尼亚、香港、澳

门等 10 多个国家和地区。然而, 草鱼是低等脊椎动物, 其免疫系统功能低下, 疾病极易暴发流行, 从鱼苗养到成鱼, 成活率不到 30%。因此, 本研究以中国主要养殖鱼类草鱼为实验对象, 观察了饲料中添加谷胱甘肽对草鱼生长性能、生理指标和抗病力的影响, 为谷胱甘肽在草鱼饲料中的合理添加提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以豆粕、菜粕等为主要蛋白源, 豆油为主要脂肪源, 次粉为主要糖源配制等氮等能的实用基础饲料, 并作为对照饲料, 其配方和营养组成如表 1 所示。在基础饲料中分别添加谷胱甘肽 0、100 mg/kg、200 mg/kg、300 mg/kg 和 400 mg/kg 配制 5 种试验饲料。饲料原料经过 40 目筛粉碎, 混合均匀后用 SLX-80 型挤压机制成直径为 2.0 mm 的饲料, 在 45℃ 烘干冷却后放入密封袋中于 -15℃ 冰箱中保存待用。

收稿日期: 2006-08-16; 修订日期: 2007-04-13.

基金项目: 广东省科技攻关项目 (2006B20301029); 广东省农业科学院探索项目 (粤农科 [2004]34 号).

作者简介: 赵红霞 (1976-), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为水产动物营养与饲料. Tel: 020-61368839; E-mail: zhaohongxia8866@163.com

表 1 基础饲料配方及营养组成
Tab.1 Composition of the basal diet %

成份 Ingredients	含量 Content	成份 Ingredients	含量 Content
白鱼粉 White fish mea	3.0	豆油 Soybean oil	2.0
豆粕 Soybean meal	18.5	维生素预混料 Vitamin mix	0.1
菜粕 Rapeseed meal	20.0	矿物质预混料 Mineral mix	0.5
麦芽根 Root of malt	10.0	磷酸二氢钙 Calcium phosphate	1.2
棉粕 Cottonseed meal	12.0	纤维素 Cellulose	2.8
次粉 Wheat middlings	24.0	统糠 Crude rice bran	5.0
磷脂 Soybean lecithin	0.5	维生素 C Vitamin C	0.1
氯化胆碱 Choline chloride	0.3		
粗蛋白 (DM) Crude protein	30.3	粗灰分 (DM) Crude ash	7.3
粗脂肪 (DM) Crude fat	3.3	能量 / (kJ·g ⁻¹) (DM) Energy	7.3

注: 1. 无机盐预混物成分 (g/kg): 钙 282.0; 钾 28.0; 镁 9.0; 铁 24.0; 锌 3.5; 锰 1.6; 铜 1.75; 钴 0.25; 碘 0.25; 硒 0.02; 2. 维生素预混物成分 (kg): 维生素 A 3 000 000.0 IU; 维生素 D 1 000 000.0 IU; 维生素 E 12.5 g; 维生素 K 1.5 g; 维生素 B₁ 3.0 g; 维生素 B₂ 6.0 g; 维生素 B₆ 4.0 g; 维生素 B₁₂ 0.020 g; 烟酸 20.0 g; 泛酸钙 6.0 g; 叶酸 1.6 g; 生物素 0.04 g; 肌醇 50.0 g.
Notes: 1. Mineral mixture (g/kg): Ca 282.0; K 28.0; Mg 9.0; Fe 24.0; Zn 3.5; Mn 1.6; Cu 1.75; Co 0.25; I 0.25; Se 0.02; 2. Vitamin mixture (kg): vitamin A 3 000 000.0 IU; vitamin D 1 000 000.0 IU; vitamin E 12.5 g; vitamin K 1.5 g; thiamine 3.0 g; riboflavin 6.0 g; pyridoxine 4.0 g; vitamin B₁₂ 0.020 g; niacinacid 20.0 g; Ca-pantothenicacid 6.0 g; folicacid 1.6 g; biotin 0.04 g; inositol 50.0 g.

1.2 实验鱼和饲养方法

草鱼幼鱼由中山大学鱼类研究室鱼场提供, 饲养实验在本研究所室内循环水养殖系统中进行。试验鱼先在室外循环水泥池中驯养 2 周, 然后选用 750 尾平均体质量约 8.5 g 的草鱼幼鱼随机分组。每组饲料设 3 个重复, 每个重复放鱼 50 尾, 饲养在 300 L 的循环流水过滤水族箱中。实验期间定量投喂, 每日分别于 8:30、11:30 和 16:30 分 3 次投喂, 日投喂量 (以饲料干物质计算) 为体质量的 4%。每天观察鱼只健康状况, 记录死亡情况, 每 2 周称重 1 次, 实验期为 8 周。水温 18~30 ℃, pH 7.5, 溶氧高于 5 mg/L, 氨氮低于 0.02 mg/L。

1.3 样品采集和分析

饲养实验结束时, 统计每箱草鱼的存活率和称量每箱草鱼的总体质量, 计算增重率。每个重复随机取 10 尾草鱼, 以无菌的 10 mL 注射器及 5 号针头自尾动脉取血, 分为 2 份, 1 份以肝素抗凝, 制备抗凝血供测定白细胞数目; 1 份血液置于离心管中, 经 4 000 r/min 离心 5 min, 取上清血浆测定 IGF-1。取抽过血的 5 尾草鱼, 解剖, 取肝胰脏称重, 测定肝胰指数。

白细胞计数 (White blood cell, WBC): 获得的抗凝血摇匀后, 加入稀释液 (98 mL 蒸馏水中加入 1% 亚甲基蓝 3 滴、冰醋酸 2 mL 配制而成), 抗凝血与稀释液体积比为 1:20。待红细胞全部溶解后, 吸取

白细胞悬液, 在光学显微镜下用血球计数器计数白细胞总数。

IGF-1 测定: 采用放射免疫方法 (RIA) 在 DSN-695B 型智能放免 γ 测量仪上测定血清胰岛素生长因子 IGF-1, 操作按 IGF-1 试剂盒说明书进行, 试剂盒购于天津九鼎医学生物工程公司。

攻毒试验: 攻毒菌种为嗜水气单胞菌 (*Aeromonas hydrophila*) (珠江水产研究所提供)。将嗜水气单胞菌用 0.5% 生理盐水洗脱菌苔, 按李爱华^[6]的方法用分光光度计精确调配, 使终浓度为 2.3×10^6 CFU/mL。所有试验组的 3 个重复各取 10 尾草鱼进行攻毒, 每尾腹腔注射 0.3 mL; 其中, 从对照组的每个重复中另外再各选取 10 尾草鱼注射相同剂量生理盐水作为攻毒对照, 观察 1 周, 统计各组存活率。

实验结果用平均值 $\pm$ 标准差 ($\bar{X} \pm SD$) 表示, 采用 SPSS 软件进行数据分析和统计, 先对数据作单因素方差分析 (one-way ANOVA), 若处理间差异显著, 再用 Duncan's 多重比较进行分析, 差异显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 特定生长率、存活率和饲料效率

5 组实验草鱼的特定生长率、存活率和饲料效率如表 2 所示。添加谷胱甘肽的各组草鱼特定生长

率均高于对照组,在 GSH 300 mg/kg 时草鱼的特定生长率达到最高,显著高于对照组。添加谷胱甘肽的各组草鱼存活率均高于对照组,在 GSH 400 mg/kg 时草鱼的存活率达到最高,并达到显著水平。与对照组相比,添加 GSH 的各组草鱼饲料效率均有所上升,且都显著高于对照组,当 GSH 添加量为 200 mg/kg 时草鱼的饲料效率达到最高。

通过计算逐步回归,得到特定生长率与饲料中谷胱甘肽添加量的关系为 $y = -0.000\ 002x^2 + 0.001\ 4x + 2.392\ 9$ (y 表示特定生长率%, x 表示饲料 GSH 添加量), $R^2 = 0.823$, 其曲线如图 1 所示。当饲料中 GSH 添加量为 350 mg/kg 时,草鱼获得最大特定生长率。

表 2 实验各组草鱼特定生长率、存活率和饲料效率

Tab.2 Special growth rate (SGR), survival rate (SR) and feed efficiency (FE) of

<i>C. idella</i> juveniles at different dietary GSH levels						$n=3; \bar{X} \pm SD$
组别 Group	GSH 添加量/(mg·kg ⁻¹) GSH level	初体质量/g IBW	末体质量/g FBW	特定生长率/(%·d ⁻¹) SGR	存活率/% SR	饲料效率/% FE
对照	0	8.70±0.09	18.04±0.15	2.38±0.07 ^a	86.67±2.56 ^a	45.91±2.43 ^a
1	100	8.64±0.08	20.07±0.24	2.55±0.08 ^{ab}	96.00±1.15 ^{ab}	53.01±2.01 ^b
2	200	8.65±0.02	20.25±0.97	2.52±0.09 ^{ab}	93.33±1.76 ^{ab}	50.49±1.48 ^b
3	300	8.64±0.02	19.35±0.64	2.62±0.05 ^b	96.00±1.15 ^{ab}	51.67±1.45 ^b
4	400	8.69±0.06	19.73±0.15	2.56±0.01 ^{ab}	100.00±0.00 ^b	50.81±0.44 ^b

注:表中同一栏内,右上角标有不同英文字母的数据之间具有显著差异($P<0.05$)。特定生长率(%)=($\ln$ 末体质量- $\ln$ 初体质量)/饲养天数×100;存活率(%)=(末尾数-初始尾数)/初始尾数×100;饲料效率(%)=(末体质量-初体质量)/投饲总质量×100。

Note: Different letters in the same column show significant difference ($P<0.05$). Special growth rate (SGR, %) = ($\ln$ FBW - $\ln$ IBW) / $t \times 100$; survival rate (SR, %) = (the number of fish at the end of test - the number of fish at the beginning of test) / the number of fish at the beginning of test × 100; feed efficiency (FE, %) = (FBW - IBW) / Total feed amount fed fish × 100.

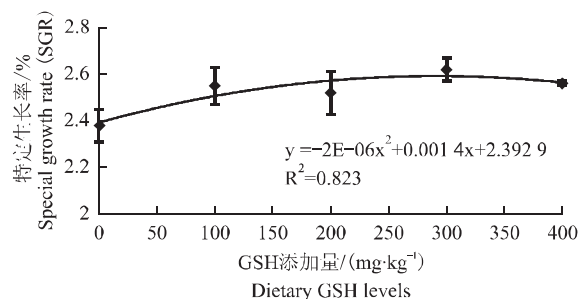


图 1 GSH 添加量对草鱼特定生长率的影响

Fig.1 Effect of dietary GSH levels on SGR of grass carp

2.2 肝胰指数、胰岛素样生长因子-1 含量和白细胞计数

从表 3 可以看出,与对照组相比,添加 GSH 的各组草鱼肝胰指数呈现出上升趋势,在 200 mg/kg 组达到显著水平。添加 GSH 各组草鱼的 IGF-1 均有不同程度高于对照组,其中 300 mg/kg 和 400 mg/kg 显著高于对照组。添加 GSH 的各组草鱼白细胞计数均高于对照组,其中 300 mg/kg 和 400 mg/kg 组显著高于对照组,在 300 mg/kg 时草鱼白细胞计数达到最高。

表 3 实验各组草鱼肝胰指数、胰岛素样生长因子-1 含量和白细胞计数

Tab.3 Hepatosomatic index (HSI), content of IGF-1 and white blood cell count (WBC) of

<i>C. idella</i> carp juveniles at varying dietary GSH levels				$n=3; \bar{X} \pm SD$
GSH 添加量/(mg·kg ⁻¹) GSH level	肝胰指数/% HSI	胰岛素样生长因子-1/(ng·mL ⁻¹) IGF-1	白细胞计数/(×10 ⁴ cell·mL ⁻¹) WBC	
0	3.00±0.21 ^a	41.17±3.84 ^a	0.68±0.09 ^a	
100	3.26±0.11 ^{ab}	41.90±5.97 ^a	0.78±0.10 ^{ab}	
200	3.36±0.22 ^b	42.74±5.18 ^{ab}	0.72±0.08	
300	3.20±0.03 ^{ab}	44.88±3.96 ^b	0.91±0.04 ^b	
400	3.25±0.06 ^{ab}	44.93±6.75 ^b	0.89±0.34 ^b	

注:表中同一栏内,右上角标有不同英文字母的数据之间差异显著($P<0.05$)。

Notes: Different letters in the same column show significant difference ($P<0.05$).

2.3 攻毒后存活率

从表 4 中可以看出, 与对照组相比, 添加 GSH 的各組草鱼存活率呈现上升趋势, 当 GSH 添加量为 200 mg/kg 时草鱼的存活率最高。攻毒对照组中注射生理盐水的草鱼没有死亡现象发生, 可排除实验操作导致的草鱼死亡。

表 4 攻毒后不同实验组草鱼的存活率
Tab.4 Survival rate of grass carp juveniles after challenged by live *Aero monas hydrophila*

GSH 添加量 GSH level / (mg•kg ⁻¹)	受试尾数 No. of tested fish	存活尾数 No. of survival	存活率 / % Survival rate
0	30	23	76.67 ± 3.33
100	30	27	90.00 ± 5.77
200	30	28	93.33 ± 3.33
300	30	27	90.00 ± 5.77
400	30	25	83.33 ± 3.33

3 讨论

大多数研究表明, GSH 能够清除自由基、过氧化物、重金属、微囊藻毒素及黄曲霉毒素等毒物^[7-9], 促进 Fe、无机 Se 和 Ca 的吸收^[10-11]; 保护胃肠道黏膜上皮, 防止因炎症、局部缺血、有毒物质、氧化物质等对肠黏膜造成的损伤^[12-14]; 其在免疫系统抗感染和炎症反应中发挥着重要作用^[15-16], 参与白细胞三烯、MIF、IL-2 等细胞因子的调节, 促进淋巴细胞和单核细胞增殖, 从而影响机体的生理机能^[17-18]。

摄食添加 GSH 饲料的草鱼, 其特定生长率和饲料效率明显高于对照组, 在 GSH 300 mg/kg 添加组达到显著水平。本研究结果表明, GSH 可能具有促进草鱼生长的作用。实验还发现, 摄食添加 GSH 饲料的草鱼 IGF-1 水平也明显高于对照组, 且添加量在 300 mg/kg 和 400 mg/kg 时草鱼 IGF-1 的水平较对照组显著升高。研究表明, 血循环中的 IGF-1 生物作用仅受生长激素的调节, 而生长激素的促生长作用是通过 IGF-1 介导的^[19-20]。本实验中草鱼 IGF-1 水平与其生长性能的变化趋势相对应, 说明在饲料中添加谷胱甘肽能够通过调节草鱼生长激素水平, 提高 IGF-1 水平, 最终达到促进草鱼生长的作用。谷胱甘肽是由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸形成的三肽化合物, 半胱胺是辅酶 A 的组成成分, 可破坏生长抑素分子的二硫键, 解除生长抑素对生长激素等激素的抑制, 提示谷胱甘肽可能是通过破坏生长抑素, 从而增强生长激素活性来提高草鱼生长性能。

鱼类的肝胰指数 (HSI) 是对长期和短期营养方

式都很敏感的指标^[21], 肝脏的生长和发育往往受到饲料成分的影响。一些研究者在对鲑^[22]和笛鲷^[23]的研究中证实, 大豆蛋白可以引起鱼的肝胰指数增大。本实验发现, 与对照组相比, 摄食添加 GSH 饲料的各組草鱼肝胰指数均有不同程度升高。这可能是 GSH 促进了肝脏细胞 DNA 的合成, 进而表现在草鱼肝胰指数有所增加。大量研究证实, 血循环中的 IGF-1 大部分由肝脏合成分泌。而本实验中摄食添加 GSH 饲料的草鱼 IGF-1 活性明显提高, 表明 GSH 促进了肝脏合成和分泌 IGF-1 的能力。刘玫珊等^[24]发现 GSH 水平的下降并非特异性地抑制 T 淋巴细胞的合成和分化, 而是普遍性抑制其他细胞 (如肝脏) 的 DNA 合成。因此, GSH 可能通过促进草鱼肝胰合成分泌 IGF-1, 进一步增强肝脏细胞 DNA 合成能力, 最终提高肝胰指数。

鱼类的嗜中性白细胞和单核细胞已经被证明具有很强的吞噬能力, 相对于特异性免疫机能而言, 这种能力对于比较低等的水生动物更为重要。白细胞的吞噬功能是动物非特异性免疫的重要组成部分。白细胞的溶酶体中含有溶菌酶、蛋白水解酶、髓过氧化物酶等, 这些酶对大多数微生物是致死性的。当白细胞受适当的刺激后, 可产生前列腺素、凝血恶烷和三烯酸^[25]。因此, 测定动物的白细胞数目在一定程度上能反映动物非特异性免疫能力。鱼类血液中白细胞数目可能因机体接触抗原性物质或者受到环境因子的刺激而上升。本研究结果表明, 在草鱼饲料中添加 GSH 能够增加草鱼血液中白细胞数目。而且, 白细胞计数随着饲料中 GSH 添加量的增加而呈现出上升趋势, 这与实验中存活率的上升趋势相对应, 说明 GSH 通过刺激草鱼血液白细胞的产生从而

进一步增强了草鱼的非特异性防御功能。

攻毒实验中,摄食含 GSH 饲料的各组草鱼在攻毒后存活率明显高于对照组,表明在饲料中添加 GSH 能够提高鱼体抗病力。Holmgren 等通过试验发现,GSH 能够影响蛋白质的合成和分解以及 DNA 前体的形成,提高细胞内 GSH 浓度可加强 T 淋巴细胞对有丝分裂原的分裂增殖反应。刘玫珊等^[15]发现血浆中 GSH 含量的动态变化与血液 T 淋巴细胞百分率间相关关系极显著,证实提高血浆 GSH 水平能增强机体的细胞免疫力;而人为地降低 GSH 水平,会抑制 T 淋巴细胞的生长繁殖,其机理是 GSH 通过影响胸腺细胞的 DNA 合成而参与细胞免疫作用。由此推测,GSH 提高鱼体抗病力的作用机制可能是通过促进细胞 DNA 合成,增加白细胞的数量,进而增强其非特异性免疫功能,达到增强抗病力的作用。

参考文献:

- [1] Kishida R, Lee E S, Fukui Y. In vitro maturation of porcine oocytes using a defined medium and developmental capacity after intracytoplasmic Sperm infection [J]. *Theriogenology*, 2004, 62 (9): 1 663 - 1 676.
- [2] Mayor P, Bejar L M, Gonzalez R E, et al. Effects of the addition of glutathione during maturation on in vitro fertilization of prepubertal goat oocytes [J]. *Zygote*, 2001, 9 (4): 323 - 330.
- [3] 刘玫珊, 柏素霞, 廖静华. 含硫氨基酸对黄曲霉毒素 B-1 的解毒机理 [J]. *中国兽医科技*, 1994, 24 (11): 6 - 9.
- [4] 张雨元, 徐立红, 周炳升, 等. 鱼体中谷胱甘肽对微囊藻毒素的解毒作用的初步研究 [J]. *水生生物学报*, 1996, 20 (3): 284 - 286.
- [5] Zambolino Infante J, Cahu C, Peres A. Partial substitution of di- and tripeptides for native proteins in sea bass diets improve dicentrarchus labras larval development [J]. *Nutrition*, 1997, 127: 608 - 614.
- [6] 李爱华. 我国鱼类菌耐药性、耐药质粒及几种药物抗菌作用的研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1998: 108.
- [7] Grant C M, MacIver F H, Dawes I W. Glutathione is an essential metabolite required for resistance to oxidative stress in the yeast [J]. *Saccharomyces Cerevisiae Curr Genet*, 1996, 29 (6): 511 - 515.
- [8] Paula D B, Adamis, Gomes D S, Maria Lucia C. C. Pinto, et al. The role of glutathione transferases in cadmium stress [J]. *Toxicol Lett*, 2004, 154 (1 - 2): 81 - 88.
- [9] Wilczek G, Babczyńska A, Augustyniak M, et al. Relations between metals (Zn, Pb, Cd and Cu) and glutathione-dependent detoxifying enzymes in spiders from a heavy metal pollution gradient [J]. *Environ Poll*, 2004, 132 (3): 453 - 461.
- [10] Wyatt C J, Juana María Meléndez J M, Acuña N, et al. Selenium (Se) in foods in northern Mexico, their contribution to the daily Se intake and the relationship of Se plasma levels and glutathione peroxidase activity [J]. *Nutr Res*, 1996, 16 (6): 949 - 960.
- [11] Talamoni N, Marchionatti A, Baudino A, et al. A. Glutathione plays a role in the chick intestinal calcium absorption [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1996, 115 (2) A: 127 - 132.
- [12] Merad-Saidoune M, Boitier A, Nicole C, et al. Overproduction of Cu/Zn-superoxide dismutase or Bcl-2 prevents the brain mitochondrial respiratory dysfunction induced by glutathione depletion [J]. *Exp Neurol*, 1999, 158 (2): 428 - 436.
- [13] Sies H. Glutathione and its role in cellular functions [J]. *Free Radical Biol Med*, 1999, 27 (9 - 10): 916 - 921.
- [14] Jose C, Fernandez-Checa B, Neil Kaplowitz. Hepatic mitochondrial glutathione: transport and role in disease and toxicity [J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2004, 204 (3): 263 - 273.
- [15] 刘玫珊, 廖静华, 胡兰, 等. 鸡谷胱甘肽水平与抗病力的相关性研究 [J]. *辽宁畜牧兽医*, 1994, 2: 11 - 13.
- [16] John J. Haddad and Hisham L. Harb. l-γ-Glutamyl-l-cysteinylglycine (glutathione: GSH) and GSH-related enzymes in the regulation of pro-and anti-inflammatory cytokines: a signaling transcriptional scenario for redox (y) immunologic sensor (s) [J]. *Molecul Immunol*, 2005, 42 (9): 987 - 1 014.
- [17] Jeroen P J, Saeij Willem B, van Muiswinkel Marian, et al. Different capacities of carp leukocytes to encounter nitric oxide-mediated stress: a role for the intracellular reduced glutathione pool [J]. *Developm & Compar Immunol*, 2003, 27 (6 - 7): 555 - 568.
- [18] Potter A J, Grossmann A, Rabinovitch P S, et al. The effect of in vitro phorone exposure on glutathione content and T cell antigen receptor (CD3)-stimulated calcium mobilization in murine splenic T lymphocytes [J]. *Toxicol in Vitro*, 1997, 11 (4): 355 - 363.
- [19] Cao Q P. Nucleotide sequence and growth hormone regulated expression of salmoninsulin-like growth factor I mRNA [J]. *Mol Endocrinol*, 1989, 3: 2 006 - 2 010.
- [20] Duan C. Nutritional and developmental regulation of insulin-like growth factors in fish [J]. *J Nutr*, 1998, 128: 306S - 314S.
- [21] 洪瑞川, 李思光. 万安玻璃红鲤的肌肉营养成分分析 [J]. *水生生物学报*, 1997, 21 (2): 109 - 113.
- [22] Oliva-teles A, Gouveia A J, Gomes E. The effect of different processing treatments on soybean meal utilization by rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1994, 124: 343 - 349.
- [23] Alarcon F I, Garcia-carreno, Navarrete del toro M A. Effect of plant protease inhibitors on digestive proteases in two fish species *Lutjanus argentiventris* and *L. novemfasciatus* [J]. *Fish Physiol Biochem*, 2001, 24: 179 - 189.
- [24] 刘玫珊, 廖静华, 胡兰, 等. 谷胱甘肽对雏鸡胸腺和肝脏 DNA 合成量的影响 [J]. *辽宁畜牧兽医*, 1994, 8: 3 - 5.
- [25] Siwicki A K, Anderson D P, Studnicka M. The immune system of fish [J]. *Arch Polish Fisheries*, 1994, 2: 67 - 79.

Effect of dietary glutathione on growth, physiological indices and disease resistance in juveniles grass carp *Ctenopharyngodon idella*

ZHAO Hong-xia, Tan Yong-gang, ZHOU Meng, ZHU Xuan, YANG Da-wei, CAO Jun-ming

(Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The effects of varying dietary glutathione (GSH) levels (0, 100 mg/kg, 200 mg/kg, 300 mg/kg and 400 mg/kg) on growth, physiological indices and disease resistance in grass carp, *Ctenopharyngodon idella*, juveniles with approximately 8.5 g initial body weight were evaluated in 56-days study. Five test diets were applied with triplicate tanks and 50 fish were stocked randomly in each tank. Feeding rate was 4% of wet body weight. The results indicated that specific growth rate (SGR) in fish fed 300 mg/kg GSH and survival rate (SR) in fish fed 400 mg/kg GSH were significantly higher than that of control group. And feed efficiency (FE) in fish fed the diets containing varying GSH levels was higher than control group. There was an increase of hepatosomatic index (HSI) in fish fed diets containing varying levels of GSH in comparison to the control group, and a significantly higher HSI was observed in fish fed 200 mg/kg GSH diet. Content of IGF-1 in serum of grass carp fed diets containing varied GSH levels increased and it was significantly higher in fish fed 300 mg/kg and 400 mg/kg GSH diets than that of control group. White blood cell (WBC) count was studied to assess the non-specific immune response of grass carps. Dietary supplementation of GSH enhanced WBC in blood of grass carp fed diets containing varied levels of GSH and it was significantly higher in fish fed 300 mg/kg and 400 mg/kg GSH diet than control group. The disease resistance against *Aeromonas hydrophila* in fish fed varying dietary GSH levels was higher compared with the control group and its survival rate was optimum in fish fed 200 mg/kg GSH diet. For grass carp juveniles, the optimum level of dietary GSH, determined by quadratic regression analysis, was 350 mg/kg, on the basis of maximum special growth rate. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (4): 678–683]

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; glutathione; growth; physiological indices; disease resistance