

乔丽红, 洪 琴, 温 超, 等. 三丁酸甘油酯对建鲤生长、体组成、肠道免疫功能的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 275–278.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.094

三丁酸甘油酯对建鲤生长、体组成、肠道免疫功能的影响

乔丽红, 洪 琴, 温 超, 刘文斌, 周岩民

(南京农业大学动物科技学院, 江苏南京 210095)

摘要:考察三丁酸甘油酯对建鲤生长、体组成、肠道免疫功能的影响。结果表明:与对照相比,添加 1 g/kg 三丁酸甘油酯可显著提高建鲤增重率、特定生长率、肠道超氧化物歧化酶活性($P < 0.05$);添加不同水平三丁酸甘油酯有提高肠道一氧化氮合酶活性,降低丙二醛、一氧化氮含量的趋势,但均未达到显著水平($P > 0.05$);三丁酸甘油酯对建鲤形体指标和体组成无影响($P > 0.05$);饲料中添加三丁酸甘油酯能较好地促进建鲤生长,提高肠道抗氧化和免疫功能;在本试验条件下,在建鲤饲料中添加 1 g/kg 三丁酸甘油酯效果较好。

关键词:三丁酸甘油酯;建鲤;生长;体组成;肠道免疫功能

中图分类号:S963.73 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)12-0275-04

丁酸是肠道中存在的一种短链脂肪酸,在调节胃肠机能、肠道 pH 值、胃肠道微生态平衡以及诱食方面发挥重要作用^[1]。然而丁酸极易挥发,在体内吸收代谢迅速,半衰期很短,目前生产实践中大多是以丁酸钠的形式添加,但丁酸钠易吸潮结块且有特殊臭味,不利于其广泛应用。三丁酸甘油酯(tributyrin, TB)作为丁酸的前体物,几乎没有气味或略有脂肪香气,使用方便,可在不改变丁酸生物学特性的前提下,提高其在体内血浆中的浓度并延长作用时间^[2]。研究表明,在饲料中添加适量三丁酸甘油酯,能促进动物肠道发育,提高机体免

疫力,从而提高生产性能^[3]。但目前有关三丁酸甘油酯作用效果的研究主要集中在畜禽方面,对水产动物的影响鲜见报道。本研究通过在建鲤基础日粮中添加不同水平的三丁酸甘油酯,研究其对建鲤生长和肠道免疫功能的影响,筛选出合理添加量,旨在为三丁酸甘油酯在水产养殖中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试建鲤由中国水产科学研究院淡水渔业研究中心宜兴试验基地提供,三丁酸甘油酯由南京苏科农业开发有限公司提供。

1.2 试验设计与饲粮

选取 20 g 左右、体质健壮、规格整齐的建鲤 600 尾,随机分为 4 组,每组 5 次重复,每次重复 30 尾。分别对各处理建鲤投喂在基础日粮中添加 0、250、500、1 000 mg/kg 三丁酸甘油酯的配合饲料。试验用基础日粮配方及营养成分见表 1。

的需求[J]. 饲料工业, 2003, 24(1): 47–49.

[11] 廖畅宇. 锦鲤幼鱼适宜蛋白需要量的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2012.

[12] Aksnes A, Hjertnes T, Opstvedt J. Effect of dietary protein level on growth and carcass composition in Atlantic halibut [J]. Aquaculture, 1996, 145(1): 225–233.

[13] 安瑞永, 李同庆, 邢浩春, 等. 饲料蛋白水平对史氏鲟幼鱼鱼体生化组成的影响[J]. 动物学报, 2005, 51(增刊): 151–156.

[14] Arzel J, Métailler R, Kerleguer C, et al. The protein requirement of brown trout (*Salmo trutta*) fry [J]. Aquaculture, 1995, 130(1): 67–78.

[15] 邵庆均, 苏小凤, 许梓荣, 等. 饲料蛋白水平对宝石鲈生长和体组成影响研究[J]. 水生生物学报, 2004, 28(4): 367–373.

[16] 孙 丽, 郭贵良, 闫先春, 等. 东北六须鲶对蛋白质的最适需求量[J]. 饲料工业, 2009, 30(12): 33–35.

[17] de Silva S S, Perera M K. Digestibility in *Sarotherodon niloticus* fry: Effect of dietary protein level and salinity with further observations on variability in daily digestibility [J]. Aquaculture, 1984, 38(4): 293–306.

收稿日期: 2014-02-20

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(编号: CARS-46-20)。

作者简介: 乔丽红(1989—), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: qiaolihongyeahnet@yeah.net。

通信作者: 周岩民, 博士, 教授, 研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: zhouym6308@163.com。

[3] 孔铎将, 黄左安, 陈 炯, 等. 香鱼补体成分 C9 基因的克隆、序列分析及表达[J]. 动物学研究, 2012, 33(2): 151–157.

[4] 杨旦阳, 陈 炯, 陆新江, 等. 香鱼 *CCL4-like* 基因的克隆、序列分析及免疫相关性表达变化分析[J]. 中国细胞生物学学报, 2013, 35(5): 676–683.

[5] Bolin D W, King R P, Klosterman E W. A simplified method for the determination of chromic oxide (Cr_2O_3) when used as an index substance [J]. Science, 1952, 116(3023): 634–635.

[6] Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data [J]. The Journal of Nutrition, 1979, 109(10): 1710.

[7] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 12–17.

[8] 张文兵, 谢小军, 付世建, 等. 南方鲇的营养学研究: 饲料的最适蛋白质含量[J]. 水生生物学报, 2000(6): 602–609.

[9] 刘晓勇, 张 颖, 齐 茜, 等. 鲟鱼营养与饲料的研究进展和发展趋势[J]. 饲料工业, 2011, 32(20): 25–28.

[10] 张亚娟, 孙翠慈, 王维娜, 等. 鲢鳙鱼对饲料中蛋白质和氨基酸

表 1 基础饲料配方及营养水平 (风干基础, %)

配方原料	含量	营养水平	含量
鱼粉	10.0	干物质	88.71
豆粕	20.0	粗蛋白	33.52
菜粕	26.0	粗脂肪	3.24
棉粕	18.0	粗灰分	10.52
面粉	13.4		
食盐	0.3		
玉米淀粉	5.0		
磷酸二氢钙	1.8		
豆油	1.0		
鱼油	1.0		
沸石粉	2.5		
预混料	1.0		
合计	100.0		

注:预混料由南京华牧动物科技研究所提供,为 1 kg 日粮提供维生素 A 1 万 IU、维生素 D 2000 IU、维生素 E 30 mg、维生素 K₃ 3 mg、维生素 B₁ 6 mg、维生素 B₂ 8 mg、烟酸 20 mg、泛酸钙 25 mg、胆碱 600 mg、维生素 B₆ 5 mg、叶酸 1 mg、维生素 B₁₂ 0.02 mg、生物素 0.1 mg、维生素 C 100 mg、肌醇 100 mg、Fe 60 mg、Cu 5 mg、Mn 30 mg、Zn 50 mg、I 1 mg、Se 0.3 mg、Co 0.1 mg 等。

1.3 饲养管理

试验在室外循环流水过滤水族箱 (100 cm × 100 cm × 120 cm) 中进行,每箱 30 尾。试验为期 42 d,其中驯化期 7 d,正试期 35 d。日投喂饲料 3 次 (08:00、12:00、16:00),日投喂量为鱼体质量的 2% ~ 4%,并根据生长、摄食情况进行调整,以每次投饲后无残饵为宜。

1.4 样品采集和处理

饲养试验结束后停饲 1 d,于每个重复中随机选取 2 尾鱼,取背鳍下方侧线以上的肌肉,去皮去骨后,105 ℃ 烘干后粉碎,用于测定肌肉成分。分离肠道,剔除周围脂肪组织,挤掉食糜,称取 0.2 g 肠道中段组织,按 1 g : 9 mL 加 4 ℃ 生理盐水,在冰浴下匀浆,3 000 r/min 离心 15 min 后取上清液分装入离心管中, - 20 ℃ 冷藏备用,测定前于 4 ℃ 冰箱中自然化冻,用于测定相关指标。

1.5 测定指标与方法

1.5.1 生长性能 试验开始和结束时,记录每个网箱中鱼的

尾数、总质量、耗料量,测定特定生长率、增重率、成活率、饵料系数。计算公式如下:

特定生长率 = [ln(终末均质量) - ln(初始均质量)] / 试

验时间 × 100% ;

增重率 = (终末体质量 - 初始体质量) / 初始体重 × 100% ;

成活率 = 试验末鱼数 / 试验初鱼数 × 100% ;

饵料系数 = 投饵量 / 鱼体增重。

1.5.2 形体指标 于每个网箱里随机选取 2 尾鱼,测量体长;在冰盘上解剖并逐尾称取体重、肝胰脏重、去内脏的鱼重,计算建鲤的肥满度、脏体比、肝体比。计算公式如下:

肥满度 = (终末体质量 / 终末体长³) × 100% ;

脏体比 = 内脏质量 / 体质量 × 100% ;

肝体比 = 肝胰脏质量 / 体质量 × 100% 。

1.5.3 体成分指标 肌肉的粗蛋白含量采用全自动凯氏定氮仪测定,粗脂肪采用索氏抽提法测定,粗灰分采用马弗炉 550 ℃ 灼烧法测定。

1.5.4 肠道指标 肠道超氧化物歧化酶、一氧化氮合酶活性和丙二醛、一氧化氮含量采用试剂盒 (南京建成生物工程研究所) 方法测定。

1.6 数据统计与处理

用 Excel 软件对数据进行初步处理后,采用 SPSS 16.0 软件进行统计,用单因素方差分析 (one - way ANOVA) 进行差异显著性检验和 Duncan 多重比较,结果以“平均值 ± 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 三丁酸甘油酯对建鲤生长性能的影响

如表 2 所示,添加 250、500、1 000 mg/kg 三丁酸甘油酯使建鲤增重率、特定生长率均有不同程度提高,饵料系数均有不同程度降低,其中增重率分别比对照提高 5.93% (P > 0.05)、9.19% (P > 0.05)、13.21% (P < 0.05);特定生长率分别比对照提高 4.15% (P > 0.05)、6.74% (P > 0.05)、9.33% (P < 0.05);饵料系数分别比对照降低 5.88%、3.53%、5.88% (P > 0.05)。

表 2 三丁酸甘油酯对建鲤生长性能的影响

三丁酸甘油酯水平 (mg/kg)	初始体质量 (g)	终末体质量 (g)	增重率 (%)	特定生长率 (%/d)	饵料系数	成活率 (%)
0	29.72 ± 0.65	60.78 ± 1.12	104.5 ± 1.82b	1.93 ± 0.02b	1.70 ± 0.04	96.00 ± 1.25
250	30.08 ± 1.43	63.26 ± 1.60	110.7 ± 3.86ab	2.01 ± 0.08ab	1.60 ± 0.05	95.33 ± 2.49
500	28.31 ± 0.65	60.60 ± 1.23	114.1 ± 2.23ab	2.06 ± 0.03ab	1.64 ± 0.05	93.33 ± 1.05
1 000	28.06 ± 0.99	61.08 ± 1.34	118.3 ± 4.35a	2.11 ± 0.05a	1.60 ± 0.05	97.33 ± 0.67

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

2.2 三丁酸甘油酯对建鲤形体指标的影响

由表 3 可知,与对照相比,添加 250、500、1 000 mg/kg 三丁酸甘油酯对建鲤的肝体比、脏体比、肥满度均无显著影响,但脏体比均得到不同程度增加,分别增加 2.53%、6.04%、4.35% (P > 0.05)。

2.3 三丁酸甘油酯对建鲤体成分的影响

由表 4 可知,与对照相比,添加 250、500、1 000 mg/kg 三

表 3 三丁酸甘油酯对建鲤形体指标的影响

三丁酸甘油酯水平 (mg/kg)	肝体比 (%)	脏体比 (%)	肥满度 (%)
0	1.54 ± 0.11	14.25 ± 0.83	2.74 ± 0.06
250	1.72 ± 0.26	14.61 ± 0.83	2.61 ± 0.06
500	1.43 ± 0.18	15.11 ± 0.77	2.78 ± 0.08
1 000	1.82 ± 0.17	14.87 ± 0.51	2.68 ± 0.07

表 4 三丁酸甘油酯对建鲤体成分的影响

三丁酸甘油酯水平 (mg/kg)	粗脂肪 (%)	粗蛋白 (%)	粗灰分 (%)
0	3.02 ± 0.48	90.28 ± 0.69	5.79 ± 0.05
250	3.06 ± 0.28	89.34 ± 0.36	5.87 ± 0.03
500	3.29 ± 0.36	89.52 ± 0.29	5.90 ± 0.05
1 000	3.60 ± 0.27	89.26 ± 0.18	5.78 ± 0.05

注:粗蛋白、粗脂肪、粗灰分含量表示肌肉绝干样中的含量。

三丁酸甘油酯对建鲤体成分无显著影响,但肌肉粗脂肪含量得

表 5 三丁酸甘油酯对建鲤肠道抗氧化和免疫指标的影响

三丁酸甘油酯水平 (mg/kg)	丙二醛 (nmol/mg)	超氧化物歧化酶 (U/mg)	一氧化氮 (μmol/g)	一氧化氮合酶 (U/mg)
0	16.68 ± 1.89	177.3 ± 24.1b	96.24 ± 8.33	18.75 ± 3.23
250	15.57 ± 3.44	183.8 ± 15.4b	81.76 ± 13.12	20.85 ± 4.51
500	11.07 ± 1.33	190.2 ± 16.1b	91.72 ± 10.07	21.00 ± 4.31
1 000	14.41 ± 4.01	255.9 ± 27.2a	92.86 ± 13.45	27.53 ± 3.03

3 结论与讨论

3.1 三丁酸甘油酯对建鲤生长性能的影响

研究表明,三丁酸甘油酯能够提高畜禽生长性能。刘统等研究发现,在断奶仔猪饲料中添加 0.1%、0.2% 三丁酸甘油酯均能有效改善仔猪日增重,降低料重比^[2]。刘小萍等也得到了类似结论^[4]。Antongiovanni 等将 0.2%、0.35%、0.5%、1% 三丁酸甘油酯添加到肉鸡日粮中,肉鸡体重均明显增加^[5]。本研究显示,添加不同水平的三丁酸甘油酯使建鲤增重率和特定生长率均不同程度提高,其中添加 1 g/kg 三丁酸甘油酯处理达到显著水平。三丁酸甘油酯在胰脂肪酶的作用下缓慢释放出丁酸、甘油,丁酸作为肠黏膜上皮细胞首选的能源底物,能促进肠道细胞增殖与成熟,维持小肠黏膜结构的完整性^[6],并能降低食糜的 pH 值,影响胰蛋白酶、脂肪酶等分泌和活性;减少肠道不耐酸的大肠杆菌、沙门氏菌等,并促进有益微生物生长^[7],从而提高动物生长性能。

3.2 三丁酸甘油酯对建鲤形体指标的影响

鱼的肥满度是检验鱼体肥瘦的重要指标,肝体比、脏体比是判断肝脏和内脏发育及脂肪积累程度的重要标志。郑瑞耕试验发现,添加不同水平的丁酸钠对鲤鱼肝体比、内脏比均无明显影响^[8]。孙浪等试验结果显示,添加丁酸钠对鲫鱼的脏体比无显著影响,但 2.5 g/kg 丁酸钠处理显著提高了鲫鱼肥满度^[9]。丁酸是合成体脂的前体物质,其在肝脏中几乎全部被吸收,在代谢过程中会产生乙酰 CoA^[10]。Roediger 认为,丁酸能够促进乙酰 CoA 合成脂肪,或通过羟甲基戊二酸单酯 CoA 途径促进酮体合成^[11]。本研究显示,添加不同水平三丁酸甘油酯有提高建鲤脏体比的趋势,这可能是由于丁酸在肠道中转化为酮体和其他代谢物,调节了鱼体内的脂类代谢^[12];丁酸激活了细胞内 mRNA 蛋白质合成,促进肠道上皮细胞增殖,提高肠绒毛长度和隐窝深度,并增加其质量^[13-14]。

3.3 三丁酸甘油酯对建鲤体组成的影响

鱼体肌肉营养成分比较稳定,鱼类营养价值主要取决于肌肉中的蛋白质和脂肪含量。本研究发现,与对照相比,添加不同水平三丁酸甘油酯对建鲤体组成无显著影响,但肌肉粗

到不同程度提高,分别提高 1.32%、8.94%、19.21% ($P > 0.05$);而粗蛋白含量分别降低 1.04%、0.84%、1.13% ($P > 0.05$)。

2.4 三丁酸甘油酯对建鲤肠道抗氧化和免疫指标的影响

如表 5 所示,与对照相比,添加 250、500、1 000 mg/kg 三丁酸甘油酯使建鲤肠道超氧化物歧化酶活性分别提高 3.67% ($P > 0.05$)、7.28% ($P > 0.05$)、44.33% ($P < 0.05$),且有提高建鲤肠道一氧化氮合酶活性,降低丙二醛、一氧化氮含量的趋势($P > 0.05$)。

脂肪含量均有不同程度提高,粗蛋白含量均有一定程度降低。原因可能是,三丁酸甘油酯分解产生的丁酸属于水脂两亲且偏重于亲脂,提高了粗脂肪的利用;也可能是三丁酸甘油酯分解产生的甘油、甘油一酯等促进了脂肪在肌肉的沉积。Chatzifotis 等研究发现,大西洋白姑鱼全鱼和肌肉脂肪含量均随饲料脂肪水平的升高而增大^[15]。向泉等在白甲鱼幼鱼上的试验也得到相似结论^[16]。郑珂珂等也报道,瓦氏黄颡鱼鱼体脂肪、干物质含量随饲料脂肪水平的升高而显著升高,而鱼体蛋白质、水分含量则随着饲料脂肪水平的升高而降低^[17]。这与本研究结果基本一致。

3.4 三丁酸甘油酯对建鲤肠道抗氧化和免疫指标的影响

自由基能诱发细胞膜不饱和脂肪酸发生过氧化反应,终产物是丙二醛,其含量可反映脂质过氧化程度和机体抗氧化能力。超氧化物歧化酶能通过催化自由基 O_2^- 的歧化反应保护细胞免受损伤。张淞琳等试验发现,0.1% 丁酸钠可提高美洲鳗鲡肝脏的总抗氧化能力和过氧化氢酶活力,减少丙二醛含量^[18]。本研究显示,三丁酸甘油酯能提高建鲤肠道超氧化物歧化酶活性,减少丙二醛含量,其中添加 1 g/kg 三丁酸甘油酯处理可显著提高肠道超氧化物歧化酶活性,提示三丁酸甘油酯可改善建鲤肠道的抗氧化功能,原因可能是丁酸能诱导谷胱甘肽-S-转移酶体系,该体系可防御致癌物质和氧化物质^[19-20]。有研究发现,短链脂肪酸酯能激活机体抗氧化防御系统^[21-22]。

一氧化氮是一种多功能的生物活性分子,参与多种生理、病理过程。适量一氧化氮是维持和调节胃肠生理功能的重要物质,而过少或过量的一氧化氮则会导致某些胃肠道疾病的发生,即一氧化氮对胃肠道具有保护和损伤的双重作用^[23-24]。本研究中,与对照相比,添加不同水平三丁酸甘油酯均能不同程度减少建鲤肠道一氧化氮含量,其机理可能为丁酸抑制了炎症细胞因子的产生和释放,促进肠黏膜的修复及其功能恢复^[13],一氧化氮产生的刺激源减少,从而导致一氧化氮含量降低。

一氧化氮合酶是一氧化氮合成过程中的关键酶,对一氧化氮的调节具有重要作用。一氧化氮合酶分为结构型和诱导

型,结构型一氧化氮合酶为细胞内钙离子依赖型,在正常生理状态下即可表达,临时性地产生少量一氧化氮;诱导型一氧化氮合酶为钙非依赖型,只有细胞在受到内毒素、巨噬细胞等刺激时才能启动表达,持续产生大量一氧化氮^[25]。黄俊等在研究丁酸钠对溃疡性结肠炎治疗作用时发现,丁酸钠能够通过抑制诱导型一氧化氮合酶的活性来发挥其肠道抗炎作用^[26]。本研究中,与对照相比,添加不同水平的三丁酸甘油酯使建鲤肠道一氧化氮合酶活性均得到不同程度提高,这与前面提到的一氧化氮含量减少的结果不一致,其原因尚不明确,有待进一步探讨。

3.5 结论

在建鲤饲料中添加三丁酸甘油酯对建鲤的生长性能、抗氧化和免疫功能有一定改善效果,但对建鲤的形体和体组成无影响,其中添加 1 g/kg 三丁酸甘油酯处理的效果最佳。

参考文献:

- [1]唐明红. 丁酸钠在畜牧生产中的应用研究[J]. 饲料广角,2008(19):22-24.
- [2]刘 统,黄兴国,朱广宁. 丁酸甘油酯对断奶仔猪生长性能影响的研究[J]. 饲料工业,2011,32(22):39-41.
- [3]杨 玲. 三丁酸甘油酯对断奶仔猪生长性能、肠道结构和血液生化指标的影响[J]. 饲料工业,2012(增刊):46-49.
- [4]刘小萍,刘昌林,毛子平,等. 丁酸甘油酯在仔猪生产应用中的初步研究[J]. 江西畜牧兽医杂志,2012(2):15-16.
- [5]Antongiovanni M,Buccioni A,Petacchi F A,et al. Butyric acid glycerides in the diet of broiler chickens:effects on gut histology and carcass composition[J]. Italian Journal of Animal Science,2007,6(1):19-25.
- [6]Chapman M A,Grahn M F,Hutton M,et al. Butyrate metabolism in the terminal ileal mucosa of patients with ulcerative colitis[J]. British Journal of Surgery,1995,82(1):36-38.
- [7]Castillo M,Martin - Orue S M,Roca M,et al. The response of gastrointestinal microbiota to avilamycin, butyrate, and plant extracts in early - weaned pigs[J]. Journal of Animal Science,2006,84(10):2725-2734.
- [8]郑瑞耕. 丁酸钠对淡水鱼类生长性能及肠粘膜结构的影响[D]. 福州:福建农林大学,2008:21.
- [9]孙 浪,刘 臻,郝 光,等. 丁酸钠对鲫鱼生长和肠细胞增殖的影响[J]. 中国水产科学,2013,20(4):893-901.
- [10]余 荣,徐小芳,王雯熙. 丁酸对动物肠道影响的研究进展[J]. 中国畜牧杂志,2012,48(16):64-68.
- [11]Roediger W W. Famine, fiber, fatty acids, and failed colonic absorption; does fiber fermentation ameliorate diarrhea? [J]. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition,1994,18(1):4-8.
- [12]Jenkins D J, Wolever T M, Jenkins A, et al. Specific types of colonic fermentation may raise low - density - lipoprotein - cholesterol concentrations[J]. The American Journal of Clinical Nutrition,1991,54(1):141-147.
- [13]蒋小丰,方热军. 丁酸在动物体内的作用[J]. 饲料工业,2008,29(20):51-54.
- [14]Lacom M, Goerke M, Claus R. Inulin - coated butyrate increases ileal MCT1 expression and affects mucosal morphology in the porcine ileum by reduced apoptosis[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2010,94(5):670-676.
- [15]Chatzifotis S, Panagiotidou M, Papaioannou N A, et al. Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles[J]. Aquaculture,2010,307(1/2):65-70.
- [16]向 泉,周兴华,陈 建,等. 饲料脂肪水平对白甲鱼幼鱼生长性能、体组成和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报,2013,25(8):1805-1816.
- [17]郑珂珂,朱晓鸣,韩 冬,等. 饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长及脂蛋白酯酶基因表达的影响[J]. 水生生物学报,2010,34(4):815-821.
- [18]张淞琳,常建波,叶继丹,等. 丁酸钠对美洲鳗鲡摄食、生长性能和抗氧化能力的影响[J]. 福建农业学报,2011,26(4):549-551.
- [19]Habig W H, Pabst M J, Jakoby W B. Glutathione S - transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation[J]. The Journal of Biological Chemistry,1974,249(22):7130-7139.
- [20]Prochaska H J, Fernandes C L. Elevation of serum phase II enzymes by anticarcinogenic enzyme inducers; markers for a chemoprotected state? [J]. Carcinogenesis,1993,14(12):2441-2445.
- [21]Abrahamse S L, Pool - Zobel B L, Rechkemmer G. Potential of short chain fatty acids to modulate the induction of DNA damage and changes in the intracellular calcium concentration by oxidative stress in isolated rat distal colon cells[J]. Carcinogenesis,1999,20(4):629-634.
- [22]Redegeld F M, Moison R W, Koster A S, et al. Alterations in energy status by menadione metabolism in hepatocytes isolated from fasted and fed rats[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics,1989,273(1):215-222.
- [23]Nathan C, Xie Q W. Nitric oxide synthases; roles, tolls, and controls [J]. Cell,1994,78(6):915-918.
- [24]Hayashi T, Yano K, Matsui - Hirai H, et al. Nitric oxide and endothelial cellular senescence[J]. Pharmacology & Therapeutics,2008,120(3):333-339.
- [25]王广军,谢 骏,余德光,等. 一氧化氮及一氧化氮合酶在水生动物免疫系统研究进展[J]. 水产科技,2009(3):1-6,13.
- [26]黄 俊,罗和生,杨健新. 溃疡性结肠炎一氧化氮异常及丁酸钠的治疗作用[J]. 世界华人消化杂志,2001,9(8):967-969.