

# 儿茶素对草鱼生长性能、血清抗氧化指标和肌肉品质的影响

徐 禛<sup>1,2,3</sup> 杨 航<sup>1</sup> 姜维波<sup>1</sup> 李小勤<sup>1,2,3</sup> 冷向军<sup>1,2,3\*</sup>

(1.上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心,上海 201306;2.上海海洋大学农业部鱼类营养与环境生态研究中心,上海 201306;3.上海海洋大学水产动物遗传育种中心  
上海市协同创新中心,上海 201306)

**摘要:** 本试验旨在研究儿茶素对草鱼生长性能、血清抗氧化指标和肌肉品质的影响。试验选取平均体质量为(18.5±0.2) g的草鱼360尾,随机分为6组,分别饲喂在基础饲料中添加0(对照组)、0.1、0.3、0.5、0.7和0.9 g/kg儿茶素的6种饲料,每组3个重复,每个重复20尾。试验期60 d。结果表明:1)随着儿茶素的添加,各组间鱼体增重率和饲料系数无显著差异( $P>0.05$ ),添加0.5、0.7和0.9 g/kg儿茶素显著提高了鱼体肥满度( $P<0.05$ ),显著降低了血清丙二醛含量( $P<0.05$ )。除0.1 g/kg组外,其余各儿茶素添加组血清超氧化物歧化酶活性均显著高于对照组( $P<0.05$ ),各组间在血清碱性磷酸酶和过氧化氢脱氢酶活性上无显著差异( $P>0.05$ )。2)在肌肉游离氨基酸和脂肪酸组成方面,0.5、0.7 g/kg组的总氨基酸、呈味氨基酸含量和C20:5、n-3不饱和脂肪酸含量显著高于对照组( $P<0.05$ )。3)各组间在肌肉水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量及肌肉质构特性、肌肉失水率以及肌纤维密度和直径上差异均不显著( $P>0.05$ ),但0.7和0.9 g/kg组的肌肉胶原蛋白含量显著高于对照组( $P<0.05$ )。上述结果显示,儿茶素对草鱼生长性能没有显著影响,可提高血清抗氧化能力,在一定程度上改善肌肉品质。草鱼饲料中儿茶素的推荐添加量为0.5~0.7 g/kg。

**关键词:** 草鱼;儿茶素;生长性能;抗氧化;肌肉品质

中图分类号:S963

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)02-0836-11

儿茶素是广泛存在于茶、杜仲等植物中的天然黄酮类化合物,具有多种药理作用,如保护心脏、利尿和降压等<sup>[1]</sup>,同时也被认为对癌症和炎症有一定的防治作用,这主要归因于其有较强的抗氧化能力,能够清除机体自由基<sup>[2-3]</sup>。Jeon<sup>[4]</sup>给小鼠饲喂添加2%儿茶素的饲料4周后,用紫外线照射其皮肤,发现皮肤超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)活性增加,随后恢复到照射前的水平,皮肤细胞的损伤程度较低,而对照组小鼠皮肤的SOD、CAT和GPx

活性立刻降低;给大鼠每周注射200 mg/kg BW的儿茶素,能够显著增加伊达霉素诱导的心脏细胞SOD、CAT和GPx的活性,降低丙二醛(MDA)含量,消除线粒体的肿胀和减弱肌细胞肌浆网的扩张,显著降低了伊达霉素诱导的大鼠心脏毒性<sup>[5]</sup>;将大鼠的脑星形胶质细胞在含有0.1、1.0和10.0 μmol/L儿茶素的培养基中培养7 d,细胞铜锌超氧化物歧化酶和锰超氧化物歧化酶活性和mRNA的表达量及CAT和GPx的mRNA的表达量显著升高<sup>[6]</sup>;在O'Grady等<sup>[7]</sup>研究中,直接添加茶

收稿日期:2019-07-31

基金项目:国家自然科学基金项目(31772858);卓越农林人才教育培养计划(A1-0201-00-0001)

作者简介:徐 禛(1992—),男,河北秦皇岛人,博士研究生,从事水产动物营养与饲料方面的研究。E-mail: 981428643@qq.com

\* 通信作者:冷向军,教授,博士生导师,E-mail: xjleng@shou.edu.cn

儿茶素(1 000 mg/kg)显著改善了储存 8 d 的牛最长背肌的颜色和脂质稳定性,从而改善了牛肉品质。

儿茶素及其衍生物是茶多酚的主要活性物质,约占茶多酚的 70%。目前尚未见儿茶素在水产饲料中应用的报道,但可见有关茶多酚的研究。梁高杨等<sup>[8]</sup>在饲料中添加 200、400、600、800 mg/kg 茶多酚饲喂奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)9 周,显著提高了血清 SOD 和溶菌酶(LZM)活性,降低了嗜水气单胞菌攻毒后鱼体死亡率;在团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)饲料中添加 50 和 100 mg/kg 茶多酚能显著提高肌肉蛋白质和水分含量,提高肌肉嫩度,改善肌肉品质<sup>[9]</sup>;徐奇友等<sup>[10]</sup>在饲料中添加 25~1 000 mg/kg 茶多酚饲喂虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*),发现 1 000 mg/kg 组鱼体粗脂肪含量显著降低,25 mg/kg 组鱼体粗蛋白质含量、肌肉 SOD 活性显著升高,25、100 mg/kg 组肌肉和 50、100 mg/kg 组血浆 MDA 含量显著下降,表明茶多酚可以提高机体抗氧化能力和肌肉品质。

儿茶素是否具有改善鱼类生长性能、抗氧化

能力和肌肉品质的作用?目前尚无有关报道。故本试验以我国重要的养殖鱼类——草鱼为对象,在饲料中添加不同量的儿茶素,考察其对草鱼生长性能、血清抗氧化指标和肌肉品质的影响,为儿茶素在水产养殖中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验饲料与设计

在基础饲料中分别添加 0(对照组)、0.1、0.3、0.5、0.7 和 0.9 g/kg 儿茶素,共配成 6 种试验饲料。在各儿茶素添加组饲料中,分别降低次粉的含量来平衡饲料组成。饲料原料经粉碎,过 40 目筛后,加入豆油和蒸馏水,用混合机(GH 200,上海展望机电设备有限公司)混匀,以单螺杆挤压机(SLP-45,中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)制成粒径为 2 mm 的沉性颗粒饲料(制粒温度 90 ℃),40 ℃烘干,储藏于 4 ℃冰箱备用。儿茶素购于上海源叶生物科技有限公司,有效成分含量为 95%。试验饲料组成及营养水平和氨基酸组成分别见表 1、表 2。

表 1 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
原料 Ingredients/(g/kg) <sup>1)</sup>						
鱼粉 Fish meal	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
豆粕 Soybean meal	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
棉籽粕 Cottonseed meal	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0
菜籽粕 Rapeseed meal	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
麸皮 Wheat bran	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
脱脂米糠 Defatted rice bran	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
次粉 Wheat middling	224.5	224.4	224.2	224.0	223.8	223.6
豆油 Soybean oil	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
维生素预混料 Vitamin premix <sup>2)</sup>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
矿物元素预混料 Mineral premix <sup>3)</sup>	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
儿茶素 Catechin		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
合计 Total	1 000.0	1 000.0	1 000.0	1 000.0	1 000.0	1 000.0
营养水平 Nutrient levels/%						
粗蛋白质 Crude protein	32.5	32.6	32.6	32.5	32.5	32.5
粗脂肪 Crude lipid	5.6	5.6	5.6	5.6	5.5	5.5

续表 1

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
粗灰分 Ash	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
水分 Moisture	10.5	10.6	10.6	10.6	10.6	10.5

1) 饲料原料购于浙江粤海饲料公司,原料中粗蛋白质含量如下 The ingredients were purchased from the Yuehai feed company (Zhejiang, China), and the crude protein contents of ingredients were as follows: 鱼粉 fish meal 630 g/kg, 豆粕 soybean meal 442 g/kg, 棉籽粕 cottonseed meal 500 g/kg, 菜籽粕 rapeseed meal 377 g/kg, 次粉 wheat middling 169 g/kg, 脱脂米糠 rice bran 143 g/kg。

2) 维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets: VA 10 000 IU, VD<sub>3</sub> 3 000 IU, VE 150 IU, VK<sub>3</sub> 12.17 mg, VB<sub>1</sub> 20 mg, VB<sub>2</sub> 20 mg, VB<sub>3</sub> 100 mg, VB<sub>6</sub> 22 mg, VB<sub>12</sub> 0.15 mg, VC 1 000 mg, 生物素 biotin 0.6 mg, 叶酸 folic acid 8 mg, 肌醇 inositol 500 mg。

3) 矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diets: I 1.5 mg, Co 0.6 mg, Cu 3 mg, Fe 63 mg, Zn 89 mg, Mn 11.45 mg, Se 0.24 mg, Mg, 180 mg。

表 2 试验饲料氨基酸组成(干物质基础)

Table 2 Amino acid composition of experimental diets (DM basis)

g/kg

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
必需氨基酸 EAA						
苯丙氨酸 Phe	15.4	15.1	15.5	15.2	15.4	15.2
蛋氨酸 Met	5.2	5.4	5.4	5.1	5.0	5.1
精氨酸 Arg	23.7	23.1	23.5	23.9	23.9	23.6
赖氨酸 Lys	14.2	13.9	14.4	14.2	14.4	14.0
亮氨酸 Leu	23.9	24.2	23.8	23.6	24.1	23.8
苏氨酸 Thr	11.4	11.8	11.5	11.4	11.0	11.6
缬氨酸 Val	10.5	10.2	10.2	10.4	10.6	10.3
异亮氨酸 Ile	5.7	5.9	5.5	5.8	5.3	5.7
组氨酸 His	16.5	16.7	16.7	16.2	16.4	16.7
非必需氨基酸 NEAA						
半胱氨酸 Cys	4.3	4.7	4.3	4.5	4.5	4.4
丙氨酸 Ala	14.6	14.1	14.4	14.9	14.5	14.7
甘氨酸 Gly	17.3	17.7	16.9	17.2	17.6	17.4
谷氨酸 Glu	66.1	66.3	65.9	65.8	66.3	66.2
酪氨酸 Tyr	8.3	8.2	8.6	8.5	8.1	8.2
脯氨酸 Pro	15.1	15.0	15.6	15.4	14.9	15.2
丝氨酸 Ser	18.3	18.5	18.0	18.3	18.4	18.6
天冬氨酸 Asp	31.5	31.3	31.9	31.4	31.3	31.7
总氨基酸 TAA	302.0	302.1	302.1	301.8	301.7	302.4

## 1.2 试验鱼和饲养管理

试验鱼购于上海金山水产养殖场。试验鱼用基础饲料暂养驯化 2 周后,选取体格健壮、规格均一、平均体质量为(18.5±0.2) g 的草鱼 360 尾进行试验,随机分为 6 组,分别饲喂对应的 6 种试验

饲料,每组 3 个重复,共 18 个网箱(1.5 m×1.5 m×1.2 m),每个网箱 20 尾,其中 6 个网箱放置于 1 个室内水泥池(5.0 m×3.0 m×1.2 m)中,共 3 个水泥池。3 个池的水源同时来自于 1 个经过暗沉淀的蓄水池,并且 3 个池的换水量(池水 1/3)、换水时

间及吸污时间均相同。每周吸污并换水 2 次,每天检测水质指标。养殖期间,水体溶氧浓度 > 5 mg/L,水温 25~30 °C, pH 7.5~8.0, 氨氮浓度 < 0.2 mg/L, 亚硝酸盐浓度 < 0.1 mg/L。试验期间,每天投喂 3 次(07:00、12:00、17:00),日投饲率为鱼体质量的 3.0%~5.0%,根据水温、摄食情况进行调整,使各网箱投喂饲料均能保证在 10 min 内吃完,无残饵,并且各网箱保持基本一致的投饲量。养殖试验在上海海洋大学滨海基地进行,养殖周期为 60 d。

### 1.3 样品采集

养殖试验结束后,饥饿 24 h,统计每网箱草鱼尾数并称重。每网箱随机取 3 尾草鱼测量体质量、体长,然后进行尾静脉采血,离心 10 min (3 000 r/min)后取血清,保存于-80 °C 冰箱中,用于测定血清碱性磷酸酶(AKP)、SOD、CAT 活性和 MDA 含量。取血后,立即将草鱼解剖,称量内脏重、肝脏重和肠脂重,计算肥满度(CF)、脏体指数(HSI)、肝体指数(VSI)和肠脂比(IFR)。从鱼的左侧采集肌肉样品于-80 °C 冷冻保存,作常规成分、肌肉游离氨基酸、脂肪酸、胶原蛋白含量分析;右侧取 4 块 2~3 g 的背肌,其中 3 块立即进行肌肉系水力的测定(鲜样),1 块保存在固定液中用于组织切片观察;另在右侧取 1 块 1 cm<sup>3</sup> 左右背肌,立即进行质构分析。

### 1.4 检测指标与方法

#### 1.4.1 生长指标与形体指标

$$\text{成活率}(\%) = 100 \times N_t / N_0;$$

$$\text{增重率}(\text{WG}, \%) = 100 \times (W_t - W_0) / W_0;$$

$$\text{饲料系数}(\text{FCR}) = W_f / (W_t - W_0);$$

$$\text{脏体指数}(\%) = 100 \times W_h / W;$$

$$\text{肝体指数}(\%) = 100 \times W_v / W;$$

$$\text{肠脂比}(\%) = 100 \times W_l / W;$$

$$\text{肥满度}(\text{g}/\text{cm}^3) = 100 \times W / L^3。$$

式中: $N_t$  为终末尾数; $N_0$  为初始尾数; $W_t$  为终末体质量(g); $W_0$  为初始体质量(g); $W_f$  为摄入饲料量(g); $W_h$  为鱼肝脏重(g); $W_v$  为鱼内脏重(g); $W_l$  为鱼肠外脂肪重; $W$  为鱼体质量(g); $L$  为鱼体长(cm)。

#### 1.4.2 血清抗氧化指标

血清 AKP 活性测定采用对硝基苯磷酸盐法;SOD 活性测定采用黄嘌呤氧化酶法;MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法;CAT 活性测定采

用钼酸铵法。上述指标测定所用试剂盒均由南京建成生物工程研究所提供。

#### 1.4.3 肌肉与饲料组成

肌肉及饲料的常规成分含量的测定参照 AOAC(1995)<sup>[11]</sup> 的方法。水分含量测定采用 105 °C 常压干燥法,粗蛋白质含量测定采用凯氏定氮仪(2300 自动凯氏定氮仪,FOSS,瑞典),粗脂肪含量测定采用氯仿-甲醇抽提法,粗灰分含量测定采用 550 °C 马弗炉高温灼烧法(SXL-1008 程控箱式电炉,上海精宏实验仪器有限公司)。

#### 1.4.4 饲料氨基酸组成

将饲料冷冻干燥至恒重,称取 70 mg 饲料样品,以 6 mol/L 盐酸,于真空状态下 110 °C 水解 24 h,冷却,取 0.5 mL 水解液经烘干后加 5 mL 稀释液稀释,然后使用 Sykam S-433D 氨基酸自动分析仪(赛卡姆,德国)测定饲料氨基酸组成。其中分析蛋氨酸(Met)时,将样品在 2 mL 过甲酸中 55 °C 水解 15 min,然后将水解产物注入钠交换柱中进行分析。

#### 1.4.5 肌肉游离氨基酸组成

取鲜肌肉 40 mg,加入提取液(甲醇:水=4:1) 1.2 mL,匀浆后冰水浴超声波 10 min,再在-20 °C 冰箱中停放 2 h,后 4 °C 离心机 12 000 r/min 离心 30 min,取上层清液,使用 Waters ACQUITY 超高效液质联用仪(waters,美国)测定肌肉游离氨基酸组成。

#### 1.4.6 肌肉脂肪酸组成

脂肪酸含量测定采用三氟化硼甲酯化法。将抽提出的脂肪用 1 mL 正己烷溶解,加入 1 mL 未甲酯化的 C19 内标,真空干燥 3 h 后加入 2 mL 14% 三氟化硼甲醇溶液,100 °C 水浴 25 min(第 1 步甲酯化);后加入 2 mL 苯和 2 mL 甲醇溶液,100 °C 水浴 25 min(第 2 步甲酯化);再加蒸馏水和正己烷,混匀后 3 000 r/min 离心 5~10 min,取上层清液,使用 Agilent Technologies 7890B GS Syetem 气质联用仪(安捷伦,美国)测定肌肉脂肪酸的组成。

#### 1.4.7 肌肉质构特性

取 1 cm<sup>3</sup> 背部肌肉,使用 Universal TA 质构分析仪(腾跋公司)进行全质构分析(TPA)(硬度、弹性、咀嚼性、胶着性、黏聚性、回复性)。采用 25 mm×25 mm 的柱形探头,接触感应力为 5 gf,测试速度 1 mm/s,目标模式为形变,形变量为 30,

时间为 2 s。每个样品测定 2 次,取平均值。

#### 1.4.8 肌肉胶原蛋白含量

羟脯氨酸含量测定采用碱水解法,试剂盒由南京建成生物工程研究所提供。其原理为羟脯氨酸在氧化剂的作用下所产生的氧化产物与二甲氨基苯甲醛作用呈现紫红色,根据其呈色的深浅推算出其含量。胶原蛋白含量参照 AOAC (2000)<sup>[12]</sup>,用羟脯氨酸含量乘以 8 求得。

#### 1.4.9 肌肉系水力

蒸失水率:称取肌肉鲜样 3 g ( $W_1$ ),纱布包裹放在蒸锅中蒸 5 min,用吸水纸将肌肉表面水分吸干,冷却称重 ( $W_2$ )。

离心失水率:称取肌肉鲜样 2 g ( $W_1$ ),放在离心管中,3 000 r/min 离心 10 min,用吸水纸将肌肉表面水分吸干,称重 ( $W_2$ )。

冷冻失水率:称取肌肉鲜样 2 g ( $W_1$ ),放在 -20 °C 冰箱冷冻 24 h,取出,室温解冻,用吸水纸将肌肉表面水分吸干,称重 ( $W_2$ )。

蒸(离心、冷冻)失水率(%) =  $100 \times (W_1 - W_2) / W_1$ 。

#### 1.4.10 肌肉组织学

将肌肉样品在酒精、二甲苯中逐级脱水,浸蜡、包埋、切片、用苏木精-伊红染色以观察肌肉组织形态,用装有照相系统的光学显微镜在 20 倍镜下进行拍照观察,测定每平方毫米 ( $\text{mm}^2$ ) 内的肌纤维数量(根),每个样品选取 50 个视野进行数据统计,并计算肌纤维直径。

#### 1.5 数据处理

试验所得数据以平均值  $\pm$  标准差表示,以 SPSS 22.0 统计软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA),差异显著者进行 Duncan 氏法多重比较。 $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 生长性能和形体指标

由表 3 可知,在养殖期间,草鱼生长良好,没有死亡发生。0.5、0.7、0.9 g/kg 组的鱼体肥满度显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。各组在增重率、饲料系数、肥满度、脏体指数、肝体指数和肠脂比上无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 3 儿茶素对草鱼生长性能的影响

Table 3 Effects of catechin on growth performance of grass carp

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0 (对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
初始体质量 IBW/g	18.4 $\pm$ 0.2	18.5 $\pm$ 0.4	18.5 $\pm$ 0.3	18.4 $\pm$ 0.1	18.5 $\pm$ 0.4	18.6 $\pm$ 0.2
终末体质量 FBW/g	83.0 $\pm$ 1.7	81.8 $\pm$ 2.3	83.8 $\pm$ 3.0	82.6 $\pm$ 1.7	82.4 $\pm$ 4.2	83.3 $\pm$ 1.3
增重率 WG/%	348.5 $\pm$ 9.1	342.0 $\pm$ 12.6	352.8 $\pm$ 16.6	346.6 $\pm$ 9.1	345.1 $\pm$ 22.8	350.0 $\pm$ 7.1
饲料系数 FCR	1.56 $\pm$ 0.04	1.59 $\pm$ 0.06	1.54 $\pm$ 0.07	1.57 $\pm$ 0.04	1.58 $\pm$ 0.11	1.55 $\pm$ 0.03
成活率 Survival rate/%	100	100	100	100	100	100
肥满度 CF/(g/cm <sup>3</sup> )	1.84 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	1.81 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	1.81 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	1.92 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	1.96 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	1.93 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>
脏体指数 HSI/%	8.10 $\pm$ 0.63	8.21 $\pm$ 0.47	8.30 $\pm$ 0.62	8.42 $\pm$ 0.56	8.39 $\pm$ 0.58	8.34 $\pm$ 0.41
肝体指数 VSI/%	2.06 $\pm$ 0.17	2.03 $\pm$ 0.15	2.04 $\pm$ 0.19	2.06 $\pm$ 0.17	2.05 $\pm$ 0.19	2.04 $\pm$ 0.10
肠脂比 IFR/%	1.46 $\pm$ 0.06	1.40 $\pm$ 0.16	1.46 $\pm$ 0.13	1.49 $\pm$ 0.18	1.49 $\pm$ 0.16	1.48 $\pm$ 0.16

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ),不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ). The same as below.

### 2.2 血清抗氧化指标

由表 4 可知,与对照组相比,添加 0.3、0.5、0.7、0.9 g/kg 儿茶素显著提高了血清 SOD 活性,添加 0.5、0.7、0.9 g/kg 儿茶素显著降低了血清 MDA 含量 ( $P < 0.05$ )。各组在血清 AKP 和 CAT

活性上无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.3 肌肉组成和胶原蛋白含量

由表 5 可知,0.7 和 0.9 g/kg 组胶原蛋白含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。各组在肌肉水分、粗灰分、粗脂肪和粗蛋白质含量上均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 4 儿茶素对草鱼血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of catechin on serum anti-oxidation indicators of grass carp

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	98.56±12.63	98.93±11.4	97.88±8.37	95.09±12.44	94.21±10.28	94.42±10.63
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	220.99±9.85 <sup>a</sup>	236.88±12.82 <sup>ab</sup>	247.10±7.84 <sup>b</sup>	246.50±4.59 <sup>b</sup>	246.65±15.12 <sup>b</sup>	254.18±12.57 <sup>b</sup>
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	16.33±1.03 <sup>b</sup>	16.26±1.56 <sup>b</sup>	15.94±0.85 <sup>ab</sup>	14.42±1.05 <sup>a</sup>	14.58±1.49 <sup>a</sup>	14.85±1.29 <sup>a</sup>
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	1.65±0.25	1.63±0.19	1.56±0.13	1.65±0.22	1.55±0.20	1.62±0.15

表 5 儿茶素对草鱼肌肉组成和胶原蛋白的影响(鲜物质基础)

Table 5 Effects of catechin on muscle composition and collagen content of grass carp (fresh matter basis) g/kg

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
水分 Moisture	784.8±5.9	785.9±1.2	782.5±2.6	783.1±2.8	784.4±1.6	788.5±7.4
粗灰分 Ash	12.8±0.4	12.5±0.3	12.7±0.8	12.7±0.6	12.8±0.1	12.7±0.1
粗脂肪 Crude lipid	10.8±0.6	10.5±1.1	11.1±0.8	10.8±0.7	11.0±0.9	11.1±0.9
粗蛋白质 Crude protein	192.5±3.8	192.9±2.3	195.4±2.3	194.3±1.9	194.1±2.4	192.5±4.8
胶原蛋白 Collagen	2.5±0.2 <sup>a</sup>	2.6±0.3 <sup>ab</sup>	2.7±0.1 <sup>abc</sup>	2.8±0.1 <sup>abc</sup>	2.9±0.1 <sup>c</sup>	2.9±0.3 <sup>bc</sup>

## 2.4 肌肉游离氨基酸组成

酸和呈味氨基酸含量显著高于对照组( $P<0.05$ ),

由表 6 可知,0.5 和 0.7 g/kg 组的肌肉总氨基

其他各组与对照组相比无显著差异( $P>0.05$ )。

表 6 儿茶素对草鱼肌肉游离氨基酸组成的影响(鲜物质基础)

Table 6 Effects of catechin on muscle free amino acid composition of grass carp (fresh matter basis) mg/kg

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
苯丙氨酸 Phe	24.0±1.7 <sup>ab</sup>	23.6±1.1 <sup>ab</sup>	20.9±0.8 <sup>a</sup>	22.9±0.7 <sup>ab</sup>	25.3±3.0 <sup>b</sup>	24.9±2.8 <sup>b</sup>
蛋氨酸 Met	2.7±0.1 <sup>a</sup>	3.7±0.2 <sup>d</sup>	3.3±0.1 <sup>bc</sup>	3.3±0.1 <sup>bc</sup>	3.0±0.1 <sup>ab</sup>	3.5±0.3 <sup>cd</sup>
精氨酸 Arg	48.4±5.2 <sup>a</sup>	48.2±3.3 <sup>a</sup>	47.1±7.3 <sup>a</sup>	56.1±2.2 <sup>ab</sup>	58.4±5.9 <sup>b</sup>	53.5±4.7 <sup>ab</sup>
赖氨酸 Lys	211.8±25.8	223.8±12.0	217.6±27.2	235.8±15.6	241.6±10.4	214.6±19.6
亮氨酸 Leu	3.9±0.1 <sup>a</sup>	4.2±0.1 <sup>b</sup>	3.8±0.2 <sup>a</sup>	3.8±0.1 <sup>a</sup>	4.3±0.2 <sup>b</sup>	4.0±0.2 <sup>a</sup>
苏氨酸 Thr	51.4±2.0 <sup>a</sup>	55.6±3.5 <sup>b</sup>	51.2±2.2 <sup>a</sup>	53.2±5.7 <sup>ab</sup>	55.2±0.9 <sup>b</sup>	53.5±5.1 <sup>ab</sup>
缬氨酸 Val	3.0±0.2	3.1±0.2	2.9±0.3	3.0±0.2	3.3±0.2	3.3±0.3
异亮氨酸 Ile	2.2±0.3	2.4±0.4	2.2±0.2	2.2±0.2	2.5±0.4	2.3±0.4
组氨酸 His	168.1±11.1	171.6±10.8	162.1±3.7	170.7±1.3	178.4±13.0	172.9±1.8
半胱氨酸 Cys	1.8±0.2 <sup>a</sup>	2.0±0.2 <sup>ab</sup>	1.8±0.3 <sup>a</sup>	1.8±0.2 <sup>a</sup>	2.3±0.1 <sup>b</sup>	2.0±0.2 <sup>ab</sup>
丙氨酸 Ala	285.5±25.6	292.1±15.1	290.3±12.7	309.2±29.4	297.6±16.0	284.1±19.8
谷氨酸 Glu	22.5±2.0 <sup>a</sup>	22.8±0.5 <sup>a</sup>	21.7±0.3 <sup>a</sup>	23.8±1.2 <sup>ab</sup>	26.1±2.0 <sup>b</sup>	24.0±2.0 <sup>ab</sup>
谷氨酰胺 Gln	222.5±28.4	248.9±18.2	233.7±24.9	250.4±13.3	248.3±26.1	245.1±13.0
酪氨酸 Tyr	20.9±0.7	18.4±1.8	18.4±1.2	18.4±0.9	20.0±2.9	19.0±1.5
脯氨酸 Pro	76.4±4.6 <sup>a</sup>	81.3±3.1 <sup>ab</sup>	76.1±4.8 <sup>a</sup>	84.0±1.8 <sup>b</sup>	85.8±4.7 <sup>b</sup>	82.1±3.4 <sup>ab</sup>
色氨酸 Try	22.8±2.4 <sup>a</sup>	23.6±2.0 <sup>a</sup>	24.6±1.0 <sup>a</sup>	24.1±2.9 <sup>a</sup>	29.6±2.7 <sup>b</sup>	25.0±2.5 <sup>a</sup>
丝氨酸 Ser	50.3±5.0 <sup>a</sup>	59.9±5.6 <sup>c</sup>	51.4±2.5 <sup>ab</sup>	59.4±2.0 <sup>c</sup>	60.1±5.9 <sup>c</sup>	58.3±2.5 <sup>bc</sup>
天冬氨酸 Asp	11.5±2.2	11.7±0.4	11.9±1.6	11.4±1.5	12.5±1.7	12.4±1.7
天冬酰胺 Asn	0.4±0.1	0.3±0.1	0.3±0.1	0.3±0.1	0.4±0.1	0.3±0.1
呈味氨基酸 DAA	446.3±34.3 <sup>a</sup>	467.7±20.7 <sup>ab</sup>	451.4±12.0 <sup>a</sup>	487.7±31.2 <sup>b</sup>	482.1±20.8 <sup>b</sup>	460.9±19.4 <sup>ab</sup>
总氨基酸 TAA	1 230.2±89.4 <sup>a</sup>	1 297.1±20.7 <sup>ab</sup>	1 241.2±70.4 <sup>ab</sup>	1 333.7±69.5 <sup>b</sup>	1 354.6±62.4 <sup>b</sup>	1 284.7±11.9 <sup>ab</sup>

## 2.5 肌肉脂肪酸组成

由表7可知,当添加0.5 g/kg儿茶素时,肌肉C20:5和n-3不饱和脂肪酸含量显著高于对照组

( $P<0.05$ )。各组在肌肉饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、n-6多不饱和脂肪酸含量以及二十二碳六烯酸/二十碳五烯酸上无显著差异( $P>0.05$ )。

表7 儿茶素对草鱼肌肉脂肪酸组成的影响(占总脂肪酸的百分比)

Table 7 Effects of catechin on muscle fatty acid composition of grass carp (percentage of total fatty acids) %

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
C14:0	0.63±0.03	0.59±0.02	0.63±0.01	0.63±0.07	0.62±0.01	0.64±0.09
C16:0	16.81±0.55	16.18±0.25	16.01±0.38	16.56±0.65	16.34±0.18	16.68±0.75
C18:0	5.71±0.30 <sup>b</sup>	5.39±0.11 <sup>ab</sup>	5.29±0.02 <sup>a</sup>	5.52±0.10 <sup>ab</sup>	5.52±0.12 <sup>ab</sup>	5.71±0.30 <sup>b</sup>
C22:0	0.59±0.03 <sup>b</sup>	0.57±0.03 <sup>b</sup>	0.58±0.01 <sup>b</sup>	0.56±0.02 <sup>ab</sup>	0.53±0.02 <sup>a</sup>	0.55±0.03 <sup>ab</sup>
饱和脂肪酸 SFA	23.73±0.82	22.73±0.25	22.50±0.35	23.28±0.74	23.01±0.28	23.59±1.16
C16:1	2.27±0.30	2.25±0.05	2.40±0.02	2.44±0.39	2.35±0.18	2.42±0.21
C18:1	29.44±0.96	28.78±0.61	29.46±1.05	29.52±1.91	29.35±0.12	29.77±1.42
单不饱和脂肪酸 MUFA	31.71±1.23	31.03±0.56	31.86±1.03	31.97±2.29	31.70±0.28	32.19±1.58
C18:2	18.46±0.51	18.73±0.73	18.26±0.85	18.27±0.64	18.39±0.43	18.25±0.96
C20:2	0.87±0.08	0.92±0.12	0.83±0.06	0.84±0.05	0.84±0.07	0.89±0.10
C20:3	1.33±0.13	1.37±0.01	1.20±0.03	1.32±0.15	1.25±0.08	1.34±0.04
C20:4	5.36±0.59 <sup>ab</sup>	5.43±0.20 <sup>ab</sup>	4.78±0.33 <sup>a</sup>	5.39±0.24 <sup>ab</sup>	4.84±0.37 <sup>a</sup>	5.69±0.12 <sup>b</sup>
n-6多不饱和脂肪酸 n-6PUFA	26.02±1.29	26.45±0.71	25.07±0.56	25.82±0.78	25.32±0.82	26.17±1.13
C18:3	1.63±0.20	1.75±0.20	1.77±0.20	1.82±0.32	1.82±0.26	1.82±0.12
C20:5	0.48±0.02 <sup>ab</sup>	0.49±0.06 <sup>ab</sup>	0.45±0.05 <sup>a</sup>	0.54±0.03 <sup>b</sup>	0.46±0.03 <sup>ab</sup>	0.49±0.06 <sup>ab</sup>
C22:6	3.56±0.17	3.89±0.16	3.80±0.28	3.98±0.31	3.81±0.11	3.77±0.35
n-3多不饱和脂肪酸 n-3PUFA	5.67±0.35 <sup>a</sup>	6.13±0.12 <sup>ab</sup>	6.03±0.16 <sup>ab</sup>	6.34±0.19 <sup>b</sup>	6.09±0.24 <sup>ab</sup>	6.08±0.29 <sup>ab</sup>
二十二碳六烯酸/二十碳五烯酸 DHA/EPA	7.42±0.64	7.94±0.67	8.45±0.27	7.38±0.30	8.30±0.62	7.76±0.78

## 2.6 肌肉质构特性

由表8可知,各组间肌肉硬度、弹性、咀嚼性、黏聚性、胶着性、回复性均无显著差异( $P>0.05$ )。

## 2.7 肌肉系水力

由表9可知,各组在肌肉离心失水率、冷冻失

水率和蒸失水率上均无显著差异( $P>0.05$ )。

## 2.8 肌纤维密度与直径

由表10和图1可知,各组在肌纤维密度和直径上均无显著差异( $P>0.05$ )。

表8 儿茶素对草鱼肌肉质构特性的影响

Table 8 Effects of catechin on flesh texture characteristics of grass carp

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
硬度 Hardness/gf	342.0±34.7	323.3±27.8	316.4±22.7	348.4±29.7	336.0±17.0	331.2±35.1
弹性 Springiness	0.55±0.04	0.55±0.03	0.55±0.06	0.58±0.05	0.58±0.05	0.57±0.05
咀嚼性 Chewiness/gf	116.9±16.6	115.2±11.0	119.9±17.4	118.7±13.1	122.6±14.7	116.4±10.0
黏聚性 Cohesiveness/gf	0.59±0.05	0.61±0.02	0.60±0.05	0.64±0.03	0.62±0.05	0.62±0.03
胶着性 Gumminess	211.9±22.5	206.3±8.8	207.7±26.8	215.5±15.7	205.2±23.4	209.9±17.4
回复性 Resilience	1.02±0.09	1.04±0.09	1.07±0.10	1.06±0.04	1.08±0.09	1.11±0.07

表 9 儿茶素对草鱼肌肉系水力的影响

Table 9 Effects of catechin on flesh water-holding capacity of grass carp

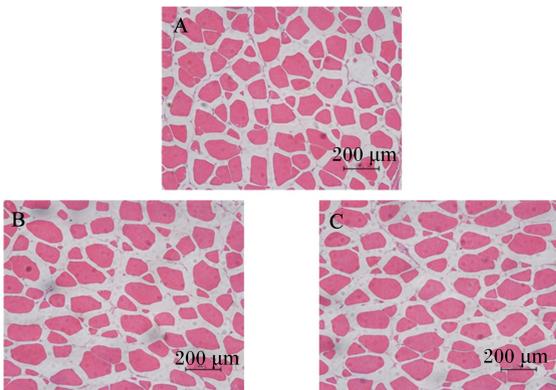
%

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
离心失水率 Centrifugal loss	18.6±1.9	18.8±2.3	18.9±2.1	18.6±2.1	18.5±2.2	18.4±2.3
冷冻失水率 Thawing loss	7.2±1.0	7.3±1.3	7.5±1.2	7.2±1.3	7.3±1.2	7.2±1.2
蒸失水率 Steaming loss	27.9±1.8	26.5±1.9	26.0±2.5	26.5±2.5	26.5±2.8	27.1±2.1

表 10 儿茶素对草鱼肌纤维密度与直径的影响

Table 10 Effects of catechin on muscle fibre density and diameter of grass carp

项目 Items	儿茶素添加量 Catechin addition/(g/kg)					
	0(对照 Control)	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
肌纤维密度 Muscle fibre density/(cell/mm <sup>2</sup> )	201.5±17.2	205.3±13.1	204.8±9.8	199.3±18.4	204.3±15.5	205.3±14.5
肌纤维直径 Muscle fibre diameter/ $\mu$ m	79.5±5.2	78.8±5.0	78.9±3.8	79.9±7.2	79.0±6.0	78.8±5.6



A、B、C 分别是对照组、0.5 g/kg 组和 0.9 g/kg 组。A, B and C represent the control, 0.5 and 0.9 g/kg groups, respectively.

图 1 不同儿茶素添加量下草鱼的肌肉组织切片

Fig.1 Muscle histology of grass carp fed diets with different catechin addition (200 $\times$ )

### 3 讨论

#### 3.1 儿茶素对草鱼生长性能的影响

目前,关于儿茶素对养殖动物生长性能的研究很少。曾亮等<sup>[13]</sup>在鸭的饲料中添加 400 和 1 000 mg/kg 的儿茶素,对鸭增重无显著影响。本试验中,添加 100~900 mg/kg 的儿茶素对草鱼的增重率和饲料系数均无显著影响。然而,关于茶多酚的研究表明,在饲料中添加 166 mg/kg 茶多酚能显著提高罗非鱼增重率(+16.99%)<sup>[14]</sup>,在饲

料中添加 50 mg/kg 茶多酚可显著提高异育银鲫的增重率(+10.22%),降低饲料系数(-6.38%)<sup>[15]</sup>。可见,茶多酚能够促进鱼类生长,而作为茶多酚主要成分的儿茶素,对草鱼的生长无显著影响。因此,我们推测儿茶素可能不是茶多酚促生长效应的主要活性成分。本次研究的结果也可能与养殖环境及条件等诸多因素有关,一次试验并不能进行定性,后续我们还要进行多次的验证试验。

本试验中,儿茶素的添加虽然没有促进草鱼的生长,但却增加了其肥满度(0.5、0.7 和 0.9 g/kg 组)。肥满度能反映鱼体的营养健康情况和对外界环境的适应能力,同时也与鱼体含肉量的多少有一定的联系。肥满度过低或过高即鱼体偏瘦或偏胖对鱼类的生长都有负面的影响<sup>[16]</sup>。

#### 3.2 儿茶素对草鱼血清抗氧化指标的影响

本试验主要测定了反映抗氧化能力的几种酶的活性,包括 AKP、SOD、CAT 及 MDA 含量。AKP 能破坏并清除入侵体内的异物,在吞噬细胞杀菌的过程中起到重要作用<sup>[17]</sup>;SOD 是一类广泛分布于组织细胞内的金属酶,能使超氧阴离子发生歧化反应,平衡氧自由基;MDA 是脂质过氧化的产物,其含量可反映机体内脂质过氧化的程度和组织氧化损伤情况<sup>[18]</sup>;CAT 是机体重要的抗氧化因子,能够加速细胞内因氧化产生的过氧化氢分解,防止过氧化。用他莫昔芬处理小鼠线粒体,导致其脂质过氧化物(LPO)、蛋白质羰基化合物

(PC)和超氧化物自由基含量显著增加,然而用40 mg/kg的儿茶素进行预处理,LPO、PC和超氧化物自由基的含量均显著降低,体现了儿茶素对他莫昔芬诱导的氧化损伤的抑制作用<sup>[19]</sup>;在横纹肌溶解诱导的肌红蛋白尿性急性肾衰竭试验中,给小鼠每天注射40 mg/kg的儿茶素,4 d后小鼠血液SOD、CAT、谷胱甘肽还原酶的活性显著提高,MDA含量显著降低<sup>[20]</sup>。本试验中,0.5、0.7和0.9 g/kg儿茶素显著提高了草鱼血清SOD活性,降低了MDA含量,表明儿茶素提高了草鱼的抗氧化能力。

作为茶多酚的主要活性成分,儿茶素的抗氧化机制应与茶多酚相似。通常认为,茶多酚发挥抗氧化作用的主要机制有:1)抑制自由基的产生,主要的途径是抑制参与自由基生成的酶活性和与诱导氧化的过渡金属离子络合;2)直接清除自由基,主要是茶多酚作为预防性抗氧化剂和链阻式抗氧化剂来发挥作用;3)激活自由基的清除体系,主要是激活抗氧化酶和再生体内抗氧化剂<sup>[21]</sup>。本试验中,血清SOD活性显著提高,表明儿茶素激活了自由基的清除体系,提高了机体抗氧化酶的含量,而血清MDA含量的降低可能是儿茶素发挥抗氧化能力,抑制了自由基的产生或者直接清除了自由基,也可能是SOD活性的增加使清除自由基的能力增强。

本试验表明,儿茶素能够通过激活SOD来实现其抗氧化作用,但同样作为主要的抗氧化酶,CAT活性却没有发生改变。这可能是机体的抗氧化系统内存在着某些动态平衡,一种酶被激活,另一种酶被抑制或对其未发生作用,这几种主要的抗氧化酶活性不一定同时增加<sup>[22]</sup>。

### 3.3 儿茶素对草鱼肌肉品质的影响

Tang等<sup>[23]</sup>在鳕鱼(*Gadus*)和鲭鱼(*Pneumatophorus japonicus*)肌肉中加入300 mg/kg的儿茶素,显著降低了放置10 d后的脂质氧化程度(MDA含量);以添加2 000、3 000、4 000 mg/kg儿茶素的粗饲料饲喂山羊60 d,显著升高了血浆总抗氧化能力,降低了屠宰后肌肉氧化程度、滴水损失、肌内脂肪含量,增加了总血红素含量,说明添加适量的儿茶素可以抑制脂质氧化,提高肌肉品质<sup>[24]</sup>。

鱼肉的风味与游离氨基酸、核苷酸等含量有关,特别是几种鲜味氨基酸(包括谷氨酸、天冬氨

酸、脯氨酸、丝氨酸、丙氨酸)<sup>[25]</sup>。脂肪酸也是鱼类肉质评定的重要指标,因为鱼类是长链多不饱和脂肪酸的主要来源(二十二碳六烯酸、二十碳五烯酸等),可以为人类提供必需脂肪酸<sup>[26]</sup>。本试验表明,添加0.5和0.7 g/kg儿茶素显著提高了肌肉的总游离氨基酸和呈味氨基酸含量,添加0.5 g/kg儿茶素显著提高C20:5和n-3不饱和脂肪酸的含量,从而提高了草鱼肌肉的风味和营养价值。然而Kalafová等<sup>[27]</sup>给成年雌兔注射表儿茶素10 μg/kg(每周3次,30 d),发现肌肉游离氨基酸和脂肪酸含量均与对照组无显著差异。出现不同的结果,可能是试验对象不同或者用药方法的差异造成的。具体机制有待于进一步研究。

胶原蛋白是结缔组织的主要蛋白,能够维持肌肉韧性和完整性,提高肌肉品质<sup>[28]</sup>。硬度也是评价肌肉品质的一个重要质构特性。一些研究表明,肌肉的硬度与胶原蛋白含量呈正相关,即胶原蛋白含量越高肌肉硬度越大<sup>[29]</sup>。在本试验中,添加0.7和0.9 g/kg儿茶素显著提高了肌肉胶原蛋白含量,但肌肉硬度却没有发生变化,可能是影响肌肉硬度的因素除了胶原蛋白外,还有其他更重要的因素,如脂肪的含量等。水分流失会带走一定的营养成分,因此失水率是衡量肌肉营养价值和多汁性的重要指标<sup>[30]</sup>。质构特性、肌纤维直径和密度与肌肉嫩度有关,也是评价肌肉品质的重要指标。本试验中,添加儿茶素对草鱼肌肉质构特性、系水力、肌肉组织学和肌肉常规成分含量均无显著影响,可能是鱼体规格较小,养殖周期仅有60 d,尚不足以改变这些指标。

## 4 结论

本试验结果表明,在饲料中添加儿茶素可提高草鱼的肥满度,提高血清SOD活性,降低血清MDA含量,提高肌肉游离氨基酸、脂肪酸和胶原蛋白含量;草鱼饲料中儿茶素的建议添加量为0.5~0.7 g/kg。

### 参考文献:

- [1] BORS W, HELLER W, MICHEL C, et al. Flavonoids as antioxidants; determination of radical-scavenging efficiencies [J]. *Methods in Enzymology*, 1990, 186: 343-355.
- [2] HERTOOG M G L, KROUMHOUT D, ARAVANIS C,

- et al. Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the Seven Countries Study [J]. *Archives of Internal Medicine*, 1995, 155 (4): 381–386.
- [ 3 ] KELI S O, HERTO G M G L, FESKENS E J M, et al. Dietary flavonoids, antioxidant vitamins, and incidence of stroke: the Zutphen study [J]. *Archives of Internal Medicine*, 1996, 156 (6): 637–642.
- [ 4 ] JEON S E, CHOI-KWON S, PARK K A, et al. Dietary supplementation of (+)-catechin protects against UVB-induced skin damage by modulating antioxidant enzyme activities [J]. *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine*, 2003, 19 (5): 235–241.
- [ 5 ] KALENDER S, KALENDER Y, ATES A, et al. Protective role of antioxidant vitamin E and catechin on idarubicin-induced cardiotoxicity in rats [J]. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 2002, 35 (11): 1379–1387.
- [ 6 ] CHAN P, CHENG J T, TSAI J C, et al. Effect of catechin on the activity and gene expression of superoxide dismutase in cultured rat brain astrocytes [J]. *Neuroscience Letters*, 2002, 328 (3): 281–284.
- [ 7 ] O' GRADY M N, MAHER M, TROY D J, et al. An assessment of dietary supplementation with tea catechins and rosemary extract on the quality of fresh beef [J]. *Meat Science*, 2006, 73 (1): 132–143.
- [ 8 ] 梁高杨, 李小勤, 杨航, 等. 茶多酚对奥尼罗非鱼生长、消化功能、免疫性能和抗病力的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30 (8): 3199–3207.
- [ 9 ] 龙萌, 侯杰, 苏玉晶, 等. 酵母硒和茶多酚对团头鲂幼鱼生长和生长轴基因表达、营养品质及抗病力的影响 [J]. *水产学报*, 2015, 39 (1): 97–107.
- [ 10 ] 徐奇友, 李婵, 许红, 等. 茶多酚对虹鳟生长性能、生化指标和非特异性免疫指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2008, 20 (5): 547–553.
- [ 11 ] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* [M]. 16th ed. Washington, D. C.: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [ 12 ] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* [M]. 17th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- [ 13 ] 曾亮, 刘仲华, 贺建华, 等. 儿茶素对肉鸭生产性能与屠宰性能及血液生化指标的影响 [J]. *湖南农业大学学报 (自然科学版)*, 2007, 33 (3): 314–318.
- [ 14 ] 刘振兴, 柯浩, 郝乐, 等. 茶多酚对罗非鱼生长性能、抗氧化功能和非特异免疫指标的影响 [J]. *广东农业科学*, 2012, 39 (23): 113–115.
- [ 15 ] 辜玲芳. 植物提取物对异育银鲫生长性能、蛋白质合成及肝脏形态结构的影响 [D]. 博士学位论文. 武汉: 武汉工业学院, 2008.
- [ 16 ] 张亮, 郑爱荣, 王彦华. 苜蓿草粉对黄河鲤鱼肌肉营养成分及其肥满度的影响 [J]. *现代牧业*, 2017, 1 (4): 14–17.
- [ 17 ] KONG X H, WANG S P, JIANG H X, et al. Responses of acid/alkaline phosphatase, lysozyme, and catalase activities and lipid peroxidation to mercury exposure during the embryonic development of goldfish *Carassius auratus* [J]. *Aquatic Toxicology*, 2012, 120–121: 119–125.
- [ 18 ] MILLER A F. Superoxide dismutases: active sites that save, but a protein that kills [J]. *Current Opinion in Chemical Biology*, 2004, 8 (2): 162–168.
- [ 19 ] TABASSUM H, PARVEZ S, REHMAN H, et al. Catechin as an antioxidant in liver mitochondrial toxicity: inhibition of tamoxifen-induced protein oxidation and lipid peroxidation [J]. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 2007, 21 (3): 110–117.
- [ 20 ] CHANDER V, SINGH D, CHOPRA K. Catechin, a natural antioxidant protects against rhabdomyolysis-induced myoglobinuric acute renal failure [J]. *Pharmacological Research*, 2003, 48 (5): 503–509.
- [ 21 ] 曾亮. 儿茶素对鸭肉保鲜和对肉鸭生长的影响及其机理研究 [D]. 博士学位论文. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- [ 22 ] 王文彪, 和翀翼, 王爽, 等. 儿茶中儿茶素对肉鸭血清抗氧化指标影响的试验研究 [J]. *中兽医学杂志*, 2014 (4): 7–9.
- [ 23 ] TANG S, SHEEHAN D, BUCKLEY D J, et al. Antioxidant activity of added tea catechins on lipid oxidation of raw minced red meat, poultry and fish muscle [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 36 (6): 685–692.
- [ 24 ] ZHONG R Z, TAN C Y, HAN X F, et al. Effect of dietary tea catechins supplementation in goats on the quality of meat kept under refrigeration [J]. *Small Ruminant Research*, 2009, 87 (1/2/3): 122–125.
- [ 25 ] RUIZ-CAPILLAS C, MORAL A. Free amino acids in muscle of Norway lobster (*Nephrops norvegicus* L.) in controlled and modified atmospheres during chilled storage [J]. *Food Chemistry*, 2004, 86 (1): 85–91.
- [ 26 ] XU H G, CAO L, WEI Y L, et al. Lipid contents in

- farmed fish are influenced by dietary DHA/EPA ratio: a study with the marine flatfish, tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) [J]. *Aquaculture*, 2018, 485:183–190.
- [27] KALAFOVÁ A, BULLA J, BUČKO O, et al. Quality of meat of rabbits after application of epicatechin and patulin[J]. *Potravinárstvo*, 2015, 9(1):124–131.
- [28] BREMNER H A, HALLETT I C. Degradation in muscle fibre-connective tissue junctions in the spotted trevalla (*seriolella punctata*) examined by scanning electron microscopy[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1986, 37(10):1011–1018.
- [29] MCCORIMCK R. Extracellular modifications to muscle collagen: implications for meat quality[J]. *Poultry Science*, 1999, 78(5):785–791.
- [30] 刘旭. 鱼类肌肉品质综合研究[D]. 博士学位论文. 厦门: 厦门大学, 2007.

## Effects of Catechin on Growth Performance, Serum Anti-Oxidation Indicators and Muscle Quality of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*)

XU Zhen<sup>1,2,3</sup> YANG Hang<sup>1</sup> JIANG Weibo<sup>1</sup> LI Xiaoqin<sup>1,2,3</sup> LENG Xiangjun<sup>1,2,3\*</sup>

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition (CREEFN) of the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** To investigate the effects of catechin on the growth performance, anti-oxidation indicators and muscle quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*), a total of 360 grass carp with an initial body weight of (18.5±0.2) g were selected and randomly divided into six groups, fed six diets with 0 (control diet), 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 g/kg catechin, respectively, with three replicates per group and 20 fish per replicate. The experimental period was 60 d. The results showed as follows: 1) the weight gain and feed conversion ratio showed no significant difference among groups ( $P>0.05$ ), while the condition factor was significantly increased and serum malondialdehyde (MDA) content was significantly decreased by the addition of 0.5 and 0.7 g/kg catechin ( $P<0.05$ ). Dietary catechin significantly increased serum superoxide gasification enzyme (SOD) activity ( $P<0.05$ ) except the addition of 0.1 g/kg catechin, while alkaline phosphatase (AKP) and hydrogen peroxide dehydrogenase (CAT) activities showed no significant difference among groups ( $P>0.05$ ). 2) The inclusion of 0.5 and 0.7 g/kg catechin significantly increased the total free amino acids and the delicious free amino acids contents in muscle, and the C20:5 and polyunsaturated fatty acids (n-3PUFA) contents were also significantly increased compared with the control group ( $P<0.05$ ). 3) No significant differences were observed in muscle proximate composition, texture characteristics, water-holding capacity and muscle histology among all groups ( $P>0.05$ ), but muscle collagen content was significantly increased by the addition of 0.7 and 0.9 g/kg catechin ( $P<0.05$ ). In conclusion, dietary catechin has no significant effect on growth performance, but can improve the serum anti-oxidant ability and muscle quality of grass carp, and the recommended addition of catechin are 0.5 to 0.7 g/kg. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(2):836-846]

**Key words:** grass carp; catechin; growth performance; anti-oxidation; muscle quality