



饲料中茶多酚的添加量对团头鲂幼鱼生长、 饲料利用和抗氧化能力的影响

胡颂钦¹, 穆俏俏¹, 林艳², 缪凌鸿^{1,2*}, 刘波^{1,2}, 董在杰^{1,2*}

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心,

农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081)

摘要: 为研究饲料中添加茶多酚对团头鲂幼鱼生长性能、饲料利用和抗氧化能力的影响, 选取 240 尾初始体重为 (3.5±1.0) g 的团头鲂幼鱼, 随机分为 4 组, 每组 3 个重复, 每个重复 20 尾。实验配制了茶多酚添加量分别为 0 (对照组)、100、300 和 500 mg/kg 的等氮等能饲料, 饲喂团头鲂幼鱼 8 周后测定鱼体生长性能、肌肉组成、血液生化指标和肝肠抗氧化指标。结果显示, 摄食 300 mg/kg 茶多酚组的增重率 (WGR) 相较于对照组显著提高, 蛋白质效率 (PER) 显著高于低添加量组, 饲料系数 (FCR) 显著降低。500 mg/kg 茶多酚显著降低了鱼体肌肉粗脂肪含量。茶多酚的添加显著降低了血浆葡萄糖 (GLU) 含量, 且 300 和 500 mg/kg 茶多酚添加组团头鲂肝肠丙二醛 (MDA) 含量均显著低于无添加组。100 和 300 mg/kg 茶多酚添加组鱼体肝肠组织中还原性谷胱甘肽 (GSH) 含量显著高于对照组。此外, 300 mg/kg 茶多酚添加组鱼体肝脏的总抗氧化能力 (T-AOC) 及谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活性也显著高于对照组。养殖实验结束后, 通过腹腔注射浓度为 50% 的四氯化碳 (CCl₄) 溶液诱导急性肝应激损伤, 发现注射后 24 h, 300 和 500 mg/kg 茶多酚组存活率均显著高于 100 mg/kg 茶多酚组, 且 100 mg/kg 茶多酚添加组显著高于对照组。进一步分析注射浓度为 50% 的 CCl₄ 溶液 24 h 后鱼体肝脏抗氧化指标, 结果显示, 茶多酚的添加显著降低了急性肝损伤后团头鲂肝脏 MDA 含量, 500 mg/kg 茶多酚添加组肝脏超氧化物歧化酶 (SOD) 活性显著高于对照组, 且 300 mg/kg 茶多酚添加组肝脏 GSH 含量显著高于对照组。研究表明, 团头鲂幼鱼饲料中添加 300 mg/kg 茶多酚能有效促进团头鲂幼鱼生长和饲料利用, 提高肝肠抗氧化能力; 茶多酚添加量为 500 mg/kg 具有保护团头鲂抵抗氧化应激损伤的作用。本研究结果为茶多酚在团头鲂饲料中的研究提供依据, 为其更好地在养殖生产中的应用提供参考。

关键词: 团头鲂; 茶多酚; 生长性能; 抗氧化能力; 肝损伤

中图分类号: S 963.73

文献标志码: A

近年来, 随着集约化养殖模式的快速发展, 水产病害和环境污染已成为制约水产养殖健康可

持续发展的重要因素^[1]。抗生素具有提高水产动物繁殖成活率、缩短养殖周期、提高养殖收益等

收稿日期: 2022-10-24 修回日期: 2023-02-21

资助项目: 现代农业产业技术体系国家大宗淡水鱼产业技术体系 (CARS-45)

第一作者: 胡颂钦 (照片), 从事水产动物遗传育种与健康养殖研究, E-mail: 1353341632@qq.com

通信作者: 缪凌鸿, 从事水产动物饲料营养研究, E-mail: miaohl@ffrc.cn;

董在杰, 从事水产动物遗传育种研究, E-mail: dongzj@ffrc.cn



作用^[2]。然而抗生素的过度使用不仅对水产品质量产生了消极影响, 也对养殖环境和水域造成危害^[3]。“无抗、替抗”的绿色健康发展是当前水产养殖业的需求和发展趋势, 提高水产养殖动物的应激免疫能力, 开发具有免疫促进和营养生长功能的抗生素替代品, 是水产养殖产业发展亟需解决的难题。

茶多酚(TP)是茶叶中多酚物质的总称, 主要包含儿茶素(EC)、没食子儿茶素(EGC)和儿茶素没食子酸酯(ECG)等物质^[4], 具有抗氧化^[5]、促生长^[6]、提高免疫力^[7]、改善肌肉品质^[8]等作用。茶多酚具有多环芳烃的特殊结构, 可以提供多种活性, 以减少氧化自由基, 从而防止关键细胞成分被氧化^[9]。目前, 有关饲料中添加茶多酚对鱼类的影响已有大量研究。雷宇杰等^[10]在饲料中添加0.2~0.4 g/kg茶多酚投喂马口鱼(*Opsariichthys bidens*), 能显著提高其生长性能, 增强其抗氧化和抗病原菌感染的能力。梁高杨等^[6]研究发现, 饲料中添加茶多酚(0.2~0.4 g/kg)具有促进奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)的生长、提高鱼体免疫能力、降低嗜水气单胞菌(*Aeromonas hydrophila*)攻毒后累积死亡率的作用。有研究表明, 饲料中添加适量(50 mg/kg)茶多酚可提高青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)幼鱼脂质代谢和抗氧化能力, 若补充过量, 则会产生负面影响^[9]。

团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)又名武昌鱼, 为鲤科(Cyprinidae)鲂属(*Megalobrama*)鱼类, 是我国淡水养殖的优良品种^[11]。因生长速率快、肉质鲜美及抗病力强等优点, 消费需求不断增加, 带动其集约化养殖的迅猛发展^[12]。然而, 由于养殖密度增加和抗生素使用过度, 导致养殖污染加剧, 影响团头鲂的健康生长^[13]。本实验以团头鲂幼鱼为对象, 在饲料中分别添加不同浓度的茶多酚, 探究其对团头鲂幼鱼生长性能、肝肠抗氧化能力的影响。此外, 在饲喂8周后通过腹腔注射50%四氯化碳(CCl_4)溶液诱导急性氧化应激, 以评估茶多酚对氧化损伤的保护效果, 为其更好地在养殖生产中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

根据团头鲂的营养需求, 本实验选用鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕及棉籽浓缩蛋白为蛋白源, 豆

油为脂肪源, 制备基础饲料。在基础饲料中分别添加0、100、300和500 mg/kg茶多酚, 配制成4组等氮等能的实验饲料, 并分别命名为TP0(对照)、TP100、TP300和TP500。基础日粮组成及营养水平见表1。

1.2 实验鱼及养殖实验

实验过程中操作人员严格遵守动物福利伦理规范, 并按照中国水产科学研究院淡水渔业研究中心学术伦理委员会制定的规章制度执行。实验用鱼为团头鲂“华海1号”, 来自于国家团头鲂原良种场(湖北武汉)。养殖实验于中国水产科学研究院淡水渔业研究中心南泉实验基地开展。将体质健康、大小相近的团头鲂幼鱼暂养1周, 暂养期间饲喂基础饲料。暂养结束后, 挑选均重为(3.5±1.0) g的团头鲂幼鱼240尾, 随机分至12个可控温的循环水桶(规格为 ϕ 820 mm×700 mm)中, 分为4组, 每组3个重复, 每桶20尾鱼。每日表观饱食投喂3次, 投喂时间分别为7:00、12:00和18:00, 为期8周。养殖期间, 循环水平均水温为(26.0±1.5)°C, 溶解氧 \geq 7 mg/L, 氨氮 \leq 0.1 mg/L, 亚硝酸盐 \leq 0.1 mg/L, pH为6.8~7.0。

1.3 样本采集

为期8周的养殖实验结束后, 实验鱼禁食24 h。在每个养殖桶中用丁香油对实验鱼进行麻醉, 计数并称重, 计算生长性能指标。随后, 每个养殖桶随机取6尾, 称体重、测体长、称量内脏团和肝脏的重量。用一次性医用注射器从尾静脉抽血, 取得的血液样品置于抗凝管中, 低温静置, 离心后分离血浆, 用于血浆生化指标的测定。采血后将肝、肠快速分离, 在-80 °C冰箱内保存以检测肝、肠抗氧化酶活性。最后, 采集背部肌肉测定营养成分。

1.4 急性肝损伤实验

按照 CCl_4 与橄榄油1:1(体积比)的比例, 配制注射用50% CCl_4 溶液, 现用现配并经过超微过滤, 确保无菌。经过8周的养殖实验后, 用丁香油快速麻醉实验团头鲂, 随机从每个养殖桶中捞取12尾, 按照每100 g鱼体重腹腔注射0.5 mL 50% CCl_4 溶液, 诱导急性肝损伤。其中, 在注射 CCl_4 溶液24 h后从每个养殖桶中随机捞取3尾, 解剖采集其肝脏组织, 检测其抗氧化指标, 并制作组织切片进行病理学观察; 其余实验鱼在注射

表 1 饲料配方及营养组成

Tab. 1 Formulation and proximate composition of the diets

项目 items	组别 groups			
	TP0	TP100	TP300	TP500
饲料组成/% ingredient				
茶多酚 tea polyphenols ¹⁾	0.00	0.01	0.03	0.05
鱼粉 fishmeal ²⁾	4.00	4.00	4.00	4.00
豆粕 soybean meal ²⁾	25.00	25.00	25.00	25.00
菜粕 rapeseed meal ²⁾	18.00	18.00	18.00	18.00
棉粕 cottonseed meal ²⁾	8.00	8.00	8.00	8.00
棉籽蛋白 cottonseed protein concentrate ³⁾	4.00	4.00	4.00	4.00
小麦粉 wheat starch	18.00	18.00	18.00	18.00
米糠 rice bran	10.00	10.00	10.00	10.00
豆油 soybean oil ⁴⁾	3.00	3.00	3.00	3.00
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质预混料 mineral premix ⁵⁾	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素预混料 vitamin premix ⁵⁾	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素C vitamin C	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱 choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	4.50	4.49	4.47	4.45
膨润土 bentonite	2.00	2.00	2.00	2.00
诱食剂 attractant	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 in total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 (风干基础) nutrients composition (natural dry basis)				
水分/% moisture	10.58	9.99	10.39	10.54
粗蛋白/% crude protein	31.49	30.98	30.94	31.27
粗脂肪/% crude lipid	5.97	5.71	5.86	5.64
总能量/(kJ/kg) total energy	21.21	21.00	20.44	20.93

注: 1)由保定冀中生物技术有限公司提供; 2)由通威股份有限公司提供; 3)由金兰股份有限公司提供; 4)购买自商品福临门大豆油; 5)由无锡华诺威动物保健品有限公司提供。维生素 (IU/kg或mg/kg预混料)包括维生素A 900 000 IU, 维生素D 25 000 IU, 维生素E 4 500 mg, 维生素K₃ 220 mg, 维生素B₁ 320 mg, 维生素B₂ 1 090 mg, 维生素B₅ 2 000 mg, 维生素B₆ 5 000 mg, 维生素B₁₂ 116 mg, 泛酸 1 000 mg, 叶酸 165 mg, 胆碱 60 000 mg, 生物素 50 mg, 烟酸 2 500 mg。矿物质 (g/kg预混料)包含二磷酸钙 20 g, 氯化钠 2.6 g, 氯化钾 5 g, 硫酸镁 2 g, 硫酸亚铁 0.9 g, 硫酸锌 0.06 g, 硫酸铜 0.02 g, 硫酸锰 0.03 g, 氯化钴 0.05 g, 碘化钾 0.004 g。

Notes: 1) obtained from Baoding Jizhong Biotechnology Co., Ltd.; 2) obtained from Wuxi Tongwei feedstuffs Co., Ltd.; 3) obtained from Xinjiang Jinlan Co., Ltd.; 4) purchased from commodity Fulinmen soybean oil. 5) provided by Wuxi Hanove Animal Health Products Co., Ltd.; vitamins (IU/kg or mg/kg of premix), contain vitamin A 900 000 IU, vitamin D 25 000 IU, vitamin E 4 500 mg, vitamin K₃ 220 mg, vitamin B₁ 320 mg, vitamin B₂ 1 090 mg, vitamin B₅ 2 000 mg, vitamin B₆ 5 000 mg, vitamin B₁₂ 116 mg, pantothenic acid 1 000 mg, folic acid 165 mg, choline 60 000 mg, biotin 50 mg, niacin 2 500 mg. Mineral premix composition (g/kg of premix), calcium diphosphate 20 g, sodium chloride 2.6 g, potassium chloride 5 g, magnesium sulfate 2 g, ferrous sulfate 0.9 g, zinc sulfate 0.06 g, cupric sulfate 0.02 g, manganese sulfate 0.03 g, cobalt chloride 0.05 g, potassium iodide 0.004 g.

后 6、9、12 和 24 h 记录死亡数。

1.5 指标测定

肌肉常规营养成分测定 肌肉常规营养成分参照国标规定的方法进行测定, 采用常压干燥法 (GB/T 6435—2014) 计算干物质含量; 采用凯氏定氮法 (GB/T 6432—2018) 测定粗蛋白质含量; 采用索氏抽提法 (GB/T 6433—2006) 测定粗脂肪含量; 采用马弗炉 550℃ 灼烧法测定粗灰分含量 (GB/T 6438—2007)。

生长指标 生长性能指标按以下公式进行计算:

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

$$\text{特定生长率 (SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%$$

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

$$\text{蛋白质效率 (PER, \%)} = (W_t - W_0) / (F \times P_t) \times 100\%$$

$$\text{肝体比 (HSI, \%)} = (G_1 / W_t) \times 100\%$$

$$\text{脏体比 (VSI, \%)} = (G_2 / W_t) \times 100\%$$

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

式中, W_0 为初始均重 (g); W_t 为终末均重 (g); t 为饲喂天数 (d); F 为每尾鱼平均摄食饲料总量 (风干基础) (g); G_1 为终末鱼肝脏重; G_2 为终末内脏团重; W 为鱼体重 (g); L 为鱼体长 (cm); P_m 为肌肉粗蛋白含量 (%); P_f 为饲料粗蛋白含量 (%)。

血浆生化参数测定 采用深圳迈瑞全自动生化分析仪 (BS-400 Q2080, 中国) 测定血浆血糖 (GLU)、胆固醇 (TC) 和甘油三酯 (TG) 含量, 所用的试剂盒均购自深圳迈瑞科技有限公司。

抗氧化酶活性测定 将肝脏、肠道样品与无菌生理盐水按质量体积比 1 : 9 浓度匀浆后, 在 4 °C、4 000 r/min 下离心 10 min, 收集上清液制备 10% 组织匀浆液, 用于肝脏、肠道抗氧化指标测定。总抗氧化能力 (T-AOC)、过氧化氢酶活性 (CAT)、超氧化物歧化酶活性 (SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶活性 (GSH-Px)、还原性谷胱甘肽含量 (GSH) 和丙二醛含量 (MDA), 均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒, 具体测定方法参照试剂盒说明书。

组织切片制作与观察 制作常规石蜡切片后, 采用 Masson 染色法, 按照试剂盒说明进行染色, 在普通光学显微镜下观察。

1.6 数据分析

实验数据用 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析并进行方差齐性检验, 采用 Duncan 氏法进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著, $P > 0.05$ 为差异不

显著。结果均以平均值±标准误表示。

2 结果

2.1 饲料中添加茶多酚对团头鲂幼鱼生长和形体指标的影响

8 周养殖实验期间, 各组团头鲂摄食正常, 无疾病和死亡现象, 各组生长性能、饲料利用效率和个体指数如表 2 所示。养殖实验结束, 对照组鱼体 FBW 低于茶多酚添加组, 且与 TP300 和 TP500 组差异显著 ($P < 0.05$)。TP300 和 TP500 组的 WGR 显著高于对照组 ($P < 0.05$), 且 TP300 组 SGR 最高, 与 TP100 组差异显著 ($P < 0.05$)。从饲料利用率来看, 摄食 TP300 和 TP500 组饲料团头鲂幼鱼的 FCR 显著低于对照组和 TP100 组, 而 PER 显著升高 ($P < 0.05$)。从形体指标上看, 各组团头鲂幼鱼的 CF 和 HSI 无显著差异 ($P > 0.05$), 而 TP500 组团头鲂 VSI 显著高于对照组和 TP100 组 ($P < 0.05$)。

2.2 饲料中添加茶多酚对团头鲂幼鱼肌肉成分的影响

团头鲂幼鱼肌肉脂肪含量随着饲料中茶多酚添加量的增加而降低。与对照组相比, TP500 组肌肉中粗脂肪含量显著降低 ($P < 0.05$)。各组肌肉中水分、粗蛋白、粗灰分含量组间差异不显著 ($P > 0.05$) (表 3)。

表 2 饲料中添加茶多酚对团头鲂幼鱼生长和形体指标的影响

Tab. 2 Effects of dietary tea polyphenols on growth and body parameters of *M. amblycephala*

指标 parameters	组别 groups			
	TP0	TP100	TP300	TP500
生长和饲料利用 growth and feed utilization				
初始均重/g IBW	3.90±0.16	4.06±0.16	3.72±0.14	3.83±0.04
终末均重/g FBW	14.42±0.32 ^a	14.69±0.62 ^{ab}	15.86±0.31 ^b	15.82±0.10 ^b
增重率/% WGR	270.53±12.72 ^a	261.86±6.81 ^a	326.53±7.59 ^b	313.20±4.99 ^b
特定增长率/(%/d) SGR	2.28±0.14 ^{ab}	2.22±0.08 ^a	2.61±0.10 ^b	2.54±0.06 ^{ab}
饲料系数 FCR	1.79±0.03 ^b	1.84±0.05 ^b	1.47±0.01 ^a	1.54±0.04 ^a
蛋白质效率/% PER	159.74±2.73 ^a	158.26±4.32 ^a	197.41±1.97 ^b	186.78±4.15 ^b
个体指数 body index				
饱满度/(g/cm ³) CF	2.42±0.04	2.39±0.07	2.36±0.05	2.33±0.03
肝体比/% HSI	1.59±0.15	1.84±0.06	1.73±0.09	1.70±0.08
脏体比/% VSI	11.96±0.45 ^a	12.44±0.31 ^a	13.11±0.42 ^{ab}	13.92±0.44 ^b

注: IBW. 初始均重, FBW. 终末均重。同行不同上标字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Notes: IBW. initial body weight, FBW. final body weight. The different superscript letters in the same row indicate significant differences in comparison ($P < 0.05$), the same below.

表 3 饲料中添加茶多酚对团头鲂幼鱼肌肉成分的影响

Tab. 3 Effects of dietary tea polyphenols on muscle composition of *M. amblycephala* %

指标 (鲜样) parameters (fresh)	组别 groups			
	TP0	TP100	TP300	TP500
水分 moisture	78.61±0.19	78.85±0.28	78.91±0.24	78.91±0.49
粗蛋白质 crude protein	18.63±0.07	18.43±0.27	18.06±0.15	18.25±0.60
粗脂肪 crude lipid	1.75±0.02 ^b	1.83±0.08 ^b	1.66±0.04 ^b	1.45±0.07 ^a
粗灰分 crude ash	1.27±0.04	1.10±0.06	1.21±0.52	1.03±0.08

2.3 饲料中添加茶多酚对团头鲂幼鱼肝脏、肠道抗氧化能力的影响

饲料中添加不同含量茶多酚对团头鲂幼鱼血浆生理和肝肠抗氧化指标的影响如表 4 所示。从血浆生理指标来看, 连续饲养 8 周后, 茶多酚添加组血浆中的 GLU 含量均显著低于对照组 ($P < 0.05$), 而各组团头鲂幼鱼血浆中的 TG、TC 含量无显著差异 ($P > 0.05$)。

从肝脏抗氧化指标来看, 摄食 TP300 和 TP500 饲料 8 周后, 团头鲂幼鱼肝脏中 MDA 含量显著降低, 并与对照组有显著差异 ($P < 0.05$)。肝脏 T-AOC、GSH 和 GSH-Px 水平随着饲料中茶多酚的添加量增加呈先升高后降低的趋势, 其中 TP300 组鱼体肝脏 T-AOC 水平最高, 并与对照组差异显著 ($P < 0.05$); 而 TP100 组 GSH 和 GSH-Px 水平最

高, 显著高于对照组 ($P < 0.05$), 与 TP300 和 TP500 组差异不显著 ($P > 0.05$)。同样的, 肠道 MDA 含量随着饲料中茶多酚添加量的增加而降低, 且 TP300 和 TP500 组 MDA 含量显著低于对照组 ($P < 0.05$)。TP100 和 TP300 组肠道中 GSH 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。团头鲂幼鱼肝脏和肠道中 SOD 和 CAT 活性均不受饲料中茶多酚添加量的影响 ($P > 0.05$)。

2.4 饲料中添加茶多酚对急性肝损伤后团头鲂幼鱼的保护作用

饲料中添加茶多酚对急性肝损伤后团头鲂幼鱼存活率的影响 养殖 8 周后, 对团头鲂幼鱼腹腔注射 50% CCl₄ 溶液诱导急性肝损伤, 在注射后 24 h 内观察到鱼体死亡情况并记录统计, 注射 24 h 后鱼体稳定无死亡 (图 1)。具体来说, 注

表 4 饲料中添加茶多酚对团头鲂幼鱼血浆生化和肝肠抗氧化指标的影响

Tab. 4 Effect of dietary tea polyphenols on the plasma biochemistry, antioxidant capacity in liver and intestine of *M. amblycephala*

指标 parameters	组别 groups			
	TP0	TP100	TP300	TP500
血浆生化 plasma biochemistry				
葡萄糖/(mmol/L) GLU	18.97±1.17 ^b	15.99±1.37 ^a	14.69±0.76 ^a	15.82±0.59 ^a
甘油三酯/(mmol/L) TG	5.76±0.33	6.12±0.53	6.67±0.49	5.73±0.56
总胆固醇/(mmol/L) TC	5.32±0.22	5.66±0.17	5.44±0.11	5.18±0.13
肝脏抗氧化能力 hepatic antioxidant capability				
总抗氧化能力/(U/mg prot) T-AOC	0.26±0.06 ^a	0.35±0.06 ^{ab}	0.42±0.02 ^b	0.32±0.04 ^{ab}
超氧化物歧化酶/(U/mg prot) SOD	159.23±3.92	172.74±9.21	159.64±6.76	161.40±5.88
过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	33.17±1.46	34.36±2.26	32.15±1.89	31.82±1.54
谷胱甘肽/(mg/g prot) GSH	16.26±0.69 ^a	21.58±0.98 ^b	19.78±0.98 ^b	18.38±1.44 ^{ab}
谷胱甘肽过氧化物酶/(U/mg prot) GSH-Px	129.01±5.52 ^a	154.94±8.22 ^b	152.63±3.27 ^b	140.86±6.64 ^{ab}
丙二醛/(nmol/mg prot) MDA	1.88±0.16 ^b	1.52±0.20 ^{ab}	1.28±0.18 ^a	1.21±0.11 ^a
肠道抗氧化能力 intestinal antioxidant capability				
超氧化物歧化酶/(U/mg prot) SOD	76.94±3.28	75.21±3.63	83.49±7.05	83.44±5.68
过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	27.75±1.41	27.28±1.28	26.56±1.52	27.97±1.67
谷胱甘肽/(mg/g prot) GSH	11.10±0.53 ^a	13.64±0.73 ^b	13.58±0.73 ^b	12.37±0.72 ^{ab}
丙二醛/(nmol/mg prot) MDA	0.97±0.10 ^b	0.77±0.09 ^{ab}	0.71±0.06 ^a	0.53±0.07 ^a

射 6、9、12 和 24 h 后, 饲料中茶多酚添加量越高其存活率越高, TP300 和 TP500 组存活率均高于 TP100 组, 且 TP100 组显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

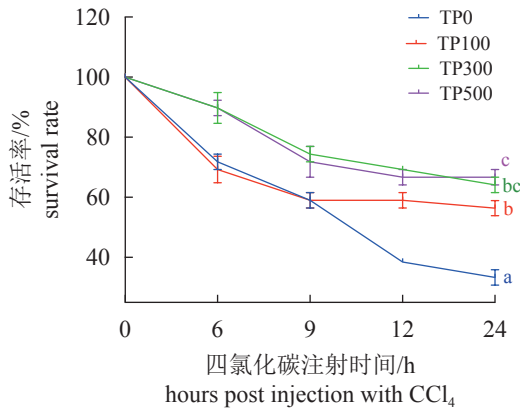


图 1 饲料中添加茶多酚对急性肝损伤后团头鲂幼鱼存活率的影响

不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Fig. 1 Effect of dietary tea polyphenols on the survival rate of *M. amblycephala* after CCl_4 injection

Different letters indicate significant differences in comparison ($P < 0.05$), the same below.

饲料中添加茶多酚对急性肝损伤后团头鲂幼鱼肝脏抗氧化能力的影响 饲料中添加不同水平茶多酚均可显著降低急性损伤后团头鲂幼鱼肝脏 MDA 含量 ($P < 0.05$)。饲料中添加 500 mg/kg 茶多酚可显著提高急性损伤后团头鲂幼鱼肝脏 SOD 活性 ($P < 0.05$); 添加 300 mg/kg 茶多酚可提高急性损伤后肝脏 GSH 含量, 显著高于对照组和 TP100 组 ($P < 0.05$), 与 TP500 组无显著差异 ($P > 0.05$) (表 5)。

饲料中添加茶多酚对急性肝损伤后团头鲂幼鱼肝脏纤维化程度的影响 图版为急性肝损伤 24 h 团头鲂幼鱼肝脏组织 Masson 染色结果。TP0 组肝脏组织胶原纤维增生较多, 并在多处形成不

完全纤维间隔, 细胞间也可见胶原纤维。随着饲料中茶多酚的添加, 肝脏组织胶原纤维沉积有所减轻, 与 TP0 组相比, TP500 组肝脏组织的胶原纤维明显减少。利用 Image J 软件对各组团头鲂幼鱼肝脏切片中呈蓝色区域的相对面积进行统计学分析, 发现随着饲料中茶多酚的添加, 团头鲂幼鱼肝脏抗氧化损伤的能力增强, TP500 饲料显著降低了 24 h 团头鲂幼鱼肝脏纤维化程度 ($P < 0.05$), 但与 TP300 组间无显著差异 ($P > 0.05$) (图 2)。

3 讨论

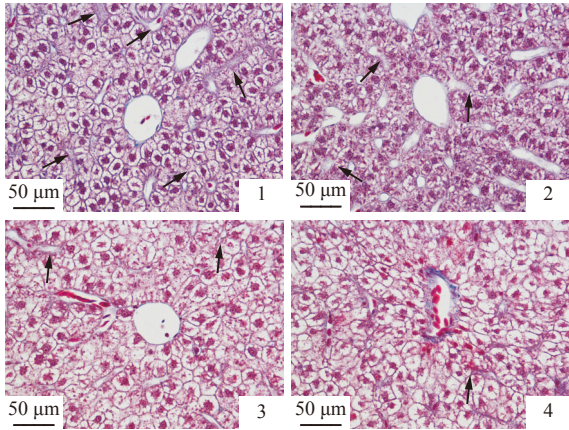
3.1 饲料中添加茶多酚对团头鲂幼鱼生长、生理和肝肠抗氧化功能的影响

近年来, 水产上对于茶多酚的研究越来越多。研究发现, 在饲料中添加 0.01%~0.02% 茶多酚, 大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼的增重率得到显著提升^[5]。饲料中添加 166 mg/kg 茶多酚, 使尼罗罗非鱼 (*O. niloticus*) 增重率和特定生长率显著提高, 然而添加茶多酚达到 333 mg/kg 时, 罗非鱼的特定生长率和增重率则显著下降^[14]。饲料中添加 50 mg/kg 的茶多酚, 使青鱼幼鱼的特定生长率显著提高, 但随着茶多酚添加量的增加, 青鱼的特定生长率受到负面影响^[9]。本实验发现, 饲料中添加 300 mg/kg 茶多酚能有效提高团头鲂幼鱼的生长性能。尽管不同品种水产动物对茶多酚的利用和耐受水平存在较大差异, 但均显示饲料中添加适量茶多酚对改善机体生长性能有促进作用。然而当添加量增加至 500 mg/kg 时, 增重率与特定生长率出现了不显著的下降趋势, 这与在尼罗罗非鱼和青鱼中的结果相似^[9, 14]。饲料转化率和蛋白质效率是反映动物利用饲料能力的重要指标。本实验进一步发现, 饲料中添加 300 和 500 mg/kg 茶多酚显著改善了团头鲂幼鱼的饲料转化率和蛋白质效率。有研究发现, 饲料中添加茶多酚有利于促进肠道有益菌的生长, 对提高机体

表 5 饲料中添加茶多酚对急性肝损伤后团头鲂幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

Tab. 5 Effect of dietary tea polyphenols on the antioxidant capacity of *M. amblycephala* liver at 24 h post-injection

指标 parameters	组别 groups			
	TP0	TP100	TP300	TP500
超氧化物歧化酶/(U/mg prot) SOD	133.68±6.19 ^a	138.13±4.92 ^a	134.76±4.25 ^a	153.06±3.63 ^b
过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	23.11±1.27	20.89±1.55	23.89±1.85	25.82±2.45
谷胱甘肽/(mg/g prot) GSH	13.50±0.46 ^a	14.26±0.85 ^a	16.43±0.64 ^b	14.95±0.79 ^{ab}
丙二醛/(nmol/mg prot) MDA	2.23±0.23 ^b	1.73±0.13 ^a	1.43±0.11 ^a	1.35±0.16 ^a



图版 摄食不同实验日粮团头鲂幼鱼急性肝损伤后肝脏组织切片

1-4 分别为 TP0、TP100、TP300 和 TP500 处理组团头鲂幼鱼肝脏组织切片图。胶原纤维经 Masson 染色后呈蓝色，体现肝脏组织纤维化程度；黑色箭头所示为胶原纤维。

Plate Section of liver tissue of *M. amblycephala* after acute liver injury after ingestion of different test diets

1-4 are liver tissue sections of juvenile pomfrets in TP0, TP100, TP300 and TP500 treatment groups, respectively. The collagen fibers were blue after Masson staining, reflecting the fibrosis of liver tissue; the black arrow pointed to collagen fibers.

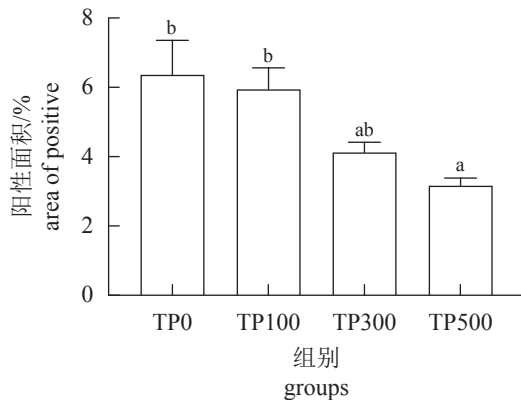


图2 饲料中添加茶多酚对急性肝损伤后团头鲂幼鱼肝脏肌纤维密度的影响

阳性面积代表图版中单个视野中蓝色染色面积，体现肝脏组织纤维化程度。

Fig. 2 Effect of tea polyphenols in feed on myofiber density of *M. amblycephala* liver after acute liver injury

The positive area represent the area of blue staining in a single field of view in Plate, reflecting the degree of liver tissue fibrosis.

消化吸收功能具有积极影响^[15-16]。李金龙^[17]在青鱼饲料中添加 50 mg/kg 茶多酚后，肠道蛋白酶活性显著提升。由此可见，饲料中适量添加茶多酚可增强鱼体肠道消化酶活性。肠道消化酶的提升，能促进机体对饲料中营养成分的吸收，因而提高了饲料转化率和蛋白质效率。此外，作为茶多酚

的主要成分，儿茶素具有抑菌、清除自由基损伤、改善肠道内环境的作用，进而促进动物生长^[18]，这可能是适量的茶多酚能显著促进团头鲂生长和饲料利用的重要原因。

在水产动物中，饲料中添加 80 mg/kg 茶多酚，可显著降低草鱼肌肉中的粗脂肪含量^[19]。添加 0.6 和 0.8 g/kg 的茶多酚，可显著降低奥尼罗非鱼全鱼的粗脂肪含量，但对水分和粗蛋白含量无显著影响^[6]。本实验的结果与之相似，饲料中添加 500 mg/kg 茶多酚能够调节机体脂肪含量，降低团头鲂肌肉脂肪含量。对小鼠 (*Mus musculus*) 和畜禽动物的许多研究发现，茶多酚可以通过调节脂肪代谢的相关激素和脂肪代谢相关信号通路基因，促进脂肪氧化分解并抑制脂肪酸合成，进而降低机体脂肪含量^[20-22]。鱼类血液糖脂相关指标的变化与机体的生理状况密切相关，其中葡萄糖、胆固醇和甘油三酯水平是反映机体糖脂代谢状态的重要指标^[23-24]。本实验中，添加茶多酚对团头鲂幼鱼血清胆固醇和甘油三酯无显著影响，但饲料中添加 500 mg/kg 茶多酚显著降低了团头鲂幼鱼血浆葡萄糖含量。蒋磊等^[25]在热应激肉鸡的日粮中添加 0.04% 的茶多酚，显著降低了其血糖含量。这表明在饲料中添加茶多酚后，机体对糖分解转运的能力增加，此外，茶多酚为糖苷酶抑制剂，具有延缓多糖或寡糖分解的功能，能有效促进淀粉慢消化，从而降低血糖水平^[26]。

自由基为正常代谢中间产物，能氧化细胞内多种物质，破坏生物膜，使大分子(如蛋白质、核酸等)发生交联，破坏正常功能^[27]。与人类 (*Homo sapiens*) 一样，鱼在呼吸和代谢过程中会产生氧自由基，及时清理机体中过量的自由基可降低其氧化损伤程度^[10]。作为天然有效的自由基清除剂，茶多酚清除自由基和抗氧化的能力较强，可有效抑制体内的脂质过氧化^[28]。T-AOC 是反映机体总抗氧化能力的指标，可以综合反映机体抗氧化防御水平^[29]。SOD、GSH 和 GSH-Px 能有效消除体内自由基，从而保护组织细胞免受损伤，保持细胞膜结构和功能的完整性^[30-31]。MDA 是过氧化脂质降解产物中最重要的物质之一，具有高生物毒性，其产生会加剧生物膜的损伤^[32]。孙权等^[33]用添加了茶多酚的饲料喂养糖尿病大鼠 (*Rattus norvegicus*)，结果显示，茶多酚能显著提高肝脏和血清中的 SOD 活性，并显著降低肝脏与血清中

的MDA含量。李宜聪等^[5]在大菱鲆高脂饲料中添加0.02%的茶多酚,显著提高了大菱鲆血清中T-AOC、SOD和GSH-Px的活性,提高抗氧化能力。在草鱼的饲料中添加茶多酚,显著增加了其血清中GSH含量,同时降低了MDA的含量^[34]。在本研究中,饲料中添加茶多酚可增加团头鲂幼鱼肝脏和肠道组织中的GSH含量,降低MDA含量。与此同时提高了GSH-Px在肝脏中的活性,提高了肝脏的总抗氧化能力。可见,在饲料中添加适宜浓度的茶多酚能在一定程度上提升机体的抗氧化能力。茶多酚中的多酚羟基能提供活泼氢,这些电子氢能清除机体内过多的过氧化物或自由基,从而降低氧化反应速率,提高机体抗氧化能力^[5]。

3.2 饲料中添加茶多酚对CCl₄溶液诱导的团头鲂幼鱼急性肝损伤的保护效果

急性肝损伤是大量肝细胞在较短时间内受外界因素影响而引起的急性肝脏炎症性疾病^[35]。CCl₄是一种亲肝性物质,在肝脏代谢中产生的大量自由基能引起肝脏氧化应激,引发链式过氧化反应,从而造成肝脏损伤^[36-37]。因此,利用CCl₄诱导急性肝损伤已被广泛用作评估小鼠、畜禽、水产动物肝毒性和开发肝脏药物的经典模型^[38-43]。茶多酚作为一种天然高效的自由基清除剂,可以通过清除CCl₄在肝脏内代谢产生的大量自由基,从而增强机体抗氧化能力。研究报道,给CCl₄所致肝损伤的小鼠灌喂茶多酚或茶多酚提取物,可显著提高其血清和肝脏SOD活性、GSH-Px活性和GSH含量,同时降低MDA含量,且具有剂量依赖特点^[44-46]。本实验通过腹腔注射CCl₄诱导团头鲂幼鱼肝脏病理损伤,发现饲料中添加茶多酚对团头鲂幼鱼肝损伤的存活保护率显著提高,同时肝脏MDA含量均显著下降,且饲料中添加500 mg/kg茶多酚显著提高了CCl₄诱导肝损伤后的团头鲂幼鱼肝脏的SOD活性和肝肠GSH活性,减轻肝脏纤维化程度。茶多酚作为一种天然高效的自由基清除剂,可以通过清除CCl₄在肝脏内代谢产生的大量自由基,从而增强机体抗氧化能力。肝纤维化是一种肝脏疾病,表现为细胞外基质的过度增生和沉积,是各种慢性肝病发展为肝硬化的重要一步^[47]。这说明饲料中添加茶多酚可以提高团头鲂机体抗氧化能力,有效抵御CCl₄造成的肝脏氧化损伤。

<https://www.china-fishery.cn>

4 结论

综上所述,在饲料中添加300 mg/kg茶多酚能够促进团头鲂幼鱼的生长和饲料利用,提高肝脏和肠道的抗氧化能力。当添加量为500 mg/kg时,可以显著减轻CCl₄诱导的团头鲂幼鱼急性肝损伤,提高肝脏抗氧化应激损伤的能力。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献(References):

- [1] 汪迎春. 抗生素在水产养殖中的应用存在的问题及对策[J]. *江西水产科技*, 2020(6): 34-35.
Wang Y C. Problems and countermeasures of the application of antibiotics in aquaculture[J]. *Jiangxi Fishery Science and Technology*, 2020(6): 34-35 (in Chinese).
- [2] 肖倩. 水产养殖中抗生素滥用问题研究[J]. *养殖与饲料*, 2020, 19(10): 46-48.
Xiao Q. Research on antibiotic abuse in aquaculture[J]. *Animals Breeding and Feed*, 2020, 19(10): 46-48 (in Chinese).
- [3] 蒋艾青, 郑陶生. 水产养殖业中抗生素使用的风险及其控制研究[J]. *农业开发与装备*, 2019(12): 147.
Jiang A Q, Zheng T S. Study on the risk of antibiotic use in aquaculture and its control[J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2019(12): 147 (in Chinese).
- [4] Zhu Y F, Wang J P, Ding X M, *et al.* Effect of different tea polyphenol products on egg production performance, egg quality and antioxidative status of laying hens[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2020, 267: 114544.
- [5] 李宜聪, 廖凯, 姬仁磊, 等. 茶多酚对大菱鲆生长、抗氧化能力及脂肪代谢相关基因表达的影响[J]. *水产学报*, 2019, 43(11): 2405-2412.
Li Y C, Liao K, Ji R L, *et al.* Effects of tea polyphenols on growth, antioxidant capacity and lipid metabolism related genes expression of turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(11): 2405-2412 (in Chinese).
- [6] 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.
Liang G Y, Li X Q, Yang H, *et al.* Effects of tea polyphenol on growth, digestion function, immune perform-

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- ance and disease resistance capability of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(8): 3199-3207 (in Chinese).
- [7] 雷宇杰, 刘开放, 孟瑾, 等. 茶多酚对草鱼免疫力及抗病力的影响[J]. *饲料研究*, 2020, 43(4): 54-57.
- Lei Y J, Liu K F, Meng J, *et al.* Effect of tea polyphenols on immunity and disease resistance of grass carp[J]. *Feed Research*, 2020, 43(4): 54-57 (in Chinese).
- [8] 伍梓斌, 林桐, 王萱, 等. 茶多酚对马岗鹅生长性能、屠宰性能、肌肉品质及抗氧化能力的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2022, 58(4): 231-235.
- Wu Z B, Lin T, Wang X, *et al.* Effects of tea polyphenols on growth performance, slaughter performance, muscle quality and antioxidant capacity of Magang geese[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2022, 58(4): 231-235 (in Chinese).
- [9] Zhong L, Hu Y J, Hu Y, *et al.* Effects of dietary tea polyphenols on growth, immunity and lipid metabolism of juvenile black carp *Mylopharyngodon piceus*[J]. *Aquaculture Research*, 2020, 51(2): 569-576.
- [10] 雷宇杰, 刘开放, 黄荣静, 等. 茶多酚对马口鱼生长性能、免疫性能和抗病力的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2020, 52(7): 64-68.
- Lei Y J, Liu K F, Huang R J, *et al.* Effects of tea polyphenol on growth performance, immune performance and disease resistance of *Opsariichthys bidens*[J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2020, 52(7): 64-68 (in Chinese).
- [11] Chen S Y, Lin Y, Miao L H, *et al.* Ferulic acid alleviates lipopolysaccharide-induced acute liver injury in *Megalobrama amblycephala*[J]. *Aquaculture*, 2021, 532: 735972.
- [12] Habte-Tsion H M, Liu B, Ge X P, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, muscle composition, blood composition, and digestive enzyme activity of Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) fry[J]. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 2013, 65: 1-9.
- [13] Yang Q, Liang H L, Maulu S, *et al.* Dietary phosphorus affects growth, glucolipid metabolism, antioxidant activity and immune status of juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2021, 274: 114896.
- [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.
- Liu Z X, Ke H, Hao L, *et al.* Effects of tea polyphenols on growth performance, antioxidant effect and non-specific immune indices of *Oreochromis niloticus*[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(23): 113-115 (in Chinese).
- [15] 汪小红, 武书庚, 王晓翠, 等. 茶多酚的生物学功能及其在家禽生产中的应用[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(6): 1641-1648.
- Wang X H, Wu S G, Wang X C, *et al.* Biological functions and mechanisms of tea polyphenols and its application in poultry production[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(6): 1641-1648 (in Chinese).
- [16] 赖凯昭, 吕逸欢, 梁明振, 等. 饲料中添加益生菌对奥尼罗非鱼生长性能和肠道蛋白酶活性的影响[J]. *南方农业学报*, 2012, 43(11): 1769-1774.
- Lai K Z, Lü Y H, Liang M Z, *et al.* Tilapia growth and intestinal protease activity analysis after compound probiotics addition in diet[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2012, 43(11): 1769-1774 (in Chinese).
- [17] 李金龙. 茶多酚对青鱼幼鱼生长、免疫及脂肪代谢的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- Li J L. Effects of tea polyphenols on growth, immunity and lipid metabolism in juvenile *Mylopharyngodon piceus*[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013 (in Chinese).
- [18] 杜特. 儿茶素及其聚合物的生物学活性及其应用前景概述[J]. *生物技术世界*, 2013(3): 89-90.
- Du T. Overview of the biological activities of catechins and their polymers and their application prospects[J]. *Biotechnology World*, 2013(3): 89-90 (in Chinese).
- [19] Ma Y B, Zhang J X, Zhou X Q, *et al.* Effect of tea polyphenols on flavour, healthcare components, physicochemical properties, and mechanisms of collagen synthesis in growing grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) muscle[J]. *Aquaculture*, 2021, 534: 736237.
- [20] Shen C L, Cao J J, Dagda R Y, *et al.* Green tea polyphenols benefits body composition and improves bone quality in long-term high-fat diet-induced obese rats[J]. *Nutrition Research*, 2012, 32(6): 448-457.
- [21] Ikuro I, Koichi T, Yuko S, *et al.* Tea catechins with a galloyl moiety suppress postprandial hypertriglyceridemia

- olemia by delaying lymphatic transport of dietary fat in rats[J]. *The Journal of Nutrition*, 2005, 135(2): 155-159.
- [22] 黄进宝, 万蓓, 葛高飞. 茶多酚对肉鸡血脂水平、体脂分布及组织脂肪酸组成的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(15): 290-295.
- Huang J B, Wan B, Ge G F. Effects of tea polyphenols on lipid metabolism and hepatic and muscular fatty acid compositions in broilers[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(15): 290-295 (in Chinese).
- [23] 王爱民, 韩光明, 吕富, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼幼鱼摄食后血脂, 血糖的影响[J]. *盐城工学院学报(自然科学版)*, 2011, 24(3): 9-14.
- Wang A M, Han G M, Lv F, *et al.* Effects of dietary lipid levels on blood lipid, glucose indexes of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Journal of Yancheng Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 2011, 24(3): 9-14 (in Chinese).
- [24] 孙晨倩, 王正齐, 姚美, 等. 花椒叶的化学组成、叶提取物体外抗氧化活性及其对黑腹果蝇抗氧化酶活性的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2015, 24(4): 38-44.
- Sun C Q, Wang Z Q, Yao M, *et al.* Chemical composition of *Zanthoxylum bungeanum* leaf, and *in vitro* antioxidant activity of leaf extracts and its effect on antioxidant enzyme activity in *Drosophila melanogaster*[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2015, 24(4): 38-44 (in Chinese).
- [25] 蒋磊, 陈杰. 茶多酚对热应激肉鸡血清生理生化指标的影响[J]. *洛阳师范学院学报*, 2021, 40(8): 10-14.
- Jiang L, Chen J. Effects of tea polyphenols on physiological and biochemical index in serum of heat-stressed broilers[J]. *Journal of Luoyang Normal University*, 2021, 40(8): 10-14 (in Chinese).
- [26] 郑科勤. 茶多酚的药理作用探讨[J]. *福建茶叶*, 2018, 40(1): 33-34.
- Zheng K Q. Exploring the pharmacological effects of tea polyphenols[J]. *Tea in Fujian*, 2018, 40(1): 33-34 (in Chinese).
- [27] 梁璐, 王海涛, 侯振中, 等. 棉酚对雄性小鼠肾脏MDA含量和SOD、GSH-Px活性的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2017(12): 185-187.
- Liang L, Wang H T, Hou Z Z, *et al.* Effects of cotton phenol on renal MDA content and SOD, GSH-Px activity in male mice[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2017(12): 185-187 (in Chinese).
- [28] 李振, 陈现伟. 茶多酚的免疫调节作用及应用[J]. *中国兽药杂志*, 2004(4): 33-35.
- Li Z, Chen X W. The immunoregulatory function and application of tea polyphenols[J]. *Chinese Journal of Veterinary Drug*, 2004(4): 33-35 (in Chinese).
- [29] 李笑, 曲艺, 张倩倩, 等. 海水酸化和热应激对日本鼓虾氧化应激和能量代谢的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2020, 51(6): 1412-1421.
- Li X, Qu Y, Zhang Q Q, *et al.* Effects of seawater acidification and thermal stress on the antioxidant responses and energy metabolism of *Alpheus japonicus* miers[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2020, 51(6): 1412-1421 (in Chinese).
- [30] Radmila C N, Pavle S, Dean J, *et al.* The influence of nutrition (diet treatment) in streptozotocin – induced diabetic rats[J]. *Macedonian Veterinary Review*, 2013, 36(1): 41-47.
- [31] 杜金梁, 曹丽萍, 刘英娟, 等. TCDD对建鲤肝脏的影响[J]. *浙江农业学报*, 2015, 27(10): 1720-1724.
- Du J L, Cao L P, Liu Y J, *et al.* Effect of TCDD on fish liver in Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*)[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, 27(10): 1720-1724 (in Chinese).
- [32] 李瑞, 张慧慧, 王晓菲, 等. 氟中毒对小鼠肾脏ROS、MDA和GSH含量的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018(21): 120-122.
- Li R, Zhang H H, Wang X F, *et al.* Effects of fluorosis on renal ROS, MDA and GSH contents in mice[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018(21): 120-122 (in Chinese).
- [33] 孙权, 尹学哲, 全吉淑, 等. 茶多酚对糖尿病大鼠的抗氧化作用[J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(6): 9-11.
- Sun Q, Yin X Z, Quan J S, *et al.* Antioxidative effect of tea polyphenols on diabetic rats[J]. *Food Research and Development*, 2007, 28(6): 9-11 (in Chinese).
- [34] Yuan X C, Chen F, Yue D D, *et al.* Tea polyphenols act as a natural antihyperglycemic feed additive candidate in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2021, 27(6): 2712-2725.
- [35] 蔡维震, 张天骐, 王庆慧, 等. 海参蒸煮液干粉对四氯化碳致小鼠急性肝损伤的预防作用[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(7): 115-122.
- Cai W Z, Zhang T Q, Wang Q H, *et al.* Preventive effect of dry powder of sea cucumber cooking liquid on acute

- liver injury induced by CCl_4 in mice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(7): 115-122 (in Chinese).
- [36] 汪洋, 陈佳雯, 王正, 等. 脂肪间充质干细胞对 CCl_4 致犬急性肝损伤的临床疗效[J]. 安徽农业大学学报, 2022, 49(4): 583-589.
Wang Y, Chen J W, Wang Z, *et al.* Clinical therapeutic of adipose mesenchymal stem cells on acute liver injury in canines induced by carbon tetrachloride[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2022, 49(4): 583-589 (in Chinese).
- [37] 张俊. 四氯化碳对黄鳝肝损伤及其花生四烯酸代谢相关基因表达量的影响 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2017.
Zhang J. Effect of carbon tetrachloride on *Monopterus albus* liver injury and genes expression of related to arachidonic acid metabolism[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2017 (in Chinese).
- [38] 龚倩梅, 刘永仕, 袁何玲, 等. 大蒜辣素缓解 CCl_4 所致小鼠急性肝损伤的作用研究[J]. 南京农业大学学报, 2023, 46(3): 530-537.
Gong Q M, Liu Y S, Yuan H L, *et al.* Effect of Allicin on alleviating carbon tetrachloride-induced acute liver injury in mice[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2023, 46(3): 530-537 (in Chinese).
- [39] 付双楠, 高达, 郭佳佳, 等. 四氯化碳致小鼠急性肝损伤模型建立与考察[J]. 肝脏, 2022, 27(9): 1036-1040.
Fu S N, Gao D, Guo J J, *et al.* Establishment and investigation of carbon tetrachloride-induced acute liver injury model in mice[J]. Chinese Hepatology, 2022, 27(9): 1036-1040 (in Chinese).
- [40] 刘捷, 刘德金, 乔飞鸿, 等. 四氯化碳致鸡肝脏和肾脏损伤实验动物模型的建立[J]. 南京农业大学学报, 2008, 31(3): 117-120.
Liu J, Liu D J, Qiao F H, *et al.* Establishment of experimental animal model of chicken liver and kidney damages induced by carbon tetrachloride[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2008, 31(3): 117-120 (in Chinese).
- [41] Jia R, Cao L P, Du J L, *et al.* The protective effect of silymarin on the carbon tetrachloride (CCl_4)-induced liver injury in common carp (*Cyprinus carpio*)[J]. In Vitro Cellular & Developmental Biology – Animal, 2013, 49(3): 155-161.
- [42] Yang J Y, Li Y, Wang F, *et al.* Hepatoprotective effects of apple polyphenols on CCl_4 -induced acute liver damage in mice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(10): 6525-6531.
- [43] Fu Y M, Zheng S Z, Lin J G, *et al.* Curcumin protects the rat liver from CCl_4 -caused injury and fibrogenesis by attenuating oxidative stress and suppressing inflammation[J]. Molecular Pharmacology, 2008, 73(2): 399-409.
- [44] 钱彬彬. 茶多酚在四氯化碳所致大鼠肝硬化中的作用 [D]. 蚌埠: 蚌埠医学院, 2017.
Qian B B. Protective effects of tea polyphenols in carbon tetrachloride-induced cirrhosis in rats[D]. Bengbu: Bengbu Medical College, 2017 (in Chinese).
- [45] 崔燕芒, 李鹏, 陈锦文, 等. 祁门红茶多酚提取物对 CCl_4 诱导的小鼠肝损伤保护作用的研究[J]. 西北药学杂志, 2014, 29(4): 381-384,385.
Cui Y M, Li P, Chen J W, *et al.* Protective effects of polyphenols-enriched extract from Keemun black tea against CCl_4 -induced liver injury in mice[J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2014, 29(4): 381-384,385 (in Chinese).
- [46] 赵欣, 李贵节, 胡园园, 等. 苦丁茶多酚提取物对四氯化碳诱导小鼠肝损伤的改善作用及机制研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 289-295.
Zhao X, Li G J, Hu Y Y, *et al.* Improvement effects and mechanism research of polyphenol extracts from Kudingcha on carbon tetrachloride induced hepatic damage in mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(4): 289-295 (in Chinese).
- [47] 彭婕, 李弼民. 肝纤维化的研究进展[J]. 中西医结合心血管病电子杂志, 2019, 7(24): 21,41.
Peng J, Li B M. Advances in the study of liver fibrosis[J]. Cardiovascular Disease Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine (Electronic), 2019, 7(24): 21,41 (in Chinese).

Effects of different supplementation of dietary tea polyphenols on growth performance, feed utilization and antioxidant capacity of *Megalobrama amblycephala*

HU Songqin¹, MU Qiaoqiao¹, LIN Yan², MIAO Linghong^{1,2*}, LIU Bo^{1,2}, DONG Zaijie^{1,2*}

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization,

Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center,

Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: In recent years, the development of antibiotic substitutes with the functions of immune promotion and vegetative growth is the development trend of aquaculture industry. In order to study the effect of dietary tea polyphenols (TP) on the growth performance, feed utilization and antioxidant ability of *Megalobrama amblycephala*, in the experiment, 240 *M. amblycephala* with an initial weight of (3.5±1.0) g were selected and randomly divided into 4 groups of 3 replicates, each with 20 fish in each replicate. Four isonitrogen isoenergetic formulation diets supplemented with 0 mg/kg (control group), 100, 300 and 500 mg/kg tea polyphenols were prepared. After the 8-week feeding trial, the growth performance, muscle composition, blood biochemical indicators, liver antioxidant indicators and intestinal antioxidant indicators were measured. The results showed that the WGR of the fish fed 300 mg/kg TP were significantly higher than those of the control group, the PER was significantly higher than those with lower supplementary TP, and the FCR decreased significantly. 500 mg/kg TP supplementation significantly reduced the crude fat content of fish muscle. The TP supplementation significantly reduced plasma GLU content. The content of MDA in the liver and intestines of fish fed 300 mg/kg and 500 mg/kg TP supplementary diets were significantly lower than those in the control group. The content of reduced GSH in the liver and intestine tissues of fish fed 100 mg/kg and 300 mg/kg dietary TP were significantly higher than that in the control group. In addition, the hepatic T-AOC and GSH-Px activity of the 300 mg/kg TP supplementary group were also significantly higher than those in the control group. After the feeding trial, acute liver injury was induced by intraperitoneal injection of 50% concentration of CCl₄ solution. It was found that at 24 hours post-injection, the fish survival rates of the 300 mg/kg and 500 mg/kg TP supplementary groups were significantly higher than those of the 100 mg/kg TP supplementary group, and the survival rates in 100 mg/kg TP supplementary group was significantly higher than the control group. Further analysis on the hepatic antioxidant indexes of fish at 24 hours post-injection, we found that the hepatic MDA content was significantly reduced in the TP supplementary groups. The activity of SOD of the 500 mg/kg TP supplementary group was significantly higher than that in the control group, the content of GSH of the 300 mg/kg TP supplementary group were significantly higher than that in the control group. Considering the physiological effects and practical applications, the dietary supplementation of 300 mg/kg tea polyphenols effectively promoted the growth and feed utilization and improved the antioxidant capacities, and the supplementation at 500 mg/kg improved anti-injury capacities and protect against oxidative stress damage of *M. amblycephala* juveniles. The results of this study provide a basis for the study of tea polyphenols in the feeds of pomfrets and provide a reliable reference for their better application in breeding production.

Key words: *Megalobrama amblycephala*; tea polyphenols; growth performance; antioxidant capacity; liver injury

Corresponding authors: MIAO Linghong. E-mail: miaolh@ffrc.cn;

DONG Zaijie. E-mail: dongzj@ffrc.cn

Funding projects: China Agriculture Research System (CARS-45)