

春砂仁精油对尼罗罗非鱼幼鱼生长、消化、抗氧化能力和血清生化指标的影响

李成辉^{1,2}, 董宏标^{2,3}, 郑晓婷^{2,3}, 桂福坤¹, 曾祥兵^{2,4}, 明俊超², 陈飞⁴, 陈健⁵, 张家松^{2,3}

1. 浙江海洋大学/国家海洋设施养殖工程技术研究中心, 浙江 舟山 316000
2. 中国水产科学研究院南海水产研究所/农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300
3. 海南省深远海渔业资源高效利用与加工重点实验室, 海南 陵水 572426
4. 广东南湾水产有限公司, 广东 阳江 529500
5. 阳江市水产技术推广站, 广东 阳江 529500

摘要: 为评估春砂仁 (*Amomum villosum*) 精油在尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 养殖中促消化和保护肠道等功效, 在饲料中添加不同剂量 [0 (对照组)、2 (低剂量组)、4 (中剂量组) 和 8 (高剂量组) $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$] 的春砂仁精油饲养罗非鱼幼鱼 [(20.34±2.08) g] 连续 8 周。结果显示, 随着精油添加剂量的增加, 1) 各实验组终末体质量、终末体长、体质量增长率和特定生长率呈先升后降的趋势, 饵料系数呈先降后升的趋势, 其中低剂量组的各项生长指标均优于其他组 ($P<0.05$)。2) 各实验组胃蛋白酶 (Pep)、胃淀粉酶 (G-AMS)、肠淀粉酶 (I-AMS) 和肠脂肪酶 (LPS) 活性呈先升后降的趋势, 低剂量组的各项消化酶活性均显著高于其他组 ($P<0.05$)。3) 各实验组罗非鱼幼鱼肠道中总抗氧化能力 (T-AOC)、超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性、谷胱甘肽 (GSH) 和丙二醛 (MDA) 浓度均呈先升后降的趋势, 低剂量组升高显著 ($P<0.05$)。4) 各实验组罗非鱼幼鱼血清中总蛋白 (TP)、球蛋白 (GLOB)、总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-CH)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-CH) 浓度, 碱性磷酸酶 (ALP) 和丙氨酸氨基转移酶 (ALT) 活性均呈先降后升的趋势, 其中低剂量组 TP、GLOB、TC、LDL-CH 和 HDL-CH 显著低于其他组 ($P<0.05$)。综上, 在该实验条件下拌喂 2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 春砂仁精油能够显著增强罗非鱼幼鱼的消化和肠道抗氧化能力, 提高脂质代谢水平, 改善血清肝功能指标, 进而提高其生长性能。

关键词: 罗非鱼; 春砂仁精油; 生长性能; 肠道健康; 抗氧化

中图分类号: S 963.73¹9

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Effects of *Amomum villosum* essential oil on growth, digestion, intestinal antioxidant capacity and serum biochemical indexes of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

LI Chenghui^{1,2}, DONG Hongbiao^{2,3}, ZHENG Xiaoting^{2,3}, GUI Fukun¹, ZENG Xiangbing^{2,4}, MING Junchao², CHEN Fei⁴, CHEN Jian⁵, ZHANG Jiasong^{2,3}

收稿日期: 2023-02-16; 修回日期: 2023-06-29

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2021B0202030001); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目 (2022KJ150); 海南省科技专项资金资助 (ZDYF2022XDNY349); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助 (2021SD19); 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助 (2019XT0403, 2021XT06); 广东省驻镇帮镇扶村科技特派员项目 (KTP20210259); 广州市科技计划项目 (2023E04J1231)

作者简介: 李成辉 (1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生理生态学。E-mail: 1464103360@qq.com

通信作者: 张家松 (1971—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为设施渔业养殖技术。E-mail: jiasongzhang@hotmail.com

1. National Engineering Research Center for Marine Aquaculture, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China
2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China
3. Key Laboratory of Efficient Utilization and Processing of Deep-Sea Fishery Resources of Hainan Province, Lingshui 572426, China
4. Guangdong Nanwan Aquaculture Co., Ltd., Yangjiang 529500, China
5. Yangjiang Fisheries Technical Extension Station, Yangjiang 529500, China

Abstract: To evaluate the gastrointestinal effects of *Amomum villosum* essential oil on promoting digestion and protecting intestine tract in breeding of *Oreochromis niloticus*, we fed the juveniles [(20.34±2.08) g] with basic diets of 0 (Control group), 2 (Low-dose group), 4 (Medium-dose group) and 8 g·kg⁻¹ (High-dose group) of *A. villosum* essential oil for 8 weeks. The results show that with the increase of essential oil concentration: 1) The final body mass, final body length, weight gain rate and specific growth rate increased first and then decreased, but the feed conversion ratio (FCR) decreased first and then increased. The growth indexes of the low dose group were better than those of the other groups ($P<0.05$). 2) The activities of pepsin, gastric amylase, intestinal amylase and intestinal lipase in each group increased first and then decreased, and the activities of digestive enzymes increased significantly in the low dose group ($P<0.05$). 3) The activities of total antioxidant capacity (T-AOC), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), concentrations of glutathione (GSH) and malondialdehyde (MDA) in the intestine increased first and then decreased, and the difference in the low-dose group was significant ($P<0.05$). 4) In serum, the concentrations of total protein (TP), globulin (GLOB), total cholesterol (TC), triacylglycerol (TG), low density lipoprotein cholesterol (LDL-CH) and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-CH), as well as activities of alanine aminotransferase (ALP) and alanine aminotransferase (ALT) decreased first and then increased. The concentrations of TP, GLOB, TC, LDL-CH and HDL-CH in the low-dose group decreased significantly ($P<0.05$). To sum up, adding 2 g·kg⁻¹ *A. villosum* essential oil into basic diet can improve the digestive capacity, intestinal antioxidant capacity and serum biochemical indexes of juvenile tilapia and promote their growth performance.

Keywords: Tilapia; Essential oil of *Amomum villosum*; Growth performance; Intestinal health; Antioxidant

尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 原产于非洲, 属鲈形目、丽鱼科、罗非鱼属, 具有食性杂、生长快、无肌间刺、肉质鲜美等优点, 现已成为联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 向全球推广养殖的品种^[1]。我国是世界上最大的罗非鱼生产和出口国, 随着罗非鱼养殖集约化程度不断提高, 生产上追求低成本和高产出^[2], 长期高能量和较高比例植物蛋白饲料的过度投喂可能导致鱼体出现如脂质蓄积、肠道抗氧化能力下降等不良症状^[3-4]。此外, 病原、霉变饲料、污染物或抗生素等均会造成鱼体肠道黏液层损伤, 使得共生和病原微生物直接接触肠上皮, 进而诱导肠道组织损伤^[5-8]。因此, 改善鱼类肠道健康和促进鱼类消化及脂质代谢能力可从根本上助力罗非鱼集约化养殖的发展。

春砂仁 (*Amomum villosum*) 是广东省阳春市的地方特色产品, 著名“四大南药”之一, 其味辛、性温且芳香, 具行气调中、和胃醒脾和化湿消滞的功效^[9-10]。中医上常用于治疗胃肠疾病, 其主要功能成分为其中的天然挥发油, 且砂仁茎叶中的挥发性成分与砂仁果实中的相似。大量研究表明天然植

物精油在抗氧化、抗炎、降血脂、促进伤口愈合和提高机体免疫力等方面疗效显著^[11-14]。已有研究发现, 春砂仁精油能提高大鼠 (*Rattus norvegicus*) 溃疡愈合百分率, 显著增强血清的抗氧化能力^[15]; 促进功能性消化不良大鼠的胃排空^[16]; 抑制胃癌细胞的生长并诱导其凋亡^[17]。此外, 春砂仁精油还能够有效抑制大鼠内源性脂质的合成, 降低血清脂质水平, 预防脂肪肝的形成^[18]。

目前, 春砂仁精油在水产动物中尚未见相关的应用报道。本研究通过拌喂不同剂量的春砂仁精油, 探究其对罗非鱼幼鱼生长性能、消化能力、肠道抗氧化能力、血清肝功能和脂质代谢指标的影响, 以为春砂仁在水产动物中的应用提供实验依据和理论参考。

1 材料与方法

1.1 饲料制备

实验用春砂仁精油由阳江市百盛园实业有限公司提供, 为春砂仁茎叶抽提物, 其主要成分如表 1 所示 (送检, 中国广州分析测试中心, GC-MS 法)。实验用基础饲料为淡水鱼膨化配合饲料 (江门

海大饲料有限公司)。将春砂仁精油称质量后添加蒸馏水至 15 mL 振荡成乳液, 混匀后用高压喷壶按每公斤饲料 0、2.0、4.0 和 8.0 g 的剂量均匀喷涂于基础饲料表面 [最终含水率 (w) $\leq 11.0\%$], 密封盒盛放, 每日投喂前现配现用。

表1 春砂仁精油化学成分
Table 1 Main chemical composition in essential oil of *A. villosum*

| 序号 No. | 成分 Compound | 相对含量 Relative content/% |
|---------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 1 | β -蒎烯 β -Pinene | 44.670 |
| 2 | α -蒎烯 α -Pinene | 29.160 |
| 3 | 桉烯 Sabinene | 14.430 |
| 4 | 柠檬烯 Cinene | 1.974 |
| 5 | 4-松油醇 4-Terpineol | 1.179 |
| 6 | 对-伞花烃 4-Cymene | 1.012 |
| 7 | β -月桂烯 β -Myrcene | 1.010 |
| 8 | β -水芹烯 β -Phellandrene | 0.677 |
| 9 | γ -松油烯 γ -Terpinene | 0.606 |
| 10 | 桉叶油醇 Cineol | 0.330 |
| 11 | 桃金娘醛 Myrtenal | 0.327 |
| 12 | 二氢依杜兰 Edulan | 0.250 |
| 13 | 莰烯 Camphene | 0.214 |
| 14 | 松莰酮 Pinocamphone | 0.214 |
| 15 | 石竹烯 Caryophyllene | 0.214 |
| 16 | 异香芹酮 Isocarvone | 0.195 |
| 17 | α -松油烯 α -Terpinene | 0.191 |
| 18 | α -异松油烯 α -Terpinolene | 0.189 |
| 19 | 松香芹酮 Pmocatvcme | 0.175 |
| 20 | 桃金娘烯醇 Myrtenol | 0.156 |
| 21 | β -罗勒烯 β -Ocimene | 0.130 |
| 22 | α -葑烯 α -Fenchene | 0.081 |
| 23 | β -榄香烯 β -Elemene | 0.079 |
| 24 | α -葎草烯 α -Caryophyllene | 0.077 |
| 25 | 对伞花炔-8-醇 Para-cymene-8-ol | 0.041 |
| 总含量 Total content/% | | 97.581 |

1.2 实验设计与养殖管理

实验用罗非鱼幼鱼的获取、暂养和养殖均于广东南湾水产有限公司 (广东阳江) 进行。暂养 2 周后, 随机选取体表无损伤、规格相近的健康罗非鱼幼

鱼 480 尾 [(20.34 \pm 2.08) g], 分为 4 组, 即对照组 (0 g \cdot kg $^{-1}$)、低剂量 (2 g \cdot kg $^{-1}$)、中剂量 (4 g \cdot kg $^{-1}$) 和高剂量组 (8 g \cdot kg $^{-1}$), 每组 4 个重复, 每个重复 30 尾鱼, 室内饲养于 16 个 300 L 的黑色圆桶中, 养殖实验为期 8 周, 分别投喂对应剂量饲料, 日饱食投喂 1 次 (9:00) 并记录投喂量 (投喂 30 min 后通过 50 目筛网回收残饵, 70 $^{\circ}$ C 烘干, 残饵量用饲料溶失率校正, 测定溶失率时随机在 6 个无鱼的缸中各放入 1 份称好的饲料, 30 min 后回收, 70 $^{\circ}$ C 烘干至恒质量后称质量, 溶失率为 4.29%)。暂养和养殖期间为自然光周期, 日换水量为 30% (11:00), 水温 (27 \pm 2) $^{\circ}$ C (期间通过暖风机根据实际温度调整), 溶解氧质量浓度 ≥ 4.5 mg \cdot L $^{-1}$ (气石增氧), pH 为 7.8 \pm 1, 氨氮质量浓度 ≤ 1 mg \cdot L $^{-1}$, 亚硝酸盐质量浓度 ≤ 0.02 mg \cdot L $^{-1}$ 。

1.3 样品采集

在养殖实验结束后测量和取样, 操作前停喂 1 d, 每个重复组随机取 6 尾实验鱼, 经 300 mg \cdot L $^{-1}$ MS-222 浸泡麻醉后, 测其体长和体质量; 随后使用 1.5 mL 无菌注射器从尾静脉取血 (混合全血样品在 4 $^{\circ}$ C 下静置 1 h, 待血液分层后, 3 000 r \cdot min $^{-1}$ 离心 10 min, 收集血清于 1.5 mL 离心管, -80 $^{\circ}$ C 保存), 用于血清生化指标分析; 将实验鱼置冰盘上剖取胃和肠道组织于 2 mL 离心管中, -80 $^{\circ}$ C 保存, 用于消化酶和肠道抗氧化能力分析。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长指标测定

依照以下公式计算体质量增长率 (Weight gain rate, R_{WG} , %)、特定生长率 (Specific growth rate, R_{SG} , % \cdot d $^{-1}$)、摄食率 (Feeding rate, R_F , %)、肥满度 (Condition factor, CF, g \cdot cm $^{-3}$) 和饵料系数 (Feed conversion ratio, FCR)。

$$R_{WG} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\% \quad (1)$$

$$R_{SG} = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\% \quad (2)$$

$$R_F = F / [(W_t + W_0) / 2] \quad (3)$$

$$CF = (W_t / L^3) \times 100 \quad (4)$$

$$FCR = F / (W_t - W_0) \quad (5)$$

式中: W_t 和 W_0 分别为罗非鱼幼鱼的终末和初始体质量; t 为实验时间 (56 d); L 为鱼体长 (cm); F 为饲料摄入量 (g)。

1.4.2 血清生化指标测定

血清中总蛋白 (TP)、球蛋白 (GLOB)、碱性磷酸酶 (ALP)、丙氨酸氨基转移酶 (ALT)、天门冬氨

酸氨基转移酶 (AST)、总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-CH) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-CH) 等指标, 采用专用试剂盒 (深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司) 于全自动生化分析仪 (BS200) 检测。

1.4.3 消化道抗氧化指标和消化酶的测定

每个组织样品取 0.1 g 与 0.9 mL 的 PBS 缓冲液混合制成匀浆, 3 500 r·min⁻¹、4 °C 离心 10 min 后取上清液分别测定胃蛋白酶 (Pep)、胃淀粉酶 (G-AMS)、肠淀粉酶 (I-AMS) 和肠脂肪酶 (LPS) 等消化酶指标, 以及总抗氧化能力 (T-AOC)、谷胱甘肽 (GSH)、过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD) 和丙二醛 (MDA) 等肠道抗氧化指标, 所有指标均采用南京建成生物工程研究所试剂盒参照说明书进行测定。

1.5 数据分析与处理

实验数据以“平均值±标准差 ($\bar{x}\pm s$)”表示,

用 SPSS 25.0 软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), Tukey's 法进行多重比较, 显著性水平设为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 春砂仁精油主要化学成分分析

采用 GC-MS 法从春砂仁茎叶精油中共测出化合物 25 种 (表 1), 主要为烯萜类、醇类、醛类和酮类化合物, 其中含量最高的是 β -蒎烯 (44.67%), 其次是 α -蒎烯、桉烯、柠檬烯等烯萜类物质。

2.2 春砂仁精油对罗非鱼幼鱼生长的影响

如表 2 所示, 与对照组相比, 各处理组罗非鱼幼鱼终末体质量、终末体长、体质量增长率和特定增长率均有所升高, 且随精油添加剂量的增加, 呈先升后降的趋势, 而饵料系数呈先降低后升高的趋势, 其中低剂量组各项生长指标均显著优于其他组 ($P<0.05$)。

表 2 春砂仁精油对罗非鱼幼鱼生长的影响

Table 2 Effect of *A. villosum* essential oil on growth performance of tilapia

| 项目 Item | 对照组 Control group | 低剂量组 Low-dose group | 中剂量组 Medium-dose group | 高剂量组 High-dose group |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 初始体质量 Initial body mass/g | 20.18±1.83 | 20.31±2.11 | 20.39±2.09 | 20.49±2.39 |
| 终末体质量 Final body mass/g | 186.7±6.50 ^a | 208.20±10.50 ^b | 194.60±7.40 ^{ab} | 190.00±2.50 ^a |
| 终末体长 Final body length/cm | 17.20±0.10 ^a | 17.90±0.20 ^b | 17.50±0.30 ^{ab} | 17.50±0.40 ^{ab} |
| 体质量增长率 SGR/% | 833.70±32.70 ^a | 941.20±52.30 ^b | 873.00±37.20 ^{ab} | 849.80±12.50 ^a |
| 摄食率 FR/(%·d ⁻¹) | 4.12±0.15 | 3.91±0.13 | 4.01±0.31 | 4.05±0.08 |
| 特定增长率 SGR/% | 3.12±0.10 ^a | 3.31±0.08 ^b | 3.20±0.05 ^{ab} | 3.12±0.02 ^a |
| 肥满度 CF/% | 3.61±0.08 | 3.64±0.11 | 3.66±0.08 | 3.67±0.16 |
| 饵料系数 FCR | 1.41±0.05 ^b | 1.25±0.04 ^a | 1.32±0.22 ^{ab} | 1.40±0.07 ^b |

注: 表中数据为 4 个重复的平均值; 同行不同上标字母表示差异显著 ($P<0.05$)。后表同此。

Note: Data are means of four replicates for each group. Different letters within the same line represent significant differences ($P<0.05$). The same case in the following tables.

2.3 春砂仁精油对罗非鱼消化酶的影响

如图 1 所示, 低剂量组罗非鱼幼鱼各项消化酶指标均显著高于其他组 ($P<0.05$), 而其余组间差异不显著。随着精油添加剂量的增加, 胃蛋白酶 (Pep) 活性呈先升后降的趋势; 胃淀粉酶 (G-AMS)、肠淀粉酶 (I-AMS) 和脂肪酶 (LPS) 活性则呈先升再降后升的波动趋势。

2.4 春砂仁精油对罗非鱼幼鱼肠道抗氧化能力的影响

如图 2 所示, 随着春砂仁精油添加剂量的增加, 各实验组罗非鱼幼鱼肠道中 T-AOC、SOD 和 CAT 活性、GSH 浓度均呈先升后降的趋势, 且低

剂量组显著高于其他组 ($P<0.05$); MDA 浓度随精油剂量的增加呈降低趋势, 且高剂量组显著低于对照组 ($P<0.05$); 其余各组肠道抗氧化指标与对照组均无显著性差异 ($P>0.05$)。

2.5 春砂仁精油对罗非鱼幼鱼血清肝功能和脂质代谢指标的影响

2.5.1 对血清肝功能指标的影响

如图 3 所示, 随着春砂仁精油添加剂量的增加, 各实验组罗非鱼幼鱼血清中 TP、GLOB 含量、ALP 和 ALT 活性均呈先降低后升高的趋势, 其中, 低剂量组 TP 和 GLOB 含量显著低于其他组

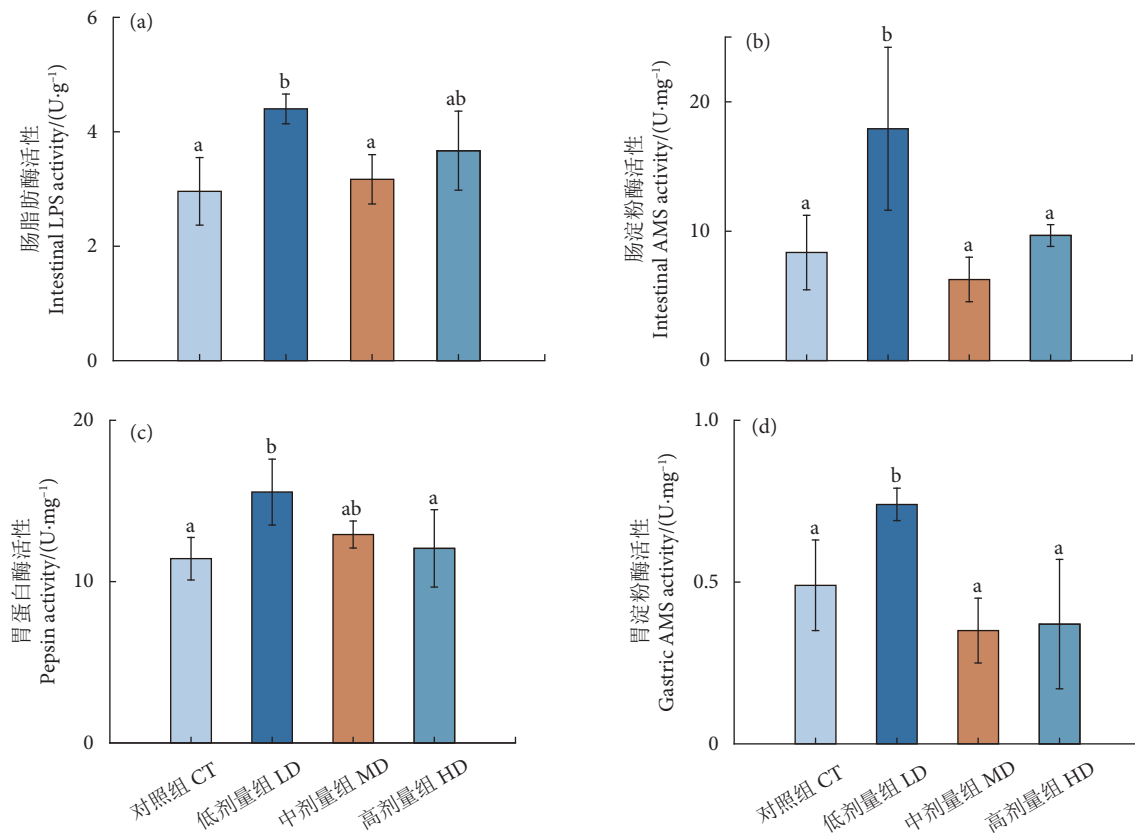


图1 春砂仁精油对罗非鱼幼鱼消化酶的影响

注: 字母不同表示同一时间各实验组之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。后图同此。

Fig. 1 Effects of *A. villosum* essential oil on digestive enzymes of juvenile tilapia

Note: Values with different letters represent significant differences at the same time ($P < 0.05$). The same case in the following figure.

($P < 0.05$)。其他处理组血清肝功能指标无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.5.2 对血清脂质代谢指标的影响

如表4所示, 随着春砂仁精油添加剂量的增加, 各实验组罗非鱼幼鱼血清中TG、TC、HDL-CH和LDL-CH含量均呈先降后升的趋势, 其中, 低剂量组TC和LDL-CH显著低于其他组 ($P < 0.05$), 且高剂量组HDL-CH显著高于对照组 ($P < 0.05$)。其他处理组血清指标无显著性差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 春砂仁精油主要成分与功能

现代药理学研究已经证实, 砂仁具有保护胃肠、抗炎、止痛、止泻、抗菌和降血糖等作用^[19-20]。考虑春砂仁果实应用于实际生产中成本较高的因素, 本实验采用春砂仁茎叶抽提挥发油, 经检测分析, 其主要成分为 β -蒎烯、 α -蒎烯和桉烯等, 虽未检测出砂仁果实挥发油中所含有的主要成分乙酸龙胆酯^[21], 但其他功能成分均有检出。临床验证表

明, α -蒎烯和 β -蒎烯具有抗凝血、抗肿瘤、保护胃肠道、抗炎镇痛和抗氧化等诸多功效^[22-24]。Salas-Oropeza等^[25]研究发现 α -蒎烯能够提高伤口愈合活性, 加速皮肤伤口闭合并产生具有良好抗拉强度的疤痕。Santos等^[26]研究证明 β -蒎烯对糖尿病大鼠有降血糖、降血脂和抗炎的作用。说明实验用的春砂仁茎叶挥发油同样具有抗氧化、保护胃肠道、抗炎和促进糖脂代谢等诸多功能。

3.2 春砂仁精油可提升罗非鱼幼鱼生长和消化能力

促消化是春砂仁精油肠胃保健功能的直观体现。有研究发现 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的砂仁醇水提物在十二指肠给药下有利于大鼠胆汁的分泌^[27]。Jucá等^[28]亦报道 α -蒎烯和 β -蒎烯能够促进大鼠胃窦组织P物质(Substance P)与胃动素的释放, 加速大鼠胃和小肠的排空。邢莲影等^[29]研究发现砂仁叶油和砂仁水煎剂的作用一致, 具有推进小肠运动的作用。本研究结果表明, 低剂量($2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)处理组罗非鱼幼鱼胃中Pep、AMS和肠中LPS、AMS的活性相比于对照组均显著升高 ($P < 0.05$), 而中剂量($4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和高剂量($8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)处理组则无显著性差异, 说明

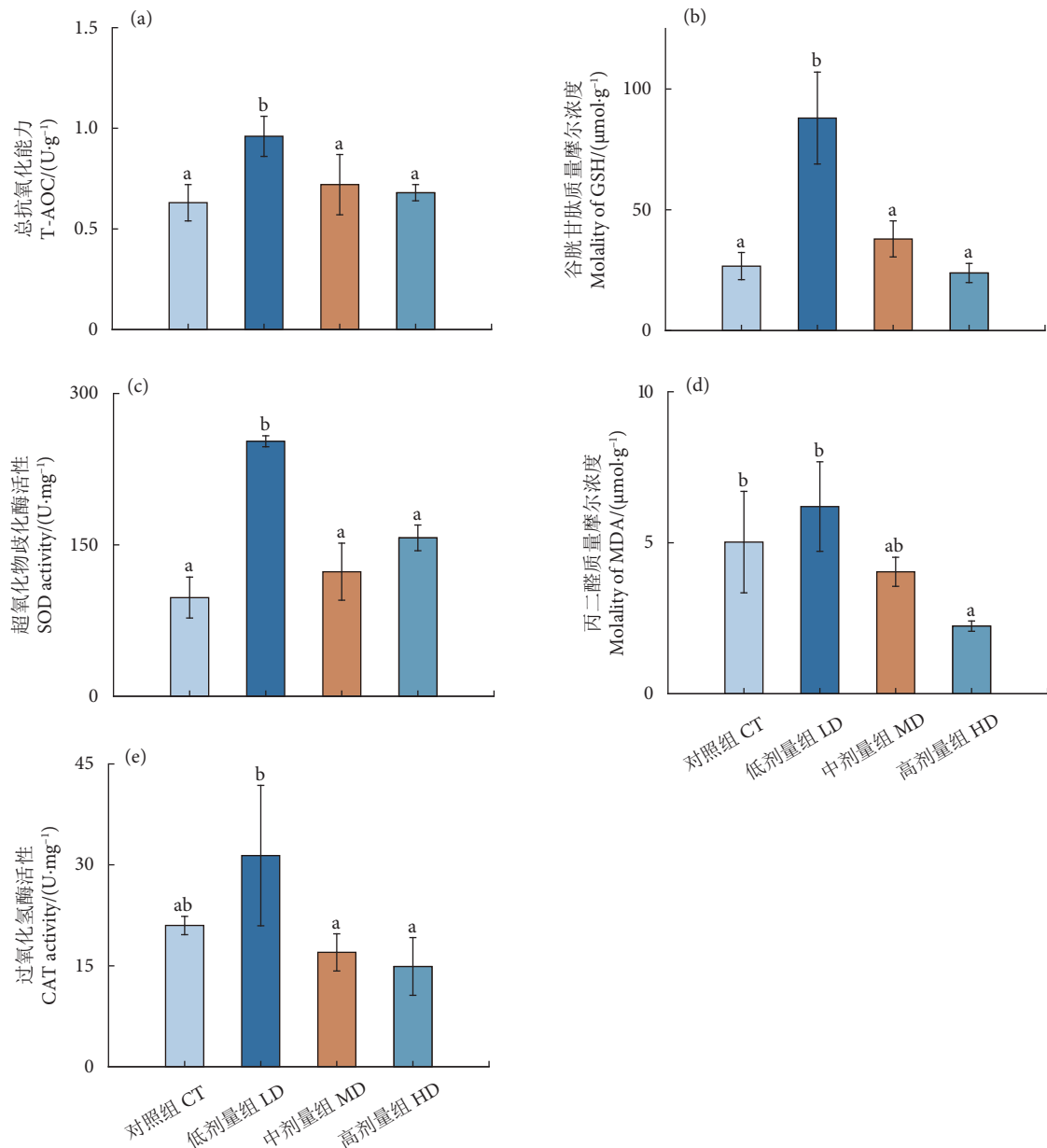


图2 春砂仁精油对罗非鱼幼鱼肠道抗氧化指标的影响

Fig. 2 Effects of *A. villosum* essential oil on intestinal antioxidant capacity of juvenile tilapia

拌喂适量的春砂仁精油能够提高罗非鱼幼鱼的消化能力。

消化能力的提升有助于机体对营养的吸收,进而促进代谢和生长^[30]。本研究发现,春砂仁精油添加水平在 $2\sim 8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,罗非鱼幼鱼的终末体长、终末体质量、体质量增长率和特定生长率均呈先升后降的趋势,而饵料系数则呈先降后升的趋势,其中添加水平在 $2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时效果最佳,说明适量春砂仁精油能明显改善罗非鱼幼鱼的生长状况和饲料转化利用率。推测这与低浓度的春砂仁精油保护肠道组织结构完整,促进消化酶的分泌有关,进而提高了机体对营养物质的吸收和利用。有研究表

明,春砂仁精油通过抑制三羧酸循环(TCA),减少三磷酸腺苷(ATP)和活性氧(ROS)的产生以及增强SOD活性来诱导细菌死亡^[31],推测中高浓度的春砂仁精油可能会破坏肠道菌群结构,引起致病细菌感染,进而限制罗非鱼的生长及消化能力。

3.3 春砂仁精油可提高罗非鱼幼鱼肠道抗氧化能力

普遍认为,植物精油具有抗氧化作用,常通过清除自由基、螯合金属离子、抑制细胞膜脂质过氧化和调节氧化酶等途径来实现^[32-36]。T-AOC从总体上反映了组织对自由基和活性氧类物质的抵抗能力^[37],GSH是细胞中重要的非酶内源性抗氧化剂^[38],而MDA是脂质过氧化的次级产物,被用作

表3 春砂仁精油对罗非鱼幼鱼血清肝功能指标的影响
Table 3 Effects of *A. villosum* essential oil on liver function index in serum of juvenile tilapia

| 项目 Item | 对照组 Control group | 低剂量组 Low-dose group | 中剂量组 Medium-dose group | 高剂量组 High-dose group |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 总蛋白 TP/(g·L ⁻¹) | 36.93±2.12 ^a | 29.98±3.03 ^b | 33.63±2.47 ^{ab} | 35.58±4.48 ^a |
| 球蛋白 GLOB/(g·L ⁻¹) | 28.23±0.97 ^a | 22.68±1.73 ^b | 25.00±1.09 ^{ab} | 27.13±3.62 ^a |
| 碱性磷酸酶 ALP/(U·L ⁻¹) | 25.00±7.53 | 18.67±9.87 | 24.67±4.93 | 23.50±5.32 |
| 丙氨酸氨基转移酶 ALT/(U·L ⁻¹) | 17.33±5.51 | 13.33±3.21 | 15.00±0.00 | 16.00±1.73 |
| 天门冬氨酸氨基转移酶 AST/(U·L ⁻¹) | 40.33±10.60 | 46.33±21.20 | 31.33±8.96 | 47.33±4.51 |

表4 春砂仁精油对罗非鱼幼鱼血清脂质代谢指标的影响
Table 4 Effects of *A. villosum* essential oil on lipid metabolism index in serum of juvenile tilapia

| 项目 Item | 对照组 Control group | 低剂量组 Low-dose group | 中剂量组 Medium-dose group | 高剂量组 High-dose group |
|--|------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 甘油三酯 TG/(mmol·L ⁻¹) | 0.87±0.21 | 0.67±0.24 | 0.81±0.22 | 0.66±0.10 |
| 总固醇 TC/(mmol·L ⁻¹) | 4.16±0.69 ^a | 3.08±0.50 ^b | 4.60±0.15 ^a | 4.67±0.75 ^a |
| 高密度脂蛋白胆固醇 HDL-CH/(mmol·L ⁻¹) | 1.83±0.13 ^b | 1.58±0.20 ^b | 1.98±0.23 ^{ab} | 2.06±0.45 ^a |
| 低密度脂蛋白胆固醇 LDL-CH/(mmol·L ⁻¹) | 1.93±0.52 ^a | 1.19±0.34 ^b | 2.26±0.21 ^a | 2.13±0.12 ^a |

细胞膜损伤的指标^[39]。SOD 和 CAT 是两种关键的抗氧化酶,起到清除活性氧自由基的作用^[40]。本研究低剂量组中较高水平的 SOD 和 CAT 活性表明适量的春砂仁精油能够提高抗氧化酶的活性, T-AOC 和 GSH 水平的升高说明其能够提高罗非鱼幼鱼肠道的抗氧化和清除自由基能力。研究表明,柠檬烯和芳香醇等萜烯类物质暴露在空气中形成的氧化产物会导致接触性过敏^[41],而过敏反应中会伴随组织细胞 ROS 含量升高^[42]。本研究中低剂量组 MDA 浓度未下降,推测可能是低剂量精油中部分萜烯类物质氧化导致其清除肠道组织 ROS 的能力受限,而肠道 MDA 浓度随着精油剂量的增加而降低,推测这与高剂量春砂仁精油发挥自身清除 ROS 的能力有关,进而导致细胞膜脂质过氧化程度降低。

3.4 春砂仁精油可改善罗非鱼幼鱼血清肝功能指标和脂质代谢能力

鱼类血清肝功能指标能反映鱼类肝脏的生理状态和病理情况^[43-45],血清 TP 由白蛋白(ALB)和 GLOB 组成,ALB 主要由肝脏合成,GLOB 则由 B 淋巴细胞合成^[46-47]。有研究表明,春砂仁精油能够改善小鼠的血清肝功能指标,降低 AST 和 ALT 活性,改善衣霉素诱导的肝脏脂质积累^[18,48],推测低剂量的春砂仁精油可能通过促进脂质代谢,减少肝脏脂质累积,进而改善肝功能。本研究中,低剂量组罗非鱼幼鱼血清中的 TP 和 GLOB 含量较

对照组显著降低,ALP 和 ALT 活性较对照组呈下降趋势。

血脂水平的高低与机体脂质代谢能力密切相关^[49]。血清 TC 浓度是评价机体脂质代谢能力的重要指标^[50],高密度脂蛋白(HDL)在血液中携带胆固醇后形成 HDL-CH,由血液向肝脏输送,是机体组织胆固醇的“清洁剂”,其含量越高,机体将胆固醇运回肝脏中的能力就越强,而低密度脂蛋白(LDL)则携带胆固醇形成 LDL-CH,由肝脏向血液输送^[51]。本实验中,低剂量组罗非鱼幼鱼血清中 TC 和 LDL-CH 的水平显著低于其他组($P<0.05$),且随着春砂仁精油添加剂量的增加,HDL-CH 的水平逐渐升高。这表明饲料中添加适量春砂仁精油具有促进脂质代谢的功效。

4 结论

拌喂适量的春砂仁精油能显著增强罗非鱼幼鱼的消化和肠道抗氧化能力,提升脂质代谢水平,改善血清肝功能指标,进而提高罗非鱼幼鱼的生长性能。在本实验条件下,春砂仁精油的适宜添加剂量为 2 g·kg⁻¹。

参考文献:

- [1] 张婧怡.不同品种及不同养殖环境的罗非鱼肠道微生物分析研究[D].南宁:广西大学,2020:15-16.

- [2] 赵怡, 文露婷, 黄娟, 等. 山豆根多糖对罗非鱼生长性能和免疫功能的影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2021, 48(10): 3635-3643.
- [3] 李森. 蜡芽孢杆菌调节罗非鱼免疫及脂代谢的机制探究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2022: 1-4.
- [4] XIE J Y, LI M, YE W D, et al. Sinomenine hydrochloride ameliorates fish foodborne enteritis via $\alpha 7nAChR$ -mediated anti-inflammatory effect whilst altering microbiota composition[J]. Front Immunol, 2021, 12: 766845.
- [5] KIRON V, PARK Y, SIRIYAPPAGOUDE P, et al. Intestinal transcriptome analysis reveals soy derivative-linked changes in Atlantic salmon[J]. Front Immunol, 2020, 11: 596514.
- [6] CHEN W J, CHANG K, CHEN J L, et al. Dietary sodium butyrate supplementation attenuates intestinal inflammatory response and improves gut microbiota composition in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed with a high soybean meal diet[J]. Fish Physiol Biochem, 2021, 47(6): 1805-1819.
- [7] PAONE P, CANI P D. Mucus barrier, mucins and gut microbiota: the expected slimy partners? [J] Gut, 2020, 69(12): 2232-2243.
- [8] 吴杨, 杨铿, 黄小林, 等. 饲料中添加丁酸梭菌对卵形鲳鲹幼鱼生长性能和肠道菌群的影响 [J]. 南方水产科学, 2022, 18(3): 155-162.
- [9] 李合英, 吴鸿. 春砂仁传粉及其生殖生物学研究进展 [J]. 亚热带植物科学, 2012, 41(4): 75-78.
- [10] 詹若挺. 基于系统量化指标的阳春砂商品规格及其行业标准的研究 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2012: 18-20.
- [11] BORGES R S, ORTIZ B L S, PEREIRA A C M, et al. *Rosmarinus officinalis* essential oil: a review of its phytochemistry, anti-inflammatory activity, and mechanisms of action involved[J]. J Ethnopharmacol, 2019, 229: 29-45.
- [12] ASHOKKUMAR K, SIMAL-GANDARA J, MURUGAN M, et al. Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) essential oil: a review on its composition, biological, and pharmacological activities[J]. Phytother Res, 2022, 36(7): 2839-2851.
- [13] SALEM M A, MANAA E G, OSAMA N, et al. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil and oil-loaded nano-formulations as an anti-aging potentiality via TGF β /SMAD pathway[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 6578.
- [14] BONNARD M, MARTIN E, PARROT I. Wound healing potential of an oleoresin essential oil chemotype from *Canarium schweinfurthii* Engl[J]. Molecules, 2022, 27(22): 7966.
- [15] 胡玉兰, 张忠义, 王文婧, 等. 砂仁挥发油对大鼠乙酸性胃溃疡的影响及其机理探讨 [J]. 中药材, 2005, 28(11): 1022-1024.
- [16] 朱金照, 张捷, 张志坚, 等. 砂仁对大鼠功能性消化不良的作用 [J]. 华西药理学杂志, 2006(1): 58-60.
- [17] YUE J J, ZHANG S L, ZHENG B. Efficacy and mechanism of active fractions in fruit of *Amomum villosum* Lour. for gastric cancer[J]. J Cancer, 2021, 12(20): 5991-5998.
- [18] LU S H, ZHANG T, GU W. Volatile oil of *Amomum villosum* inhibits nonalcoholic fatty liver disease via the gut-liver axis[J]. Bio-med Res Int, 2018, 7: 1-16.
- [19] CAI R B, YUE X Y, WANG Y L, et al. Chemistry and bioactivity of plants from the genus *Amomum*[J]. J Ethnopharmacol, 2021, 281: 114563.
- [20] CHEN Z, NI W Y, YANG C X, et al. Therapeutic effect of *Amomum villosum* on inflammatory bowel disease in rats[J]. Front Pharmacol, 2018, 6: 639-653.
- [21] 黄凤婷, 万绵洁, 张丹雁. 砂仁叶油的化学成分分析及促进创面愈合作用研究 [J]. 广东药科大学学报, 2017, 33(4): 466-470.
- [22] 王柳萍, 梁晓乐, 罗跃, 等. 砂仁挥发油成分的气相色谱-质谱分析 [J]. 医药导报, 2013, 32(6): 782-784.
- [23] 王玲, 司徒绮文. 春砂仁挥发性成分的提取和检测 [J]. 现代食品科技, 2010, 26(9): 1031-1034.
- [24] SALEHI B, UPADHYAY S, ERDOGAN O. Therapeutic potential of α - and β -pinene: a miracle gift of nature[J]. Biomolecules, 2019, 9(11): 738.
- [25] SALAS-OROPEZA J, JIMENEZ-ESTRADA M, PEREZ-TORRES A, et al. Wound healing activity of α -pinene and α -phellandrene[J]. Molecules, 2021, 26(9): 2488.
- [26] SANTOS E S, COELHO G L, LOULA Y K S F, et al. Hypoglycemic, hypolipidemic, and anti-inflammatory effects of beta-pinene in diabetic rats [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2022: 8173307.
- [27] 王红武, 张明发, 沈雅琴. 砂仁对消化系统药理作用的实验研究 [J]. 中国中医药科技, 1997, 4(5): 284-285.
- [28] JUCÁ D M, da SILVA M T, RAIMUNDO C P Jr., et al The essential oil of *Eucalyptus tereticornis* and its constituents, α - and β -pinene, show accelerative properties on rat gastrointestinal transit[J]. Planta Med, 2011, 77(1): 57-59.
- [29] 邢莲影, 崔燎, 刘莎莎. 砂仁叶油对胃肠道作用的研究 [J]. 中草药, 1989, 20(4): 25-27.
- [30] HUNG P N, THINH V D, NANG T T T, et al. Ethanol-soluble components in soybean meal influence the digestive physiology, hepatic and intestinal morphologies, and growth performance of the marine fish pompano (*Trachinotus blochii*)[J]. J Anim Physiol Anim Nutr (Berl), 2021, 105(4): 766-776.
- [31] TANG C L, CHEN J L, ZHOU Y, et al. Exploring antimicrobial mechanism of essential oil of *Amomum villosum* Lour through metabolomics based on gas chromatography-mass spectrometry in methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. Microbiol Res, 2021, 242: 126608.
- [32] FAN Y, NGUYEN T V, PIAO C H, et al. Fructus *Amomi* extract attenuates nasal inflammation by restoring Th1/Th2 balance and down-regulation of NF- κ B phosphorylation in OVA-induced allergic rhinitis[J]. Biosci Rep, 2022, 42(3): BSR20212681.
- [33] CHOI H G, JE I G, KIM G J, et al. Anti-allergic inflammatory activities of compounds of *amomi* fructus[J]. Nat Prod Commun, 2015, 10(4): 631-632.
- [34] GHOSH D, CHAUDHARY N, UMA KUMARI K, et al. Diversity of essential oil-secretory cells and oil composition in flowers and buds of *Magnolia sirindhorniae* and its biological activities[J].

- Chem Biodivers, 2021, 18(1): e2000750.
- [35] 类程月, 周晓琴, 王琪, 等. 松树精油成分分析及其生理功能的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(11): 398-405.
- [36] AEBISHER D, CICHONSKI J, SZPYRKA E, et al. Essential oils of seven Lamiaceae plants and their antioxidant capacity[J]. Molecules, 2021, 26(13): 3793-3808.
- [37] RAŠKOVIĆ A, MILANOVIĆ I, PAVLOVIĆ N, et al. Antioxidant activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil and its hepatoprotective potential[J]. BMC Complement Altern Med, 2014, 14: 225.
- [38] 曾祥兵, 董宏标, 韦政坤, 等. 鸡内金多糖对尖吻鲈幼鱼生长、消化、肠道抗氧化能力和血清生化指标的影响 [J]. 南方水产科学, 2021, 17(4): 49-57.
- [39] WANG M Y, ZHANG S F, ZHONG R Q, et al. Olive fruit extracts supplement improve antioxidant capacity via altering colonic microbiota composition in mice[J]. Front Nutr, 2021, 8: 645099.
- [40] TANG W, XING Z Q, LI C, et al. Molecular mechanisms and *in vitro* antioxidant effects of *Lactobacillus plantarum* MA2[J]. Food Chem, 2017, 221: 1642-1649.
- [41] DEZA G, GARCÍA-BRAVO B, SILVESTRE J F, et al. Contact sensitization to limonene and linalool hydroperoxides in Spain: a GEIDAC* prospective study[J]. Contact Dermatitis, 2017, 76(2): 74-80.
- [42] KIM D K, KIM H S, KIM A R, et al. DJ-1 regulates mast cell activation and IgE-mediated allergic responses[J]. J Allergy Clin Immunol, 2013, 131(6): 1653-1662.
- [43] 孙彩云, 董宏标, 王文豪, 等. 月桂酸单甘油酯对花鲈脂质代谢的影响 [J]. 南方水产科学, 2021, 17(1): 67-75.
- [44] 李文武, 殷光文, 林希, 等. 海带粗多糖对斜带石斑鱼血清指标的影响 [J]. 海洋科学, 2015, 39(6): 59-64.
- [45] 罗嘉翔, 黄文文, 袁野, 等. 鸡肉粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、饲料利用、消化酶活性及抗氧化能力的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(11): 3970-3979.
- [46] 陈庆凯. 低盐胁迫对黄姑鱼幼鱼血清免疫和抗氧化性能的影响 [J]. 海洋渔业, 2014, 36(6): 516-522.
- [47] 张立颖, 赵萌. 鱼类免疫球蛋白的研究进展 [J]. 水产科学, 2009, 28(11): 701-705.
- [48] CHO J H, LEE J S, KIM H G, et al. Ethyl acetate fraction of *Amomum villosum* var. *xanthioides* attenuates hepatic endoplasmic reticulum stress-induced non-alcoholic steatohepatitis via improvement of antioxidant capacities[J]. Antioxidants (Basel), 2021, 10(7): 998.
- [49] ZHANG D D, YAN Y A, TIAN H Y, et al. Resveratrol supplementation improves lipid and glucose metabolism in high-fat diet-fed blunt snout bream[J]. Fish Physiol Biochem, 2018, 44(1): 163-173.
- [50] SCHMIDT K A, CROMER G, BURHANS M S, et al. Impact of low-fat and full-fat dairy foods on fasting lipid profile and blood pressure: exploratory endpoints of a randomized controlled trial[J]. Am J Clin Nutr, 2021, 114(3): 882-892.
- [51] 吴美焕, 安文强, 董晓慧, 等. 饲料脂肪源对珍珠龙胆石斑鱼生长性能、血清生化指标及肝脏脂肪酸组成、脂肪代谢相关指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(3): 1315-1326.