



## 饲料中添加复合植物提取物对大口黑鲈生长性能、血清生化指标和肝脏、肠道健康的影响

王梦华<sup>1,2</sup>, 李国立<sup>2</sup>, 黄文庆<sup>2</sup>, 周萌<sup>1</sup>, 王国霞<sup>3</sup>, 黄燕华<sup>1\*</sup>

(1. 仲恺农业工程学院健康养殖创新研究院, 广东广州 510225;

2. 广州飞禧生物科技有限公司, 广东广州 510640;

3. 广东省农业科学院动物科学研究所, 广东广州 510640)

**摘要:** 为研究饲料中添加由桑叶黄酮、栗木单宁和桑叶多糖组成的复合植物提取物对大口黑鲈生长性能、血清生化指标和肝脏、肠道健康的影响, 实验设计 3 个处理组, 每组 4 个重复, 分别投喂添加 0、0.1%、0.2% 复合植物提取物的等氮等脂饲料 (J0、J1、J2), 养殖周期为 56 d。结果显示, 与 J0 组相比, J2 组大口黑鲈的末均重、增重率及特定生长率分别显著提高 8.34%、11.24% 和 5.88%; 3 组大口黑鲈机体粗脂肪、水分、粗灰分、钙和总磷, 肥满度、脏体比均无显著差异, 粗蛋白含量随着复合植物提取物添加量的增加呈上升趋势, 与 J0 组相比, J2 组显著提高 5.61%; J1 和 J2 组肝体比显著降低 9.10%~10.28%, 血清白蛋白含量和白蛋白/球蛋白值显著提高 8.28%~12.62% 和 13.56%~23.73%, J2 组血清球蛋白含量显著降低 9.47%, J1 和 J2 组血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性和血糖含量分别显著降低 31.25%~46.88%、7.69%~12.54% 和 20.90%~22.40%; J1 和 J2 组胆固醇和甘油三酯含量呈降低趋势, 高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇呈升高趋势; J1 和 J2 组肝脂空泡化程度显著降低 22.89%~36.22%, 肠道绒毛高度显著降低 10.84%。研究表明, 饲料中添加复合植物提取物能显著提高大口黑鲈的生长性能和改善其肝脏健康。

**关键词:** 大口黑鲈; 复合植物提取物; 生长性能; 血清生化

中图分类号: S 963.31

文献标志码: A

大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 原产于北美, 属鲈形目 (Perciformes) 黑鲈属 (*Micropterus*), 是一种典型的肉食性淡水经济鱼类, 是国内重要的淡水养殖品种之一<sup>[1-2]</sup>。对大口黑鲈营养需求的研究表明, 大口黑鲈对饲料中糖的利用能力低<sup>[3]</sup>, 随着饲料糖水平的升高, 大口黑鲈增重率显著下降, 肝细胞空泡增多, 即所谓的“肝糖应激”<sup>[4]</sup>。Zhang 等<sup>[5]</sup>发现饲料淀粉水平超过 5% 会抑制大口黑鲈生长, 也会对肝脏组织结构及肠道有益菌造成负

面影响。Li 等<sup>[6]</sup>研究表明, 饲料中添加 10% 和 15% 淀粉组与添加 5% 淀粉组相比, 大口黑鲈摄食率和增重率显著降低。随着对大口黑鲈营养需求研究的不断深入, 大口黑鲈专用配合饲料的开发也取得了突破, 但使用配合饲料, 在养殖中后期大口黑鲈普遍存在肝脏代谢障碍、免疫力下降、应激水平升高现象<sup>[7]</sup>。主要原因是配合饲料中糖水平的设计值 (10% 以上) 高于其需要值<sup>[8-9]</sup>, 糖过量的条件下, 包括大口黑鲈在内的典型肉食性鱼

收稿日期: 2022-04-07 修回日期: 2022-08-08

资助项目: 广东省普通高校功能饲料与动物免疫调控创新团队项目 (2020KCXTD019); 广东省饲料产业技术体系创新团队建设项目 (2021KJ115); 环境友好型海鲈低氮、磷配合饲料的研发推广 (ZH22036207200013PWC)

第一作者: 王梦华 (照片), 从事动物营养与饲料研究, E-mail: 2562970281@qq.com

通信作者: 黄燕华, 从事动物营养与饲料研究, E-mail: huangyh111@126.com



类肝脏糖原和脂肪积累, 导致肝脏肿大<sup>[10]</sup>, 血糖升高<sup>[11]</sup>, 不仅会影响鱼类的糖利用, 还会抑制鱼类免疫功能, 增加炎症反应。因此, 通过营养手段, 改善高糖水平下大口黑鲈的肝糖应激及炎症反应, 成为近年来的研究热点。多种功能性添加剂如胆汁酸<sup>[12]</sup>、维生素<sup>[13]</sup>、中草药制剂<sup>[14]</sup>、含有桑叶黄酮和栗木单宁的植物提取物<sup>[15]</sup>等被证实可不同程度地改善大口黑鲈的肝糖应激。目前, 将复配的多种植物提取物应用于水产动物饲料还鲜有报道, 本实验通过在饲料中添加复合植物提取物研究其对大口黑鲈生长性能、血清生化指标、肝脏和肠道组织健康等的影响及应用效果, 以期为大口黑鲈配合饲料配方优化提供参考资料。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验设计

以鱼粉、豆粕、玉米蛋白粉、棉籽蛋白、血球蛋白粉、谷朊粉为主要蛋白源, 鱼油和豆油为主要脂肪源,  $\alpha$ -淀粉为主要糖源, 分别添加 0、0.1% 和 0.2% 的复合植物提取物, 配制成 J0、J1 和 J2 等 3 种等氮等脂实验饲料。复合植物提取物由广州飞禧特生物科技有限公司提供, 由 40% 栗木单宁、40% 桑叶黄酮和 20% 桑叶多糖组成。饲料原料经粉碎后过 80 目筛, 低剂量原料先逐级扩大预混, 再将全部原料集中投入 V 型混合机混合均匀, 然后于油脂捏合机中加入鱼油和豆油进行捏合, 油脂混匀后于搅拌机集中加入 30% 水搅拌混合, 再用 SLX-80 型双螺杆挤压机制成粒径为 5.0 mm 的颗粒饲料, 55 °C 烘干, 自然冷却后放入密封袋中, 置于 -20 °C 冰箱中保存备用。实验饲料的原料组成及营养水平见表 1。

### 1.2 实验鱼与饲养管理

大口黑鲈鱼苗购买于广东省中山市神湾养殖场, 购回后置于广东省农业科学院水产养殖基地的循环水养殖系统中暂养 2 周。挑选初始体质量约为 33.02 g 的大口黑鲈鱼 240 尾, 随机分为 3 组, 每组 4 个重复, 每个重复 20 尾, 分配到规格为 200 L 的 12 个循环系统缸中。分别投喂 3 种实验饲料, 每日饱食投喂 2 次 (8:00、17:00)。养殖实验期间为自然光照, 水温 27~31 °C, 氨氮浓度 < 0.20 mg/L, 亚硝酸盐浓度 < 0.01 mg/L, 溶解氧浓度 > 5.0 mg/L, pH 7.8~8.2。饲喂 8 周。

表 1 实验饲料组成及营养水平 (干物质基础, %)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (dry matter basis, %)

项目 items	组别 groups		
	J0	J1	J2
<b>原料 ingredients</b>			
鱼粉 fish meal	45	45	45
玉米蛋白粉 corn protein powder	5	5	5
棉籽蛋白粉 cottonseed protein powder	5	5	5
豆粕 soybean meal	10	10	10
血球蛋白粉 hemoglobin powder	2	2	2
谷朊粉 vital gluten	2	2	2
磷酸二氢钙 calcium dihydrogen phosphate	1	1	1
$\alpha$ -淀粉 $\alpha$ -starch	10	10	10
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	8	7.9	7.8
鱼油 fish oil	4	4	4
豆油 soybean oil	4	4	4
海藻酸钠 sodium alginate	2	2	2
复合植物提取物 plant extracts compound	0	0.1	0.2
预混料 premix	2	2	2
合计 total	100	100	100
<b>营养水平 nutrient levels</b>			
粗蛋白 crude protein	44.65	44.08	44.56
粗脂肪 crude lipid	10.58	10.41	10.67
水分 moisture	6.3	6.68	6.77
粗灰分 ash	9.71	9.59	9.64
钙 calcium	1.61	1.6	1.8
磷 phosphorus	1.57	1.56	1.51

注: 1. 每千克预混料含有: 维生素 A 4 000 000 IU, 维生素 D<sub>3</sub> 2 000 000 IU, 维生素 E 30 g, 维生素 K<sub>3</sub> 10 g, 维生素 B<sub>1</sub> 5 g, 维生素 B<sub>2</sub> 15 g, 维生素 B<sub>6</sub> 8 g, 泛酸钙 calcium Pantothenate 25 g, 叶酸 folic acid 2.5 g, 生物素 biotin 0.08 g, 烟酸 nicotinic acid 40 g, 维生素 B<sub>12</sub> 0.02 g, 肌醇 inositol 150 g, MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 12 g, KCl 90 g, Met-Cu 3 g, FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 1 g, ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 10 g, Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.06 g, Met-Co 0.16 g, NaSeO<sub>3</sub> 0.0036 g。2. 营养水平为实测值。

Notes: 1. Containing the following per kilogram of premix: VA 4 000 000 IU, VD<sub>3</sub> 2 000 000 IU, VE 30 g, VK<sub>3</sub> 10 g, VB<sub>1</sub> 5 g, VB<sub>2</sub> 15 g, VB<sub>6</sub> 8 g, calcium Pantothenate 25 g, folic acid 2.5 g, biotin 0.08 g, nicotinic acid 40 g, VB<sub>12</sub> 0.02 g, inositol 150 g, MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 12 g, KCl 90 g, Met-Cu 3 g, FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 1 g, ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 10 g, Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.06 g, Met-Co 0.16 g, NaSeO<sub>3</sub> 0.0036 g。2. Nutrient levels were measured values

### 1.3 样品采集与检测

养殖实验结束后禁食 24 h, 统计每缸大口黑鲈的数量和总重, 用于计算生长性能。从每个处理中选取接近均重的 10 尾实验鱼, 其中 2 尾置于 -20 °C 冰箱保存, 用于全鱼体组成常规营养成分含量测定; 另外 8 尾鱼尾静脉取血, 血液于室温下静置 1 h, 4 000 r/min 离心 10 min, 制备血清, 于 -80 °C 冰箱保存, 用于血清生化指标检测; 每

组随机取 10 尾鱼测量体长和体质量, 解剖测量肝脏重和内脏团重, 用于统计形体指标; 取前肠和肝脏下叶, 置于甲醛溶液中用于组织切片观察。

鱼体水分含量采用 105 °C 常压干燥法 (GB/T 6435—2014) 测定, 粗蛋白质含量采用凯氏定氮法 (GB/T 6432—2018) 测定, 粗脂肪含量采用石油醚抽提法 (GB/T 6433—2006) 测定, 粗灰分含量采用 550 °C 灼烧法 (GB/T 6438—2007) 测定。血清白蛋白 (ALB)、球蛋白 (GLOB)、总蛋白 (TP)、胆固醇 (CHOL)、甘油三酯 (TG)、葡萄糖 (GLU)、尿素 (UREA)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-CH)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-CH) 的含量及谷丙转氨酶 (ALT) 和谷草转氨酶 (AST) 活性采用罗氏全自动生化分析仪 (co-bas - 8000c702) 测定。固定的组织通过脱水、包埋、切片、染色、封片后使用 PANNORAMIC 全景切片扫描仪进行观察, 使用 Image-Pro Plus 6.0 分析软件测定绒毛高度 (VH)、肠壁厚度 (WT)、统计肠绒毛数量 (VN)、计算肝脂空泡面积 (VS)。

#### 1.4 计算公式

$$\begin{aligned} \text{增重率 (WGR)} &= 100\% \times (W_f - W_i) / W_i; \\ \text{特定生长率 (SGR)} &= 100\% \times (\ln W_f - \ln W_i) / t; \\ \text{饲料系数 (FCR)} &= I_t / (W_f + W_d - W_i); \\ \text{蛋白质效率 (PER)} &= 100\% \times (W_f - W_0) / (I_t \times P_d); \\ \text{存活率 (SR)} &= 100\% \times N_f / N_i; \\ \text{肥满度 (CF)} &= W / L^3 \times 100\%; \\ \text{肝体比 (HSI)} &= 100\% \times W_h / W; \\ \text{脏体比 (VSI)} &= 100\% \times W_v / W; \end{aligned}$$

式中,  $W_f$  为末体质量 (g);  $W_i$  为初体质量 (g);  $I_t$  为总摄食饲料干重 (g);  $t$  为实验天数 (d);  $W_d$  为死亡总重 (g);  $W_0$  为实验初鱼总重 (g);  $W_f$  为实验终末鱼总重 (g);  $P_d$  为实验饲料粗蛋白质含量 (%);  $P_f$  为实验终末鱼体粗蛋白质含量 (%);  $P_0$  为实验初鱼体粗蛋白质含量 (%);  $N_f$  为实验初始鱼尾数;  $N_i$  为实验终末鱼尾数;  $W$  为鱼体体质量 (g);  $L$  为鱼体体长 (cm);  $W_v$  为鱼体内脏质量 (g);  $W_h$  为鱼体肝脏质量 (g)。

#### 1.5 数据统计分析

采用 SPSS 25.0 软件进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 实验数据用平均值  $\pm$  标准误差 (mean  $\pm$  SE) 表示。用 Duncan 氏法进行组间显著差异性的多重比较, 显著性水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 复合植物提取物对大口黑鲈的生长性能和形体指标的影响

J1 和 J2 组大口黑鲈末均重、增重率和特定生长率均高于 J0 组, 且与 J0 组相比, J2 组大口黑鲈的末均重、增重率及特定生长率分别显著提高 8.34%、11.24% 和 5.88% ( $P < 0.05$ ); 饲料系数随复合植物提取物添加水平上升呈下降趋势 ( $P > 0.05$ ), 蛋白质效率呈上升趋势 ( $P > 0.05$ ); 各组存活率均为 100%; 各组采食量无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 与 J0 组相比, J1 和 J2 组形体指标肥满度和脏体比没有显著差异 ( $P > 0.05$ ), 但肝体比显著降低 9.10%~10.28% ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

表 2 复合植物提取物对大口黑鲈生长性能和形体指标的影响

Tab. 2 Effects of plant extracts compound on growth performance and physical indicators of largemouth bass

项目 items	组别 groups		
	J0	J1	J2
初均重/g IBW	33.01 $\pm$ 0.01	33.02 $\pm$ 0.01	33.02 $\pm$ 0.02
末均重/g FBW	127.91 $\pm$ 2.37 <sup>a</sup>	129.56 $\pm$ 3.47 <sup>a</sup>	138.58 $\pm$ 3.29 <sup>b</sup>
增重率/% WGR	287.43 $\pm$ 7.22 <sup>a</sup>	292.35 $\pm$ 10.55 <sup>a</sup>	319.75 $\pm$ 9.80 <sup>b</sup>
特定生长率/(%/d) SGR	2.38 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	2.40 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	2.52 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>
采食量/(g/尾) FI	104.71 $\pm$ 6.00	102.52 $\pm$ 1.67	109.91 $\pm$ 2.43
饲料系数 FCR	1.10 $\pm$ 0.10	1.06 $\pm$ 0.02	1.04 $\pm$ 0.03
蛋白质效率/% PER	204.18 $\pm$ 18.56	213.61 $\pm$ 3.88	215.64 $\pm$ 5.82
存活率/% SR	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	2.24 $\pm$ 0.04	2.24 $\pm$ 0.07	2.27 $\pm$ 0.06
肝体比/% HIS	2.53 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	2.30 $\pm$ 0.45 <sup>a</sup>	2.27 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>
脏体比/% VSI	8.75 $\pm$ 0.28	8.24 $\pm$ 0.26	8.04 $\pm$ 0.21

注: 同行数据显著差异性采用不同字母标注 ( $P < 0.05$ )。下表相同  
Note: Significant differences in the same row are marked with different letters ( $P < 0.05$ ). The same below

### 2.2 复合植物提取物对大口黑鲈的体组成的影响

各组全鱼体组成中的粗脂肪、粗灰分、水分、钙和总磷含量均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 鱼体粗蛋白含量随着复合植物提取物添加量的增加呈上升趋势, 与 J0 组相比 J2 组显著提高 5.61% ( $P < 0.05$ ) (表 3)。

### 2.3 复合植物提取物对大口黑鲈血清生化指标的影响

与 J0 组相比, J1 和 J2 组大口黑鲈血清白蛋

表 3 复合植物提取物对大口黑鲈体组成的影响

Tab. 3 Effects of plant extracts compound on body composition of largemouth bass %

项目 items	组别 groups		
	J0	J1	J2
粗蛋白 CP	17.39±0.20 <sup>a</sup>	17.69±0.07 <sup>ab</sup>	17.96±0.05 <sup>b</sup>
粗脂肪 EE	9.63±0.30	9.28±0.59	9.28±0.10
水分 moisture	66.95±0.62	66.98±0.73	66.43±0.31
粗灰分 ash	4.10±0.10	4.28±0.04	4.19±0.16
钙 Ca	1.20±0.03	1.25±0.01	1.27±0.02
总磷 TP	0.81±0.01	0.85±0.02	0.87±0.03

白含量和白蛋白/球蛋白值显著提高 8.28%~12.62% 和 13.56%~23.73% ( $P<0.05$ ), J2 组球蛋白含量显著降低 9.47% ( $P<0.05$ ), 谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性和葡萄糖含量分别显著降低 31.25%~46.88%、7.69%~12.54% 和 20.90%~22.40% ( $P<0.05$ ); 各组血清胆固醇和甘油三酯含量呈降低趋势, 尿素、HDL-CH 和 LDL-CH 呈升高趋势, 但各组差异均未达到显著水平 ( $P>0.05$ ) (表 4)。

表 4 复合植物提取物对大口黑鲈血清生化指标的影响

Tab. 4 Effects of plant extracts compound on serum biochemical indicators of largemouth bass

项目 items	组别 groups		
	J0	J1	J2
白蛋白/(g/L) ALB	12.68±0.46 <sup>a</sup>	13.73±0.46 <sup>b</sup>	14.28±0.61 <sup>b</sup>
球蛋白/(g/L) GLOB	21.65±0.80 <sup>b</sup>	20.60±0.70 <sup>ab</sup>	19.6±0.62 <sup>a</sup>
白蛋白/球蛋白 A/G	0.59±0.04 <sup>a</sup>	0.67±0.04 <sup>b</sup>	0.73±0.01 <sup>b</sup>
总蛋白/(g/L) TP	34.33±0.53	34.33±0.56	33.88±1.19
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	8.00±0.82 <sup>c</sup>	5.50±0.58 <sup>b</sup>	4.25±0.50 <sup>a</sup>
谷草转氨酶/(U/L) AST	87.75±2.75 <sup>c</sup>	81.00±2.58 <sup>b</sup>	76.75±2.22 <sup>a</sup>
尿素/(mmol/L) UREA	2.98±0.30	3.00±0.18	3.13±0.33
葡萄糖/(mmol/L) GLU	15.36±0.79 <sup>b</sup>	12.15±1.17 <sup>a</sup>	11.92±0.44 <sup>a</sup>
胆固醇/(mmol/L) CHOL	7.91±1.12	7.83±0.68	7.23±1.02
甘油三酯/(mmol/L) TG	5.29±1.09	5.09±1.00	5.01±0.92
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) HDL-CH	1.08±0.11	1.28±0.45	1.35±0.22
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) LDL-CH	1.21±0.52	1.21±0.24	1.39±0.28

## 2.4 复合植物提取物对大口黑鲈肠道和肝脏组织形态的影响

J0~J2 组间肠壁厚度和绒毛数量无显著差异 ( $P>0.05$ ) (表 5), 但随复合植物提取物添加水平上升绒毛数量呈上升趋势 (图版 I, 图版 II); 与 J0

组相比, J1 和 J2 组绒毛高度和肝脂空泡化面积显著降低 10.84% 和 22.89%~36.22% ( $P<0.05$ ), 且 J2 组肝脂空泡化面积也显著低于 J1 组 ( $P<0.05$ )。

表 5 复合植物提取物对大口黑鲈肠道和肝脏组织形态的影响

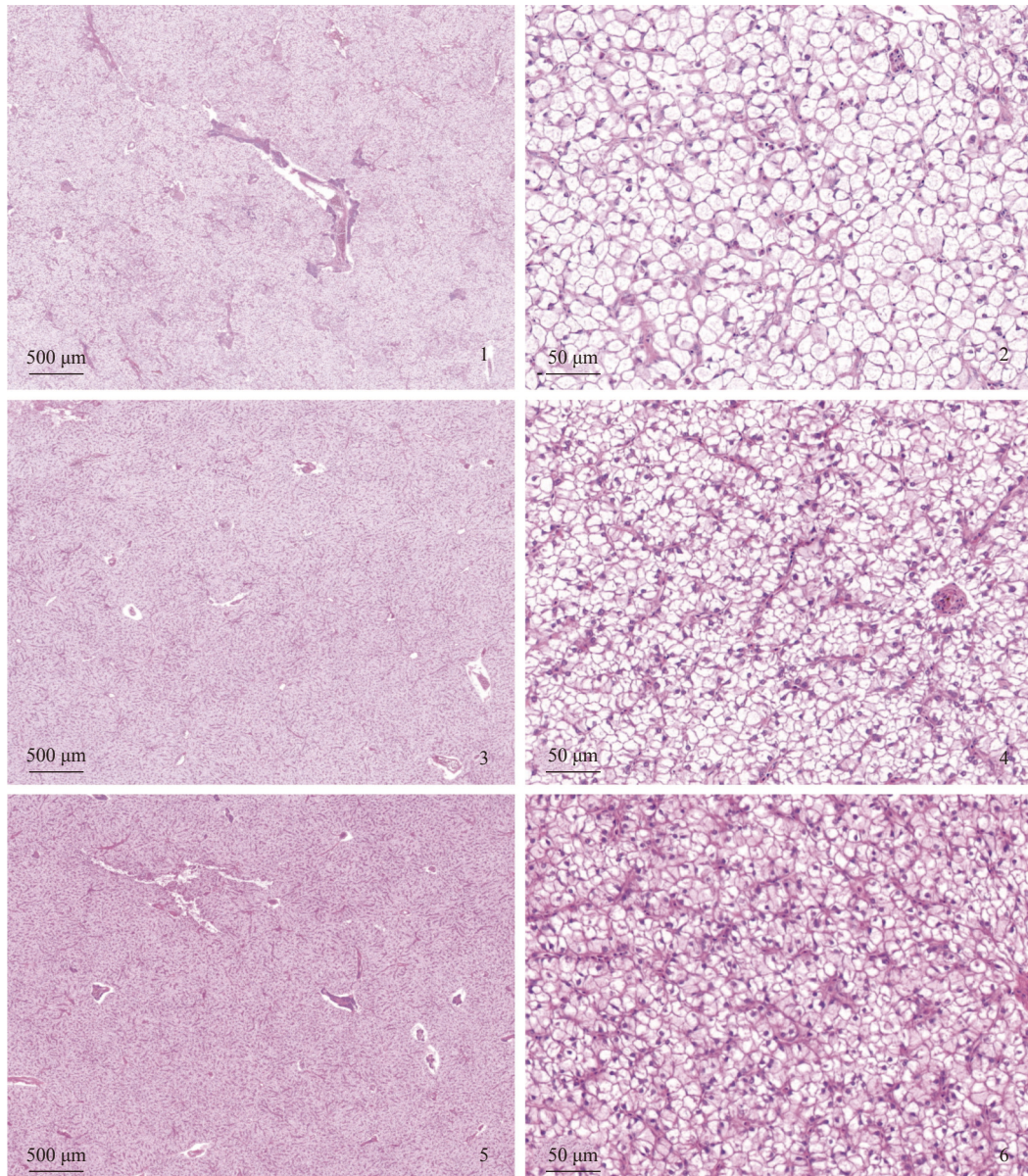
Tab. 5 Effects of plant extracts compound on intestinal and liver histomorphology of largemouth bass

项目 items		组别 groups		
		J0	J1	J2
绒毛高度/(mm) VH		0.83±0.01 <sup>b</sup>	0.74±0.01 <sup>a</sup>	0.74±0.02 <sup>a</sup>
肠壁厚度/(mm) WT		1.05±0.03	1.06±0.04	1.04±0.02
绒毛数量/(个/mm <sup>2</sup> ) VN		12.14±0.92	12.25±2.25	13.00±1.22
肝脂空泡化面积/% VS		42.24±0.99 <sup>c</sup>	32.57±1.50 <sup>b</sup>	26.94±0.96 <sup>a</sup>

## 3 讨论

### 3.1 添加复合植物提取物对大口黑鲈生长性能和形体指标的影响

结果发现, 添加复合植物提取物能显著提高大口黑鲈的生长性能, 改善大口黑鲈的饲料利用效率, 该复合植物提取物中各成分的应用效果已得到证实。如桑叶黄酮和桑叶多糖是桑叶中含量丰富的活性成分, 桑叶黄酮<sup>[16]</sup>可提高尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 的生长性能, 降低肝体比; 黄酮类物质组成的水飞蓟素<sup>[17]</sup>能提高草鱼的增重率和特定生长率, 降低其肝体比, 作用机制可能与其具有上调肝脏脂质分解 (HSL) 和  $\beta$ -氧化 (CPT1) 相关基因表达的作用有关。饲料中添加 200~800 mg/kg 原花青素 (生物黄酮类物质) 能显著提高吉福罗非鱼<sup>[18]</sup> 增重率和特定生长率, 显著降低饲料系数。在饲料中添加 0.1% 的水解单宁可显著提高龙胆石斑鱼 (*Epinephelus lanceolatus*) 的增重率和特定生长率, 并显著降低饲料系数<sup>[19]</sup>。郭慧等<sup>[20]</sup> 在凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 饲料中添加 0.1%~0.3% 的水解单宁能显著提高凡纳滨对虾增重率和特定生长率且能显著降低肝体比。彭凯等<sup>[21]</sup> 认为低剂量单宁促进水产动物生长可能与其对肠道菌群的有益作用有关。因此, 复合植物提取物发挥促生长和降低肝体比的主要成分是其的桑叶黄酮和单宁类物质, 对水产动物形体指标的影响可能与其促进肝脂分解代谢、抑制肝脂合成代谢作用有关, 促生长作用可能与改变肠道微生物菌群作用有关。



图版 I 复合植物提取物对大口黑鲈肝脏组织形态的影响

1-2, 3-4 和 5-6 分别表示 J0, J1 和 J2 各组大口黑鲈肝脏的切片图

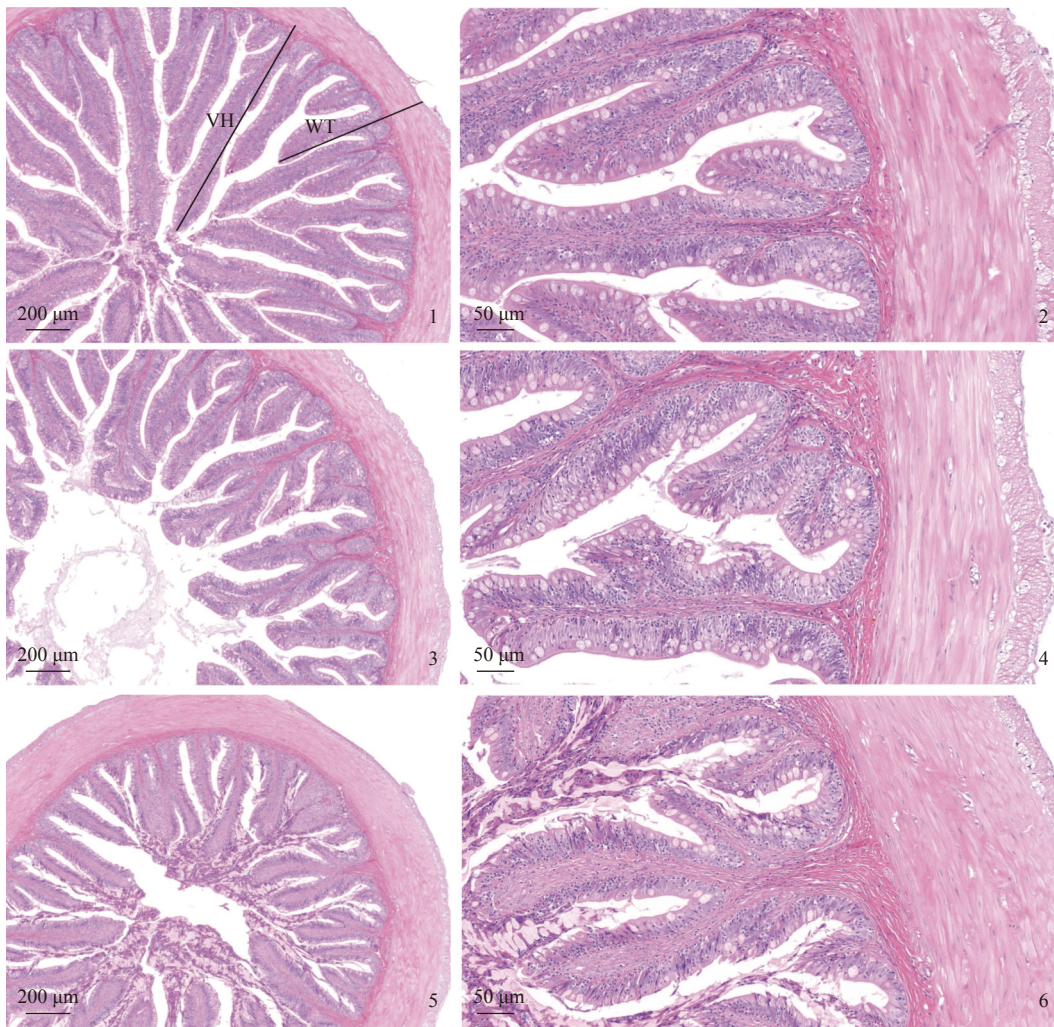
**Plate I Effects of plant extracts compound on liver histomorphology of largemouth bass**

1-2, 3-4 and 5-6 respectively represent the liver sections of largemouth bass of groups J0, J1 and J2

### 3.2 添加复合植物提取物对大口黑鲈体成分的影响

关于黄酮、单宁和多糖类物质对水产动物体成分的影响研究结果并不完全一致。本实验饲料中添加 0.1%~0.2% 的复合植物提取物并不影响大口黑鲈全鱼体组成中的粗脂肪、粗灰分、水分、钙和总磷含量，但鱼体粗蛋白含量随着复合植物提取物添加量的增加呈上升趋势。这与在尼罗罗非鱼<sup>[16]</sup> 饲料中添加桑叶黄酮对其全鱼粗脂肪、粗蛋白、粗灰分和水分含量没有显著影响，但一定

程度上提高了全鱼粗蛋白含量的研究结果相似。研究发现，饲料中添加一定量的单宁对水产动物体成分影响作用不显著。彭凯等<sup>[21]</sup> 研究发现在凡纳滨对虾饲料中添加 0.5~4.0 g/kg 的缩合单宁不影响凡纳滨对虾体成分；Peng 等<sup>[22]</sup> 在饲料中添加 0.1~1.0 g/kg 缩合单宁不会显著影响花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 全鱼的水分、粗蛋白、粗脂肪等体成分含量；Omnes 等<sup>[23]</sup> 报道，饲料中添加 10~30 g/kg 单宁对欧洲鲈 (*Dicentrarchus labrax*) 全鱼水分、粗蛋白和粗灰分含量没有显著影响；



图版 II 复合植物提取物对大口黑鲈肠道组织形态的影响

1-2, 3-4 和 5-6 分别表示 J0, J1 和 J2 各组大口黑鲈肠道的切片图; VH 和 WT 分别表示肠绒毛高度和肠壁厚度

Plate II Effects of plant extracts compound on intestinal histomorphology of largemouth bass

1-2, 3-4 and 5-6 respectively represent the intestine sections of largemouth bass of group J0, J1 and J2; VH and WT indicate the villus height and intestinal wall thickness, respectively

Buyukcapar 等<sup>[24]</sup> 在尼罗罗非鱼饲料中添加 5~15 g/kg 的缩合单宁和水解单宁, 不影响其机体粗蛋白、粗脂肪、水分和灰分含量。桑叶多糖在水产养殖上应用鲜有报道, 李法见等<sup>[25]</sup> 研究发现, 在尼罗罗非鱼饲料中添加 3 种来自不同产地 5%~10% 的桑叶粉饲喂罗非鱼 8 周, 与不添加组相比其机体水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量无显著差异, 原因可能与实验动物品种、添加剂类别和添加量不同有关。添加复合植物提取物使大口黑鲈机体粗蛋白含量提高, 可能与其中的桑叶黄酮有关。

3.3 添加复合植物提取物对大口黑鲈血清生化指标的影响

动物的血清生化指标通常反映其生理代谢情

况、健康程度及对营养和环境的适应情况<sup>[26]</sup>。鱼类对糖的代谢能力弱<sup>[27]</sup>, 糖被消化吸收后不能及时转化成其他物质, 进而导致血糖含量上升, 危害鱼类机体健康<sup>[28]</sup>。本研究在饲料中添加复合植物提取物饲喂大口黑鲈后其血清葡萄糖含量显著降低, 可能与其中黄酮和多糖类物质发挥的降血糖作用有关。这与陈玲玲等<sup>[29]</sup> 报道的桑叶黄酮对小鼠的降血糖作用、Ren 等<sup>[30]</sup> 报道的桑叶多糖对大鼠的降血糖作用以及罗明珺<sup>[31]</sup> 报道的对糖尿病大鼠注射桑叶多糖 (100 mg/kg) 和桑叶黄酮 (30 mg/kg) 能促使其血糖含量显著降低的研究结果相似。这可能与桑叶黄酮和多糖等<sup>[31]</sup> 有效成分能作用于 JNK 信号通路靶点, 抑制 JNK 信号对大鼠胰

岛组织的损伤,修复胰岛功能,增加胰岛素分泌的作用有关。多数研究发现,低剂量单宁对水产动物血清生化指标的影响不显著。彭凯等<sup>[21]</sup>研究发现,在凡纳滨对虾饲料中添加 0.5~4 g/kg 缩合单宁不影响虾的血液新陈代谢,在花鲈<sup>[22]</sup>饲料中添加 0.1~0.4 g/kg 缩合单宁对花鲈血清生化指标影响不显著。Chan<sup>[32]</sup>等向高脂饲料中添加 1%~2% 桑叶提取物饲喂兔 25 周后,发现与对照组相比,添加桑叶提取物组兔的血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶、胆固醇、甘油三酯、LDL-CH 及 LDL-CH/HDL-CH 含量均显著降低,且添加量越多降低程度越显著。沈黄冕等<sup>[33]</sup>研究发现,在高脂血症罗非鱼饲料中添加 7.5%~15% 的发酵桑叶饲喂 8 周后,其胆固醇、甘油三酯、LDL-CH 及 CHOL/HDL-CH 含量显著降低,HDL-CH 含量显著提高,且添加 15% 组的上述指标均恢复到正常非高脂血症罗非鱼水平。因此,复合植物提取物中发挥改善大口黑鲈血清生化指标作用的物质主要是黄酮和多糖类物质,可能与其促进水产动物糖脂代谢、保护水产动物肝脏健康的作用有关。而单宁是否对大口黑鲈血清生化指标有影响有待进一步探究。

### 3.4 添加复合植物提取物对大口黑鲈肠道和肝脏组织形态的影响

饲料中过量的可消化性糖类可导致鱼类的糖代谢障碍,引发肝脏和腹腔的脂肪过量沉积及肠道上皮损伤,已在多种鱼类得到证实,包括大口黑鲈<sup>[28,34-35]</sup>。本研究在饲料中添加复合植物提取物后,大口黑鲈肝脂空泡面积和肠绒毛高度均显著降低,肠绒毛数量呈上升趋势,可能与其中的黄酮、单宁类物质发挥的作用有关。Zhong 等<sup>[36]</sup>研究发现,给小鼠喂食高脂饲料并每天灌胃桑叶黄酮生理盐水溶液 (240 mg/kg),实验组小鼠机体白色脂肪含量和肝脏空泡面积均显著降低,这证明桑叶黄酮对小鼠机体高脂摄入的保护作用与桑叶黄酮调节小鼠肠道菌群的作用有关。朱旭枫等<sup>[19]</sup>在饲料中添加 0~0.2% 的水解单宁饲养龙胆石斑鱼 60 d,与添加 0 组相比添加 0.05%~0.1% 组龙胆石斑鱼肠绒毛高度和绒毛数量均显著提高,而添加 0.2% 组肠绒毛数量显著提高,绒毛高度显著降低。胡海滨等<sup>[37]</sup>在大菱鲆幼鱼饲料中添加 0~0.01% 的大豆黄酮饲喂其 12 周,发现与添加 0 组相比添加 0.0005%~0.002% 组的大菱鲆绒毛高度显著提高,而添加 0.01% 组则无显著差异。由于本研究的复合提取物包含了多种植物提取物的有效成分,

其对大口黑鲈的肝肠健康是否存在交互作用尚需进一步的研究。

## 4 结论

结果表明,饲料中添加复合植物提取物可显著提高大口黑鲈生长性能和改善肝脏健康,本实验条件下,建议添加量为 0.2%。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] Bai J J, Li S. Development of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) Culture[J]. *Aquaculture in china: Success stories and modern trends*. 2018: 421-429.
- [2] 王璞,喻一峰,李小勤,等.低磷饲料中补充柠檬酸对大口黑鲈生长和营养物质利用率的影响[J].*上海海洋大学学报*,2021,30(3):475-483.  
Wang P, Yu Y F, Li X Q, et al. Effects of citric acid supplementation in low phosphorus diets on growth and nutrient utilization of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021,30(3):475-483(in Chinese).
- [3] 王柏明,李松林,罗永巨,等.加州鲈质量安全风险研究[J].*中国渔业质量与标准*,2020,10(03):13-18.  
Wang B M, Li S L, Luo Y J, et al. Study on quality safety risk of *Micropterus salmoides*[J]. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2020, 10(03): 13-18 (in Chinese).
- [4] Amoah A, Coyle S D, Webster C D, et al. Effects of graded levels of carbohydrate on growth and survival of largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2008, 39(3): 397-405.
- [5] Zhang Y M, Xie S W, Wei H L, et al. High dietary starch impaired growth performance, liver histology and hepatic glucose metabolism of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2020, 26(4): 1083-1095.
- [6] Li S L, Sang C Y, Turchini G M, et al. Starch in aquafeeds: The benefits of a high amylose to amylopectin ratio and resistant starch content in diets for the carnivorous fish, largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *British Journal of Nutrition*, 2020, 124(11): 1145-1155.
- [7] Kamalam B S, Medale F, Panserat S. Utilisation of dietary carbohydrates in farmed fishes: new insights on influencing factors, biological limitations and future strategies[J]. *Aquaculture*, 2017, 467: 3-27.
- [8] Ma H J, Mou M M, Pu D C, et al. Effect of dietary

- starch level on growth, metabolism enzyme and oxidative status of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. *Aquaculture*, 2019, 498: 482-487.
- [9] 徐祥泰, 陈乃松, 刘子科, 等. 饲料中不同淀粉源及水平对大口黑鲈肝脏组织学的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(01): 61-70.  
Xu X T, Chen N S, Liu Z K, *et al.* Effects of dietary starch sources and levels on liver histology in largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(01): 61-70 (in Chinese).
- [10] Goodwin A E, Lochmann R T, Tieman D M, *et al.* Massive hepatic necrosis and nodular regeneration in largemouth bass fed diets high in available carbohydrate[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2002, 33(4): 466-477.
- [11] Hilton J W, Dixon D G. Effect of increased liver glycogen and liver weight on liver function in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson: recovery from anaesthesia and plasma <sup>35</sup>S-sulphobromophthalein clearance[J]. *Journal of Fish Diseases*, 1982, 5(3): 185-195.
- [12] 郁欢欢. 高糖饲料诱导大口黑鲈代谢性肝病及胆汁酸靶向干预机制研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.  
Yu H H. Metabolic liver disease induced by a high carbohydrate diet in largemouth bass (*Micropterus salmoides*), and the alleviating mechanism of bile acid supplementation[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019 (in Chinese).
- [13] 贾小巍. 饲料中添加  $\alpha$ -硫辛酸对大口黑鲈幼鱼生长、血清生化、糖脂代谢及抗氧化能力的影响 [D]. 湖州: 湖州师范学院, 2022.  
Jia X W. Effects of dietary  $\alpha$ -lipoic acid on growth, serum biochemical indexes, metabolism and antioxidant capacity of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*[D]. Huzhou: Huzhou University, 2022 (in Chinese).
- [14] 张奇, 杨军, 廖伟坚, 等. 复合型饲料添加剂对大口黑鲈生长和健康状况的影响[J]. *水产科学*, 2022, 41(3): 431-437.  
Zhang Q, Yang J, Liao W J, *et al.* Effect of composite feed additives on growth and health status of largemouth bass *Micropterus salmoides*[J]. *Fisheries Science*, 2022, 41(3): 431-437 (in Chinese).
- [15] 张小雨, 高彬, 徐田田, 等. 新型植物提取物添加剂对大口黑鲈生长、抗氧化及糖代谢影响的研究[J]. *饲料工业*, 2022, 43(8): 29-34.  
Zhang X Y, Gao B, Xu T T, *et al.* Effects of plant extracts feed additives on growth, antioxidant and glucose metabolism of largemouth bass[J]. *Feed Industry*, 2022, 43(8): 29-34 (in Chinese).
- [16] 杨继华, 陈冰, 黄燕华, 等. 饲料中添加桑叶黄酮对吉富罗非鱼生长性能、体成分、抗氧化指标及抗亚硝酸盐盐应激能力的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(9): 3403-3412.  
Yang J H, Chen B, Huang Y H, *et al.* Effects of dietary mulberry leaf flavonoids on growth performance, body composition, antioxidant indices and resistance to nitrite exposure of genetic improvement of farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(9): 3403-3412 (in Chinese).
- [17] 萧培珍. 日粮中添加水飞蓟素对草鱼脂质代谢的影响及其机制研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.  
Xiao P Z. Effect of dietary silymarin on lipid metabolism of grass carp (*Ctenopharygodon idellus*)[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017 (in Chinese).
- [18] 卢俊姣. 饲料中添加原花青素对吉富罗非鱼生长及氧化应激的影响 [D]. 厦门: 集美大学, 2014.  
Lu J J. The effects of dietary oligomeric proanthocyanidins supplementation on the growth and oxidative stress of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)[D]. Xiamen: Jimei University, 2014 (in Chinese).
- [19] 朱旭枫, 黄洋, 黄俊杭, 等. 水解单宁对珍珠龙胆石斑鱼生长性能、抗氧化能力、肠道组织结构与菌群多样性的影响[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(2): 1020-1035.  
Zhu X F, Huang Y, Huang J H, *et al.* Effects of hydrolyzable tannins on growth performance, antioxidant capacity, intestinal morphology and bacterial diversity of pearl gentian grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus fuscoguttatus* ♀)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(2): 1020-1035 (in Chinese).
- [20] 郭慧, 朱旭枫, 陈锦霖, 等. 水解单宁对凡纳滨对虾生长性能和肠道微生物的影响[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(5): 883-892.  
Guo H, Zhu X F, Chen J L, *et al.* Effects of hydrolyzable tannins on growth performance and intestinal microflora in *Litopenaeus vannamei*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(5): 883-892 (in Chinese).
- [21] 彭凯, 陈冰, 莫文艳, 等. 饲料中添加缩合单宁对凡纳滨对虾生长性能、体成分、血清生化及抗氧化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(2): 1165-1174.  
Peng K, Chen B, Mo W Y, *et al.* Effects of dietary condensed tannins on growth performance, body composition, serum biochemical and antioxidant indexes of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(2): 1165-1174 (in Chinese).
- [22] Peng K, Zhou Y H, Wang Y X, *et al.* Inclusion of con-



- densed tannins in *Lateolabrax japonicus* diets: Effects on growth, nutrient digestibility, antioxidant and immune capacity and copper sulphate stress resistance[J]. *Aquaculture Reports*, 2020, 18: 100525.
- [23] Omnes M H, Le Goasduff J, Le Delliou H, *et al.* Effects of dietary tannin on growth, feed utilization and digestibility, and carcass composition in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax* L. ) [J]. *Aquaculture Reports*, 2017, 6: 21-27.
- [24] Buyukcapar H M, Atalay A İ, Kamalak A. Growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with diets containing different levels of hydrolysable and condensed tannin[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2011, 13(7): 1045-1051.
- [25] 李法见, 杨阳, 陈文燕, 等. 桑叶对罗非鱼生长性能、脂质代谢和肌肉品质的影响[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(11): 3485-3492.
- Li F J, Yang Y, Chen W Y, *et al.* Effects of dietary mulberry leaves on growth performance, fat metabolism and muscle quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(11): 3485-3492 (in Chinese).
- [26] 王爱民, 韩光明, 封功能, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、营养物质消化及血液生化指标的影响[J]. *水生生物学报*, 2011, 35(1): 80-87.
- Wang A M, Han G M, Feng G N, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth performance, nutrient digestibility and blood biochemical indices of gift tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(1): 80-87 (in Chinese).
- [27] Wilson R P, Poe W E. Apparent inability of channel catfish to utilize dietary mono-and disaccharides as energy sources[J]. *The Journal of Nutrition*, 1987, 117(2): 280-285.
- [28] 蒋余. 大口黑鲈对饲料淀粉水平的营养生理响应 [D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- Jiang Y. The physiological response of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) to dietary starch levels [D]. Chongqing: Southwest University, 2020 (in Chinese).
- [29] 陈玲玲, 刘炜, 陈建国, 等. 桑叶黄酮对糖尿病小鼠调节血糖的作用机制研究[J]. *中国临床药理学杂志*, 2010, 26(11): 835-838.
- Chen L L, Liu W, Chen J G, *et al.* Study on the hypoglycemic mechanism of flavonoids of mulberry leaves on glycemia in diabetic mice [J]. *The Chinese Journal of Clinical Pharmacology*, 2010, 26(11): 835-838 (in Chinese).
- [30] Ren C J, Zhang Y, Cui W Z, *et al.* A polysaccharide extract of mulberry leaf ameliorates hepatic glucose metabolism and insulin signaling in rats with type 2 diabetes induced by high fat-diet and streptozotocin [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015, 72: 951-959.
- [31] 罗明珮. 桑叶有效部位降血糖作用与 JNK 信号通路的关系 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2013.
- Luo M L. Relationship between hypoglycemic effects of Mulberry Leaf effective extracts and JNK signal transduction pathway [D]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine, 2013 (in Chinese).
- [32] Chan K C, Yang M Y, Lin M C, *et al.* Mulberry leaf extract inhibits the development of atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits and in cultured aortic vascular smooth muscle cells [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(11): 2780-2788.
- [33] 沈黄冕, 彭祥和, 林仕梅, 等. 发酵桑叶对高血脂罗非鱼血脂、血糖水平的调节作用 [J]. *动物营养学报*, 2016, 28(4): 1250-1256.
- Shen H M, Peng X H, Lin S M, *et al.* Regulation of fermented mulberry leaves on serum lipid and blood glucose levels of hyperlipidemia tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(4): 1250-1256 (in Chinese).
- [34] Moreira I S, Peres H, Couto A, *et al.* Temperature and dietary carbohydrate level effects on performance and metabolic utilisation of diets in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2008, 274(1): 153-160.
- [35] Rawles S D, Smith S B, Gatlin III D M. Hepatic glucose utilization and lipogenesis of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *Morone saxatilis*) in response to dietary carbohydrate level and complexity [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2008, 14(1): 40-50.
- [36] Zhong Y Z, Song B, Zheng C B, *et al.* Flavonoids from mulberry leaves alleviate lipid dysmetabolism in high fat diet-fed mice: Involvement of gut microbiota [J]. *Microorganisms*, 2020, 8(6): 860.
- [37] 胡海滨, 刘金桃, 李彦先, 等. 饲料中大豆黄酮对大菱鲆生长、消化酶活力、抗氧化力及肠道结构的影响 [J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1503-1513.
- Hu H B, Liu J T, Li Y X, *et al.* Effects of dietary daidzein on growth performance, activities of digestive enzymes, anti-oxidative ability and intestinal morphology in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L. ) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1503-1513 (in Chinese).

## Effects of plant extract compound on growth performance, serum biochemical indices, liver and intestinal health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

WANG Menghua<sup>1,2</sup>, LI Guoli<sup>2</sup>, HUANG Wenqing<sup>2</sup>, ZHOU Meng<sup>1</sup>,  
WANG Guoxia<sup>3</sup>, HUANG Yanhua<sup>1\*</sup>

(1. Innovative Institute of Animal Healthy breeding, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;

2. Guangzhou Fishtech Fisheries Science and Technology Co., Ltd, Guangzhou 510640, China;

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

**Abstract:** Largemouth bass has poor glucose metabolism. How to cope with liver sugar stress and inflammatory response of largemouth bass at high glucose level by nutritional means has become a research hotspot in recent years. This study was conducted to investigate the effects of dietary plant extracts compound, including mulberry leaf flavonoids, chestnut leaf tannin and mulberry leaf polysaccharide, on growth performance, serum biochemical indices, liver and intestinal health of largemouth bass. Three treatment groups with 4 replicates in each group were fed isonitrogenous and isolipid diets (J0, J1 and J2) supplemented with 0, 0.1% and 0.2% compound plant extract, respectively. The largemouth bass was fed for 56 days. The results showed as follows: compared with group J0, the final average weight, weight gain rate and specific growth rate of largemouth bass in group J2 were significantly increased by 8.34%, 11.24% and 5.88%, respectively ( $P<0.05$ ); There were no significant differences in body ether extract, water content, ash content, calcium and total phosphorus in J0~J2 groups ( $P>0.05$ ). The crude protein content in group J2 increased by 5.61% compared with group J0 ( $P<0.05$ ); The hepatosomatic ratio of J1 and J2 group was significantly decreased by 9.10%-10.28%, the serum albumin content and albumin/globulin value were significantly increased by 8.28%-12.62% and 13.56%-23.73%, and the serum globulin content of J2 group was significantly decreased by 9.47%. Serum glutamic pyruvic transaminase and glutamic oxalacetic transaminase activities and blood glucose content in J1 and J2 groups were significantly decreased by 31.25%-46.88%, 7.69%-12.54% and 20.90%-22.40%, respectively ( $P<0.05$ ). The contents of cholesterol and triglyceride in the J1 and J2 groups were decreased, while the contents of high-density lipoprotein cholesterol and low-density lipoprotein cholesterol were increased ( $P>0.05$ ). The degree of hepatic lipid vacuolation was significantly decreased by 22.89%-36.22% in the J1 and J2 groups, and the height of the intestinal villus was significantly decreased by 10.84% ( $P<0.05$ ). In conclusion, the plant extract compound can significantly improve the growth performance and liver health of largemouth bass. The results provided a theoretical basis for evaluating the effects of plant extract compound in the diet of largemouth bass and provided a reference for the optimization of the diet formula of largemouth bass.

**Key words:** *Micropterus salmoides*; plant extract compound; growth performance; serum biochemistry

**Corresponding author:** HUANG Yanhua. E-mail: huangyh111@126.com

**Funding projects:** Innovation Team Project of Functional Feed and Animal Immune Regulation in Colleges and Universities of Guangdong Province (2020KCXTD019); Guangdong Feed Industry Technology System Innovation Team Building Project(2021KJ115); Development and Promotion of Environmentally Friendly Low Nitrogen and Phosphorus Compound Feed for Seabass (ZH22036207200013PWC)