

# 小球藻醇提物对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长性能、体成分、消化酶活性及血清生化和抗氧化指标的影响

黄文庆<sup>1,2,3</sup> 孙育平<sup>1,2</sup> 王国霞<sup>1,2</sup> 王绥涛<sup>1,2</sup> 莫文艳<sup>1,2</sup> 陈晓琪<sup>1,2</sup>

张永亮<sup>3</sup> 黄燕华<sup>1,2\*</sup> 廖宇航<sup>4</sup>

(1.广东省农业科学院动物科学研究所,农业部华南动物营养与饲料重点实验室,广东省畜禽育种与营养研究重点实验室,广州 510640;2.华南农业大学动物科学学院,广州 510640;3.广州飞禧特生物科技有限公司,广州 510640;4.仲恺农业工程学院,广州 510550)

**摘要:** 本试验旨在研究饲料中添加不同水平的小球藻醇提物(EEFCV)对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长性能、体成分、消化酶活性及血清生化和抗氧化指标的影响。试验选用体质量约 1.85 g 的瓦氏黄颡鱼苗 540 尾,随机分为 6 个组,每组 3 个重复,每个重复 30 尾鱼。各组分别投喂添加 0 (T0 组)、0.25% (T1 组)、0.50% (T2 组)、1.00% (T3 组)、1.50% (T4 组) 和 2.50% (T5 组) EEFCV 的 6 种等氮等脂试验饲料,饲养周期为 56 d。结果表明:1) T4 和 T5 组的末均重、增重率和特定生长率均显著高于 T0 组 ( $P < 0.05$ ), T4 和 T5 组的饲料系数均显著低于 T0 组 ( $P < 0.05$ )。各组的存活率、肥满度、脏体比和肝体比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。2) 各组的粗蛋白质和粗灰分含量无显著差异 ( $P > 0.05$ )。T5 组的粗脂肪含量显著高于 T0 组 ( $P < 0.05$ ), T5 组的水分含量显著低于 T0 组 ( $P < 0.05$ )。3) 各组的胃、肠和肝脏的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。4) 各组的血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性及胆固醇、甘油三脂、尿素氮、葡萄糖和总蛋白含量均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。T1、T3 和 T4 组的血清谷草转氨酶活性显著高于 T0 组 ( $P < 0.05$ )。5) T4 组的血清丙二醛含量显著低于 T0 组 ( $P < 0.05$ ), T3、T4 和 T5 组的血清超氧化物歧化酶活性显著高于 T0 组 ( $P < 0.05$ )。各组的血清总抗氧化能力无显著差异 ( $P > 0.05$ )。由此可见,饲料中添加 EEFCV 对黄颡鱼幼鱼生长性能和抗氧化能力有促进作用,以增重率、特定生长率和饲料系数作为主要评估指标,饲料中添加 1.50% 的 EEFCV 应用效果较佳。

**关键词:** 黄颡鱼; 小球藻; 生长性能; 体成分; 生化指标

中图分类号: S963.73

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)04-1778-10

瓦氏黄颡鱼 [*Pelteobagrus vachelli* (Richardson)] 属于鲇形目, 鲿科, 黄颡鱼属, 是我国淡水优质特种水产鱼类品种之一, 因其养殖周期较短、品质好、单位产量高、适应性强的特点而备受关注。而在养殖过程中由于片面追求高密度养殖和高营养水平饲料投喂, 粪便与残饵导致养殖水体富营养化, 引起各类病原菌大量滋生; 饲料残饵和鱼粪

便分解产生的硫化氢、亚硝酸盐和氨氮等化学物质, 会对鱼体产生各种应激与毒害作用。为了控制水质以及鱼病, 养殖户一般会采用微生物水质改良剂改善水质和利用水产药物防治病害, 然而长期使用不单增加养殖成本, 也极易造成药物残留。在水产养殖业无抗健康养殖的大趋势下, 为了保持水产养殖业的健康可持续发展, 可通过研

收稿日期: 2019-10-08

基金项目: 广东省海洋渔业科技与产业发展专项科技攻关与研发项目 (A201401C01); 2016 年省级现代农业科技创新联盟建设项目 (2016LM082, 2016LM083)

作者简介: 黄文庆 (1985—), 男, 广东陆丰人, 实验师, 农业推广硕士, 从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: 94574184@qq.com

\* 通信作者: 黄燕华, 研究员, 硕士生导师, E-mail: huangyh111@126.com



续表 1

项目 Items	饲料 Diets					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
L-色氨酸(晶体 $\geq 98\%$ ) L-Try (crystalline $\geq 98\%$ )	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
小球藻醇提取物 EEFCV <sup>3)</sup>		0.25	0.50	1.00	1.50	2.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>4)</sup>						
干物质 DM	88.72	88.55	88.34	88.67	88.67	87.20
粗蛋白质 CP	39.46	40.00	39.23	39.93	39.59	40.12
粗脂肪 EE	7.82	7.89	7.94	7.93	8.02	7.95
粗灰分 Ash	6.23	6.11	6.04	6.03	5.95	5.93

1) 每千克维生素预混料含有 One kilogram of vitamin premix contained the following: VA<sub>3</sub> 200 000 IU, VB<sub>1</sub> 4 g, VB<sub>2</sub> 8 g, VB<sub>6</sub> 4.8 g, VB<sub>12</sub> 0.016 g, VD<sub>1</sub> 600 000 IU, VE 16 g, VK 4 g, 烟酸 niacin 28 g, 泛酸钙 calcium pantothenate 16 g, 叶酸 folic acid 1.28 g, 肌醇 inositol 40 g, 生物素 biotin 0.064 g, 水分 moisture  $\leq 10\%$ 。

2) 每千克矿物质预混料含有 One kilogram of mineral premix contained the following: MgSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 12 g, CaH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 9 g, KCl 36 g, C<sub>10</sub>H<sub>20</sub>S<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>Cu 1.5 g, ZnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 10 g, FeSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 1 g, C<sub>10</sub>H<sub>22</sub>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>S<sub>2</sub>Co 0.25 g, Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> 0.003 6 g, 水分 moisture  $\leq 10\%$ 。

3) EEFCV 由华南理工大学食品学院提供, 组成成分 EEFCV was provided by the school of food science of south China university of technology, composition component: 叶绿素 chlorophyll (1.72 $\pm$ 0.02) mg/mL, 总类胡萝卜素 total carotenoids (0.95 $\pm$ 0.01) mg/mL, 总脂肪酸 total fatty acid (24.49 $\pm$ 0.02) mg/mL [ 棕榈酸 C<sub>16</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub> (4.14 $\pm$ 0.03) mg/mL、十六碳烯酸 C<sub>16</sub>H<sub>30</sub>O<sub>2</sub> (1.46 $\pm$ 0.02) mg/mL、十六碳二烯酸 C<sub>16</sub>H<sub>28</sub>O<sub>2</sub> (1.25 $\pm$ 0.04) mg/mL、十六碳三烯酸 C<sub>16</sub>H<sub>26</sub>O<sub>2</sub> (2.35 $\pm$ 0.03) mg/mL、油酸 C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub> (3.62 $\pm$ 0.03) mg/mL、亚油酸 C<sub>18</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub> (4.46 $\pm$ 0.02) mg/mL、 $\alpha$ -亚麻酸 C<sub>18</sub>H<sub>30</sub>O<sub>2</sub> (7.21 $\pm$ 0.04) mg/mL ]。

4) 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

## 1.2 试验设计与饲养管理

试验用瓦氏黄颡鱼苗种购自广州市锦龙渔业有限公司。养殖试验在广东省农业科学院国家农业科技创新与集成示范基地水产养殖试验基地室内循环水养殖系统(缸体为 300 L 的圆柱形玻璃纤维缸)中进行。试验开始前将鱼苗在渔排网箱中暂养 2 周, 暂养期间每日用商品饲料饱食投喂 2 次(08:30 和 16:30)。试验分组时挑选规格均匀、体格健康、体质量约 1.85 g 的瓦氏黄颡鱼苗 540 尾, 随机分为 6 个组(T0~T5 组), 每组 3 个重复, 每个重复放养 30 尾鱼, 各组分别投喂对应的试验饲料, 每日饱食投喂 2 次(08:30 和 16:30), 并根据各组鱼苗摄食和生长情况调节次日投喂量, 若有剩料收集扣除, 试验期间为自然光照, 水温 16~29 °C, 氨氮含量 $<0.20$  mg/L, 亚硝酸盐含量 $<0.05$  mg/L, 溶氧含量 $>5.0$  mg/L, pH 6.8~8.0。饲养试验为期 56 d。

## 1.3 样品采集和检测分析

饲养试验结束后禁食 24 h, 称量每缸试验鱼总重并统计存活尾数, 用于生长性能统计分析。从每个重复缸中选取接近均重的 18 尾鱼, 4 尾置

于-20 °C 冰箱保存, 用于全鱼常规营养成分测定; 6 尾用于测定个体体重、体长、内脏重和肝脏重, 用于计算形体指标; 8 尾用于尾静脉取血, 血液室温静置 2 h 后, 4 000 r/min 离心 10 min, 制备血清样品, 于-80 °C 冰箱保存, 用于血清生化指标检测分析。另采集 3 尾鱼的肝脏、全肠和胃样品, 于-80 °C 冰箱保存, 用于匀浆后消化酶活性测定。

试验饲料和全鱼常规营养成分的测定方法如下: 水分含量采用 105 °C 常压干燥方法测定(GB/T 6435—1986), 粗蛋白质含量采用凯氏定氮法(GB/T 6433—2006)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—1992)测定。

血清谷丙转氨酶(alanine transaminase, ALT)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)活性及胆固醇(cholesterol, CHOL)、甘油三酯(triglyceride, TG)、尿素氮(urea nitrogen, UN)、葡萄糖(glucose, GLU)和总蛋白(total protein, TP)含量采用罗氏全自动生化分析仪(Cobas-8000 c702)测定。匀浆组织液蛋白质含量采用考马斯亮蓝(G-250)

方法测定,蛋白酶(protease)活性采用福林-酚法测定,超氧化物歧化酶(total superoxide dismutase, SOD)、淀粉酶(amylase)、脂肪酶(lipase)活性和丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量及总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)采用试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定,具体操作按试剂盒说明书进行。

#### 1.4 计算公式

相关指标计算公式如下:

$$\text{存活率 (survival rate, SR, \%)} = 100 \times (\text{终末尾数} / \text{初始尾数});$$

$$\text{增重率 (weight gain rate, WGR, \%)} = 100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{初始体重};$$

$$\text{特定生长率 (specific growth rate, SGR, \% / d)} = 100 \times (\ln \text{终末体重} - \ln \text{初始体重}) / \text{养殖天数};$$

$$\text{饲料系数 (feed coefficient rate, FCR)} = \text{总耗料} / (\text{末总重} - \text{初总重});$$

$$\text{肥满度 (condition factor, CF, g/cm}^3) = 100 \times (\text{体重} / \text{体长}^3);$$

$$\text{肝体比 (hepatosomatic index, HSI, \%)} =$$

$$100 \times (\text{肝脏重} / \text{体重});$$

$$\text{脏体比 (viscerosomatic index, VSI, \%)} =$$

$$100 \times (\text{内脏重} / \text{体重}).$$

#### 1.5 数据统计分析

试验数据用平均值±标准差(mean±SD)表示,采用SPSS 22.0软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),采用Duncan氏多重比较法进行组间显著差异分析,差异显著性水平为 $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 EEFCV对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长性能的影响

由表2可知,T1~T5组的末均重、增重率和特定生长均高于T0组,T1~T5组的饲料系数均低于T0组,且T4和T5组的末均重、增重率和特定生长率均显著高于T0组( $P < 0.05$ ),T4和T5组的饲料系数均显著低于T0组( $P < 0.05$ )。各组的存活率、肥满度、脏体比和肝体比无显著差异( $P > 0.05$ ),但T1~T5组的肥满度、脏体比和肝体比均高于T0组。

表2 EEFCV对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长性能的影响

Table 2 Effects of EEFCV on growth performance of juvenile *Pelteobagrus vachelli*.

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
初均重 IBW/g	1.85±0.01	1.85±0.01	1.85±0.00	1.85±0.00	1.85±0.01	1.85±0.01
末均重 FBW/g	11.91±0.50 <sup>a</sup>	12.38±1.39 <sup>ab</sup>	12.99±0.53 <sup>ab</sup>	12.92±0.76 <sup>ab</sup>	13.66±0.97 <sup>b</sup>	13.50±0.73 <sup>b</sup>
增重率 WGR/%	542.97±28.37 <sup>a</sup>	569.01±74.64 <sup>ab</sup>	600.84±28.54 <sup>ab</sup>	598.08±40.75 <sup>ab</sup>	638.21±52.75 <sup>b</sup>	628.81±40.14 <sup>b</sup>
特定生长率 SGR/(%/d)	3.32±0.08 <sup>a</sup>	3.38±0.20 <sup>ab</sup>	3.48±0.07 <sup>ab</sup>	3.47±0.11 <sup>ab</sup>	3.57±0.13 <sup>b</sup>	3.55±0.10 <sup>b</sup>
饲料系数 FCR	1.37±0.04 <sup>b</sup>	1.33±0.11 <sup>ab</sup>	1.29±0.03 <sup>ab</sup>	1.27±0.05 <sup>ab</sup>	1.23±0.07 <sup>a</sup>	1.23±0.09 <sup>a</sup>
存活率 SR/%	100	100	100	100	100	100
肥满度 CF/(g/cm <sup>3</sup> )	1.55±0.04	1.59±0.07	1.58±0.04	1.64±0.05	1.57±0.05	1.59±0.08
脏体比 VSI/%	8.40±0.29	8.72±0.89	9.42±0.47	9.10±0.46	8.79±0.62	9.06±0.93
肝体比 HSI/%	1.75±0.07	1.83±0.24	1.83±0.21	1.93±0.12	1.99±0.14	1.80±0.35

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

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

### 2.2 EEFCV对瓦氏黄颡鱼幼鱼体成分的影响

由表3可知,各组的粗蛋白质和粗灰分含量无显著差异( $P > 0.05$ )。T5组的粗脂肪含量显著高于T0组( $P < 0.05$ ),T5组的水分含量显著低于T0组( $P < 0.05$ ),其他各组的粗脂肪和水分含量均无显著差异( $P > 0.05$ )。

### 2.3 EEFCV对瓦氏黄颡鱼幼鱼消化酶活性的影响

由表4可知,各组的胃、肠和肝脏的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均无显著差异( $P > 0.05$ ),但T1~T5组的胃、肠和肝脏的蛋白酶活性均高于T0组,T1~T5组的胃淀粉酶活性呈先升高后降低趋势,T1~T5组的肠淀粉酶活性均高于T0组。

表3 EEFCV对瓦氏黄颡鱼幼鱼体成分的影响

Table 3 Effects of EEFCV on body composition of juvenile *Pelteobagrus vachelli*

%

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
粗蛋白质 CP	15.01±0.24	15.09±0.77	14.95±0.25	15.27±0.80	14.77±0.28	14.94±0.15
粗脂肪 EE	7.20±1.00 <sup>a</sup>	7.14±0.20 <sup>a</sup>	7.45±0.36 <sup>a</sup>	8.07±0.20 <sup>ab</sup>	7.74±0.15 <sup>ab</sup>	8.62±0.80 <sup>b</sup>
粗灰分 Ash	2.97±0.12	3.03±0.12	3.00±0.21	3.06±0.08	2.93±0.12	2.99±0.01
水分 Moisture	73.33±1.06 <sup>b</sup>	73.33±0.56 <sup>b</sup>	72.95±0.81 <sup>ab</sup>	72.15±0.25 <sup>ab</sup>	72.69±0.48 <sup>ab</sup>	71.81±0.93 <sup>a</sup>

表4 EEFCV对瓦氏黄颡鱼幼鱼消化酶活性的影响

Table 4 Effects of EEFCV on digestive enzyme activities of juvenile *Pelteobagrus vachelli*

U/mg prot

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
胃蛋白酶 Gastric protease	121.59±26.45	131.57±33.92	122.53±18.61	127.34±33.65	125.27±29.05	127.69±28.29
肠蛋白酶 Intestinal protease	94.17±19.23	100.42±21.07	95.17±15.96	96.93±19.85	97.01±28.99	100.40±26.00
肝脏蛋白酶 Hepatic protease	58.25±11.93	59.91±8.07	62.35±4.50	65.55±12.60	66.62±13.94	69.55±25.84
胃淀粉酶 Gastric amylase	283.21±24.91	284.20±43.60	310.67±5.99	268.08±80.37	253.42±58.84	251.70±35.37
肠淀粉酶 Intestinal amylase	124.11±12.05	152.42±27.08	131.86±11.63	146.64±20.33	128.19±37.36	142.68±53.74
肝脏淀粉酶 Hepatic amylase	37.76±10.75	38.33±10.61	32.32±5.85	35.33±6.39	32.34±6.34	34.04±6.06
胃脂肪酶 Gastric lipase	47.32±8.27	45.22±12.31	54.16±3.03	49.61±9.16	52.92±1.67	49.85±14.89
肠脂肪酶 Intestinal lipase	108.76±15.91	108.75±10.55	109.24±33.23	114.95±2.83	107.08±14.51	112.62±10.71
肝脏脂肪酶 Hepatic lipase	131.99±6.25	133.08±15.26	144.34±11.03	125.56±17.72	141.42±23.93	138.17±19.45

## 2.4 EEFCV对瓦氏黄颡鱼幼鱼血清生化指标的影响

由表5可知,各组的血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性及胆固醇、甘油三脂、尿素氮、葡萄糖和总蛋白含量均无显著差异( $P>0.05$ )。T1、T3和T4组的血清谷草转氨酶活性显著高于T0组( $P<0.05$ )。T1~T5组的血清胆固醇、甘油三酯含量随着EEFCV添加水平的增加而升高。

## 2.5 EEFCV对瓦氏黄颡鱼幼鱼血清抗氧化指标的影响

由表6可知,T4组的血清丙二醛含量显著低于T0组( $P<0.05$ ),各组的血清丙二醛含量随EEFCV添加水平的增加呈先降低后升高的趋势。

T3~T5组的血清超氧化物歧化酶活性显著高于T0组( $P<0.05$ )。各组的血清总抗氧化能力无显著差异( $P>0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 EEFCV对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长性能的影响

小球藻具有粒径小和营养价值高的特点,在水产养殖领域常常被用来强化培育水产动物的开口饵料或者直接用来作为水产动物幼体基础性生物饵料,比如用小球藻强化培养的轮虫饲养条斑星鲃幼鱼,可以提高泥鳅仔鱼幼鱼生长性能<sup>[7]</sup>;用小球藻混合动物性饵料(丰年虫、臂尾轮虫)投喂泥鳅仔鱼,可以有效提高泥鳅仔鱼存活率和特定

生长率<sup>[8]</sup>;用小球藻强化培育后的轮虫投喂沙塘鳢仔鱼,苗种发育健康、存活率高<sup>[9]</sup>。小球藻也可作为水产饲料蛋白质源或添加剂,比如在牙鲆幼鱼<sup>[10]</sup>、尼罗罗非鱼<sup>[11]</sup>、鲫鱼<sup>[12]</sup>和南美白对虾<sup>[13]</sup>饲料中的应用,亦可提高水产动物生长性能和饲料效率。小球藻在鱼类仔苗培育和水产饲料中的应用效果表明,小球藻含有对鱼类仔鱼生长的促生长因子。小球藻通过光合作用合成大量的营养物质,其藻体内富含蛋白质、脂质、多糖、色素、维生素、食用纤维、微量元素、活性代谢产物等营养物质<sup>[1,14-15]</sup>,为了高效充分地利用细胞内丰富的营养物质,通过细胞破壁释放出胞内物质后,再采用超

声波辅助溶剂浸提法提取营养物质<sup>[2]</sup>,能更加有效被动物体消化利用。本试验研究发现,随 EEFCV 添加水平的上升,各试验组末均重、增重率、特定生长率呈上升趋势,饵料系数呈下降趋势,且添加 1.50% 和 2.50% EEFCV 组的瓦氏黄颡鱼末均重、增重率、特定生长率相比对照组显著提高,饲料系数显著降低。这一结果与蔡荣等<sup>[16]</sup>发现在饲料中添加不同水平的 EEFCV 对花鲈生长性能有促进作用,特定生长率、蛋白效率有提高趋势和饵料系数有降低的趋势的研究结果基本一致。这表明 EEFCV 物质中含有对瓦氏黄颡鱼的促生长因子,适量添加可提高瓦氏黄颡鱼的生长性能。

表 5 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼幼鱼血清生化指标的影响

Table 5 Effects of EEFCV on serum biochemical indexes of juvenile *Pelteobagrus vachelli*

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	12.85±0.41	11.58±1.02	12.43±0.75	12.52±0.31	11.60±0.93	12.59±2.32
谷草转氨酶 AST/(U/L)	142.91±13.36 <sup>a</sup>	195.59±28.75 <sup>b</sup>	167.58±11.73 <sup>ab</sup>	192.43±27.92 <sup>b</sup>	197.37±6.78 <sup>b</sup>	171.66±17.40 <sup>ab</sup>
胆固醇 CHOL/(mmol/L)	5.12±0.22	5.08±0.31	5.24±0.33	5.43±0.50	5.47±0.32	5.48±0.13
甘油三酯 TG/(mmol/L)	7.51±0.13	7.59±1.28	8.17±0.27	8.34±0.29	8.40±0.37	8.92±0.33
尿素氮 UN/(mmol/L)	0.57±0.15	0.57±0.29	0.50±0.10	0.53±0.15	0.40±0.10	0.50±0.17
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	5.35±0.85	8.10±2.45	7.63±2.89	6.99±0.53	6.65±1.25	7.03±3.97
总蛋白 TP/(mmol/L)	34.07±2.36	35.57±6.54	33.53±0.90	34.20±1.05	32.20±0.62	34.43±1.81

表 6 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼幼鱼血清抗氧化指标的影响

Table 6 Effects of EEFCV on serum antioxidant indexes of juvenile *Pelteobagrus vachelli*

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	5.87±0.53 <sup>b</sup>	5.77±0.65 <sup>b</sup>	5.68±0.91 <sup>b</sup>	5.35±0.99 <sup>ab</sup>	4.37±0.28 <sup>a</sup>	5.12±0.29 <sup>ab</sup>
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	257.83±5.13 <sup>a</sup>	255.98±5.69 <sup>a</sup>	268.92±15.15 <sup>a</sup>	287.05±9.44 <sup>b</sup>	285.57±7.22 <sup>b</sup>	299.63±5.09 <sup>b</sup>
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	11.59±1.70	12.79±0.57	12.99±0.63	12.00±1.12	11.35±2.17	12.25±1.06

### 3.2 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼体成分的影响

水产动物体成分是水产动物生长过程中对营

养物质的代谢、转化和沉积的结果。因此,饲料组成往往会影响到水产动物的体成分。研究发现,小

球藻在水产动物饲料中应用会对水产动物体成分产生影响。石西等<sup>[12]</sup>研究发现,小球藻替代鱼粉使鲫肌肉蛋白质含量降低,脂肪含量随着替代比例的增加先下降后上升。而 Kim 等<sup>[10]</sup>和 Koo 等<sup>[17]</sup>研究发现,饲料中添加小球藻藻粉可提高牙鲆机体粗蛋白质含量,降低机体粗脂肪含量。本试验结果表明,饲料中添加 0.25%~2.00% EEFCV 对瓦氏黄颡鱼体成分中粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和水分含量均无显著影响,仅添加 2.50% EEFCV 时粗脂肪含量显著升高,水分含量显著降低。这与以上研究结果不一致。分析其原因除了水产动物品种差异外,也可能与小球藻粉和 EEFCV 营养成分差异有关。但本试验随着 EEFCV 添加水平增加,瓦氏黄颡鱼全鱼粗脂肪含量呈上升趋势,水分含量呈降低趋势,这与蔡荣等<sup>[16]</sup>发现在饲料中添加 EEFCV 对花鲈体成分影响的试验结果相似。有研究表明,在鱼类饲料中添加不饱和脂肪酸会影响鱼类体成分或肌肉粗脂肪含量,如徐后国<sup>[18]</sup>发现,饲料中添加亚麻酸可增加鲈鱼鱼体脂肪沉积;魏广莲等<sup>[19]</sup>报道,不饱和脂肪酸能显著提高刀鲚幼鱼肌肉粗脂肪含量;曹俊明等<sup>[20]</sup>研究发现,随亚油酸添加水平上升草鱼全鱼粗蛋白质含量降低,粗脂肪含量升高。因此,推断本试验瓦氏黄颡鱼体成分中粗脂肪含量的升高与 EEFCV 中的不饱和脂肪酸组分有关。

### 3.3 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼消化酶活性的影响

以往研究报道的小球藻或其相关制品在不同试验动物的应用对消化酶活性的影响结果存在差异。Radhakrishnan 等<sup>[21]</sup>研究发现,小球藻粉适量的替代饲料中鱼粉可提高罗氏沼虾消化道蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性。而蔡荣等<sup>[16]</sup>研究结果表明,饲料中添加 EEFCV 显著降低了花鲈的肠道蛋白酶和淀粉酶活性,肠道脂肪酶活性则呈先上升后下降趋势。本试验结果发现,饲料中添加 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼胃、肠和肝脏消化酶活性均无显著影响,但能提高瓦氏黄颡鱼消化道蛋白酶、淀粉酶活性,这与 Radhakrishnan 等<sup>[21]</sup>的研究结果相似。而适量添加可提高胃、肠和肝脏脂肪酶活性,这与蔡荣等<sup>[16]</sup>的研究结果相似。蔡荣等<sup>[16]</sup>阐述了 EEFCV 中所含的不饱和脂肪酸对消化道消化酶活性有积极的促进作用,而在 EEFCV 中除了含有丰富的不饱和脂肪酸外还有丰富的天然色素(叶绿素、叶黄素、 $\beta$ -胡萝卜素)<sup>[2]</sup>,因此,EEFCV

对瓦氏黄颡鱼消化酶活性的影响机理有待进一步的研究。

### 3.4 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼血清生化指标的影响

鱼类的血清生理生化指标一定程度上反映鱼类营养状况、新陈代谢水平和生理健康状况,其指标受外部环境条件、自身机体、食物营养水平等诸多因素的影响。本试验中,饲料中添加 0~2.50% 的 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼血清胆固醇、甘油三酯、尿素氮、葡萄糖和总蛋白含量均无显著影响,说明本试验条件下,饲料中添加 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼蛋白质、脂肪和糖类三大营养物质代谢未产生显著的负效应影响。这与蔡荣等<sup>[16]</sup>报道的 EEFCV 对花鲈血清生化指标没有显著影响的结果一致。但本试验结果发现,饲料中添加适宜水平的 EEFCV 使瓦氏黄颡鱼血清胆固醇、甘油三酯和葡萄糖含量及谷草转氨酶活性上升,表明 EEFCV 会提高瓦氏黄颡鱼血脂和血糖含量。这一结果与以往研究结果相反。以往研究报道了小球藻及其醇提物具有降血脂的作用,比如小球藻粉可降低牙鲆血清胆固醇含量<sup>[10,22-23]</sup>,EEFCV 可降低花鲈血清胆固醇和甘油三酯含量<sup>[16]</sup>。推测原因可能与试验动物种类和饲料营养差异有关,具体作用机理有待下一步研究。本试验结果发现,饲料中添加 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼血清谷丙转氨酶活性无显著影响,但血清谷草转氨酶活性升高。这一结果也与蔡荣等<sup>[16]</sup>研究结果不一致。而以往关于小球藻对水产动物血清转氨酶活性影响的报道结果亦不一致,如 Koo 等<sup>[17]</sup>研究发现,小球藻粉能降低牙鲆谷血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性;但 Kim 等<sup>[10]</sup>的报道结果与之相反;Bai 等<sup>[24]</sup>报道称,饲料中添加小球藻使许氏平鲈血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性先升高后降低。本试验综合脏器比、肝体比,血清转氨酶活性,血清胆固醇、甘油三酯和葡萄糖含量的结果,推测可能因为饲料中添加 EEFCV 提高了瓦氏黄颡鱼血脂和血糖含量,造成肝脏组织脂肪堆积,对肝脏组织细胞产生损伤,从而影响血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性,具体机理有待进一步研究。

### 3.5 EEFCV 对瓦氏黄颡鱼血清抗氧化指标的影响

李恒等<sup>[25]</sup>报道了饲料中添加高剂量的海洋小球藻粉能显著降低糖尿病小鼠血清丙二醛含量和显著提高血清超氧化物歧化酶活性,表明海洋小

球藻粉对糖尿病小鼠具有抗氧化作用。慈丽宁<sup>[26]</sup>研究发现,小球藻粉适量替代鱼粉可提高团头鲂血清抗超氧化物阴离子含量,降低血清丙二醛含量,提高机体抗氧化能力。小球藻胞内醇提物主要含有天然色素(叶绿素、胡萝卜素)和脂肪酸<sup>[2]</sup>。吴垠等<sup>[27]</sup>研究发现,小球藻油能提高小鼠抗氧化能力,提高血清超氧化物歧化酶活性,降低血清丙二醛含量。刘明美等<sup>[28]</sup>研究报道, $\beta$ -胡萝卜素能使山羊血清超氧化物歧化酶活性和总抗氧化能力显著提高,丙二醛含量显著降低。本试验结果显示,饲料中添加 EEFCV 能提高瓦氏黄颡鱼抗氧化能力,血清丙二醛含量随 EEFCV 添加水平的提高呈降低趋势,当 EEFCV 添加水平达 1.50% 时,血清丙二醛含量显著降低;血清超氧化物歧化酶活性随 EEFCV 添加水平的增加呈上升趋势,当 EEFCV 添加水平达 1.00% 时,血清超氧化物歧化酶活性显著提高,这与以往报道结果一致。

#### 4 结 论

饲料中添加 EEFCV 对黄颡鱼幼鱼生长性能和抗氧化能力有促进作用,以增重率、特定生长率和饲料系数作为主要评估指标,饲料中添加 1.50% 的 EEFCV 应用效果较佳。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 胡开辉,周山勇.小球藻细胞活性物质的提取及对啤酒酵母的生理效应[J].应用生态学报,2005,16(8):1573-1576.
- [ 2 ] 马超.微藻中功能性物质的放大提取制备与生物活性评价[D].硕士学位论文.广州:华南理工大学,2016.
- [ 3 ] 祖岫杰,李守君.鱼类饲料中添加藻类的效果[J].饲料博览,1991,35(2):35-36.
- [ 4 ] 常杰.小球藻在动物营养中的应用研究进展[J].饲料研究,2016(2):7-10.
- [ 5 ] 张宝龙,曲木,暴丽梅,等.饲料中添加不同水平小球藻对黄颡鱼生长及免疫力的影响[J].养殖与饲料,2018(9):48-53.
- [ 6 ] 周蔚,樊磊,李保金,等.小球藻在水产饲料上应用的研究[J].科学养鱼,2006(3):65.
- [ 7 ] 姚恩长,孙俭,刘圣聪,等.条斑星鲃人工繁育技术研究[J].水产科学,2011,30(1):22-26.
- [ 8 ] 原居林,练青平,王雨辰.不同饵料系列对泥鳅仔鱼生长及存活率的影响[C]//2010年中国水产学会学术年会论文集.西安:中国水产学会,2011:223.

- [ 9 ] 李园园,徐育强,蒋骄云,等.不同开口饵料对河川沙塘鳢仔鱼生长和鱼体成分的影响[J].上海海洋大学学报,2014,23(6):863-866.
- [ 10 ] KIM K W, BAI S C, KOO J W, et al. Effects of dietary *Chlorella ellipsoidea* supplementation on growth, blood characteristics, and whole-body composition in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2002, 33(4):425-431.
- [ 11 ] BADWY T M, IBRAHIM E M, ZEINHOM M M. Partial replacement of fish meal with dried microalga (*Chlorella* spp. and *Scenedesmus* spp.) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets [C]//8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, [s.l.]:[s.n.], 2008.
- [ 12 ] 石西,罗智,黄超,等.小球藻替代鱼粉对鲫生长、体组成、肝脏脂肪代谢及其组织学的影响[J].水生生物学报,2015,39(3):498-506.
- [ 13 ] 邵斌,汪志平,刘新颖,等.高产多糖小球藻新品系选育及其对南美白对虾的促生长和免疫调节作用[J].核农学报,2013,27(2):168-172.
- [ 14 ] 张梦.小球藻光合培养及破壁取油技术研究[D].硕士学位论文.无锡:江南大学,2013.
- [ 15 ] 和玉丹,邹君彪,袁金锋,等.海洋微藻在动物营养中的应用前景[J].饲料研究,2007(11):67-69.
- [ 16 ] 蔡荣,胡毅,孙育平,等.饲料中添加小球藻醇提物对花鲈幼鱼生长、体组成、血清生化指标及消化酶活性的影响[J].饲料工业,2017,38(6):23-29.
- [ 17 ] KOO J, BAI S C, KIM K, et al. Optimum dietary level of *Chlorella* powder as a feed additive for growth performance of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of Applied Aquaculture, 2001, 11(1/2):55-66.
- [ 18 ] 徐后国.饲料脂肪酸对鲈鱼幼鱼生长、健康及脂肪和脂肪酸累积的影响[D].博士学位论文.青岛:中国海洋大学,2013.
- [ 19 ] 魏广莲,徐钢春,顾若波,等.饲料中添加不饱和脂肪酸对刀鲚幼鱼脂肪代谢酶活性和肌肉成分的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):270-278.
- [ 20 ] 曹俊明,田丽霞,陈竹,等.饲料中不同脂肪酸对草鱼生长和组织营养成分组成的影响[J].华南理工大学学报(自然科学版),1996,24(增刊):158-163.
- [ 21 ] RADHAKRISHNAN S, SARAVANA B P, SEENIVASAN C, et al. Effect of dietary replacement of fishmeal with *Chlorella vulgaris* on growth performance, energy utilization and digestive enzymes in *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae [J]. International Journal



- of Fisheries and Aquaculture, 2015, 7(5):62-70.
- [22] RAHIMNEJAD S, LEE S, PARK H, et al. Effects of dietary inclusion of *Chlorella vulgaris* on growth, blood biochemical parameters, and antioxidant enzyme activity in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2017, 48(1):103-112.
- [23] 任维美. 牙鲆饲料添加小球藻效果好[J]. 饲料研究, 2003(9):26.
- [24] BAI S C, KOO J W, KIM K W, et al. Effects of *Chlorella* powder as a feed additive on growth performance in juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf) [J]. Aquaculture Research, 2001, 32(Suppl. 1):92-98.
- [25] 李恒, 蒋慧, 张澜, 等. 海洋小球藻粉膳食干预对糖尿病小鼠降血糖及抗氧化作用[J]. 发酵科技通讯, 2016, 45(3):152-156.
- [26] 慈丽宁. 藻粉替代鱼粉对团头鲂生产性能、营养成分、消化机能和免疫的影响[D]. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [27] 吴垠, 刘伟娜. 两种微藻油对高脂小鼠脂类代谢及脂质过氧化作用的影响[J]. 中国海洋药物, 2010, 29(6):48-50.
- [28] 刘明美, 严宏祥, 邬彩霞, 等. 不同 $\beta$ -胡萝卜素水平对山羊血清抗氧化指标的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2012, 48(11):46-48.

# Effects of Ethanol Extract from *Chlorella vulgaris* on Growth Performance, Body Composition, Digestive Enzyme Activities and Serum Biochemical and Antioxidant Indices of Juvenile *Pelteobagrus vachelli*

HUANG Wenqing<sup>1,2,3</sup> SUN Yuping<sup>1,2</sup> WANG Guoxia<sup>1,2</sup> WANG Suitao<sup>1,2</sup> MO Wenyan<sup>1,2</sup>  
CHEN Xiaoying<sup>1,2</sup> ZHANG Yongliang<sup>3</sup> HUANG Yanhua<sup>1,2\*</sup> LIAO Yuhang<sup>4</sup>

(1. Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China of Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou 510640, China; 2. College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China; 3. Guangzhou Fishtech Biological Technology Co. Ltd., Guangzhou 510640, China; 4. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510550, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to study the effects of dietary different supplemental levels of ethanol extract from *Chlorella vulgaris* (EEFCV) on growth performance, body composition, digestive enzymes activities and serum biochemical and antioxidant indices of juvenile *Pelteobagrus vachelli*. A total of 540 juvenile *Pelteobagrus vachelli* with initial body weight of 1.85 g were randomly divided into 6 groups with 3 replicates per group and 30 fish per replicate, and fed six isonitrogenous and isolipidic diets supplemented with 0 (T0 group), 0.25% (T1 group), 0.50% (T2 group), 1.00% (T3 group), 1.50% (T4 group) and 2.50% (T5 group) EEFCV, respectively. The feeding trail lasted for 56 days. The results showed as follows: 1) the final average weight, weight gain rate and specific growth rate of T4 and T5 groups were significantly higher than those of T0 group ( $P < 0.05$ ), and the feed coefficient of T4 and T5 groups was significantly lower than that of T0 group ( $P < 0.05$ ). There were no significant differences in the survival rate, condition factor, viscerosomatic index and hepatosomatic index among all groups ( $P > 0.05$ ). There were no significant differences in the contents of crude protein and ash among all groups ( $P > 0.05$ ). The ether extract content of T5 group was significantly higher than that of T0 group ( $P < 0.05$ ), and the moisture content of T5 group was significantly lower than that of T0 group ( $P < 0.05$ ). 3) There were no significant differences in the activities of protease, amylase and lipase in stomach, intestine and liver among all groups ( $P > 0.05$ ). 4) There were no significant differences in the alanine transaminase and aspartate aminotransferase activities and cholesterol, triglyceride, urea nitrogen, glucose and total protein contents in serum among all groups ( $P > 0.05$ ). The serum aspartate aminotransferase activity of T1, T3 and T4 groups was significantly higher than that of T0 group ( $P < 0.05$ ). 5) The serum malondialdehyde content of T4 groups was significantly lower than that of T0 group ( $P < 0.05$ ), and the serum superoxide dismutase activity of T3, T4 and T5 group was significantly higher than that of T0 group ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in the serum total antioxidant capacity among all groups ( $P > 0.05$ ). In conclusion, dietary EEFCV supplementation has promoting effects on the growth performance and antioxidant capacity of juvenile *Pelteobagrus vachelli*, using weight gain rate, specific growth rate and feed coefficient as the main evaluation indices, dietary supplemented with 1.50% EEFCV has better application effects. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(4):1778-1787]

**Key words:** *Pelteobagrus vachelli*; *Chlorella vulgaris*; growth performance; body composition; biochemical indices