

文章编号: 1674-5566(2019)01-0109-08

DOI:10.12024/jsou.20180402279

## 饲料中添加鼠尾藻粉对大菱鲆幼鱼生长、体成分、抗氧化和非特异免疫参数的影响

乔洪金<sup>1,2</sup>, 胡冬雪<sup>1,3</sup>, 胡文靖<sup>2</sup>, 张 燕<sup>1,3</sup>, 王晓艳<sup>1</sup>, 黄炳山<sup>1</sup>, 王际英<sup>1</sup>,  
李宝山<sup>1</sup>

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东 烟台 264006; 2. 鲁东大学 生命科学学院, 山东 烟台 264025; 3. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

**摘 要:** 研究饲料中添加鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)粉对大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)的影响。在基础饲料中添加 0、2.5%、5%、7.5% 和 10% 的鼠尾藻粉, 饲喂初始体质量(66.45 ± 0.52)g 的大菱鲆幼鱼 8 周。结果表明: 随着鼠尾藻粉添加量的升高, 增重率(WG)、特定生长率(SGR)和日摄食率(DFI)呈现逐渐下降的趋势, 2.5% 组与空白组相比无显著差异( $P > 0.05$ ); 全鱼粗灰分含量有逐渐升高的趋势, 藻粉组均显著高于对照组( $P < 0.05$ ); 血清低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、酸性磷酸酶(ACP)和过氧化氢酶(CAT)活性表现出先升高后下降的趋势, 在 5% 组达到最高。本实验条件下, 添加 2.5% 的鼠尾藻粉对大菱鲆幼鱼的生长无显著影响, 添加 5% 的鼠尾藻粉显著提高了大菱鲆幼鱼的非特异性免疫能力。

**关键词:** 海藻; 鼠尾藻; 大菱鲆; 生长; 免疫

**中图分类号:** S 963.1      **文献标志码:** A

我国海藻资源极其丰富, 栽培面积及产量均居世界首位。海藻不但含有丰富的碳水化合物(如海藻胶、甘露醇、淀粉等), 还含有蛋白质和碘、钾、钙、镁、钠、锰、硒等矿物质及多种维生素, 是一种优良的饲料添加剂, 有益于养殖动物的健康<sup>[1]</sup>。

许多报道均表明在饲料中添加海藻粉有利于改善养殖动物的生长表现。例如: 在饲料中添加 0 ~ 15% 水平的石莼粉可显著提高红罗非鱼(*Oreochromis* sp.) 的生长表现<sup>[2]</sup>; 在饲料中添加 5% 的泡叶藻(*Ascophyllum nodosum*)、紫菜(*Porphyra yezoensis*) 和石莼(*Ulva pertusa*) 促进了真鲷(*Pagrus major*) 的生长<sup>[3]</sup>; 在饲料中添加紫菜(最高达 10% 水平) 也促进了虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) 的生长<sup>[4]</sup>; 卢清等<sup>[5]</sup> 和李红艳等<sup>[6]</sup> 的研究均表明饲料中添加 5% 的浒苔(*Enteromorpha prolifera*) 可显著提高大菱鲆

(*Scophthalmus maximus*) 幼鱼的生长。

海藻粉作为添加剂还能提高养殖动物的免疫能力。许多体外实验均表明海藻粉具有抗菌、抗病毒和抗氧化活性<sup>[7-9]</sup>。在饲料中添加提取自泡叶藻的黏合剂提高了大西洋鲑(*Salmo salar*) 的溶菌酶水平<sup>[10]</sup>; 以海带粉饲喂牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) 也发现提高了其溶菌酶水平<sup>[11]</sup>; 以马尾藻饲喂鲮鱼(*Mugil cephalus*) 并对其进行荧光假单胞菌攻毒也发现增强了其溶菌酶活性<sup>[12]</sup>; 在饲料中添加 5% 的浒苔粉显著提高了大菱鲆幼鱼的头肾巨噬细胞的吞噬活力和呼吸爆发活力<sup>[13]</sup>。除了免疫保护活性外, 还发现海藻中多酚的含量与其抗氧化能力呈正相关<sup>[14]</sup>, 作用机理主要是通过清除 ROS 和抑制脂类过氧化<sup>[15]</sup>。例如, 预先来自巨藻(*Macrocystis pyritera*) 的褐藻酸钠和来自角叉菜(*Chondrus ocellatus*) 的卡拉胶饲喂鲑点石斑鱼(*Epinephelus coioides*), 再使用弧菌进行攻

收稿日期: 2018-04-16      修回日期: 2018-10-15

基金项目: 海洋公益性行业科研专项(201505022-5); 烟台市重点研发计划(2017ZH066); 山东省现代农业产业技术体系藻类产业创新团队项目(SDAIT-26-05)

作者简介: 乔洪金(1983—), 男, 副研究员, 研究方向为水生动物营养与饲料。E-mail: hongjinqiao@hotmail.com

通信作者: 黄炳山, E-mail: hbs811@126.com

毒, 鲢点石斑鱼表现出增强的呼吸爆发、超氧化物歧化酶和吞噬活性<sup>[16]</sup>。

鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)是我国沿海常见的野生暖温带海藻, 隶属于褐藻门(Ochrophyta)、无孢子纲(Phaeophyceae)、马尾藻科(Sargassaceae)、马尾藻属(*Sargassum*)。鼠尾藻营养丰富, 蛋白含量较高, 目前作为优质饵料在海参养殖中被广泛使用<sup>[17]</sup>; 鼠尾藻还能增强免疫能力, 《中国海洋药物辞典》曾报道鼠尾藻具有软坚散结、利尿消肿、清热化痰的功效<sup>[18]</sup>。近年来随着鼠尾藻育种技术的突破和野生马尾藻资源的扩张, 其资源量得到一定程度的恢复。大菱鲆作为我国海水鱼养殖的代表性品种, 迫切需要转换养殖方式, 开展集约化生态养殖, 其中研发具有提高免疫和抗应激能力的配合饲料是重要的环节。本文尝试在大菱鲆饲料中添加鼠尾藻

粉, 充分利用其营养和免疫特性, 评估其作为大菱鲆饲料原料的可行性, 以期对鼠尾藻资源的规模化开发和利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

以鱼粉、酪蛋白为主要蛋白源, 鱼油为主要脂肪源, 配制粗蛋白含量为 60.3%, 粗脂肪含量为 7.6% 的基础饲料。在此基础上分别添加 0、2.5%、5.0%、7.5%、10.0% 的鼠尾藻粉, 配制 5 组等氮等能的实验饲料, 命名为 ST0、ST2.5、ST5、ST7.5、ST10, 饲料配方及营养组成见表 1。饲料原料粉碎过 80 目筛, 按比例称量混匀后加鱼油及适量蒸馏水均匀混合, 制成粒径为 3.5 mm 的颗粒饲料, 阴凉处风干后 -20 °C 冰箱保存备用。

表 1 实验饲料的组成与营养成分  
Tab. 1 Ingredients and proximate composition of experimental diets

原料 Ingredients/(g/kg)	组别 Groups				
	ST0	ST2.5	ST5	ST7.5	ST10
白鱼粉 White fish meal	550.0	550.0	550.0	550.0	550.0
酪蛋白 Casein	180.0	175.3	170.5	165.8	161.0
鱿鱼内脏粉 Squid visceral meal	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
谷朊粉 Wheat gluten	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
α-淀粉粉 Alpha-starch	64.7	54.7	44.8	34.7	24.8
纤维素 Cellulose	64.7	54.7	44.7	34.7	24.7
鱼油 Fish oil	40.0	39.7	39.5	39.2	38.9
鼠尾藻 <i>Sargassum thunbergii</i> <sup>1</sup>	0.0	25.0	50.0	75.0	100.0
维生素预混料 Vitamin premix <sup>2</sup>	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
矿物质预混料 Mineral premix <sup>3</sup>	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
粘合剂 Binder	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
抗氧化剂 Antioxidant	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
氯化胆碱 Choline chloride	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
营养成分 Proximate composition/(% 干重)					
干物质 Dry matter	93.5	91.8	92.2	93.4	91.5
粗蛋白 Crude protein	60.3	61.2	61.0	60.6	60.6
粗脂肪 Crude lipid	7.6	7.5	7.7	7.9	7.6
粗灰分 Crude ash	14.0	14.5	14.9	15.8	16.9
总能 Gross energy/(kJ/g)	24.9	24.9	25.0	24.9	24.7

注: <sup>1</sup> 鼠尾藻采集于浙江温州岸边, 粗蛋白含量 16.08% (干重), 粗脂肪含量 1.24% (干重), 粗灰分含量 14.14% (干重)。<sup>2</sup> 矿物质预混料 (mg/kg 饲料) 包含: MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 3 568.0; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 25 568.0; KCl, 3 020.5; KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 8.3; CoCl<sub>2</sub>, 28.0; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 353.0; Ca-lactate, 15 968.0; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 9.0; KI, 7.0; MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 63.1; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 1.5; C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>Fe · 5H<sub>2</sub>O, 1 533.0; NaCl, 100.0; NaF, 4.0。<sup>3</sup> 维生素预混料 (mg/kg 饲料) 包含: 维生素 A, 38.0; 维生素 D<sub>3</sub>, 13.2; 维生素 K<sub>3</sub>, 10.0; 维生素 E, 210.0; 硫酸素, 115.0; 核黄素, 380.0; 盐酸吡哆醇, 88.0; 泛酸, 368.0; 烟酸, 1030.0; 生物素, 10.0; 叶酸, 20.0; 维生素 B<sub>12</sub>, 1.3; 肌醇, 4 000.0; 抗坏血酸, 500.0

Notes: *S. thunbergii* was collected from the coastal waters of Wenzhou city, Zhejiang Province, China, with crude protein content of 16.08% (dry matter), crude lipid content of 1.24% (dry matter) and ash content of 14.14% (dry matter). Mineral premix (mg/kg diet): MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 3 568.0; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 25 568.0; KCl, 3 020.5; KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 8.3; CoCl<sub>2</sub>, 28.0; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 353.0; Ca-lactate, 15 968.0; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 9.0; KI, 7.0; MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 63.1; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 1.5; C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>Fe · 5H<sub>2</sub>O, 1 533.0; NaCl, 100.0; NaF, 4.0. Vitamin premix (mg/kg diet): Retinol acetate, 38.0; cholecalciferol, 13.2; vitamin K<sub>3</sub>, 10; alpha-tocopherol, 210.0; thiamin, 115.0; riboflavin, 380.0; pyridoxine HCl, 88.0; pantothenic acid, 368.0; niacin acid, 1 030.0; biotin, 10.0; folic acid, 20.0; vitamin B<sub>12</sub>, 1.3; inositol, 4 000.0; ascorbic acid, 500.0

## 1.2 饲养管理及样品采集

养殖实验在山东省海洋资源与环境研究院养殖实验室进行,采用全封闭水循环系统。实验鱼购自蓬莱宗哲养殖场,种质来源相同、大小均匀、健康无病,平均体质量约为(66.38 ± 0.71) g。正式实验前,大菱鲆幼鱼在养殖系统中驯养2周,其间投喂对照组饲料,然后随机分为5组,每组设3个重复,每个重复25尾鱼,放养于绿色圆柱形(直径80 cm,高70 cm,水深约50 cm)养殖桶中,每种饲料随机投喂3个桶。每天定时(8:00,15:30)定量投喂2次,投喂量为鱼体质量的1%~2%,根据摄食情况调整投喂量,投喂结束半小时左右排残饵,数颗粒,计算残饵量。养殖过程控制水温在(15.9 ± 0.5) °C, pH 7.8~8.2,盐度28~30,保证溶氧>5 mg/L,氨氮、亚硝酸氮均<0.1 mg/L。养殖周期56 d。

养殖实验结束后,饥饿24 h,记录每桶鱼的数量并称量,计算增重率,从每桶随机取10尾实验鱼,测量体长、体质量,计算肥满度。随机选取3尾实验鱼用于全鱼体组成常规分析。剩下7尾进行尾静脉取血,血样在4 °C冰箱静置4 h,离心分离(4 000 r/min,10 min),取上清液,-80 °C保存,用于测定血清生理生化指标;取血后的实验鱼分离内脏和肝脏,并分别称重,计算肝体比和脏体比。

## 1.3 测定指标和方法

$$W_{GR} = (W_t - W_0) / W_0 \quad (1)$$

$$F_{CR} = F / (W_t - W_0) \quad (2)$$

$$S_{CR} = (\ln W_t - \ln W_0) / d \quad (3)$$

$$H_{SI} = W_h / W_t \quad (4)$$

$$V_{SI} = W_v / W_t \quad (5)$$

$$C_F = W_l / L_3 \quad (6)$$

$$D_{FI} = F / [(W_0 + W_t) / 2 \times d] \quad (7)$$

式中: $W_{GR}$ 为增重率; $F_{CR}$ 为饲料系数; $S_{CR}$ 为特定增长率; $H_{SI}$ 为肝体比; $V_{SI}$ 为脏体比; $C_F$ 为肥满度; $D_{FI}$ 为日摄食率; $W_t$ 为实验结束时鱼末体质量,g;

$W_0$ 为实验开始鱼初体质量,g; $F$ 为摄食干饲料重,g; $d$ 为养殖天数; $W_h$ 为肝脏质量; $W_v$ 为内脏质量; $L$ 为实验结束鱼末体长。

饲料及组织样品中,水分采用105 °C烘干恒重法(GB/T 6435—2006)测定;粗蛋白采用凯氏定氮法(GB/T 6432—2006)测定;饲料中粗脂肪和组织样品的粗脂肪,采用索氏抽提法(GB/T 6433—2006)测定;粗灰分采用马弗炉550 °C灼烧法(GB/T 6438—2007)测定;能量采用燃烧法(IKA,C6000,德国)测定。

血清中葡萄糖(GLU)、三酰甘油(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和胆固醇(CHO)采用全自动生化分析仪(7020,日立,日本)进行测定。血清碱性磷酸酶(ACP)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)、过氧化氢酶(CAT)和丙二醛(MDA)均采用南京建成的试剂盒测定。

## 1.4 数据统计分析

采用SPSS 11.5软件对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),当处理之间差异显著( $P < 0.05$ )时,用Duncan's检验进行多重比较,实验结果以平均值±标准差(Means ± SD)形式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料中添加鼠尾藻粉对大菱鲆生长指标的影响

如表2所示,随着鼠尾藻粉添加量的升高,增重率( $W_{GR}$ )和特定增长率( $S_{CR}$ )呈现出逐渐下降的趋势,ST2.5组与对照组相比无显著差异( $P > 0.05$ ),其余各组均显著低于对照组( $P < 0.05$ )。日摄食率( $D_{FI}$ )表现出逐渐下降的趋势,其中ST10组显著低于对照组( $P < 0.05$ )。饲料系数( $F_{CR}$ )、成活率( $S_R$ )、脏体比( $V_{SI}$ )、肝体比( $H_{SI}$ )和肥满度( $C_F$ )各组之间均无显著性差异( $P > 0.05$ )。

表 2 实验 8 周后大菱鲆幼鱼的生长表现与形体指数

Tab. 2 Growth performance and somatic parameters of juvenile turbot fed experimental diets for 8 weeks

生长表现与形体指数 Growth performance and somatic parameters	饲料组 Diets				
	ST0	ST2.5	ST5	ST7.5	ST10
初均重 Initial mass/g	66.71 ± 0.30	66.51 ± 0.12	66.63 ± 0.18	66.69 ± 0.10	66.39 ± 0.05
末均重 Final mass/g	127.08 ± 2.44 <sup>a</sup>	126.13 ± 2.69 <sup>ab</sup>	119.07 ± 2.45 <sup>c</sup>	120.08 ± 6.02 <sup>bc</sup>	117.07 ± 2.62 <sup>c</sup>
增重率 Weight gain rate /%	90.50 ± 3.86 <sup>a</sup>	89.65 ± 4.30 <sup>ab</sup>	78.72 ± 4.08 <sup>c</sup>	80.05 ± 8.94 <sup>bc</sup>	76.35 ± 3.98 <sup>c</sup>
特定生长率 Specific growth rate/(%/d)	1.15 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.14 ± 0.04 <sup>ab</sup>	1.04 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.05 ± 0.09 <sup>bc</sup>	1.01 ± 0.04 <sup>c</sup>
日摄食率 Daily feed intake/(%/d)	2.52 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.46 ± 0.24 <sup>ab</sup>	2.27 ± 0.16 <sup>ab</sup>	2.32 ± 0.15 <sup>ab</sup>	2.14 ± 0.22 <sup>b</sup>
饲料系数 Feed conversion rate	0.66 ± 0.02	0.67 ± 0.07	0.73 ± 0.05	0.71 ± 0.05	0.78 ± 0.08
存活率 Survival rate/%	100.00 ± 0	98.67 ± 2.31	100.00 ± 0	100.00 ± 0	98.67 ± 2.31
脏体比 Viscerosomatic index/%	0.73 ± 0.01	0.72 ± 0.03	0.73 ± 0.03	0.72 ± 0.02	0.75 ± 0.03
肝体比 Hepatosomatic index/%	5.27 ± 0.17	5.36 ± 0.36	5.34 ± 0.32	5.45 ± 0.14	5.19 ± 0.15
肥满度 Condition factor/(g/cm <sup>3</sup> )	3.23 ± 0.14	3.24 ± 0.20	3.25 ± 0.19	3.12 ± 0.38	3.24 ± 0.35

注:同一行数据中不同上标字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Notes: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.2 饲料中添加鼠尾藻粉对大菱鲆体成分的影响

如表 3 所示,随着鼠尾藻粉添加量的提高, 全鱼粗蛋白含量有逐渐升高的趋势,粗脂肪含量

有逐渐下降的趋势,但各组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。粗灰分含量有逐渐升高的趋势,试验组均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), ST5、ST7.5 和 ST10 组显著高于 ST2.5 组 ( $P < 0.05$ )。

表 3 实验 8 周后大菱鲆幼鱼的全鱼体成分 (% 干重)

Tab. 3 Whole body composition (% dry matter) of juvenile turbot fed the experimental diets for 8 weeks

体成分 Body composition	饲料组 Diets				
	ST0	ST2.5	ST5	ST7.5	ST10
粗蛋白 Crude protein	67.69 ± 0.33	67.72 ± 0.42	69.01 ± 0.32	68.64 ± 0.06	69.00 ± 0.66
粗脂肪 Crude lipid	12.61 ± 1.11	13.09 ± 0.65	12.18 ± 0.50	11.68 ± 1.33	11.50 ± 1.46
粗灰分 Crude ash	15.00 ± 0.39 <sup>a</sup>	15.81 ± 0.64 <sup>b</sup>	16.89 ± 0.84 <sup>c</sup>	16.53 ± 0.41 <sup>bc</sup>	17.04 ± 0.75 <sup>c</sup>

注:同一行数据中不同上标字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Notes: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.3 大菱鲆血清生化指标

如表 4 所示,各组之间的血清葡萄糖 (GLU)、甘油三酯 (TG)、胆固醇 (CHO) 浓度、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 无显著差异 ( $P >$

0.05); 血清低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 浓度表现出先升高后下降的趋势, ST5 组最高, 并显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。

表 4 实验 8 周后大菱鲆幼鱼的血清生化组成

Tab. 4 Contents of serum constituents of juvenile turbot fed Experimental diets for 8 weeks

血清生化组成 Contents of serum constituents	饲料组 Diets				
	ST0	ST2.5	ST5	ST7.5	ST10
葡萄糖 GLU	11.92 ± 0.24	11.58 ± 0.22	11.71 ± 0.40	11.73 ± 0.33	11.77 ± 0.01
三酰甘油 TG	2.79 ± 0.61	2.83 ± 0.52	2.79 ± 0.44	2.83 ± 0.40	2.76 ± 0.46
胆固醇 CHO	4.31 ± 0.21	5.18 ± 0.23	5.23 ± 0.09	5.20 ± 0.16	5.14 ± 0.25
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C	0.98 ± 0.23	1.16 ± 0.15	1.23 ± 0.15	1.21 ± 0.20	1.25 ± 0.12
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C	0.87 ± 0.21 <sup>a</sup>	1.19 ± 0.23 <sup>ab</sup>	1.30 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.12 ± 0.16 <sup>ab</sup>	1.21 ± 0.25 <sup>ab</sup>

注:同一行数据中不同上标字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Notes: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.4 饲料中添加鼠尾藻粉对大菱鲆抗氧化和免疫指标的影响

如表 5 所示:大菱鲆酸性磷酸酶(ACP)活性随着鼠尾藻粉添加量的提高表现出先升高后下降的趋势,其中 ST5 组最高;总超氧化物歧化酶

(T-SOD)活性各组之间无显著差异( $P > 0.05$ );过氧化氢酶(CAT)活性呈现出先升高后下降的趋势,其中 ST5 组最高;ST10 组的丙二醛(MDA)浓度显著高于其他各组( $P < 0.05$ ),其他各组之间无显著差异( $P > 0.05$ )。

表 5 实验 8 周后大菱鲆幼鱼的血清抗氧化和非特异性免疫酶活性  
Tab. 5 Activities of serum antioxidation and nonspecific immune enzymes of juvenile turbot fed experimental diets for 8 weeks

项目 Item	饲料组 Diets				
	ST0	ST2.5	ST5	ST7.5	ST10
血清酸性磷酸酶/(U/L) ACP	14.60 ± 2.22 <sup>ab</sup>	12.23 ± 4.99 <sup>a</sup>	19.15 ± 0.73 <sup>b</sup>	13.77 ± 1.64 <sup>a</sup>	9.73 ± 2.37 <sup>a</sup>
总超氧化物歧化酶/(U/mL) T-SOD	112.83 ± 12.05	99.89 ± 6.89	106.70 ± 2.10	105.59 ± 12.11	101.52 ± 6.26
过氧化氢酶/(U/mL) CAT	2.26 ± 0.33 <sup>a</sup>	3.59 ± 0.11 <sup>ab</sup>	4.07 ± 1.40 <sup>b</sup>	2.02 ± 0.84 <sup>a</sup>	2.57 ± 0.79 <sup>ab</sup>
丙二醛/(μmol/L) MDA	14.38 ± 0.62 <sup>a</sup>	13.68 ± 1.92 <sup>a</sup>	14.70 ± 1.98 <sup>a</sup>	13.23 ± 2.05 <sup>a</sup>	19.21 ± 0.15 <sup>b</sup>

注:同一行数据中不同上标字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 3 讨论

本研究在饲料中添加 2.5% 的鼠尾藻粉对大菱鲆的生长无负面影响,然而添加 2.5% 以上水平的鼠尾藻粉降低了大菱鲆幼鱼的增重率和特定生长率(表 2)。目前主要报道了 3 类海藻在饲料中的添加情况:(1)绿藻,PEIXOTO 等<sup>[19]</sup>在饲料中添加 7.5% 的石莼对欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*)的生长无负面影响,MARINHO 等<sup>[21]</sup>、SILVA 等<sup>[22]</sup>和 VALENTE 等<sup>[23]</sup>分别在尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)中添加 10% 的石莼(*Ulva* sp.)对其生长无负面影响,VALENTE 等<sup>[24]</sup>研究表明在欧洲鲈鱼饲料中石莼添加到 10% 对生长无负面影响,LINARES 等<sup>[25]</sup>也发现在塞内加尔鲷饲料中添加 10% 的石莼对其生长无负面影响;(2)红藻,SILVA 等<sup>[22]</sup>发现在饲料中添加 10% 的江蓠(*Gracilaria vermiculophylla*)对尼罗罗非鱼有负面影响,而 VALENTE 等<sup>[24]</sup>研究了两种江蓠(*G. bursa-pastoris* 和 *G. cornea*)对欧洲鲈鱼的影响,结果表明添加 10% *G. bursa-pastoris* 对生长无负面影响,而添加 10% *G. cornea* 显著降低了生长;(3)褐藻,QUEIROZ 等<sup>[20]</sup>发现在金头鲷(*Sparus aurata*)饲料中添加 7.5% 的褐藻对其生长无显著影响,PEIXOTO 等<sup>[19]</sup>在饲料中添加 7.5% 的墨角藻(*Fucus* spp.)对欧洲鲈鱼的生长无影响,LINARES 等<sup>[25]</sup>也发现在塞内加尔鲷饲料中添加 10% 的裙带菜(*Undaria pinnatifida*)对其生长无影响。这些研究表明,饲料中海藻粉的最适添加量因鱼种的不

同而不同,不同海藻粉在同一鱼种的饲料最适添加量也不尽相同。本研究所获得的最适添加量(2.5%)小于上述研究,主要原因有:采用的藻种和实验动物与上述研究均不同;上述研究最多只设置了 3 个海藻梯度,而本研究设置了 5 个海藻梯度,因此能更精确地反映出最适添加量。饲料中添加过多的海藻粉通常会造成鱼类生长的下降,这与海藻粉的风味和含有抗营养因子有关。海藻粉含有皂苷、鞣酸和植酸等苦味物质,降低了饲料的诱食性,导致摄食率的下降,并且会干扰饲料脂肪和胆汁盐的吸收<sup>[26-27]</sup>,本研究随着鼠尾藻添加量的增加,日摄食率呈现出逐渐下降的趋势,表明鼠尾藻添加造成了饲料风味的改变,从而引起摄食和生长的下降<sup>[28]</sup>。此外,海藻中还含有多糖(木聚糖、琼脂和海藻酸盐)等抗营养因子,这些抗营养因子降低了其营养品质,而且影响了消化吸收效率,从而也会导致生长速率的下降<sup>[29-30]</sup>,PERNADO 等<sup>[31]</sup>曾报道尼罗罗非鱼对 *G. vermiculophylla*, *Porphyra dioica* 和 *Ulva* spp. 消化利用率好于 *Sargassum muticum*(与鼠尾藻同属),这也可能是本研究鼠尾藻最适添加量低于其他海藻的原因。

与对照组相比,随着鼠尾藻粉添加量的提高,实验组的全鱼粗灰分含量也逐渐升高(表 3),这与饲料中粗灰分含量的变化趋势一致。海藻粉含有较高矿物质含量,如钙的含量比玉米、麸皮分别高出 2.29%、2.39%,磷比玉米高出 0.29%,还含有丰富的碘剂<sup>[32]</sup>,因此造成饲料中粗灰分含量高于对照组。钙磷等矿物质被鱼体

吸收后可提高骨骼灰分含量<sup>[33]</sup>,因此添加鼠尾藻粉提高了大菱鲆全鱼的粗灰分含量。

血清中高密度脂蛋白负责将血液中的胆固醇转运到肝脏,而低密度脂蛋白负责将胆固醇和三酰甘油转运到血液,二者共同影响了血清中CHO和TG的含量<sup>[34]</sup>。因此,LDL-C/HDL-C被认为是动脉硬化性病变的表征<sup>[35]</sup>。在本实验中,与对照组相比,实验组的LDL-C和HDL-C均有所升高,但二者的比值呈现出下降趋势,且与对照组逐渐接近,并且CHO和TG与对照组相比均无显著变化,这表明添加鼠尾藻粉对大菱鲆的血脂健康无负面影响。

鱼类血清中的超氧化物歧化酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶等是评价非特异性免疫作用的重要指标,在提高鱼体的抗病力以及抗应激力中发挥了促进作用<sup>[36]</sup>。与对照组相比,添加鼠尾藻粉后酸性磷酸酶和过氧化氢酶呈现出先上升后下降的趋势,在ST5组达到最高,王鹏等<sup>[37]</sup>在大菱鲆鱼苗的饲料中添加褐藻低聚糖也提高了其酸性磷酸酶和过氧化氢酶活性。非特异性免疫防御是鱼类的第一道保护屏障,在鱼类的免疫系统中起着至关重要的作用,添加5%的鼠尾藻粉可明显提高大菱鲆的非特异性免疫能力。

#### 4 结论

在本实验条件下,添加2.5%的鼠尾藻粉对大菱鲆幼鱼的生长无显著影响,添加5%的鼠尾藻粉提高了大菱鲆幼鱼的非特异性免疫能力。

#### 参考文献:

- [1] JIMÉNEZ-ESCRIG A, GÓMEZ-ORDÓÑEZ E, RUPÉREZ P. Seaweed as a source of novel nutraceuticals: sulfated polysaccharides and peptides[M]//KIM S K. Advances in Food and Nutrition Research. New York: Academic Press, 2011: 325-337.
- [2] EL-TAWIL N E. Effects of green seaweeds (*Ulva* sp.) as feed supplements in red tilapia (*Oreochromis* sp.) diet on growth performance, feed utilization and body composition [J]. Journal of the Arabian Aquaculture Society, 2010, 5(2): 179-194.
- [3] MUSTAFA G, WAKAMATSU S, TAKEDA T A, et al. Effects of algae meal as feed additive on growth, feed efficiency, and body composition in Red Sea Bream [J]. Fisheries Science, 1995, 61(1): 25-28.
- [4] SOLER-VILA A, COUGHLAN S, GUIRY M D, et al. The red alga *Porphyra dioica* as a fish-feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effects on growth, feed efficiency, and carcass composition [J]. Journal of Applied Phycology, 2009, 21(5): 617-624.
- [5] 卢青, 杨宁, 王正丽, 等. 饲料中添加浒苔对大菱鲆生长和非特异性免疫力的影响 [J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2015, 32(1): 62-66.
- LU Q, YANG N, WANG Z L, et al. The effects of dietary *Enteromorpha prolifera* on the growth and non-specific immunity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2015, 32(1): 62-66.
- [6] 李红艳, 刘天红, 王璇璇, 等. 不同饲料配方中浒苔添加量对大菱鲆生长的影响 [J]. 水产科学, 2016, 35(4): 334-339.
- LI H Y, LIU T H, WANG X X, et al. Effect of dietary green alga *Enteromorpha prolifera* in different formulations on growth of turbot *Scophthalmus maximus* [J]. Fisheries Science, 2016, 35(4): 334-339.
- [7] HEMMINGSON J A, FALSHAW R, FURNEAUX R H, et al. Structure and antiviral activity of the galactofucan sulfates extracted from *Undaria pinnatifida* (Phaeophyta) [J]. Journal of Applied Phycology, 2006, 18(2): 185-193.
- [8] COX S, ABU-GHANNAM N, GUPTA S. An assessment of the antioxidant and antimicrobial activity of six species of edible Irish seaweeds [J]. International Food Research Journal, 2010, 17: 205-220.
- [9] NARASIMHAN M K, PAVITHRA S K, KRISHNAN V, et al. *In vitro* analysis of antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activity of *Enteromorpha antenna*, *Enteromorpha linza* and *Gracilaria corticata* extracts [J]. Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products, 2013, 8(4): 151-159.
- [10] GABRIELSEN B O, AUSTRENG E. Growth, product quality and immune status of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fed wet feed with alginate [J]. Aquaculture Research, 1998, 29(6): 397-401.
- [11] KIM S S, LEE K J. Effects of dietary kelp (*Ecklonia cava*) on growth and innate immunity in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) [J]. Aquaculture Research, 2008, 39(15): 1687-1690.
- [12] KANIMOZHI S, KRISHNAVENI M, DEIVASIGMANI B, et al. Immunomodulation effects of *Sargassum whitti* on *Mugil cephalus* against *Pseudomonas fluorescens* [J]. Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2013, 2(7): 93-103.
- [13] 郭中帅, 杨宁, 王正丽, 等. 大菱鲆幼鱼饲料中浒苔适宜添加量的应用研究 [J]. 水产科学, 2015, 34(7): 423-427.
- GUO Z S, YANG N, WANG Z L, et al. Optimal dietary *Enteromorpha prolifera* in turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Fisheries Science, 2015, 34(7): 423-427.

- [14] DEVI G K, MANIVANNAN K, THIRUMARAN G, et al. *In vitro* antioxidant activities of selected seaweeds from Southeast coast of India [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 2011, 4(3): 205-211.
- [15] HEO S J, PARK E J, LEE K W, et al. Antioxidant activities of enzymatic extracts from brown seaweeds [J]. Bioresource Technology, 2005, 96(14): 1613-1623.
- [16] CHENG A C, TU C W, CHEN Y Y, et al. The immunostimulatory effects of sodium alginate and iota-carrageenan on orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* and its resistance against *Vibrio alginolyticus* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2007, 22(3): 197-205.
- [17] 吴海歌, 于超, 姚子昂, 等. 鼠尾藻营养成分分析 [J]. 大连大学学报, 2008, 29(3): 84-85, 93.  
WU H G, YU C, YAO Z A, et al. Analysis of the nutrient component in *Sargassum thunbergii* [J]. Journal of Dalian University, 2008, 29(3): 84-85, 93.
- [18] 姜凤梧, 张玉顺. 中国海洋药物辞典 [M]. 北京: 海洋出版社, 1994: 387.  
JIANG F W, ZHANG Y S. Chinese dictionary of marine drugs [M]. Beijing: China Ocean Press, 1994: 387.
- [19] PEIXOTO M J, SALAS-LEITÓN E, PEREIRA L F, et al. Role of dietary seaweed supplementation on growth performance, digestive capacity and immune and stress responsiveness in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture Reports, 2016, 3: 189-197.
- [20] QUEIROZ A C, PEREIRA R, DOMINGUES A F, et al. Effect of seaweed supplementation on growth performance, immune and oxidative stress responses in gilthead seabream (*Sparus aurata*) [C]//International Meeting on Marine Research. Peniche, 2014.
- [21] MARINHO G, NUNES C, SOUSA-PINTO I, et al. The IMTA-cultivated Chlorophyta *Ulva* spp. as a sustainable ingredient in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets [J]. Journal of Applied Phycology, 2013, 25(5): 1359-1367.
- [22] SILVA D M, VALENTE L M P, SOUSA-PINTO I, et al. Evaluation of IMTA-produced seaweeds (*Gracilaria*, *Porphyra*, and *Ulva*) as dietary ingredients in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., juveniles. Effects on growth performance and gut histology [J]. Journal of Applied Phycology, 2015, 27(4): 1671-1680.
- [23] VALENTE L M P, ARA Ú JO M, BATISTA S, et al. Carotenoid deposition, flesh quality and immunological response of Nile tilapia fed increasing levels of IMTA-cultivated *Ulva* spp. [J]. Journal of Applied Phycology, 2016, 28(1): 691-701.
- [24] VALENTE L M P, GOUVEIA A, REMA P, et al. Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. Aquaculture, 2006, 252(1): 85-91.
- [25] LINARES F, PELETEIRO J B, LVAREZ-BLÁZQUEZ B, et al. Dietary inclusion of 10% seaweeds in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles [C]//San Sebastián: Aquaculture Europe, 2014.
- [26] TACON A G J. Fishmeal replacers: review of antinutrients within oilseeds and pulses—a limiting factor for the aquafeed green revolution [J]. Coniers Options Mediterranennes, 1997, 22: 153-182.
- [27] FRANCIS G, MAKKAR H P S, BECKER K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish [J]. Aquaculture, 2001, 199(3/4): 197-227.
- [28] YILDIRIM Ö, ERGÜN S, YAMAN S, et al. Effects of two seaweeds (*Ulva lactuca* and *Enteromorpha linza*) as a feed additive in diets on growth performance, feed utilization, and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 2009, 15(3): 455-460.
- [29] HORIE Y, SUGASE K, HORIE K. Physiological differences of soluble and insoluble dietary fibre fractions of brown algae and mushrooms in pepsin activity in vitro and protein digestibility [J]. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 1995, 4(2): 251-255.
- [30] DALLAIRE V, LESSARD P, VANDENBERG G, et al. Effect of algal incorporation on growth, survival and carcass composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(7): 1433-1439.
- [31] PEINADO M J, RUIZ R, ECHÁVARRI A, et al. Garlic derivative propyl propane thiosulfonate is effective against broiler enteropathogens *in vivo* [J]. Poultry Science, 2012, 91(9): 2148-2157.
- [32] 陈琴. 海藻在渔用饲料中的应用 [J]. 水产养殖, 2002(6): 36-38.  
CHEN Q. Application of seaweeds in aquaculture feed [J]. Journal of Aquaculture, 2002(6): 36-38.
- [33] ANDREWS J W, MURAI T, CAMPBELL C. Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish [J]. The Journal of Nutrition, 1973, 103(5): 766-771.
- [34] 纪利芹, 蒋克勇, 韩龙江, 等. 连续降温对大菱鲆成鱼代谢机能的影响 [J]. 海洋科学, 2014, 38(5): 46-53.  
JI L Q, JIANG K Y, HAN L J, et al. Effect of continuous cooling on metabolic function of adult *Scophthalmus maximus* L. [J]. Marine Sciences, 2014, 38(5): 46-53.
- [35] GORDON T, CASTELLI W P, HJORTLAND M C, et al. High density lipoprotein as a protective factor against coronary heart disease: the framingham study [J]. The American Journal of Medicine, 1977, 62(5): 707-714.
- [36] 宋晓玲, 杨绪彤, 思瀚文, 等. 双歧杆菌细胞壁肽聚糖的分离及其对二种海产动物免疫活性的影响 [J]. 水产学报, 2005, 29(3): 350-355.  
SONG X L, YANG X T, SI H W, et al. Peptidoglycan isolation from *Bifidobacterium thermophilum* and its effect on

immuno-enzymetic activity of *Penaeus japonicus* and *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(3): 350-355.

[37] 王鹏, 江晓路, 江艳华, 等. 褐藻低聚糖对提高大菱鲆免

疫机能的作用[J]. 海洋科学, 2006, 30(8): 6-9.

WANG P, JIANG X L, JIANG Y H, et al. Immunoregulatory effect of alginate oligosaccharides on *Scophthalmus maximus* [J]. Marine Sciences, 2006, 30(8): 6-9.

## Effects of dietary *Sargassum thunbergii* powder on growth performance, body composition, antioxidation and non-specific immune parameters of juvenile turbot

QIAO Hongjin<sup>1,2</sup>, HU Dongxue<sup>1,3</sup>, HU Wenjing<sup>2</sup>, ZHANG Yan<sup>1,3</sup>, WANG Xiaoyan<sup>1</sup>, HUANG Bingshan<sup>1</sup>, WANG Jiyong<sup>1</sup>, LI Baoshan<sup>1</sup>

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, Shandong, China; 2. College of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264025, Shandong, China; 3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** This work aimed to appraise the role of dietary seaweed *Sargassum thunbergii* supplementation in the growth performance, body composition, and immune responsiveness of turbot (*Scophthalmus maximus*). A basal diet (without supplementation) was supplemented with increasing seaweed powder content to formulate five groups of experimental diets containing 0, 2.5%, 5%, 7.5% and 10% of seaweed powder (denoted as ST0, ST2.5, ST5, ST7.5, ST10 groups). Turbot juveniles (initial weight  $66.45 \pm 0.52$  g) were fed experimental diets for 8 weeks. Results showed that weight gain rate ( $W_{CR}$ ) and specific growth rate ( $S_{CR}$ ) tended to decrease with the increasing dietary content of seaweed powder, however, there was no significant differences between ST2.5 and control group ( $P > 0.05$ ), and the other groups were significantly lower than the control group ( $P < 0.05$ ). The daily feed intake ( $D_{FI}$ ) showed a gradually decreasing trend, among which ST10 group was significantly lower than control group ( $P < 0.05$ ). Dietary seaweed supplementation had no effect on feed conversion ratio ( $F_{CR}$ ), survival ratio ( $S_R$ ), viscerosomatic index ( $V_{SI}$ ) and hepatosomatic index ( $H_{SI}$ ). Crude protein content of whole fish tended to increase gradually, and crude fat content increased firstly and then decreased, however, both had no significant differences among groups ( $P > 0.05$ ). Crude ash content increased gradually ( $P < 0.05$ ), which was consistent with the trend of crude ash content of feedstuff. The concentration of serum low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) showed a trend of first increase and then decrease ( $P < 0.05$ ), and reached the highest value at ST5 group. Serum acid phosphatase (ACP) and catalase (CAT) activity increased first and then decreased, and also reached the highest value at ST5 group. Under the present experimental conditions, the addition of 2.5% *S. thunbergii* powder had no significant effect on juvenile turbot growth. Adding 5% *S. thunbergii* powder significantly increased the non-specific immune capacity of juvenile turbot.

**Key words:** seaweed; *Sargassum thunbergii*; turbot; growth; immunity