

饲料中添加菊粉对暗纹东方鲀幼鱼生长、消化及非特异性免疫能力的影响

蒋飞 严银龙 施永海*

上海市水产研究所 上海市水产技术推广站 上海 200433

摘要: 为探讨菊粉对暗纹东方鲀 (*Takifugu obscurus*) 幼鱼生长、消化及免疫能力的影响, 利用单因素实验设计, 选取 640 尾暗纹东方鲀, 体重 (6.97 ± 1.32) g, 随机分为 4 组, 每组设 4 个重复, 在日粮中添加不同浓度的菊粉 (0%、0.25%、0.5%、1%), 连续投喂 8 周后测定鱼体生长、肌肉营养成分、肠道消化酶和肝非特异性免疫酶活性。结果显示, 各菊粉添加组的生长指标无显著性差异 ($P > 0.05$); 0.25%组肌肉的粗脂肪含量 (0.87%) 显著高于 0.5%组 (0.82%) 和 1%组 (0.76%); 0.25%组肌肉的粗蛋白含量 (18.75%) 显著高于 1%组 (18.50%), 与对照组 (18.62%) 和 0.5%组 (18.60%) 无显著差异。暗纹东方鲀幼鱼肠道组织的胃蛋白酶、胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性均随着菊粉添加量的增加而呈逐渐上升的趋势。0.5%菊粉添加组肝组织的谷胱甘肽过氧化物酶和总超氧化物歧化酶活性极显著 ($P < 0.01$) 高于其余处理组; 0.5%组的过氧化氢酶活性也极显著 ($P < 0.01$) 高于 0.25%和 1%组; 丙二醛含量随着菊粉添加量的增加而呈递减的趋势。因此, 菊粉添加量以 0.5%为宜, 对暗纹东方鲀幼鱼的生长无显著影响, 但对其消化酶活性和非特异性免疫酶活性均具有促进作用。

关键词: 暗纹东方鲀; 菊粉; 生长; 消化酶; 非特异性免疫酶

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2020) 05-599-07

Effect of Supplemental Inulin in Dietary on the Growth, Digestive Enzyme and Nonspecific Immunity in Juvenile *Takifugu obscurus*

JIANG Fei YAN Yin-Long SHI Yong-Hai*

Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 200433, China

Abstract: To study effect of dietary Inulin on the growth, digestive function, and immunity of juvenile *Takifugu obscurus*, a total of 640 juvenile *T. obscurus* (initial body weight of 6.97 ± 1.32 g) were randomly divided into 4 groups with 4 replicates and data were analyzed by single factor test. Four groups were fed diets with 0% (control group), 0.25%, 0.5% and 1% inulin, respectively. After rearing 8 weeks, the growth, nutritive

基金项目 上海市市级农口系统青年人才成长计划项目[沪农青字(2017)第 3-2 号], 上海长江口主要经济水生动人工繁育工程技术研究中心项目 (No. 13DZ2251800);

* 通讯作者, E-mail: yonghais@163.com;

第一作者介绍 蒋飞, 男, 工程师; 研究方向: 水产养殖及育种研究; E-mail: ygljf214@163.com

收稿日期: 2019-06-25, 修回日期: 2020-06-28 DOI: 10.13859/j.cjz.202005008

composition, activities of digestive enzymes, nonspecific immunity enzyme were investigated. The supplementation of Inulin had no significant effect on growth index of juvenile *T. obscura* ($P > 0.05$). The crude fat content in the white muscle of 0.25% group (0.87%) was significantly higher than that of 0.5% group (0.82%) and 1% group (0.76%), and the crude protein content in the white muscle of 0.25% group (18.75%) was significantly higher than that of 1% group (18.50%), but showed no significant difference compared with the control group (18.62%) and 0.5% group (18.60%); The activities of pepsin, trypsin, lipase and amylase in intestine were increased with the increase of inulin addition. The activities of glutathione peroxidase and superoxide dismutase in the liver of 0.5% group were significantly higher than in the rest three groups, and the difference was very significant ($P < 0.01$). The activity of catalase in intestine of 0.5% group was very significantly higher ($P < 0.01$) than that of 0.25% or 1% group, while the malondialdehyde content was decreased with the increase of inulin addition. Therefore, the added amount of inulin should be 0.5%, a concentration that cannot promote the growth significantly, but improve the activities of digestive enzymes and nonspecific immunity enzymes of juvenile *T. obscura*.

Key words: *Takifugu obscura*; Inulin; Growth; Digestive enzyme; Nonspecific immunity enzyme

菊粉 (inulin) 又名菊糖、天然果聚糖或低聚果糖, 菊粉分子式表示为 GFn , 其中 G 是终端葡萄糖单位, F 是果糖分子, n 为果糖单位数 (魏凌云等 2005)。菊粉作为除淀粉以外的一种能量储备物质, 存在于多种植物和蔬菜中, 尤其是菊科植物 (菊芋和菊苣) 块茎中。菊粉作为一种天然可溶性的膳食纤维, 具有益生素的生理功能, 广泛应用于食品工业和医疗保健等领域 (刘宏 2010)。在水产养殖领域, 菊粉作为新型的绿色天然免疫增强剂, 具有优化肠道微生物区系、改善水产动物脂肪代谢、促进微量元素吸收、增强机体免疫力、提高饲料利用率等功能, 从而使菊粉作为一种功能性的饲料添加剂成为水产动物营养研究的新动向 (吕耀平等 2005, 李晶晶 2016, Li et al. 2018)。

暗纹东方鲀 (*Takifugu obscura*) 隶属于鲀形目 (Tetraodontiformes) 鲀科 (Tetraodontidae) 东方鲀属, 主要分布于我国近海和长江中下游, 为“长江三鲜”之一, 属江海洄游性鱼类 (华雪铭等 2005)。本研究旨在通过在暗纹东方鲀基础饲料中添加不同含量的菊粉, 研究其对暗纹东方鲀幼鱼生产性能、消化酶及非特异性免疫酶等指标的影响, 以期为暗纹东方鲀免疫增强剂的研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用暗纹东方鲀是上海市水产研究所奉贤科研基地当年人工繁殖的幼鱼。实验基础饲料由常熟泉兴营养添加剂有限公司提供, 其常规营养成分含量为, $5.61\% \pm 0.03\%$ 水分、 $10.22\% \pm 0.04\%$ 灰分、 $47.68\% \pm 0.27\%$ 粗蛋白、 $3.16\% \pm 0.27\%$ 粗脂肪。菊粉来自比利时 Beneo-Orafti 集团公司。实验养殖用水是经过蓄水池沉淀以及 120 目筛绢网过滤的当地自然海水 (盐度 8~10)。实验水槽是自制的尼龙网箱 (100 cm × 70 cm × 40 cm)。

1.2 实验设计和日常管理

实验用鱼先暂养于 20 m^3 的水泥池中, 用基础饲料驯养 1 周以后, 开始进行正式实验。养殖实验共设 4 个组, 每组设有 4 个重复。挑选规格基本一致的暗纹东方鲀幼鱼随机分到 16 个尼龙网箱中, 每个网箱 40 尾, 共 640 尾, 鱼的初始体长为 (4.73 ± 0.36) cm、初始体重为 (6.97 ± 1.32) g。16 个网箱分别置于两个 20 m^3 的水泥池中, 每个水泥池分别是 4 个处理组, 2 个重复。菊粉按照每次投喂基础饲料用量的 0.00%、0.25%、0.50%、1.00% 准确称

量后分别溶于基础饲料等量的水中, 再将基础饲料和含有不同浓度菊粉的水分别进行搅拌混合, 手工揉制成小团进行投喂。实验期间, 每天投饵 2 次, 投饵量以表观饱食为准, 每天吸污 1 次, 每周换水 2 次, 换水 2/3, 每 2 周翻缸 1 次并从每个网箱随机选取 10 尾测量体长和体重。实验期间, 自然水温 25.0~30.0 °C, 连续曝气, 水质指标为酸碱度 (pH) 7.68~8.09, 溶解氧 (dissolved oxygen, DO) 不低于 7.26 mg/L, 总氨氮 (total ammonia nitrogen, TAN) 不超过 0.89 mg/L, 亚硝酸盐 (nitrite nitrogen, NO₂-N) 不超过 0.59 mg/L。养殖实验从 2017 年 7 月 26 日开始至 9 月 20 日结束, 历时 8 周。

1.3 取样和样品制备

养殖实验结束后, 停饲 24 h, 对所有实验鱼的体长和体重进行测量。从 4 个重复中随机选 10 尾组成 1 个样本, 用清水洗净后, 置于冰盘上解剖, 取鱼躯干部的肌肉, 待真空冷冻干燥后用来测其常规营养成分; 将肝和肠上的附着物剔除后用预冷的 0.86% 生理盐水将其冲洗干净并用滤纸吸干, -80 °C 保存备用。测定酶活性前, 将冷冻保存的样品, 先加少量预冷的生理盐水, 经自动研磨仪研磨后, 补足 9 倍体积的生理盐水, 并以 2 500 r/min 4 °C 离心 10 min, 取上清液测定暗纹东方鲀各组织消化酶和非特异性免疫酶活性。

1.4 实验测定指标和方法

1.4.1 生长性能指标 生长效果指标包括以下 5 项, 相对增重率 $W_{GR} = [(M_t - M_0)/M_0] 100\%$, 特定生长率 $S_{GR}(\%/d) = 100 [\ln(M_t) -$

$\ln(M_0)]/t$, 蛋白质效率 $P_{ER} = [(M_t - M_0)/(WP)] 100\%$, 成活率 $S_R = (C/T) 100\%$, 饵料系数 $F_{CR} = W/(M_t - M_0)$, 式中, M_0 为实验初始体重, M_t 为实验终末体重, t 为实验养殖天数, W 为摄食饲料总重, P 为饲料的蛋白含量, C 为成活尾数, T 为实验鱼总尾数。

1.4.2 基础饲料和肌肉营养成分 基础饲料和冷冻干燥后的肌肉样品于 105 °C 烘箱烘干至恒重后测定其水分含量。采用马弗炉 550 °C 高温灼烧法测定粗灰分含量, 粗蛋白质含量采用凯氏定氮法测定, 粗脂肪含量用氯仿-甲醇提取法测定。

1.4.3 消化酶和非特异性免疫酶活性 采用考马斯亮兰法测定组织蛋白含量, 消化酶和非特异性免疫酶活性的测定均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒, 实验操作和计算方法严格按照试剂盒的使用说明进行, 采用分光光度计进行数据检测。

1.5 数据处理和统计

所有数据均以平均值 ± 标准差 (Mean ± SD) 表示, 用 SPSS20 进行处理, 采用单因素方差分析 (One-Way ANOVA), Duncan 多重比较检验组间的差异性, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 饲料中添加菊粉对暗纹东方鲀幼鱼生长的影响

暗纹东方鲀幼鱼经过 8 周养殖后, 各组间的生长指标均无显著差异 ($P > 0.05$) (表 1)。暗纹东方鲀幼鱼的终末体重、相对增重率、特

表 1 菊粉对暗纹东方鲀幼鱼生长指标的影响

Table 1 Effect of Inulin on growth index of juvenile *Takifugu Obscures*

菊粉添加量 (%) Inulin dosage	终末体重 (g) Final weight	相对增重率 (%) Weight gain rate	特定生长率 (%/d) Specific growth rate	饵料系数 Feed conversion ratio	蛋白质效率 (%) Protein efficiency ratio	成活率 (%) Survival rate
0.00	36.97 ± 3.21	422.29 ± 45.35	2.95 ± 0.16	1.58 ± 0.12	30.36 ± 2.15	99.17 ± 1.44
0.25	37.60 ± 3.68	431.13 ± 51.92	2.98 ± 0.18	1.55 ± 0.13	30.92 ± 2.49	98.33 ± 1.44
0.50	38.51 ± 2.52	444.02 ± 35.53	3.02 ± 0.12	1.50 ± 0.06	31.91 ± 1.33	97.50 ± 4.33
1.00	36.03 ± 2.10	408.96 ± 29.71	2.90 ± 0.11	1.59 ± 0.06	30.03 ± 1.04	98.33 ± 1.44

定生长率以及蛋白质效率均随着菊粉添加量的增加而呈现先上升后下降的趋势，饵料系数和成活率则随着菊粉添加量的增加呈现先下降后上升的趋势。

2.2 饲料中添加菊粉对暗纹东方鲀幼鱼肌肉营养成分的影响

0.5%菊粉添加组的肌肉水分含量显著低于其余各组 ($P < 0.05$) (表 2); 0.25%和 1%菊粉添加组的肌肉灰分含量均显著低于 0%和 0.5%菊粉添加组 ($P < 0.05$), 且 1%菊粉添加组的肌肉灰分含量亦显著低于 0.25%菊粉添加组 ($P < 0.05$); 各组肌肉粗脂肪含量由高到低的顺序为 0.25% > 0% > 0.5% > 1%菊粉添加组, 0.5%和 1%菊粉添加组的肌肉粗脂肪含量均显著低于 0.25%菊粉组 ($P < 0.05$); 1%菊粉添加组的肌肉粗蛋白含量显著低于 0.25%菊粉

添加组 ($P < 0.05$) (表 2)。

2.3 饲料中添加菊粉对暗纹东方鲀幼鱼肠道组织消化酶活力的影响

养殖 8 周后, 暗纹东方鲀幼鱼肠道组织的 4 种消化酶活力随着菊粉添加量的增加而呈逐渐上升的趋势 (表 3)。各组之间的胰蛋白酶活性差异均达到极显著 ($P < 0.01$); 1%菊粉添加组胃蛋白酶活性显著高于对照组 (0%添加) ($P < 0.05$); 1%菊粉添加组脂肪酶活性和淀粉酶活性均显著高于其余各组 ($P < 0.05$), 且脂肪酶活性与其余各组差异达到极显著 ($P < 0.01$) (表 3)。

2.4 饲料中添加菊粉对暗纹东方鲀幼鱼肝组织非特异性免疫酶活力的影响

0.5%菊粉添加组的谷胱甘肽过氧化物酶和总超氧化物歧化酶活性均极显著高于其余各

表 2 菊粉对暗纹东方鲀幼鱼肌肉常规营养成分的影响 (以鲜重计, %)

Table 2 Effect of Inulin on nutrient ingredients in the muscle of juvenile *Takifugu obscurus* (in fresh weight, %)

菊粉添加量 Inulin dosage (%)	水分 Moisture	灰分 Ash	粗脂肪 Crude fat	粗蛋白 Crude protein
0.00	79.92 ± 0.04 ^b	1.21 ± 0.00 ^c	0.84 ± 0.03 ^{bc}	18.62 ± 0.07 ^{ab}
0.25	79.96 ± 0.00 ^b	1.15 ± 0.01 ^b	0.87 ± 0.02 ^c	18.75 ± 0.03 ^b
0.50	79.84 ± 0.05 ^a	1.20 ± 0.01 ^c	0.82 ± 0.01 ^b	18.60 ± 0.10 ^{ab}
1.00	79.98 ± 0.03 ^b	1.11 ± 0.01 ^a	0.76 ± 0.03 ^a	18.50 ± 0.04 ^a

同列中数据肩标不含相同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 含相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Data in the same column without the same lowercase letters showed significant difference ($P < 0.05$), and data with the same lowercase letters showed no significant difference ($P > 0.05$).

表 3 菊粉对暗纹东方鲀幼鱼肠道组织消化酶活力的影响

Table 3 Effect of Inulin on digestive enzyme activities in intestine of juvenile *Takifugu obscurus*

菊粉添加量 Inulin dosage (%)	胃蛋白酶 Pepsin (U/mg)	胰蛋白酶 Trypsin (U/mg)	脂肪酶 Lipase (U/g)	淀粉酶 Amylase (U/mg)
0.00	0.18 ± 0.06 ^a	244.65 ± 5.76 ^A	5.59 ± 2.77 ^A	0.01 ± 0.00 ^a
0.25	0.20 ± 0.03 ^{ab}	556.70 ± 26.75 ^B	7.02 ± 0.85 ^A	0.01 ± 0.00 ^a
0.50	0.25 ± 0.04 ^{ab}	949.53 ± 20.87 ^C	7.63 ± 0.92 ^A	0.01 ± 0.00 ^a
1.00	0.34 ± 0.13 ^b	1 058.31 ± 54.69 ^D	14.75 ± 6.50 ^B	0.02 ± 0.00 ^b

同列中数据肩标不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$), 肩标不含相同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 肩标含相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Data in the same column without the same capitals showed very significant difference ($P < 0.01$), data in the same column without the same lowercase letters showed significant difference ($P < 0.05$), and data with the same lowercase letters showed no significant difference ($P > 0.05$).

表 4 菊粉对暗纹东方鲀幼鱼肝组织非特异性免疫酶活力的影响

Table 4 Effect of Inulin on nonspecific immunity enzyme activities in the liver of juvenile *Takifugu obscurus*

菊粉添加量 (%) Inulin dosage	谷胱甘肽过氧化物酶 (U/mg) Glutathione peroxidase	过氧化氢酶 (U/mg) Catalase	总超氧化物歧化酶 (U/mg) Superoxide dismutase	丙二醛 (nmol/mg) Malondialdehyde
0.00	3.24 ± 1.18 ^A	30.19 ± 0.38 ^{BC}	282.63 ± 11.28 ^B	25.19 ± 6.57 ^B
0.25	3.41 ± 0.30 ^A	24.59 ± 4.02 ^B	287.91 ± 24.30 ^B	23.35 ± 3.94 ^B
0.50	5.34 ± 0.24 ^B	31.48 ± 1.44 ^C	338.77 ± 16.36 ^C	23.33 ± 2.41 ^B
1.00	2.48 ± 0.55 ^A	14.39 ± 1.60 ^A	164.17 ± 18.43 ^A	6.88 ± 1.59 ^A

同列中数据肩标不含相同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$), 含相同大写字母表示差异不极显著 ($P > 0.01$)。

Data in the same column without the same capitals showed very significant difference ($P < 0.01$), and data with the same capitals showed no significant difference ($P > 0.01$).

组 ($P < 0.01$) (表 4), 0.5%菊粉添加组的过氧化氢酶活性高于其余各组, 且与 0.25%和 1%菊粉添加组的过氧化氢酶活性差异极显著 ($P < 0.01$), 丙二醛含量随着菊粉添加量的增加而呈递减的趋势, 1%菊粉添加组的丙二醛极含量极显著低于其余各组 ($P < 0.01$) (表 4)。

3 讨论

3.1 菊粉对暗纹东方鲀幼鱼生长的影响

菊粉属于益生元, 是一种微生态调节剂, 它能够选择性地刺激肠内一种或多种有益菌的生长繁殖, 可以优化胃肠道微生物区系, 具有免疫调节的功能。这使得菊粉作为一种功能性饲料添加剂成为水产动物营养研究新动向 (Grizard et al. 1999, 吕耀平等 2005)。实验证明, 饲料中菊粉添加量在 0.1% ~ 1%之间, 刺参 (*Oplopanax elatus*) 的特定生长率随着菊粉添加量的增加而呈上升趋势 (梁超 2011)。在饲料中添加 5 g/kg 菊粉能显著提高尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 的特定生长率和成活率 (Mai et al. 2010)。研究发现, 饲料中添加 5 g/kg 和 10 g/kg 的菊粉, 南美白对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 的特定生长率高于添加 1.25 g/kg 组、2.5 g/kg 组和对照组, 但是无显著差异 (Luna-González et al. 2012)。在饲料中添加 0.2%和 2%的菊粉均能显著提高草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 的相对增重率和

特定增重率, 并显著降低饵料系数 (Mo et al. 2015)。本研究显示, 菊粉的添加未显著影响相对增重率、特定生长率和蛋白质效率, 但是菊粉的添加量为 0.5%时对上述指标均有一定的提高作用, 而且一定程度上降低了饵料系数。本实验中 1%菊粉添加组与 0.5%菊粉添加组相比, 其相对增重率、特定生长率和蛋白质效率都略有下降, 说明菊粉添加量并非越多越好, 添加过量的菊粉反而不利于动物的生长, 这与前人的研究结果相一致 (Vanhoof et al 1996, 魏轶男等 2013)。也有实验结果显示, 0.5%菊粉添加量比 1%更能提高凡纳滨对虾 (*L. vannamei*) 的相对增重率和特定生长率 (李晶晶 2016)。本研究表明, 饲料中添加适量的菊粉对暗纹东方鲀幼鱼的生长性能有一定的促进作用, 并且在本实验设计的菊粉添加浓度范围内, 以 0.5%的添加量为宜。但是关于菊粉对暗纹东方鲀生长性能影响的具体作用机理还有待进一步研究。

3.2 菊粉对暗纹东方鲀幼鱼肌肉营养成分的影响

鱼类肌肉营养成分含量的高低与其生存的环境、摄食的饵料以及生长的不同阶段都有密切的关系 (逯尚尉等 2010, 冯悦等 2018)。本研究发现, 当饲料中添加 0.25%、0.5%、1%的菊粉时, 暗纹东方鲀肌肉的粗脂肪和粗蛋白含量随着菊粉添加量的增加均呈下降趋势。研究

表明, 菊粉可以吸附肠腔内的胆汁酸, 阻止胆汁酸循环, 减少脂肪的吸收 (殷洪等 2008)。随着脂肪吸收量的降低, 使得肌肉脂肪含量也呈现下降趋势。0.5%菊粉添加组和 1%菊粉添加组的实验结果与其一致, 而 0.25%组的粗脂肪含量并没有降低, 反而高于对照组, 可能是由于 0.25%组的菊粉添加量比较低, 没有能阻止胆汁酸的循环、减少对脂肪的吸收导致, 具体原因还有待进一步研究。蛋白质是评价食品营养价值的重要指标之一 (华雪铭等 2005), 0.25%菊粉添加组的粗蛋白含量显著高于 1%菊粉添加组, 但与对照组和 0.5%菊粉添加组无显著差异。

3.3 菊粉对暗纹东方鲀幼鱼肠道组织消化酶活力的影响

鱼类消化酶活性是反映其基本的消化生理特征以及对营养成分利用能力的重要指标 (Fernández et al. 2001)。消化酶活性的提高有利于增强鱼类对饵料中营养物质的利用能力, 促进鱼类生长 (王爱民等 2010)。许多研究表明, 饲料成分的变化可以影响鱼类的消化酶活性 (刘小刚等 2002, 杨代勤等 2003)。菊粉并不会被胃和小肠消化吸收, 但却会被一些有益菌发酵降解, 能够调节肠道菌群, 具有益生菌的特点 (Roberfroid et al. 1998, Ghasemi et al. 2010)。本研究显示, 菊粉能提高暗纹东方鲀肠道的消化酶活性, 且菊粉添加量在 0%~1%之间, 其消化酶活性随着菊粉添加量的增加而递增。菊粉添加量在 0%~0.5%之间, 消化酶活性的变化趋势与暗纹东方鲀相对增重率、特定生长率以及蛋白质效率的趋势相吻合。

3.4 菊粉对暗纹东方鲀幼鱼肝组织非特异性免疫酶活力的影响

已有研究表明, 菊粉具有免疫增强作用, 可以促进肠道中有益菌的生长, 使其附殖在肠黏膜上, 从而形成一道免疫屏障 (Roberfroid et al. 1998, Ghasemi et al. 2010)。此外, 有害物质的减少和有益菌代谢产物的增多, 也有利

于增强机体的体液免疫和细胞免疫 (魏轶男等 2013)。有研究证明, 尼罗罗非鱼饲料中添加 5 g/kg 菊粉能提高红细胞比容、超氧化物歧化酶活性和溶菌酶活性 (Mai et al. 2010); 在饲料中添加 2.5 g/kg 和 5 g/kg 菊粉时, 能显著提高凡纳滨对虾的酚氧化酶活性 (Luna-González et al. 2012)。研究发现, 草鱼投喂添加菊粉的饲料 8 周后, 其血清杀菌活性和抗蛋白酶活性均高于投喂添加甘露寡糖饲料的草鱼组和对照组 (Mo et al. 2015)。

肝是鱼类能量代谢的中枢器官, 在蛋白质、脂肪和糖类的分解与合成代谢中起着非常重要的作用 (王爱民等 2010), 因此肝指标是评价鱼类健康情况的重要指标。谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶和过氧化氢酶都是肝内关键性的抗氧化酶, 也是评价水产动物抗氧化能力的重要指标 (Parihar et al. 1997, 施永海等 2014)。本实验中 0.5%菊粉添加组谷胱甘肽过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性均极显著高于其余处理组; 0.5%菊粉添加组的过氧化氢酶活性极显著高于 0.25%和 1%菊粉添加组。由此可见, 菊粉的添加对暗纹东方鲀的非特异性免疫有增强作用。1%菊粉添加组的谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性和过氧化氢酶活性均低于对照组和其他添加组, 说明暗纹东方鲀幼鱼基础饲料中菊粉的添加量并非越高越好, 菊粉添加量过高对暗纹东方鲀幼鱼非特异性免疫力的作用效果反而不佳, 这与前人的研究结果相一致 (王秀华等 2004)。丙二醛具有很强的生物毒性, 它是脂质过氧化物的主要分解产物, 主要通过损伤生物膜的结构, 改变膜的通透性, 影响机体生理生化反应, 进而反映机体细胞受自由基损伤的程度 (Del Maestro 1980, 向泉等 2018)。因此, 丙二醛含量可以作为衡量细胞受到胁迫严重程度的指标之一。本实验研究表明, 肝中丙二醛含量随着菊粉添加量的增加而呈递减趋势, 说明添加适量的菊粉能够减轻肝中自由基对暗纹东方鲀幼鱼的损伤。

参 考 文 献

- Del Maestro R F. 1980. An approach to free radicals in medicine and biology. *Acta Physiologica Scandinavica Supplement*, 492: 153–168.
- Fernández I, Moyano F J, Diaz M, et al. 2001. Characterization of α -amylase activity in five species of Mediterranean sparid fishes (*Sparidae*, *Teleostei*). *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 262(1): 1–12.
- Ghasemi H A, Shivazad M, Esmailnia K, et al. 2010. The effects of a synbiotic containing *Enterococcus faecium* and inulin on growth performance and resistance to coccidiosis in broiler chickens. *Journal of Poultry Science*, 47(2): 149–155.
- Grizard D, Barthomeuf C. 1999. Non-digestible oligosaccharides used as prebiotic agents: mode of production and beneficial effects on animal and human health. *Reproduction Nutrition Development*, 39(39): 563–588.
- Li Y, Liu H, Dai X L, et al. 2018. Effects of dietary inulin and mannan oligosaccharide on immune related genes expression and disease resistance of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 76(5): 78–92.
- Luna-González A, Almaraz-Salas J C, Fierro-Coronado J A, et al. 2012. The prebiotic inulin increases the phenoloxidase activity and reduces the prevalence of WSSV in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultured under laboratory conditions. *Aquaculture*, 362/363(5): 28–32.
- Mai D I, Fathi M, Mesalhy S, et al. 2010. Effect of dietary supplementation of inulin and vitamin C on the growth, hematology, innate immunity, and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*, 29(2): 241–246.
- Mo W Y, Cheng Z, Choi W M, et al. 2015. Use of food waste as fish feeds: effects of prebiotic fibers (inulin and mannanoligosaccharide) on growth and non-specific immunity of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Environmental Science & Pollution Research*, 22(22): 17663–17671.
- Parihar M S, Tarangini J, Taruna H, et al. 1997. Response of superoxide dismutase, glutathione peroxidase and reduced glutathione antioxidant defenses in gills of the freshwater catfish (*Heteropneustes fossilis*) to short-term elevated temperature. *Journal of Thermal Biology*, 22(3): 151–156.
- Roberfroid M B, Van Loo J A, Gibson G R. 1998. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *Journal of Nutrition*, 128(128): 11–19.
- Vanhoof K, Schrijver R D. 1996. Nitrogen metabolism in rats and pigs fed inulin. *Nutrition Research*, 16(6): 1035–1039.
- 冯悦, 黄仲园, 华雪铭, 等. 2018. 大型蚤的营养成分分析及其作为渔用饲料原料的潜在利用价值. *水产学报*, 42(4): 565–574.
- 华雪铭, 周洪琪, 张宇峰, 等. 2005. 饲料中添加壳聚糖和益生菌对暗纹东方纯幼鱼生长及部分消化酶活性的影响. *水生生物学学报*, 29(3): 299–305.
- 李晶晶. 2016. 益生元对凡纳滨对虾抗病性能影响及 Toll 样受体基因多态性影响研究. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文, 37–40.
- 梁超. 2011. 饲料中添加二甲酸钾、低聚木糖和菊粉对刺参的生长、免疫和抗灿烂弧菌感染能力的影响. 山东: 中国海洋大学硕士学位论文, 61–69.
- 刘宏. 2010. 菊粉的功能特性与开发应用. *中国食物与营养*, (12): 25–27.
- 刘小刚, 周洪琪, 华雪铭, 等. 2002. 微生态制剂对异育银鲫消化酶活性的影响. *水产学报*, 26(5): 448–452.
- 逮尚尉, 刘兆普, 余燕. 2010. 不同饵料对点带石斑鱼幼鱼生长、营养成分及组织消化酶活性的影响. *上海海洋大学学报*, 19(5): 648–653.
- 吕耀平, 李铁民. 2005. 益生元在水产品养殖中应用的研究进展. *饲料工业*, 26(16): 12–17.
- 施永海, 张根玉, 张海明, 等. 2014. 配合饲料和活饵料喂养刀鲚肌肉营养品质分析与比较. *动物营养学报*, 26(2): 427–436.
- 王爱民, 吕富, 杨文平, 等. 2010. 饲料脂肪水平对异育银鲫生长性能、体脂沉积、肌肉成分及消化酶活性的影响. *动物营养学报*, 22(3): 625–633.
- 王秀华, 宋晓玲, 文平, 等. 2004. 肽聚糖制剂对南美白对虾体液免疫因子的影响. *中国水产科学*, 11(1): 26–30.
- 魏凌云, 王建华, 郑晓冬, 等. 2005. 菊粉研究的回顾与展望. *食品与发酵工业*, 31(7): 81–85.
- 魏轶男, 黄倩倩, 吕亚军, 等. 2013. 菊粉对肉仔鸡生长性能、免疫器官指数及抗氧化指标的影响. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 41(11): 13–18.
- 向泉, 曾本和, 周兴华, 等. 2018. 不同脂肪条件下添加牛磺酸对鲤生长性能、体成分、肝脏生化指标及抗氧化能力的影响. *水产学报*, 42(12): 1927–1939.
- 杨代勤, 严安生, 陈芳, 等. 2003. 不同饲料对黄鳝消化酶活性的影响. *水产学报*, 27(6): 558–563.
- 殷洪, 林学进. 2008. 菊粉、低聚果糖的研究进展. *中国食品添加剂*, (3): 97–101.