

乳制品-酵母益生元对星斑川鲷幼鱼生长性能和抗氧化能力的影响

张德瑞^{1,2} 张利民^{2*} 王际英² 马晶晶² 李宝山² 姜柯君^{1,2}

(¹ 上海海洋大学水产与生命学院, 201306)

(² 山东省海洋水产研究所, 烟台 264006)

摘 要 选取平均初始体重为 15.05 ± 0.04 g 的星斑川鲷幼鱼 540 尾, 随机分成 6 组, 每组 3 个重复, 分别饲喂添加 0、0.4%、0.8%、1.2%、1.6% 和 2.0% 乳制品-酵母益生元的试验饲料, 实验期 56d。结果表明: 1) 饲料中添加乳制品-酵母益生元可显著提高星斑川鲷幼鱼的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)、摄食率(DFI)、蛋白质效率(PER)及肥满度(CF) ($P < 0.05$), 显著降低饲料系数(FCR) ($P < 0.05$), 但对星斑川鲷幼鱼的脏体比(VSI)、肝体比(HSI)无显著影响 ($P > 0.05$)。2) 饲料中添加乳制品-酵母益生元显著提高了星斑川鲷幼鱼血清过氧化氢酶(CAT)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)、抗超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)的活性和总抗氧化能力(T-AOC) ($P < 0.05$), 显著提高星斑川鲷幼鱼肝脏中总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性和总抗氧化能力(T-AOC) ($P < 0.05$), 同时显著降低了血清和肝脏中丙二醛(MDA)的含量 ($P < 0.05$)。本研究条件下, 饲料中添加乳制品-酵母益生元可提高星斑川鲷幼鱼的生长性能及抗氧化能力, 以特定生长率为评价指标, 二次回归分析得出星斑川鲷幼鱼饲料中乳制品-酵母益生元的适宜添加量为 1.32%。

关键词 星斑川鲷 乳制品-酵母益生元 生长性能 抗氧化能力

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)04-0034-09

Effect of dairy-yeast prebiotic on growth performance and antioxidant capability of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*

ZHANG De-rui^{1,2} ZHANG Li-min^{2*} WANG Ji-ying²

MA Jing-jing² LI Bao-shan² JIANG Ke-jun^{1,2}

(¹ College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, 201306)

(² Marine Fisheries Research Institute of Shandong Province, Yantai 264006)

ABSTRACT An 8-week feeding trial was conducted to study the effect of dairy-yeast prebiotic (Grobiotic-A) on the survival rate, growth performance and antioxidant capacity of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. A total of 540 fish at body weight of 15.05 ± 0.04 g were randomly allocated into six groups with three replicates and each replicate contained 30 fish.

国家海洋公益性行业科研专项(201205025)、山东省科技发展计划项目(2010GZX20506)、山东省财政支持农业重大应用技术创新课题(2009-2012)和山东省水生动物营养与饲料泰山学者岗位经费(HYK201004)共同资助

* 通讯作者。E-mail: ytzlm@139.com

收稿日期: 2012-08-20; 接受日期: 2012-10-10

作者简介: 张德瑞(1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事动物营养与饲料研究。E-mail: zhangdr1987@163.com, Tel: 15098671965

The fish were fed diets supplemented with 0, 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% dairy-yeast prebiotic, respectively. The results are shown as follows: 1) weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), feed intake (FI), protein efficiency rate (PER) and condition factor (CF) increased whereas feed conversion ratio (FCR) decreased significantly ($P < 0.05$) with the supplementation of dairy-yeast prebiotic in diets. However, there were no statistical differences in viscerosomatic index (VSI), hepatosomatic index (HSI) ($P > 0.05$); 2) compared with the control, the activity of catalase (CAT) and total anti-oxidation capability (T-AOC) in serum and liver, and superoxide dismutase (SOD) and anti-superoxide anion activities (T-AOC) in serum were significantly increased ($P < 0.05$), while the malondialdehyde (MDA) content in serum and liver of fish fed diets supplemented with dairy-yeast prebiotic was significantly decreased ($P < 0.05$). These results indicated that dairy-yeast prebiotic positively influenced the growth performance and anti-oxidation of juvenile starry flounder in this experiment. Quadratic regression of SGR indicated that the optimal supplementation level of dairy-yeast prebiotic in juvenile starry flounder diet was 1.32%.

KEY WORDS Starry flounder *Platichthys stellatus* Dairy-yeast prebiotic
Growth performance Antioxidant capability

近年来,随着水产养殖集约化程度不断提高,养殖环境不断恶化,大大降低了水产动物抵抗应激和病原菌的能力,寻求抗生素替代品,研究开发绿色环保饲料添加剂成为动物营养与饲料学的研究热点。Gatlin(2002)指出,配合饲料应当不仅为水产动物提供生长发育所必需的营养,更应当成为影响其健康和抗病能力的有效途径。益生菌和益生元作为抗生素的替代物,因其安全性和有效性,已经在异育银鲫(陈勇等 2011)、牙鲆(李富东等 2010)、西伯利亚鲟幼鱼(高欣等 2010)、凡纳滨对虾(许丹丹等 2011)、齐口裂腹鱼(张辽等 2009)、奥尼罗非鱼(张荣斌等 2011)等进行了广泛的研究。益生菌是一种活的微生物添加剂,活性易受饲料加工工艺(如加热、挤压等)影响,从而限制了其在实际中的应用。益生元是一种通过选择性刺激肠道中一种或几种有益微生物的生长与活性,从而对宿主产生有利作用的非可消化性成分,最早由 Gibson 和 Roberfroid 于 1995 年发现并命名。益生元包括很多寡糖,例如低聚果糖(FOS)、菊粉(Inulin)、甘露寡糖(MOS)、低聚半乳糖(GOS)和葡聚糖(β -glucan)(Xu *et al.* 2009)等。乳制品-酵母益生元(Grobiotic-A)由部分自溶的啤酒酵母、乳制品浓缩料和干燥后的发酵产物组成,含有 35.2%的粗蛋白、1.7%的粗脂肪以及约 53%的单糖和多糖(含低聚糖),有效成分为寡糖、核苷酸和免疫刺激剂。目前,国外已经在杂交条纹鲈(Li *et al.* 2004、2005)、红鼓鱼(Gary *et al.* 2009)、里海白鱼(Mehdi *et al.* 2012)等水产动物上展开了关于乳制品-酵母益生元的研究,但国内才刚刚起步(王赤龙 2011)。

星斑川鲷 *Platichthys stellatus* 隶属鲷形目、鲷科、星鲷属,营养价值高、口感好、富含胶原蛋白、多种不饱和脂肪酸、矿物质元素等,经济价值高,被认为是继牙鲆、大菱鲆以后最有希望的养殖海水鱼类之一。然而,目前国内外关于星斑川鲷饲料与营养学方面的研究主要集中在蛋白(丁立云等 2010)、脂肪(Ding *et al.* 2010)、维生素(帅继祥等 2011)、矿物质(崔立娇等 2011)等基本营养需求及新型蛋白源(段培昌等 2009)开发等方面,而有关功能性饲料添加剂的研究尚未见报道。因此本研究以星斑川鲷幼鱼为研究对象,通过在饲料中添加不同水平的乳制品-酵母益生元,研究其对星斑川鲷幼鱼生长性能和抗氧化能力的影响,以期乳制品-酵母益生元在星斑川鲷配合饲料中的应用提供科学依据,为研制开发鲷鲷类无公害环保配合饲料提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验饲料以鱼粉和酪蛋白作为主要蛋白源,鱼油为脂肪源,配制蛋白含量为50%、脂肪含量为12%左右的基础饲料,在基础饲料中分别添加0、0.4%、0.8%、1.2%、1.6%和2%的乳制品-酵母益生元(International Ingredient Corporation 提供)配制成6组等氮等能的试验饲料。原料分析营养成分后,粉碎过80目筛,按配比称量后加一定量的新鲜鱼油及适量水均匀混合,经螺旋挤压机加工成粒径2mm的颗粒配合饲料,阴凉处风干,保存于-20℃的冰箱中备用。各组饲料配方及营养组成见表1。

表1 试验饲料配方及营养组成

Table 1 Formulation and nutrient compositions of the experimental diets

原料 Ingredient	乳制品-酵母益生元添加水平 Dairy-yeast prebiotic supplementation level (%)					
	0	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00
鱼粉 Fish meal	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00
酪蛋白 Casein	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
花生粕 Peanut meal	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
乌贼内脏粉 Squid visceral meal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
鱼油 Fish oil	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
α-淀粉 α-Starch	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
谷朊粉 Wheat gluten	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
矿物质预混料 ^a Mineral mixture ^a	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素预混料 ^b Vitamin mixture ^b	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	8.44	8.04	7.64	7.24	6.84	6.44
乳制品-酵母益生元 Grobiotic-a	0.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00
黏合剂 Binder	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱(50%) Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
抗氧化剂 Antioxidant	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养组成 Nutrient composition (% dm)						
粗蛋白 Crude protein	51.27	52.03	51.58	51.68	51.85	51.93
粗脂肪 Crude lipid	10.13	9.77	10.21	10.20	9.94	10.04
灰分 Ash	9.67	9.88	9.79	9.96	9.96	10.08
总能 Gross energy (kJ/g)	20.68	20.77	21.07	20.65	20.72	20.60
蛋能比 Protein/energy ratio (mg/kJ)	24.68	25.05	24.48	25.02	25.02	25.21

注:a. 矿物质预混料 Mineral mixture (mg/kg diet): $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 3 568.0 mg; $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$, 25 568.0 mg; KCl, 3 020.5 mg; $KAl(SO_4)_2$, 8.3 mg; $CoCl_2$, 28.0 mg; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 353.0 mg; Calactate, 15 968.0 mg; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 9.0 mg; KI, 7.0 mg; $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, 63.1 mg; Na_2SeO_3 , 1.5 mg; $C_6H_5O_7Fe \cdot 5H_2O$, 1 533.0 mg; NaCl, 100.0 mg; NaF, 4.0 mg

b. 维生素预混料(mg/kg 饲料): 维生素 A, 38.0 mg; 维生素 D, 13.2 mg; α-生育酚, 210.0 mg; 硫胺素, 115.0 mg; 核黄素, 380.0 mg; 盐酸吡哆醇, 88.0 mg; 泛酸, 368.0 mg; 烟酸, 1030.0 mg; 生物素, 10.0 mg; 叶酸, 20.0 mg; 维生素 B₁₂, 1.3 mg; 肌醇, 4000.0 mg; 抗坏血酸, 500.0 mg

b. Vitamin mixture (mg/kg diet): Retinol acetate, 38.0 mg; Cholecalciferol, 13.2 mg; alpha-Tocopherol, 210.0 mg; Thiamin, 115.0 mg; Riboflavin, 380.0 mg; Pyridoxine HCl, 88.0 mg; Pantothenic acid, 368.0 mg; Niacin acid, 1030.0 mg; Biotin, 10.0 mg; Folic acid, 20.0 mg; Vitamin B₁₂, 1.3 mg; Inositol, 4 000.0 mg; Ascorbic acid, 500.0 mg

1.2 试验用鱼与饲养管理

试验用鱼购自荣成港西水产养殖场,选用同一批次鱼种,大小均匀、健康无病。养殖试验在山东省海洋水产研究所全封闭水循环系统中进行。正式试验前,星斑川鲷在养殖系统中驯养 14 d,期间投喂基础组饲料,驯养结束后挑选平均初始体重为 15.05 ± 0.04 g 的星斑川鲷幼鱼,随机分为 6 组,每组设 3 个重复,每个重复 30 尾鱼,分别放养于绿色圆柱形养殖桶中(高 80 cm,直径 70 cm),控制水深 50 cm 左右,保持水流速为 2 L/min 左右,正式试验时间为 2011 年 11 月 11 日~2012 年 1 月 6 日,共计 56 d。养殖过程控制水温在 19.0 ± 1.0 °C, pH 7.8~8.2,盐度 28~30,保证溶氧 >6 mg/L,氨氮、亚硝酸氮均 <0.1 mg/L。每天饱食投喂两次(08:00, 17:00),根据鱼体质量及摄食情况及时调整投喂量。投喂 30 min 后,从系统自带的排水口将残饵排出,数颗粒,计算残饵量。

1.3 采样与处理

养殖试验结束后,禁食 24 h,称鱼体总重,计算增重率。试验鱼于取样前麻醉(MS222, 100 mg/kg),随机从每桶中取 9 尾鱼尾静脉采血。血液静置 2 h 待其凝固后,4 000 r/min 离心 15 min,取上清液放于 -70 °C 冰箱中保存,用于血液生化指标的测定。采血后分离内脏、肝脏,称重,计算肝体比、脏体比。整个操作在冰盘中进行,采样完毕,将样品放入 -70 °C 的超低温冰箱保存,待测。

肝脏样品制备:准确称取 0.5 g 星斑川鲷幼鱼肝脏样品于灭菌的 10 ml 离心管中,加 9.5 ml 预冷灭菌的生理盐水,然后用自动匀浆器于冰上匀浆,得 5% 组织匀浆液。将 5% 组织匀浆液于 4 °C 8 000 r/min 离心 20 min,取上清液,保存于 4 °C 冰箱,所有肝脏实验均于 24 h 内完成。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 生长性能

$$\text{增重率(WGR, \%)} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100;$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) / d \times 100;$$

$$\text{摄食率(DFI, \% / d)} = F / [(W_0 + W_t) / 2 \times d] \times 100;$$

$$\text{饲料系数(FCR)} = F / (W_t - W_0);$$

$$\text{蛋白质效率(PER, \%)} = (W_t - W_0) / (F \times P) \times 100;$$

$$\text{肝体比(HSI, \%)} = W_h / W_t \times 100;$$

$$\text{脏体比(VSI, \%)} = W_v / W_t \times 100;$$

$$\text{肥满度(CF, \%)} = W_t / L^3 \times 100;$$

$$\text{成活率(SR, \%)} = N_t / N_0 \times 100;$$

式中, W_0 为试验初鱼体重量(g), W_t 为试验终鱼体重量(g), W_h 为肝脏质量, W_v 为内脏质量, F 为摄食干饲料重(g), d 为养殖天数, P 为饲料中粗蛋白质的含量, L 为试验终鱼体长, N_0 为试验开始时鱼体总尾数; N_t 为试验结束时鱼体总尾数。

1.4.2 常规成分

饲料常规成分分析均采用 AOAC(2000)方法。其中水分的测定为 105 °C 烘干恒重法;粗蛋白采用 FOSS 定氮仪(Kjeltec™ 2100)测定;粗脂肪采用索氏抽提器进行测定;灰分在马福炉中 550 °C 灼烧 3 h,失重法测定。能量采用氧弹仪(PARR 6100)测定。

1.4.3 抗氧化指标

过氧化氢酶(CAT)采用可见光分光光度法测定,总超氧化物歧化酶(T-SOD)采用羟胺法测定,丙二醛(MDA)采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定,总抗氧化能力(T-AOC)采用化学比色法,抗超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)活性采用邻苯三酚自氧化法测定,以上抗氧化指标均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定。

1.5 数据统计分析

采用 SPSS 13.0 软件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 检验进行多重比较分析。统计数据以平均值 \pm 标准差 (Means \pm SD) 形式表示。特定生长率与饲料乳制品-酵母益生元水平之间的关系采用二次回归分析法。

2 结果与分析

2.1 乳制品-酵母益生元对星斑川鲷幼鱼生长性能的影响

星斑川鲷幼鱼在试验期内的增重率 (WGR)、特定生长率 (SGR)、肥满度 (CF)、脏体比 (VSI)、饲料系数 (FCR) 等指标均能反映出鱼体生长性能的优劣。由表 2 可以看出, 随着饲料中乳制品-酵母益生元水平的提高, 星斑川鲷幼鱼的增重率 (WGR) 和特定生长率 (SGR) 与对照组相比显著提高, 1.2% 和 1.6% 添加组的增重率 (WG) 与基础组相比分别提高了 25.62% 和 34.79% ($P < 0.05$), 特定生长率 (SGR) 则分别提高了 16.56% 和 21.98% ($P < 0.05$), 与 0.4%、0.8% 和 2.0% 组相比没有显著差异 ($P > 0.05$)。星斑川鲷幼鱼的摄食率 (DFI) 随着饲料中乳制品-酵母益生元水平的升高呈上升趋势, 2% 添加组的摄食率显著高于基础组、0.4%、0.8% 和 1.2% 组 ($P < 0.05$), 但与 1.6% 组之间没有显著差异 ($P > 0.05$)。饲料系数 (FCR) 随着饲料中乳制品-酵母益生元添加水平的升高呈先降低后升高的趋势, 其中 0.4%、0.8%、1.2% 和 1.6% 显著低于基础组 ($P < 0.05$), 其他各组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。蛋白质效率随着饲料乳制品-酵母益生元添加水平的升高呈先上升后下降的趋势, 其中 1.6% 组显著高于基础组, 提高了 33% ($P < 0.05$), 其他各组无显著差异 ($P > 0.05$)。星斑川鲷幼鱼的肥满度随着饲料乳制品-酵母益生元水平的升高呈先上升后平稳的趋势, 0.8%、1.2%、1.6% 和 2.0% 组肥满度显著高于基础组和 0.4% 组。星斑川鲷幼鱼的脏体比、肝体比均不受饲料中乳制品-酵母益生元水平的影响, 各组之间均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料中乳制品-酵母益生元水平对星斑川鲷幼鱼生长性能和饲料利用效果的影响

Table 2 Effects of dietary dairy-yeast prebiotic levels on growth performance and feed utilization of juvenile *P. stellatus*

项目 Items	饲料乳制品-酵母益生元水平 Dietary dairy-yeast prebiotic level					
	0	0.40%	0.80%	1.20%	1.60%	2.00%
初体重 IBW(g)	15.05 \pm 0.03	15.04 \pm 0.01	15.06 \pm 0.04	15.07 \pm 0.01	15.03 \pm 0.01	15.03 \pm 0.01
末体重 FBW(g)	33.50 \pm 1.03 ^a	35.81 \pm 1.24 ^{ab}	36.50 \pm 1.95 ^{ab}	38.36 \pm 2.23 ^b	39.88 \pm 2.24 ^b	36.07 \pm 2.60 ^{ab}
增重率 WG(%)	122.63 \pm 6.68 ^a	138.09 \pm 8.55 ^{ab}	142.33 \pm 11.86 ^{ab}	154.06 \pm 14.36 ^b	165.30 \pm 14.92 ^b	140.00 \pm 17.42 ^{ab}
特定生长率 SGR(%/d)	1.48 \pm 0.05 ^a	1.61 \pm 0.06 ^{ab}	1.63 \pm 0.09 ^{ab}	1.72 \pm 0.10 ^b	1.80 \pm 0.10 ^b	1.62 \pm 0.13 ^{ab}
食率 DFI(%/d)	1.13 \pm 0.04 ^a	1.14 \pm 0.02 ^a	1.14 \pm 0.03 ^a	1.15 \pm 0.03 ^a	1.20 \pm 0.01 ^{ab}	1.24 \pm 0.05 ^b
饲料系数 FCR	0.86 \pm 0.07 ^b	0.75 \pm 0.01 ^a	0.76 \pm 0.03 ^a	0.75 \pm 0.03 ^a	0.71 \pm 0.03 ^a	0.78 \pm 0.04 ^{ab}
蛋白质效率 PER(%)	2.26 \pm 0.20 ^a	2.55 \pm 0.01 ^{ab}	2.56 \pm 0.11 ^{ab}	2.57 \pm 0.12 ^{ab}	2.68 \pm 0.11 ^b	2.46 \pm 0.14 ^{ab}
肥满度 CF(%)	2.45 \pm 0.08 ^a	2.41 \pm 0.21 ^a	2.72 \pm 0.11 ^b	2.72 \pm 0.07 ^b	2.81 \pm 0.11 ^b	2.73 \pm 0.05 ^b
脏体比 VSI(%)	5.4 \pm 0.48	5.31 \pm 0.49	5.34 \pm 0.16	5.06 \pm 0.58	5.84 \pm 0.11	5.42 \pm 0.22
肝体比 HIS(%)	2.69 \pm 0.26	2.63 \pm 0.21	2.52 \pm 0.15	2.53 \pm 0.23	2.83 \pm 0.03	2.63 \pm 0.12
存活率 SR(%)	100	98.89 \pm 1.92	97.78 \pm 1.92	97.78 \pm 1.92	97.78 \pm 3.84	100

注: 表中数据以平均值 \pm 标准差表示 ($n=3$), 同行数值后不同上标英文字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: Values (Means \pm S. D.) ($n=3$) in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

以饲料中乳制品-酵母益生元水平为自变量 (X), 特定生长率为因变量 (Y) 作二次回归分析, 得到曲线回归方程 $Y = -0.152 1X^2 + 0.402 1X + 1.466 7, R^2 = 0.801 2$, 如图 1。由曲线可以得出, 当饲料中乳制品-酵母

益生元水平为 1.32% 时,星斑川鲷幼鱼获得最大特定生长率。因此,在本研究条件下,初始体重为 15.05 ± 0.04g 的星斑川鲷幼鱼获得最佳生长效果时饲料中乳制品-酵母益生菌的最适添加量为 1.32%。

2.2 乳制品-酵母益生菌对星斑川鲷幼鱼血清抗氧化能力的影响

乳制品-酵母益生菌对星斑川鲷幼鱼血清抗氧化能力的影响见表 3。由表 3 可知,在星斑川鲷幼鱼的配合饲料中添加乳制品-酵母益生菌能显著影响其血清抗氧化指标。1.2%、1.6% 和 2.0% 组星斑川鲷幼鱼血清中过氧化氢酶(CAT)活性要显著高于基础组、0.4% 和 0.8% 组 ($P < 0.05$)。随着配合饲料中乳制品-酵母益生菌的水平提高,星斑川鲷幼鱼血清中总超氧化物歧化酶(T-SOD)的活性呈上升趋势,并在 1.6% 组达到最大值,1.6% 和 2.0% 组与基础组和 0.4% 组相比活性显著提高 ($P < 0.05$),其他各组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。星斑川鲷幼鱼血清中丙二醛(MDA)含量随着饲料中乳制品-酵母益生菌水平的升高逐渐降低,其中基础组的含量要显著高于 1.2%、1.6% 和 2.0% 组 ($P < 0.05$),同时 0.4% 组要显著高于 2.0% 组 ($P < 0.05$),其他各组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。星斑川鲷幼鱼血清中抗超氧阴离子自由基活性($O^{2\cdot}$)与总抗氧化能力(T-AOC)均随着饲料中乳制品-酵母益生菌水平的升高呈上升趋势。2% 组的抗超氧阴离子活力同基础组相比显著升高 ($P < 0.05$),其他各组之间无显著差异 ($P > 0.05$); 2% 组的总抗氧化能力要显著高于基础组、0.4%、0.8% 和 1.2%,分别提高了 54.35%、48.80%、38.16% 和 33.89% ($P < 0.05$),相对于 1.6% 组提高了 13.59%,但两组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

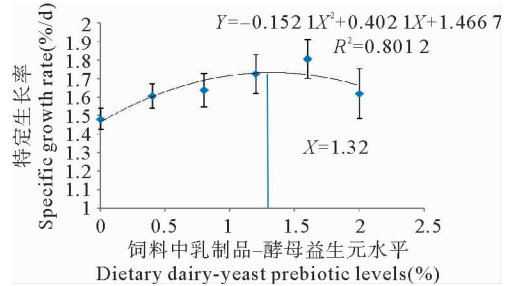


图 1 乳制品-酵母益生菌对星斑川鲷幼鱼特定生长率的影响

Fig. 1 Effect of dietary GroBiotic-A levels on special growth rate (SCR) of juvenile *P. stellatus*

表 3 饲料乳制品-酵母益生菌水平对星斑川鲷幼鱼血清抗氧化能力的影响

Table 3 Effect of dietary dairy-yeast probiotic level on antioxidant capacity in serum of juvenile *P. stellatus*

项目 Items	饲料乳制品-酵母益生菌水平 Dietary dairy-yeast probiotic level					
	0	0.40%	0.80%	1.20%	1.60%	2.00%
过氧化氢酶 CAT(U/ml)	0.81 ± 0.19 ^a	0.86 ± 0.31 ^a	0.87 ± 0.14 ^a	1.70 ± 0.06 ^b	1.40 ± 0.47 ^b	1.69 ± 0.03 ^b
总超氧化物歧化酶 T-SOD(U/ml)	88.37 ± 2.71 ^a	89.03 ± 3.77 ^a	93.57 ± 3.05 ^{ab}	93.94 ± 4.77 ^{ab}	96.14 ± 1.96 ^b	95.51 ± 5.1 ^b
丙二醛 MDA (nmol/ml)	65.20 ± 6.97 ^c	55.28 ± 6.8 ^{bc}	45.78 ± 2.06 ^{abc}	33.56 ± 4.87 ^{ab}	29.53 ± 3.96 ^{ab}	24.18 ± 1.81 ^a
抗超氧阴离子自由基活性 $O^{2\cdot}$ (U/L)	170.73 ± 1.47 ^a	172.36 ± 0.81 ^{ab}	179.74 ± 3.25 ^{ab}	175.88 ± 14.7 ^{ab}	182.79 ± 1.64 ^{ab}	188.48 ± 10.55 ^b
总抗氧化能力 T-AOC (U/ml)	5.63 ± 0.40 ^a	5.84 ± 0.71 ^a	6.29 ± 0.48 ^a	6.49 ± 0.55 ^a	7.65 ± 0.61 ^{ab}	8.69 ± 0.72 ^b

注:表中数据以平均值±标准差表示(n=3),同行数值后不同上标英文字母表示差异显著($P < 0.05$)

Notes: Values (Means ± S. D.) (n=3) in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

2.3 乳制品-酵母益生菌对星斑川鲷幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

乳制品-酵母益生菌对星斑川鲷幼鱼肝脏抗氧化能力的影响见表 4。表 4 数据显示,在配合饲料中添加乳

制品-酵母益生元能显著影响星斑川鲷幼鱼肝脏的抗氧化能力。随着配合饲料中乳制品-酵母益生元水平的增加,星斑川鲷幼鱼肝脏中 CAT 活力呈上升趋势,但各组之间没有显著差异。1.2%和 1.6%组的 T-SOD 活力要显著高于基础组,其他各组之间差异不显著。T-AOC 随乳制品-酵母益生元水平的升高呈上升趋势,在 2%组达到最高,2%组与基础组、0.4%和 0.8%组相比显著提高了星斑川鲷幼鱼肝脏的总抗氧化能力,分别提高了 40.27%、36.48%和 32.89% ($P < 0.05$),与 1.2%相比提高了 20.23%,但两组间无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 4 饲料乳制品-酵母益生元水平对星斑川鲷幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

Table 4 Effect of dietary dairy-yeast prebiotics levels on antioxidant capacity in liver of juvenile *P. stellatus*

项目 Items	饲料乳制品-酵母益生元水平 Dietary dairy-yeast prebiotics level					
	0	0.40%	0.80%	1.20%	1.60%	2.00%
过氧化氢酶 CAT(U/mg prot)	3.59±0.17	3.77±0.56	5.64±1.64	5.11±1.14	5.84±2.89	5.27±1.35
总超氧化物歧化酶 T-SOD (U/mg prot)	86.26±15.71 ^a	92.44±7.78 ^{ab}	108.71±10.29 ^{ab}	111.50±14.34 ^b	110.21±5.79 ^b	103.49±8.85 ^{ab}
丙二醛 MDA (nmol/mg prot)	3.99±0.41 ^c	3.84±0.61 ^{bc}	3.41±0.41 ^{abc}	3.22±0.27 ^{ab}	3.00±0.32 ^a	3.19±0.08 ^{ab}
总抗氧化能力 T-AOC (U/mg prot)	0.72±0.03 ^a	0.74±0.10 ^a	0.76±0.03 ^a	0.84±0.11 ^{ab}	0.99±0.08 ^b	1.01±0.03 ^b

注:表中数据以平均值±标准差表示($n=3$),同行数值后不同上标英文字母表示差异显著($P < 0.05$)

Notes: Values (Means±S. D.) ($n=3$) in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

3 讨论

本研究中,饲料中乳制品-酵母益生元($\geq 1.2\%$)显著提高了星斑川鲷幼鱼的增重率和特定生长率($P < 0.05$),在 0.4%~1.6%的范围内显著降低了饲料系数($P < 0.05$),并且当乳制品-酵母益生元水平达到 0.8%后,显著提高了星斑川鲷幼鱼的肥满度($P < 0.05$)。Li 等(2004、2005)对杂交条纹鲈的研究发现,在 49 d 的实验中,添加 1%和 2%乳制品-酵母益生元均显著提高了其饲料效率;添加 2%的乳制品-酵母益生元可使 84 d 时增重率显著高于对照组。王赤龙等(2011)在饲料中添加 2%的乳制品-酵母益生元后,西伯利亚鲟鱼饲料系数显著低于对照组。Zheng 等(2011)研究发现,在低蛋白(29%)饲料中添加乳制品-酵母益生元能显著提高尼罗罗非鱼的生长性能,且当添加水平适宜时可使鱼体生长性能接近高蛋白(33%)饲料组。乳制品-酵母益生元(Grobiotic-A)含有约 53%的寡糖,包含 MOS、GOS 和 β -glucan 等。研究表明,寡糖不能被动物消化吸收,也不能被动物肠道中的有害菌群(如大肠杆菌属、嗜水气单胞菌属)利用,但有益菌群(如双歧杆菌属、乳酸杆菌属)能够分泌一些酶类,把寡糖的 β -1,2-、 β -1,3-、 β -1,4-、 β -1,6 糖苷键打开,利用寡糖作为能源和碳源,寡糖的这种作用使肠道有益菌形成竞争优势,而有益菌群及其代谢产物能够促进动物消化酶分泌、增强酶活性,提高蛋白质的消化率和消化量,最终达到提高养殖动物生长性能的目的(郝林华等 2007)。

从本研究结果还可看到,随着饲料中乳制品-酵母益生元水平的提高,星斑川鲷幼鱼摄食率呈上升趋势,并且 2%组要显著高于基础组、0.4%、0.8%和 1.2%组,除了益生元使其生长性能提高进而引起的摄食增加外,还可能是因为乳制品-酵母益生元中的乳成分具有一定的诱食作用。乳制品中的脂肪可以酵解生成系列脂肪酸,包括丁酸、己酸、辛酸和壬酸等(黄次桢等 2004)。研究表明,脂肪酸具有一定的诱食作用,陈昌福等(1989)报道,用水溶性低级脂肪酸对日本鳗鲡等进行味觉刺激,发现鳗鲡有一定的嗅觉反应和强烈的味觉反应,张海明等(2003)研究发现乙酸、壬酸、戊酸、己酸和月桂酸对鳖均具有明显的诱食作用。此外,本研究中,2%组的增重率、特定生长率及摄食率虽然显著高于对照组,但是与 1.6%组相比略有下降,这可能是由于 2%组中寡糖含量过高所致。研究表明,寡糖的添加量过高,会引起肠道中微生物的过度发酵,使动物发生轻微腹泻,影响对养分的吸收与利用,从而抑制动物生长(Kim *et al.* 1994)。因此,在饲料中添加适量的乳制品-酵

母益生元能够提高星斑川鲮幼鱼的生长性能和饲料利用状况。

鱼体生命活动中会不断地产生各种自由基,在正常情况下,鱼体内自由基的产生和清除基本处于动态平衡状态,鱼体通过氧化与抗氧化系统来保护自身不受自由基的氧化损伤。但当鱼体处于病态、应激和衰老等状态时,体内抗氧化酶活力下降,自由基不能被及时清除,会使自由基浓度过高,自由基与细胞内各种生物大分子起反应,导致DNA、蛋白质的伤害和脂质的过氧化,并产生脂质过氧化物,包括MDA、酮基及羟基等,使机体出现氧化损伤和疾病。王赤龙等(2011)在西伯利亚鲟鱼饲料中添加乳制品-酵母益生元后,提高了其血清中抗超氧阴离子自由基的活性。刘爱君等(2009)研究发现在奥尼罗非鱼饲料中添加0.25%、0.50%、0.75%的甘露寡糖均能提高其血清T-SOD的活性。Kim等(2009)给草鱼注射葡聚糖后15d后发现其红细胞中CAT和T-SOD的活性要高于对照组。与前人研究结果相似,本研究结果显示,饲料中添加乳制品-酵母益生元可通过提高血清和肝脏中的相关抗氧化物的活性或含量来增强星斑川鲮幼鱼机体的抗氧化能力,具体表现为星斑川鲮幼鱼血清和肝脏中CAT、T-SOD、T-AOC、抗超氧阴离子活性均随饲料中乳制品-酵母益生元水平的升高而升高,且到达一定程度后显著高于对照组;1.2%、1.6%和2.0%组血清和肝脏中MDA含量与对照组相比显著降低。星斑川鲮幼鱼抗氧化性能的提高,与乳制品-酵母益生元中的寡糖有关,研究表明,寡糖调节机体的抗氧化性能主要通过以下途径实现:1)直接抑制羟自由基、超氧阴离子自由基和脂质过氧化物的活性(Wang *et al.* 2004; 李伟忠 2003); 2)通过促进某些营养元素(如锌和硒)的吸收调节与自由基相关的酶类(Shao *et al.* 2000; 胡天喜等 1998); 3)直接螯合催化自由基链式反应发生的金属离子,抑制自由基链式反应的发生(Chen *et al.* 2003)。因此,饲料中添加适量乳制品-酵母益生元可以提高星斑川鲮幼鱼的抗氧化能力,减轻自由基对机体的损伤,减少星斑川鲮养殖过程中病害的发生。

4 结论

饲料中添加适量乳制品-酵母益生元可以促进星斑川鲮幼鱼的生长,提高饲料利用率。饲料中添加适量乳制品-酵母益生元可以提高星斑川鲮幼鱼的抗氧化能力,减轻自由基对机体的损伤。本实验条件下,以特定生长率为评价指标,初始体重为 15.05 ± 0.04 g星斑川鲮幼鱼中乳制品-酵母益生元的适宜添加量为1.32%。

参 考 文 献

- 丁立云, 张利民, 王际英, 孙丽慧, 帅继祥, 崔立娇, 孙永智. 2010. 饲料蛋白水平对星斑川鲮幼鱼生长、体组成及血浆生化指标的影响. 中国水产科学, 17(6): 1285-1292
- 王赤龙. 2011. 乳源性益生元百泰®-A对西伯利亚的鲟(*Acipenser baerii* Brandt)生长、消化及免疫功能的影响. 见:中国农业科学院硕士研究生学位论文
- 帅继祥, 张利民, 王际英, 崔立娇, 冯德智, 蒋锦坤, 张德瑞, 孙永智. 2011. 星斑川鲮幼鱼胆碱需求量的研究. 水生生物学报, 35(2): 365-371
- 刘爱君. 2009. 几种添加剂对奥尼罗非鱼生长、肠道结构功能和血清非特异性免疫的影响. 见:上海海洋大学硕士研究生学位论文
- 许丹丹, 曹俊明, 黄燕华, 李雅琪, 蓝汉冰, 陈冰, 陈晓瑛, 严晶, 张荣斌. 2011. 饲料中添加核苷酸对凡纳滨对虾幼虾生长、肠道形态及抗氧化酶活力的影响. 中国水产科学, 18(5): 1115-1124
- 孙丽慧, 张利民, 王际英, 李宝山, 丁立云, 崔立娇, 帅继祥. 2011. 不同饲料对星斑川鲮幼鱼生长和养殖水环境的影响. 大连海洋大学学报, 26(6): 544-549
- 李伟忠. 2003. 合生素对肉仔鸡作用的研究. 见:东北农业大学硕士研究生学位论文
- 李富东. 2010. 果寡糖、甘露寡糖和芽孢杆菌对牙鲆免疫功能和肠道微生态的影响. 集美大学硕士研究生学位论文
- 张辽, 温安祥. 2009. β -葡聚糖对齐口裂腹鱼生长及免疫功能的影响. 动物营养学报, 21(5): 688-694
- 张荣斌, 曹俊明, 黄燕华, 王国霞, 陈晓瑛, 严晶, 周婷婷, 孙智武. 2011. 饲料中添加低聚木糖对奥尼罗非鱼生长性能和血清生化指标的影响. 动物营养学报, 23(11): 2000-2008
- 张海明, 林可椒. 2003. 单核苷酸等纯化学制剂对鳖的诱食效果. 淡水渔业, 33(6): 20-22
- 陈昌福, 许弟新. 1989. 浅述鱼类的摄饵促进物质. 淡水渔业, 05: 44-46
- 陈勇, 周洪琪. 2011. 益生菌对异育银鲫生长和饲料消化率及RNA/DNA的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 37(3): 302-305
- 郝林华, 孙丕喜, 石红旗, 陈靠山. 2007. 牛蒡寡糖对大菱鲂生长和免疫机能的影响. 海洋科学进展, 25(2): 208-214
- 胡天喜, 陈季武, 李尘珠. 1998. 用化学发光法检测丹参、红藤、当归、黄芪等中药制剂的抗自由基作用. 09: 30-32

- 段培昌, 张利民, 王际英, 孟宪菊, 丁立云, 孙永智. 2009. 新型蛋白源替代鱼粉对星斑川鲷幼鱼生长、体成分和血液学指标的影响. 水产学报, 33(5): 797-804
- 高欣. 2008. 芽孢杆菌对西伯利亚鲟幼鱼摄食生长及肠道菌群的影响. 见: 河北师范大学硕士研究生学位论文
- 黄次桢, 黄海英. 2004. 牛奶的香气成分和牛奶的加香. 2004年中国香料香精学术研讨会论文集, 237-240
- 崔立娇, 张利民, 王际英, 马晶晶, 丁立云. 2011. 饲料中添加锌对星斑川鲷幼鱼生长、生理生化指标和机体抗氧化的影响. 渔业科学进展, 32(1): 114-121
- Chen AS, Taguchi T, Sakai K and 3 others. 2003. Antioxidant activities of chitobiose and chitotriose. *Biol Pharm Bull* 26(9): 1326-1330
- Chesson A. 1994. Prebiotic and other intestinal mediators. *Principles of Pig Science*, Nottingham University Press, 197-214
- Burr G, Gatlin DM. 2009. Effects of the prebiotic GroBiotic®-A and inulin on the intestinal microbiota of red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*: 440-449
- Gatlin III DM. 2002. Nutrition and fish health. In: Halver JE, Hardy RW. (Eds.), *Fish Nutrition*: 671-702
- Gibson GR, Roberfroid MB. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *Nutr* 125:1401-1412
- Kim YS, Ke F, Zhang QY. 2009. Effect of β -glucan on activity of antioxidant enzymes and Mx gene expression in virus infected grass carp. *Fish & Shellfish Immunology* 27(2): 336-340
- Ding LY, Zhang LM, Wang JY and 5 others. 2010. Effect of dietary lipid level on the growth performance, feed utilization, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture Research* 41: 1470-1478
- Li P, Gatlin DM. 2004. Dietary brewer's yeast and the prebiotic GroBiotic™-AE influence growth performance, immune responses and resistance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* \times *M. saxatilis*) to *Streptococcus iniae* infection. *Aquaculture* 231: 445-456
- Li P, Gatlin DM. 2005. Evaluation of the prebiotic GroBiotic-A and brewers yeast as dietary supplements for sub-adult hybrid striped bass (*Morone chrysops* \times *M. saxatilis*) challenged in situ with *Mycobacterium marinum*, *Aquaculture* 248(1-4): 197-205
- Mehdi Y, Masoud H, Shahram F and 4 others. 2012. Effect of prebiotic supplementation on growth performance and serum biochemical parameters of kutum (*Rutilus frisii kutum*) fries. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 7(8): 684-692
- Mehdi Y, Mojtaba SA. 2009. A review of the use of prebiotic in aquaculture for fish and shrimp. *African Journal of Biotechnology* 8(25): 7313-7318
- Shao LP, Zhou LJ, Li GP and 6 others. 2000. Effects of oral administration of mannan-oligosaccharide on immune responses and blood GSH-Px, T-SOD activities in suckling piglets. *Chinese Journal of Veterinary Science* 20(3): 257-260
- Wang JX, Jiang XL, Mou HJ. 2004. Anti-oxidation of agar oligosaccharides produced by agarase from a marine bacterium. *Applied Phycol* 16: 333-340
- Xu Q, Chao YL, Wang QB. 2009. Health benefit application of functional oligosaccharides. *Carbohydrate Polymers* 77: 435-441
- Zheng ZL, Wang KY. 2011. Evaluation of the ability of GroBiotic®-A to enhance growth, muscle composition, immune responses, and resistance against *Aeromonas hydrophila* in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 42(4): 549-557