动物营养学报 2019,31(1):418-427
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2019.01.049

枸杞多糖对卵形鲳鲹生长性能、抗氧化能力及血清免疫、生化指标的影响

谭连杰[1,2]　林黑着[1,3*]　黄　忠[1,3]　周传朋[1]　荀鹏伟[1,2]　黄倩倩[1,2]
于万峰[1,2]　黄小林[1,3]　虞　为[1,3]

(1.中国水产科学研究院南海水产研究所,农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室,广州 510300;
2.上海海洋大学水产与生命学院,上海 201506;3.中国水产科学研究院
南海水产研究所深圳试验基地,深圳 518121)

摘　要: 本试验旨在研究枸杞多糖对卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)生长性能、抗氧化能力及血清免疫、生化指标的影响。选取平均体质量为(7.45±0.06) g 的卵形鲳鲹幼鱼 360 尾,随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 20 尾,分别饲喂枸杞多糖含量为 0(对照)、0.05%、0.10%、0.20%、0.40%和 0.80%的 6 种饲料。试验期 8 周。结果显示:1)各组末质量、增重率和特定生长率差异不显著(P>0.05)。2)0.10%和 0.20%组肝脏超氧化物歧化酶活性显著高于对照组(P<0.05),丙二醛含量显著低于对照组(P<0.05)。0.10%、0.20%、0.40%和 0.80%组肝脏过氧化氢酶活性显著高于对照组(P<0.05)。0.10%组肝脏谷胱甘肽过氧化物酶活性和总抗氧化能力显著高于对照组(P<0.05)。3)0.10%组血清补体 3 和补体 4 含量均显著高于对照组(P<0.05)。0.10%和 0.20%组血清溶菌酶活性显著高于对照组(P<0.05)。4)0.10%和 0.20%组血清葡萄糖含量显著低于 0.05%和对照组(P<0.05)。0.10%、0.20%和 0.40%组血清胆固醇含量显著低于0.05%和对照组(P<0.05)。0.10%组血清甘油三酯含量显著低于 0.05%和对照组(P<0.05)。0.10%和 0.20%组血清高密度脂蛋白含量显著高于对照组(P<0.05),低密度脂蛋白含量显著低于对照组(P<0.05)。综上所述,枸杞多糖可以显著提高卵形鲳鲹的抗氧化能力和免疫力,而促生长的作用不显著。卵形鲳鲹幼鱼饲料中枸杞多糖的适宜添加量为 0.10%。

关键词: 枸杞多糖;卵形鲳鲹;生长性能;肝脏抗氧化能力;血清免疫指标;血清生化指标
中图分类号:S963　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1006-267X(2019)01-0418-10

随着经济发展和社会消费水平的不断提高,人们对水产品的需求越来越大,水产养殖行业普遍采用了规模化、集约化的发展模式。这种模式确实给广大养殖户带来了可观的经济效益,但是养殖环境的恶化、病害的频发以及药物残留等一系列问题日益突出。这些问题严重阻碍了水产养殖行业的可持续发展,也威胁着人类的健康。因此,寻找一种绿色、安全、无残留的免疫增强剂来代替抗生素等化学药物成为广大科研工作者和养殖户密切关注和亟待解决的问题。

枸杞(*Lycium barbarum* L.)是管状花木,茄科,枸杞属的一种落叶灌木。在我国,枸杞的果实是一种传统的食药兼用的名贵中药材。世界上枸杞属植物共有 70 种,主要分布于南非、欧亚大陆、美洲和澳大利亚的亚热带地区[1],西北地区是我国枸杞的主要产地。枸杞多糖(*Lycium barbarum*

收稿日期:2018-06-29
基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目(201403011);国家自然科学基金项目(31602175);深圳市战略性新兴产业和未来产业发展专项(SWCYL20150330010013,201605061128245740)
作者简介:谭连杰(1991—),男,河南周口人,硕士研究生,从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: tanlianjie1991@163.com
***通信作者:**林黑着,研究员,博士生导师,E-mail: linheizhao@163.com

polysaccharide,LBP)是从枸杞中提取的总含量大约占枸杞重量 3.36%的水溶性多糖[2]。枸杞多糖因具有提高动物生产性能[3-5]、增强免疫力[6-8]、抗氧化[9-11]、降糖调脂[12-14]、保肝护肝[15]等功效成为当前枸杞研究领域内的热点之一。枸杞多糖在水产养殖中的应用研究也在逐步展开。吴旋[16]研究发现,在黄颡鱼饲料中添加适量的枸杞多糖可以显著提高其增重率并降低饲料系数,同时显著提高其非特异性免疫力。研究表明,枸杞多糖还能提高金丝鱼[17]、草鱼[18]和鲫鱼[19]的非特异性免疫力。

卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*),俗称金鲳,隶属硬骨鱼纲,鲈形目,鲹科,主要分布于太平洋、印度洋和大西洋的温热带海域[20]。卵形鲳鲹的肉质细嫩,味道鲜美,是名贵的食用鱼类。目前,在中国的福建、广东、广西和海南等地已经形成规模化养殖。但是近 2 年灾害频发,已经严重影响了卵形鲳鲹养殖业的可持续发展。本试验旨在通过梯度添加枸杞多糖来研究其对卵形鲳鲹生长性能、抗氧化能力、血清免疫、生化指标的影响,为卵形鲳鲹的健康养殖提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验鱼与试验设计

养殖试验在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地室外池塘网箱中进行。试验开始前,将卵形鲳鲹饥饿 24 h,用丁香酚(成都艾科达化学试剂有限公司)麻醉,挑选平均体质量为(7.45±0.06) g、健康的幼鱼 360 尾,随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复(网箱)20 尾,分别饲喂枸杞多糖添加量为 0(对照)、0.05%、0.10%、0.20%、0.40%和 0.80%的 6 种等氮等脂饲料。试验饲料组成及营养水平表 1。

表 1　试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　%

项目 Items	枸杞多糖添加量 *Lycium barbarum* polysaccharide supplementation levels/%					
	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
豆粕 Soybean meal	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
花生麸 Peanut bran	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
啤酒酵母 Brewer's yeast	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
面粉 Wheat flour	15.60	15.60	15.60	15.60	15.60	15.60
鱼油 Fish oil	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
大豆卵磷脂 Soy lecithin	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
维生素预混料 Vitamin premix1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质预混料 Mineral premix2)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素 C Vitamin C (95%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
甜菜碱 Betaine	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	0.80	0.75	0.70	0.60	0.40	
枸杞多糖 *Lycium barbarum* polysaccharide (80%)3)		0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels4)						
水分 Moisture	7.48	7.56	7.56	7.49	7.45	7.52

续表1

项目 Items	枸杞多糖添加量 *Lycium barbarum* polysaccharide supplementation levels/%					
	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
粗蛋白质 Crude protein	43.46	43.41	43.48	43.45	43.39	43.40
粗脂肪 Crude fat	10.51	10.52	10.46	10.50	10.52	10.44
粗灰分 Ash	9.45	9.43	9.46	9.43	9.41	9.44

1) 维生素预混料为每千克饲料提供 The vitamin premix provided the following per kg of diets: VA 80 mg, VD_3 30 mg, VE 600 mg, VK_3 600 mg, VB_1 80 mg, VB_2 187.5 mg, VB_6 40 mg, VB_{12} 90 mg, 烟酸 nicotinic acid 900 mg, 肌醇 inositol 800 mg, 泛酸 calcium pantothenate 500 mg, 叶酸 folic acid 12 mg, 生物素 biotin 20 mg。

2) 矿物质预混料为每千克饲料提供 The mineral premix provided the following per kg of diets: Na_2SeO_3 40 mg, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 48 mg, $FeSO_4 \cdot H_2O$ 533.3 mg, $ZnSO_4 \cdot H_2O$ 200 mg, $MnSO_4 \cdot H_2O$ 240 mg, $Ca(IO_3)_2$ 100 mg, $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ 20 mg, 沸石粉 zelote power 8 761.1 mg。

3) 购自陕西柏威生物科技有限公司，枸杞多糖的有效含量为80%。Purchased from *Shanxi* Baiwei Biological Technology Co., Ltd., and the effective content of *Lycium barbarum* polysaccharide is 80%.

4) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.2 试验饲料制备

将鱼粉、豆粕、花生麸等原料用粉碎机粉碎并过40目筛网。按照饲料组成准确称量每种饲料原料，先把常量组分混合搅拌均匀，再把微量组分通过逐级扩大混匀的方法加入，初步混匀后放入搅拌机（SZ250，广州旭众食品有限公司）搅拌10 min后取出。按比例加入鱼油和大豆卵磷脂，人工搓碎混匀并过40目筛网后倒入搅拌机搅拌10 min。再加入适量的水（约40%）搅拌10 min后取出，用双螺杆挤条机（F-26，广州华南理工大学）挤压成直径为2.0和2.5 mm的条形物，经造粒机（G-500，广州华南理工大学）甩成颗粒后放在18 ℃空调房中抽干，然后用封口袋密封并做好标签，于-20 ℃保存备用。

1.3 饲养管理

试验开始前用商品料饱食驯化1周。试验开始后每天07:30和05:30各饱食投喂1次，连续充气，为期8周。试验期间详细记录每个网箱的采食量，试验鱼如有死亡，立即捞取称其体质量并做好记录。整个养殖过程中池塘水温为29.1~31.8 ℃，溶解氧浓度为4.8~7.2 mg/L，盐度为15~18。

1.4 样品采集

养殖试验结束后饥饿24 h，依次将网箱里的鱼全部捞出，麻醉后计数并称鱼体总质量。从中随机取4尾鱼测其体长、体质量并记录，测量完成后，用2.5 mL的注射器（1%的肝素钠润洗）尾静脉取血，注入1.5 mL的离心管中。4 ℃静置0.5 h后离心（3 000 r/min，10 min，4 ℃），收集上清液并分装于0.5 mL的离心管中，于-80 ℃保存备用。采血后，按顺序解剖称量内脏和肝脏并记录，肝脏分装于2 mL离心管中，于-20 ℃保存备用。再将解剖后的鱼去皮取背部肌肉，于-20 ℃保存备用。另取3尾全鱼-20 ℃保存备用。

1.5 指标测定

1.5.1 生长性能

$$\text{增重率(weight gain rate, WGR, \%)} = 100 \times [\text{末质量(g)} - \text{初质量(g)}]/\text{初质量(g)};$$

$$\text{特定生长率(specific growth rate, SGR, \%/d)} = 100 \times [\ln \text{末质量(g)} - \ln \text{初质量(g)}]/\text{试验天数(d)};$$

$$\text{饲料系数(feed conversion rate, FCR)} = \text{投喂饲料质量(g)}/\text{鱼体增加质量(g)};$$

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

$$\text{肝体比(hepatosomatic index, HSI, \%)} = 100 \times \text{肝脏质量(g)}/\text{鱼体质量(g)};$$

$$\text{脏体比(viscerosomatic index, VSI, \%)} = 100 \times \text{内脏质量(g)}/\text{鱼体质量(g)};$$

$$\text{肥满度(condition factor, CF)} = 100 \times \text{体质量(g)}/[\text{体长(cm)}]^3。$$

1.5.2 体成分

全鱼和肌肉中水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量参照杜强[21]所描述的方法进行测定。

1.5.3　肝脏抗氧化能力

肝脏组织匀浆的制备:准确称量 0.5 g 组织样本,然后按 1:9 的质量体积比加入生理盐水进行匀浆,匀浆后放入离心机中离心(3 000 r/min,10 min,4 ℃),取上清液于−20 ℃保存备用。

肝脏中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性及丙二醛(MDA)含量和总抗氧化能力(T-AOC)均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定,操作步骤详见说明书。

1.5.4　血清免疫和生化指标

血清中补体 3(C3)、补体 4(C4)含量和溶菌酶(LZM)、酸性磷酸酶(ACP)和碱性磷酸酶(AKP)活性均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定,操作步骤详见说明书。

血清生化指标包括葡萄糖(GLU)、胆固醇(CHO)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)含量及谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)活性,委托广州新海医院检验中心进行测定。

1.6　数据的处理分析

试验数据均采用 Excel 2007 软件进行处理,通过 SPSS 18.0 软件 one-way ANOVA 进行统计分析,所得数据以“平均值±标准差”表示,$P<0.05$ 表示差异显著。

2　结　果

2.1　枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼生长性能的影响

由表 2 可知,各组间末质量、增重率、特定生长率、饲料系数、成活率以及肥满度没有显著性差异($P>0.05$)。枸杞多糖添加量为 0.10%时,试验鱼的肝体比显著低于 0.05%和对照组($P<0.05$)。各添加组的脏体比显著低于对照组($P<0.05$)。

表 2　枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼生长性能的影响

Table 2　Effects of *Lycium barbarum* polysaccharide on growth performance of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*)

项目 Items	枸杞多糖添加量 *Lycium barbarum* polysaccharide supplementation levels/%					
	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
初质量 IBW/g	7.45±0.05	7.45±0.07	7.42±0.01	7.47±0.06	7.44±0.05	7.44±0.02
末质量 FBW/g	68.02±1.54	67.63±5.84	73.03±2.36	68.24±5.13	61.18±4.92	61.63±5.22
增重率 WGR/%	813.02±13.62	807.78±83.26	884.23±23.87	813.52±61.03	722.31±54.34	728.36±74.58
特定生长率 SGR/(%/d)	3.95±0.01	3.94±0.22	4.08±0.03	3.95±0.12	3.76±0.11	3.78±0.15
饲料系数 FCR	1.11±0.03	1.11±0.07	1.07±0.01	1.10±0.05	1.10±0.09	1.10±0.08
成活率 SR/%	96.67±2.89	95.00±5.00	96.67±5.77	95.00±5.00	93.33±7.64	91.67±7.64
肝体比 HSI/%	0.80±0.05^{c}	0.77±0.01^{bc}	0.67±0.01^{a}	0.72±0.01^{ab}	0.72±0.01^{ab}	0.72±0.03^{ab}
脏体比 VSI/%	5.80±0.13^{b}	5.42±0.05^{a}	5.36±0.07^{a}	5.45±0.12^{a}	5.46±0.19^{a}	5.52±0.12^{a}
肥满度 CF	3.16±0.09	3.30±0.12	3.34±0.14	3.24±0.08	3.28±0.10	3.27±0.09

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

In the same row, values with different 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　枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼体成分的影响

由表 3 可知,枸杞多糖对各组全鱼的水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量均无显著影响($P>0.05$)。0.10%和 0.20%组肌肉粗蛋白质含量显著高于 0.80%和对照组($P<0.05$),肌肉粗灰分含量显著低于 0.05%和对照组($P<0.05$)。

2.3　枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

由表 4 可知,0.10%和 0.20%组肝脏超氧化物歧化酶活性显著高于对照组($P<0.05$)。0.10%、0.20%、0.40%和 0.80%组肝脏过氧化氢酶活性显著高于对照组($P<0.05$)。随饲料中枸杞多糖添加量的增加,肝脏丙二醛含量先降低后升高,0.10%和 0.20%组显著低于对照组($P<0.05$)。0.10%组肝脏谷胱甘肽过氧化物酶活性和总抗氧化能力显著高于对照组($P<0.05$)。

表 3 枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼体成分的影响(干物质基础)

Table 3 Effects of *Lycium barbarum* polysaccharide on body composition of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*) (DM basis) %

项目 Items	枸杞多糖添加量 *Lycium barbarum* polysaccharide supplementation levels/%					
	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
全鱼 Whole body						
水分 Moisture	70.05±1.23	69.89±1.80	69.61±0.24	70.72±0.53	71.12±1.14	69.56±1.71
粗蛋白质 Crude protein	52.85±1.74	54.34±1.80	52.12±0.92	53.73±1.00	53.68±1.17	52.06±1.41
粗脂肪 Crude lipid	32.75±1.82	30.60±1.68	31.20±1.42	30.14±1.02	30.22±1.27	31.76±1.78
粗灰分 Ash	13.01±0.82	13.24±0.90	13.21±0.23	14.34±0.61	14.28±0.53	13.78±0.82
肌肉 Muscle						
水分 Moisture	76.47±0.40	76.10±0.68	75.27±0.39	75.30±0.08	75.58±0.72	76.25±0.35
粗蛋白质 Crude protein	73.19±0.99[a]	73.80±0.58[ab]	77.34±0.95[c]	76.59±1.72[bc]	76.20±0.19[abc]	73.26±1.08[a]
粗脂肪 Crude lipid	18.60±1.06	16.91±0.74	14.64±0.53	14.82±0.56	15.25±0.35	16.99±0.71
粗灰分 Ash	7.71±0.49[c]	7.78±0.26[c]	7.09±0.13[a]	7.10±0.15[a]	7.47±0.13[ab]	7.47±0.37[ab]

表 4 枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

Table 4 Effects of *Lycium barbarum* polysaccharide on hepatic antioxidant capacity of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*)

项目 Items	枸杞多糖添加量 *Lycium barbarum* polysaccharide supplementation levels/%					
	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
超氧化物歧化酶 SOD/(U/g prot)	1 084.73±90.16[a]	1 117.49±157.33[ab]	1 641.26±154.15[c]	1 499.56±79.20[bc]	1 359.25±94.81[abc]	1 398.75±85.62[abc]
过氧化氢酶 CAT/(U/g prot)	611.84±21.78[a]	637.64±24.61[ab]	697.45±15.27[c]	711.43±20.08[c]	689.16±80.61[c]	675.56±12.16[bc]
丙二醛 MDA/(nmol/g prot)	59.68±0.83[b]	58.96±0.36[ab]	51.83±0.45[a]	52.16±0.42[a]	52.75±0.72[ab]	53.14±0.28[ab]
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/g prot)	1.31±0.04[a]	1.38±0.05[ab]	1.44±0.01[b]	1.40±0.08[ab]	1.34±0.05[ab]	1.35±0.01[ab]
总抗氧化能力 T-AOC/(U/g prot)	239.12±6.11[a]	252.24±6.76[ab]	279.48±9.48[b]	269.88±19.88[ab]	255.40±18.04[ab]	258.52±20.65[ab]

2.4 枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼血清免疫指标的影响

由表 5 可知,枸杞多糖显著影响了血清补体 3、补体 4 含量和溶菌酶活性($P<0.05$),对酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性没有显著性影响($P>0.05$)。0.10%组血清补体 3 含量显著高于 0.05%和对照组($P<0.05$)。0.10%、0.20%和 0.40%组血清补体 4 含量显著高于对照组($P<0.05$)。血清溶菌酶活性随饲料中枸杞多糖添加量的增加先升高后降低,0.10%和 0.20%组显著高于 0.40%、0.80%和对照组($P<0.05$)。

2.5 枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼血清生化指标的影响

由表 6 可知,0.10%和 0.20%组血清葡萄糖含量显著低于 0.05%和对照组($P<0.05$)。随饲料中枸杞多糖添加量的增加,血清胆固醇、甘油三酯以及低密度脂蛋白含量均呈现先降低后升高的趋势,而高密度脂蛋白含量呈现先升高后降低的趋

势。0.10%、0.20%和 0.40%组血清胆固醇含量显著低于 0.05%和对照组($P<0.05$)。0.10%组血清甘油三酯含量显著低于 0.05% 和对照组($P<0.05$)。0.10%和 0.20%组血清高密度脂蛋白含量显著高于对照组($P<0.05$),低密度脂蛋白含量显著低于对照组($P<0.05$)。各组间血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性无显著性差异($P>0.05$)。

表 5　枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼血清免疫指标的影响

Table 5　Effects of *Lycium barbarum* polysaccharide on serum immune indexes of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*)

项目 Items	枸杞多糖添加量 *Lycium barbarum* polysaccharide supplementation levels/%					
	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
补体 3 C3/(μg/mL)	109.43±0.82[a]	112.41±1.85[a]	121.65±2.74[b]	117.26±1.64[ab]	117.43±1.76[ab]	115.83±1.56[ab]
补体 4 C4/(μg/mL)	140.73±4.67[a]	162.49±13.86[ab]	184.68±12.16[b]	189.85±7.99[b]	181.05±9.69[b]	165.25±7.04[ab]
溶菌酶 LZM/(U/mL)	4.85±0.22[a]	5.13±0.19[ab]	5.59±0.24[c]	5.40±0.05[bc]	5.06±0.14[a]	5.00±0.08[a]
酸性磷酸酶 ACP/(U/L)	8.13±0.56	8.64±0.40	8.81±0.34	8.73±0.91	8.97±1.12	8.81±0.36
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	36.31±1.64	38.64±2.16	41.56±1.67	39.41±1.69	39.03±1.03	39.47±1.53

表 6　枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼血清生化指标的影响

Table 6　Effects of *Lycium barbarum* polysaccharide on serum biochemical indexes of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*)

项目 Items	枸杞多糖添加量 *Lycium barbarum* polysaccharide supplementation levels/%					
	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	9.56±1.87[b]	9.52±1.93[b]	6.68±0.43[a]	6.32±0.61[a]	7.37±0.83[ab]	8.90±1.76[ab]
胆固醇 CHO/(mmol/L)	4.33±0.26[b]	4.30±0.38[b]	3.59±0.31[a]	3.34±0.50[a]	3.57±0.23[a]	3.93±0.17[ab]
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.31±0.08[c]	1.16±0.14[bc]	0.79±0.18[a]	1.00±0.24[ab]	1.08±0.04[bc]	1.12±0.16[bc]
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	3.67±1.53	3.67±0.58	2.00±0.00	3.33±1.53	3.50±0.71	3.33±1.53
谷草转氨酶 AST/(U/L)	37.33±3.24	34.67±4.62	28.33±3.78	27.33±4.86	34.33±1.53	33.33±2.66
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	0.77±0.17[a]	0.82±0.08[ab]	1.01±0.13[bc]	1.10±0.08[c]	0.96±0.04[abc]	0.86±0.07[ab]
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	0.23±0.07[b]	0.19±0.01[ab]	0.12±0.02[a]	0.12±0.01[a]	0.14±0.04[ab]	0.16±0.04[ab]

3　讨　论

有研究表明,枸杞多糖可以提高动物的生长性能。刘亚娟等[3]研究发现,饲粮中添加 1%的枸杞多糖可以提高肉兔的生长性能,促进仔兔的生长发育,增加被毛密度。尹瑞卿[4]报道,4 g/kg 的枸杞多糖可显著降低肉仔鸡的料重比。吴旋[16]在黄颡鱼饲料中添加 4 种不同水平的多糖,投喂 8 周后发现,1 200 mg/kg 的枸杞多糖可以显著提升黄颡鱼的增重率,并降低饲料系数。本研究中,0.10%组的末质量、增重率以及特定生长率最大,而 0.80%、0.40%、0.20%、0.05%组均低于对照组,但各组间没有显著性差异。这说明适量的枸杞多糖对卵形鲳鲹幼鱼的生长有一定的促进作用,但是未达到显著水平。已有研究显示,植物多糖主要通过促进与生长相关激素的合成与分泌来促进脂类与糖的代谢,提高机体氨基酸与蛋白质合成,以达到促生长的作用[22-23]。适量的枸杞多糖显著降低了卵形鲳鲹幼鱼的肝体比和脏体比,这可能是枸杞多糖促进了肝脏和腹腔中脂肪的分解利用[24-25]。

枸杞多糖不仅能提高动物的生长性能,还能改善动物的肌肉品质。本研究中,试验鱼肌肉的粗蛋白质含量随枸杞多糖添加量的增加呈先升高后降低趋势,0.10%和 0.20%组显著高于对照组。这说明适量的枸杞多糖可以提高卵形鲳鲹幼鱼的肌肉粗蛋白质含量,改善肌肉品质,这与黄颡鱼[16]的研究报道相似。枸杞多糖也显著影响了试验鱼

肌肉的粗灰分含量,0.10%和0.20%组显著低于0.05%和对照组。这可能是因为枸杞多糖在增加肌肉蛋白质含量的同时,降低了肌肉中矿物质的含量[25]。

大量研究表明,枸杞多糖可以有效增强机体的抗氧化能力。Xin等[10]报道,枸杞多糖可以显著提高机体内超氧化物歧化酶的活性,同时减少心脏中的丙二醛含量。龚涛等[11]在对*D*-半乳糖致衰小鼠的研究中发现,枸杞多糖可以显著促进小鼠体内超氧化物歧化酶等抗氧化酶的合成,同时抑制丙二醛含量的升高,减轻细胞损伤,提高抗氧化能力。超氧化物歧化酶作为一种抗氧化酶,在清除机体内的自由基方面发挥着重要作用。过氧化氢酶的主要作用是参与活性氧的代谢,保护机体内的功能性大分子物质免受活性氧损伤。丙二醛是脂质过氧化的最终产物,机体内丙二醛的含量反映组织中的自由基含量及受损情况[26]。本研究中,0.10%和0.20%组肝脏超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性均显著高于对照组,且丙二醛含量显著低于对照组,这与黄颡鱼[16]、金丝鱼[17]的研究报道结果相似。也有研究显示,给*D*-半乳糖所致衰老小鼠灌服枸杞多糖既能提高其体内超氧化物歧化酶的活性,也能提高谷胱甘肽过氧化物酶的活性[27]。谷胱甘肽过氧化物酶是机体内广泛存在的一种重要的过氧化物分解酶,其既能清除细胞内有害的过氧化产物,也能切断脂质过氧化连锁反应,从而保护细胞膜的结构和功能不受过氧化物的干扰及损害[28]。机体中存在包括抗氧化大分子、抗氧化小分子和酶等多种抗氧化物,这些抗氧化物可以清除体内的各种活性氧。总抗氧化能力是一个体系内的各种抗氧化大分子、抗氧化小分子和酶的总的水平。本研究中,枸杞多糖显著提高了试验鱼肝脏谷胱甘肽过氧化物酶的活性和总抗氧化能力水平。这说明适量的枸杞多糖可以有效提高卵形鲳鲹幼鱼的肝脏抗氧化能力。因此,枸杞多糖提高机体抗氧化能力的途径可能有2种:一是通过提高超氧化物歧化酶等抗氧化酶的活性来清除过多的自由基;二是通过提高过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶等过氧化物分解酶的活性来清除过多的活性氧。

鱼类既有非特异性免疫系统又有特异性免疫系统,但是与高等脊椎动物相比,鱼类的特异性免疫系统尚不完善。因此,鱼类主要还是依赖非特异性免疫系统来应对外部环境刺激和病原入侵[29]。补体系统作为一种蛋白质反应系统,主要负责破坏或清除病原微生物,是机体非特异性免疫的重要组成部分[30]。本研究中,0.10%组血清补体3含量显著高于0.05%和对照组;0.10%、0.20%和0.40%组血清补体4的含量显著高于对照组。这说明适量的枸杞多糖可以激活卵形鲳鲹幼鱼的补体系统,提高血清补体含量。也有研究表明,不同的多糖激活补体系统的途径不同。例如圆锥绣球多糖是通过经典途径激活补体的,茯苓多糖和当归多糖是通过替代途径激活补体的,而车前子多糖和酸枣仁多糖可由替代和经典2条途径激活补体系统[31]。在对草鱼的研究中发现,枸杞多糖不仅可以提高草鱼血清补体3的含量,也能提高血清溶菌酶的活性[18]。溶菌酶也是机体非特异性免疫系统的重要组成部分,其可以溶解革兰氏阳性和阴性细菌细胞壁的黏多糖,从而消灭病原微生物[16]。本研究中,适量的枸杞多糖可以显著提高卵形鲳鲹幼鱼血清溶菌酶的活性,这与金丝鱼[17]、黄颡鱼[16]以及鲫鱼[19]的研究结果是相似的,说明枸杞多糖可以通过提高机体内溶菌酶的活性来提高非特异性免疫力。酸性磷酸酶和碱性磷酸酶是鱼类代谢过程中重要的调控酶,可以催化磷酸单酯的水解及磷酸基团的转移反应,对机体非特异性免疫也发挥着重要作用。枸杞多糖对试验鱼血清酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性没有显著性影响,富丽静等[18]也有相似的报道。以上结果说明,适量的枸杞多糖可以提高卵形鲳鲹的非特异性免疫力。

血清生化指标反映了机体的营养水平、生理状态及健康状况及[32]。正常情况下鱼体的血清葡萄糖处于动态平衡中,但是容易受到外部刺激而发生波动[33]。研究表明,枸杞多糖可以降低机体的血清葡萄糖含量,提高抗应激的能力[2]。本研究中,适量的枸杞多糖显著降低了试验鱼的血清葡萄糖含量,丁园[12]、王玲等[13]均有相关报道。有研究显示,枸杞多糖主要从3个方面来调控血清葡萄糖含量:一是降低小肠刷状缘对葡萄糖的吸收;二是抑制消化道内α-葡萄糖苷酶的活性;三是改善胰岛细胞形态、数量和功能,调节胰岛内环境[13,28,34]。枸杞多糖不仅可以降低血清葡萄糖含量,还可以降低血脂含量。高脂血症是导致动脉粥样硬化的主要因素之一,还能导致脂肪肝的

发生，是医学上常见的一种代谢性疾病[35]。而胆固醇、甘油三酯含量的升高与动脉粥样硬化的发生有直接的关系。赵晶丽等[36]研究发现，枸杞多糖各剂量组均能显著降低大鼠血清中总胆固醇、甘油三酯以及低密度脂蛋白的含量，并且显著提高高密度脂蛋白的含量。同样，枸杞多糖对小鼠也有降脂的效果[14,37]。本研究中，适量的枸杞多糖可以显著降低卵形鲳鲹血清中胆固醇、甘油三酯以及低密度脂蛋白的含量，并且显著提高高密度脂蛋白的含量，这与以上研究报道相似。谷丙转氨酶和谷草转氨酶是在蛋白质代谢过程中起重要作用的氨基酸转氨酶，其活性变化可以反映肝细胞的受损情况[38]。本研究中，枸杞多糖对试验鱼血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性没有显著性影响，陈玉春等[38]也有相似结论。

4　结　论

饲料中添加适量的枸杞多糖能显著提高卵形鲳鲹幼鱼的抗氧化能力和非特异性免疫力，且有显著的降血糖和降血脂作用，而促生长作用不显著。卵形鲳鲹幼鱼饲料中枸杞多糖的适宜添加量为0.10%。

参考文献：

[1] AMAGASE H，FARNSWORTH N R.A review of botanical characteristics，phytochemistry，clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum* fruit（Goji）[J]. Food Research International，2011，44（7）：1702-1717.

[2] 王昌禄，王昵霏，李贞景.枸杞多糖的研究与应用[J].食品科学技术学报，2017，35（3）：43-49.

[3] 刘亚娟，陈赛娟，李海丽，等.枸杞多糖对生长獭兔生产性能及血清生化指标的影响[J].中国饲料，2013（20）：22-25.

[4] 尹瑞卿.枸杞多糖对肉仔鸡生产性能和免疫功能的调节作用[D].硕士学位论文.杨凌：西北农林科技大学，2013：24.

[5] 陈赛娟，刘亚娟，王圆圆，等.枸杞多糖对泌乳母兔生产性能及血清生化指标的影响[J].中国农业科学，2013，46（10）：2168-2174.

[6] 王建东，马吉锋，李艳艳，等.不同浓度梯度枸杞多糖对小白鼠免疫功能的影响[J].黑龙江畜牧兽医，2016（7）：207-209.

[7] 孙晓雨，崔子寅，张明亮，等.枸杞多糖和茯苓多糖对免疫抑制小鼠免疫增强及对肠道黏膜的免疫调节作用[J].中国兽医学报，2015，35（3）：450-455.

[8] 王建东，马吉锋，李艳艳，等.枸杞多糖对动物免疫系统的影响[J].黑龙江畜牧兽医，2014（15）：66-68.

[9] XIA G Q，XIN N，LIU W，et al. Inhibitory effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on cell apoptosis and senescence is potentially mediated by the p53 signaling pathway [J]. Molecular Medicine Reports，2014，9（4）：1237-1241.

[10] XIN Y F，WAN L L，PENG J L，et al. Alleviation of the acute doxorubicin-induced cardiotoxicity by *Lycium barbarum* polysaccharides through the suppression of oxidative stress[J]. Food and Chemical Toxicology，2011，49（1）：259-264.

[11] 龚涛，王晓辉，赵靓，等.枸杞多糖抗氧化作用的研究[J].生物技术，2010，20（1）：84-86.

[12] 丁园.枸杞多糖对2型糖尿病大鼠血糖、血脂的影响[J].辽宁医学院学报，2015，36（5）：12-14.

[13] 李朝晖，马晓鹂，吴万征.枸杞多糖降血糖作用的细胞实验研究[J].中药材，2012，35（1）：124-127.

[14] 徐赛华.枸杞多糖降脂作用的实验研究[J].海峡药学，2012，24（6）：20-22.

[15] 刘晴.枸杞多糖对 CCl_4 诱导的大鼠肝纤维化的保护作用及机制研究[D].硕士学位论文.南京：南京农业大学，2016：16.

[16] 吴旋.四种中草药多糖对黄颡鱼生长、体成分及部分生理生化指标的影响[D].硕士学位论文.天津：天津农学院，2011：1-2.

[17] 白东清，吴旋，李玉华.枸杞多糖、灵芝多糖对金丝鱼生化指标的影响[J].中国饲料，2011（1）：30-32.

[18] 富丽静，宋文华，于翔，等.五种植物免疫增强剂对草鱼非特异免疫力的影响[J].水产学杂志，2010，23（4）：14-17.

[19] 王远吉.枸杞多糖对鲫鱼血清溶菌酶活性的影响[J].中国饲料，2004（24）：28，31.

[20] 刘楚斌，陈锤.卵形鲳鲹的生物学与养殖技术[J].齐鲁渔业，2009，26（6）：32-33.

[21] 杜强.卵形鲳鲹赖氨酸和蛋氨酸需求量及饲料中鱼粉替代的研究[D].硕士学位论文.上海：上海海洋大学，2012：12.

[22] OOI G T，TAWADROS N，ESCALONA R M.Pituitary cell lines and their endocrine applications[J].Molecular and Cellular Endocrinology，2004，228（1/2）：1-21.

[23] THIEL L F，BEERMANN D H，KRICK B J，et al. Dose-dependent effects of exogenous porcine somatotropin on the yield，distribution，and proximate composition of carcass tissues in growing pigs[J].Journal

of Animal Science,1993,71(4):827-835.

[24] 赵世印,雷飞飞,谭华炳.枸杞多糖对非酒精性脂肪性肝病模型大鼠血脂代谢的影响[J].国际中医中药杂志,2015(4):331-334.

[25] 孙克年.枸杞及枸杞多糖在水产养殖中的应用研究[J].广东饲料,2011,20(1):37-38.

[26] 李宇敏,吴峰洋,冯佳婷,等.枸杞多糖的生物活性及其在动物生产中的应用研究[J].饲料研究,2017(22):22-25.

[27] LI X M,MA Y L,LIU X J.Effect of the *Lycium barbarum* polysaccharides on age-related oxidative stress in aged mice[J].Journal of Ethnopharmacology,2007,111(3):504-511.

[28] 刘杰,潘晓秋,周晖,等.枸杞多糖的提取及其抗衰老的研究[J].中国医院用药评价与分析,2016,16(3):357-359.

[29] 艾庆辉,麦康森.鱼类营养免疫研究进展[J].水生生物学报,2007,31(3):425-430.

[30] 余英才,张纯,夏循礼,等.补体系统的进化[J].生命科学,2012,24(4):362-367.

[31] 马红樱,张德禄,胡春香,等.植物活性多糖的研究进展[J].西北师范大学学报(自然科学版),2004,40(3):112-117.

[32] 韩娜娜,史成银.血液指标在鱼类学研究中的应用[J].安徽农业科学,2010,38(33):18877-18878,18880.

[33] 杜强,林黑着,王芸,等.华南沿海5种海水鱼类血液生化指标的比较研究[J].饲料工业,2014,35(21):74-76.

[34] 赵蕊,李青旺,高大威,等.枸杞多糖对Ⅱ型糖尿病小鼠胰岛细胞形态与功能的影响[J].燕山大学学报,2007,31(4):344-347.

[35] 刘卫红,颜贤忠,张蕾,等.代谢组学技术在高脂血症及动脉粥样硬化痰瘀演变研究中的应用[J].辽宁中医杂志,2008,35(5):684-686.

[36] 赵晶丽,高红梅,于海帅.枸杞多糖对高脂血症大鼠血脂代谢及氧自由基的影响[J].中国实验方剂学杂志,2013,19(5):241-243.

[37] MA M,LIU G H,YU Z H,et al.Effect of the *Lycium barbarum* polysaccharides administration on blood lipid metabolism and oxidative stress of mice fed high-fat diet *in vivo*[J].Food Chemistry,2009,113(4):872-877.

[38] 陈玉春,顾雪飞,刘敏.5种中草药对鲤血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶及红细胞过氧化氢酶活性的影响[J].淡水渔业,2007,37(5):11-13.

Effects of *Lycium barbarum* Polysaccharide on Growth Performance, Antioxidant Capacity, Serum Immune and Biochemical Indexes of Juvenile Golden Pompano (*Trachinotus ovatus*)

TAN Lianjie[1,2]　LIN Heizhao[1,3*]　HUANG Zhong[1,3]　ZHOU Chuanpeng[1]　XUN Pengwei[1,2]
HUANG Qianqian[1,2]　YU Wanfeng[1,2]　HUANG Xiaolin[1,3]　YU Wei[1,3]

(1. *Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *South China Sea Fisheries Research Institute*, *Chinese Academy of Fishery Sciences*, *Guangzhou* 510300, *China*; 2. *College of Fisheries and Life Sciences*, *Shanghai Ocean University*, *Shanghai* 201506, *China*; 3. *Shenzhen Base of South China Sea Fisheries Research Institute*, *Chinese Academy of Fishery Sciences*, *Shenzhen* 518121, *China*)

Abstract: To study the effects of *Lycium barbarum* polysaccharide (LBP) on growth performance, antioxidant capacity, serum immune and biochemical indexes of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*), six diets were prepared with the addition of 0 (control), 0.05%, 0.10%, 0.20%, 0.40% and 0.80% LBP, respectively. A total of 360 fish with an average body weight of (7.45±0.06) g were assigned randomly into six groups with three replicates per group and 20 fish per replicate. The experiment lasted for eight weeks. The results showed as follows: 1) the final weight, weight gain rate and specific growth rate were not significantly affected among groups ($P>0.05$). 2) The superoxide dismutase activity in liver of 0.10% and 0.20% groups was significantly higher than that of control group ($P<0.05$), while the content of malondialdehyde in liver was significantly lower than that of control group ($P<0.05$). The catalase activity in liver of 0.10%, 0.20%, 0.40% and 0.80% groups was significantly higher than that of control group ($P<0.05$). The glutathione peroxidase activity and total antioxidant capacity in liver of 0.10% group were significantly higher than those of control group ($P<0.05$). 3) The contents of complement 3 and complement 4 in serum of 0.10% group were significantly higher than those of control group ($P<0.05$). The lysozyme activity in serum of 0.10% and 0.20% groups was significantly higher than that of control group ($P<0.05$). 4) The content of serum glucose of 0.10% and 0.20% groups was significantly lower than that of 0.05% group and control group ($P<0.05$). The content of serum cholesterol of 0.10%, 0.20% and 0.40% groups was significantly lower than that of 0.05% group and control group ($P<0.05$). The content of serum triglyceride of 0.10% group was significantly lower than that of 0.05% group and control group ($P<0.05$). The content of serum high density lipoprotein of 0.10% and 0.20% groups was significantly higher than that of control group ($P<0.05$), and low density lipoprotein content was significantly lower than that of control group ($P<0.05$). In conclusion, dietary LBP can significantly improve antioxidant capacity and immunity of juvenile golden pompano, but not the growth. The suitable supplemental level of LBP in diets of juvenile golden pompano is 0.10%. [***Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(1):418-427**]

Key words: *Lycium barbarum* polysaccharide; juvenile golden pompano; growth performance; hepatic antioxidant capacity; serum immune indexes; serum biochemical indexes

* Corresponding author, professor, E-mail: linheizhao@163.com

(责任编辑　陈　鑫)