

壳寡糖与低聚木糖对大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)幼鱼生长、体组成和血液生化指标的影响*

蔡胜昌^{1,2} 张利民^{2①} 张德瑞³ 王际英² 马晶晶²
武明欣^{1,2} 孙永智³ 王世信³

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 山东省海洋资源与环境研究院 烟台 264006;
3. 山东升索渔用饲料研究中心 烟台 265000)

摘要 本研究以初始体重为(15.46±0.06) g的大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)幼鱼为实验对象,采用2×3双因素实验设计,研究饲料中壳寡糖(Chitosan oligosaccharide, COS)和低聚木糖(Xylo-oligosaccharide, XOS)对大菱鲂幼鱼生长、体组成和血液生化指标的影响。养殖实验在全封闭循环水养殖系统中进行,养殖周期为60 d。9组实验饲料粗蛋白和粗脂肪含量分别为53%和11%;每组饲料随机投喂3桶,每桶30尾鱼。结果显示,饲料中同时添加0.5%的壳寡糖、1.0%的低聚木糖对大菱鲂幼鱼的促生长作用最明显,相对增重率显著提高。饲料中壳寡糖和低聚木糖对大菱鲂幼鱼增重率、特定生长率、饵料系数、蛋白质效率均有显著影响($P<0.05$),但对大菱鲂体成分影响不显著($P>0.05$);低聚木糖和壳寡糖对大菱鲂幼鱼特定生长率、增重率、全鱼粗脂肪和灰分、血清甘油三酯、溶菌酶以及碱性磷酸酶均存在显著交互作用($P<0.05$)。研究表明,低聚木糖和壳寡糖配合使用可以显著提高大菱鲂幼鱼的生长效果,并且可在一定程度上增强其非特异性免疫能力,降低血脂含量。

关键词 大菱鲂; 壳寡糖; 低聚木糖; 非特异性免疫

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)06-0029-08

随着水产养殖的迅猛发展,功能性添加剂的应用研究越来越广泛。功能性低聚糖作为一种饲料添加剂,其结构稳定,贮藏加工中不易失活,无毒、无害、无残留,能提高动物的生长性能和抗病力,是一种新型的绿色饲料添加剂。我国农业部批准在饲料中使用的寡糖包括果寡糖、低聚木糖、甘露寡糖和糖萜素(明建华等,2008)。目前,关于功能性寡糖在水生动物饲料中的应用已经进行了大量的研究,然而,同时使用两种功能性寡糖对水生动物影响的研究在国内尚无报道。本研究选取了壳寡糖(Chitosan oligosaccharide,

COS)和低聚木糖(Xylo-oligosaccharide, XOS)作为组合,探寻其对大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)幼鱼生长、体组成和血液生化指标的影响,为大菱鲂健康养殖和研制生态环保饲料提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

大菱鲂幼鱼购自山东省烟台市蓬莱宗哲养殖有限公司,为当年同一批繁殖鱼苗,体重为(15.46±0.06) g。

* 国家海洋生物产业-水生动物营养与饲料研发创新示范平台资金(201403004)和国家海洋公益性行业科研专项(201205025; 201205028)共同资助。蔡胜昌, E-mail: 793386301@qq.com

① 通讯作者: 张利民, 研究员, E-mail: zhanglimin@126.com

收稿日期: 2014-12-14, 收修改稿日期: 2015-01-19

壳寡糖由山东青岛博世汇力生物科技有限公司提供, 纯度 $\geq 90\%$, 以虾、蟹壳的甲壳质为原料, 经酶解法制成; 低聚木糖由山东龙力生物科技有限公司提供, 纯度 $\geq 95\%$, 主要成分是木二糖和木三糖。

1.2 实验设计

在满足大菱鲆幼鱼基本营养需求的前提下, 以鱼粉、大豆浓缩蛋白为主要蛋白源, 鱼油、大豆油为主要脂肪源, 采用 2×3 双因素设计, 分别在基础饲料中添加 $0(A0)$ 、 $0.5\%(A0.5)$ 、 $1.0\%(A1.0)$ 的壳寡糖和 $0(B0)$ 、 $0.5\%(B0.5)$ 、 $1.0\%(B1.0)$ 的低聚木糖, 配制成9组实验饲料($A0B0$ 、 $A0B0.5$ 、 $A0B1.0$ 、 $A0.5B0$ 、 $A0.5B0.5$ 、 $A0.5B1.0$ 、 $A1.0B0$ 、 $A1.0B0.5$ 和 $A1.0B1.0$)。所有原

料分析营养成分后, 粉碎过80目筛, 按配比称量后加入适量水搅拌均匀, 经螺旋挤压机配制硬性颗粒饲料($1.5 \text{ mm} \times 2.0 \text{ mm}$, $2.5 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$), 50°C 烘干, 4°C 冷藏备用。饲料配方及营养成分见表1。

1.3 实验用鱼与饲养管理

养殖实验在山东省海洋资源与环境研究院全封闭水循环养殖系统中进行。实验前, 大菱鲆在养殖系统中驯养14 d, 期间投喂对照组饲料, 使其逐渐适应实验饲料和养殖环境。实验开始时, 实验鱼饥饿24 h, 然后称体重, 挑选出规格一致、平均初始体重为(15.46 ± 0.06) g的大菱鲆进行分组, 随机分成9组, 每组3个重复, 每个重复30尾鱼, 分别放养于高70 cm、

表1 实验饲料配方及营养成分组成(%)
Tab.1 Diet formulation and proximate composition(%)

原料 Ingredients	组别 Groups								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
鱼粉 Fish meal	45	45	45	45	45	45	45	45	45
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	25	25	25	25	25	25	25	25	25
小麦粉 Wheat flour	6	6	6	6	6	6	6	6	6
鱼油 Fish oil	3	3	3	3	3	3	3	3	3
大豆油 Soybean oil	3	3	3	3	3	3	3	3	3
α -淀粉 α -Starch	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45
羧甲基纤维素钠 CMC	5.0	4.5	4.0	4.5	4.0	3.5	4.0	3.5	3.0
甜菜碱 Betaine	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	1	1	1	1	1	1	1	1	1
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
抗氧化剂 Antioxidant	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
壳寡糖 COS	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
低聚木糖 XOS	0	0.5	1.0	0	0.5	1.0	0	0.5	1.0
合计 Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
营养组成(干物质%) Proximate composition (Dry matter basis %)									
粗蛋白 Crude protein	53.26	53.30	53.20	53.25	53.33	53.32	53.97	53.67	53.89
粗脂肪 Crude lipid	11.44	11.50	11.58	11.40	11.34	11.59	11.70	11.83	11.87
粗灰分 Ash	10.54	10.34	10.26	10.42	10.41	10.22	10.55	10.58	10.39
总能 Gross energy(kJ/g)	19.18	19.17	19.43	19.34	19.68	19.47	19.71	20.17	20.19
蛋能比 Energy protein ratio (mg/kJ)	27.77	27.80	27.38	27.53	27.10	27.39	27.38	26.61	26.69

1) 维生素预混料(mg/kg 饲料): 维生素 A, 38.0; 维生素 D, 13.2; α -生育酚, 210.0; 硫胺素, 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 B₁₂, 1.3; 肌醇, 4000.0; 抗坏血酸 500.0。2) 矿物质预混料(mg/kg 饲料): MgSO₄·7H₂O, 3568.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 25568.0; KCl, 3020.5; KAl(SO₄)₂, 8.3; CoCl₂, 28.0; ZnSO₄·7H₂O, 353.0; Ca-lactate, 15968.0; CuSO₄·5H₂O, 9.0; KI, 7.0; MnSO₄·4H₂O, 63.1; Na₂SeO₃, 1.5; C₆H₅O₇Fe·5H₂O, 1533.0; NaCl, 100.0; NaF, 4.0

1) Vitamin mixture (mg/kg diet): retinol acetate, 38.0; cholecalciferol, 13.2; alpha-tocopherol, 210.0; thiamin, 115.0; riboflavin, 380.0; pyridoxine HCl, 88.0; pantothenic acid, 368.0; niacin acid, 1030.0; biotin, 10.0; folic acid, 20.0; vitamin B₁₂, 1.3; inositol, 4000.0; ascorbic acid, 500.0。2) Mineral mixture (mg/kg diet): MgSO₄·7H₂O, 3568.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 25568.0; KCl, 3020.5; KAl(SO₄)₂, 8.3; CoCl₂, 28.0; ZnSO₄·7H₂O, 353.0; Ca-lactate, 15968.0; CuSO₄·5H₂O, 9.0; KI, 7.0; MnSO₄·4H₂O, 63.1; Na₂SeO₃, 1.5; C₆H₅O₇Fe·5H₂O, 1533.0; NaCl, 100.0; NaF, 4.0

直径 80 cm 的圆形养殖桶中,控制水深为 40 cm 左右。微流水养殖(0.4 L/min),溶氧为 5.0–8.0 mg/L,氨氮、亚硝氮浓度<0.1 mg/L,水温为 16–18℃,pH 为 7.8–8.2,盐度为 28–30。实验期间,每天饱食投喂两次(08:30, 16:30),30 min 后,排残饵,数颗粒,计算残饵量。正式实验时间为 2014 年 2 月 28 日–2014 年 4 月 28 日,实验周期 60 d。

1.4 样品采集和分析

实验开始前,随机取 10 尾大菱鲆用于常规营养成分分析。养殖实验结束前饥饿 24 h,称每桶鱼体总重,计算增重率。经 MS-222 麻醉后,每桶随机取 10 尾鱼,称量体重,测量体长。随机取 3 尾鱼用于全鱼体组成的常规分析,剩余 7 尾采集血清、肝脏、肠道及背肌样品。血清在 4℃ 静置 4 h 后,4℃ 离心(4000 r/min, 10 min),取上清液置于–80℃ 超低温冰箱中保存。其他样品均放于–20℃ 冰箱中保存。计算增重率(Weight gain rate, *WGR*)、饲料效率(Feed efficiency, *FE*)、蛋白质效率(Protein efficiency ratio, *PER*)、特定生长率(Specific growth rate, *SGR*)、肝体比(Hepatosomatic index, *HSI*)、脏体比(Visceral index, *VSI*)、肥满度(Condition factor, *CF*)等指标,计算公式如下:

增重率(*WGR*, %)

$= 100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{初始体重}$

饲料效率(*FE*, %) = $100 \times \text{增重} / \text{饲料消耗量}$

蛋白质效率(*PER*)

$= \text{增重} / (\text{摄食量} \times \text{饲料蛋白质含量} \%)$

特定生长率(*SGR*, %/d) = $(\ln \text{结束平均体重} - \ln \text{开始平均体重}) / \text{实验天数} \times 100\%$

肝体比(*HSI*, %) = $100 \times \text{肝脏重量} / \text{鱼体重}$

脏体比(*VSI*, %) = $100 \times \text{内脏重量} / \text{鱼体重}$

肥满度(*CF*, g/cm³) = $100 \times \text{体重} / (\text{体长})^3$

饲料及组织样品水分测定采用恒温干燥法(105℃),粗蛋白测定采用杜马斯(LECO, FP-528)燃烧定氮法,粗脂肪测定采用索氏抽提法,粗灰分测定采用箱式电阻炉灼烧法(550℃),能量的测定采用全自动氧弹量热仪(PARR 6100, 美国)。

血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(TCHO)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)及低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、碱性磷酸酶(ALP)采用全自动生化分析仪(7020 型, Hitachi, 日本)进行测定,反应温度均为 37℃,所用试剂盒由北京利德曼生化技术有限公司提供。血清中溶菌酶(LSZ)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。

1.5 数据统计与分析

数据结果统一采用平均值±标准差($X \pm SD$)的形式表示,差异显著水平为 0.05。采用数据分析软件 SPSS 17.0 对所得数据进行双因素方差分析(Two-way ANOVA)。

2 结果

2.1 对生长性能、饲料利用效果及形体指标的影响

饲料中添加壳寡糖和低聚木糖对大菱鲆生长性能、饲料利用效果以及形体指标的影响见表 2。由表 1 可知,与对照组(T1)相比,饲料中添加单一寡糖(壳寡糖或低聚木糖)以及二者交互水平组均能显著提高大菱鲆幼鱼的增重率(*WGR*)、蛋白质效率(*PER*)、特定生长率(*SGR*)和饲料利用率(*FE*)($P < 0.05$)。其中,单独添加低聚木糖时,添加 1.0%的低聚木糖组促生长效果要优于 0.5%的低聚木糖组,与对照组相比,T3 组的特定生长率显著提高了 5.08%($P < 0.05$),鱼体增重率显著提高了 8.7%($P < 0.05$),蛋白质效率显著提高了 11.82%($P < 0.05$),饲料利用率显著提高了 10%($P < 0.05$)。当单独添加壳寡糖时,添加 1.0%的壳寡糖促生长效果显著优于添加 0.5%的壳寡糖组($P < 0.05$),与对照组(T1)相比,T7 组的特定生长率显著提高了 9.2%($P < 0.05$),增重率显著提高了 15.55%($P < 0.05$),蛋白质效率显著提高了 16.82%($P < 0.05$),饲料系数显著降低了 17.78%($P < 0.05$)。当同时使用壳寡糖和低聚木糖时,0.5%壳寡糖与 1.0%低聚木糖组合(T6)以及 1.0%壳寡糖和 1.0%低聚木糖组合(T9)促生长效果最好、饲料系数最低、蛋白质效率最高,与对照组相比,特定生长率显著提高了 10.92%($P < 0.05$),增重率显著提高了 18.75%($P < 0.05$),蛋白质效率显著提高了 20.91%($P < 0.05$),饲料系数显著降低了 17.78%($P < 0.05$),促生长效果和饲料利用率均优于添加单一寡糖(壳寡糖或低聚木糖)组。

单独添加壳聚糖显著降低了大菱鲆幼鱼的肝体比($P < 0.05$),提高了脏体比和肥满度。单独添加低聚木糖降低了大菱鲆幼鱼的肝体比,提高了脏体比,对肥满度无显著影响($P > 0.05$)。添加低聚木糖和壳寡糖降低了大菱鲆幼鱼肝体比,提高了肥满度,对脏体比影响不显著($P > 0.05$)。由双因素方差统计分析可知,饲料中添加不同水平的壳寡糖和低聚木糖对大菱鲆幼鱼的鱼体增重率和特定生长率存在显著的交互作用($P < 0.05$),对饲料系数、蛋白质效率以及形体指标均无显著交互作用($P > 0.05$)。

表2 饲喂实验饲料对大菱鲂生长性能、饲料利用效果及形体指标的影响(平均值±标准差, n=3)
Tab.2 Effects of Feeding the experimental diets on growth performance, feed utilization and physical indicator of *S. maximus* (Mean±SD, n=3)

饲料组 Dietary treatments	特定增长率 SGR(%/d)	增重率 WGR(%)	饲料系数 FCR	蛋白质效率 PER	肝体比 HIS(%)	脏体比 VSI(%)	肥满度 CF(%)
T1	1.77±0.03 ^a	189.45±5.64 ^a	0.85±0.05 ^d	2.36±0.16 ^a	1.39±0.05 ^b	5.38±0.26 ^{ab}	3.39±0.15 ^a
T2	1.79±0.03 ^{ab}	191.54±4.62 ^{ab}	0.83±0.04 ^{cd}	2.41±0.10 ^a	1.28±0.08 ^{ab}	5.41±0.18 ^{ab}	3.39±0.05 ^a
T3	1.80±0.03 ^{ab}	194.66±5.34 ^{ab}	0.82±0.01 ^{bcd}	2.43±0.03 ^a	1.37±0.08 ^b	5.41±0.20 ^{ab}	3.34±0.16 ^a
T4	1.81±0.01 ^{ab}	195.94±1.11 ^{ab}	0.83±0.03 ^{bcd}	2.41±0.11 ^a	1.22±0.09 ^a	5.47±0.33 ^b	3.46±0.15 ^a
T5	1.82±0.01 ^b	198.71±1.51 ^b	0.79±0.01 ^{abc}	2.49±0.02 ^{ab}	1.24±0.06 ^{ab}	5.61±0.09 ^b	3.40±0.10 ^a
T6	1.92±0.01 ^d	216.97±1.34 ^d	0.75±0.01 ^a	2.64±0.02 ^b	1.19±0.06 ^a	5.24±0.17 ^{ab}	3.39±0.07 ^a
T7	1.88±0.02 ^c	208.98±3.42 ^c	0.77±0.03 ^{ab}	2.47±0.10 ^a	1.12±0.07 ^a	5.30±0.23 ^{ab}	3.52±0.11 ^{ab}
T8	1.88±0.03 ^c	209.77±6.49 ^{cd}	0.77±0.01 ^{abc}	2.47±0.02 ^a	1.14±0.11 ^a	5.25±0.08 ^{ab}	3.46±0.11 ^a
T9	1.91±0.02 ^{cd}	214.78±3.41 ^{cd}	0.76±0.04 ^a	2.51±0.12 ^{ab}	1.16±0.11 ^a	5.04±0.14 ^a	3.68±0.08 ^b

双因素方差分析 Two-way ANOVA analysis

	COS	XOS	COS × XOS
SGR	***	***	**
WGR	***	***	*
FCR	**	*	ns
PER	*	*	ns
HIS	***	ns	ns
VSI	*	ns	ns
CF	*	ns	ns

注: 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$) * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$, ns: 不显著。以下表格同

Note: Different superscripted capital letters within the same column mean significant different ($P<0.05$) * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$, ns: non-significant. The same below

2.2 饲料中壳寡糖和低聚木糖水平对大菱鲂体组成的影响

从表3可知, 饲料中添加单一寡糖(壳寡糖或低聚木糖)或两种寡糖不同组合对大菱鲂幼鱼鱼体水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分均无显著影响($P>0.05$)。双因素方差统计分析表明, 饲料中添加壳寡糖和低聚木糖对大菱鲂幼鱼粗脂肪、粗灰分存在明显交互作用($P<0.05$)。

2.3 饲料壳寡糖和低聚木糖水平对大菱鲂幼鱼血脂的影响

从表4可知, 与对照组相比, 添加单一寡糖(壳寡糖或低聚木糖)时, 均显著降低了甘油三酯(TG)和总胆固醇(TCHO)水平($P<0.05$), 对高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)均无显著影响($P>0.05$)。当同时添加低聚木糖和壳寡糖时, 能降低甘油三酯(TG)水平, 但没有显著效果, 其中, T6

表3 饲喂实验饲料对大菱鲂全鱼体组成的影响(平均值±标准差, n=3)(湿重%)

Tab.3 Effects of feeding experimental diets on the final body composition of *S. maximus* (Mean±SD, n=3)(Wet weight%)

饲料组 Dietary treatments	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Ash
T1	77.22±0.45	15.75±0.21	3.31±0.32 ^a	3.61±0.01 ^b
T2	76.90±0.49	15.63±0.27	3.71±0.18 ^{ab}	3.57±0.07 ^b
T3	77.02±0.24	15.60±0.03	3.91±0.22 ^b	3.33±0.05 ^a
T4	76.94±0.19	15.70±0.21	3.77±0.21 ^{ab}	3.58±0.13 ^b
T5	76.97±0.05	15.61±0.12	3.92±0.21 ^b	3.44±0.10 ^{ab}
T6	76.84±0.06	15.35±0.06	3.43±0.10 ^a	3.54±0.10 ^b
T7	76.84±0.20	15.38±0.19	3.38±0.22 ^a	3.50±0.12 ^b
T8	76.40±0.08	15.67±0.05	3.59±0.97 ^{ab}	3.53±0.03 ^b
T9	76.68±0.28	15.46±0.08	3.45±0.42 ^a	3.55±0.06 ^b

双因素方差分析 Two-way ANOVA analysis

	COS	XOS	COS × XOS
水分	ns	ns	ns
粗蛋白	ns	ns	ns
粗脂肪	ns	ns	*
粗灰分	ns	ns	*

表 4 饲喂实验饲料对大菱鲂幼鱼血脂的影响(平均值±标准差, $n=3$)Tab.4 Effects of feeding experimental diets on serum lipid on *S. maximus* (Mean±SD, $n=3$)

饲料组 Dietary treatments	甘油三酯 TG(mmol/L)	总胆固醇 TCHO(mmol/L)	高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C(mmol/L)	低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C(mmol/L)
T1	4.87±0.53 ^b	3.94±0.74 ^c	3.34±0.91 ^{bc}	0.28±0.08
T2	2.68±0.01 ^a	2.88±0.61 ^a	2.68±0.11 ^a	0.30±0.05
T3	2.53±0.36 ^a	2.72±0.19 ^a	2.32±0.23 ^a	0.31±0.04
T4	1.94±0.48 ^a	2.87±0.61 ^a	2.71±0.53 ^a	0.30±0.02
T5	2.52±0.53 ^a	3.73±0.24 ^c	3.19±0.35 ^{bc}	0.33±0.02
T6	2.94±0.34 ^a	3.78±0.10 ^c	3.56±0.14 ^c	0.30±0.04
T7	2.64±0.76 ^a	3.41±0.53 ^{bc}	3.26±0.29 ^{bc}	0.26±0.09
T8	2.37±0.95 ^a	3.34±0.88 ^{bc}	3.24±0.92 ^{bc}	0.30±0.05
T9	2.92±0.96 ^a	3.90±0.78 ^c	3.69±0.61 ^c	0.31±0.04
双因素方差分析 Two-way ANOVA analysis				
COS	*	*	ns	ns
XOS	*	*	*	ns
COS × XOS	*	*	*	ns

和 T9 组能提高高密度脂蛋白胆固醇的含量。由双因素方差分析可知,壳寡糖与低聚木糖的交互水平对大菱鲂幼鱼血清中的甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇均有显著影响($P<0.05$),对大菱鲂幼鱼血清中的低密度脂蛋白胆固醇无显著影响($P>0.05$)。

2.4 饲料壳寡糖和低聚木糖水平对大菱鲂幼鱼血清生化指标的影响

从表 5 可知,与对照组相比,单独添加壳寡糖能显著提高大菱鲂幼鱼血清溶菌酶的活力($P<0.05$),单独添加低聚木糖也能提高大菱鲂幼鱼血清溶菌酶的活力,但差异不显著($P>0.05$),同时添加 1.0%的壳寡

糖和 1.0%的低聚木糖时,则会降低血清中溶菌酶的活力。大菱鲂幼鱼血清中的超氧化物歧化酶和过氧化氢酶在各处理组间均没有显著性差异($P>0.05$)。由双因素统计分析可知,饲料中单独添加壳寡糖、低聚木糖以及二者交互作用对大菱鲂幼鱼血清的溶菌酶、碱性磷酸酶均有显著影响($P<0.05$)。

3 分析与讨论

3.1 低聚木糖和壳寡糖对大菱鲂幼鱼生长及饲料利用效果的影响

以往有关大菱鲂(李勇等,2006)、斑点叉尾鲷(齐志涛

表 5 实验饲料对大菱鲂幼鱼血清溶菌酶、碱性磷酸酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶的影响(平均值±标准差, $n=3$)Tab.5 Effects of feeding experimental diets on LSZ, ALP, SOD, and CAT of juvenile *S. maximus* (Mean±SD, $n=3$)

饲料组 Dietary treatments	溶菌酶 LSZ(U/ml)	碱性磷酸酶 ALP(U/L)	超氧化物歧化酶 SOD(U/ml)	过氧化氢酶 CAT(U/ml)
T1	320.93±5.93 ^{ab}	22.67±0.58 ^{bc}	91.84±1.14	4.24±0.27
T2	328.84±8.67 ^{abc}	17.00±2.64 ^a	80.69±7.13	3.68±0.09
T3	321.11±9.21 ^{ab}	15.00±1.73 ^a	78.16±8.18	4.00±0.52
T4	356.60±9.53 ^{bc}	14.33±2.31 ^a	84.34±2.78	4.45±0.80
T5	335.31±12.20 ^{ab}	17.67±0.58 ^{ab}	86.50±7.07	4.02±0.43
T6	332.43±5.24 ^{abc}	22.67±2.89 ^{bc}	90.34±6.49	4.87±0.89
T7	349.69±4.89 ^c	22.00±3.00 ^{bc}	76.61±3.38	3.81±1.00
T8	341.06±2.49 ^{bc}	18.33±5.03 ^{ab}	88.47±3.40	4.78±0.86
T9	314.46±7.95 ^a	26.67±2.52 ^c	91.65±3.97	5.08±0.51
双因素方差分析 Two-way ANOVA analysis				
COS	**	**	ns	ns
XOS	***	*	ns	ns
COS × XOS	**	**	ns	ns

等, 2011)、虹鳟(刘含亮等, 2012)、宝石鲈(宋理平, 2009)¹⁾、罗非鱼(刘兴国等, 2004; 刘爱君等, 2009; 强俊等, 2009)、异育银鲫(熊沈学等, 2007)、凡纳滨对虾(黄燕华等, 2010)等的研究表明, 饲料中添加适宜水平的低聚木糖能显著提高鱼体增重率, 降低饲料系数。与此一致, 在本研究中, 与对照组相比, 饲料中单独添加低聚木糖, 大菱鲆的特定生长率提高了 5.08%, 增重率提高了 8.7%, 饲料系数降低了 10%, 这可能由于低聚木糖在体内发酵后被双歧杆菌和乳酸菌利用(Kimura *et al.*, 2002; Hsu *et al.*, 2004), 促进了有益菌的增殖并抑制了有害菌(周俊等, 2007; 雷浪伟等, 2005), 刺激了胃肠道上皮细胞的增生, 提高了消化酶的活性(Howard *et al.*, 1995), 促进了营养物质的吸收, 进而提高了水产动物的增重率, 降低了饲料系数。

壳寡糖是由 2-10 个氨基葡萄糖分子通过 β -1,4-糖苷键连接而成的低聚糖, 具有广谱抗菌和促生长作用(Rinaudo, 2006)。有关大西洋鲑鱼(Refstie, 1998)、罗非鱼(刘兴国等, 2004)、异育银鲫(曹丹等, 2004)、虹鳟(刘含亮等, 2012)、吉富罗非鱼(孙立威等, 2011)等的研究表明, 饲料中添加适宜的壳寡糖能显著提高鱼体生长性能、饲料利用率。在本研究中, 与对照组相比, 饲料中单独添加壳寡糖, 大菱鲆的特定生长率提高了 9.2%, 增重率提高了 15.55%, 饲料系数降低了 17.78%。

然而, 目前未见有关于壳寡糖和低聚木糖交互作用的研究。本研究表明, 二者的交互水平在增重率上极显著高于对照组, 说明二者之间存在一定的协同作用。其促生长的机理可能是因为寡糖可调节动物胃肠道微生物区系(Oyazabal *et al.*, 1996)、维护肠黏膜的完整性、改善肠道内环境(刘爱君等, 2009), 从而提高动物生产性能和饲料利用率。

3.2 低聚木糖和壳寡糖对大菱鲆幼鱼体成分和形体指标的影响

张荣斌等(2011)研究显示, 奥尼罗非鱼幼鱼饲料中添加一定量的低聚木糖对其体常规成分的影响不显著。华雪铭(2005)等在饲料中添加 0.2%、0.5%、1.0% 的壳聚糖, 显著提高了暗纹东方鲀肌肉中的蛋白含量, 降低了脂肪含量, 并在一定程度上降低肝体比。与上述研究结果一致, 在本研究中, 壳寡糖和低聚木糖对大菱鲆体成分影响不显著, 但能显著降低肌肉脂肪含量, 提高肌肉蛋白含量。壳寡糖能显著降低大菱鲆的肝体比和脏体比, 显著提高肥满度, 可能是因为

壳聚糖成分中的聚葡胺链带有 4 价铵离子, 具有较高的阴离子交换性能, 能黏合胆汁酸, 阻止胆汁酸循环, 降低脂肪吸收(魏涛等, 2000), 从而相应地减少肝脏解毒的负荷。然而, 二者交互作用对全鱼体成分却有显著影响, 表明低聚木糖在一定程度上促进了壳寡糖的添加效果。

3.3 低聚木糖和壳寡糖对大菱鲆幼鱼血清生化指标和非特异性免疫指标的影响

比较免疫学专家认为, 非特异性免疫防御机制是鱼类抵抗病原的第一道屏障, 除皮肤、黏膜、血脑屏障外, 还包括主要反映非特异性免疫能力的 SOD 和溶菌酶等(张永安等, 2000)。SOD 在防御氧的毒性、抗衰老、抗辐射、抗肿瘤、抗炎症以及提高机体自身免疫功能等方面起着非常重要的作用(Fletcher, 1982), 宋理平(2009)¹⁾在饲料中添加不同水平的低聚木糖, 显著降低了宝石鲈血清中血糖、甘油三酯和胆固醇含量。褚武英等(2008)在草鱼饲料中添加 0.4% 低聚木糖, 草鱼生长速度和血清总蛋白水平显著升高, 胆固醇含量显著降低。胡毅(2007)²⁾研究表明, 饲料中添加低聚木糖能显著降低凡纳滨对虾血清胆固醇和尿素氮含量。齐志涛等(2011)研究发现, 低聚木糖可显著降低斑点叉尾鲷血清中甘油三酯、总胆固醇、血糖含量。Lin 等(2012)研究表明, 日粮中添加 2 g/kg COS 可显著提高鲤鱼特定生长率, 显著增强血清溶菌酶活性, 从而有效抵抗病原微生物的感染。Choi 等(2012)研究表明, COS 作为壳聚糖酸解或酶解产物, 具有降血脂作用。孙立威等(2011)研究表明, 饲料中添加壳寡糖, 能在一定程度上降低吉富罗非鱼幼鱼血清 TG 和 HDL-C 的含量, 但无显著差异。徐后国等(2011)研究表明, 在每个枯草芽孢杆菌水平下, 饲料中添加 0.3% 和 0.6% 的壳寡糖显著提高了大黄鱼幼鱼血清溶菌酶的活性, 而对大黄鱼血清替代途径补体活力, 超氧化物歧化酶(SOD)活力及过氧化氢酶(CAT)活力没有显著性影响。Lee 等(1999)认为, COS 可通过与胆盐静电结合, 阻碍胆盐通过肠肝循环进行重吸收, 促使胆固醇转化为胆盐, 进而降低胆固醇含量。

本研究表明, 壳寡糖能显著降低甘油三酯的含量; 壳寡糖和低聚木糖均能在一定程度上降低总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇, 但差异不显著, 与上述研究结果类似。壳寡糖能显著提高大菱鲆血清中溶菌酶的活性, 但降低了碱性磷酸酶

1) 宋理平. 宝石鲈营养需求的研究. 山东师范大学博士研究生学位论文, 2009

2) 胡毅. 凡纳滨对虾饲料配方优化及几种饲料添加剂的应用. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2007

和超氧化物歧化酶的活性,可能原因是壳寡糖具有抗菌活性,由于壳寡(聚)糖分子带正电荷,分子中带有游离氨基可以与细胞表面带阴离子的物质或鞭毛荚膜等结构物质发生吸附,阻碍细菌正常代谢,或者结合氢离子在细菌表面形成一层高分子膜,阻止营养物质向细菌细胞内的运输(Helander *et al.*, 2001),小分子的壳寡糖还可以通过渗透进入细胞内部与细胞内部带阴离子的物质发生吸附,干扰细菌细胞的正常代谢(徐后国等, 2011),因此,降低了ALP和SOD的活性。

4 结论

本研究表明,低聚木糖和壳寡糖配合使用可显著提高大菱鲆幼鱼的生长效果,并且能在一定程度上提高其非特异性免疫能力以及调节血脂水平,二者之间有一定的协同作用。在本实验条件下,以增重率为评价指标,在大菱鲆幼鱼饲料中同时添加0.5%壳寡糖和1.0%的低聚木糖时,实验鱼取得最佳生长效果。

参 考 文 献

- 华雪铭,周洪琪,张宇峰,等. 饲料中添加壳聚糖和益生菌对暗纹东方鲀幼鱼生长及部分消化酶活性的影响. 水生生物学报, 2005, 29(3): 299-305
- 刘兴国,宋理平,周洪琪. 低分子壳聚糖对罗非鱼肝组织抗氧化能力和肝脂含量影响的研究. 海洋渔业, 2004, 26(4): 291-294
- 刘含亮,孙敏敏,王红卫,等. 壳寡糖对虹鳟生长性能、血清生化指标及非特异性免疫功能的影响. 动物营养学报, 2012, 24(3): 479-486
- 刘爱君,冷向军,李小勤,等. 甘露寡糖对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O.aureus*)生长、肠道结构和非特异性免疫的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2009, 35(3): 329-336
- 齐志涛,张启焕,仇明,等. 低聚木糖对斑点叉尾鲷生长及血液指标的影响. 水产科学, 2011, 30(12): 785-788
- 孙立威,文华,蒋明,等. 壳寡糖对吉富罗非鱼幼鱼生长性能、非特异性免疫及血液学指标的影响. 广东海洋大学学报, 2011, 31(3): 43-49
- 李勇,王优军,王雷,等. 不同添加剂及其组合对大菱鲆生长性能与水环境的影响. 饲料工业, 2006, 27(10): 25-28
- 张永安,孙宝剑,聂品. 鱼类免疫组织和细胞的研究概况. 水生生物学报, 2000, 24(6): 648-654
- 张荣斌,曹俊明,黄燕华,等. 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, 2011, 23(11): 2000-2008
- 明建华,刘波,周群兰,等. 功能性寡糖在水产动物饲料中的应用. 水产科学, 2008, 27(9): 490-493
- 周俊,王蓉,杨廷桂,等. 低聚木糖对肉鸭空肠菌群的影响. 黑龙江畜牧兽医, 2007(4): 62-63
- 徐后国,艾庆辉,麦康森,等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌和壳寡糖对大黄鱼幼鱼血清免疫指标的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2011, 41(Z2): 42-47
- 黄燕华,王国霞,刘襄河,等. 低聚木糖对凡纳滨对虾生长及消化道主要消化酶活性的影响. 华南农业大学学报, 2010, 31(3): 61-64
- 曹丹,周洪琪. 壳聚糖对异育银鲫的生长、蛋白质合成及肌肉营养成分的影响. 淡水渔业, 2004, 34(1): 6-9
- 强俊,王辉,李瑞伟,等. 低聚木糖对奥尼罗非鱼幼鱼生长、体成分和消化酶活力的影响. 淡水渔业, 2009, 39(6): 63-68
- 雷浪伟,李培荣,李志霞,等. 低聚木糖对模拟失重大鼠肠道微生态的影响. 中国微生态学杂志, 2005, 17(4): 244-246
- 褚武英,吴信,成嘉,等. 低聚木糖对草鱼生长性能及血液生化指标的影响. 饲料研究, 2008(6): 60-61
- 熊沈学,刘文斌,詹玉春,等. 低聚木糖梯度添加对异育银鲫生产性能的影响. 饲料研究, 2007(7): 60-62
- 魏涛,唐粉芳,高兆兰,等. 壳聚糖降血脂、降血糖及增强免疫作用的研究. 食品科学, 2000, 21(4): 48-52
- Choi CK, Kim EK, Kim YS, *et al.* Chitooligosaccharides decreases plasma lipid levels in healthy men. *Int J Food Sci Nutr*, 2012, 63(1): 103-106
- Fletcher TC. Non-specific defense mechanisms of fish. *Dev Comp Immunol*, 1982, 10(2): 123-132
- Helander IM, Nurmiaho-Lassila EL, Ahvenainen R, *et al.* Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gramnegative bacteria. *Int J Food Microbiol*, 2001, 71(2-3): 235-244
- Howard MD, Gordon DT, Garleb KA, *et al.* Dietary fructooligosaccharide, xylooligosaccharide and gum arabic have variable effects on cecal and colonic microbiota and epithelial cell proliferation in mice and rats. *J Nutr*, 1995, 125(10): 2604-2609
- Hsu CK, Liao JW, Chung YC, *et al.* Xylooligosaccharides and fructooligosaccharides affect the intestinal microbiota and precancerous colonic lesion development in rats. *J Nutr*, 2004, 134(6): 1523-1528
- Lee JK, Kim SU, Kim JH. Modification of chitosan to improve its hypocholesterolemic capacity. *Biosci Biotech Biochem*, 1999, 63(5): 833-839
- Lin SM, Mao SH, Guan Y, *et al.* Effects of dietary chitosan oligosaccharides and *Bacillus coagulans* on the growth, innate immunity and resistance of koi(*Cyprinus carpio koi*). *Aquaculture*, 2012, 342-343: 36-41
- Rinaudo M. Chitin and chitosan: properties and applications. *Prog Polym Sci*, 2006, 31(7): 603-632
- Oyazabal OA, Conner DE. Application of direct fed microbial bacteria and FOS for salmonella control in broilers during feed withdrawal. *Poultry Sci*, 1996, 75(2): 186-190
- Refstie S, Storebakken T, Roem AJ. Feed consumption and conversion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with fish meal, extracted soybean meal or soybean meal with

reduced content of oligosaccharides, trypsin inhibitors, lectins and soya antigens. *Aquaculture*, 1998, 162(3-4): 301-312
Kimura Y, Nagata YC, Buddington R. Nondigestible oligosa-

ccharides do not increase accumulation of lipid soluble environmental contaminants by mice. *J Nutr*, 2002, 132(1): 80-87

(编辑 陈辉)

Effects of Chitosan Oligosaccharide and Xylo-oligosaccharide on the Growth Performance, Body Composition and Serum Biochemistry of Juvenile Turbots (*Scophthalmus maximus*)

CAI Shengchang^{1,2}, ZHANG Limin^{2①}, ZHANG Derui³, WANG Jiying², MA Jingjing²,
WU Mingxin^{1,2}, SUN Yongzhi³, WANG Shixin³

(1. Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

2. Shandong Marine Resources and Environment Research Institute, Yantai 264006;

3. Shengsuo Fishery Feed Research Centre of Shandong Province, Yantai 265000)

Abstract Here we conducted a 2×3 two-factorial experiment to evaluate the effects of Chitosan oligosaccharide(COS) and Xylo-oligosaccharide(XOS) on the growth, body composition and serum biochemistry of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) with initial body weight of (15.46±0.06) g. The feeding trial lasted 8 weeks. Totally 9 diets were formulated to provide graded levels of COS (0, 0.5%, and 1.0%) and XOS (0, 0.5%, and 1.0%). The results showed that the levels of COS and XOS significantly affected the weight gain, specific growth rate, feed conversion, protein efficiency rate, muscle moisture and crude lipid of juvenile turbot ($P<0.05$). The addition of COS and XOS at different levels did not generate significant differences in the body composition and the muscle ash content ($P>0.05$). There were significant interactions between XOS and COS in the growth rate, weight gain, whole fish fat and ash, muscle fat and protein, serum triglycerides, high-density lipoprotein cholesterol, lysozyme and alkaline phosphatase ($P<0.05$). The results above implied that the combination of XOS and COS could significantly improve the growth of juvenile turbot, moderately enhance the non-specific immunity, and facilitate the regulation of the level of the serum lipid. According to our experimental data we recommend that 0.5% COS and 1.0% XOS should be the optimal combination in the diet.

Key words *Scophthalmus maximus*; Chitosan oligosaccharide; Xylo-oligosaccharide; Non-specific immune

① Corresponding author: ZHANG Limin, E-mail: zhanglimin@126.com