

复合酶制剂对欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)生长性能、消化酶及非特异性免疫的影响*

卢 静^{1,2} 黎中宝^{1,2} 陈 强^{1,2} 李文静^{1,2} 黄永春^{1,2}

(1. 集美大学水产学院 厦门 361021; 2. 福建省海洋渔业资源与生态环境重点实验室 厦门 361021)

摘要 选用 540 尾初重为(6.38 ± 0.26)g 的欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*), 随机分为 6 个处理(每个处理 3 个重复, 每个重复 30 尾鱼), 分别投喂添加了 0.05% (Diet 1)、0.10% (Diet 2)、0.15% (Diet 3)、0.20% (Diet 4)、0.25% (Diet 5)的复合酶制剂饲料, 另增设基础饲料为对照组(Diet 0), 研究复合酶制剂对欧鳗生长性能、消化酶活性及非特异性免疫的影响。6 周投喂结果表明: 随着复合酶制剂添加量的递增欧鳗增重率和特定生长率呈先增后降趋势, 其中 Diet 3 组增重率和特定生长率分别比对照组提高了 34.22%和 26.36%($P < 0.05$), 肝体指数及肥满度各组之间差异不显著($P > 0.05$); 复合酶制剂降低了鱼体粗灰分含量, 对鱼体含水量、粗脂肪及粗蛋白含量影响较小, 均无显著差异($P > 0.05$); 相比对照组各添加组鳗鱼肠道胰蛋白酶活性显著提高($P < 0.05$), 淀粉酶活性则随酶制剂浓度的增高呈先升后降趋势, 脂肪酶活性受酶制剂影响较小, 组间无显著差异($P > 0.05$); 各添加组鳗鱼血清中超氧化物歧化酶(SOD)、溶菌酶(LZM)、碱性磷酸酶(AKP)活性相比对照组均有不同程度的提高, 所有添加组鳗鱼血清总蛋白含量(TP)均显著高于对照组, Diet 3 组(0.15%)相比对照提高了 38.86%。综上所述, 饲料中添加适量的复合酶制剂具有促进鳗鲡生长、提高肠道消化酶活性和非特异性免疫的功能, 本试验条件下酶制剂最适添加浓度为 0.15%。

关键词 欧洲鳗鲡; 复合酶制剂; 生长性能; 体成分; 消化酶; 免疫酶

中图分类号 S963.73 doi: 10.11693/hyhz20141000278

作为一种安全、天然的饲料添加剂, 酶制剂不但有助于解决饲料资源短缺问题, 提高饲料利用率、促进动物生长, 而且具有减少环境污染, 无任何毒副作用的优点, 也因此被广泛地应用于畜禽养殖(黎中宝, 2004)。研究显示, 添加复合酶制剂可以补充断奶仔猪其肠道内源酶的不足, 减轻断奶仔猪应激, 促进仔猪生长(周芬, 2008; 陈权军等, 2012)。根据酶的作用机制及鱼类特有的生理、生活特点, 开发出适用鱼类的饲用酶制剂对水产业的绿色增产、提升效益具有现实意义。此外, 水产饲料具有蛋白质含量高的特点, 加入含蛋白酶的复合酶制剂能够弥补水产动物内源性蛋白酶的分泌不足, 提高蛋白源的利用率, 其含有的其它外源酶则能够分解其中的多种抗营养因子, 从

而促进养殖动物对饲料营养的消化吸收, 提高饲料效率, 促进生长(Farhangi *et al*, 2007; Lin *et al*, 2007; 周金敏等, 2012)。

国内外对复合酶制剂添加剂的研究呈逐年渐增趋势, Carter 等(1994)在豆粕替代鱼粉的饲料中添加复合酶制剂, 鲑鱼(*Oncorhynchus mykiss*)增长显著, 饲料转化率也得到提高, 甚至可使饲料媲美纯鱼粉饲料的投喂效果。Yildirim 等(2010)在饲料中额外添加复合酶制剂(含木聚糖酶、葡聚糖酶、果胶酶等)能显著提高非洲鲃(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)生长性能和饲料转化率。近几年国内在黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)(徐黎明, 2013)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)(陈建明等, 2009)、草鱼

* 厦门市科技项目: 鳗鲡环保型抗病促长添加剂的研制(3502Z20123026)。卢静, 硕士研究生, E-mail: 1076245973@qq.com

通讯作者: 黎中宝, 教授, 博士生导师, E-mail: lizhongbao@jmu.edu.cn

收稿日期: 2014-10-08, 收修改稿日期: 2014-11-15

(*Ctenopharyngodon idellus*)(王纪亭等, 2009)、异育银鲫(*Allogynogenetic crucian*)(王爱民等, 2006)等鱼种的研究均表明合理使用酶制剂能提高水产动物消化能力、促进饲料养分的吸收, 甚至在一定程度上提高鱼类免疫水平, 加速鱼类的生长。本试验以欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)为研究对象, 探讨饲料中添加不同水平的复合酶制剂对欧洲鳗鲡生长性能、消化酶活性和免疫的影响, 为复合酶制剂在欧洲鳗鲡水产配合饲料中的使用提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验用鱼及饲喂管理

试验用鱼初始体重为(6.38 ± 0.26)g, 购于福建省龙岩市一养鳗场。试验地点为集美大学海水试验场, 正式试验前将幼鳗暂养于循环过滤缸(1200L)中 15d。暂养期间, 每天定时 2 次(8:00, 18:00)投喂基础饲料。

暂养结束后挑选健康、规格基本一致的幼鳗 540 尾, 随机分到 18 个带有过滤系统的水族缸中(有效体积 120L), 并随机分为 6 个处理, 其中每个处理 3 个重复, 每重复 30 尾鳗鱼。正式试验期间每天早晚各饱食投喂一次(8:00, 18:00), 将粉状饲料加水搅拌制成团状饲料进行投喂, 待鱼摄食 25min 后吸去残饵和粪便, 并换水 1/5。试验期间光照为室内自然光源, 水温 21.5—24.5℃, 溶氧浓度 >7.0mg/L, 氨氮浓度 <0.21mg/L, pH 7.9—8.1。

1.2 试验设计及试验饲料

复合酶制剂(溢多酶), 主要包括中性蛋白酶和酸性蛋白酶, 兼具纤维素酶、木聚糖酶和 -葡聚糖酶, 由广州溢多利生物股份有限公司提供; 基础饲料(鳗鲡配合饲料), 由福建天马饲料公司提供(主要营养成分见表 1)。将复合酶制剂与基础饲料按逐级扩大法混匀, 配制成对照组(0%)、Diet 1 (0.05%)、Diet 2 (0.10%)、Diet 3 (0.15%)、Diet 4 (0.20%)、Diet 5 (0.25%)六种饲料, 于密封袋内-4℃冰箱保存备用。

表 1 欧洲鳗鲡基础饲料主要营养成分(干重%)

Tab.1 The proximate ingredients of basal diet for *A. anguilla* (dry weight %)

营养成分	干物质(%)	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)	灰分(%)
含量	94.21	46.29	9.41	9.81

1.3 样品采集及处理

投喂 42d 后禁食 24h, 对整缸鱼称重和计数, 每

缸随机捞取 6 尾用丁香酚麻醉处理, 待鱼侧翻, 称重、量体长, 并用 1ml 注射器尾部静脉采血, 所采血液放于 1.5mL 灭菌离心管中, 4℃静置 8h 后, 3000r/min、10min、4℃分离得血清, 将收集的血清以缸为单位进行合并, 保存于-80℃冰箱用于血清生化指标的分析。将采血后的鳗鲡置于冰盘上解剖, 分离出肝脏和肠道, 并将肝脏称重, 分离出的肠道快速剔除其内容物并立即放入液氮, 之后转移到-80℃冰箱中保存待用。另随机取 5 尾全鱼保存于-20℃冰箱, 用于鱼体成分分析。

肠道粗酶液的制备: 将冰水浴解冻后的肠道称重, 加入 9 倍体积(*V/W*)的预冷生理盐水, 在冰水浴中匀浆 5min, 制得肠道匀浆液, 再利用低温离心机(4℃, 4000r/min, 20min)将匀浆液离心取上清为 10% 肠道粗酶液, 置-80℃冰箱保存待测。

1.4 测定指标

1.4.1 生长指标分析 分别按以下各公式计算试验鱼增重率(weight gain rate, WGR)、特定生长率(specific growth rate, SGR)、成活率(survival rate, SR)、肝体指数(hepatosomatic indexes, HSI)和肥满度(condition factor, CF)5 种生长指标:

$$\text{增重率 WGR}(\%) = 100 \times (\text{末均重} - \text{初均重}) / \text{初均重}$$

$$\text{特定生长率 SGR}(\%/d) = 100 \times (\ln \text{末均重} - \ln \text{初均重}) / \text{试验天数}$$

$$\text{成活率 SR}(\%) = 100 \times (\text{收获尾数} / \text{放养尾数})$$

$$\text{肝体指数 HSI}(\%) = 100 \times (\text{肝胰脏重} / \text{鱼体重})$$

$$\text{肥满度 CF}(\%) = 100 \times \text{鱼体重}(\text{g}) / \text{体长}^3(\text{cm}^3)$$

试验鳗鱼全体和饲料常规营养成分的测定方法:

粗蛋白含量的测定采用凯氏定氮法(总氮 × 6.25); 索氏抽提法(乙醚为抽提液)测粗脂肪; 马福炉灼烧法(550℃)测粗灰分; 105℃常压烘箱干燥恒重法测水分。

1.4.2 消化酶及血清免疫酶活性测定 胰蛋白酶活性、肠道淀粉酶(AMS)、脂肪酶(LPS)及血清总超氧化物歧化酶(T-SOD)、溶菌酶(LZM)、碱性磷酸酶(AKP)活性和血清总蛋白浓度(TP)含量均采用南京建成生物工程研究所生产的相应试剂盒测定, 操作步骤按照说明书进行。

1.4.3 统计方法 各组试验数据均用 SPSS16.0 统计软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 若差异显著, 则用 Duncan 法进行多重比较, 差异显著水平 $P < 0.05$ 。所得数据均以平均值 ± 标准误(Mean ± SE)进行表示。

2 结果

2.1 复合酶制剂对欧洲鳗鲡生长性能的影响

经过 6 周饲养, 各组鳗鱼的末均重、增重率、特定生长率、肝体指数、肥满度和成活率见表 2。随着复合酶制剂添加量的增加欧鳗增重率和特定生长率呈先增后降趋势, Diet 1、Diet 3 两组与对照组形成显著差异($P < 0.05$)。其中 Diet 3 组增重率和特定生长率分别比对照组提高了 34.22%和 26.36%, 并显著高于

其它组。各处理组之间的欧鳗肝体指数和肥满度均无显著差异($P > 0.05$), 鳗鲡存活率均达到 100%。

2.2 复合酶制剂对欧洲鳗鲡体成分的影响

表 3 为鱼体水分、粗脂肪、粗蛋白和灰分含量测定结果, 饲料添加复合酶制剂降低了鱼体灰分含量, 除 Diet 2 组外其它组欧鳗鱼体灰分含量与对照组差异显著($P < 0.05$), 欧洲鳗鲡鱼体水分、粗脂肪及粗蛋白含量各组之间均无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 复合酶制剂对欧洲鳗鲡生长的影响
Tab.2 Effects of multi-enzyme on the growth performance of *A. anguilla*

指标	处理组					
	对照组(0%)	Diet 1 (0.05%)	Diet 2 (0.10%)	Diet 3 (0.15%)	Diet 4 (0.20%)	Diet 5 (0.25%)
初均重(g)	6.22 ± 0.05 ^a	6.26 ± 0.05 ^a	6.37 ± 0.18 ^a	6.40 ± 0.08 ^a	6.59 ± 0.10 ^a	6.64 ± 0.23 ^a
末均重(g)	9.88 ± 0.13 ^b	10.41 ± 0.22 ^b	10.37 ± 0.25 ^b	11.46 ± 0.24 ^a	10.58 ± 0.20 ^{ab}	10.70 ± 0.46 ^{ab}
增重率 WGR (%)	58.94 ± 0.75 ^c	66.39 ± 2.42 ^b	62.89 ± 2.26 ^{bc}	79.11 ± 2.41 ^a	60.65 ± 0.52 ^{bc}	61.03 ± 1.56 ^{bc}
特定生长率 SGR (%/d)	1.10 ± 0.01 ^c	1.21 ± 0.03 ^b	1.16 ± 0.03 ^{bc}	1.39 ± 0.03 ^a	1.13 ± 0.01 ^{bc}	1.13 ± 0.02 ^{bc}
肝体指数 HSI (%)	2.21 ± 0.13 ^a	2.29 ± 0.14 ^a	1.98 ± 0.08 ^a	2.31 ± 0.10 ^a	2.22 ± 0.09 ^a	2.02 ± 0.10 ^a
肥满度 CF (%)	0.133 ± 0.009 ^a	0.141 ± 0.007 ^a	0.134 ± 0.002 ^a	0.144 ± 0.007 ^a	0.142 ± 0.005 ^a	0.133 ± 0.004 ^a
存活率 SR (%)	100 ± 0.00 ^a	100 ± 0.00 ^a	100 ± 0.00 ^a	100 ± 0.00 ^a	100 ± 0.00 ^a	100 ± 0.00 ^a

同行上标小写字母不同者表示差异显著($P < 0.05$)

表 3 复合酶制剂对欧洲鳗鲡体成分的影响(湿重%)
Tab.3 Effects of multi-enzyme on the whole-body composition of *A. anguilla* (wet weight %)

处理组	水分(%)	粗脂肪(%)	粗蛋白(%)	灰分(%)
对照组(0%)	73.06 ± 0.15 ^a	6.01 ± 0.12 ^a	18.61 ± 0.19 ^a	2.68 ± 0.02 ^a
Diet 1 (0.05%)	73.65 ± 0.05 ^a	6.06 ± 0.11 ^a	17.87 ± 0.15 ^a	2.48 ± 0.06 ^b
Diet 2 (0.10%)	73.38 ± 0.49 ^a	6.18 ± 0.07 ^a	18.59 ± 0.32 ^a	2.60 ± 0.03 ^{ab}
Diet 3 (0.15%)	74.17 ± 0.44 ^a	5.89 ± 0.08 ^a	18.08 ± 0.26 ^a	2.46 ± 0.02 ^b
Diet 4 (0.20%)	73.62 ± 0.51 ^a	6.05 ± 0.16 ^a	18.09 ± 0.28 ^a	2.44 ± 0.04 ^b
Diet 5 (0.25%)	74.02 ± 0.15 ^a	5.88 ± 0.04 ^a	18.28 ± 0.22 ^a	2.50 ± 0.08 ^b

同列上标小写字母不同者表示差异显著($P < 0.05$), 下同

2.3 复合酶制剂对欧洲鳗鲡肠道消化酶的影响

如表 4 所示, 饲料复合酶制剂显著提高了欧洲鳗鲡肠道胰蛋白酶活性, 所有添加组欧鳗胰蛋白酶活性均显著高于对照组($P < 0.05$)。欧鳗肠道淀粉酶活性则随酶制剂浓度的增高呈先升后降趋势, 除 Diet 5 组外其它各添加组淀粉酶活性均显著高于对照组($P < 0.05$), Diet 2 组到达最高峰值。肠道脂肪酶活性受酶制剂添加水平影响较小, 各组间无显著差异($P > 0.05$)。

2.4 复合酶制剂对欧洲鳗鲡血清免疫指标的影响

如表 5 所示, 复合酶制剂能不同程度的提高欧鳗血清免疫指标。随着饲料中复合酶浓度的增加, 超氧化物歧化酶(SOD)活性呈先升后降趋势, 各添加组

表 4 复合酶制剂对欧洲鳗鲡肠道消化酶活性的影响

Tab.4 Effects of multi-enzyme on the activities of intestinal digestive enzymes of *A. anguilla*

处理组	胰蛋白酶 (U/mg prot)	淀粉酶 (U/g prot)	脂肪酶 (U/g prot)
对照组(0%)	170.24 ± 1.05 ^c	21.38 ± 1.34 ^d	25.63 ± 0.33 ^a
Diet 1 (0.05%)	189.73 ± 0.81 ^a	24.51 ± 1.06 ^{bc}	24.77 ± 2.34 ^a
Diet 2 (0.10%)	176.71 ± 1.30 ^b	30.06 ± 0.41 ^a	23.41 ± 0.82 ^a
Diet 3 (0.15%)	187.52 ± 0.33 ^a	24.85 ± 0.84 ^{bc}	22.51 ± 0.96 ^a
Diet 4 (0.20%)	187.44 ± 0.79 ^a	26.30 ± 1.11 ^b	22.00 ± 0.78 ^a
Diet 5 (0.25%)	186.24 ± 2.39 ^a	23.11 ± 0.49 ^{cd}	22.17 ± 0.92 ^a

SOD 活性显著高于对照组($P < 0.05$), Diet 3、Diet 4 组酶活达最高水平。溶菌酶(LZM)和碱性磷酸酶(AKP)活性与 SOD 活性变化趋势趋于一致, 各添加组酶活

表 5 复合酶制剂对欧洲鳗鲡免疫功能的影响
Tab.5 Effects of multi-enzyme on the immune response of *A. anguilla*

处理组	超氧化物歧化酶 SOD(U/mL)	溶菌酶 LZM(U/mL)	碱性磷酸酶 AKP (金氏单位/100mL)	血清总蛋白浓度 TP(mg/mL)
对照组(0%)	400.35 ± 2.97 ^d	79.88 ± 0.98 ^d	2.36 ± 0.03 ^c	24.86 ± 1.03 ^c
Diet 1 (0.05%)	413.05 ± 2.52 ^c	129.76 ± 0.47 ^c	3.32 ± 0.09 ^{ab}	28.90 ± 0.49 ^b
Diet 2 (0.10%)	423.79 ± 1.73 ^b	131.26 ± 1.18 ^c	3.05 ± 0.10 ^b	30.41 ± 1.60 ^b
Diet 3 (0.15%)	436.35 ± 1.81 ^a	139.33 ± 0.46 ^a	3.55 ± 0.13 ^a	34.52 ± 1.20 ^a
Diet 4 (0.20%)	431.18 ± 1.57 ^a	138.72 ± 0.48 ^a	3.53 ± 0.11 ^a	29.86 ± 0.45 ^b
Diet 5 (0.25%)	418.03 ± 1.20 ^{bc}	135.46 ± 1.27 ^b	3.14 ± 0.09 ^b	28.42 ± 1.37 ^b

均显著高于对照组($P < 0.05$), 其中 LZM 活性在 Diet 3、Diet 4 组酶活均达最高水平。各添加组 AKP 活性和血清总蛋白浓度(TP)均显著高于对照组($P < 0.05$), Diet 3、Diet 4 组欧鳗血清 AKP 活性处于较高水平, Diet 3 组血清 TP 最高且相比对照组提高了 38.86%。

3 讨论

3.1 复合酶制剂对欧洲鳗鲡生长的影响

已有研究表明, 在水产饲料中添加适量的复合酶制剂对养殖品种具有促生长作用。黄颡鱼增重率、特定生长率和摄食量随着饲料中复合酶制剂添加量的增加呈逐渐升高趋势, 400mg/kg 剂量的酶制剂使鱼增重率相比对照组显著提高了 15.4% (徐黎明, 2013)。周小秋(2001)和王纪亭等(2009)分别在鲤鱼和草鱼饲料中添加复合酶制剂均使鱼体增重、特定生长率等生长指标呈不同程度的提高。陈建明等(2009)在饲料中添加 1%—3%的中性蛋白酶制剂能促进青鱼生长和降低饲料系数, 其中添加 1%的酶制剂能显著提高青鱼增重, 但过低或过高浓度的酶制剂并不能进一步促进青鱼的生长。本试验选用的复合酶制剂主要成分包括中性蛋白酶和酸性蛋白酶, 兼具纤维素酶、木聚糖酶和 α -葡聚糖酶种, 刘维德(2000)曾选取包括溢多酶及另外四种不同厂家的复合酶制剂投喂普通草鱼 50 天, 比较得出添加 1%溢多酶组草鱼生长性能显著优于对照组及其它各处理组。本试验中, 随着复合酶制剂添加量的增加欧鳗增重率和特定生长率呈先增后降趋势, 其中添加量为 0.15%组欧鳗增重率和特定生长率分别比对照组提高了 34.22%和 26.36%, 在所有组别间达到最大, 但当复合酶制剂超量(0.2%)添加时鱼增重、特定生长率反而呈现下降趋势。这说明饲料中添加适量复合酶制剂对欧洲鳗鲡有显著的促生长作用, 本试验条件下的复合酶制剂最优添加量为 0.15%, 这与上述刘维德(2000)所得最佳投喂剂量

接近。

关于酶制剂的促生长机理, 一般认为外源酶不但能在饲料的贮存中发挥酶效应, 对多种养分和抗营养因子具有一定的分解作用, 可促进饲料养分的消化吸收(王爱民等, 2006)。另一方面, 外源酶能够改善鱼体肠道内源酶的分泌, 与内源酶产生协同作用, 加强肠道对饲料养分的消化和吸收(李晓东等, 2005; 黄峰等, 2008), 具有调节体内生理和消化代谢机能, 对动物有保健的功能(黎中宝, 2004)。

3.2 复合酶制剂对欧洲鳗鲡体成分的影响

一般来说, 在饲养环境十分相近的条件下, 短时期投喂的同种鱼, 鱼体的营养组成是相对稳定的。本试验条件下, 投喂 6 周试验料欧鳗各组间全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪含量均没有显著性差异, 但灰分含量有所下降, 除 Diet 2 组外其它各添加组欧鳗鱼体灰分含量显著低于对照组。张建明等(2009)研究表明中性蛋白酶对青鱼体成分中的水分、粗脂肪、粗蛋白及灰分含量均无显著影响, 这与徐黎明(2013)、张丽(2008)对黄颡鱼和异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的研究结果相一致。本研究中欧鳗全体的粗灰分与上述试验结果基本相近, 粗灰分含量的差异可能与鱼种、饲料和养殖环境的综合作用有关, 需要进一步试验来验证。

3.3 复合酶制剂对欧洲鳗鲡肠道消化酶的影响

配合饲料中含有的多种营养物质必须经酶解后方能被动物消化利用, 因酶具有严格的专一性和特异性, 使用单一酶系的作用效果要低于使用多酶系统。有研究表明, 添加外源酶不但不会引起肠道内源酶的“反馈性”抑制, 反而能促进内源性消化酶的分泌(施培松, 2005), 利用各种消化酶和非消化酶的协同作用, 可最大限度地提高饲料中能量、蛋白质和纤维素等营养物质的利用率, 从而达到促进生长节约饲料的目的。王爱民等(2006)在饲料中添加外源酶(β -

葡聚糖酶等 8 种复合酶)显著提高了异育银鲫中肠蛋白酶、淀粉酶活性,降低了肠道食糜粘度,加快食糜排空速度,促进了营养物质的消化吸收。由蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶和果胶酶复合而成的复合酶制剂投喂黄颡鱼 8 周后,鱼胃蛋白酶、淀粉酶和肠道蛋白酶活性均得到提高,但鱼肠道淀粉酶活性却呈下降趋势(徐黎明, 2013)。本试验所选用由中性蛋白酶和酸性蛋白酶两种内源酶同时兼具纤维素酶、木聚糖酶和 - 葡聚糖酶三种外源酶组成的复合酶制剂,投喂幼鳊 6 周后,所有添加组欧鳊肠道胰蛋白酶活性均显著高于对照组,肠道淀粉酶活性则随酶制剂浓度的增高呈先升后降趋势,其中添加量为 0.1% 组欧鳊肠道淀粉酶活力最高,各添加组肠道脂肪酶活性虽相比于对照组呈略微下降趋势,但无显著差异。消化酶是联系营养状态和生长发育的中间指标,而鳊鱼肠道消化酶受多种因素如温度、饲料、食性、添加剂等的影响(黄永春, 2012),本试验条件下在基础饲料添加适量的复合酶制剂能促进鳊鱼肠道胰蛋白酶和淀粉酶消化酶的分泌,对肠道脂肪酶分泌影响较小。总之,饲料添加适量浓度的复合酶制剂能够在一定程度上促进鳊鱼对饲料的消化吸收,加快鳊鱼生长速度。

3.4 复合酶制剂对欧洲鳊血清非特异性免疫指标的影响

血清中多种免疫因子在防止鱼类感染,维持机体健康中扮演着重要角色,血清中 SOD 酶活性的高低反应了机体清除氧自由基的能力,血清 LZM 具溶菌作用可抵抗各种各样病原菌的侵袭。钟国芳等(2005)在罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)饲料中添加复合酶制剂(由淀粉酶、纤维素分解酶和蛋白酶组成),显著提高了鱼肝脏 SOD 和 LZM 活性。在饲料中添加 200mg/kg 的复合酶制剂(包括木聚糖酶、- 葡聚糖酶、蛋白酶等),异育银鲫血清 LZM 活性得到了显著提高,血清和脾脏 SOD 酶活性均显著高于其它各组(张丽, 2008)。本试验中,随着饲料中复合酶制剂浓度的增加,鳊鱼血清 LZM 与 SOD 活性变化趋势相一致,均有先增后降趋势,在复合酶制剂添加水平为 0.15%、0.2% 时这两种酶活性达最高水平。另外,血清中的 AKP 可通过水解作用破坏、改变有害异物的表面分子组成,加快吞噬细胞的吞噬作用及异物的降解,阻止病菌的繁殖从而能起到免疫防御作用(Bigij *et al*, 1987),血清 TP 包含了血清中的各种抗病因子及具杀菌功能的酶和蛋白质,其含量的升高表明机体蛋白质代谢加强,免疫功能的提高。本试验结

果表明,复合酶制剂能显著提高血清 AKP 活性,其中 0.15%、0.2% 的添加水平使欧鳊 AKP 活性处于较高水平。所有添加组鳊鱼血清 TP 含量均显著高于对照组, Diet 3 组(0.15%)相比对照提高了 38.86%,与王国霞等(2013)对黄颡鱼的研究结果相一致,说明饲料中添加适宜量的复合酶制剂能够提高幼鳊血液的免疫酶含量,增强其非特异性免疫功能。综合上述结果,本试验条件下鳊鱼饲料中复合酶制剂适宜添加浓度为 0.15%。

参 考 文 献

- 王纪亭, 万文菊, 康明江等, 2009. 复合酶制剂对草鱼生长性能、饲料养分消化率及免疫力的影响. 大连水产学院学报, 24(5): 417—422
- 王国霞, 刘群芳, 黄文庆等, 2013. 复合酶制剂对黄颡鱼生长性能、血清生化和免疫指标的影响. 南方水产科学, 9(6): 84—89
- 王爱民, 刘文斌, 王 恬, 2006. 外源酶对异育银鲫内源酶活性和肠道食糜排空速度的影响. 江苏农业学报, 22(1): 46—50
- 刘维德, 2000. 草鱼饲料中添加不同饲用酶制剂的应用效果试验. 中国水产, 5: 70—71
- 李晓东, 董成文, 2005. 复合酶制剂的研究进展. 河北畜牧兽医, 21(6): 40—41
- 张 丽, 2008. 外源酶制剂对异育银鲫生长、消化酶及非特异性免疫的影响. 武汉: 武汉工业学院硕士学位论文, 17, 20—21
- 陈权军, 张辉华, 蔡发国, 2012. 2 种复合酶制剂对断奶仔猪生产性能的影响. 饲料研究, (6): 5—13
- 陈建明, 叶金云, 徐尧兴等, 2009. 饲料中添加中性蛋白酶对青鱼生长、消化及鱼体组成的影响. 水生生物学报, 33(4): 726—731
- 周 芬, 2008. 断奶日龄和外源中性蛋白酶对仔猪生产性能、消化器官生长和消化酶活性的影响. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 63—81
- 周小秋, 2001. 几种酶制剂对鲤鱼生产性能的影响. 饲料广角, 15: 22—23
- 周金敏, 周 樱, 2012. 不同蛋白水平下复合酶制剂对草鱼生长和消化酶的影响研究. 饲料工业, 33(8): 43—46
- 钟国芳, 周洪琪, 2005. 木聚糖酶和复合酶制剂 PS 对尼罗罗非鱼生长性能、非特异性免疫能力的影响. 海洋渔业, 27(4): 286—291
- 施培松, 2005. 复合酶制剂对草鱼鱼种生长性能及消化酶的影响. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 7
- 徐黎明, 2013. 复合酶制剂在黄颡鱼饲料中的应用研究. 厦门: 集美大学硕士学位论文, 12—19
- 黄 峰, 张 丽, 周艳萍等, 2008. 复合酶制剂对异育银鲫生长、SOD 和溶菌酶活性的影响. 华中农业大学学报, 27(1):

96—100

- 黄永春, 2012. 日本鳗鲡及其僵鳗消化酶活性的比较研究. 动物营养学报, 24(5): 977—982
- 黎中宝, 2004. 饲料添加剂. 厦门: 厦门大学出版社, 169—174
- Bigij J, Dulak J, Plytycz B, 1987. Lymphoid organs of *Gasterosteus aculeatus*. Journal of Fish Biology, 31: 233—234
- Carter C G, Houlihan D F, Buchanan B *et al*, 1994. Growth and feed utilization efficiencies of seawater Atlantic salmon, *Salmon salar* L., fed a diet containing supplementary enzymes. Aquaculture Research, 25(1): 37—46
- Farhangi M, Carter C G, 2007. Effect of enzyme supplementation to dehulled lupin-based diets on growth, feed efficiency, nutrient digestibility and carcass composition of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquaculture Research, 38(12): 1274—1282
- Lin S, Mai K, Tan B, 2007. Effects of exogenous enzyme supplementation in diets on growth and feed utilization in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. Aquaculture Research, 38(15): 1645—1653
- Yildirim Y B, Turan F, 2010. Effects of exogenous enzyme supplementation in diet s on growth and feed utilization in African catfish, *Clarias gariepinus*. Journal of Animal and Veterinary Advances, 9(2): 327—331

EFFECTS OF MULTI-ENZYME ON GROWTH PERFORMANCE, ACTIVITIES OF DIGESTIVE ENZYMES AND IMMUNE RESPONSE OF *ANGUILLA ANGUILLA*

LU Jing^{1,2}, LI Zhong-Bao^{1,2}, CHEN Qiang^{1,2}, LI Wen-Jing^{1,2}, HUANG Yong-Chun^{1,2}

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Fishery Resources and Eco-environment, Xiamen 361021, China)

Abstract A feeding trial was conducted to study the effects of multi-enzyme on growth performance, digestibility, and immune response of *Anguilla anguilla*. Five hundred and forty fish were randomly allotted to six groups with triplication and fed diets containing multi-enzyme at a rate of 0.05% (Diet 1), 0.10% (Diet 2), 0.15% (Diet 3), 0.20% (Diet 4), 0.25% (Diet 5), and the control (Diet 0). After feeding for 6 weeks, the weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) increased and then decreased with increasing multi-enzyme in diets. In addition, the WGR and SGR of Diet 3 were greater than those of the control by 34.22% and 26.36%. However, no significant difference was found among all the treatments in hepatosomatic index or condition factor ($P>0.05$). The feed added multi-enzyme decreased the ash content, but no significant differences in body moisture, crude lipid content, and crude protein from those of the control ($P>0.05$). The apparent activities of intestinal trypsin were significantly higher in Diet 1—Diet 5 ($P<0.05$); amylase activities increased and then decreased with the multi-enzyme concentration; no significant differences in lipase in the fish fed with different diets ($P>0.05$). The activities of serum superoxide dismutase, lysozyme; alkaline phosphatase of multi-enzyme added groups increased significantly from those of the control ($P<0.05$); and the concentration of serum total protein of Diet 3 (0.15%) was higher than the control by 38.86% ($P<0.05$). Therefore, the feed added with 0.15% multi-enzyme can promote the growth performance, digestibility, and immune response of *A. anguilla*.

Key words *Anguilla anguilla*; multi-enzyme; growth performance; activities of digestive enzymes; immune response