

饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)生长、免疫功能以及抗病力的影响*

乐贻荣¹ 杨弘¹ 徐起群² 邹芝英¹ 祝璟琳¹
李大宇¹ 肖炜¹ 单航宇¹ 韩珏¹

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室 无锡 214081;
2. 南京农业大学无锡渔业学院 无锡 214081)

提要 采用单因素实验设计方法,进行了饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)生长、免疫功能和抗无乳链球菌能力影响的研究。结果表明,饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼生长和饲料利用率以及成活率不产生显著影响,蛋白质效率和蛋白质沉积率伴随着蛋白水平的升高显著下降。35%(D35)饲料组奥尼罗非鱼肝脏过氧化氢酶含量显著高于其它饲料组,然而奥尼罗非鱼肝脏溶菌酶、超氧化物歧化酶活性以及丙二醛含量并不受饲料蛋白水平的影响。无乳链球菌攻毒实验结果表明,蛋白水平对奥尼罗非鱼在攻毒后24h和48h后的累积死亡率是不存在显著影响。本实验的结果表明,24.8%(D25)蛋白水平饲料能够满足奥尼罗非鱼正常生长、以及维持机体正常的非特异性免疫功能和抗病力的营养需求。

关键词 奥尼罗非鱼;蛋白;免疫功能;抗病力

中图分类号 S963

罗非鱼(Tilapia)又称非洲鲫鱼,是隶属于鲈形目(Perciformes)、丽鱼科(Cichlidae)的热带鱼类。罗非鱼具有生长快、食性杂、对环境适应性强以及无肌间刺等优点,已经成为我国南方地区(广东、海南、广西、福建)规模最大的出口型养殖品种。

由于我国罗非鱼消费市场的价格相对较低,为适应养殖业发展,饲料成本也只能控制在一个较低的层次。已有的研究表明,奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)仔鱼(初始体重为0.021g)的蛋白质需求量为45%(董晓慧等,2009),相对较高。因此,营养平衡而且价格低廉的罗非鱼饲料配方的设计显得尤为重要。水产动物饲料中,蛋白质是必需的核心

营养物质,是相对最昂贵的原料,饲料蛋白质水平直接影响到饲料产品的价格和鱼类的生长。当饲料中蛋白质含量较低时,鱼类难以达到其最佳的生长速率(Abdel-Tawwab *et al.*, 2010),同时还会影响鱼类的成活率(Eguia *et al.*, 2000);当饲料中蛋白质水平过高时,鱼类会通过氧化脱氨基作用把过量的蛋白质分解代谢用于能量消耗,会产生较多的氨氮排泄物从而导致养殖水体污染加重,不利于鱼类的生长和生态的可持续发展(Engin *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2002; Sun *et al.*, 2007)。因此,提高饲料中非蛋白质营养素如脂肪水平,利用其对蛋白质的节约作用,使蛋白质最大程度地被利用于鱼体生长,而非用于能量消耗从而在

* 现代农业产业技术体系建设专项资金, CARS-49号; 现代农业人才支撑计划经费资助, 2011—2015年; 江苏省自然科学基金青年基金, BK2012092号; 中国水产科学研究院基本科研业务费专项资金项目, 2012AO508号; 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金, 2011JBFA04号。乐贻荣, 博士, 助理研究员, E-mail: yueyr@ffrc.cn

通讯作者: 杨弘, E-mail: yangh@ffrc.cn

收稿日期: 2012-05-04, 收修改稿日期: 2012-07-10

不影响鱼类生长前提下起到降低饲料蛋白质水平和成本作用,这对于提高罗非鱼养殖效益、减少环境胁迫和产业的可持续发展具有重要意义。

在实际养殖生产过程中,由无乳链球菌和海豚链球菌引起的罗非鱼链球菌病对我国罗非鱼养殖业的健康发展已造成了严重影响(祝璟琳等,2010)。蛋白质营养不良会降低动物的免疫性能(Kiron *et al.*, 1995; 蔡春芳等,2001; Li *et al.*, 2007a, b),增加感染疾病的几率。然而,目前关于蛋白质对鱼类免疫性能和抗病力的影响研究相对不足,蛋白质水平对奥尼罗非鱼免疫性能以及抗病力未见报道。鉴于此,本实验探讨蛋白质水平对奥尼罗非鱼生长、免疫功能以及对无乳链球菌抗病力的影响。以期在生产上配制高能低氮的环保型奥尼罗非鱼配合饲料提供数据参考和科学依据。

1 材料与方法

1.1 饲料配制

配制三组饲料来评价蛋白质水平对奥尼罗非鱼生长、免疫功能以及抗病力的影响。饲料的组成以及营养分析值见表1。通过调节酪蛋白和明胶含量配制D25、D30和D35三种蛋白水平饲料,饲料的粗蛋白含量实测值分别为24.8%、29.8%和34.9%,通过调节配方中玉米淀粉的含量确保各饲料等能。各种饲料原料粉碎后过60目筛,按表1的配方准确称量各种饲料原料,微量添加成分采取逐级扩大法混合均匀,再添加30%左右的水分,再次混匀后,压制成粒径为2mm的颗粒饲料,在空气中自然风干,放入封口袋后在冰箱中冷冻备用。

1.2 饲养管理

实验所用的奥尼罗非鱼来自国家罗非鱼产业技术体系研发中心试验基地(无锡)。实验开始前用商业饲料暂养2周。挑选健康、规格一致的奥尼罗非鱼随机分放在300L的玻璃钢桶中,每桶放养均重为2.06g左右的奥尼罗非鱼45尾,每种饲料随机投喂3个实验桶,每天投喂3次,时间分别为8:00、12:00和18:00,并确保杂交罗非鱼能在投喂饲料之后的30min内能够吃完,投喂量约为6%—7%体重,每天记录每个水族箱中奥尼罗非鱼的摄食量,并根据前一天的摄食量以及死鱼情况调整投喂量。整个实验期间,不间断充气增氧,水温恒定控制在28℃。

1.3 攻毒实验

生长实验结束后开始,每个水族箱中取9尾奥尼

罗非鱼进行无乳链球菌(*Streptococcus agalactiae*)应激实验,悬液浓度为 9.95×10^7 个/ml,注射剂量为0.2ml/尾(浓度及剂量通过预实验确定),注射方式为腹腔注射。分别在24h、36h以及48h观察记录奥尼罗非鱼的累积死亡率。

1.4 样品采集以及分析方法

实验开始时,取40尾鱼冷冻保存在-20℃冰柜中用以分析初始鱼体成分。5周养殖结束时,对每个水族箱中的奥尼罗非鱼计数并称总重。随机从每个箱中取5尾鱼用于体成分分析,各取5尾先测量体重和体长,再分别取出内脏和肝脏,分别称重以计算脏体比和肝体比。随机每个实验组各取5尾鱼,在尾柄处取血,用于分析白细胞总数(White blood cell, WBC)、血红蛋白(Haemoglobin, HGB)、红细胞总数(Red blood cell, RBCC)、血细胞比容(Haematocrit, HCT)。每桶随机取6尾鱼的肝脏于-80℃冷冻备用。分别测定肝脏样品中溶菌酶(LZM)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活力以及丙二醛(MDA)的含量。

采用国际标准方法分析饲料样品的营养成分,包括粗蛋白、粗脂肪、水分、灰分。水分含量用烘箱105℃常压干燥法烘至恒重;粗蛋白含量的测定用微量凯氏定氮法(总氮 $\times 6.25$);粗脂肪含量用索氏抽提法测定,提取有机试剂为乙醚;灰分含量用550℃马福炉高温灼烧法。血液中白细胞总数(WBC)、血红蛋白(HGB)、红细胞总数(RBCC)、血细胞比容(HCT)含量由江原医院检测中心进行分析测定。肝脏中溶菌酶(Lysozyme, LZM)、超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)和过氧化氢酶(Catalase, CAT)的活力以及丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量的测定采用生物素双抗体夹心酶联免疫吸附法(ELISA)。所用试剂盒均购自美国Assay公司(上海朗顿生物技术有限公司代理)。

1.5 计算公式以及统计分析方法

增重率(Weight gain, %)、特定生长率(Specific growth rate)、饲料系数(Feed conversion ratio)、成活率(Survival)、蛋白质效率(Protein efficiency ratio)、摄食量(Feed intake)、肥满度(Condition factor)、肝体比(Hepatosomatic index)、脏体比(Visceral ratio)以及蛋白质沉积率(Protein retention efficiency)用以下公式求得:

$$\text{增重率(WG\%)} = 100 \times (\text{终末均重} - \text{初始均重}) / \text{初始均重}$$

$$\text{特定生长率(SGR)} = 100 \times [\ln(\text{终末均重}) - \ln(\text{初始均重})] / \text{实验天数}$$

$$\text{饲料系数(FCR)} = \text{摄食量} / (\text{终末体重} - \text{初始体重})$$

成活率(%) = 100 × 实验结束鱼尾数 / 实验开始鱼尾数

摄食量(FI) = 摄食量(g) / 鱼尾数;

蛋白质效率(PER) = 增重量(g) / 蛋白质摄入量

蛋白质沉积率(PRE) = 100 × 蛋白质增加量(g) / 蛋白质摄入量(g)

肥满度(CF%) = 100 × (鱼体体重) / (体长)³

肝体比(HSI) = 100 × 肝脏重(g) / 体重(g)

脏体比(VR) = 100 × 内脏重(g) / 体重(g)

实验数据由平均值 ± 标准差, 采用 Spss 11.5 (SPSS, IL, USA) 软件对数据进行统计学分析, 先对数据作单因素方差分析(ANOVA), 若有显著差异再作 Duncan's 进行多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。

表 1 实验配方组成(%)
Tab.1 Composition of experimental diets (%)

原料	实验饲料组成(%)		
	D25	D30	D35
鱼粉	5.0	5.0	5.0
酪蛋白	4.0	8.7	13.4
明胶	1.0	2.2	3.4
玉米淀粉	35.8	29.9	24.0
鱼油/豆油(1:1)	9.0	9.0	9.0
豆粕	11.0	11.0	11.0
棉粕	15.0	15.0	15.0
菜粕	15.0	15.0	15.0
复合维生素 ^a	1.0	1.0	1.0
复合矿物盐 ^b	1.0	1.0	1.0
营养成分(%)			
干物质	88.3	86.7	87.2
粗蛋白	24.83	29.78	34.94
粗脂肪	9.71	9.28	9.16
灰分	6.29	6.44	6.76

注: 复合维生素和复合矿物盐由广州市诚一水产科技有限公司提供。a. 每 kg 饲料含: 硫胺素 20mg, 核黄素 20mg, 吡哆醛 10mg, 尼克酸 100mg, 泛酸钙 50mg, 生物素 1mg, 叶酸 5mg, 肌醇 500mg, 维生素 E 50mg, 维生素 A 2mg, 维生素 B₁₂ 0.02mg, 维生素 K₃ 10mg, 维生素 D₃ 0.05mg。b. 每 kg 饲料含: 七水硫酸锌 525.5mg, 一水硫酸锰 49.2mg, 碘化钾 5.23mg, 七水硫酸亚铁 238.8mg, 七水硫酸镁 4.62g, 五水硫酸铜 11.8mg, 六水氯化钴 0.2mg, 硒酸钠 0.66mg, 氯化钾 600mg, 氯化钠 107.1mg

2 结果

2.1 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼生长和饲料利用的影响

饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼生长和饲料利用的

影响见表 2。实验结果表明, 蛋白水平对奥尼罗非鱼增重率、终体重以及特定生长率不会产生显著影响; 蛋白质效率和蛋白质沉积率伴随着饲料蛋白水平的升高而显著下降, 其中 D25 组奥尼罗非鱼在蛋白质效率以及蛋白质沉积率上显著高于 D35 饲料组; 饲料蛋白水平不会对奥尼罗非鱼肥满度产生影响, 肝体比和脏体比受饲料蛋白水平显著影响, 低蛋白水平饲料(D25 组)奥尼罗非鱼在肝体比和脏体比上显著低于高蛋白水平组(D30 和 D35 饲料组); 各饲料组之间, 在摄食量和成活率均不存在显著差异。

表 2 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼生长和饲料利用的影响
Tab.2 Effects of dietary protein level on growth performance and feed utilization of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)

指标	实验饲料		
	D25	D30	D35
初始体重(g)	2.06±0.0	2.06±0.0	2.06±0.0
终体重(g)	12.5±0.45	13.2±0.33	12.5±0.55
增重率(%)	507.4±21.8	542.2±16.2	510.4±26.9
摄食量/尾(g)	11.9±0.66	11.8±0.26	11.8±0.00
蛋白质效率(PER)	3.41±0.07 ^a	3.12±0.14 ^b	2.54±0.13 ^c
蛋白质沉积率(PRE)(%)	54.5±1.06 ^a	52.0±2.21 ^a	41.4±2.12 ^b
饲料效率(FCR)	1.18±0.02	1.08±0.05	1.13±0.06
特定生长率(SGR)(%)	5.15±0.10	5.31±0.07	5.17±0.13
成活率(%)	99.3±1.28	98.5±1.28	100.0±0.0
肥满度	3.83±0.33	3.62±0.21	3.71±0.37
肝体比(HSI)(%)	4.43±0.71 ^a	3.33±0.68 ^b	3.10±0.57 ^b
脏体比(VR)(%)	18.0±1.25 ^a	15.6±1.15 ^b	15.3±2.04 ^b

注: 表中的值为平均值 ± 标准差(n=3), 同一行中具不同字母标记的值表示差异显著($P < 0.05$)

2.2 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼血液指标的影响

饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼血液指标的影响见表 3。从表 3 的结果来看, 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼血红蛋白含量、红细胞总数以及血细胞比容的影响不显著。然而白细胞总数受饲料蛋白水平的影响显著, 其中投喂 D30 饲料蛋白水平的奥尼罗非鱼白细胞总数显著低于其它饲料组。

2.3 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼免疫功能的影响

饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼免疫功能的影响见表 4。表 4 的结果表明, 高蛋白水平组(D35 饲料组)奥尼罗非鱼肝胰腺中的过氧化氢酶(CAT)活性显著高于其它饲料组, 然而, 各饲料蛋白水平之间奥尼罗非鱼肝胰腺中的溶菌酶、超氧化物歧化酶活性以及丙二醛含量不存在显著差异。

表 3 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼血液指标的影响

Tab.3 Effects of dietary protein level on haemolymph parameters of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)

指标	实验饲料		
	D25	D30	D35
白细胞总数(WBC)($10^9/L$)	477.5±42.7 ^b	405.9±29.2 ^a	479.6±29.2 ^b
红细胞总数(RBCC)($10^{12}/L$)	2.59±0.12	2.51±0.19	2.46±0.10
血红蛋白(HGB)(g/L)	75.2±5.00	75.3±9.42	73.5±3.67
血细胞比容(HCT)(%)	33.1±2.76	34.1±2.93	33.3±2.06

注: 表中数值为平均数±标准差($n=3$), 同一行中具不同字母标记的值表示差异显著($P<0.05$)

表 4 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼免疫功能的影响

Tab.4 Effects of dietary protein level on immunity of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)

指标	实验饲料		
	D25	D30	D35
溶菌酶 LZM(U/ml)	11.3±1.05	11.6±1.66	13.2±1.83
超氧化物歧化酶 SOD(U/ml)	27.1±2.82	25.1±2.10	27.1±2.14
过氧化氢酶 CAT(U/ml)	2.96±0.46 ^a	2.89±0.45 ^a	4.35±0.06 ^b
丙二醛 MDA(nmol/ml)	0.30±0.05	0.22±0.07	0.24±0.10

注: 表中数值为平均数±标准差($n=3$), 同一行中具不同字母标记的值表示差异显著($P<0.05$)

2.4 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼抗病力的影响

饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼抗病力的影响见表 5。表 5 的结果表明, 低饲料蛋白水平(D25 饲料组)奥尼罗非鱼在 36h 的应激实验过程中, 成活率显著低于高蛋白水平饲料(D30 饲料组、D35 饲料组)的奥尼罗非鱼, 然而, 24h 和 48h 内的抗病力实验结果显示, 各饲料蛋白水平之间奥尼罗非鱼成活率不存在显著差异, 即蛋白质水平不会对奥尼罗非鱼抗病力产生影响。

表 5 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼抗病力的影响(%)

Tab.5 Effects of dietary protein level on disease resistance of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) (%)

累积死亡率 (%)	实验饲料		
	D25	D30	D35
24h	48.1±17.0	63.0±17.0	55.6±0.0
36h	63.0±6.4 ^b	81.5±12.8 ^a	77.8±0.0 ^a
48h	81.5±6.42	85.2±6.42	81.5±6.42

注: 表中数值为平均数±标准差($n=3$), 同一行中具不同字母标记的值表示差异显著($P<0.05$)

3 讨论

本实验的结果表明, 各蛋白质水平之间奥尼罗非鱼在增重率、特定生长率以及成活率上都不存在显著差异, 即蛋白水平为 24.8% 能够满足奥尼罗非鱼生长的需求。以往对奥尼罗非鱼的研究表明, 奥尼罗非

鱼仔鱼(初始体重为 0.021g)的蛋白质需求量为 45% (董晓慧等, 2009), 相对较高。上述实验结果的差异, 一方面说明了不同生长阶段其蛋白质需求量确实存在差异; 同时也说明, 由于鱼类对蛋白质的需求量不是一个绝对量, 蛋白质需求水平受到饲料中脂肪以及淀粉水平的影响。董晓慧等(2009)得出的奥尼罗非鱼蛋白质需求量是建立在配方脂肪水平为 6% 水平下的, 得出的蛋白质需求量为 45% 相对于本实验的研究结果较高; 而本实验的脂肪水平较高(10%), 得出的蛋白质需求量相对较低, 这表明通过提高饲料中脂肪水平, 可以在不影响生长的情况下, 起到降低奥尼罗非鱼蛋白质需求量的作用。同样, 在对大西洋鲑鱼(Grisdale-Helland *et al*, 2008)和鲮科鲮鱼(Kim *et al*, 2005)的研究中也同样发现, 提高饲料中脂肪水平可以起到降低鱼类对蛋白质的需求量, 即脂肪可以对蛋白质起到节约作用。然而, 在对军曹鱼(Craig *et al*, 2006)、白鲟(Ozorio *et al*, 2006)、琥珀鱼(Takakuwa *et al*, 2006)和红吉罗(Ng *et al*, 2008)的研究中发现脂肪对蛋白质的节约效应不存在。

本实验中蛋白质效率伴随着饲料蛋白水平的提高而显著下降, 这表明高蛋白饲料组奥尼罗非鱼排放到养殖水体中的氮排泄量增加了, 在对金头鲷(Santinha *et al*, 1996)的研究中也发现相似的研究结果。而且, 在本实验中各饲料组之间是保持等能水平的, 高蛋白饲料组含有较低的淀粉水平(表 1), 相反

低蛋白饲料组含有较高的淀粉水平。Engin 等(2001)的研究结果表明增加饲料中非蛋白能量水平可以降低氮排泄从而提高氮的沉积率。同样,在对银鲈(Yang *et al.*, 2002)的研究中也发现,氮排泄量伴随着饲料蛋白水平的升高和碳水化合物水平的降低而增加,这主要是由于增加饲料中淀粉水平会降低肝胰腺中氨基酸降解酶的活性,从而导致氮排泄量降低和蛋白质沉积率增加(Shimeno *et al.*, 1981)。

本实验中蛋白质水平对奥尼罗非鱼形态学指标产生了显著影响。肝体比伴随着饲料蛋白水平的升高而显著下降,与饲料中的淀粉水平成正相关。在对其它鱼类的研究中也发现类似的现象(Daniels *et al.*, 1986; Hidalgo *et al.*, 1988),提高饲料中的可消化淀粉含量会导致肝体比上升,这主要是由于糖元在肝脏中积累造成的。同时,在 Yang 等(2002)对银鲈的研究发现,肠系膜脂肪含量和肝体比也都会伴随着饲料中淀粉水平的升高而降低,因此本实验中低蛋白组罗非鱼的脏体比显著高于其它饲料组,这主要是由于肝体比以及肠系膜脂肪含量的增加造成的结果。

血红蛋白、血细胞比容和红细胞总数与鱼类的非特异性免疫功能具有一定的相关性,高含量的血红蛋白和红细胞总数被认为是动物健康的表现。在本实验中,血红蛋白、血细胞比容和红细胞总数不受饲料中蛋白水平的影响,这表明饲料蛋白水平在 24.8% 情况下,能够维持血液细胞的正常发育和形成,使鱼体保持健康状态。另一方面,鱼体抗氧化能力的强弱与健康状况存在着密切的关系,抗氧化能力降低时常导致各种疾病的产生。其中,超氧化物歧化酶(SOD)是生物机体内重要的抗氧化酶之一,丙二醛(MDA)是脂质过氧化物的最终分解产物之一,具有很强的生物毒性,常作为机体抗氧化能力的测定指标,其含量能直接反映机体脂质过氧化程度,并间接反映机体抗氧化能力和细胞损伤程度。本实验的研究结果表明,肝胰腺中超氧化物歧化酶以及丙二醛的含量在各蛋白水平饲料组之间不存在显著差异,进一步验证了上述推论,即 24.8% 蛋白水平饲料可以为奥尼罗非鱼肝脏抗氧化酶合成提供比较充足的蛋白质营养,确保机体的抗氧化系统稳定,维持机体的健康状况。

溶菌酶是鱼类重要的非特异性免疫指标,可以准确反应鱼类机体对寄生虫、细菌以及病毒的抵抗能力(Lin *et al.*, 2005; 周立斌等, 2009)。对异育银鲫(蔡春芳等, 2001)的研究显示,溶菌酶活性不受蛋白质水平的显著影响,这与本试验的研究结果相似。以往的

研究表明,蛋白质营养不良会降低机体的免疫性能(Li *et al.*, 2007a, b),增加感染疾病的机率。Kiron 等(1995)研究发现,投喂蛋白缺乏组饲料(10% 饲料蛋白水平)虹鳟鱼溶菌酶以及 C-反应蛋白水平显著下降,降低机体的非特异性免疫性能。然而,本实验中,低蛋白饲料组奥尼罗非鱼溶菌酶含量相对于高蛋白饲料组并不存在显著差异,同时,无乳链球菌应激实验结果表明,低蛋白饲料组奥尼罗非鱼在 24h 和 48h 的累积死亡率相对于高蛋白饲料组不存在显著差异,进一步表明饲料蛋白水平为 24.8% 能够满足奥尼罗非鱼的蛋白质营养需求,可以维持机体的正常免疫性能和抗病力。

综上所述,高脂肪条件下,蛋白质水平为 24.8% 饲料可以满足奥尼罗非鱼的生长需求,同时不会对其免疫性能以及抗病力产生负面影响。

参 考 文 献

- 周立斌, 张 伟, 王安利等, 2009. 饲料中锌对花鲈(*Lateolabrax japonicus*)幼鱼生长、免疫和组织积累的影响. 海洋与湖沼, 40(1): 42—47
- 祝璟琳, 杨 弘, 邹芝英等, 2010. 海南养殖罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)致病链球菌. 海洋与湖沼, 41(4): 590—596
- 董晓慧, 耿 旭, 郭云学等, 2009. 奥尼罗非鱼仔稚鱼饲料中适宜蛋白质水平的研究. 中国饲料, 7: 29—32
- 蔡春芳, 吴 康, 潘新法等, 2001. 蛋白质营养对异育银鲫生长和免疫力的影响. 水生生物学报, 25(6): 590—595
- Abdel-Tawwab M, Ahmad M H, Khattab Y A E *et al.*, 2010. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 298: 267—274
- Craig S C, Schwarz M H, Mclean E, 2006. Juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) can utilize a wide range of protein and lipid levels without impacts on production characteristics. *Aquaculture*, 261: 384—391
- Daniels W H, Robinson E H, 1986. Protein and energy requirements of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture*, 53: 243—252
- Eguia R V, Kamarudin M S, Santiago C B, 2000. Growth and survival of river catfish *Mystus nemurus* (Cuvier and Valenciennes) larvae fed isocaloric diets with different protein levels during weaning. *Journal of Applied Ichthyology*, 16: 104—109
- Engin K, Carter C G, 2001. Ammonia and urea excretion rates of juvenile Australian short-finned eel (*Anguilla australis australis*) as influenced by dietary protein level. *Aquaculture*, 194(1—2): 123—136
- Grisdale-Helland B, Shearer K D, Gatlin D M *et al.*, 2008. Effects

- of dietary protein and lipid levels on growth, protein digestibility, feed utilization and body composition of Atlantic cod (*Cadus morhua*). *Aquaculture*, 283: 156—162
- Hidalgo F, Alliot E, 1988. Influence of water temperature on protein requirement and protein utilization in juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 72: 115—129
- Kim L O, Lee S M, 2005. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*. *Aquaculture*, 24: 323—329
- Kiron V, Watanabe T, Fukuda H *et al*, 1995. Protein nutrition and defence mechanisms in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 111(3): 351—359
- Li P, Gatlin D M, Neill W H, 2007a. Dietary supplementation of a purified nucleotide mixture transiently enhanced growth and feed utilization of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38: 281—286
- Li P, Yin Y L, Li D *et al*, 2007b. Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition*, 98(2): 237—252
- Lin M F, Shiao S Y, 2005. Dietary L-ascorbic acid affects growth, nonspecific immune responses and disease resistance in juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture*, 244: 215—221
- Ng W K, Abdullah N, Silva S S D, 2008. The dietary protein requirement of the Malaysian mahseer, *Tor tambroides* (Bleeker), and the lack of protein-sparing action by dietary lipid. *Aquaculture*, 284: 201—206
- Ozorio R O A, Valente L M P, Pousao-Ferreira P *et al*, 2006. Growth performance and body composition of white seabream (*Diplodus sargus*) juveniles fed diets with different protein and lipid levels. *Aquac Res*, 37: 255—263
- Santinha P, Gomes E, Coimbra J O, 1996. Effects of protein level of the diet on digestibility and growth of gilthead sea bream, *Sparus auratus* L.. *Aquaculture Nutrition*, 2(2): 81—87
- Shimeno S, Takeda M, Takayama S *et al*, 1981. Response of nitrogen excretion to change of dietary composition in carp. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 47: 191—195 (in Japanese, with English abstract)
- Sun L, Chen H, Huang L, 2007. Growth, faecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile yellow grouper (*Epinephelus awoara*) relative to ration level. *Aquaculture*, 264: 228—235
- Takakuwa F, Fukada H, Hosokawa H *et al*, 2006. Optimum digestible protein and energy levels and ratio for greater amberjack *Seriola dumerili* (Ross) fingerling. *Aquac Res*, 37: 1532—1539
- Yang S D, Liou C H, Liu F G, 2002. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture*, 213: 363—372

EFFECTS OF DIETARY PROTEIN LEVEL ON GROWTH PERFORMANCE, IMMUNITY FUNCTION AND DISEASE RESISTANCE FOR HYBRID TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS* × *O. AUREUS*)

YUE Yi-Rong¹, YANG Hong¹, XU Qi-Qun², ZOU Zhi-Ying¹, ZHU Jing-Lin¹,
LI Da-Yu¹, XIAO Wei¹, SHAN Hang-Yu¹, HAN Jue¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi, 214081;
2. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi, 214081)

Abstract A one-way analysis model was used to investigate the effects of dietary protein level on the growth performance, immune function of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*), as well as defensive ability against *Streptococcus agalactiae*. The feeding trial results showed that growth performance, feed utilization and survival were not significant affected by dietary protein level, the protein efficiency ratio and protein retention efficiency were significantly decreased with the increase of dietary protein level. Hepatic catalase activity of fish fed 34.9% dietary protein diet (D35) was significantly higher than those of the other diet treatments. However, dietary protein level had no significant effects on hepatic lysozyme activity, superoxide dismutase activity, and hepatic malondialdehyde content of tilapia. The challenge trial results showed that dietary protein level had no significant effects on cumulative mortality rate at 24h and 48h after infection with *S. agalactiae*. The results of present study indicate that 24.8% (D25) dietary protein level can meet the requirements for normal growth, immune function, and disease resistance of hybrid tilapia.

Key words tilapia; protein; immune function; disease resistance