

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170215001

http://www.yykxjz.cn/

周朝伟, 朱龙, 曾本和, 任胜杰, 李明朔, 雷骆, 吴青. 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼生长、饲料利用率及免疫酶活性的影响. 渔业科学进展, 2018, 39(3): 72-79

Zhou CW, Zhu L, Zeng BH, Ren SJ, Li MS, Lei L, Wu Q. Effects of dietary protein level on growth performance, feed efficiency and immuno-enzymatic activity of *Paramisgumus dabryanus* ssp. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(3): 72-79

饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼生长、 饲料利用率及免疫酶活性的影响*

周朝伟^{1#①} 朱 龙^{1#} 曾本和^{1,3} 任胜杰¹
李明朔² 雷 骆¹ 吴 青¹

(1. 西南大学荣昌校区水产系 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室
水产科学重庆市市级重点实验室 重庆 402460; 2. 西南大学荣昌校区动物医学系 重庆 402460;
3. 西藏自治区农牧科学院水产科学研究所 拉萨 850002)

摘要 本研究旨在评价饲料蛋白水平对台湾泥鳅(*Paramisgumus dabryanus* ssp)幼鱼生长性能、饲料利用率及免疫酶活性的影响。选用初始体重为(8.57±0.35) g 的台湾泥鳅 720 尾, 随机分成 4 组, 每组设置 3 个重复, 每个重复 60 尾鱼, 分别投喂蛋白水平为 25%、30%、35%和 40%的实验饲料, 养殖时间为 60 d。结果显示, 随着饲料蛋白水平的升高, 台湾泥鳅幼鱼末重(FW)、特定生长率(SGR)和饲料效率(FER)先上升, 饲料蛋白水平≥35%后, 进入平台期。蛋白质效率(PER)、蛋白质沉积率(PRE)和成活率(SR)均呈先升高后降低的变化趋势。摄食率(FR)则呈逐渐降低的趋势。基于 FW、SGR 和 FER 的折线模拟结果表明, 台湾泥鳅幼鱼达到最佳生长速度及饲料效率的饲料蛋白水平为 34.57%~35.37%。通过二次多项式回归分析可知, 台湾泥鳅幼鱼蛋白利用率最高时的饲料蛋白水平为 33.61%~34.68%。随着饲料蛋白水平的升高, 台湾泥鳅幼鱼超氧化物歧化酶(SOD)活性呈先升高后趋于稳定的变化趋势, 过氧化氢酶(CAT)活性呈先升高后降低的变化趋势; 谷丙转氨酶(GPT)和谷草转氨酶(GOT)均呈先升高后降低的变化趋势。由此得出, 适宜的饲料蛋白水平可促进台湾泥鳅幼鱼的生长, 提高饲料效率, 增强免疫酶活性。在本实验条件下, 综合考虑生长性能、饲料利用率及免疫酶活性, 台湾泥鳅幼鱼饲料最适蛋白水平为 34.68%~35.37%。

关键词 台湾泥鳅; 蛋白水平; 生长性能; 饲料利用率; 免疫酶

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)03-0072-08

泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 隶属鲤形目 (Cypriniformes)、鳅科 (Cobitidae)、花鳅亚科 (Cobitinae), 泥鳅属 (*Misgurnus*)。台湾泥鳅 (*Paramis-*

gumus dabryanus ssp) 是中国台湾地区改良的泥鳅新品种, 其具体分类地位暂不明确 (邱楚雯等, 2017)。台湾泥鳅因其生长迅速、个体大、养殖密度高、抗病力

* 西南大学荣昌校区青年基金项目(132030/20700914)资助 [This study was supported by the Youth Foundation of Southwest University Rongchang Campus (132030/20700914)]

#共同第一作者: 周朝伟, E-mail: zcwlzq666@163.com; 朱 龙, E-mail: zhulongswu@163.com

① 通讯作者: 周朝伟, E-mail: zcwlzq666@163.com

收稿日期: 2017-02-15, 收修改稿日期: 2017-03-27

强、养殖周期短、易捕捞等特点, 备受养殖户的欢迎和消费者青睐。随着台湾泥鳅规模化养殖的开展, 对人工配合饲料品质的要求也不断提高。目前, 有关台湾泥鳅的研究主要集中在人工繁殖、形态学等方面(邱楚雯等, 2014; 黄涛等, 2016), 台湾泥鳅对饲料中蛋白质等营养素需求量的研究未见报道。

蛋白质作为核心营养成分, 能够为鱼体提供合成蛋白质所需的氨基酸, 是细胞、组织和机体的重要组成部分, 同时还作为能量源支持鱼体生长和代谢(Jobling, 2012), 是决定鱼类生长和发育的关键因素之一。饲料中蛋白质含量的高低会对鱼体生长产生很大影响, 饲料中蛋白质含量过低, 会延缓上市时间, 影响经济效益, 同时对鱼类的成活率也有一定影响(Eguia *et al.*, 2000)。但是, 在饲料中添加过量的蛋白质, 除增加养殖成本外, 过量的蛋白质会被鱼类通过氧化脱氨基作用分解, 产生大量的氨氮排泄物, 从而导致养殖水体污染, 不利于生态环境的可持续发展(Tibbetts *et al.*, 2000; Yang *et al.*, 2002)。为了保证良好的养殖经济效益和生态效应, 人工配合饲料中的蛋白水平必须根据养殖鱼类的实际蛋白需求量进行设定。

本研究以台湾泥鳅幼鱼为对象, 通过研究不同蛋白水平对其生长性能、饲料利用率及免疫酶活性的影响, 探讨台湾泥鳅幼鱼的最适蛋白需求量, 为台湾泥鳅人工饲料的进一步研究提供一定的理论基础。

1 材料与amp;方法

1.1 实验饲料

本实验利用 3 种不同的蛋白源(鱼粉、豆粕和菜粕)和 3 种不同的糖源(脂肪源、玉米粉和次粉)设计出不同蛋白梯度 4 种等脂等能实验饲料(25%、30%、35%和 40%)。通过 60 目筛将粉碎后的原料按照上述比例称重并混匀后, 放于-4℃冰箱保存备用。基础实验饲料组成见表 1。

1.2 实验动物及饲养管理

本实验动物购自重庆市荣昌区祥光泥鳅养殖场, 运回实验室后, 立即用 3%~5%的盐水进行消毒, 于 1.2 m×0.5 m×0.8 m 的水池暂养 7 d 后, 选择健康、无伤病的台湾泥鳅幼鱼 720 尾[体重为(8.57±0.35) g], 随机分为 4 组, 每组 3 个重复, 每个重复 60 尾鱼, 并分别放入 12 个水泥池中(1.2 m×0.5 m×0.8 m), 分别投喂不同蛋白水平的 4 种实验饲料。投喂前先将粉料加入少量水充分搅拌, 捏成面团状进行投喂, 每天表面饱食投喂 3 次(07:00、12:00 和 17:00), 投饵 1 h 后

将残饵及粪便捞出, 实验周期为 60 d。养殖期间, 每天于 17:00~19:00 用曝气后的自来水换水 1/3。每天观察记录实验鱼的健康状况以及水质、水温等。养殖期间水温为 20℃~24℃, pH 为 7.0~7.5, 溶氧≥6.0 mg/L。

表 1 基础饲料配方及营养组成(风干基础)

Tab.1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis, %)

原料 Ingredients	蛋白质含量 Dietary protein level(%)			
	25	30	35	40
玉米粉 Corn meal	35.20	22.20	11.80	0.10
次粉 Wheat middling	12.50	12.50	12.50	12.50
豆粕 Soybean meal	18.40	18.40	18.40	18.40
α-纤维素 α-Cellulose	0.00	2.00	4.00	6.00
鱼粉 Fish meal	17.00	27.00	36.40	46.20
菜粕 Rapeseed meal	8.00	8.00	8.00	8.00
预混料 Premix ¹	2.00	2.00	2.00	2.00
氯化胆碱 Choline chloride	1.00	1.00	1.00	1.00
食盐 NaCl	0.20	0.20	0.20	0.20
大豆油 Soybean oil	4.20	4.20	4.20	4.10
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	1.50	1.50	1.50	1.50
营养成分 Nutrient level ²				
粗蛋白 CP	24.98	30.17	35.05	40.15
粗脂肪 EE	6.60	6.64	6.68	6.62
水分 Moisture	10.24	10.11	10.32	10.28
总能 Gross energy (MJ/kg)	3.22	3.19	3.16	3.12
粗灰分 Ash	10.03	10.12	9.87	10.07

注: 1. 复合预混料为每千克饲料提供的维生素和矿物质: 维生素 A 30000 IU; 维生素 B₁ 50 mg; 维生素 B₂ 60 mg; 维生素 B₆ 40 mg; 维生素 B₁₂ 0.2 mg; 维生素 C 200 mg; 维生素 E 600 mg; 维生素 D 325000 IU; 维生素 K 100 mg; 泛酸钙 120 mg; 尼克酸 100 mg; 叶酸 20 mg; 生物素 7 mg; 肌醇 250 mg; CuSO₄·5H₂O 7.20 g; FeSO₄·7H₂O 122.0 g; MnSO₄·H₂O 5.16 g; KI 6.58 g; ZnSO₄·7H₂O 15.56 g; NaSeO₃ 2.10 g。2. 饲料营养成分为实测值

Notes: 1. The compound premix provided vitamin and mineral for a kilogram of diets: Vitamin A 30000 IU, Vitamin B₁ 50 mg, Vitamin B₂ 60 mg, Vitamin B₆ 40 mg, Vitamin B₁₂ 0.2 mg, Vitamin C 200 mg, Vitamin E 600 mg, Vitamin D 325000 IU, Vitamin K 100 mg, Calcium pantothenate 120 mg, Nicotinic acid 100 mg, Folic acid 20 mg, Biotin 7 mg, Inositol 250 mg, CuSO₄·5H₂O 7.20 g, FeSO₄·7H₂O 122.0 g, MnSO₄·H₂O 5.16 g, KI 6.58 g, ZnSO₄·7H₂O 15.56 g, NaSeO₃ 2.10 g。2. The feed nutrient contents were measured values

1.3 取样及粗酶液制备

养殖实验结束后, 对实验鱼进行饥饿处理(24 h), 分别从各平行实验组随机取 10 尾台湾泥鳅, 用 MS-222

溶液(50 mg/L)麻醉,测定体重后解剖并分离肝胰脏,参照叶元土等(2015)的方法进行肝胰脏粗酶液的制备。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能指标测定 实验开始时,测定实验鱼的初始体重,实验结束后,停食1 d,测定各组实验鱼体重,依据养殖期间饲料的投喂量、饲养时间及实验前后鱼的体重,计算其特定生长率、蛋白质效率、蛋白质沉积率、摄食率、饲料效率和成活率。

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d) = $(\ln \text{终末体重} - \ln \text{初始体重}) \times 100 / \text{养殖天数}$

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER) = $(\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{蛋白质摄入量}$

蛋白质沉积率(Protein retention efficiency, PRE, %) = $100 \times \text{蛋白质增加量} / \text{蛋白质摄入量}$

摄食率(Feeding rate, FR, %) = $100 \times \text{摄食量} / [\text{养殖天数} \times (\text{初始体重} + \text{终末体重}) / 2]$

饲料效率(Feed efficiency ratio, FER) = $(\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{饲料摄入量}$

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

1.4.2 免疫指标的测定 采用磷酸苯二钠法测定酸性磷酸酶(Acid phosphatase, ACP)(李影林, 1987)。ACP酶活性单位定义为:以每10 mg肝胰脏组织在37℃与底物作用60 min,产生1 mg酚为1个酶活力单位(U/mg)。采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定肝脏和血浆谷丙转氨酶(GPT)、谷草转氨酶(GOT)活力。采用微量考马斯亮蓝法测定肝脏蛋白含量,试剂盒购于南京建成生物工程研究所,具体操作参照试剂盒说明书进行。采用连苯三酚自氧化法测定(顾含真等, 2006)超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)活性。SOD活性单位定义为1 g肝组织反应液中SOD

抑制率达到50%时所对应的SOD量(U/g);过氧化氢酶(Catalase, CAT)活性测定采用高锰酸钾滴定法测定(孔德胜等, 2012)。CAT酶活性单位定义为每1 g肝组织每1 min分解H₂O₂的量为1个酶活性单位(U/g)。

1.5 数据处理方法

实验结果用平均值±标准差(Means±SD)表示。实验数据采用SPSS 19.0统计软件中One-way ANOVA进行单因素方差分析,若组间存在显著差异,再进行Duncan氏进行多重比较,差异显著水平为P<0.05。

2 结果与分析

2.1 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼生长性能及饲料利用率的影响

饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼生长性能及饲料利用率的影响见表2。随着饲料蛋白水平的升高,台湾泥鳅幼鱼末重(FW)、特定生长率(SGR)和饲料效率(FER)先上升,饲料蛋白水平≥35%后进入平台期。SGR在饲料蛋白水平为35%时最大(2.13%/d);FER则在饲料蛋白水平为40%时最大(0.98)。蛋白质效率(PER)、蛋白质沉积率(PRE)和成活率(SR)均呈先升高后降低的变化趋势,且均在饲料蛋白含量为35%时达最大值,分别为2.77、44.73%和98.89%。摄食率(FR)则呈逐渐降低的趋势。FW、SGR和FER的折线模拟结果(图1、图2和图5)表明,台湾泥鳅幼鱼(8.57 g)达到最佳生长速度及饲料效率的饲料蛋白水平为34.57%~35.37%。以二次曲线来拟合饲料蛋白水平(x)与PER(y₁)和PRE(y₂)的关系,得回归方程 $y_1 = -38x^2 + 25.54x - 1.583$ (R²=0.8094), $y_2 = -724x^2 + 502.12x - 43.669$ (R²=0.8636),则PER和PRE最高时,饲料蛋白水平分别为33.61%和34.68%。

表2 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼生长性能及饲料利用率的影响(平均值±标准差)

Tab.2 Effect of dietary protein level on the growth and feed efficiency of *P. dabryanus* ssp (Mean±SD)

蛋白水平 Dietary protein levels (%)	初重 Initial weight (g)	末重 Final weight (g)	特定生长率 SGR (%/d)	蛋白质效率 PER	蛋白质沉积率 PRE (%)	摄食率 FR (%)	饲料效率 FER	成活率 SR (%)
25	8.59±0.20	19.94±0.46 ^a	1.40±0.01 ^a	2.45±0.02 ^a	37.06±0.27 ^a	2.16±0.02 ^d	0.61±0.01 ^a	86.67±3.34 ^a
30	8.31±0.50	24.07±0.31 ^b	1.77±0.08 ^b	2.59±0.06 ^b	40.46±0.93 ^b	2.09±0.04 ^c	0.78±0.02 ^b	92.22±1.92 ^b
35	8.67±0.12	31.22±0.99 ^c	2.13±0.03 ^c	2.77±0.09 ^c	44.73±1.51 ^c	1.94±0.04 ^b	0.97±0.03 ^c	98.89±1.92 ^c
40	8.70±0.35	30.65±1.96 ^c	2.10±0.07 ^c	2.53±0.06 ^{ab}	40.89±0.9 ^b	1.83±0.03 ^a	0.98±0.02 ^c	97.78±1.92 ^c

注:所给数据为平均值及3个重复标准差;同列肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著(P>0.05),不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同

Note: Data were means and standard deviation of three replicates. In the same column, values with same small letter superscripts or no superscripts denoted no significant difference (P>0.05), and different small letter superscripts denoted significant differences (P<0.05). The same as below

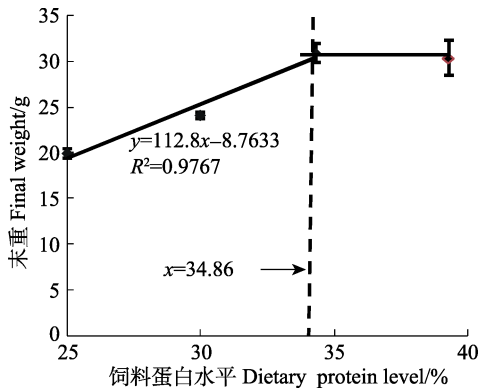


图 1 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼增重率的影响
Fig.1 Effects of dietary protein level on the final weight of *P. dabryanus* ssp

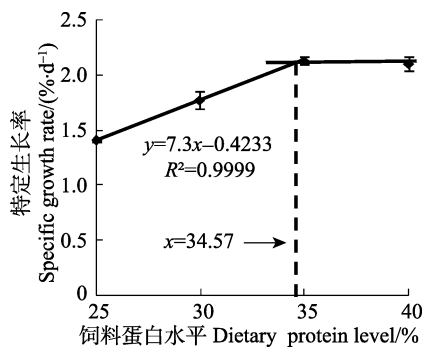


图 2 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼饲料系数的影响
Fig.2 Effects of dietary protein level on the specific growth rate of *P. dabryanus* ssp

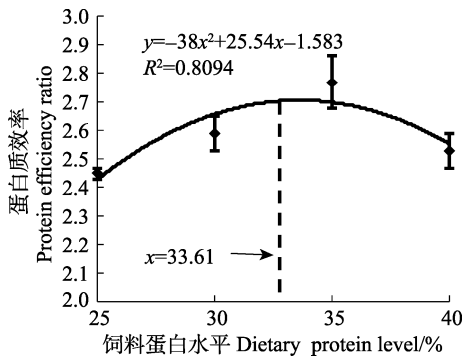


图 3 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼蛋白质效率的影响
Fig.3 Effects of dietary protein level on the protein efficiency ratio of *P. dabryanus* ssp

2.2 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼肝胰脏免疫酶活性的影响

饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼肝胰脏免疫酶活性的影响见表 3。随着饲料蛋白水平的升高,台湾泥鳅幼鱼肝胰脏超氧化物歧化酶(SOD)活性呈先升高后趋于稳定的变化趋势,且在饲料蛋白为 35%时达最大值,为 118.44 U/g, SOD 活性在饲料蛋白为 35%和

40%的实验组之间差异不显著。肝胰脏过氧化氢酶(CAT)活性随着饲料蛋白水平升高,呈先升高后降低的变化趋势,在饲料蛋白含量为 35%时达最大值,为 18.01 U/g。肝胰脏谷丙转氨酶(GPT)和谷草转氨酶(GOT)均随着饲料蛋白水平的升高,呈现先升高后降低的变化趋势,且均在饲料蛋白含量为 35%时达最大值,分别为 12.59 U/mg 和 29.81 U/mg。

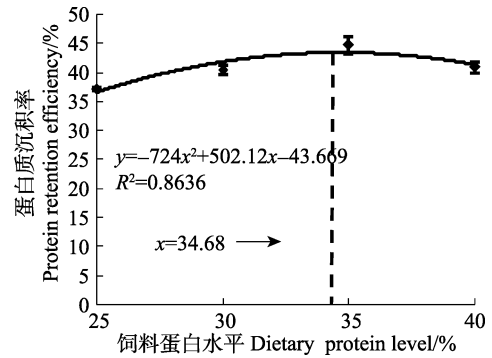


图 4 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼蛋白质沉积率的影响
Fig.4 Effects of dietary protein level on the protein retention efficiency of *P. dabryanus* ssp

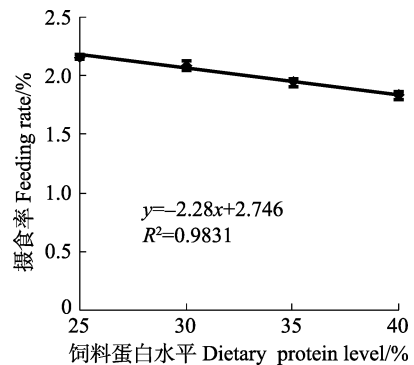


图 5 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼摄食率的影响
Fig.5 Effects of dietary protein level on the feeding rate of *P. dabryanus* ssp

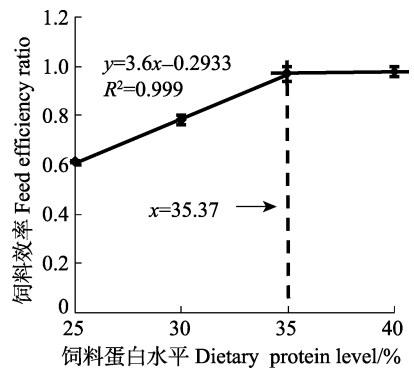


图 6 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼饲料效率的影响
Fig.6 Effects of dietary protein level on the feed efficiency ratio of *P. dabryanus* ssp

表3 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼肝胰脏免疫酶活性的影响(平均值±标准差)

Tab.3 Effect of dietary protein level on the immuno-enzymatic activity of *P. dabryanus* ssp (Mean±SD)

蛋白水平 Dietary protein level (%)	超氧化物歧化酶 SOD (U/g)	过氧化氢酶 CAT (U/g)	酸性磷酸酶 ACP (U/mg)	谷丙转氨酶 GPT (U/mg)	谷草转氨酶 GOT (U/mg)
25	61.92±4.78 ^a	12.45±0.62 ^a	59.58±3.71	9.72±0.21 ^a	24.77±0.61 ^a
30	97.42±4.10 ^b	14.74±0.37 ^b	57.76±4.69	11.47±0.24 ^b	28.68±0.60 ^c
35	118.44±3.66 ^c	18.01±0.72 ^c	59.32±5.29	12.59±0.51 ^c	29.81±0.24 ^d
40	113.97±4.17 ^c	14.22±0.57 ^d	59.80±4.10	9.97±0.50 ^a	25.74±0.36 ^b

3 讨论

3.1 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼生长性能及饲料利用率的影响

本研究发现:随着饲料蛋白水平的提高,鱼类生长先上升后进入平台期,生长曲线符合鱼类和饲料蛋白水平之间的生长-剂量关系(Robbins *et al*, 1979)。Martínez-Palacios 等(2007)研究表明,在饲料中添加适量的蛋白质可以促进鱼类生长,但过量添加不仅会导致养殖成本的增加,而且鱼类会通过脱氨基作用把过量的蛋白质消耗。研究显示,饲料蛋白水平对鱼类的生长和饲料的利用效率有显著影响(刘伟等, 2016; 李彬等, 2014), 如在对黑线鳉(*Melanogrammus aeglefinus*)、墨西哥原银汉鱼(*Menidia estor*)和短体下眼鲷(*Horabagrus brachysoma*)的研究中均发现,鱼类生长会随着饲料中蛋白水平提高先上升后趋于稳定(Kim *et al*, 2001; Martínez-Palacios *et al*, 2007; Giri *et al*, 2011)。但徐革锋等(2016)对细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)和 Ozório 等(2009)对项带重牙鲷(*Diplodus vulgaris*)的研究发现,高水平的饲料蛋白会抑制鱼类生长,出现这种差异的原因可能与鱼类的种间特异性、实验动物的规格及饲料营养成分不同有关,其机制还有待进一步研究。

鱼类摄食是为了满足自身对能量和营养素的需求,其受饲料蛋白水平的影响(Luo *et al*, 2005; Wang *et al*, 2005)。本研究发现,投喂不同蛋白水平的等能饲料,台湾泥鳅摄食率随着粗蛋白含量的增加呈现下降趋势,这与 Peres 等(1999)对舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)的研究结果一致。出现这种现象的原因可能是由于本研究采用的是等脂等能饲料,机体为了满足对蛋白质的需求,低蛋白组鱼类通过提高摄食率的方式做出补偿性调节。

本研究表明,随着饲料蛋白水平的不断增加,鱼类蛋白质效率呈现先升高后降低的变化趋势。陈壮等(2014)对鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)研究发现,饲料粗蛋白水平为45%时,蛋白质效率达到最大,但当蛋白水平继续升高时,蛋白质效率显著下降,与本研究

结果一致。这可能是由于高蛋白组的非蛋白能量供应不足,使一部分饲料蛋白被鱼体分解转化为能量,从而导致饲料蛋白质效率下降(Santiago *et al*, 1991)。然而, Lee 等(2000)对牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)、Kim 等(2005)对黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)的研究发现,随饲料蛋白水平的不断增加,蛋白质效率呈现显著降低趋势($P<0.05$)。张磊等(2016)对达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)研究发现,饲料蛋白水平在30%~40%时,蛋白质效率并无显著差异,但当饲料蛋白水平从40%增加到50%时,蛋白质效率呈现显著下降的趋势,出现这种现象的原因可能与鱼的种类和饲料营养成分相关。

在本研究中,随着饲料蛋白水平的升高,饲料效率呈逐渐升高的变化趋势,在饲料蛋白含量 $\geq 35\%$ 后,逐渐趋于稳定。这与星斑川鲈幼鱼(丁立云等, 2010)和大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.) (Lee *et al*, 2003)的研究结果一致。因此,在鱼体内添加适宜水平蛋白质,可以促进鱼体的生长,提高饲料效率,但是当添加过量时,会导致鱼体生长受阻,蛋白质利用效率下降。

3.2 饲料蛋白水平对台湾泥鳅幼鱼肝胰脏免疫酶活性的影响

饲料蛋白水平可在一定程度上影响鱼体非特异性免疫功能。SOD 和 CAT 是体现鱼类抗氧化能力的重要指标,杨弘等(2012)对尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼研究发现,适当提高饲料蛋白含量可提高尼罗罗非鱼幼鱼 SOD 和 CAT。Lee 等(2003)研究发现, SOD 可以通过减弱活性氧自由基对机体造成的损伤。另外, CAT 可以通过催化机体的 H_2O_2 等,生成 H_2O 和 O_2 ,从而减轻和防止自由基对细胞的毒害。本研究发现,台湾泥鳅肝脏中 SOD 随着饲料蛋白水平升高呈现先升高后进入平台期的现象,但 CAT 呈现先上升后下降的趋势,这与王美琴等(2009)对半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis* Günther)和 Mourente 等(2002)对金头鲷(*Sparus aurata*)的研究结果类似。

GOT 和 GPT 是衡量机体肝细胞损伤的重要标志

(张宝龙等, 2015)。在本研究中, 随着饲料蛋白水平的升高, 台湾泥鳅幼鱼肝胰脏 GOT 和 GPT 活性呈先升高后降低的趋势。对鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、镜鲤(*Cyprinus specularis*)、拟目乌贼(*Sepia lycidas*)的研究均发现, 鱼体肝胰脏 GOT 和 GPT 均随饲料蛋白水平升高呈先升高后降低的变化趋势(鹿璇等, 2014; 张宝龙等, 2015; 唐玲等, 2011; 汪元等, 2016), 与本研究结果一致。在饲料中添加适宜水平的蛋白, 可以满足鱼体生长的基础需要; 但当添加过量时, 会对鱼类生长代谢造成影响, 从而对肝脏造成损坏, 使肝脏中的 GOT 和 GPT 流入血液, 肝脏中 GOT 和 GPT 含量减少。本研究表明, 台湾泥鳅的非特异性免疫功能在一定程度上受到饲料蛋白水平的影响, 添加适宜的蛋白水平可以提高鱼类机体的抗病能力。

4 小结

本研究发现, 适宜的饲料蛋白水平可促进台湾泥鳅幼鱼的生长、提高饲料效率、增强免疫酶活性, 但过量添加时, 会导致鱼类生长受阻, 蛋白质效率、免疫酶活性和成活率下降。综上所述, 考虑到生长性能、饲料利用率及免疫酶活性, 台湾泥鳅幼鱼饲料最适蛋白水平为 34.68%~35.37%。

参 考 文 献

- Chen Z, Liang MQ, Zheng KK, *et al.* Impact of dietary protein level on growth performance, body composition and protease activity of juvenile *Lateolabrax japonicus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(2): 51–59 [陈壮, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 饲料蛋白水平对鲈鱼生长、体组成及蛋白酶活性的影响. *渔业科学进展*, 2014, 35(2): 51–59]
- Ding LY, Zhang LM, Wang JY, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition and plasma biochemistry indices of juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(6): 1285–1292 [丁立云, 张利民, 王际英, 等. 饲料蛋白水平对星斑川鲈幼鱼生长、体组成及血浆生化指标的影响. *中国水产科学*, 2010, 17(6): 1285–1292]
- Eguia RV, Kamarudin MS, Santiago CB. Growth and survival of river catfish *Mystus nemurus* (Cuvier & Valenciennes) larvae fed isocaloric diets with different protein levels during weaning. *Journal of Applied Ichthyology*, 2000, 16(3): 104–109
- Giri SS, Sahoo SK, Paul BN, *et al.* Effect of dietary protein levels on growth, feed utilization and carcass composition of endangered bagrid catfish *Horabagrus brachysoma* (Günther 1864) fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(3): 332–337
- Gu HZ, Lu LQ, Yuan QS, *et al.* A comparison between two methods for determination of SOD activity. *Pharmaceutical Biotechnology*, 2006, 13(5): 377–379 [顾含真, 陆领倩, 袁勤生, 等. 超氧化物歧化酶两种测活方法的比较. *药物生物技术*, 2006, 13(5): 377–379]
- Huang T, Zhao B, Diakhate B, *et al.* Analysis of morphological differences between *Paramisgurnus dabryanus* and *Misgurnus anguillicaudatus* Formosa cultured in Zhoushan archipelago. *Journal of Hydroecology*, 2016, 37(2): 83–87 [黄涛, 赵波, Diakhate B, 等. 舟山群岛大鳞副泥鳅与台湾泥鳅的形态差异性分析. *水生态学杂志*, 2016, 37(2): 83–87]
- Jobling M. National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. *Aquaculture International*, 2012, 20(3): 601–602
- Kim JD, Lall SP. Effects of dietary protein level on growth and utilization of protein and energy by juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Aquaculture*, 2001, 195(3–4): 311–319
- Kim LO, Lee SM. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*. *Aquaculture*, 2005, 243(1–4): 323–329
- Kong DS, Wang XR, Li WJ, *et al.* Age-related changes in catalase activity in different tissues of mice. *Journal of Biology*, 2012, 29(3): 11–13 [孔德胜, 王晓然, 李文君, 等. 小鼠组织中过氧化氢酶的活性与年龄的关系. *生物学杂志*, 2012, 29(3): 11–13]
- Lee JK, Cho SH, Park SU, *et al.* Dietary protein requirement for young turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture Nutrition*, 2003, 9(4): 283–286
- Lee SM, Cho SH, Kim KD. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2000, 31(3): 306–315
- Li B, Liang XF, Liu LW, *et al.* Effects of dietary protein levels on growth, feed utilization and the enzymes activity on nitrogen metabolism of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(2): 233–240 [李彬, 梁旭方, 刘立维, 等. 饲料蛋白水平对大规格草鱼生长、饲料利用和氮代谢相关酶活性的影响. *水生生物学报*, 2014, 38(2): 233–240]
- Li YL. *Manual of inspection clinical medicine*. Jilin Science and Technology Press, 1987, 362–370. [李影林. *临床医学检验手册*. 吉林科学技术出版社, 1987, 363–370]
- Liu W, Wen H, Jiang M, *et al.* Effects of dietary protein level and feeding frequency on growth and some physiological-biochemical indexes of GIFT strain of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(5): 751–762 [刘伟, 文华, 蒋明, 等. 饲料蛋白质水平与投喂频率对吉富罗非鱼幼鱼生长及部分生理生化指标的影响. *水产学报*, 2016, 40(5): 751–762]
- Lu X, Cheng ZY, Sun JH, *et al.* Effects of reducing dietary protein level on growth performance, meat quality and immune responses of common carp (*Cyprinus carpio*). *Feed Industry*, 2014, 35(6): 29–35 [鹿璇, 程镇燕, 孙金辉, 等. 降低饲料中蛋白质水平对鲤鱼生长、肉质及免疫力的影响. *饲料工业*, 2014, 35(6): 29–35]

- Luo Z, Liu YJ, Mai KS, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isonitrogenous diets in floating netcages. *Aquaculture International*, 2005, 13(3): 257–269
- Martínez-Palacios CA, Ríos-Durán MG, Ambríz-Cervantes L, *et al.* Dietary protein requirement of juvenile Mexican silverside (*Menidia estor* Jordan 1879), a stomachless zooplanktophagous fish. *Aquaculture Nutrition*, 2007, 13(4): 304–310
- Mourente G, Díaz-Salvago E, Bell JG, *et al.* Increased activities of hepatic antioxidant defence enzymes in juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed dietary oxidised oil: Attenuation by dietary vitamin E. *Aquaculture*, 2002, 214(1–4): 343–361
- Ozório ROA, Valente LMP, Correia S, *et al.* Protein requirement for maintenance and maximum growth of two-banded seabream (*Diplodus vulgaris*) juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 2009, 15(1): 85–93
- Peres H, Oliva-Teles A. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 1999, 179(1–4): 325–334
- Qiu CW, Wang HX, Chen DH, *et al.* Research on artificial propagation and early development of Taiwan Loach. *Fisheries Science & Technology Information*, 2014, 41(6): 284–289 [邱楚雯, 王韩信, 陈迪虎, 等. 台湾泥鳅人工繁殖及早期发育的研究. *水产科技情报*, 2014, 41(6): 284–289]
- Qiu CW, Wang HX, Chen DH. Morphological differentiation and sexual identification of male and female *Paramisgurnus dabryanus* ssp. *Journal of Hydroecology*, 2017, 38(5): 87–91 [邱楚雯, 王韩信, 陈迪虎. 台湾泥鳅雌雄形态差异分析. *水生生态学杂志*, 2017, 38(5): 87–91]
- Robbins KR, Norton HW, Baker DH. Estimation of nutrient requirements from growth data. *Journal of Nutrition*, 1979, 109(10): 1710–1714
- Santiago CB, Reyes OS. Optimum dietary protein level of growth of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fry in static water system. *Aquaculture*, 1991, 93(2): 155–165
- Tang L, Xu QY, Wang CA, *et al.* Effects of dietary protein levels on blood biochemical parameters in mirror common carp (*Cyprinus specularis*) at different temperatures. *Journal of Dalian Ocean University*, 2011, 26(1): 41–46 [唐玲, 徐奇友, 王常安, 等. 不同水温和饲料蛋白质水平对镜鲤血清生化指标的影响. *大连海洋大学学报*, 2011, 26(1): 41–46]
- Tibbetts SM, Lall SP, Anderson DM. Dietary protein requirement of juvenile American eel (*Anguilla rostrata*) fed practical diets. *Aquaculture*, 2000, 186(1–2): 145–155
- Wang JT, Liu YJ, Tian LX, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*, 2005, 249(1–4): 439–447
- Wang MQ, Li Y, Che XR, *et al.* Effects of protein and satiation degrees on growth and immunity of *Cynoglossus semilaevis* Günther in industrial culture. *Progress in Fishery Sciences*, 2009, 30(4): 27–37 [王美琴, 李勇, 车向荣, 等. 蛋白质与饱食度对工厂化养殖半滑舌鳎生长与免疫的影响. *渔业科学进展*, 2009, 30(4): 27–37]
- Wang Y, Jiang XM, Le KX, *et al.* Effects of dietary protein level on growth, muscle composition, and enzyme activity of *Sepia lycidas* during early growth period. *Marine Sciences*, 2016, 40(3): 87–94 [汪元, 蒋霞敏, 乐可鑫, 等. 饲料蛋白质水平对拟目乌贼生长前期的生长性能、肌肉成分和酶活的影响. *海洋科学*, 2016, 40(3): 87–94]
- Xu GF, Liu Y, Hao QR, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth and amino acids in muscle of juvenile lenok, *Brachymystax lenok* (Pallas). *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(6): 1311–1319 [徐革锋, 刘洋, 郝其睿, 等. 不同蛋白质和脂肪水平对细鳞鲑幼鱼生长和肌肉氨基酸含量的影响. *中国水产科学*, 2016, 23(6): 1311–1319]
- Yang H, Xu QQ, Le YR, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition, hematological indexes and hepatic non-specific immune indexes of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Acta Zoonutrientia Sinica*, 2012, 24(12): 2384–2392 [杨弘, 徐起群, 乐贻荣, 等. 饲料蛋白质水平对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能、体组成、血液学指标和肝脏非特异性免疫指标的影响. *动物营养学报*, 2012, 24(12): 2384–2392]
- Yang SD, Liou CH, Liu FG. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture*, 2002, 213(1–4): 363–372
- Ye YT, Cai CF, Xu F, *et al.* Feeding grass carp (*Ctenopharyngodon Idellus*) with oxidized fish oil up-regulates the gene expression in the cholesterol and bile acid synthesis pathway in intestinal mucosa. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(1): 90–100 [叶元土, 蔡春芳, 许凡, 等. 灌喂氧化鱼油使草鱼肠道黏膜胆固醇胆汁酸合成基因通路表达上调. *水生生物学报*, 2015, 39(1): 90–100]
- Zhang BL, Gao MZ, Cheng ZY, *et al.* Effects of reduced feed protein level on growth performance, body composition and immuno-enzymatic of common carp (*Cyprinus carpio*). *Feed Research*, 2015(8): 49–55 [张宝龙, 高木珍, 程镇燕, 等. 降低饲料蛋白水平对鲤鱼生长、体成分及免疫力的影响. *饲料研究*, 2015(8): 49–55]
- Zhang L, Wei QW, Zhang SH, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition, digestive enzyme activities and blood biochemical parameters of juvenile *Acipenser dabryanus*. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(6): 79–85 [张磊, 危起伟, 张书环, 等. 饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼生长性能、体组成、消化酶活性以及血液生化指标的影响. *淡水渔业*, 2016, 46(6): 79–85]

Effects of Dietary Protein Level on Growth Performance, Feed Efficiency, and Immuno-Enzymatic Activity of *Paramisgumus dabryanus* ssp

ZHOU Chaowei^{1#①}, ZHU Long^{1#}, ZENG Benhe^{1,3}, REN Shengjie¹, LI Mingshuo², LEI Luo¹, WU Qing¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, Department of Fisheries in Rongchang Campus, Southwest University, Chongqing 402460;

2. Department of Veterinary Medicine in Rongchang Campus, Southwest University, Chongqing 402460;

3. Institute of Fisheries Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850002)

Abstract The present study aimed to investigate the effects of dietary protein level on the growth performance, feed efficiency, and immuno-enzymatic activity in *Paramisgumus dabryanus* ssp. Four diets were formulated with 25%, 30%, 35%, and 40% protein, respectively. In total, 720 *P. dabryanus* ssp with an initial body weight of (8.57±0.35) g were randomly divided into 4 groups with 3 replicates per group and 60 fish per replicate. The cultivation of *P. dabryanus* ssp lasted for 60 d feeding with the four diets. The results showed that the final weight (FW), specific growth rate (SGR), and feed efficiency rate (FER) of *P. dabryanus* ssp increased with increase in dietary protein level, and plateaued at the dietary protein level of 35%. Initially, the protein efficiency ratio (PER), protein retention (PRE), and survival rate (SR) increased, and then started to decrease. However, the feeding rate (FR) showed a gradual decrease with increasing dietary protein level. The results of broken line simulation of FW, SGR, and FER showed that the *P. dabryanus* ssp had the optimal growth and feed efficiency rates at a dietary protein levels between 34.57% and 35.37%. Furthermore, the quadratic polynomial regression analysis revealed that the utilization of protein by the *P. dabryanus* ssp reached the highest level at the dietary protein levels between 33.61% and 34.68%. The activity of superoxide dismutase (SOD) in *P. dabryanus* ssp increased at first and then plateaued with increasing dietary protein level. The activity of catalase (CAT) in the *P. dabryanus* ssp increased at first and then decreased. The activity of glutamic oxaloacetic transaminase (GOT) and glutamate pyruvic transaminase (GPT) in the *P. dabryanus* ssp increased at first and then decreased with increase in dietary protein levels. These results show that a suitable dietary protein level can improve the growth rate, feed efficiency, and immuno-enzymatic activity of *P. dabryanus* ssp. Furthermore, a comprehensive analysis of growth performance, feed efficiency, and immunity-related enzyme activity revealed that the optimal dietary lipid level for *P. dabryanus* ssp is 34.68%~35.37%.

Key words *Paramisgumus dabryanus* ssp; Protein level; Growth performance; Feed efficiency; Immuno-enzyme

① Corresponding author: ZHOU Chaowei, E-mail: zcwlzq666@163.com