

文章编号: 1000-0615(2003)05-0450-06

暗纹东方^𩚑幼鱼对蛋白质的最适需要量

杨 州, 杨家新

(南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210097)

摘要: 以白鱼粉为蛋白源设计了 6 个不同蛋白质水平 (35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%) 的等能饲料, 采用室内水泥池养殖, 在水温为 24~26 °C 条件下对暗纹东方^𩚑幼鱼进行了 12 周的生长实验以确定其最适蛋白质需要量。增重率和饲料效率随着蛋白质水平的增加而上升, 50% 试验组的鱼体增重显著高于 35%、40% 和 45% 试验组 ($P < 0.05$), 蛋白质含量高于 50% 以后增重不再有显著变化 ($P > 0.05$)。蛋白质效率总体上随着蛋白质水平的增加趋于降低, 但在 35%、40% 和 50% 试验组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。采用折线模型测算出暗纹东方^𩚑幼鱼获得最大增长和对饲料利用最佳时的蛋白质水平分别大约是 49% 和 46%, 据此估算出暗纹东方^𩚑幼鱼的最适蛋白质含量为 46%~49%, 这一结果同红鳍东方^𩚑的最适蛋白质需要量基本一致。

关键词: 暗纹东方^𩚑; 蛋白质最适需要量; 相对增重率; 饲料效率; 蛋白质效率; 折线模型

中图分类号: S963.7 文献标识码: A

Optimum protein requirement of juvenile *Takifugu obscurus*

YANG Zhou, YANG Jia-xin

(School of Biological Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: It is important to study the nutrition requirement of *Takifugu obscurus* because the puffer is a precious and potential species for intensive aquaculture. A 12-week growth experiment was conducted in indoor concrete ponds to determine the optimum protein level for the growth of juvenile *T. obscurus*, at the temperature of 24–26 °C. White fish meal was used as the sole protein source to formulate isocaloric experimental diets at six protein levels (35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%). Weight gain and feed efficiency of fish improved with increasing dietary protein level up to 50% and reached a plateau above this level. Weight gain of fish fed 50% protein diet was significantly higher ($P < 0.05$) than that of fish fed 35%, 40% and 45% protein diet, but not significantly different from that of fish fed 55% and 60% protein diet ($P > 0.05$). The protein efficiency ratio tended to decrease with increasing dietary protein level, but there is no significant difference among the diets containing 35%, 40% and 50% protein levels ($P > 0.05$). Dietary protein requirement using broken-line model was estimated at approximately 49% and 46% for maximum growth and maximum protein utilization, respectively. Therefore, it is suggested that the optimum dietary protein level for juvenile *T. obscurus* should be 46%–49%. The result is similar to that of tiger puffer *T. rubripes*.

Key words: *Takifugu obscurus*; optimum protein requirement; weight gain; feed efficiency; protein efficiency

收稿日期: 2002-09-05

资助项目: 南京师范大学青年科学基金项目(2001XQ22)

作者简介: 杨 州(1971–), 男, 安徽蚌埠人, 讲师, 硕士, 主要从事淡水鱼类增养殖的研究。Tel: 025-3598916, E-mail: yangzhouff@vip.sina.com

rate; broken-line model

东方_鲻属鱼类, 全球约 20 余种, 决大多数分布于西北太平洋的温热海区, 其中的暗纹东方_鲻 (*Takifugu obscurus*) 是为数不多的需进入淡水中产卵繁殖的种类之一, 每年 3—5 月份成群溯河洄游至长江或通江的湖泊中水草丰盛的地方产卵繁殖, 幼鱼在淡水中肥育。由于该种鱼类对淡水的很好适应性及较高的经济价值, 已经被我国开发为淡水养殖的新品种, 逐步形成了相对完善的规模化人工繁殖及集约化养殖技术体系。但是, 由于暗纹东方_鲻营养需求研究与专用配合饲料开发的严重滞后, 实际的养殖生产中通常用鳊鱼、甲鱼的配合饲料替代^[1], 尽管在表面上保证了大多数养殖生产的正常运转, 但不同种类的鱼对营养物质的需求是有差别的, 不适宜的营养可能对鱼体的健康、生长速度等方面产生不良后果或提升了养殖成本。因此, 开展暗纹东方_鲻营养需求的研究已成为河_鲻养殖业持续健康发展迫切需要解决的问题。有关东方_鲻属鱼类的营养需求的研究国外开展较早, 主要为已进入大规模养殖的红鳍东方_鲻, 包括最适蛋白质^[2,3]、脂肪^[4,5]、碳水化合物^[5,6]、维生素^[5,7,8]、矿物质^[9,10]、诱食剂^[11,12]、摄食消化^[13-15]、能流^[16]、替代蛋白源^[17-20]等。这些研究成果都可以作为研究暗纹东方_鲻营养需求的有益参考。在众多的营养物质中, 蛋白质是决定鱼类生长的最关键的物质, 也是饲料成本中成本最高的部分, 因此, 确定配合饲料中蛋白质最适需求量, 在鱼类营养学和饲料生产上极为重要^[21], 很多养殖品种对蛋白质的最适需求都有研究报道^[22-26], 因此, 我们采用蛋白质梯度法首先研究并确定了暗纹东方_鲻幼鱼获得最大生长时配合饲料中最佳蛋白质水平。

表 1 暗纹东方_鲻幼鱼试验饲料原料组成

Tab. 1 Ingredient of the experimental diets for

juvenile *T. obscurus* %

饲料编号 diet no.	1	2	3	4	5	6
蛋白质水平 protein level	35	40	45	50	55	60
白鱼粉 white fish meal	50.0	57.0	64.0	72.0	78.0	85
糊精 dextrin	27.0	20.5	14.0	7.5	1.0	0.0
α -淀粉/羧甲基纤维素 wheat starch/CMC	4/2	4/2	4/2	4/2	4/2	4/2
鱼油 fish oil	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
混合维生素 vitamin mixture	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
混合无机盐 mineral mixture	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
纤维素 cellulose	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	0.0

1 材料与方

1.1 试验饲料配方设计及成分分析

以白鱼粉为蛋白源共制备了蛋白质水平分别为 35%、40%、45%、50%、55% 和 60% 的 6 种试验饲料, 每种饲料的总能基本为等热值 ($20.6 \pm 0.51 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$), 其设计配方见表 1。另外, 制备的试验饲料准确营养成分含量采用常规的检测方法进行测定: 粗蛋白质采用微量凯氏定氮法; 粗脂肪用无水乙醚抽提法; 粗灰分用 550°C 灼烧法, 具体营养成分含量见表 2。

1.2 试验鱼准备与分组

试验用暗纹东方_鲻幼鱼系当年人工繁殖所得, 并已成功转食, 能正常摄食配合饲料。试验前于试验池正常养殖 1 周, 1 周后挑选出 600 尾 (体长 $10.2 \pm 0.12 \text{ cm}$, 体重 $23.6 \pm 0.27 \text{ g}$), 空腹 1d 后带水称量, 初始尾均重为 $23.6 \pm 0.27 \text{ g}$ 。从 600 尾待试鱼中随机抽取 540 尾, 随机分为与蛋白质梯度相对应的 6 个试验组, 每组设 3 个重复处理, 每个处理试验鱼 30 尾。

1.3 试验方法

试验池为室内水泥池 ($1.2 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$),

表 2 暗纹东方_鲻幼鱼试验饲料营养成分分析

Tab. 2 Analysis of nutrient of experimental diets

for juvenile *T. obscurus* %, dry weight

饲料编号 diet no.	1	2	3	4	5	6
粗蛋白 crude protein	35.3	39.8	45.1	50.2	54.9	59.6
粗脂肪 crude lipid	9.8	9.8	9.9	10.0	10.0	10.2
粗灰分 crude ash	10.2	10.3	10.6	11.1	11.2	11.5
总能 gross energy ($\text{KJ} \cdot \text{g}^{-1}$) *	19.9	20.2	20.5	20.7	21.0	21.3

*: 由蛋白质、脂肪、碳水化合物的平均产热量分别为 23.6, 39.5, $17.2 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 间接推算而得^[22]

* means calculation based on 23.6, 39.5 and $17.2 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ for protein, lipid and carbohydrate respectively

各池条件一致。投饵时将粉状配合饲料按一定比例加水调制成软性湿团后直接投喂,每天投喂3次,投饵时间分别为7:00、12:00和17:00,每天投饵量约为鱼体重的2%,若有残饵则及时捞出扣除,精确计算每天的实际投饵量。每2周测量体重一次,投饵率据此适当地相应调整,保证试验鱼饱食,养殖试验持续12周。试验期间,水温24~26℃,气泵增氧,DO>5mg·L⁻¹,用小型水泵维持微流水,日换水量20%,定时吸污,加强鱼病防治及防范同类相残。

1.4 测定指标及计算方法

试验结束后,对试验鱼进行称重和记数,增重率、蛋白质效率、饲料效率和成活率的计算方法如下:

$$\text{增重率}(\%) = \frac{W_t - W_0}{W_t} \times 100 \quad \text{蛋白质效率}(\%) = \frac{W_t - W_0}{I_p} \times 100$$

$$\text{饲料效率}(\%) = \frac{W_t - W_0}{I_f} \times 100 \quad \text{成活率}(\%) = \frac{N_t}{N_0} \times 100$$

其中, W_t 、 N_t 和 W_0 、 N_0 为试验结束和开始时鱼的平均体重和数量; I_f 为同一试验组平均每尾鱼摄入饲料量的干重; I_p 为同一试验组平均每尾鱼摄入的蛋白质质量。

1.5 数据统计方法

不同试验组之间的差异用方差分析和Duncan氏新多元法进行检验。

2 结果

2.1 养殖试验结果

经过12周的养殖试验,各试验组幼鱼的增重率、蛋白质效率、饲料效率和成活率等指标列于表3。由表3可见,试验结束时所有试验鱼全部成活,成活率均为100%,得益于同类相残的有效防范。试验鱼的增重率在蛋白质含量低于50.2%时,随着蛋白质水平含量的增加而增加,且呈现显著差异($P < 0.05$),而投喂蛋白质含量为50.2%、54.9%和59.6%的试验鱼的增重率无显著差异($P > 0.05$)。当蛋白质含量由35.3%上升至50.2%时饲料效率逐步提高,且各试验组之间存在显著差异($P < 0.05$),超过50.2%后饲料效率达到一个平台,基本不再变化($P > 0.05$)。蛋白质效率在蛋白质的含量45.1%~59.6%范围内呈逐渐降低的趋势($P < 0.05$),但在35.3%、39.8%和50.2%试验组间无显著差异($P > 0.05$)。综上所述,50%蛋白质含量组的试验鱼各项指标均较优越。

表3 不同蛋白质含量的饲料对暗纹东方鲀幼鱼生长的影响

Tab. 3 Growth performance of juvenile *T. obscurus* fed the diets containing various protein levels

饲料编号 diet no.	1	2	3	4	5	6
初重(g) initial weight	23.6±0.27	23.6±0.27	23.6±0.27	23.6±0.27	23.6±0.27	23.6±0.27
末重(g) final weight	50.3±2.23 ^a	52.8±2.31 ^a	53.9±2.06 ^b	61.2±1.81 ^c	62.5±2.17 ^c	61.3±1.83 ^c
增重率(%) weight gain	113.2±9.45 ^a	123.8±9.79 ^a	149.6±8.73 ^b	159.3±7.67 ^c	164.8±9.19 ^c	159.5±7.75 ^c
摄入饲料量(g) feed intake	60.7±2.92 ^{ab}	59.6±2.44 ^a	61.0±2.51 ^b	61.6±2.62 ^b	62.1±3.05 ^b	61.1±2.84 ^b
摄入蛋白量(g) protein intake	21.5±1.03 ^a	23.7±0.97 ^b	27.5±1.13 ^b	30.9±1.32 ^d	33.6±1.67 ^e	36.4±1.69 ^f
饲料效率(%) feed efficiency	43.9±0.48 ^a	48.9±1.16 ^b	57.9±2.36 ^c	61.0±1.82 ^d	62.5±2.66 ^d	61.7±1.75 ^d
蛋白质效率(%) protein efficiency rate	1.24±0.03 ^b	1.23±0.04 ^b	1.28±0.02 ^a	1.22±0.02 ^b	1.16±0.02 ^c	1.04±0.03 ^d
成活率(%) survival rate	100	100	100	100	100	100

注:表中数值在右上角标有相同的字母,期间无显著差异($P > 0.05$);标不同字母者其间有显著差异($P < 0.05$)

Notes: in the same row with same letters are not significantly different ($P > 0.05$), with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

2.2 暗纹东方鲀幼鱼对蛋白质最适需要量的确定

通过增重率计算饲料最适营养物质含量有折线模型^[27]和二次曲线模型^[28]两种方法,已分别广泛应用于多种鱼类对蛋白质最适需求量的确定^[21]。当蛋白质含量的增加与鱼类生长率呈线形上升,且达到一定浓度范围之后,生长率便不在增加而维持在一定水平呈平台状,这种情况便可用折线模型来确定蛋白质的最适含量。在本试验中,以蛋白质含量与暗纹东方鲀幼鱼的增重率这两个变量作图(图1),便可看出这是一个典型的折线关系。折线模型包括两部分,一是斜率不为零的线形部分,一是斜率为零的水平线部分。其数学表达式是:

$$Y=L+U(R-X_{RL})$$

Y 为增重率; R 、 L 为折点的坐标 (R 、 L); R 为要计算的需要量; X_{RL} 是小于 R 的自变量 (X) 值; U 是直线 X_{RL} 的斜率; 当 $X > R$ 时, 定义 $(R - X_{RL}) = 0$ 。

从图1可知, R 值小于但接近50, 在这个范围内试取48, 49和50三个 R 值, 对 $(R - X_{RL})$ 及 Y 这两个变量进行直线回归分析, 拟合直线 $Y = L + U(R - X_{RL})$, 通过计算模型的方差总和 F , [$F = \sum (Y_i - Y_i')^2$, Y_i 为实际测值, Y_i' 为回归估计值], F 的最小值对应 R 值即为最适需要量。回归分析及计算结果列于表4。由表4比较 F 值的大小可知, $R = 49$ 时, F 值最小, 所以由增重率确定的暗纹东方鲀幼鱼对蛋白质的最适需要量是49%。

另外, 对于不同蛋白质含量对蛋白质效率的影响, 也同样可以用折线模型进行估算^[23], 结果, 对应的饲料最适蛋白质含量大约为46%。

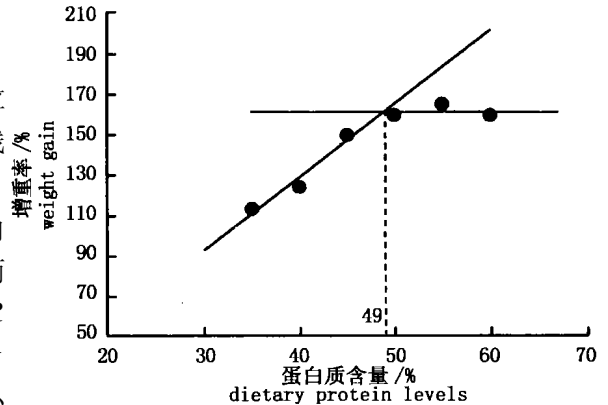


图1 不同蛋白质含量与暗纹东方鲀幼鱼增重率关系的折线模型分析

Fig. 1 Broken line model analysis of percent weight gain in juvenile *T. obscurus* fed the diets containing various protein levels

表4 暗纹东方鲀幼鱼对蛋白质最适需要量的计算

Tab. 4 The calculation of optimum dietary protein level for juvenile *T. obscurus*

蛋白质水平 X_i (%) protein level	增重率 Y_i (%) weight gain	$R=48$		$R=49$		$R=50$	
		$(R - X_{RL})$	$(Y_i - Y_i')^2$	$(R - X_{RL})$	$(Y_i - Y_i')^2$	$(R - X_{RL})$	$(Y_i - Y_i')^2$
35.3	113.2	12.7	4.84	13.7	4.84	14.7	4.84
39.8	123.8	8.2	16.81	9.2	16.00	10.2	16.40
45.1	149.6	2.9	13.61	3.9	36.1	4.9	3.50
50.2	159.3	0	0.49	0	9.00	0	46.24
54.9	164.8	0	38.44	0	6.25	0	1.69
59.6	159.5	0	0.81	0	7.84	0	43.56
$F = \sum (Y_i - Y_i')^2$			65.00		47.54		116.23
回归关系 regression relation		$Y = 158.6 - 3.75(R - X_{RL})$		$Y = 162.3 - 3.75(R - X_{RL})$		$Y = 166.1 - 3.75(R - X_{RL})$	

3 讨论

营养物质添加量与鱼类增重率这两个变量之间的相互关系会因营养物质及鱼的种类、试验范围等不同而变化, 导致它们两者的相互关系可能为线形或非线形关系两大类, 它们所对应的常用数学模型为折线模型和二次曲线模型^[21]。分析本试验中生长数据可知, 暗纹东方鲀幼鱼的增重率与蛋白质含量在35.2%~50.2%范围内呈线形关系, 高于这个范围后($> 50.2\%$), 生长率不再呈现显著变化而维持水平状态, 因此更适宜用折线模型。若营养物质在低浓度时生长率随着浓度上升而迅速增加, 到达一定范围后生长率增加缓慢, 然后生长率会随着营养物质浓度的进一步增加而下降, 这种情况适合用二次曲线模

型,特别是在营养物质梯度间隔较宽且与生长性能呈曲线关系时,此模型更具优越性^[28]。

在确定鱼类对某一营养物质的需要量时,由于评定指标的不同会引起需求量估算值之间的差异^[29]。在鱼类的营养需求研究中有两类常用指标,一类是包括特殊体重增长率、体重增重率等生长速率指标,另一类是反映鱼类对饲料及其营养物质利用效率的指标,如饲料效率、蛋白质效率等,但大多数研究通常采用前一类指标来确定鱼类饲料的最适蛋白质含量^[1,2,3,22-26,29]。因为生长反应如增重率是一个可靠的指标,它通常随蛋白质水平的改变而非常敏感;而后一种方法的可靠性在很大程度上依赖于对鱼类摄食的精确定量,因此会由于养殖条件和技术手段的限制而难以采用^[30]。但若仅以某一类指标来确定饲料的最适蛋白质含量是不全面的,所以本研究结合实际试验条件和试验目的,对饲料的制作及实际摄入量进行了较精确的定量,既采用增重率为主要指标,也利用了饲料效率和蛋白质效率对暗纹东方魮的生长状况进行综合评价。结果显示,以增重率为指标求得的饲料最适蛋白质含量为49%,而以蛋白质效率为指标时求得的饲料最适蛋白质含量为46%,这两类指标求得的最适蛋白质含量的差异与一些研究结果是一致的^[23,31],即获得最大增重率时对应的蛋白质含量往往高于获得最大蛋白质效率时对应的蛋白质含量。因此,本研究结合增重率、蛋白质效率等参数作为综合评价指标认为暗纹东方魮幼鱼对蛋白质的最适需求量为46%~49%。

国外学者研究表明,东方魮属中的其它鱼类幼鱼获得最大增重时蛋白质需要量为50%^[2,31],本研究以白鱼粉为蛋白源,在饲料能量为 $(20.6 \pm 0.51) \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 、水温 $24 \sim 26 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,暗纹东方魮幼鱼获得最大增重时的蛋白质需要量为49%,这些微小差别可能主要是由于试验鱼体大小差异所造成的。因为,鱼类对蛋白质的需求随着个体增大呈下降趋势^[32]。根据亲缘关系相近鱼类的营养需求量也具有相似性的特点以及本研究以蛋白质效率为指标确定的对饲料利用最佳时的蛋白质含量大约为46%,因此可以估测东方魮属鱼类对蛋白质的需要量较高,大致为45%~50%。另外,暗纹东方魮与红鳍东方魮的增重率、饲料效率与蛋白质效率随着蛋白质水平的不同所呈现的动态变化基本相同^[2,31],类似的变化趋势在其它鱼类的研究中也有不少报道^[24-26]。

同一种鱼类,在不同的水温、蛋白源、个体大小、养殖密度和试验方法等情况下,对蛋白质的最适需要量可能不同,饲料中的其它营养成分也会对此产生影响^[21,32]。本试验采用的饲料基本上是等热值的,但是由于不同的蛋白质含量导致不同的能量蛋白比,也可能影响试验鱼的生长性能^[3]。另外,已有研究表明,暗纹东方魮对脂肪有很高的消化率^[33],有关红鳍东方魮也有这方面的报道^[6],在实际的饲料配制中,应充分考虑脂肪对蛋白质的节约作用。

感谢日本近畿大学水产研究所 Kenji Takii 博士提供大量有价值的研究资料。

参考文献:

- [1] Yang Z, Yang J X. Advances on the research of the nutritional requirements and the feed application of *Takifugu obscurus* [J]. Reservoir Fisheries, 2002, 22(1): 1-2. [杨州, 杨家新. 河魮营养需求与饲料应用概况[J]. 水利渔业, 2002, 22(1): 1-2.]
- [2] Kanazawa A, Teshima S, Sakamoto M, et al. Nutritional requirements of the puffer fish: purified test diet and the optimum protein level [J]. Bull Jap Fish Soc Sci, 1980(46): 1357-1361.
- [3] Bai S C, Wang X, Cho E. Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile yellow puffer [J]. Fisheries Science, 1999, 65(3): 380-383.
- [4] Takii K, Ukawa M, Nakamura M, et al. Suitable lipid level in brown fish meal diet for tiger puffer [J]. Fisheries Science, 1995, 61(5): 841-844.
- [5] Kakuta I, Okabe M, Nanba K, et al. Studies on nutritional requirement of fugu III. Effect of dietary dextrin, feed oil and vitamins [J]. Suisanzoshoku, 1988, 36: 183-191.
- [6] Takii K, Ukawa M, Nakamura M, et al. Suitable sugar level in brown fish meal diet for tiger puffer [J]. Fisheries Science, 1995, 61(5): 837-840.
- [7] Kato K, Ishibashi Y, Murata O, et al. Qualitative water-soluble vitamin requirements of tiger puffer [J]. Fisheries Science, 1994, 60: 589-596.

- [8] Kubota S, Endo M, Miyazaki T, et al. Studies on the nutritional myopathy syndrome in cultured fishes III. A prophylaxis effect of vitamin E on nutritional myopathy in cultured puffers[J]. *Fish Pathology*, 1981, 16: 9—13.
- [9] Hossain M A, Furuichi M. Availability of environmental and dietary calcium in tiger puffer[J]. *Aquaculture International*, 1998, 6(2): 121—132.
- [10] Hossain M A, Furuichi M. Calcium requirement of tiger puffer fed a semi-purified diet[J]. *Aquaculture International*, 1999, 7(5): 287—293.
- [11] Ohsugi T, Hikada I, Ikeda M. Taste receptor stimulation and feeding behavior in the puffer, *Fugu pardalis* II. Effects produced by mixtures of constituents of clam extracts[J]. *Chemical Senses and Flavor*, 1978, 3: 355—368.
- [12] Takaoka O, Takii K, Nakamura M, et al. Identification of feeding stimulants for tiger puffer[J]. *Fisheries Science*, 1995, 61: 833—836.
- [13] Takii K, Konishi K, Ukawa M, et al. Comparison of digestive and absorptive functions between tiger puffer and red sea bream[J]. *Fisheries Science*, 1997, 63(3): 349—354.
- [14] Kumai H, Kimura I, Nakamura M, et al. Studies on digestive system and assimilation of a flavored diet in ocellate puffer[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1989, 55: 1035—1043.
- [15] Tanaka M. Studies on the structure and function of the digestive system during postlarval stage[J]. *Japanese Journal of Ichthyology*, 1971, 18: 164—174.
- [16] Takii K, Konishi K, Ukawa M, et al. Influence of feeding rates on digestion and energy flow in tiger puffer and red bream[J]. *Fisheries Science*, 1997, 63(3): 335—360.
- [17] Ukawa M, Takii K, Nakamura M, et al. Utilization of soybean meal for tiger puffer single moist pellet[J]. *Suisanzoshoku*, 1996, 44(2): 217—223.
- [18] Takii K, Nakamura M, Urakawa K, et al. Soybean trypsin inhibitors inhibit trypsin-like and basic pteinase activities of cultured fishes[J]. *Fisheries Science*, 1998, 64(6): 935—938.
- [19] Ukawa M, Takii K, Nakamura M, et al. Utilization of soybean protein for single moist pellet of tiger puffer[J]. *Suisanzoshoku*, 1997, 45: 547—553.
- [20] Ukawa M, Takii K, Nakamura M, et al. Utilization of some protein sources in single moist pellets for tiger puffer[J]. *Suisanzoshoku*, 1996, 44(4): 511—516.
- [21] Li A J. Nutrition and feed of aquatic animal[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1996. 8—105. [李爱杰. 水产动物营养与饲料学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 8—105.]
- [22] Yang G H, Li J, Cao L J, et al. Optimum level of protein in diet for black carp fingerlings[J]. *J Fish China*, 1981, 5(1): 50—55. [杨国华, 李 军, 郭履骧, 等. 夏花青鱼饵料中最适蛋白质含量[J]. *水产学报*, 1981, 51(1): 50—55.]
- [23] Zhang W B, Xie X J, Fu S J, et al. The nutrition of *Silurus meridionalis*: optimum dietary protein level[J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 2000, 24(6): 603—609. [张文兵, 谢小军, 付世杰, 等. 南方鲇的营养学研究: 饲料的最适蛋白质含量[J]. *水生生物学报*, 2000, 24(6): 603—609.]
- [24] Ng W K, Soon S C, Hashim R. The dietary protein requirement of a bagrid, *mystus nemurus*, determined using semipurified diets of varying protein level[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2001, 7: 45—51.
- [25] Tibbetts S M, Lall S P, Anderson D M. Dietary protein requirement of juvenile American eel (*Anguilla rostrata*) fed practical diets[J]. *Aquac*, 2000, 186: 145—155.
- [26] Vergara J M, Fernandez-Palacios H, Robaina L, et al. The effects of varying dietary protein level on the growth, feed efficiency, protein utilization and body composition of gilthead sea bream fry[J]. *Fisheries Science*, 1996(62): 620—623.
- [27] Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrition requirements from growth data[J]. *Journal of Nutrition*, 1979, 109: 1710—1714.
- [28] Zeitoun I H, Ullery D E, Magea D E, et al. Quantifying nutrition requirements of fish[J]. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 1976, 33: 167—172.
- [29] Tibaldi E, Beraldo P, Volpelli A, et al. Growth response of juvenile *Dentex dentex* L. to varying protein level and protein to lipid ratio in practical diets[J]. *Aquac*, 1996, 139: 91—99.
- [30] Mai K, Mercer J P, Donlon J. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis disais hamai* IV. Optimum dietary protein level for growth[J]. *Aquac*, 1995, 136: 165—180.
- [31] Khan M S, Ang K J, Ambak M A, et al. Optimum dietary protein requirement of a Malaysian freshwater catfish *Mystus nemurus*[J]. *Aquac*, 1993, 112: 227—235.
- [32] National Research Council. Nutrition requirement of fish[M]. National Academy Press, Washington, DC, 1993. 6—114.
- [33] Wu B Q, Shen M F, Yin Y, et al. The study on digestibility of *Takifugu obscurus* for formula feed[J]. *Journal of Aquaculture*, 2000, (1): 22—23. [吴倍琦, 沈美芳, 殷 悦, 等. 暗纹东方 对配合饲料表观消化率的初步研究[J]. *水产养殖*, 2000, (1): 22—23.]