

文章编号: 1004-7271(2007)03-0224-06

投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长 及蛋白酶活力的影响

王武, 周锡勋, 马旭洲, 李伟纯

(上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

摘要:研究了不同投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼的摄食率、特定生长率、饲料转化率及蛋白酶活力的影响。实验共设5组不同投喂频率:0.5、1、2、3和4次/d, 每组3个重复, 每次饱食投喂。隔20d取样检验一次, 试验周期60d。研究发现:21~60d瓦氏黄颡鱼幼鱼的摄食率和特定生长率随投喂频率的增加而显著升高($P < 0.05$); 3次/d组饲料转化率显著高于0.5次/d组($P < 0.05$), 而其他各组间无显著差异($P > 0.05$); 胃和肠蛋白酶活力随投喂频率增加而显著降低($P < 0.05$)。根据实验结果, 建议瓦氏黄颡鱼幼鱼在集约化饲养条件下的最适投喂频率为3次/d。

关键词:瓦氏黄颡鱼; 投喂频率; 生长; 蛋白酶

中图分类号: S 965.1 文献标识码: A

Effect of feeding frequency on the growth and protease activities of *Pelteobagrus vachelli*

WANG Wu, ZHOU Xi-xun, MA Xu-zhou, LI Wei-chun

(College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Experiments were conducted to investigate the influence of feeding frequency on feeding rate, specific growth rate, food efficiency and protease activities in a native fish, *Pelteobagrus vachelli*. Five groups of the juveniles were fed to satiation including: one meal in two days, one meal per day, two meals per day, three meals per day or four meals per day for 60 days, and the fish were sampled every 20 days. The results showed that from the 21st to 60th day, as feeding frequency increasing, the feeding rate and special growth rate increased significantly ($P < 0.05$); and the fish fed with three meals per day showed higher food efficiency than the fish fed with one meal in two days ($P < 0.05$); but the results were not significantly different with each other ($P > 0.05$). On the other hand, as feeding frequency decreased, stomach and gut protease activities increased significantly ($P < 0.05$). The present study suggested that the feeding rate of three meals per day is profitable for intensive culture of *Pelteobagrus vachelli*.

Key words: *Pelteobagrus vachelli*; feeding frequency; growth; protease

瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*), 又称江黄颡鱼, 为中国特有土著鱼类, 广泛分布于长江、珠江、钱

收稿日期: 2006-10-11

基金项目: 上海市重点学科建设项目(Y1101); 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2004)8-8号]

作者简介: 王武(1941-), 男, 江苏太仓人, 博士生导师, 主要从事水产动物增殖方面的研究。E-mail: wwang@shfu.edu.cn

塘江、淮河、黄河流域的大、中、小型湖泊及其周围河流内。二十世纪 80 年代前广泛分布于长江干流及其附属水体,是长江中下游的渔业对象之一,具有重要的经济价值。瓦氏黄颡鱼生长较快,2 龄可达 150~600 g;对环境的抗逆性强,可高密度混养;可采用人工饲料驯化。瓦氏黄颡鱼肉味鲜美,肉质细嫩,无肌间刺,几乎无鱼腥味,经济价值高,是很有前途的淡水养殖种类^[1]。

国内外学者对鱼类投喂频率的研究结果表明,适宜的投喂频率可以提高鱼类的生长速度和存活率,减少食物损失,因而提高饲料转化率,减少个体生长的变异,最终提高产量^[2]。摄食量和饲料转化率影响鱼类的生长^[3],在人工饲养条件下,如果投喂频率不合理,鱼类的生长速度就会降低,规格就会分化,导致个体大小差异较大^[4]。关于瓦氏黄颡鱼的生物学方面已进行了不少研究^[5-8],但有关瓦氏黄颡鱼幼鱼投喂频率的研究还未见报道。本实验研究了不同投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长和蛋白酶活力的影响,以便获得瓦氏黄颡鱼幼鱼生长速度最快和饲料转化率最佳时的投喂频率,为瓦氏黄颡鱼幼鱼的集约化养殖提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验用瓦氏黄颡鱼幼鱼来自安徽省鮠科鱼类良种场同一批人工孵化的幼鱼,运至本校实验生态实验室内的控温、过滤净化循环水养殖系统内驯养 60 d,驯养期间每天投喂 2 次,以饱食为准。饲料为瓦氏黄颡鱼专用颗粒饲料,主要营养组成为:粗蛋白 39.2%、粗脂肪 4.7%、粗纤维 5.1%、粗灰分 16.8%、水分 12.0%,其粒径为 3 mm。光照为自然光照。瓦氏黄颡鱼的初始体长为(10.6±0.7) cm,体重为(16.72±3.75) g。养鱼容器为黑色聚乙烯薄膜遮光的圆形透明玻璃缸。

1.2 实验设计

实验设 5 组不同投喂频率,分别是:(1)0.5 次/d(即:2d/次),投喂时间为 10:00;(2)1 次/d,投喂时间为 10:00;(3)2 次/d,投喂时间分别为 10:00 和 22:00;(4)3 次/d,投喂时间分别为 8:00,15:00 和 22:00;(5)4 次/d,投喂时间分别为:8:00,13:00,18:00 和 22:00。每组 3 个重复,每个重复 30 尾实验鱼。生长实验在室内控温、过滤净化循环水养殖系统中进行,每个水族箱的体积为 0.26 m³。每星期用经过曝气 3 d 以上的自来水置换 1/3 水族箱的养殖用水,水温(28.0±1.0)℃,颗粒饲料及光照与驯养期相同,DO>5.0 mg/L。实验持续 60 d。

1.3 实验方法

1.3.1 生长和摄食

在第 0、20、40 和 60 d 每个水族箱取全部实验鱼,先用湿润毛巾擦净鱼体上的水,然后用直尺测量瓦氏黄颡鱼体长,精确到 0.1 cm;用电子天平测量体重,精确到 0.01 g,测量结束后全部放回原水族箱。

用肉眼观察实验鱼摄食,以 2 min 内没有鱼再摄食为饱食标准,每次投喂后水族箱内剩余饲料不超过 10 粒(约 7.5 mg/粒)。

1.3.2 蛋白酶样品的制备和测定

取样及样品制备 在第 0、19、39 和 59 d 随机取样,每个水族箱取 5 条实验鱼,测定蛋白酶活力。每次取样时间为投喂后 3 h,同上方法先测体长体重,然后将实验鱼放入冰水中使其休克,再在冰盘中解剖。分别取肝胰脏、胃和前、中肠,去掉肠和胃的内容物,并用预冷双蒸水冲洗内壁,再用滤纸小心拭干,称重。加入 10 倍冷却(<4℃)双蒸水,在 0~4℃下匀浆,抽提 15~20 h。然后在 4℃、10 000 r/min 下离心 30 min,取上清液置于 4℃冰箱中待用(不超过 24 h)。

蛋白酶活性测定 采用福林—酚试剂法。蛋白酶活性定义:1 g 新鲜组织样品在 pH 7.5(测定胃蛋白酶活性时 pH 为 2.5)和 37℃的条件下每分钟水解酪蛋白产 1 μg 酪氨酸为一个蛋白酶活性单位 [μg/(min·g)]。

1.4 计算方法

$$\text{摄食率 FR}(\%) = C \times 100 / (t \times (W_0 + W_t) / 2)$$

$$\text{特定生长率 SGR}(\%/d) = (\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t$$

$$\text{饲料转化率 FE}(\%) = (W_t - W_0) \times 100 / C$$

其中, W_0 为初始体重(g), W_t 为终末体重(g), t 为实验时间(d), C 为摄入饲料的总量(g)。

1.5 统计方法

实验数据用 SAS 9.1 统计软件进行方差分析及 Duncan 氏多重比较。

2 结果

2.1 不同投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼摄食率、特定生长率和饲料转化率的影响

不同投喂频率条件下瓦氏黄颡鱼幼鱼摄食率、特定生长率和饲料转化率测定结果(表1)表明:

从摄食率比较:第21~40天,4次/d和3次/d组摄食率显著高于0.5次/d和1次/d组($P < 0.05$);第41~60天,3次/d组摄食率显著高于0.5次/d组($P < 0.05$),4次/d、2次/d和1次/d组之间无显著差异($P > 0.5$)。0.5次/d~2次/d组平均摄食率随投喂频率增加而增加,但3次/d~4次/d组,增加投喂频率并不能显著地增加摄食率,3次/d组和4次/d组摄食率无显著差异($P > 0.5$)。

从饲料转化率比较:第21~40天,1次/d组饲料转化率最高,而2次/d组最低,两组之间存在显著差异($P < 0.05$),其他各组之间无显著差异($P > 0.05$);第41~60天,3次/d和2次/d组饲料转化率显著高于0.5次/d组($P < 0.05$),其他各组之间无显著差异($P > 0.05$)。第21~60天,3次/d组饲料转化率最高,0.5次/d组饲料转化率最低,两组之间有显著差异($P < 0.05$)。

从特定生长率比较:第21~40天,3次/d与4次/d组 SGR 显著高于其余组($P < 0.05$);第41~60天,3次/d组 SGR 平均值最高,0.5次/d组最低,4次/d、3次/d组与其他各组存在显著差异($P < 0.05$)。第21~60天,瓦氏黄颡鱼幼鱼 SGR 随投喂频率的增加而升高。

表1 投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长的影响
Tab.1 Effect of feeding frequency on the growth of *Pelteobagrus vachelli* Mean \pm S. E.

投喂频率	时间(d)	0.5	1	2	3	4
初始体重(g)	0	16.81 \pm 4.09	16.68 \pm 3.79	16.61 \pm 3.48	17.04 \pm 3.82	16.45 \pm 3.52
终末体重(g)	60	31.51 \pm 0.54 ^c	32.96 \pm 0.91 ^c	36.63 \pm 0.97 ^b	43.54 \pm 1.68 ^a	42.84 \pm 2.58 ^a
FR (%)	0~20	1.88 \pm 0.09 ^a	2.40 \pm 0.17 ^b _i	2.82 \pm 0.19 ^c _i	3.33 \pm 0.20 ^d _i	3.58 \pm 0.26 ^d _i
	21~40	1.90 \pm 0.20 ^a	1.85 \pm 0.16 ^a _{ii}	1.98 \pm 0.37 ^{ab} _{iii}	2.41 \pm 0.22 ^{ab} _{ii}	2.22 \pm 0.24 ^b _{ii}
	41~60	1.92 \pm 0.13 ^a	2.27 \pm 0.17 ^{ab} _i	2.40 \pm 0.17 ^{bc} _{ii}	2.73 \pm 0.19 ^c _{ii}	2.61 \pm 0.27 ^{bc} _{ii}
	21~60	1.91 \pm 0.14 ^d	2.06 \pm 0.00 ^{cd}	2.19 \pm 0.11 ^{bc}	2.57 \pm 0.12 ^a	2.41 \pm 0.23 ^{ab}
SGR (%)	0~20	1.14 \pm 0.05 ^a	1.43 \pm 0.24 ^a _i	1.88 \pm 0.25 ^b _i	2.03 \pm 0.56 ^b _i	2.13 \pm 0.96 ^b _i
	21~40	0.96 \pm 0.07 ^a	0.88 \pm 0.03 ^a _{ii}	0.80 \pm 0.06 ^a _{ii}	1.11 \pm 0.06 ^b _{ii}	1.06 \pm 0.04 ^b _{ii}
	41~60	1.06 \pm 0.09 ^a	1.10 \pm 0.13 ^{ab} _{ii}	1.27 \pm 0.06 ^b _{iii}	1.54 \pm 0.10 ^c _{iii}	1.50 \pm 0.08 ^c _{iii}
	21~60	0.99 \pm 0.03 ^a	0.99 \pm 0.08 ^a	1.03 \pm 0.03 ^a	1.32 \pm 0.09 ^b	1.28 \pm 0.06 ^b
FE (%)	0~20	63.75 \pm 0.61 _i	57.27 \pm 3.04	61.85 \pm 4.80 _i	55.97 \pm 5.17 _i	57.49 \pm 5.48 _i
	21~40	43.52 \pm 6.04 ^{ab} _{ii}	52.57 \pm 6.90 ^a	40.41 \pm 3.44 ^b _{ii}	48.15 \pm 3.34 ^{ab} _{ii}	43.50 \pm 3.91 ^{ab} _{ii}
	41~60	46.50 \pm 6.20 ^a _{ii}	48.81 \pm 7.07 ^{ab}	58.40 \pm 4.40 ^b _i	59.05 \pm 5.88 ^b _{ii}	57.23 \pm 5.70 ^{ab} _i
	21~60	45.01 \pm 2.60 ^a	50.70 \pm 3.11 ^{ab}	49.41 \pm 1.66 ^{ab}	53.60 \pm 3.48 ^b	50.36 \pm 3.65 ^{ab}

注:(1)同行数值上标英文字母不同,表明组间差异显著($P < 0.05$);(2)同列数值下标罗马字母不同,表明组内不同时段差异显著($P < 0.05$)

2.2 不同投喂频率下瓦氏黄颡鱼幼鱼蛋白酶活力稳定时间的确定

对不同投喂频率条件下瓦氏黄颡鱼幼鱼肠、胃蛋白酶活力测定结果(表2)表明:0.5、1及3次/d组

肠蛋白酶活力在第 19、39、59 天均无明显差异 ($P > 0.05$), 而与实验初始时有显著差异 ($P < 0.05$)。2 次/d 组肠蛋白酶活力在整个实验过程中无显著差异 ($P > 0.05$)。不同投喂频率下瓦氏黄颡鱼幼鱼胃蛋白酶活力在第 19、39、59 天组内均无显著差异 ($P > 0.05$); 除了 1 次/d 组, 各组的初始胃蛋白酶活力均与第 19、39、59 天有显著差异 ($P < 0.05$)。实验结果表明: 当投喂频率改变后, 瓦氏黄颡鱼幼鱼的消化系统对摄食节律改变有一个适应和调整的过程, 此过程至少需 20 d, 肠、胃蛋白酶活力至试验 20 d 以后渐趋稳定。

表 2 投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼蛋白酶活力

Tab. 2 Effect of feeding frequency on the protease activities of <i>Pelteobagrus vachelli</i>		Mean \pm S. E.			
消化组织	投喂频率 (次/d)	时 间			
		第 0 天 [$\mu\text{g}/(\text{min} \cdot \text{g})$]	第 19 天 [$\mu\text{g}/(\text{min} \cdot \text{g})$]	第 39 天 [$\mu\text{g}/(\text{min} \cdot \text{g})$]	第 59 天 [$\mu\text{g}/(\text{min} \cdot \text{g})$]
胃	0.5		2991.05 \pm 52.62 ^a _{ii}	2968.42 \pm 253.34 ^a _{ii}	2708.77 \pm 178.12 ^a _{ii}
	1		2645.61 \pm 231.66 ^b _{ii}	2435.93 \pm 52.45 ^b _{i ii}	2406.67 \pm 180.59 ^b _{i ii}
	2	2183.75 \pm 107.96 _i	1873.68 \pm 79.64 ^c _{ii}	1711.00 \pm 120.36 ^c _{ii}	1691.23 \pm 161.82 ^c _{ii}
	3		1761.40 \pm 220.88 ^{cd} _{ii}	1547.37 \pm 157.89 ^c _{ii}	1580.70 \pm 136.97 ^{cd} _{ii}
	4		1424.56 \pm 178.12 ^d _{ii}	1319.30 \pm 126.90 ^c _{ii}	1343.86 \pm 107.52 ^d _{ii}
	0.5		5614.04 \pm 153.39 ^a _{ii}	5557.89 \pm 210.26 ^a _{ii}	5708.77 \pm 318.29 ^a _{ii}
	1		4617.54 \pm 195.33 ^b _{ii}	4417.21 \pm 126.46 ^b _{i ii}	4547.37 \pm 162.05 ^b _{ii}
	2	4152.36 \pm 166.57 _i	4242.11 \pm 242.79 ^b	3996.49 \pm 171.06 ^c	4287.72 \pm 142.14 ^b
肠	3		3649.12 \pm 166.54 ^c _{ii}	3287.72 \pm 216.32 ^d _{ii}	3433.33 \pm 253.80 ^c _{ii}
	4		3019.30 \pm 227.31 ^d _{ii}	2345.61 \pm 167.87 ^e _{iii}	2612.28 \pm 166.96 ^d _{ii}
	0.5		57.23 \pm 8.09 _{ii}	49.54 \pm 6.49 _i	47.71 \pm 6.34 _i
	1		58.30 \pm 6.05 _{ii}	50.88 \pm 5.80 _i	51.93 \pm 8.76 _i
肝胰脏	2	53.77 \pm 4.13 _i	51.58 \pm 8.22	52.63 \pm 6.90	52.63 \pm 8.42
	3		53.33 \pm 6.84	54.38 \pm 8.51	52.98 \pm 8.95
	4		53.68 \pm 2.11	54.74 \pm 9.47	52.28 \pm 6.76

注: (1) 同列数值上标英文字母不同, 表明组间差异显著 ($P < 0.05$);

(2) 同行数值下标罗马字母不同, 表明组内不同时段差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 不同投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼蛋白酶活力的影响

不同投喂频率条件下瓦氏黄颡鱼幼鱼肝胰腺、胃和肠蛋白酶活力测定结果(表 2)表明:

从胃蛋白酶活力比较: 第 19、39 和 59 天, 瓦氏黄颡鱼幼鱼胃蛋白酶活力均随投喂频率增加而降低, 0.5 次/d 和 1 次/d 组显著高于其他组 ($P < 0.05$), 其他三组无显著差异 ($P > 0.05$)。

从肠蛋白酶活力比较: 第 19 天, 除 1 次/d 和 2 次/d 组之间无显著差异外 ($P > 0.05$), 瓦氏黄颡鱼幼鱼肠蛋白酶活力均为投喂频率较低组显著高于较高组 ($P < 0.05$)。第 39 天和 59 天, 肠蛋白酶活力随投喂频率的降低而增加。

从肝胰腺蛋白酶活力比较: 第 19、39 和 59 天, 瓦氏黄颡鱼幼鱼肝胰腺蛋白酶的活力均较低, 不同投喂频率组均无显著差异 ($P > 0.05$)。

3 讨 论

3.1 投喂频率与蛋白酶活力的关系

Uys 等^[9]研究发现摄食会引起非洲鲈拉丁学名鱼消化酶变化。本研究也发现了此现象, 而且蛋白酶活力的高低受每次摄食率的影响较日摄食率大。3 次/d 和 4 次/d 组虽然日摄食率高, 但每次摄食率明显低于投喂频率较低组, 因而它们胃和肠蛋白酶活力均较低。Das 等^[10]研究发现, 胰脏主要分泌蛋白酶原, 其蛋白酶活性微弱或没有活性, 而肠道分泌肠致活酶, 它能激活蛋白酶原。本研究结果表明: 不同投喂频率对瓦氏黄颡鱼肝胰脏的蛋白酶活性没有影响。

通常试验鱼驯化时以一种或两种^[11-12]不同频率投喂, 与实验时设置的各种投喂频率不全相同。鱼

类消化系统均有一个从驯化时的投喂频率到实验的不同投喂频率的适应过程。实验对象和方法不同,适应和调整过程需要的时间也不同。在本实验中,实验初始时瓦氏黄颡鱼幼鱼的胃和肠蛋白酶活力和第19天差异显著,而19d以后胃和肠的蛋白酶的活力较稳定,说明经过19d的适应和调整,鱼类消化系统已适应了由驯化时投喂2次/d到实验不同投喂频率的变化。不同投喂频率使鱼体形成生长差异,需要一定的生长试验时间。试验表明,以21~60d的测定数据作为考核指标来比较投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长影响的依据较为可靠。

3.2 投喂频率与生长的关系

不同鱼类的最适投喂频率差异较大,如异育银鲫的最佳生长表现及饲料利用效率均在24次/d的投喂频率下获得^[13];斑点叉尾鮰拉丁学名投喂频率2次/d较24次/d生长快,并且饲料的利用率更高^[14];巨石斑鱼的最佳投喂频率是0.5次/d^[15]。据报道^[14,16-18],在适宜投喂频率范围内,随着投喂频率的提高,鱼类的生长率和摄食率也逐渐地增加。本试验结果与这一结论相一致,即投喂频率显著地影响瓦氏黄颡鱼幼鱼生长率和摄食率。0.5~3次/d组生长率和摄食率随投喂频率增加而升高;但当投喂频率继续增加时,生长率和摄食率未继续升高。

关于投喂频率影响鱼类生长的原因主要有三种观点:(1)投喂频率通过改变鱼类摄食率而影响生长,与饲料转化率无关,如斑点叉尾鮰^[14]、北极红点鲑拉丁学名^[4]和杂交太阳鱼拉丁学名^[11]等;(2)随着投喂频率的增加,鱼类的生长率和饲料转化率及蛋白质效率均有同时升高的趋势^[19],即生长率随投喂频率增加而升高可能是由于饲料转化率上升所致,如鲤^[20];(3)饲料转化率随投喂频率增加而降低,如杂交条纹石鲷(*Morone saxatilis* × *M. chrysops*)^[21]、弗氏绒须石首鱼(*Micropogonias furnieri*)^[22]等。在本试验中,0.5次/d~3次/d组,瓦氏黄颡鱼幼鱼的摄食率随投喂频率增加而显著升高,3次/d组饲料转化率也显著高于1次/d。因此,随着投喂频率的增加,可能是摄食率和饲料转化率的提高而共同促使投喂3次/d组瓦氏黄颡鱼幼鱼的生长速度快于其他组。

3.3 瓦氏黄颡鱼幼鱼最适投喂频率

不少鱼类即使饲养在温度、光周期恒定,并提供充足食物的条件下,也会出现周期性生长型式^[23-26]。Cui^[27]提出真鲷(*Phoxinus phoxinus*)的生长调控模型:鱼类的生长速度有一个由遗传决定的标准。当食物不受限制时,真鲷先以超过此标准的速度进行生长。当进行了一段时间的“超速生长”后,鱼类可觉察出这一“正生长误差”,导致食欲降低,生长速度降至低于内在标准。经过一段时间的“低速生长”,鱼类觉察出这一“负生长误差”,生长速度又上升。本实验得出的不同投喂频率瓦氏黄颡鱼幼鱼的生长变化与Cui提出的真鲷生长模型相似,3次/d和4次/d获得食物较充足,经历了“快速生长—缓慢生长—较快生长”的过程,0.5次/d和1次/d组在不同时段生长变化不明显。每天饱食投喂1次或2天投喂1次,瓦氏黄颡鱼幼鱼的生长潜能可能由于饵料的缺乏而没有完全释放出来,而每天饱食投喂3次以上瓦氏黄颡鱼幼鱼的生长潜能都得到了充分的释放。

4 小 结

饱食投喂条件下,建议在瓦氏黄颡鱼幼鱼的养殖中,每天投喂3次为适宜的投喂频率。根据本研究结果,作者认为以开始实验20~60d的数据作为比较不同投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼的影响是可靠的。瓦氏黄颡鱼蛋白酶活力受每次摄食率的影响较日摄食率大。

参考文献:

- [1] 王 武,王 峰,张东升. 江黄颡鱼的生物学[J]. 内陆水产,2004,29(4):13-14.
- [2] Kubitza F, Lovshin L L. Formulated diets, feeding strategies, and cannibalism control during intensive culture of juvenile carnivorous fishes [J]. Rev Fish Sci, 1999, (7):1-22.
- [3] Buurma B J, Diana J S. Effects of feeding frequency and handling on growth and mortality of cultured walking catfish *Clarias fuscus* [J]. World Aquac Soc, 1994, (25):175-182.

- [4] Jobling M. Effect of feeding frequency on food intake and growth of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L[J]. *Fish Biol*, 1983, (23): 177 - 185.
- [5] 王 武,石张东,甘 炼. 江黄颡鱼幼鱼最适蛋白质需求量的研究[J]. *上海水产大学学报*, 2003, 12(2): 185 - 188.
- [6] 王 武,张东升,余卫忠. 江黄颡鱼的人工繁殖及饲养技术[J]. *水产科技情报*, 2004, 31(1): 7 - 9.
- [7] 王 武,边文冀,余卫忠,等. 江黄颡仔稚鱼发育与行为生态学特点的研究[J]. *水产学报*, 2005, 29(4): 487 - 495.
- [8] 刘利平,王 武,袁 华,等. 江黄颡鱼卵细胞膜的结构特征[J]. *水产学报*, 2005, 29(3): 420 - 423.
- [9] Uys W, Hecht T, Waiters M. Changes in Digestive enzyme activities of *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae) after feeding [J]. *Aquaculture*, 1987, (63): 243 - 250.
- [10] Das K M, Tripathi S D. Studies on the digestive enzyme of *Ctenopharyngodon idella* (Val)[J]. *Aquaculture*, 1991, 92(1): 21.
- [11] Wang N, Hayward R S, Noltie D B. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish[J]. *Aquaculture*, 1998, (165): 261 - 267.
- [12] Ruohonen K, Vielma J, Grove D J. Effects of feeding frequency on growth and food utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-fat herring or dry pellets[J]. *Aquaculture*, 1998(165): 111 - 121.
- [13] 周志刚. 利用生物能量学模型建立异育银鲫投喂体系的研究[D]. 中国科学院水生生物研究所博士学位论文, 2002.
- [14] Andrews J W, Page J W. The effects of frequency of feeding on culture of catfish[J]. *Trans Am Fish Soc*, 1975, 104: 317 - 321.
- [15] Chua T E, Teng S K. Effects of feeding frequency on the growth of young estuary grouper, *Epinephelus tawina* (Forsk), cultured in floating net-cages[J]. *Aquaculture*, 1978. 14: 31 - 47.
- [16] Grayton B D, Beamish F W H. Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Aquaculture*, 1977, (11): 159 - 172.
- [17] Tsevis N, Klaoudatos S, Conides A. Food conversion budget in sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns[J]. *Aquaculture*, 1992, (101): 293 - 304.
- [18] 何利君,谢小军,艾庆辉. 饲喂频率对南方鲈的摄食率、生长和饲料转化效率的影响[J]. *水生生物学报*, 2003, 27(4): 434 - 436.
- [19] Windell J T, Foltz J W, Sarokon J A. Effect of fish size, temperature and a digestibility of a pelleted diets by rainbow trout *Salmo gairdneri* [J]. *Trans Am Fish Soc*, 1978, (107): 613 - 616.
- [20] Omar, E A, Gunther K D. Studies on feeding of mirror carp (*Cyprinus carpio* L) in intensive aquaculture[J]. *J Anim Physiol Anim Nutri*, 1987, (57): 80 - 172.
- [21] Liu F G, Liao I C. Effect of feeding regimen on the food consumption, growth, and body composition in hybrid striped bass *Morone saxatilis* × *M. chrysops* [J]. *Fish Sci*, 1999, 65(4): 513 - 519.
- [22] Abud E O A. Effect of feeding frequency in juvenile croaker, *Micropogonias furnieri* (Desmarest) (Pisces: Sciaenidae) [J]. *Fish Biol*, 1990, 37(6): 987 - 988.
- [23] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [24] Brown M E. The growth of brown trout (*Salmo trutta* Linn.). II. The growth of two-year-old trout at a constant temperature of 11.5 °C [J]. *Exp Biol*, 1946, (22): 130 - 144.
- [25] Farbrildge K J, Leatherland J F. Luner cycles of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. I. growth and feeding[J]. *Exp Biol*, 1987, (129): 165 - 178.
- [26] Wagner G F, Mckeown B A. Cyclical growth in juvenile rainbow trout[J]. *Can J Zool*, 1985, (63): 2473 - 2474.
- [27] Cui Y B. Bioenergetics and growth of a teleost *Phoxinus* (Cyprinidae) [D]. Ph. D. thesis, University of Wales, Aberystwyth, 1987.