

文章编号: 1000-0615(2007)03-0323-06

千年笛鲷幼鱼的饥饿和补偿生长

区又君¹, 刘泽伟^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;

2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

摘要:研究了在 22.5~31.9 ℃ 条件下, 千年笛鲷幼鱼在不同饥饿时间(0、2、4、6、9、11 d)处理后再投喂的补偿生长。千年笛鲷幼鱼的体重在短时间(2~6 d)的饥饿后下降不大, 9 d 以上的饥饿可导致幼鱼的体重明显下降。经过饥饿 11 d 后, 鱼体蛋白质含量明显下降, 脂肪含量略有下降, 灰分含量有所上升, 水分含量明显上升, 表明千年笛鲷幼鱼在饥饿过程中主要依靠消耗蛋白质作为能量来源。恢复投喂后, 各组的鱼体生化组成均恢复到对照组水平。饥饿 11 d 组鱼在恢复投喂后全部死亡, 半致死时间为 10~11 d。结果表明: 饥饿 2 d 组的千年笛鲷幼鱼在恢复生长过程中具有超补偿生长能力, 该补偿现象通过提高食物转化率达到; 饥饿 4 d 组幼鱼具有完全补偿生长能力; 饥饿 6 d 组幼鱼仅有部分补偿生长能力; 饥饿 9 d 组幼鱼不具有补偿生长能力; 饥饿 11 d 组幼鱼为饥饿致死。

关键词:千年笛鲷; 幼鱼; 饥饿; 补偿生长; 致死

中图分类号: S 965.3 **文献标识码:** A

Starvation and compensatory growth in the young *Lutjanus sebae*

OU You-jun¹, LIU Ze-wei^{1,2}

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

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

Abstract: Starvation and compensatory growth of the young emperor red snapper *Lutjanus sebae* were studied at 22.5–31.9 ℃. The fish were deprived of food for 0, 2, 4, 6, 9 and 11 days respectively and then refed 10 days. There was less decrease of body weight of the young fish in a few days by 2–6 d starvation, but it was remarkable decrease by over 9 d starvations. After 11 d starvation, the protein content was decreased significantly and the lipid content decreased slightly. This showed that *L. sebae* mainly depended on protein as their primary energy during starvation. At the end of refeeding, chemical compositions in each group were similar with the control group except the 11 d-deprived group. The fish of 11 d-deprived group were dead during recovery growth and the time of LD₅₀ was 10–11 d. The results showed that: (1) the young *L. sebae* of 2 d-deprived showed over compensatory effect in the recovery growth depended on significant increase of the food conversion efficiency; (2) the fish in 4 d-deprived group was fully compensatory; (3) it had only partially compensatory growth ability in 6 d-deprived group; (4) the fish of 9 d-deprived had no compensatory ability and the 11 d-

收稿日期: 2006-09-06

资助项目: 深圳市科技计划项目(2003-k3-132)

作者简介: 区又君(1964-), 女, 广东广州人, 研究员, 主要从事水产生物繁育、养殖与基础生物学的研究。Tel: 020-34063235, E-mail: ouyoujun@126.com

deprived group was dead by starvation after the refeeding.

Key words: *Lutjanus sebae*; young fish; starvation; compensatory growth; mortality

由于自然界中食物分布在空间上的不均匀性、季节更替或环境剧变等诸多因素,动物经常会在生活周期的一定阶段因食物缺乏而受到饥饿的胁迫。作为生理生态学上的一种适应性,动物继营养不足甚至饥饿后在恢复正常摄食时表现出超越正常摄食个体的生长速度,称为补偿生长现象^[1-2]。同样,鱼类在其整个生活史中也经常面临着饥饿的威胁,在人工养殖生产中也常因天气、运输、饵料短缺等原因导致鱼类饥饿和养殖失败。不同种类的鱼对饥饿的耐受力 and 适应性不同,恢复生长的程度也因鱼的种类、生理状态、饥饿或限食程度不同而有较大差异^[3]。千年笛鲷(*Lutjanus sebae*)是近年开发出来的海水养殖鱼类,但目前尚未见有关于该鱼的研究资料。研究饥饿和再投喂对千年笛鲷生长的影响,将为该鱼的养殖生产提供有益的参考资料。

1 材料与方 法

1.1 实验鱼

实验用千年笛鲷由人工繁殖所获得。选取健康幼鱼 1 500 尾,在室内水泥池驯养 1 周。每天投喂 2 次颗粒饲料,达饱食状态。海水经沉淀和沙滤,水温 22.5~31.9 ℃,盐度 14~22,溶解氧 6~8 mg·L⁻¹, pH 7.7~8.3。

1.2 实验方法

选取体重相近(0.74±0.14) g 的幼鱼 1 100 尾,随机抽取 20 尾作为饥饿处理前的体长、体重和鱼体生化成份测定对照材料,然后把剩余的鱼分为 6 组,随机放入 18 个塑料水族箱,水体积为 70 L。设饥饿处理 0(对照组)、2、4、6、9、11 d 组,每组 3 个平行,每个平行 60 尾,各组鱼饥饿结束后恢复投喂 10 d。

恢复投喂期间,每日投喂 2 次,上、下午各 1 次。投喂前对饲料称重,并计算每颗饲料的平均重量;投喂后 1 h 收集残饵、计算颗粒数,求得残饵重量。每日摄食量由投饵量和残饵量之差求得。

1.3 取样和测定

每次取样是在鱼将粪便排空后。饥饿结束后和恢复投喂结束时,分别取样 20 尾,用于测定各

组鱼的体重和分析生化成份。将鱼体样品在 105 ℃下烘至恒重测定水分。采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量;用索氏抽提法测定粗脂肪含量;将样品在电炉上炭化到无烟,再在马福炉中灼烧(550 ℃)5 h 测得灰分含量。每份样品重复测定 2 次,当相对偏差超过 2% 时增加重复次数,取偏差在 2% 以下的两个测定值的平均数为记录结果。

1.4 实验条件

实验的水质和环境条件与驯养条件相同。

1.5 计算公式

鱼体饥饿过程中体重损失率、恢复生长后的生长率、食物转化率分别用以下公式计算^[4]:

$$K(\%) = 100 \times (W_0 - W_1) / W_0$$

$$SGR(\% \cdot d^{-1}) = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / t$$

$$FR(\%) = 100 \times C / [t \times (W_2 + W_1) / 2]$$

$$CE(\%) = 100 \times (W_2 - W_1) / C$$

式中, W_0 :饥饿处理开始时鱼体重; W_1 :饥饿处理结束时鱼体重(即恢复生长实验开始时的鱼体重); W_2 :恢复生长结束时鱼体重; C :总摄食量; K :饥饿过程中体重损失率; SGR :特定生长率; FR :摄食率; CE :饵料转化率; t :恢复生长时间。

体重数据统计分析采用 SPSS 11.0,经检验为正态分布。对各组体重变化进行单因素方差分析,并用 Duncan 法作多重比较。

2 结果

2.1 千年笛鲷饥饿过程中及恢复生长后的体重变化

如表 1 所示,随着饥饿时间的延长,千年笛鲷幼鱼体重不断下降,其中饥饿处理 11 d 组鱼的体重损失率达 18.92%;对体重损失的方差分析表明,饥饿 2、4 和 6 d 组与对照组间差异不显著,而饥饿处理 9 d 组和 11 d 组与对照组之间存在显著差异($P < 0.05$)。

经过 10 d 的再投喂,各组鱼(饥饿 11 d 组除外)体重都有提高。对照组体重平均增加 0.78 g;体重增加最多的是饥饿 2 d 组,达 1.1 g,明显超过对照组($P < 0.05$);饥饿 4、6 和 9 d 组的鱼在相同时间内体重增加量小于对照组,其中饥饿 4 d 组与对照组无显著差别,饥饿 6 d 组差别较显著,饥饿 9 d 组严重低于对照组水平($P < 0.05$)。

表 1 千年笛鲷饥饿过程中及恢复生长后的体重变化

Tab.1 The change of body weight in *Lutjanus sebae* during starvation and after recovery growth

饥饿时间(d) day of starvation	饥饿处理前体重(g) weight before starvation		饥饿处理后体重(g) weight after starvation		恢复生长后体重(g) weight after recovery		饥饿期间体重损失率(%) rate of decrease during starvation
	平均值 mean	S.E.	平均值 mean	S.E.	平均值 mean	S.E.	
0			0.74 ^a	±0.14	1.52 ^a	±0.51	
2			0.73 ^a	±0.21	1.83 ^b	±0.54	1.35
4			0.71 ^a	±1.03	1.33 ^a	±0.48	4.05
6	0.74	±0.14	0.71 ^a	±0.22	1.21 ^{ab}	±0.47	4.05
9			0.70 ^b	±0.22	0.89 ^b	±0.18	5.41
11			0.60 ^b	±0.11	-	-	18.92

注:同一列中数据不同上标的表示具显著差异($P < 0.05$)

Notes: different upper script in the same line indicate significant difference ($P < 0.05$)

2.2 千年笛鲷饥饿过程中及恢复生长后鱼体的生化组成变化 随着饥饿时间延长,鱼体水份含量明显增加,其中饥饿 9 d 和 11 d 的水份含量从饥饿处理前的 76.11% 分别上升到 79.1% 和 79.44% (图 1-a); 鱼体粗蛋白含量整体上呈下降趋势(图 1-b),开始下降较慢,从饥饿第 6 天起,下

降较快,饥饿处理 6、9 和 11 d 组分别比处理前减少了 2.93%、3.71% 和 4.3%; 粗脂肪含量在饥饿 2~6 d 的鱼变化不大,但在饥饿 6 d 和 9 d 后下降(图 1-c); 灰份含量略有升高(图 1-d)。各饥饿组鱼在经过 10 d 恢复生长后,鱼体生化成份均接近,并恢复到对照组水平。饥饿 11 d 组鱼在恢复投喂后全部死亡,故未列入比较。

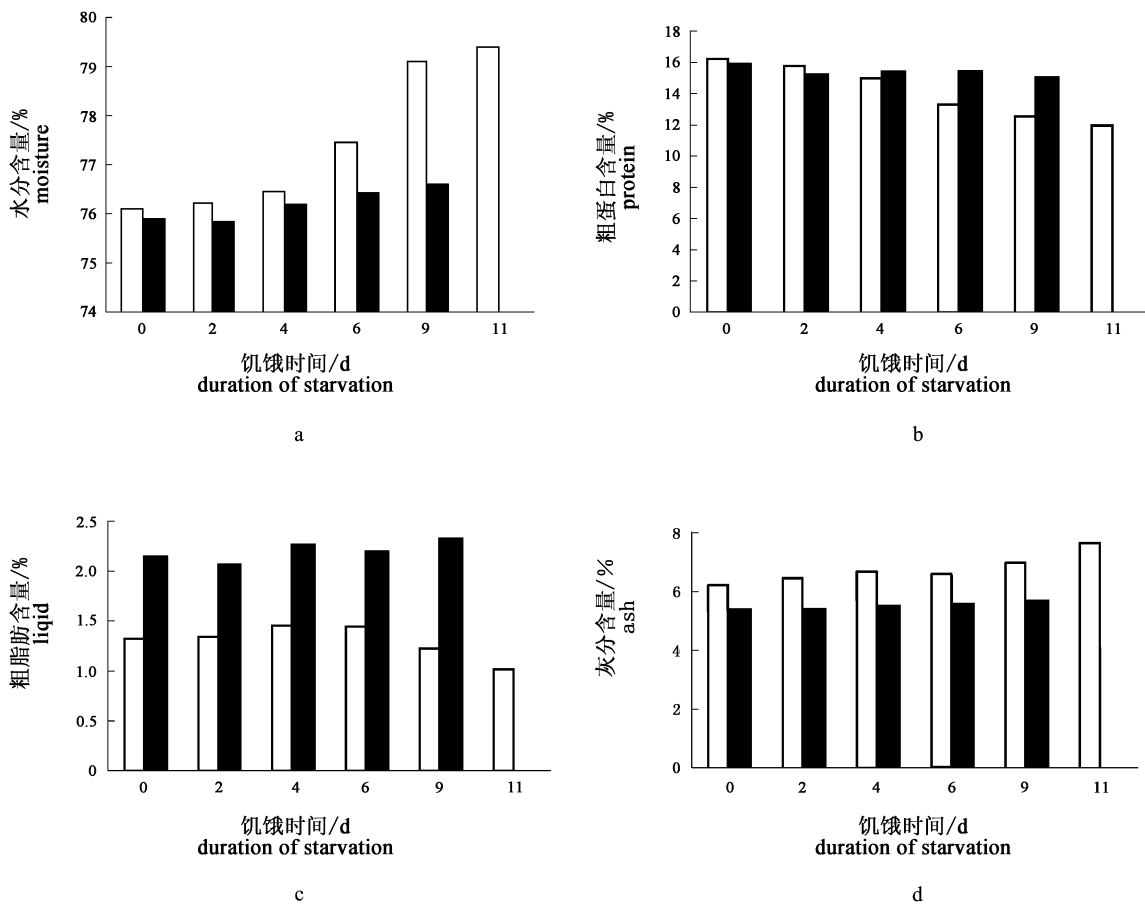


图 1 千年笛鲷在饥饿后(白色)及恢复投喂后(黑色)身体组成的变化

Fig.1 The change of biochemical compositions in *Lutjanus sebae* after starvation (white) and refeeding (black)

a. 水份; b. 粗蛋白; c. 粗脂肪; d. 灰分

a. moisture; b. protein; c. lipid; d. ash

2.3 恢复投喂后千年笛鲷的特殊生长率、总摄食量、摄食率和饵料转化率

图 2 比较了千年笛鲷在恢复投喂后的特殊生长率、总摄食量、摄食率和饵料转化率。如图所示,随着饥饿时间的增加,特殊生长率、总摄食量、摄食率和饵料转化率呈先增加后减少的趋势。其中,饥饿 2 d 组的特殊生长率、总摄食量、摄食率和饵料转化率高于对照组;饥饿 4、6 和 9 d 组鱼的特殊生长率、总摄食量、摄食率和饵料转化率随着饥饿处理时间的增加而降低。饥饿 11 d 组鱼在恢复投喂后全部死亡,故未列入比较。

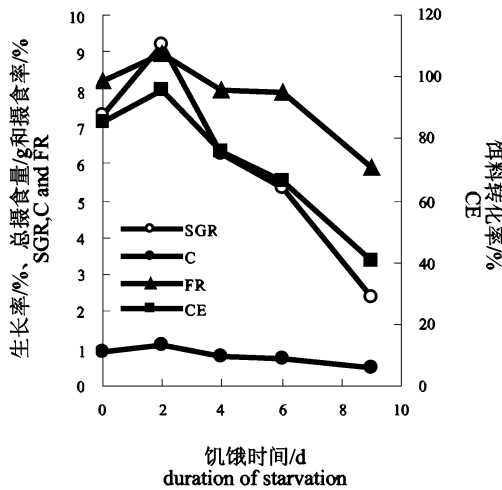


图 2 千年笛鲷在恢复生长中的生长率、总摄食量、摄食率及饵料转化率
Fig.2 Growth rate, total feeding quantity, feeding rate and food conversion efficiency in *L. sebae* during recovery growth

2.4 千年笛鲷的饥饿致死

图 3 显示,饥饿 9 d 和 11 d 组鱼分别在第 8 天和第 7 天开始出现死亡,死亡率均为 3.33%。这两个饥饿组的死亡高峰均出现在实验第 11 d (饥饿 9 d 组恢复投喂第 2 天),死亡率分别为饥饿 9 d 组的 16.67% 和饥饿 11 d 组的 33.33%。饥饿 9 d 组在恢复投喂后,死亡率逐渐降低;而饥饿 11 d 组在恢复投喂后已经没有任何摄食能力,在饥饿至第 13 天时全部死亡。即千年笛鲷幼鱼的 50% 饥饿致死时间为 10~11 d (图 4)。

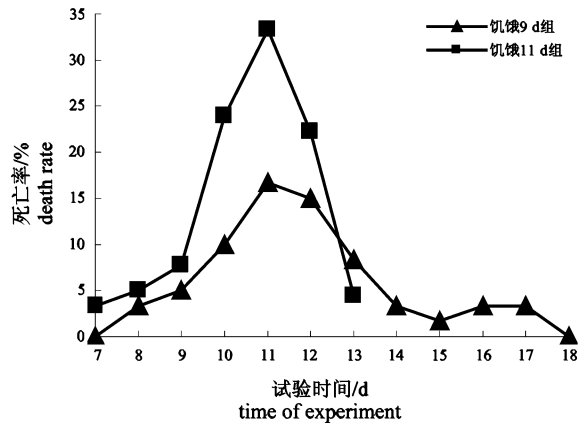


图 3 千年笛鲷饥饿致死变化曲线

Fig.3 Mortality curve of starvation in *L. sebae*

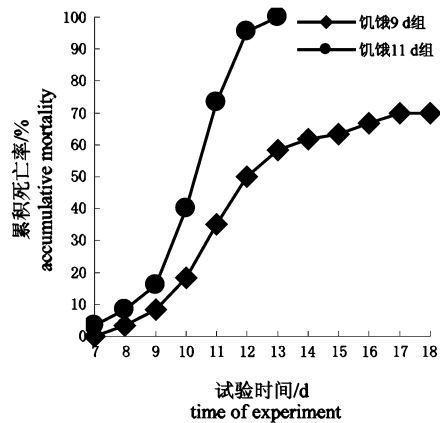


图 4 千年笛鲷饥饿处理累积死亡率曲线

Fig.4 Accumulative mortality curve of starvation in *L. sebae*

3 讨论

3.1 饥饿对千年笛鲷幼鱼补偿生长的影响和饥饿致死

从补偿量的角度分析,鱼类的补偿生长可划分为 3 类,包括:超补偿生长^[5]、完全补偿生长^[6-7]和部分补偿生长^[4,8]。也有研究者将补偿生长分为 4 类:超补偿生长、完全补偿生长、部分补偿生长和不能补偿生长^[3]。

然而,在已有的报道中,大部分试验都着重于饥饿对鱼类生长补偿和促进作用方面的研究,关于饥饿对鱼类生长抑制和致死影响研究较少。但

任何动物对饥饿的耐受力都有一定限度,尤其是在鱼类的养殖生产和自然界中,常面临食物和饵料短缺的威胁,过度的饥饿将导致机体受损、生长抑制和死亡。在生产中如采用补偿生长方法,饥饿时间也应在合理范围内。

在本试验中,千年笛鲷幼鱼的体重在短时间的饥饿后下降不大,恢复投喂后体重净增量有所增加;而 9 d 以上的饥饿就可导致幼鱼的体重明显下降。在完全不投饵情况下,幼鱼饥饿 7~8 d 开始死亡,直至无法恢复生长和存活。饥饿 9 d 组在恢复投喂后,部分虚弱的幼鱼虽然可以少量摄食,但仍然难以存活,因而继续有死亡,在恢复投喂后第 2 天达到死亡高峰,而体质较强的鱼则可存活下来。饥饿至 11 d 的鱼连摄食能力也无法恢复,在恢复投喂后 4 d 全部死亡,即 50% 致死时间(“生理死亡”)为 10~11 d。“不可逆点”(PNR)是指饥饿鱼抵达该点时,尽管还能存活较长一段时间,但已虚弱得不可能再恢复摄食能力,也称“生态死亡”。结果表明,千年笛鲷幼鱼的 PNR 为饥饿后第 11 天左右。

结果表明,千年笛鲷幼鱼在 2~11 d 的不同饥饿处理时间下的补偿生长出现 5 种不同情况,包括了短时间饥饿处理的超补偿生长(2 d)、完全补偿生长(4 d)、部分补偿生长(6 d)、较长饥饿时间的不能补偿生长(9 d)和饥饿致死(11 d)(图 5)。这说明短时间的饥饿刺激有助于加速千年笛鲷幼鱼的生长,但较长时间的饥饿反而降低生长率、抑制生长,甚至导致死亡。其后的继续养殖结果还表明,饥饿过度的鱼(饥饿处理 6 d 以上)生长愈来愈慢,最终成为“老头鱼”。因此在千年笛鲷的养殖生产中,饥饿时间不宜超过 4 d。

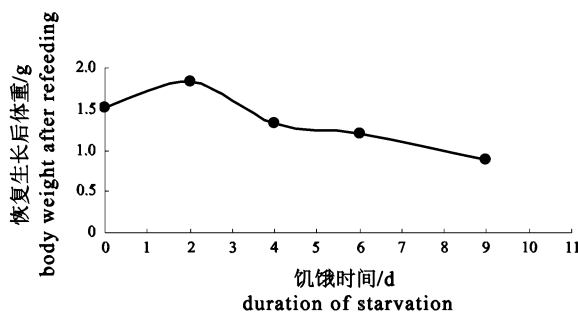


图 5 千年笛鲷恢复生长后的补偿生长曲线

Fig.5 Compensatory growth curve after recovery growth in *L. sebae*

3.2 千年笛鲷幼鱼在饥饿过程中和补偿生长后身体组成的变化

在饥饿期间,对身体贮存能量的利用,不同鱼类情况不一,有的主要利用脂肪和糖元,有的利用蛋白质^[4]。千年笛鲷在经过 11d 的饥饿后,蛋白质含量、脂肪含量均有下降,但蛋白质含量下降较明显,而脂肪含量仅仅降低了 0.31%。这表明千年笛鲷在饥饿过程中主要利用蛋白质来补充能量,并首先消耗蛋白质;而随着饥饿时间延长和蛋白质消耗增加,随后消耗脂肪。这与有些学者的研究结果相似^[9-10]。各饥饿组在经过 10 d 恢复生长后,鱼体生化成分基本上可以恢复到对照组水平。

3.3 千年笛鲷的补偿生长机制

对补偿生长机制的解释,目前尚有争议。一种观点认为,饥饿使动物标准代谢降低,当恢复供食时,代谢还不能立即适应高水平的食物摄入,较低的代谢水平能维持一段时间,这样代谢所用能量降低而用于生长的能量比例增加,从而提高食物转化率,达到了补偿生长^[5,11-12]。另一种观点认为,饥饿后恢复喂食时,动物体内将立即进行大量的合成作用,代谢水平将迅速升高,即补偿生长的产生是动物在恢复生长中食欲增强,大幅度提高摄食水平实现的^[4,7]。也有观点认为动物在恢复喂食阶段不仅增加食欲,提高摄食水平,而且同时改善食物转化率,因此,补偿生长效应是这两种因素共同作用的效果^[13]。

本试验发现,在恢复生长过程中,千年笛鲷幼鱼饥饿 2 d 组的饵料转化率明显高于对照组,表明其补偿效应是通过提高食物转化率实现的;饥饿 4 d 组的各项指标与对照组接近,因而其生长率和体重也接近对照组;饥饿 6 d 组的特殊生长率显著降低是由饵料转化率的显著减小起作用的;饥饿 9 d 组的摄食率和饵料转化率均显著低于对照组,该组幼鱼在恢复投喂后不具有补偿生长能力。

结果表明,千年笛鲷幼鱼在不同饥饿处理时间下具有不同的补偿生长机制,其补偿生长由食物转化率和摄食水平共同起作用,但首先以食物转化率的影响作用为主。

作者认为,饥饿 2 d 的幼鱼恢复投喂时,在较强烈的饥饿感刺激下产生应激效应,使机体对食物的消化吸收功能增强,食物转化率大大提高,在体重轻微损失的情况下其生长率超过了正常喂食

的鱼,导致其体重也很快超过了正常鱼。随着饥饿时间增加,强烈的饥饿感不再具有刺激食物转化率提高的作用,补偿生长能力下降,在这种情况下,饥饿4 d组不再超补偿生长,而具有完全补偿生长能力;饥饿处理6 d时,过度的饥饿反而使机体的消化吸收功能受损,导致食物转化率下降,虽然鱼的饥饿感更强烈,摄食能力却减小,在体重损失相对较大的情况下,鱼在恢复投喂后虽然仍有补偿生长,鱼体生化成分也恢复正常,但其体重最终无法赶上对照组。饥饿过度的鱼其消化吸收功能和食物转化率首先受损害和抑制,随着饥饿时间继续延长,摄食能力也接着下降。饥饿9 d的幼鱼消化吸收功能受损后不可逆,食物转化率和摄食能力均严重受损,并开始死亡,因而不具有补偿生长能力,其生长基本上处于停滞和消瘦状态。饥饿11 d的鱼完全失去摄食能力。

参考文献:

- [1] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法[J]. 水生生物学报, 1989, 13(4): 369 - 383.
- [2] Wang Y, Cui Y B. Compensatory in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater[J]. J Aquac, 2000, 189: 101 - 108.
- [3] 谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[J]. 水生生物学报, 1998, 22(2): 181 - 188.
- [4] 邓利, 张波, 谢小军. 南方鲇继饥饿后的恢复生长[J]. 水生生物学报, 1999, 23(2): 167 - 173.
- [5] Dobson S H, Holmes R M. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson[J]. J Fish Biol, 1984, 25: 649 - 656.
- [6] Paul A J, Paul J M, Smith R L. Compensatory growth in Alaska yellowfin sole, *Pleuronectes asper*, following food deprivation[J]. J Fish Biol, 1995, 46: 442 - 448.
- [7] Kim M K, Lovell R T, Myung K K, et al. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds[J]. J Aquac, 1995, 135: 285 - 293.
- [8] Weatherley A H, Gill H S. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson[J]. Fish Biol, 1981, 18: 195 - 208.
- [9] 高露姣, 陈立桥, 宋兵. 饥饿和补偿生长对史氏鲟幼鱼摄食、生长和体成分的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 279 - 284.
- [10] 张波, 孙耀, 唐启升. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(3): 206 - 210.
- [11] Reimers E, Kjørrefjord A G, Stavostrand S M. Compensatory growth and reduced maturation in second sea winter farmed Atlantic salmon following starvation in February and March[J]. J Fish Biol, 1993, 43: 805 - 810.
- [12] Miglav I, Jobling M. Effects of feeding regime on food consumption, growth rates and tissue nucleic acids in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, with particular respect to compensatory growth[J]. J Fish Biol, 1989, 34: 947 - 957.
- [13] Mehner T, Wieser W. Energetic and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*) [J]. J Fish Biol, 1994, 45: 325 - 333.