

文章编号:1000 - 0615(2002)01 - 0067 - 06

## 美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制

姜志强, 贾泽梅, 韩延波

(大连水产学院养殖系, 辽宁 大连 116023)

**摘要:**对两种不同规格(8.25 ±0.50g, 40.41 ±2.45g)的美国红鱼分别在 18~20 和 20~24 条件下进行了不同饥饿时间处理后再恢复投喂实验。在实验的 30d 内,两次实验结果均表现为饥饿 5d 组的美国红鱼生长略快于对照组,而饥饿 10d 和 15d 的鱼在相同的时间内,体重的增加量未能赶上对照组。各组间生长虽有差别,但都未达到显著水平。饥饿使鱼体水分、灰分含量增加,脂肪含量下降,蛋白质含量变化不大,但各成分从恢复投喂到实验结束时又恢复到对照组水平。各组间摄食量随饥饿时间延长而逐步下降,而饵料转换效率逐步上升。随着饥饿时间的延长,标准代谢率下降,而在恢复投喂之后又逐步回升至对照组水平。结果表明,美国红鱼的补偿生长效应主要是由降低标准代谢和提高食物转化率实现的。

**关键词:**美国红鱼;饥饿;补偿生长;机制

**中图分类号:**S917      **文献标识码:**A

## The compensatory growth and its mechanism of red drum, *Sciaenops ocellatus*, after food deprivation

JIANG Zhi-qiang, JIA Ze-mei, HAN Yan-bo

(Department of Aquaculture, Dalian Fisheries College, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Two studies were conducted to reveal the ability of compensatory growth after food deprivation and refeeding in two sizes of red drum, *Sciaenops ocellatus*, weighing 8.25 ±0.50 g and 40.41 ±2.45 g in temperature of 18 - 20 and 20 - 24 respectively. Within the 30 days of experiment, both of the two results showed that each group had difference in growth, but the difference was not significant. Compared with control group, the water content and ash increased, while the lipid decreased and the protein did not significantly change in starved groups. After the starved fish were refed, their biochemical composition could reach the level of control group. As the starvation prolongs, feeding quantity reduced, but feed conversion efficiency increased. Meanwhile the oxygen consumption rate decreased and this trend stopped when the fish were refed, then the oxygen consumption rate gradually increased to the level of the control group. The results suggest that the mechanism of compensatory growth in red drum be due to the low oxygen consumption rate and high digestion and absorption after starvation.

**Key words:** *Sciaenops ocellatus*; starvation; compensatory growth; mechanism

由于在畜禽类动物中普遍发现继饥饿或营养不足一段时间之后恢复喂食,将出现超过正常生长速度的补偿生长现象,并将此应用到生产中而获得了经济效益。因此,饥饿对鱼类生长的影响引起了研究

收稿日期:2001-07-17

基金项目:辽宁省教育厅高等学校科学研究项目(20102134)

作者简介:姜志强(1960-),男,山东乳山人,副教授,主要从事鱼类生物学和海水鱼类养殖研究。Tel:0411-4762692

者的兴趣<sup>[1]</sup>。国外有关鱼类饥饿后的补偿生长研究早有报道<sup>[2,3]</sup>,但国内的研究较少,仅有邓利等<sup>[4]</sup>、张波等<sup>[5]</sup>对南方鲷进行了饥饿后的恢复生长、饥饿代谢等研究,张波等<sup>[6]</sup>研究了饥饿对真鲷生长及生化组成的影响,沈文英等<sup>[7]</sup>研究了饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响,王岩等<sup>[8,9]</sup>研究了海水养殖罗非鱼补偿生长及其生物能量学机制等。

美国红鱼 (*Sciaenops ocellatus*) 也称眼斑拟石首鱼、黑斑红鲈,属鲈形目,石首鱼科,拟石首鱼属,原产于美国东海岸和墨西哥湾。该鱼肉质鲜美,抗病害能力强,并且生长迅速,条件适宜时饲养一年即可达到 1kg 以上的商品规格,是优良的海水养殖种类。我国于 1991 年由国家海洋局第一海洋研究所引进其稚鱼,经四年多饲养,1995 年达性成熟,人工育苗获得成功,现已大规模地投入生产,在我国南方养殖较多。

有关美国红鱼国内外已有一些研究工作,主要集中在养殖和营养方面<sup>[10-12]</sup>,对其饥饿后的补偿生长未见报道。本实验主要研究了美国红鱼在饥饿和恢复投喂后的体重、身体组成、摄食量以及饥饿前后耗氧率的变化。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料的来源与驯化

所用美国红鱼为大连湾海珍品养殖厂 1999 年秋季培育的苗种,第一批(5月18日取)体重  $8.25 \pm 0.5\text{g}$ ,体长  $8.84 \pm 0.27\text{cm}$ 。第二批(7月19日取)体重  $40.41 \pm 2.45\text{g}$ ,为减少对鱼体损伤未测体长。所有鱼取回后均先暂养于室内 1.5t 玻璃钢水槽中,使用沙滤后的自然海水,盐度为 32,采用自然光照;第一批水温保持在  $18 \sim 20^\circ\text{C}$ ,饵料为方氏云斑幼鱼;第二批水温保持在  $20 \sim 24^\circ\text{C}$ ,饵料以玉筋鱼幼鱼为主。每天投喂一次,达饱食状态。待摄食和生长正常后,随机选取所需样本供做实验。

### 1.2 饥饿对美国红鱼生长、生化组成、摄食影响

#### 1.2.1 5月30日实验

实验在 70L 水族箱中进行,实验条件同暂养时条件,饵料也为方氏云斑幼鱼。每次投喂前对饵料称重,投喂后收集残饵并称重,记录每天的摄食量。吸完残饵后接近全量换水,换水时温差不超过  $1^\circ\text{C}$ 。

实验设 4 组,每组 14 尾鱼,分别饥饿 0(对照组)、5d、10d、15d,然后恢复投喂,每组设一平行,实验总共进行 30d。实验开始、饥饿结束和实验结束时,分别测定各组鱼体重。并在每处理组饥饿结束和实验结束时,分别取样 3 尾,留做生化成分分析。将所取得的鱼体样品在  $70^\circ\text{C}$  下烘至恒重测定水分。采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量(总 N  $\times 6.25$ ),采用索氏抽提法(以乙醚为抽提液)测定粗脂肪含量,将样品在马福炉中灼烧( $550^\circ\text{C}$ ) 7h 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。

#### 1.2.2 7月26日实验

饲养条件、管理同上,只是水温为  $20 \sim 24^\circ\text{C}$ ,饵料为玉筋鱼幼鱼。实验分组也同上,设置饥饿 0d、5d、10d、15d,实验总共进行 30d。用如下公式计算日粮

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

式中,  $W_1$  为饥饿结束时的鱼体重;  $W_2$ : 恢复生长结束时的鱼体重;  $Fc$  为总摄食量;  $t$  为投喂天数。

### 1.3 饥饿对美国红鱼标准代谢的影响

采用封闭式呼吸仪来测定饥饿鱼在安静状态下的耗氧率,实验中尽量减少对鱼类的人为干扰,使其接近安静状态。耗氧率采用止水式测定方法。用 4L 的呼吸瓶 8 个,每组 2 个,灌进调配好水温的海水,用 30mL 的溶氧瓶取水样 3 个,测定其溶氧值,平均数为初溶氧。然后在每天投喂之前,每个处理组取 4 尾鱼,称重后每个呼吸瓶中放入 2 尾鱼。经预实验,2h 内瓶中溶氧可一直保持在  $4\text{mg L}^{-1}$  以上,故实验时间确定为 2h。2h 后取各瓶的水样,同样平行取 3 个,逐个滴定,测得各瓶的末溶氧,初溶氧与末溶氧

的差值即为样品鱼的耗氧量,再计算得耗氧率。耗氧率的测定每 2d 进行一次,进行连续测定,得到实验过程中的耗氧率变化曲线。

$$\text{计算:耗氧率}[\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}] = (\text{O}_2\text{初溶氧} - \text{O}_2\text{末溶氧}) / (W \times t)$$

## 2 结果

### 2.1 饥饿过程中及恢复生长后的体重变化

从表 1 可看出,第一次实验中饥饿 5d 组的鱼增重最多。对照组鱼经过 30d 的饲养,体重平均增加了 6.26g,而饥饿 5d 组的鱼体重增加了 7.30g,略高于对照组。饥饿 10d 和饥饿 15d 组的鱼在相同时间内体重增加量未能赶上对照组。但经方差分析,各处理组与对照组间差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 1 美国红鱼饥饿过程中及实验结束时的体重变化

Tab. 1 The change of weight in red drum during starvation and after recovery growth

饥饿天数(d) duration of starvation	第一次实验 (experiment I)			第二次实验 (experiment II)	
	饥饿前体重(g) initial weight	饥饿后体重(g) weight after starvation	恢复后体重(g) final weight	饥饿前体重(g) initial weight	恢复后体重(g) final weight
0	8.90 ±1.64	8.90 ±1.64	15.16 ±3.48	40.89 ±1.81	82.61 ±12.08
5	8.10 ±1.47	7.62 ±2.27	15.40 ±2.34	41.05 ±1.63	85.53 ±14.91
10	8.05 ±1.21	6.60 ±1.26	13.86 ±2.53	39.76 ±1.63	72.12 ±10.31
15	8.18 ±1.67	6.64 ±1.14	12.96 ±2.16	41.00 ±2.26	64.26 ±8.00

第二次实验中饥饿 5d 组的鱼体重的增加量在 30d 生长时间内,也略高于对照组,而饥饿 10d 和饥饿 15d 的鱼均未达到对照组的体重增加量,差异也不显著 ( $P > 0.05$ ),与前一次实验结果完全相同。

### 2.2 饥饿过程中及恢复生长后鱼体的生化组成变化

从图 1 可见,饥饿使得美国红鱼体内水分含量略有增加(图 1-a);蛋白质略有下降(图 1-b);脂肪含量减少较多(图 1-c);灰分含量升高(图 1-d)。而在恢复投喂后至实验结束时各组成成分又恢复到接近对照组水平。

### 2.3 摄食量和饵料转换效率

各组鱼的总摄食、日粮和饵料转换效率见表 2。从表 2 可以看出,总摄食量随着饥饿时间的增加而减少,以对照组最高;日粮和饵料转换效率随饥饿时间的延长在恢复投喂的时间里略有增加。

以 5d 为一时段,观察各组摄食量的变化(图 2),结果发现无论是刚开始恢复投喂的,还是已恢复投喂一定时间的,各组没有明显差别。

### 2.4 饥饿过程中及恢复生长后的耗氧率变化

从图 3 可看出,美国红鱼在饥饿过程中,随着饥饿时间的延长,其耗氧率是逐渐下降的。对照组在整个实验过程中,尽管也是有变动的,但只是在一个定值上下波动,而且波动范围比较小。而其他处理组在饥饿过程中,耗氧率缓慢下降,在恢复投喂之后,耗氧率开始缓慢上升,约需 10d 左右方可恢复到对照组水平,但不同的处理组仍然有不同的表现。从曲线的变化趋势看来,饥饿处理组在饥饿期间的前 5d,耗氧率降低比较快一些,由原来的  $84 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  降到了  $68 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ,而在其后的时间里,饥饿时间的延长并没有使耗氧率下降很多,饥饿到 15d 时,也只降到  $60 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 。

表 2 各组鱼的总摄食量、日粮和饵料转换效率

Tab. 2 Total feeding quantity, daily ration and feed conversion efficiency of red drum in each group

饥饿处理时间(d) duration of starvation	0	5	10	15
总摄食量(g) total feeding quantity	310.60	235.56	160.46	139.06
日粮(%/d) daily ration	7.44	8.86	9.05	9.60
饵料转换效率(%) feed conversion efficiency	23.3	28.7	31.4	32.7

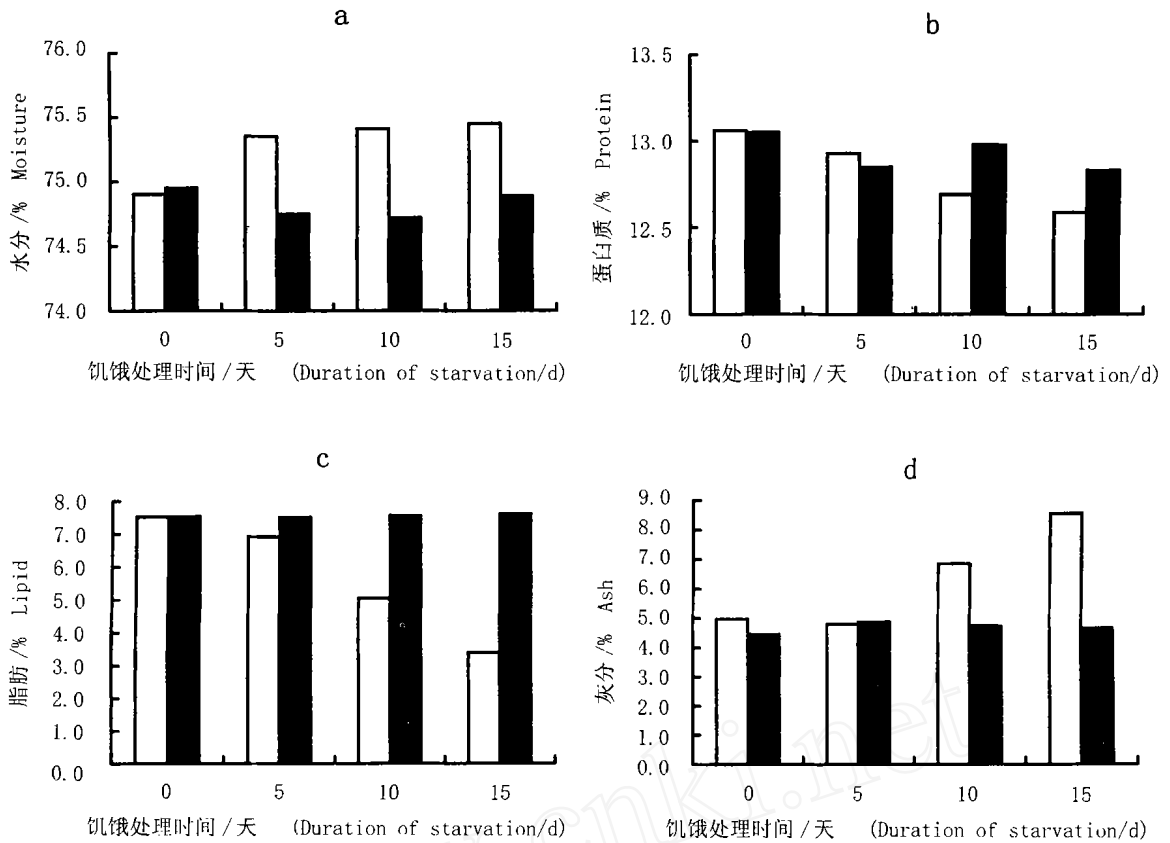


图1 美国红鱼在饥饿后(白色)及恢复投喂后(黑色)身体组成的变化

Fig. 1 The change of biochemical compositions in red drum after starvation(white) and recovery growth (black) a. 水分 moisture; b. 蛋白质 protein; c. 脂肪 lipid; d. 灰分 ash

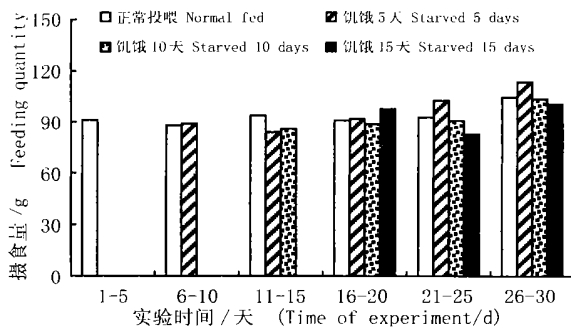


图2 美国红鱼每组各时段摄食量变化

Fig. 2 The change of feeding quantity in different time and in each group of red drum

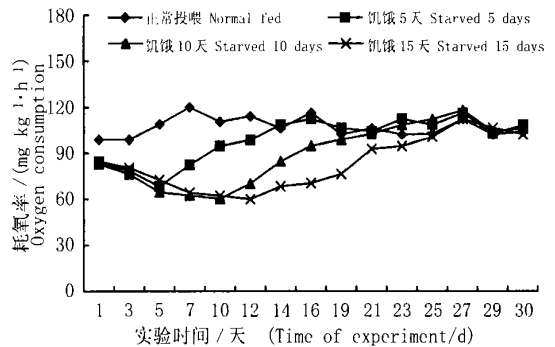


图3 美国红鱼不同饥饿时间耗氧率变化曲线

Fig. 3 The change curve of oxygen consumption rate of red drum in different starved time

### 3 讨论

#### 3.1 美国红鱼的补偿生长

鱼类的补偿生长现象,受个体大小、环境因子的影响。为此,本次实验采用两种不同规格、在不同温度下各进行了 30d 的实验,以便了解在为期一个月的养殖周期中,何种规格在特定温度下饥饿多少天再投喂可获得最佳生长效果。两次实验结果都表明,无论是较小的不足 10g 的幼鱼,还是大于 40g 的幼鱼;无论是温度为 18~20 时,还是为 20~24 时,美国红鱼均表现出一定程度的补偿生长能力且饥饿组的饵料转换效率升高,特别是饥饿 5d 组在实验结束时体重增长量还略高于对照组,这一结果对美国红鱼养殖生产有一定参考价值。既然美国红鱼在一个月的周期里,经一段时间停食再投喂,对生长无明显不良影响,且节省饵料,这对更好地安排生产、降低成本有重要意义。当然,这个问题还有待于更深入的探讨。

#### 3.2 美国红鱼饥饿前后及恢复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<sup>[1]</sup>。本研究结果显示,美国红鱼在饥饿时,蛋白质含量略有下降,但脂肪含量明显下降,这表明美国红鱼在饥饿过程中主要利用脂肪来作为能量的补充。生化分析还表明,经过补偿生长后美国红鱼的各生化组成成分均能在短期内恢复到与对照组一样的水平,没有表现出某一成分增加过多或偏少,也就是说饥饿后再投喂不会影响鱼的营养质量。这与张波等<sup>[6]</sup>的研究结果一致。

#### 3.3 美国红鱼的补偿生长机制

关于饥饿后的补偿生长机制问题,目前存在不同看法。一种观点认为:饥饿使鱼类标准代谢降低,当恢复进食时,较低的代谢水平能维持一段时间,这种代谢支出的降低使用于生长的能量比例增加,从而提高食物转化率,出现了补偿生长<sup>[13,14]</sup>。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,不可能通过降低代谢水平而明显改善食物转化率,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<sup>[15]</sup>。

通过本文的实验结果,我们可以看到,在饥饿过程中,鱼类的标准代谢率随饥饿时间的延长而降低,在恢复投喂后这种代谢水平依然能够持续一段时间,这符合上述的第一个观点。然而,饥饿处理各组鱼的摄食强度未见增大,即便是各饥饿组刚开始恢复投喂的前几天,摄食量也不比对照组高,各组日粮也无明显差别。总摄食量以对照组最高,其余各组随着饥饿时间的增加而减少,说明美国红鱼补偿生长的现象并不是靠提高摄食量来实现的。

从生物能量学观点可以说,美国红鱼饥饿后的补偿生长并不是由于摄入能量的增加,而是由于能量利用效率和转化效率的增强。在 5d 饥饿期间,鱼类的标准代谢率降低,用于维持生命活动的能量减少,在恢复投喂后这种较低的标准代谢率还持续一段时间才逐渐地回升到正常水平。与此同时由于恢复投喂后鱼类的消化能力增强,使摄入的食物迅速被消化,释放能量用于生长。由于两方面的结合,使得鱼类用于维持生命的能量减少,摄入的食物能量更多的用于生长,才会使饥饿鱼在恢复投喂后出现比对照组更高的生长速度,从而使其在恢复投喂后赶上并超过对照组。但饥饿 10d 和饥饿 15d 的鱼,由于饥饿的时间比较长,恢复投喂时,尽管基础代谢较低,但由于消化酶的含量和活力都处于较低的状况,消化能力的恢复需要一个较长的过程,且消化系统的微观构造也未完全恢复到正常状况,因此在限定的一个月时间内未能赶上对照组,如延长恢复投喂时间,能否赶上对照组需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Xie X J, Deng L, Zhang B. Advances and studies on ecophysiological effects of starvation on fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1998, 22(2): 181 - 189. [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 - 189.]
- [2] 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.
- [3] Quinton J C, Black R W. The effect of feed cycling on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. J Fish Biol, 1990, 37: 33 - 41.
- [4] Deng L, Zhang B, Xie X J. The recovery growth in the southern catfish (*Silurus meridionalis*) following starvation [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(2): 167 - 172. [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 - 172.]
- [5] Zhang B, Xie X J. Starvation metabolism in the southern catfish (*Silurus meridionalis*). Oceanologia et Limnologia Sinica, 2000, 31(5): 480 - 484. [张波, 谢小军. 南方鲇的饥饿代谢研究 [J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(5): 480 - 484.]
- [6] Zhang B, Sun Y, Tang Q S. The effects of starvation growth and biochemical composition in *Pagrosomus major* [J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(3): 206 - 210. [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.]
- [7] Shen W Y, Lin H R, Zhang W M. Effect of starvation and refeeding on biochemical composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fingerling [J]. Acta Zoologica Sinica, 1999, 45(4): 404 - 412. [沈文英, 林浩然, 张为民. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响 [J]. 动物学报, 1999, 45(4): 404 - 412.]
- [8] Wang Y, Cui Y B, Yang Y X, et al. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. Niloticus*, reared in seawater [J]. Aquac, 2000, 189: 101 - 108.
- [9] Wang Y. Bioenergetics of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) reared in seawater, in relation to compensatory growth [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(3): 233 - 239. [王岩. 海水养殖罗非鱼补偿生长的生物能量学机制 [J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3): 233 - 239.]
- [10] Daneils W H, Robinson E H. Protein and energy requirements of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. Aquac, 1986, 53(3 - 4): 243 - 252.
- [11] Jirsa D O, Davis D A, Arnold C R. Effects of dietary nutrient density on water quality and growth of red drum *Sciaenops ocellatus* [J]. J World Aquac, 1997, 28(1): 68 - 78.
- [12] Wurts W A, Stickney R R. Growth rates of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus* reared on commercial salmon feed in fresh and salt water [J]. J World Aquac, 1993, 24(3): 422 - 424.
- [13] Miglavs 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.
- [14] Dobson S H, Holmes R M. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. J Fish Biol, 1984, 25: 649 - 656.
- [15] Myung K K, Richard T L. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds [J]. Aquac, 1995, 135: 285 - 293.

## 下期论文摘要

# 嗜麦芽假单胞菌脂多糖的制备及其在卵形鲳鲹中的免疫效应

周永灿, 张本, 陈雪芬, 钱家英

(海南大学农学院, 海南 海口 570228)

**摘要:**从海南养殖卵形鲳鲹致病嗜麦芽假单胞菌 (*Pseudomonas maltophilia*) 细胞壁中提取脂多糖, 分别用一次腹腔注射免疫法、加强腹腔注射免疫法和口服法对健康卵形鲳鲹进行免疫接种, 结果表明, 以这 3 种方法接种脂多糖 2 ~ 12 周, 实验鱼类对嗜麦芽假单胞菌的血清凝集抗体效价及其对嗜麦芽假单胞菌病的抵抗力均有显著提高。此外, 卵形鲳鲹在接种嗜麦芽假单胞菌脂多糖后, 其血液中白细胞的吞噬活性也有明显增加。

**关键词:**卵形鲳鲹; 嗜麦芽假单胞菌; 脂多糖; 免疫