

文章编号: 1674-5566(2014)01-0031-06

卵形鲳鲹幼鱼的饥饿和补偿生长研究

刘龙龙^{1,2}, 罗 鸣², 陈傅晓², 谭 围², 张俊彬¹, 李向民²

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 海南省水产研究所, 海南 海口 570203)

摘 要: 研究了卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) 幼鱼在不同饥饿时间(1、2、5、7 d)处理后再恢复投喂的补偿生长。室外水泥池和近海网箱两次实验结果均显示, 在前15 d、30 d内, 饥饿1 d、2 d组卵形鲳鲹生长略快于对照组, 出现完全补偿生长现象。第一次实验饥饿5 d、7 d组的鱼在相同的时间内, 体重的增加量未能赶上对照组, 为部分补偿生长。饥饿组饲料转化效率高于对照组, 且随饥饿时间的延长呈增大趋势; 摄食率也随饥饿时间的延长而增大, 但饥饿1 d、2 d组摄食率低于对照组, 各饥饿组总摄食量均低于对照组, 表明卵形鲳鲹幼鱼的补偿生长主要是通过提高饲料转化效率来实现的。对鱼体进行生化组成的结果分析发现: 饥饿使鱼体水分和灰分含量升高, 脂肪和蛋白质含量下降, 且脂肪损失率高于蛋白质损失率, 实验结束时, 各组鱼体生化组成均恢复到对照组水平, 表明在饥饿期间, 卵形鲳鲹幼鱼主要消耗的能量物质为脂肪。

研究亮点: 通过对卵形鲳鲹幼鱼的饥饿和补偿生长实验的研究, 确定短期饥饿1 d、2 d后, 经过恢复投喂至第15天出现完全补偿生长现象, 并通过测定补偿生长实验中生长、摄食以及鱼体生化组成等指标来探讨卵形鲳鲹幼鱼的补偿生长机制。同时在网箱养殖实验中也验证了短期饥饿实验结果, 为“饥饿-再投喂”模式应用于网箱养殖生产中奠定理论基础。

关键词: 卵形鲳鲹; 幼鱼; 网箱; 饥饿; 补偿生长; 饲料转化效率; 鱼体生化组成

中图分类号: S 965.3

文献标志码: A

关于鱼类的补偿生长, 国内外已有较多的报道, 已有研究者将此应用到生产中从而节约饵料和劳动力, 降低了养殖成本^[1]。卵形鲳鲹属鲈形目 (Perciformes)、鲹科 (Carangidae), 鲳鲹属 (*Trachinotus*), 为暖水性洄游鱼类, 主要分布于温带、热带海域^[2]。由于其生长速度快, 肉质鲜美, 目前已成为我国华南地区深水网箱的主要养殖鱼类, 2010年海南地区约90%深水网箱养殖卵形鲳鲹^[3]。

有关饥饿对卵形鲳鲹仔鱼和幼鱼影响的研究已有一些报道, 如许晓娟等^[4]研究了延迟投饵对卵形鲳鲹早期仔鱼阶段摄食、成活及生长的影响; 苏慧等^[5]研究了饥饿对卵形鲳鲹幼鱼不同组织抗氧化能力、钠钾 ATP 酶活力; 区又君等^[6]研究了饥饿胁迫对卵形鲳鲹幼鱼消化器官组织学

的影响; 黄建盛等^[7]研究了饥饿与补偿生长对卵形鲳鲹幼鱼能量收支及消化酶活性的影响等。但有关卵形鲳鲹幼鱼补偿生长类型以及网箱养殖中的应用研究仍较少, 因此本研究主要针对卵形鲳鲹幼鱼在饥饿和恢复生长后的摄食和生长情况, 确定其补偿生长类型, 并测定鱼体生化组成变化, 探讨其补偿生长机制, 为将来选择合适的“饥饿-再投喂”模式并应用于网箱养殖中奠定理论基础, 从而为卵形鲳鲹网箱养殖高效投喂提供技术支持。

1 材料与方 法

1.1 材 料

实验的卵形鲳鲹幼鱼取自海南海研热带海水鱼类良种场, 第一次实验在海南省水产研究所

收稿日期: 2013-09-07 修回日期: 2013-11-29

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(201205028); 国家“十二五”科技支撑计划课题(2011BD13B11); 海南省科学事业费项目及海南省重大科技项目(ZDZX2013009, ZDZX2013014)

作者简介: 刘龙龙(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为深水网箱养殖。E-mail: silyboylong@163.com

通信作者: 张俊彬, E-mail: jb-zhang@shou.edu.cn

科研基地室外水泥池进行,卵形鲳鲹幼鱼体重为 (1.83 ± 0.48) g。第二次实验在海南临高后水湾近海网箱养殖区内进行,体重为 (2.87 ± 0.51) g。所用饲料为海水鱼浮性膨化料,饲料主要成分为:水分 11.0%,粗蛋白 42.0%,赖氨酸 2.0%,粗脂肪 5.0%,粗纤维 3.0%,粗灰分 16%,钙 1.5%~4.5%,总磷 1.0%~2.0%,食盐 4.0%。

1.2 实验方法

将实验鱼先在水泥池驯养一周。驯养期间,使用经砂滤的三级过滤海水,水温 (28 ± 1) °C,溶解氧 >5 mg/L,盐度为 31,pH 为 7.9。每天 2 次(7:30、17:00)饱食投喂,投喂 30 min 后收集残饵,烘干并记录残饵量。第一次实验在室外水泥池放置的 $1.2 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 小网箱内进行。第二次实验在临高后水湾 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 网箱内进行,水温 (27 ± 1) °C,盐度为 33,日常饲养管理方法同上。

第一次实验设饥饿 1 d、2 d、5 d 和 7 d 4 个处理组以及一个对照组,每组 3 个重复,每个重复放 80 尾鱼。饥饿处理组饥饿后恢复投喂至实验结束,对照组 0 d 持续喂食,实验共进行 30 d。在饥饿结束以及恢复喂食后的第 15 天、第 30 天,从每箱中随机取 10 尾鱼,测量全长、体重,称重前一次不投饵。在饥饿处理组饥饿结束和第 30 天实验结束时,分别取 5 尾鱼留作生化组成分析。采用 105 °C 下烘干至恒重,计算前后的质量差测得鱼体水分含量;采用凯氏定氮法和索氏抽提法分别测得粗蛋白含量和粗脂肪含量;灰分含量则采用 550 °C 灼烧法测得。

第二次实验设饥饿 1 d、2 d 两个饥饿处理组和一个对照组,放养密度为 150 尾/ m^3 ,饲养管理方法同上,实验总计 30 d,在实验开始后的第 15 天、30 天,每个实验组随机取 10 尾鱼,测量全长、体重。

1.3 计算公式

$$K = 100 \times (W_0 - W_1) / W_0 \quad (1)$$

$$S_{\text{GR}} = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / t \quad (2)$$

$$F_{\text{R}} = 100 \times C / [t \times (W_2 + W_1) / 2] \quad (3)$$

$$F_{\text{CE}} = 100 \times (W_2 - W_1) / C \quad (4)$$

式中: K 为体重损失率; S_{GR} 为特定生长率; F_{R} 为

摄食率; F_{CE} 为饲料转化效率; W_0 为饥饿处理开始时鱼体湿重(g); W_1 为饥饿处理结束时鱼体湿重(g); W_2 为恢复生长结束时鱼体湿重(g); C 为总摄食量(g); t 为恢复投喂时间(d)。

1.4 数据分析

数据统计分析采用 SPSS 16.0,对各组数据进行单因素方差分析,并用 Duncan 氏法作多重比较。

2 结果

2.1 卵形鲳鲹饥饿过程中及恢复生长后的体重变化

如表 1 所示,在第一次实验中,随着饥饿时间的增加,卵形鲳鲹幼鱼体重不断下降,饥饿 1 d、2 d、5 d、7 d 组在饥饿结束后幼鱼湿重分别减少 5.51%、13.86%、20.73% 和 29.52%;对饥饿结束后体重的方差分析表明,饥饿 1 d、2 d 组与对照组间差异不显著,5 d、7 d 组与对照组之间存在显著差异($P < 0.05$)。经过恢复投喂,各组鱼体重都有提高,在第 15 天时,饥饿 1 d、2 d 组平均体重略高于对照组,5 d、7 d 组与对照组之间存在显著差异($P < 0.05$)。在实验结束时,对照组体重平均增加 7.53 g;体重增加最多的是饥饿 2 d 组,达 8.92 g,平均体重超过对照组,但并不显著;饥饿 5 d 和 7 d 组的鱼在相同时间内体重增加量小于对照组,其中饥饿 5 d 组与对照组无显著差异,饥饿 7 d 组差异较显著($P < 0.05$)。

在获得第一次实验数据的基础上我们在后水湾养殖网箱开展了第二次实验。第二次实验结果表明饥饿 1 d、2 d 组鱼体重略高于对照组,但方差分析结果差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 总摄食量、饲料转换效率和摄食率

经测定和计算得出第一次实验各组鱼的总摄食量、饲料转换效率和摄食率(表 2),总摄食量随着饥饿时间的增加而减少,以对照组最高;饥饿处理组的饲料转换效率均显著高于对照组($P < 0.05$),随饥饿时间的增加而增大,且与对照组差异显著($P < 0.05$);随着饥饿时间的延长,摄食率也随着增加,饥饿 1 d、2 d 组摄食率略低于对照组。

表 1 卵形鲳鲆在饥饿过程中及恢复生长后的体重变化

Tab. 1 The changes of wet body weight of *Trachinotus ovatus* during starvation and after recovery growth

饥饿天数	饥饿前体重 (g/尾)	饥饿后体重 (g/尾)	第 15 天后体重 (g/尾)	第 30 天后体重 (g/尾)	体重损失率/%	
第一次实验	0	1.83 ± 0.48	1.83 ± 0.48	4.15 ± 0.91	9.36 ± 1.23	0
	1		1.73 ± 0.25	4.40 ± 0.82	10.19 ± 1.78	5.51
	2		1.58 ± 0.16	4.89 ± 1.23	10.49 ± 1.96	13.86
	5		1.45 ± 0.31 *	2.97 ± 0.54 *	9.02 ± 1.75	20.73
	7		1.29 ± 0.32 *	2.77 ± 0.43 *	7.56 ± 1.87	29.52
第二次实验	0	2.87 ± 0.51		6.14 ± 0.87	14.23 ± 1.24	
	1			6.23 ± 0.91	14.31 ± 1.56	
	2			6.32 ± 0.89	15.59 ± 1.63	

注: * 表示与对照组差异显著($P < 0.05$)。

表 2 卵形鲳鲆在恢复生长中的总摄食量、饲料转化效率和摄食率

Tab. 2 Total food consumption, food conversion efficiency (FCE) and feeding rate of *Trachinotus ovatus* during the recovery growth period

饥饿处理时间/d	0	1	2	5	7	
总摄食量/g	958.00 ± 14.7	927.32 ± 15.1	908.24 ± 13.2	745.2 ± 17.7	654.16 ± 18.1	
饲料转化效率/%	62.8 ± 0.59	76.6 ± 0.52 *	75.8 ± 0.67 *	81.2 ± 0.73 *	76.6 ± 0.56 *	
摄食率/%	饥饿结束至第 15 天	8.65 ± 0.87	7.97 ± 1.23	8.07 ± 1.09	10.14 ± 1.43	11.92 ± 1.53
	第 15 - 30 天	7.98 ± 0.97	7.14 ± 0.89	7.24 ± 0.98	8.12 ± 1.24	8.38 ± 1.57

注: * 表示与对照组差异显著($P < 0.05$)。

2.3 特定生长率

第一次实验各组卵形鲳鲆幼鱼的特定生长率如图 1, 在饥饿结束至实验第 15 天, 饥饿处理组特定生长率均高于对照组; 在第 15 ~ 30 天, 饥饿 5 d 组变化不大, 其它处理组特定生长率均有所下降; 在整个恢复投喂实验过程中, 随着饥饿时间的延长特定生长率也随着增加。

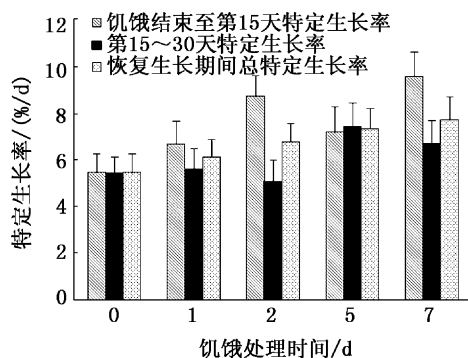


图 1 实验过程中卵形鲳鲆特定生长率的变化
Fig. 1 Changes in the specific growth rate in *Trachinotus ovatus* during experiment

2.4 卵形鲳鲆饥饿过程中及恢复生长后鱼体的生化组成的变化

随着饥饿时间延长, 饥饿处理后鱼体的水分含量明显增加。鱼体粗蛋白和粗脂肪含量饥饿

后均下降, 但粗脂肪的相对损失率大于粗蛋白的相对损失率; 灰分含量略有升高。各饥饿组在恢复投喂至实验结束时各组分又恢复到接近对照组水平(图 2)。

3 讨论

一般来说, 补偿生长按补偿量的程度可分为三类: 超补偿^[1,8]、完全补偿^[9]和部分补偿^[10-11]。苏慧等^[12]在研究饥饿对卵形鲳鲆幼鱼存活影响时发现第 8 天是卵形鲳鲆幼鱼饥饿致死的临界期。因此, 本研究选择在对鱼体造成不可逆转的饥饿损伤之前开展补偿生长研究。通过对卵形鲳鲆幼鱼的饥饿和补偿生长实验研究发现, 短期的饥饿(1 d, 2 d)卵形鲳鲆表现出完全补偿生长能力。而对于饥饿 5 d 和 7 d 由于饥饿时间过长, 经过二十余天的恢复生长仍没有赶上对照组, 但其饲料转化效率, 摄食率及生长率均高于对照组, 为部分补偿生长, 也表明了限食程度决定了鱼类补偿的实现程度, 这与 BILTON 和 ROBINS^[13]结论一致。饥饿组的特定生长率经历了一个先上升再恢复到对照组水平的过程, 说明其补偿效应可能只产生于一定时段, 这与谢小军^[14]研究结果一致。本研究前期在水泥池短期饥饿实验数据, 进一步在近海网箱实验中得到验

证,因此有望在卵形鲳鲹幼鱼这一生长阶段应用“饥饿-再投喂”模式,达到节省饲料节约劳动力的效果。但鱼类的补偿生长仍受体重、限食程度^[15-16]、恢复生长时间^[17]、营养物质性质^[18]以

及性成熟程度^[19]等因素影响。因此下一步对于卵形鲳鲹生长其他阶段的补偿生长仍需进一步研究。

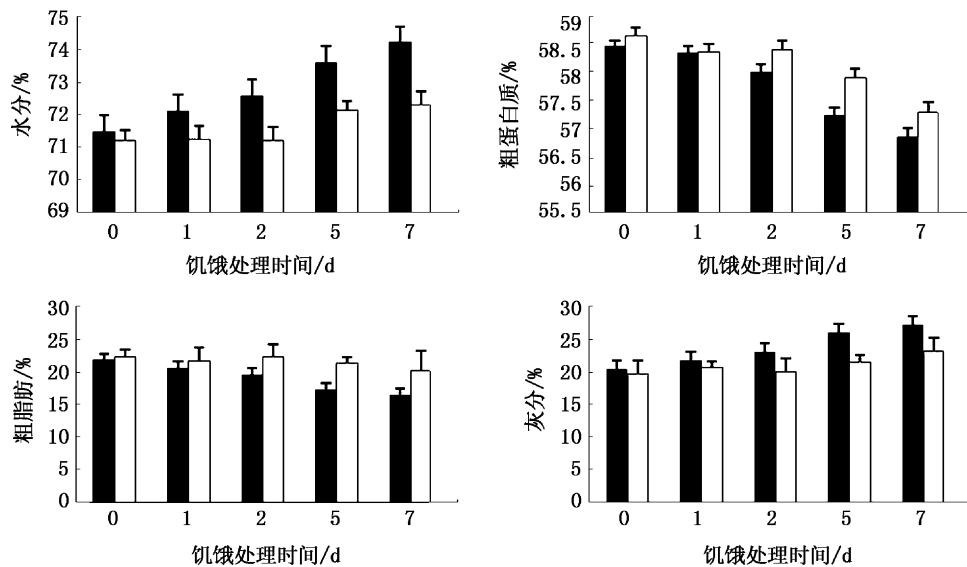


图2 卵形鲳鲹在饥饿后(黑色)及恢复投喂后(白色)身体组成的变化

Fig. 2 The changes of biochemical compositions in *Trachinotus ovatus* after starvation (black) and refeeding (white)

鱼类出现补偿生长现象主要是由于鱼类在面对自然条件饥饿等营养限制体内脂肪或蛋白质等贮能物质被大量消耗后所采用的一种生理调节策略。通常在短期饥饿期间鱼类主要利用脂肪作为能量代谢物质,从而引起鱼体脂肪含量下降引发补偿生长^[20],如黑鲷^[11]在饥饿期间主要利用脂肪和糖元,美国红鱼^[9]在饥饿过程中主要是消耗脂肪作为身体能量的来源。但也有研究者发现,有的鱼类在饥饿期间主要消耗的能源物质为蛋白质,如千年笛鲷^[8]幼鱼在饥饿过程中主要依靠消耗蛋白质作为能量来源,这说明不同鱼对贮能物质的利用,也不尽相同。本实验中卵形鲳鲹在饥饿后能量物质的变化结果说明卵形鲳鲹在饥饿过程中可能主要消耗脂肪来作为能量的供应。同时生化分析的结果还表明经过补偿生长后卵形鲳鲹幼鱼鱼体的各生化组成成分均能在短期内恢复到对照组水平,这也说明短期的饥饿不会影响幼鱼的鱼体营养组成。

对补偿生长的机制,目前主要存在3种不同观点。(1)饥饿影响鱼的生理机能,鱼在饥饿状态下,机体通过降低代谢水平来适应这种饥饿胁迫,

以延长生命,当恢复进食时,饥饿时较低代谢水平还不能立即恢复到饥饿前状态,这样更多的能量用于生长,从而提高食物转化率,出现补偿生长。如美国红鱼的补偿生长效应主要是由降低标准代谢率和提高食物转化率实现的^[9]。(2)饥饿后恢复喂食,代谢水平没有降低反而是升高,鱼的摄食率增加而食物转化率并没有明显提高,即补偿生长的产生主要是通过提高摄食水平实现的。如北极红点鲑^[20]在限食8周后恢复给食时摄食率显著升高而转化率与对照组无明显差异;邓利等^[21]也报道了饥饿50 d的南方鲷恢复喂食后摄食水平显著升高,并出现补偿生长。(3)认为鱼类补偿生长应是食物转化效率和摄食水平这两种因素共同作用的结果,即饥饿后恢复喂食,食物转化效率和摄食水平均有提高^[22]。实验中,卵形鲳鲹饥饿处理组鱼的总摄食量以对照组最高,其余各组随饥饿时间的增加而减少,摄食率也无明显差别,说明卵形鲳鲹的补偿生长不是主要通过提高摄食量来实现的;而饥饿组饲料转化效率明显高于对照组,表明补偿生长可能主要是通过提高饲料转化率来实现的,这与美国

红鱼的研究一致。有研究表明饥饿胁迫下卵形鲳鲹幼鱼蛋白酶的酶活力在饥饿初期(0~6 d)持续升高^[23]。在恢复生长过程中,卵形鲳鲹幼鱼短期饥饿组均表现为完全补偿生长,其饲料转化效率明显高于对照组,可能是由于幼鱼消化酶的酶活力提高从而食物的消化吸收率得到增强所致。在饥饿处理组鱼的摄食量略减少的情况下而达到的补偿生长,同卵形鲳鲹养殖生产中限量投喂可以达到较好的养殖收益是相符的,但补偿生长的机制需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] HAYWARD R S, NOLTIE D B, WANG N. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1997, 126 (2): 316 - 322.
- [2] 成庆泰,郑葆珊. 中国鱼类系统检索[M]. 北京:科学出版社,1987:341 - 342.
- [3] 陈傅晓,唐贤明,谭围,等. 卵形鲳鲹深水网箱养殖风险对策分析[J]. 中国渔业经济,2011,29(4):145 - 150.
- [4] 许晓娟,区又君,李加儿. 延迟投饵对卵形鲳鲹早期仔鱼阶段摄食、成活及生长的影响[J]. 南方水产,2010,6(1): 37 - 41.
- [5] 苏慧,区又君,李加儿,等. 饥饿对卵形鲳鲹幼鱼不同组织抗氧化能力、Na⁺/K⁺-ATP 酶活力和鱼体生化组成的影响[J]. 南方水产科学,2012,8(6):28 - 36.
- [6] 区又君,苏慧,李加儿,等. 饥饿胁迫对卵形鲳鲹幼鱼消化器官组织学的影响[J]. 中山大学学报:自然科学版,2013,52(1):100 - 110.
- [7] 黄建盛. 盐度、摄食水平、饵料及饥饿与补偿生长对卵形鲳鲹幼鱼能量收支及消化酶活性的影响[D]. 湛江:广东海洋大学,2008.
- [8] 区又君,刘泽伟. 千年笛鲷幼鱼的饥饿和补偿生长[J]. 水产学报,2007,31(3):323 - 328.
- [9] 姜志强,贾泽梅,韩延波. 美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制[J]. 水产学报,2002,26(1):67 - 72.
- [10] WEATHERLEY A H, GILL H S. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson [J]. Journal of Fish Biology, 1981, 18(2): 195 - 208.
- [11] 楼宝,毛国民,骆季安,等. 不同的饥饿时间对黑鲷补偿生长的影响[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2006,25(4):385 - 389.
- [12] 苏慧,区又君,李加儿,等. 卵形鲳鲹消化酶活力的研究VI 饥饿对幼鱼存活和消化酶活力的影响[J]. 海洋渔业,2012,34(1):45 - 50.
- [13] BILTON H T, ROBINS G L. The effects of starvation and subsequent feeding on survival and growth of Fulton channel sockeye salmon fry (*Oncorhynchus nerka*) [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1973, 30(1): 1 - 5.
- [14] 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.
- [15] JOBLING M, MELOY O H, DOS SANTOS J, et al. The compensatory growth response of the Atlantic cod; effects of nutritional history [J]. Aquaculture International, 1994, 2 (2): 75 - 90.
- [16] 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.
- [17] KIM M K, LOVELL R T. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds [J]. Aquaculture, 1995, 135(4): 285 - 293.
- [18] SCHWARZ F J, PLANK J, KIRCHGESSNER M. Effects of protein or energy restriction with subsequent realimentation on performance parameters of carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. Aquaculture, 1985, 48(1): 23 - 33.
- [19] REIMERS E, KJORREFJORD A G, STAVOSTRAND S M. Compensatory growth and reduced maturation in second sea winter farmed Atlantic salmon following starvation in February and March [J]. Journal of Fish Biology, 1993, 43(5): 805 - 810.
- [20] JOBLING M, JORGENSEN E H, SIKAVUOPIO S I. The influence of previous feeding regime on the compensatory growth response of maturing and immature Arctic charr, *Salvelinus alpinus* [J]. Journal of Fish Biology, 1993, 43 (3): 409 - 419.
- [21] 邓利,张波,谢小军. 南方鲷继饥饿后的恢复生长[J]. 水生生物学报,1999,23(2):167 - 173.
- [22] LUQUET P, OTEME Z J, CISSE A. Evidence for compensatory growth and its utility in the culture of *Heterobranchus longifilis* [J]. Aquatic Living Resources, 1995, 8(4):389 - 394.
- [23] 苏慧. 饥饿胁迫对卵形鲳鲹幼鱼生理生化影响的初步研究[D]. 上海:上海海洋大学,2012.

Study on the compensatory growth following starvation of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus*

LIU Long-long^{1,2}, LUO Ming², CHEN Fu-xiao², TAN Wei², ZHANG Jun-bin¹, LI Xiang-min²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Hainan Provincial Fisheries Research Institute, Haikou 570203, Hainan China)

Abstract: A starvation trial was conducted to determine compensatory growth of the juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* which were deprived of food for 1, 2, 5 and 7 days respectively. The results of tests in outdoor cement pools and net pens showed that, in the first 15 d, 30 d, the growth of 1 d, 2 d-deprived groups was probably same with the control group, which accorded with fully compensatory description. However, the weight of 5 d, 7 d-deprived fingerlings were lower than that of the control group, which accorded with the description of the partial compensatory growth. As the starvation prolonged, feed conversion efficiency of the starved groups increased and was higher than the control group. Meanwhile, feeding rate also increased, but the fish of 1 d, 2 d-deprived groups was lower than that of the control group, and feeding quantity was reduced and lower than the control group. It suggested that the mechanism of compensatory growth was mainly due to improving feed conversion efficiency. Fish biochemical composition was analyzed: the water content and ash of fish sample increased due to starvation, while the lipid and protein decreased. The loss of lipid was higher than that of the protein, and the biochemical composition of fish in each group was restored to the control level by the end of the experiment. It suggested that *Trachinotus ovatus* may mainly consume lipid during the period of starvation.

Key words: *Trachinotus ovatus*; juvenile; net pens; starvation; compensatory growth; feed conversion efficiency; fish biochemical composition