

文章编号:1007-2985(2012)06-0102-05

# 饥饿与补偿生长对军曹鱼幼鱼能量收支的影响<sup>\*</sup>

王忠良,黄亿彬,陈刚,张健东,汤保贵,周晖,施钢,潘传豪,黄建盛

(广东海洋大学,广东省普通高校南海水产经济动物增殖重点实验室,广东 湛江 524025)

**摘要:**采用室内生态实验法研究了军曹鱼(*Rachycentron canadum*)幼鱼(初始体重 $(17.43 \pm 0.85)$  g 分别饥饿0(对照组),2,4,6,8 d后的补偿生长规律,探讨军曹鱼幼鱼补偿生长的生物能量学机制。结果表明:随着饥饿时间的延长,幼鱼的能量及体重损失率显著升高;恢复生长过程中,饥饿处理组幼鱼的平均日摄食率(能量指标)均高于对照组,其中以饥饿8 d组幼鱼的平均日摄食率最高(17.20%);幼鱼在恢复生长过程中的能量、湿重及干重特定生长率均随着饥饿时间的延长而呈上升趋势;军曹鱼幼鱼在饥饿后的恢复生长过程中通过提高摄食率来实现其完全补偿生长能力;军曹鱼幼鱼在饱食条件下的能量收支方程为 $100.00C = 38.33G + 15.06F + 7.22U + 39.39R$ ,同化能分配式为 $100.00A = 49.32G + 50.68R$ 。

**关键词:**军曹鱼;幼鱼;饥饿;补偿生长;能量收支

**中图分类号:** S967

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1007-2985.2012.06.023

军曹鱼(*Rachycentron canadum*)隶属鲈形目(Perciformes),军曹鱼科(Rachycentridae),军曹鱼属(*Rachycentron*),亦称海龙鱼、海鲷等。分布于地中海、大西洋和印度-太平洋等热带水域,中国南海部分海域亦有少量分布<sup>[1]</sup>。军曹鱼为外海肉食性暖水鱼类,生长速度极快,年生长体重可达6~8 kg,是海水网箱养殖中生长最快且最有养殖产业化前景的一种鱼类<sup>[1]</sup>。

鱼类的补偿生长(Compensatory Growth)是由于自然界中季节的更替、环境的突变或食物分布的空间不均匀性等原因,鱼类在生长存活过程中受到周期性摄食不足或饥饿胁迫而出现生长停滞或负生长,当摄食不足或饥饿胁迫得以改善或消失后,鱼类表现出生长速度超过一直正常摄食个体生长速度的快速生长现象<sup>[2-4]</sup>。迄今为止,已相继报道了多种鱼类的补偿生长现象<sup>[5-8]</sup>,但有关军曹鱼补偿生长的生物能量学机制研究尚未见报道。文中以军曹鱼幼鱼为研究对象进行生物能量学研究,探讨幼鱼能量分配的比例,从鱼类能量学的角度探讨影响幼鱼摄食和生长的原因,为建立军曹鱼的健康养殖技术提供理论依据,促进军曹鱼养殖的可持续发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

军曹鱼幼鱼取自广东海洋大学东海岛海洋生物研究基地,起始体重 $(17.43 \pm 0.85)$  g。

实验饵料为新鲜鱿鱼,并加工成易于吞食的颗粒状,经测定其蛋白质、脂肪及灰分含量分别占干重的71.77%,23.95%和5.58%。

### 1.2 实验方法

选择个体大小均匀的健康幼鱼300尾,暂养于20个规格为70 cm×50 cm×70 cm的玻璃钢水槽中,每只水槽15尾。待摄食和生长正常后,选取其中的200尾分别随机放入20个上述实验水槽中,驯化1周后开始正式实验。

<sup>\*</sup> 收稿日期:2012-09-20

**基金项目:**广东省海洋与渔业科技推广专项项目(A200908D03);广东省科技计划项目(2009B020308005);广东省海洋渔业科技推广专项项目(A2010-08D04);海洋公益性行业科研专项项目(201205028)

**作者简介:**王忠良(1982-),男,安徽安庆人,广东海洋大学讲师,主要从事水产经济动物生物学研究。

实验采用室内连续循环水饲养法. 饲养期间微充气,溶氧质量浓度为 6 mg/L 以上,水温(28±2)℃,海水盐度为 28‰,自然光照.

实验开始和结束时,将幼鱼饥饿 24 h,排空粪便后称其质量. 驯化 1 周后,随机挑选 5 尾幼鱼作为饥饿处理前的对照材料. 然后设置饥饿 0(对照组),2,4,6,8 d 这 5 个处理组,每组 40 尾幼鱼(分 4 个平行). 饥饿处理结束后,每组随机选取 4 尾幼鱼(1 尾/平行)作为该组饥饿结束或恢复喂食前的对照材料,其余 36 尾幼鱼继续进行恢复生长实验. 恢复生长的喂养时间均为 10 d. 恢复生长实验结束后,随机选取 4 尾幼鱼作为恢复生长后的对照材料.

恢复生长实验期间,每天分别于 9:00 和 15:00 投喂饵料 2 次达饱足. 微型潜水泵(HJ-901 型)连续收集粪便,并烘干保存.

测定鱼体和饵料样品的干物质、总氮、脂肪、灰分及能量含量,粪便样品的总氮及能量含量. 干物质在 105℃干燥恒重测定;凯氏定氮法测定样品总氮含量,将总氮含量乘以换算系数 6.25 估算样品蛋白质含量;索氏抽提法(Soxxhlet extractor method)测定样品粗脂肪含量;灰分在箱式电阻炉中 550℃焚烧 7 h 测定;能量含量采用 XRY-1B 型微机氧弹式热量计测定.

### 1.3 能量收支模型及计算

能量收支采用 Warren 和 Davis<sup>[9]</sup>提出的基本模型: $C=G+F+U+R$ . 其中: $C$ 表示从饵料中摄取的能量; $G$ 表示生长能; $F$ 表示排粪能; $U$ 表示排泄能; $R$ 表示代谢能.

依据氮收支平衡式可计算排泄能  $U=(C_N-G_N-F_N) \times 24.83$ . 其中: $C_N$ 表示从饵料中获取的氮; $G_N$ 表示鱼体中用于生长的氮; $F_N$ 表示粪便中损失的氮;24.83 表示氮氮的比能值(单位为 kJ/g).

代谢能的计算式为  $R=C-G-F-U$ .

### 1.4 数据计算及处理

体重损失率和特定生长率分别为体重损失率  $= (W_0 - W_1)/W_0$ , 特定生长率  $= 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1)/t$ . 其中: $W_0$ 为实验开始时鱼体的湿重,干重或能量含量; $W_1$ 为饥饿处理结束后鱼体的湿重,干重或能量含量; $W_2$ 为恢复生长结束时鱼体的湿重,干重或能量含量; $t$ 为恢复生长的时间.

平均日摄食率为

$$\text{平均日摄食率} = 100 \times C / \left( \frac{W_1 + W_2}{2} \times t \right).$$

其中: $C$ 为实验期间的总摄食能; $W_1$ 为饥饿处理结束时鱼体的能量含量; $W_2$ 为恢复生长结束时鱼体的能量含量; $t$ 为恢复生长的时间.

实验中所得数据均采用 SPSS 11.0 for Windows<sup>®</sup>进行单因素方差(ANOVA)分析及 Duncan 多重比较,以  $P < 0.05$  为显著差异, $P < 0.01$  为极显著差异.

## 2 结果与讨论

### 2.1 军曹鱼幼鱼在饥饿过程中的体重损失率

随着饥饿时间的延长,军曹鱼幼鱼的能量及体重损失率均显著升高,其中以饥饿 8 d 组的能量及体重损失率最大,分别为 54.60%,40.47%和 47.19%(见表 1). 方差分析表明,饥饿时间对能量、湿重及干重损失率均具极显著影响( $P < 0.01$ ).

表 1 军曹鱼幼鱼在饥饿过程中的体重损失率

饥饿时间/d	体重损失率/%		
	能量指标	湿重指标	干重指标
2	12.52±0.11 <sup>a</sup>	7.51±0.71 <sup>a</sup>	7.82±0.06 <sup>a</sup>
4	25.99±0.96 <sup>b</sup>	17.54±0.70 <sup>b</sup>	18.96±1.10 <sup>b</sup>
6	45.74±1.12 <sup>c</sup>	37.32±1.41 <sup>c</sup>	40.34±1.14 <sup>c</sup>
8	54.60±1.03 <sup>d</sup>	40.47±0.68 <sup>d</sup>	47.19±0.86 <sup>d</sup>

注 表格中数据均以平均值±标准差表示,同一列中不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),同一列中同一字母或不标注字母表示差异不显著,下同

## 2.2 军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中鱼体能量含量的变化

军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中鱼体能量含量的变化见表 2. 随着饥饿时间的延长,幼鱼鱼体的能量含量显著减少,对照组鱼体含量显著高于饥饿处理组,经过 10 d 的恢复喂食,各饥饿处理组鱼体的能量含量均达到对照组水平,其中以饥饿 6 d 组鱼体的能量含量最高,达到 119.28 kJ.

表 2 军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中鱼体能量含量的变化

组别	饥饿处理后鱼体能量/kJ	恢复喂食后鱼体能量/kJ
对照组	91.35±1.71 <sup>a</sup>	112.58±0.33
饥饿 2 d	60.45±0.23 <sup>b</sup>	118.73±0.26
饥饿 4 d	59.33±1.14 <sup>b</sup>	115.83±1.37
饥饿 6 d	53.38±0.54 <sup>c</sup>	119.28±0.76
饥饿 8 d	50.75±1.20 <sup>c</sup>	110.27±1.09

## 2.3 军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中的平均日摄食率

军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中的平均日摄食率(能量指标)见表 3. 饥饿处理组幼鱼的平均日摄食率均高于对照组,随着饥饿时间的延长,幼鱼的平均日摄食率呈上升趋势,如饥饿 8 d 组的平均日摄食率达到 17.20%,而对照组的平均日摄食率为 10.24%. 方差分析表明,饥饿时间对军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中的平均日摄食率具显著影响( $P<0.05$ ),其中对照组与饥饿 8 d 组间存在极显著差异( $P<0.01$ ).

表 3 军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中的平均日摄食率

组别	平均日摄食率/%
对照组	10.24±0.37 <sup>a</sup>
饥饿 2 d	11.08±0.93 <sup>a</sup>
饥饿 4 d	13.12±0.31 <sup>b</sup>
饥饿 6 d	13.91±0.17 <sup>b</sup>
饥饿 8 d	17.20±0.77 <sup>c</sup>

## 2.4 军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中的特定生长率

军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中的特定生长率见表 4. 随着饥饿时间的延长,幼鱼的能量、湿重及干重特定生长率总体呈上升趋势,其中能量及干重特定生长率以饥饿 6 d 组的幼鱼达到最高,分别为 8.04%和 7.76%;而鱼体的湿重特定生长率以饥饿 8 d 组最高,达到 5.56%. 方差分析表明,饥饿时间对军曹鱼幼鱼恢复生长过程中的能量、湿重及干重特定生长率均具显著影响( $P<0.05$ ).

表 4 军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中的特定生长率 %

组别	特定生长率/%		
	能量指标	湿重指标	干重指标
对照组	2.09±0.37 <sup>a</sup>	3.62±0.57 <sup>a</sup>	2.98±0.60 <sup>a</sup>
饥饿 2 d	6.75±0.86 <sup>b</sup>	4.77±0.99 <sup>b</sup>	6.07±0.68 <sup>b</sup>
饥饿 4 d	6.69±0.37 <sup>b</sup>	5.10±0.62 <sup>c</sup>	6.54±0.81 <sup>b</sup>
饥饿 6 d	8.04±0.56 <sup>c</sup>	5.42±0.49 <sup>d</sup>	7.76±0.37 <sup>c</sup>
饥饿 8 d	7.76±0.64 <sup>c</sup>	5.56±0.05 <sup>d</sup>	7.43±0.02 <sup>c</sup>

## 2.5 军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中总摄食能的分配比例

经过 10 d 的恢复生长后,各处理组幼鱼的总摄食能分配比例见表 4. 饥饿 2 d 组幼鱼的 G/C 比例最高,达到 39.12%. 方差分析表明,各处理组间的 G/C 比例具显著差异( $P<0.05$ );对照组幼鱼的 F/C 比例最高,达到 15.06%,显著高于饥饿 2 d 组幼鱼粪便能所占比例;饥饿 8 d 组的 U/C 比例最高,达到 7.35%. 方差分析表明,饥饿时间对恢复生长后鱼体的 U/C 比例存在显著差异( $P<0.05$ );饥饿 2 d 组幼鱼的 R/C 比例最高,且与对照组间的 R/C 比例存在显著差异( $P<0.05$ ).

表 5 各饥饿处理组军曹鱼幼鱼恢复生长过程中总摄食能的分配比例

组别	G/C	F/C	U/C	R/C
对照组	38.33±1.12 <sup>a</sup>	15.06±0.71 <sup>a</sup>	7.22±0.34 <sup>a</sup>	39.39±0.17 <sup>a</sup>
饥饿 2 d	39.12±0.20 <sup>b</sup>	7.26±1.96 <sup>b</sup>	6.15±1.89 <sup>b</sup>	47.47±0.28 <sup>b</sup>
饥饿 4 d	37.01±0.44 <sup>c</sup>	11.03±0.09 <sup>c</sup>	6.49±0.23 <sup>b</sup>	45.47±0.12 <sup>c</sup>
饥饿 6 d	38.08±0.80 <sup>a</sup>	14.71±0.85 <sup>a</sup>	5.31±0.25 <sup>c</sup>	41.90±2.40 <sup>d</sup>
饥饿 8 d	36.80±0.12 <sup>c</sup>	10.61±0.06 <sup>c</sup>	7.35±0.46 <sup>a</sup>	45.24±0.40 <sup>c</sup>

## 2.6 军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中的能量收支方程

根据总摄食能的分配比例,可得实验期间的总能量收支方程如下:

$$\text{对照组}, 100.00C = 38.33G + 15.06F + 7.22U + 39.39R;$$

$$\text{饥饿 } 2 \text{ d}, 100.00C = 39.12G + 7.26F + 6.15U + 47.47R;$$

$$\text{饥饿 } 4 \text{ d}, 100.00C = 37.01G + 11.03F + 6.49U + 45.47R;$$

$$\text{饥饿 } 6 \text{ d}, 100.00C = 38.08G + 14.71F + 5.31U + 41.90R;$$

$$\text{饥饿 } 8 \text{ d}, 100.00C = 36.80G + 10.61F + 7.35U + 45.24R.$$

若以同化能( $A = C - F - U$ )的百分比来表示能量收支,则实验期间的总能量收支方程如下:

$$\text{对照组}, 100.00A = 49.32G + 50.68R;$$

$$\text{饥饿 } 2 \text{ d}, 100.00A = 45.18G + 54.82R;$$

$$\text{饥饿 } 4 \text{ d}, 100.00A = 44.87G + 55.13R;$$

$$\text{饥饿 } 6 \text{ d}, 100.00A = 47.61G + 52.39R;$$

$$\text{饥饿 } 8 \text{ d}, 100.00A = 44.86G + 55.14R.$$

## 3 讨论

(1) 针对不同的研究目的,鱼类补偿生长实验的设计也有所不同.已有的文献报道主要包括食物缺乏条件下产生的补偿生长研究和限制摄食条件下产生的补偿生长研究<sup>[3,10-12]</sup>. Jobling 等<sup>[12]</sup>认为,限制摄食条件下的补偿生长研究难度更大,因为食物限制增大了对有限食物的竞争,部分实验鱼能获得足够的食物来维持良好的生长,而另一些就会因饥饿导致体重下降,补偿生长并不能在所有实验鱼上发生.为此,文中采用了在饥饿条件下研究军曹鱼幼鱼补偿生长的实验设计,各饥饿处理组经不同时间的饥饿胁迫后恢复喂食相同时间.

(2) 鱼类补偿生长因鱼类种类、饥饿或限食胁迫水平等不同而存在较大差异,谢小军等<sup>[3]</sup>依据补偿量的大小将补偿生长分为3类:①超补偿生长,指经一段时间饥饿或限食胁迫后再恢复喂食,鱼体体重增加超过相同时间(饥饿时间+恢复喂食时间)持续正常喂食鱼类的体重增加量,如饥饿9,12,15 d后,恢复生长2周的真鲷(*pagrosomus major*)幼鱼具有超补偿生长能力<sup>[13]</sup>;②完全补偿生长,指饥饿或限食胁迫后恢复生长的鱼体体重增加达到或接近持续喂食个体的水平,如罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)饥饿1周后恢复喂食4周出现完全补偿生长<sup>[14]</sup>;③部分补偿生长,指饥饿或限食胁迫后的恢复生长过程中鱼体能正常生长,甚至生长速度在短期内有所加快,但体重增加量最终不能赶上相同时间内持续喂食鱼类个体,如罗非鱼(*O. niloticus* × *O. aureus*)饥饿2~4周后恢复喂食4周只出现部分补偿生长<sup>[14]</sup>;④不能补偿生长,指在恢复生长过程中鱼体的体重增加量不仅不能赶上持续喂食个体,同时生长速度也不及正常喂食个体水平,如南方鲇(*Silurus meridionalis*)饥饿60d后恢复生长时的生长率明显低于正常喂食个体,表明其在恢复生长过程中已不具备补偿生长能力<sup>[15]</sup>.本实验结果表明,军曹鱼幼鱼在饥饿2~8 d后恢复喂食,各饥饿处理组的能量、湿重及干重特定生长率均显著高于对照组水平,表明幼鱼恢复生长过程中出现了较明显的补偿现象,而采用全鱼能量含量作为补偿生长的评价指标时,从表2可以看出幼鱼经过10 d的恢复喂食后,鱼体的能量含量均达到对照组水平,可见,军曹鱼幼鱼经饥饿2~8 d后的恢复生长具有完全补偿生长能力.

(3) 迄今,研究人员对鱼类补偿生长效应的作用机制进行了广泛和深入的研究,而关于补偿生长的生理机制尚存在诸多争议,目前主要有以下3种观点<sup>[3]</sup>:①饥饿胁迫降低了鱼体的标准代谢,恢复喂食后较低的代谢水平可维持一段时间,因此,代谢支出的降低增加了个体用于生长的能量比例,提高了食物转化率,出现了补偿生长<sup>[6-7,15]</sup>;②饥饿后恢复喂食时,鱼类个体代谢水平迅速升高,立即进行大量的合成作用,不可能通过较低的代谢水平提高食物转化率,而补偿生长的产生是鱼体在恢复生长过程中食欲增强,通过大幅度提高摄食水平实现的<sup>[16]</sup>;③鱼类在恢复喂食阶段不仅食欲增强,而且提高了食物转化率,共同实现补偿生长<sup>[13]</sup>.文中研究发现各饥饿处理组幼鱼在恢复生长过程中生长能占其食物能的比例与对照组幼鱼并无明显差别,这意味着幼鱼经饥饿处理后并未导致军曹鱼幼鱼在恢复期间将更多的食物能用于生长,即饥饿后表现出的补偿生长并

非是其能量收支模式变化的结果,这与王岩等<sup>[14]</sup>对海水养殖罗非鱼的补偿生长研究结果一致;此外,随着饥饿时间的延长,军曹鱼幼鱼在恢复生长过程中的平均日摄食率显著提高,并且代谢能占摄食能的比例有明显提高,因此可以认为,军曹鱼幼鱼的完全补偿生长是通过提高摄食率来实现的。

### 参考文献:

- [1] 陈刚,张健东,叶宁,等.军曹鱼的养殖技术介绍(上)[J].科学养鱼,2004(1):10-11.
- [2] 楼宝,毛国民,陈雪昌.浅谈鱼类的补偿生长[J].现代渔业信息,2006,21(3):11-14.
- [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] 吴立新.水产动物继饥饿或营养不足后的补偿生长研究进展[J].应用生态学报,2000,11(6):943-946.
- [5] DOBSON S H, HOLMES R M. Compensatory Growth in the Rainbow Trout, *Salmo Gairdneri* Richardson [J]. *Journal of Fish Biology*, 1984(25):649-656.
- [6] MIGLAVS I, JOBLING M. Effects of Feeding Regime on Food Consumption, Growth Rates and Tissue Nucleic Acids in Juvenile Arctic Charr, *Salveinus Alpinus*, with Particular Respect to Compensatory Growth [J]. *Journal of Fish Biology*, 1989(34):947-957.
- [7] 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.
- [8] 沈文英,寿建昕.鱼类补偿生长的研究进展[J].水利渔业,2003,23(4):40-42.
- [9] WARREN C E, DAVIS G E. Laboratory Studies on the Feeding, Bioenergetics and Growth of Fish [M]//GERKING S D. *T Biological Basis of Freshwater Fish Production*. Oxford:Blackwell Scientific Publication, 1967:175-214.
- [10] PAUL A J, PAUL J M, SMITH R L. Compensatory Growth in Alaska Yellowfin Sole, *Pleuronectes Asper*, Following Food Deprivation [J]. *Journal of Fish Biology*, 1995(46):442-448.
- [11] BULL C D, METCALFE N B. Regulation of Hyperphagia in Response to Varying Energy Deficits in over Wintering Juvenile Atlantic Salmon [J]. *Journal of Fish Biology*, 1997(50):498-510.
- [12] JOBLING M, KOSKELA J. Inter Individual Variation in Feeding and Growth in Rainbow Trout During Restricted Feeding and in a Subsequent Period of Compensatory Growth [J]. *Journal of Fish Biology*, 1996(49):658-667.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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]. *Aquaculture*, 1995(135):285-293.

## Effects of Starvation and Compensatory Growth on Energy Budget of Juvenile *Cobia Rachycentron Canadum*

WANG Zong-liang, HUANG Yi-bin, CHEN Gang, ZHANG Jian-dong, TANG Bao-gui, ZHOU Hui,  
SHI Gang, PAN Chuan-hao, HUANG Jian-sheng

(Key Laboratory of Aquaculture in South China Sea for Aquatic Economic Animal, Regular High Education Institute of Guangdong Province, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, Guangdong China)

**Abstract:** The effect of starvation for different days (0, 2, 4, 6 and 8 days) and compensatory growth on energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) was estimated by an experimental ecological method. Results in present study indicated that energy content and body weight of juvenile cobia decreased significantly after starvation, and during the re-feeding period, ingestion rate in energy and specific growth rate in energy, wet weight and dry weight in the deprived fish were higher than those of control fish. Results also indicated that juvenile cobia showed complete compensatory effect in the recovery growth and it was contributed by the increase of ingestion rate. Energy budget of juvenile cobia fed to satiation was  $100.00C = 38.33G + 15.06F + 7.22U + 39.39R$ , and expression by assimilated energy was  $100.00A = 49.32G + 50.68R$ .

**Key words:** Juvenile cobia; starvation; compensatory growth; energy budget