

马氏珠母贝饥饿补偿生长的初步研究

何毛贤¹, 袁涛^{1,2}, 黄良民¹

(1. 中国科学院海洋生物资源可持续利用重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 采取饥饿处理时间不等(3、6、9 和 12d)、但总持续时间相等的方法研究马氏珠母贝 *Pinctada martensi* (Dunker) 稚贝在饥饿处理后的生长和存活。结果表明, S12 组(饥饿 12d)的存活率最低, 恢复期的壳长和体重最小, 表明饥饿强度大会对其生长和存活造成较大的影响; 饥饿处理后的稚贝都表现出补偿生长现象, S9 组(饥饿 9d)的特定生长率最高, S3 组(饥饿 3d)的最低, 但饥饿组间的差异不明显, 其壳长和体重大小排列为 S3>S6>S9>S12, 恢复期延长, 其生长恢复到正常水平。

关键词: 补偿生长; 饥饿; 马氏珠母贝 *Pinctada martensi*

中图分类号: S968.31⁺.6.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)06-0143-04

Preliminary study on compensatory growth in pearl oyster *Pinctada martensi* Dunker, following starvation

HE Mao-xian¹, YUAN Tao^{1,2}, HUANG Liang-min¹

(1. Key Laboratory of Marine Bio-resources Sustainable Utilization, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Graduate school, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The growth and survival of pearl oyster *Pinctada martensi* Dunker were investigated at four starvation periods (3, 6, 9, and 12 days), with the same total experimental time. The results showed that the group undergoing 12 days of starvation had the lowest survival rate during the starvation, and the shortest shell length and lowest total weight after the starvation. These results showed a greater degree of starvation had a significantly negative effect on the growth and survival of pearl oyster. Juvenile pearl oysters in this study showed compensatory growth following different starvation periods. The group after 9 days of starvation exhibited the greatest growth rate, while the group after 3 days of starvation had the lowest growth rate; but no significant differences were found among the four groups following the starvations. At the end of the experiment, the shell length and total weight decreased with increasing days of starvation, and the growth rate reduced to normal level after a sufficiently long recovery period.

Key words: compensatory growth; starvation; *Pinctada martensi* Dunker

在自然条件下, 动物特别是水产动物在其生活中经常会受到环境因素(如温度、盐度、饥饿或营养缺乏等)的胁迫, 这种胁迫在一定条件下对动物的生长发育有多大程度的影响, 已引起养殖专家的广泛关注和重视。许多研究表明, 动物在环境胁迫或限制条件解除后, 会出现一种补偿生长现象^[1], 通过对补偿生长现象及其机制的研究, 揭示生物适应

胁迫的生理生态, 可改善养殖技术, 促进养殖业的健康持续发展。水产动物补偿生长研究的种类主要集中在鱼类^[2-5], 目前对贝类的研究还较少, 并主要研究饥饿和再投喂对幼虫生长、存活和变态的影响。如 Moran 等^[6]研究了饥饿对牡蛎 *Crassostrea gigas* 幼虫生理恢复的影响, 杨凤等^[7]研究了饥饿后再投喂对青蛤 *Cyclina sinensis* 幼虫生长、存活和变态的

收稿日期: 2009-02-16; 修订日期: 2009-06-08。刘学东编辑

基金项目: 国家科技支撑计划专题(2007BAD29B01-8); 广东省科技计划项目(2008A020100004); 国家“863”计划项目(2006AA10A409); 广东省重大科技兴海(兴渔)项目(A200708C01)

作者简介: 何毛贤(1969—), 男, 四川省西充县人, 研究员, 博士, 从事贝类遗传、育种和养殖研究。E-mail: hmx@scsio.ac.cn

影响, Calow^[8]研究了一种扁卷螺 *Planorbis contortus* 在不同程度的限食后的恢复生长, Zheng 等^[9]研究了饥饿对波部东风螺 *Babylonia formosae habei* 幼虫生长、存活、变态的影响。目前对珍珠贝饥饿补偿生长的研究还没有报道, 本文将采取饥饿处理时间不等、但总持续时间相等的方法研究马氏珠母贝 *Pinctada martensi* Dunker 稚贝的补偿生长现象, 为珍珠贝生物学研究积累资料, 同时为其养殖技术的改进等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验用的马氏珠母贝 *Pinctada martensi* (Dunker) 来自 1 个家系, 该家系于 2006 年 5 月 14 日授精培育, 7 月将贝苗转移到海上进行养殖, 养殖地点为深圳大亚湾大鹏澳海区。

1.2 实验方法

2006 年 9 月 2 日从该家系中随机取贝(壳长 18.08 ± 0.24 mm, 体重 0.54 ± 0.03 g) 进行饥饿分组试验, 共设 5 个组别(S0、S3、S6、S9 和 S12), 其饥饿天数分别为 0、3、6、9 和 12 d, 每一组别设 3 个重复, 每一重复组 150 个贝·笼⁻¹。9 月 3 日开始实验, S0 为对照组, 9 月 3 日将其移到海上养殖, 其他组置于 5 m³ 水体的水泥池中进行饥饿实验, 期间不投喂任何饵料, 每天换取 1/3 的沙过滤海水, 并连续充气; 各组饥饿时间结束时, 统计存活数, 每一重复组装一单层笼, 并将每重复组中贝的数量都调整为 100 个后移到海上进行养殖, 养殖水深 1.5 m。9 月 25 日、10 月 24 日和 11 月 25 日分别对每组 60 个体的壳长和体重进行测量, 每重复组测量 20 个个体, 同时统计各阶段的存活率(9 月 25 日的存活数据丢失); 在 9 月 25 日测量后, 将每重复组中贝的数量调整为 80 个, 继续养殖试验。壳长用游标卡尺测量, 精确到

0.01 mm, 体重用电子天平称量, 精确到 0.01 g。

实验数据采用 SPSS13.0 软件中的单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著法(Least - Significant Difference, LSD), 显著性差异水平为 $P < 0.05$ 。壳长和体重的特定生长率(specific growth rate, SGR)按下列公式计算:

$$SGR = 100 \times (\ln G_1 - \ln G_0) / (t_1 - t_0)$$

G_1 和 G_0 为分别为各测量阶段结束和起始的测定值; t_2 和 t_1 分别为测量阶段结束和起始的日期(按天计算)。

2 结果与分析

饥饿处理结束时, 饥饿组 S3、S6、S9 和 S12 的存活率分别为 98.3%、94.7%、98.3%和 89.9%, S12 组的存活率最低, 并与其他组存在显著差异($P < 0.05$); S6 组的存活率显著低于 S3、S9 组($P < 0.05$)。各组在 3 个测量时期的壳长、体重和存活率见表 1, 壳长和体重的特定生长率见表 2。

在总持续时间 22 d(9 月 25 日测量数据)后, 饥饿处理组的壳长和体重都显著小于对照组($P < 0.05$), 其大小顺序为 $S0 > S3 > S6 > S9 > S12$, 且其壳长和体重特定生长率(SGR)都显著低于对照组($P < 0.05$), 其大小顺序为 $S0 > S3 > S6 > S9 > S12$, 即贝的大小和生长率随饥饿处理时间延长而下降。在饥饿组间, 除 S6 和 S9 组间在 4 个生长指标(壳长和体重、壳长和体重的 SGR)上无显著差异外, 其他组间差异显著($P < 0.05$)。

随着恢复期的延长(10 月 24 日测量数据), 所有饥饿组表现出了补偿生长现象, 其壳长和体重 SGR 都显著高于对照组($P < 0.05$), 但饥饿组间没有明显差异。在此测量阶段, 饥饿组的壳长和体重还没有达到对照组水平, S3 组(39.31 ± 0.30 mm, 4.46 ± 0.15 g)与对照 S0(39.47 ± 0.56 g, 4.60 ± 0.16 g)的大小最接近; S12 组最小(34.32 ± 1.61 mm, 2.84 ± 0.30 g), 并显著小

表 1 5 个组别各阶段的壳长、体重和存活率

Tab. 1 Shell length, total weight and survival rate of the five groups at three measuring dates

测量日期	指标	S0	S3	S6	S9	S12
2006-09-25	壳长/mm	26.98 ± 0.88^a	23.72 ± 0.02^b	22.75 ± 0.22^c	21.95 ± 0.09^c	20.38 ± 0.75^d
	体重/g	1.86 ± 0.12^a	1.28 ± 0.10^b	1.02 ± 0.35^c	0.93 ± 0.06^c	0.72 ± 0.05^d
2006-10-24	壳长/mm	39.47 ± 0.56^a	39.31 ± 0.30^a	37.84 ± 1.14^a	37.39 ± 2.54^a	34.32 ± 1.61^b
	体重/g	4.60 ± 0.16^a	4.46 ± 0.15^a	4.05 ± 0.24^a	3.82 ± 0.57^a	2.84 ± 0.30^b
	存活率/%	99.2 ± 0.7^a	95.4 ± 0.7^b	98.8 ± 1.3^a	98.3 ± 1.4^a	98.4 ± 1.9^a
2006-11-25	壳长/mm	39.64 ± 0.65^a	40.217 ± 1.18^a	39.41 ± 1.08^a	37.31 ± 1.94^a	35.74 ± 2.22^b
	体重/g	6.57 ± 0.46^a	6.83 ± 0.48^a	6.13 ± 0.44^a	5.17 ± 1.02^a	4.64 ± 0.78^b
	存活率/%	96.5 ± 2.1^a	96.5 ± 1.6^a	97.0 ± 0.8^a	94.4 ± 0.8^a	95.2 ± 1.2^a

注: 同一行中的不同上标字母间有显著差异($P < 0.05$)。

表 2 5 个组别在 3 个阶段的壳长和体重的特定生长率
Tab. 2 Specific growth rate of shell length and total weight of the five groups at three measuring periods

测量时段	指标	S0	S3	S6	S9	S12
09-03—09-25	壳长特定生长率	1.828±0.150 ^a	1.235±0.004 ^b	1.043±0.044 ^c	0.882±0.018 ^c	0.541±0.168 ^d
	体重特定生长率	5.633±0.301 ^a	3.962±0.350 ^b	2.914±0.159 ^c	2.486±0.275 ^c	1.322±0.328 ^d
09-25—10-24	壳长特定生长率	1.269±0.142 ^a	1.683±0.023 ^b	1.696±0.100 ^b	1.770±0.225 ^b	1.737±0.061 ^b
	体重特定生长率	3.030±0.291 ^a	4.157±0.333 ^b	4.600±0.290 ^b	4.699±0.526 ^b	4.569±0.152 ^b
10-24—11-25	壳长特定生长率	0.014±0.097 ^a	0.073±0.118 ^a	0.132±0.059 ^a	-0.007±0.104 ^b	0.129±0.111 ^a
	体重特定生长率	1.149±0.335 ^a	1.371±0.254 ^a	1.334±0.284 ^a	0.978±0.180 ^b	1.567±0.260 ^a

注: 同一行中的不同上标字母间有显著差异($P<0.05$)。

于其他组($P<0.05$); 其大小顺序仍为 $S0>S3>S6>S9>S12$ 。在存活率方面, 只有 S3 组与其他组有显著差异($P<0.05$)。

再经过 1 个月的恢复期(11 月 25 日测量数据), 除 S9 组外, 其他饥饿组的 SGR 都高于对照组, 但没有明显差异($P>0.05$)。除 S3 组的壳长($40.22\pm 1.18\text{mm}$)和体重($6.83\pm 0.48\text{g}$)大于对照组($39.64\pm 0.65\text{mm}$, $6.57\pm 0.46\text{g}$)但差异不显著外, 其他饥饿组的大小都未达到对照组水平, 且 S12 组的壳长和体重还显著小于其他组($P<0.05$)。各组的存活率不存在组间差异($P>0.05$)。

3 讨论与结果

动物补偿生长现象广泛存在, 它是动物生长中的一种特殊现象、过程或能力, 但由于种类、胁迫程度的不同, 动物的补偿生长程度也有较大的差异, 根据其生长率和大小的变化, 可将其分为超补偿生长、完全补偿生长和部分补偿生长。在水产动物的鱼类中, 虹鳟 *Salmo gairdneri* 经饥饿 3 周后喂食 3 周体现出超补偿生长的能力^[10], 虹鳟 *Oncorhynchus mykiss* 经饥饿 3 周后喂食表现出完全补偿生长^[11], 而大西洋鳕 *Gudus morhua* 在饥饿 3 周内不引起补偿生长效应, 而在饥饿 8 周后则具有完全补偿生长的能力^[12]; 甲壳类中, 中国对虾 *Penaeus chinensis* 饥饿后再投喂出现完全或部分生长效应^[13], 白氏雪蟹 *Chionoecetes baird* 在饥饿 30、60d 在恢复阶段没有补偿能力^[14], 而相手蟹 *Sesarma curacaoense* 幼体在饥饿状态下具有超补偿生长能力^[15], 在贝类中, Auster 等^[16]认为海湾扇贝 *Argopencten irradians* 个体较小者具有补偿生长能力, 生长快于个体较大者, *Haliotis fulgene* 个体较小者也具有显著的补偿生长^[17]。这些研究表明不同的物种对不同的饥饿程度、个体大小等作出了不同的响应, 其补偿生长能力有很大的差异。

在该研究中, 在恢复生长早期, 饥饿组未出现超常生长, 这可能是因为饥饿处理导致的生长减速或负增长掩盖了补偿生长现象, 也有可能是还处于快速生长前的适应期。而随着恢复期的延长, 马氏珠母贝的稚贝在饥饿 3—12d 后, 都出现了补偿生长现象, 在恢复期内, 表现为完全补偿和部分补偿生长。但随着时间的进一步延长, 生长开始回复到正常水平, 尽管在实验结束时生长率还高于正常水平, 这种现象普遍存在, 即饥饿补偿生长并非一直保持在较高水平, 而是逐渐下降, 经一段时间后恢复至正常水平^[18]。而且饥饿 3d 组的壳长和体重还超过了对照组, 但由于其存活率在处理阶段较低, 这种现象是由于超补偿生长引起的, 还是由于死亡率高而致的养殖密度低造成的, 还需进一步研究确定。在试验阶段, 出现了 2 次非正常低存活事件, 一是在饥饿处理期间, S6 组的存活率要低于 S9 组, 第二个是在 10 月 24 日统计数据中 S3 组的存活率低于 S6、S9 和 S12, 其真正的原因还不清楚。

在本研究中, S9 组的生长率高于 S6 组, S6 组高于 S3 组, 表明补偿生长的强度与饥饿持续时间有关。但动物对饥饿或食物限制有一定的承受范围, 超出一定的程度将对其生理机能造成危害, 不但不能恢复体重或大小, 甚至导致持续性生长阻滞^[19]。珍珠贝稚贝在饥饿组 S12, 其体重和壳长大小明显小于对照组, 也小于其他饥饿组, 而且在饥饿处理期间的死亡率高, 说明该饥饿程度也超出了其承受程度。

10 月 24 日—11 月 25 日测量阶段的特定生长率低于前一阶段, 这主要是由于季节变化的原因, 同时, 一处理组(S9)的壳长 SGR 还出现了负增长, 主要是由于在生长缓慢期贝的鳞片脱落所致。方差分析还表明, 在该阶段, 壳长 SGR 在组内的差异较大, 表明组内个体表现出了对饥饿处理的不同响应, 这种响应差异可能被应用于选择育种研

究中。

本研究对马氏珠母贝稚贝饥饿处理的补偿生长现象进行了初步观察。在今后的工作中对其不同发育阶段(幼虫至成贝)的补偿能力, 以及其生理、代谢

的变化(如生化组分、摄食能力变化), 即其机理进行研究, 将有利于全面了解珍珠贝的补偿生长现象, 从而为将来利用补偿生长原理来进行资源管理和养殖技术改进等提供理论指导。

参考文献

- [1] MIGLAVS L, JOBLING M. Effects of feeding regime on the 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: 974–957.
- [2] MORTENSEN A, DAMSGAARD B. Compensatory growth and weight segregation following light and temperature manipulation of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* and Arctic charr *Salvelinus alpinus* [J]. Aquaculture, 1993, 114: 261–239.
- [3] KANKANEN M, PIRHONEN J. The effect of intermittent feeding on feed intake and compensatory growth of whitefish *Coregonus lavaretus* L [J]. Aquaculture, 2009, 288: 92–97.
- [4] 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.
- [5] 高露娇, 陈立侨, 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.
- [6] MORAN A L, MANAHAN D T. Physiological recovery from prolonged “starvation” in larval of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2004, 306: 17–36.
- [7] 杨凤, 张跃环, 闫喜武, 等. 饥饿和再投喂对青蛤(*Cyclina sinensis*)幼虫生长、存活及变态的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2052–2059.
- [8] CALOW P. On the regulation nature of individual growth: some observations from freshwater snail [J]. J Zool, 1973, 170: 415–428.
- [9] ZHENG H, KE C, ZHOU S, et al. Effects of starvation on larval growth, survival and metamorphosis of Ivory shell *Babylonia formosae habei* Altena et al., 1981 (Neogastropoda: Buccinidae) [J]. Aquaculture, 2005, 243: 357–366.
- [10] DOBSON S H, HOLMES R M. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. J Fish Biol, 1984, 25: 649–656.
- [11] QUINTON J C, BLAKE R W. The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Fish Biol, 1990, 37: 33–41.
- [12] JOBLING M, MELOY O H, STANTOS J D, et al. The compensatory growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history [J]. Aquac International, 1994, 2: 75–90.
- [13] 吴立新, 董双林, 田相利. 中国对虾继饥饿后的补偿生长研究[J]. 生态学报, 2002, 21(3): 452–457.
- [14] PAUL J M, PAUL A J, KIMKER A. Compensatory feeding capacity of 2 brachyuran crabs, tanner and dungeness, after starvation periods like those encountered in pots [J]. Alaska Fish Res Bull, 1989, 35: 1–11.
- [15] ANGER K. Starvation resistance in larvae of a semiterrestrial crab, *Sesarma curacaoense* (Decapoda: Grapsodae) [J]. J Exp Mar Boil Ecol, 1995, 187: 161–174.
- [16] AUSTER P J, STEWART L L. Compensatory growth in the bay scallop *Argopecten irradians*(L.) [J]. J Northw Alt Fish Sci, 1984, 5: 103–104.
- [17] VIANA M T, LOPEZ L M, GARCÍA-ESQUIVEL Z, et al. The use of silage made from fish and abalone viscera as an ingredient in abalone feed [J]. Aquaculture, 1996, 140: 87–98.
- [18] 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.
- [19] WILSON P N, OBSOUM D F. Compensatory growth after undernutrition in mammals and birds [J]. Biol Rev, 1960, 35: 324–363.