

饥饿与再投喂对方斑东风螺生长、基本营养成分及 RNA/DNA 比值的影响

薛明^{1,2}, 柯才焕^{2*}, 王德祥², 魏永杰²

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025;

2. 厦门大学海洋与环境学院, 福建 厦门 361005)

摘要:在(25.8±1.7)℃条件下,测定了方斑东风螺(5.25±0.53)g在不同时间(7、15、25和40d)饥饿处理后再投喂30d过程中的生长参数、基本营养成分及组织RNA/DNA比值的变化。饥饿状态下,螺体水分含量逐渐上升,第15天时显著高于对照组;脂肪与糖原含量均下降,并分别于饥饿15d、25d时显著低于对照组($P<0.05$);而蛋白质含量在不同处理组间无显著性差异($P>0.05$);足肌与肝胰脏中RNA/DNA比值均随饥饿时间延长而逐渐降低。恢复生长后,除饥饿40d组含水量显著高于对照组外($P<0.05$),该组其余营养成分及其它各组相应指标均恢复至或接近对照组;RNA/DNA比值除在饥饿40d组肝胰脏中仍较低外均接近或显著高于对照组。各组幼螺摄食率(FR)均高于或显著高于对照组($P<0.05$),体重增量、食物转化率(FCE)在前3处理组及特殊增长率(SGR)在饥饿7d与25d组均与对照组间无显著差异($P>0.05$),而饥饿15d组的SGR显著高于对照组($P<0.05$);饥饿40d组尽管FR显著提高,但体重增量、FCE及SGR均显著低于对照组($P<0.05$)。结果表明,方斑东风螺幼螺饥饿时主要消耗脂肪与糖原供能,7~25d饥饿后可表现补偿生长效应,且组织RNA/DNA比值可作为预测幼螺营养状态的良好生理指标。

关键词:方斑东风螺;饥饿;补偿生长;营养成分;RNA/DNA比值

中图分类号:Q958.1;S917

文献标识码:A

自然环境中,由于季节更替或栖息生境变化等原因,动物在其生活史中经常会面临周期性食物资源匮乏,甚至处于完全饥饿状态,大多数动物能够发展出一定的生理机制来适应这种生态胁迫环境^[1]。近年来的研究也发现畜禽类动物在饥饿一段时间后再喂食,在恢复生长阶段较普遍地出现了超过正常生长速度的补偿生长现象(compensatory growth),并利用此规律在其饲养中通过改变投喂制度来提高经济效益^[2]。而有关水产动物补偿性生长的研究目前主要见于鱼类与虾蟹类方面,且多数研究表明^[3-13],适当时间的饥饿处理后再投喂既可提高养殖动物生长速度,又不影响其营养品质,有着较好的补偿生长效果。但在软体动物中鲜见有关饥饿补偿效应的报

道。

方斑东风螺(*Babylonia areolata*)隶属软体动物门(Mollusca)、腹足纲(Gastropoda)、新腹足目(Neogastropoda)、蛾螺科(Buccinidae)、东风螺属,分布于中国、日本和东南亚诸国亚热带和热带沿岸浅海海域,是目前养殖得较为成功的海产腹足类之一,关于其生物学特性、人工育苗及营养等方面已有若干研究^[14-16]。笔者在养殖过程中发现该螺饥饿耐受性较强,且禁食3个月左右遇有食物时仍能较好地摄食,但是否存在补偿性生长现象有待研究。本文以方斑东风螺幼螺为材料,研究饥饿不同时间后恢复饱足投喂一段时间对其生长、基本营养成分及组织RNA/DNA比值的影响,为该螺养殖管理和高效经济投饵方案的形成

收稿日期:2009-08-14 修回日期:2009-11-20

资助项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-47);科技部农业科技成果转化(03EFN213500133)

通讯作者:柯才焕, Tel: 0592-2187420, E-mail: chke@xmu.edu.cn

提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于2006年10-12月在厦门大学生态实验场进行,方斑东风螺幼螺取自福建东山下安养殖场,选取同池同批孵化幼体培育而成的个体,先在水泥池中暂养一周,每天投喂冰鲜蓝圆鲈(*Decapterus maruadsi*)肌肉1次,切成块状,每次投喂1h左右,肉眼观察幼螺不再摄食时,收集残饵。然后精选活力好、规格相近的个体[体重:(5.25 ± 0.53)g;壳长:(2.47 ± 0.21)cm]作实验材料,放入玻璃水簇箱(55cm × 45cm × 42cm)中驯化两周,水体为70L,箱底备细沙厚约4cm。

1.2 实验方法

实验设饥饿7、15、25和40d后再投喂30d 4个处理组(分别以S7、S15、S25和S40表示)及相应的对照组,每组均设3个重复,每重复一水簇箱,每箱放入幼螺30只,处理组于实验前停喂1d,对照组持续投喂,各组喂食期间投喂方式与暂养时相同,记录每次每一水簇箱螺的摄食量,并通过饵料溶失率进行校正。实验期间水温为(25.8 ± 1.7)℃,盐度为29.2,pH 7.7,连续充气,溶氧在6.0mg/L以上,每天换水1/3,所用海水为实验前同批贮备,先经沉淀和砂滤处理,并使用过滤棉不间断循环过滤。各处理组饥饿时间结束后恢复饱足喂食,分别测定在饥饿处理开始、结束及恢复生长后每只螺的体重,并分别在饥饿结束和恢复生长结束时各取样1次。每次从各组3个水簇箱中随机选取10只,共30只,相应的对照组同时取样,然后随机从其中取3只螺迅速分离出足肌与肝胰脏组织各0.5g,液氮速冻后-80℃保存待测RNA/DNA比值,其余供营养成分分析用。

1.3 生化成分分析

为消除个体误差和满足样品量需要,每次将各组所取螺随机分成3份,每份9只粉碎后混合取样。水分的测定采用烘箱(96℃)恒温干燥法;粗蛋白的测定采用瑞士Buchi(布奇)公司的K-

314半自动凯式定氮仪依照凯式定氮法测定;粗脂肪的测定:采用索式(无水乙醚)抽提法;糖原测定:采用蒽酮比色法;RNA/DNA比值测定参照Clemmesen^[17],采用荧光分光光度法,DNA标准为小牛胸腺DNA。

1.4 数据计算与统计分析

实验螺的特定生长率(specific growth rate, SGR)、摄食率(feeding rate, FR)和食物转化效率(food conversion efficiency, FCE)分别按下式计算:

$$\text{SGR}(\%/d) = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / t;$$

$$\text{FR}(\%/d) = 100 \times W_c / [t \times (W_2 + W_1) / 2];$$

$$\text{FCE}(\%) = 100 \times (W_2 - W_1) / W_c;$$

式中, W_1 和 W_2 分别为饥饿结束与恢复生长结束时各箱实验螺湿重的平均值(g), W_c 为平均摄食量(g)(干重,通过饵料溶失实验进行校正), t 为实验时间(d)。

数据均以平均值±标准差(mean±SD)表示,用SPSS 13.0统计软件对数据进行处理组与对照组间的 t 检验,并对RNA/DNA比值进行单因素方差分析(ANOVA),当差异达显著性水平时,用Duncan氏多重比较分析处理组内的显著性水平($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 体重变化

饥饿期间及整个实验过程中幼螺无死亡现象。表1所示为实验过程中螺体重的变化。可看出,饥饿7d后螺体重虽下降,但与一直投喂的对照组差异不显著($P > 0.05$),饥饿15d、25d、40d后各组体重则显著低于其相应的正常投喂组($P < 0.05$)。经30d的饱足喂食后,S7、S15、S25组体重相对饥饿前增加百分比分别为34.87%、36.53%、45.26%,而相应的正常摄食对照组体重增加百分比分别为32.20%、39.50%、48.75%,3组的体重增加量与对照组差异均不显著($P > 0.05$)。但幼螺饥饿40d恢复生长后其体重增量百分比为23.75%,远低于正常投喂70d的螺体重平均增加量(60.63%)。

表 1 方斑东风螺在实验期间的体重变化
Tab.1 Changes of body weight in *B. areolata* juveniles during experiment

处理组 groups	饥饿前体重(g) initial weight	饥饿后体重(g) weight after starvation	恢复后体重(g) weight after refed	体重增加量(g) increment of body weight	增幅百分比(%) percentage of increment	
S7	C ₃₇	5.31 ± 0.58	5.44 ± 0.42	7.02 ± 0.50	1.71	32.20
	S ₇₊₃₀	5.19 ± 0.47	4.97 ± 0.40	7.00 ± 0.57	1.82	34.87
S15	C ₄₅	5.24 ± 0.61	6.04 ± 0.48	7.31 ± 0.85	2.07	39.50
	S ₁₅₊₃₀	5.31 ± 0.41	5.00 ± 0.37*	7.25 ± 0.46	1.94	36.53
S25	C ₅₅	5.21 ± 0.45	6.45 ± 0.39	7.75 ± 0.45	2.53	48.75
	S ₂₅₊₃₀	5.17 ± 0.59	4.53 ± 0.44*	7.51 ± 0.49	2.34	45.26
S40	C ₇₀	5.36 ± 0.52	7.17 ± 0.74	8.61 ± 0.66	3.25	60.63
	S ₄₀₊₃₀	5.22 ± 0.35	4.37 ± 0.32*	6.46 ± 0.52*	1.24*	23.75

注: * 表示与对照组有显著性差异 ($P < 0.05$); C_i 表示对照组正常投喂 i 天; S_{j+30} 表示饥饿 j 天后再喂食 30 d, 下同。

Notes: * means significant difference between treatment group and control group ($P < 0.05$); C_i indicate the control group fed for i days; S_{j+30} indicate the group fed for 30 days after being starved for j days, same in the following tables.

2.2 生长参数变化

对照组和饥饿组再投喂后的相关生长指标见表 2。可见各饥饿组恢复生长过程中摄食率 (FR) 均高于同期对照组, 尤其饥饿 25 d、40 d 后再摄食时 FR 显著提高 ($P > 0.05$)。短期饥饿组恢复喂食后特定生长率 (SGR) 高于 (S7) 或显著

(S15) 高于对照组, 但饥饿时间延长时, SGR 则低于 (S25) 或显著 (S40) 低于对照组 ($P < 0.05$)。而食物转化率 (FCE) 也随饥饿时间延长呈先升高后下降的趋势, S7、S15 组恢复后 FCE 略高于对照组, 而 S25、S40 组 FCE 则分别低于、显著低于同期对照组 ($P < 0.05$)。

表 2 实验期间方斑东风螺摄食率、特定生长率及食物转化率的变化
Tab.2 Changes in FR, SGR and FCE of *B. areolata* juveniles during experiment

处理组 groups	摄食率(%/d) FR	特定生长率(%/d) SGR	食物转化率(%) FCE	
S7	C ₃₇	3.64 ± 0.57	0.65 ± 0.04	17.34 ± 1.56
	S ₇₊₃₀	3.95 ± 0.25	0.70 ± 0.02	18.47 ± 1.27
S15	C ₄₅	3.75 ± 0.63	0.66 ± 0.01	18.55 ± 1.55
	S ₁₅₊₃₀	3.98 ± 0.29	0.87 ± 0.02*	19.48 ± 0.98
S25	C ₅₅	4.09 ± 0.77	0.71 ± 0.03	17.65 ± 1.73
	S ₂₅₊₃₀	6.10 ± 0.58*	0.68 ± 0.05	16.49 ± 0.91
S40	C ₇₀	3.92 ± 0.49	0.69 ± 0.04	18.07 ± 1.76
	S ₄₀₊₃₀	8.50 ± 1.04*	0.52 ± 0.06*	9.02 ± 0.85*

2.3 基本营养成分变化

实验过程中幼螺营养成分分析结果如表 3。螺体水分含量随饥饿时间延长而有不同程度的上升, 且饥饿 15 d 后含水量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。S7 组饥饿后螺体蛋白质含量略有增加, 后期各组蛋白质含量均低于对照组, 但无显著性差异 ($P > 0.05$)。螺体脂肪与糖原含量随饥饿时间延长而不断降低, 并分别于饥饿 15 d、25 d 时显

著低于对照组 ($P < 0.05$)。对各饥饿处理组恢复 30 d 的饱足喂食后, 除 S40 组水分含量仍显著高于对照组外, 其它处理组螺体含水量均接近对照组水平 ($P > 0.05$); 蛋白质、脂肪与糖原含量在 S7、S15 和 S25 组恢复生长后均接近或达到对照组水平, 其中蛋白质含量均略高于对照组, 但 S40 组恢复投喂后三大营养组分含量均低于对照组, 尽管无显著性差异。

表 3 方斑东风螺饥饿过程中及恢复生长后基本营养成分变化

Tab.3 Changes in biochemical composition in *B. areolata* juveniles during food deprivation and refed period

处理组 groups		水分(%) moisture	蛋白质(%) DW	脂肪(%) DW	糖原(%) DW
S7	饥饿后 C ₇	72.64 ± 3.36	65.79 ± 1.79	11.67 ± 1.21	9.26 ± 0.78
	after starved S ₇	72.88 ± 2.94	66.07 ± 1.85	11.31 ± 1.44	8.81 ± 0.69
	恢复后 C ₃₇	72.36 ± 3.65	66.45 ± 0.88	11.87 ± 1.06	9.74 ± 0.94
	after refed S ₇₊₃₀	71.61 ± 1.79	67.11 ± 1.92	11.92 ± 1.33	9.93 ± 0.66
S15	饥饿后 C ₁₅	72.49 ± 2.57	66.08 ± 2.05	11.62 ± 1.78	9.35 ± 1.06
	after starved S ₁₅	74.60 ± 4.06 *	65.81 ± 1.58	9.89 ± 1.25 *	8.69 ± 0.73
	恢复后 C ₄₅	72.18 ± 3.28	66.57 ± 1.21	11.93 ± 1.50	9.95 ± 1.10
	after refed S ₁₅₊₃₀	72.79 ± 1.96	67.06 ± 1.60	11.77 ± 1.48	9.87 ± 1.27
S25	饥饿后 C ₂₅	72.29 ± 2.17	66.34 ± 1.73	11.90 ± 0.89	9.81 ± 0.88
	after starved S ₂₅	75.43 ± 3.65 *	64.94 ± 1.62	9.51 ± 0.94 *	7.07 ± 0.56 *
	恢复后 C ₅₅	71.76 ± 1.26	66.29 ± 1.05	12.18 ± 1.35	9.79 ± 0.67
	after refed S ₂₅₊₃₀	71.90 ± 1.74	66.73 ± 0.94	12.29 ± 1.29	9.05 ± 0.89
S40	饥饿后 C ₄₀	72.56 ± 3.24	65.78 ± 1.45	11.66 ± 1.46	9.87 ± 1.31
	after starved S ₄₀	78.43 ± 4.35 *	64.23 ± 0.86	9.16 ± 1.08 *	7.03 ± 0.85 *
	恢复后 C ₇₀	71.79 ± 2.61	66.91 ± 1.55	12.43 ± 0.75	9.67 ± 1.26
	after refed S ₄₀₊₃₀	74.89 ± 3.10 *	65.42 ± 1.77	11.76 ± 0.98	8.82 ± 0.80

2.4 组织中 RNA/DNA 比值的变化

随饥饿时间延长 RNA/DNA 比值逐渐降低, 其中 S7 组较持续投喂的对照组略有下降, 而 S15、S25 和 S40 组则呈显著性下降 ($P < 0.05$) (图 1); 恢复生长 30 d 后, 前 3 个饥饿处理组

RNA/DNA 比值较饥饿结束时均显著增加, 其中 S7 和 S25 组也显著性高于对照组 ($P < 0.05$), 而 S40 组再投喂后 RNA/DNA 比值虽有所上升, 但仍低于相应的对照组, 与饥饿结束时及对照组间均无显著差异 ($P > 0.05$)。

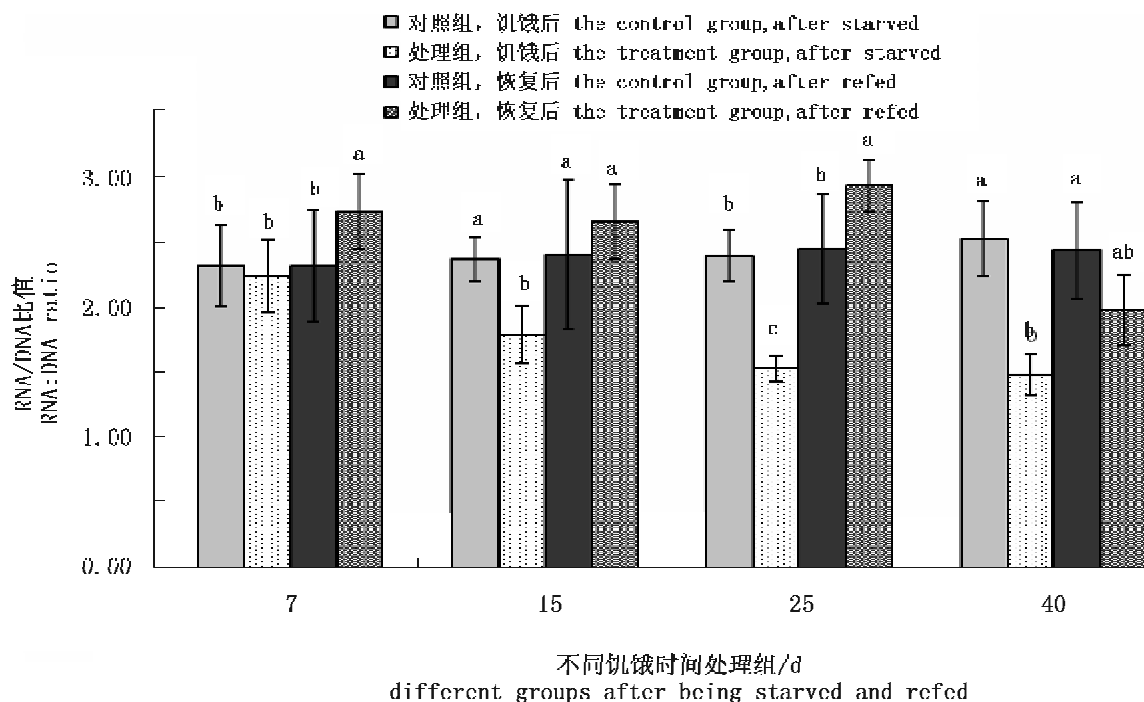


图 1 方斑东风螺饥饿过程中与恢复生长后足肌的 RNA/DNA 比值变化
同一处理组的柱上不同字母者表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Fig.1 Changes in ratio of RNA/DNA in foot muscle of *B. areolata* juveniles during food deprivation and refed period

The columns in the same treatment with different letters indicate significant differences ($P < 0.05$), same in the following figure.

幼螺肝胰脏中 RNA/DNA 比值在不同饥饿时间处理组均显著性下降(图 2),再投喂后,S7、S15 和 S25 组 RNA/DNA 比值均显著高于饥饿结

束时,其中前二组也显著高于对照组($P < 0.05$),而 S40 组恢复生长后 RNA/DNA 比值仍显著低于对照组,与饥饿结束时无显著差异($P > 0.05$)。

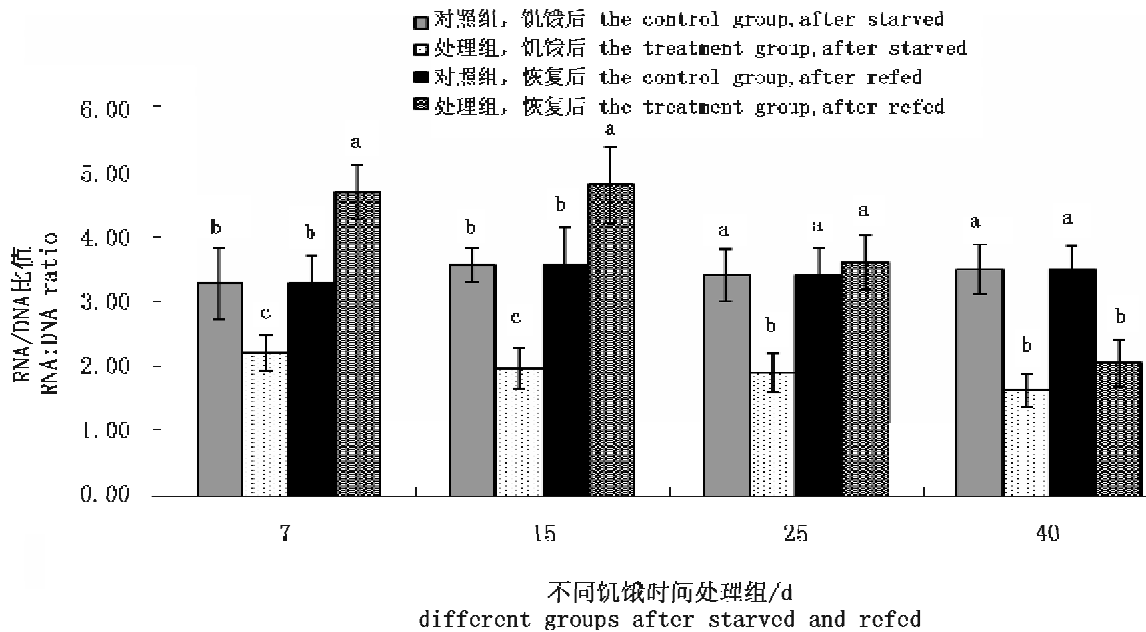


图 2 方斑东风螺饥饿过程中与恢复生长后肝胰脏的 RNA/DNA 比值变化
Fig. 2 Changes in ratio of RNA/DNA in hepatopancreas of *B. areolata* juveniles during food deprivation and refed period

3 讨论

3.1 饥饿对方斑东风螺基本营养组成的影响

饥饿状态下,动物体通过动用自身贮存物质以维持基本生理活动,多数动物主要消耗脂肪与糖原供能^[4-10],也有少数种类主要消耗蛋白质^[12, 18],而随着能源物质不断被消耗,机体内水分含量逐渐上升^[1]。本研究发现饥饿 7 d 时螺体水分及三大营养组分含量与对照组相比变化均不明显,说明 7 d 的禁食对螺体没有实质性的胁迫效应;但继续饥饿时,螺体脂肪与糖原含量损失较大,其中饥饿 15 d 时脂肪损失率为 14.89%,25 d、40 d 时损失率达到 20.08% 与 21.44%,糖原含量饥饿 15 d 时损失较小(7.06%),但饥饿至 25 d 与 40 d 时损失率达 27.93% 与 28.77%,而同期蛋白质含量变化较小,至饥饿 40 d 时最大损失为 2.36%,与对照组无显著差异。说明幼螺在饥饿时先主要消耗脂肪供能,随着饥饿时间的延长,糖原同样被动用,而蛋白质作为结构性物质被相对保留。恢复生长后,螺体三大营养成分含量都接

近对照组水平,这与较多研究结果相一致^[7-11],也表明在幼螺养成期适当的应用补偿生长将不会影响螺体的品质。但饥饿 40 d 组水分恢复得慢,仍显著高于对照组,可能因该组饥饿时间较长,即使摄食较多,但脂肪和糖原的积累较慢,所以 40 d 的禁食胁迫对幼螺可能造成了一定的损伤,亦或 30 d 的恢复生长时间太短,螺体还未能恢复到正常生理状态。

3.2 方斑东风螺的补偿生长效应及其机制

目前研究一般根据补偿量的大小将鱼类等动物的补偿生长分为 4 类^[1, 13]:超补偿生长、完全补偿生长、部分补偿生长与不能补偿生长。而判断补偿生长的有无及程度主要由恢复生长期间的生长率和恢复生长后的体重与在相同时间内持续饱喂的对照组进行比较而定^[7]。本研究发现 S7 组幼螺恢复喂食后体重增幅、SGR 均高于持续摄食组,表现超补偿生长能力;S15 和 S25 组恢复生长后体重增幅虽略低于对照组,但无显著性差异,SGR 也分别高于或接近对照组水平,因此表现出完全补偿生长现象;而 S40 组 FR 虽显著高于对

对照组,但其 SGR 及体重增幅却显著低于对照组,可能因饥饿胁迫时间较长,脂肪与糖原被大量动用提供能量,所以 S40 组不具备补偿生长能力。

从恢复生长期的 SGR 与 FCE 来看,多数研究报告表现补偿生长的动物在刚开始恢复投喂阶段均高于或显著高于持续摄食的对照组,如 Reimers 等^[5]报道大西洋鲑(*Atlantic salmon*)饥饿 2 个月恢复生长时 FCE 明显高于持续给食的对照组。但这种升高的状态并非一直保持下去,而是逐渐下降,经一定时间后回复至正常水平。Kim 等^[3]对 2 龄斑点叉尾鲴(*Ictalurus punctatus*)分别饥饿 3、6、9 周后恢复喂食至第 18 周,发现各组在恢复生长期间的 SGR 均先升高后下降,逐渐回落到对照组水平。但缪锋等^[19]报道褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)在短期饥饿后(3~8 d)再投喂时 FCE 无明显变化,较长期饥饿后(10~18 d)则低于或显著低于对照组。本实验中也发现随饥饿时间延长,在恢复生长后螺的 SGR 与 FCE 较对照组均呈先升高后降低的趋势,尤其是饥饿时间达 40 d 时两者均显著性低于对照组。因此补偿生长效应的有无及其程度与动物种类、饥饿时间及恢复生长期 SGR、FCE 的升高幅度与持续时间有关。

关于动物补偿生长的生理机制目前尚存争议。代谢滞后假说认为,动物在恢复摄食后仍继续保持饥饿时的较低代谢水平,将更多的能量用于生长,即通过提高 FCE 来实现补偿生长^[5, 9];食欲增强假说认为,补偿生长主要是恢复投喂时动物摄食量增大实现的^[4, 7];也有较多研究认为补偿生长是上述两种因素共同作用的结果^[3, 6, 8, 13]。张波等^[12]报道真鲷(*Pagrosomus major*)在短期饥饿(3~6 d)后恢复生长 2 周期间通过显著提高摄食水平实现补偿生长,而较长期饥饿后(9~15 d)则显著提高 FCE 以达到补偿生长。本实验中 S7、S15 和 S25 组幼螺恢复投喂后 FR 均高于或显著高于对照, S7 和 S15 组的 FCE 也高于对照组, S25 组的 FCE 虽略低于对照组,但无显著性差异。说明幼螺饥饿胁迫后恢复生长中出现的补偿效应是通过提高摄食量与 FCE 同时实现的。

3.3 RNA/DNA 比值的应用

当动物的营养状况较好、外界环境适宜生长时,机体组织中的 RNA 含量增加,蛋白质合成速

度加快,而饥饿或食物不足引起机体细胞 RNA 含量下降,而组织细胞中 DNA 含量是基本恒定的,且 DNA 含量对环境条件的改变不敏感,因此 RNA/DNA 比值被广泛用于评价水生动物的生长和营养状况^[20-21]。Clemmesen^[17]报道 RNA/DNA 比值在鲱(*Clupea harengus*)饥饿与饱食状态显著不同,且随鲱幼体年龄和体长的增加而增加;司亚东^[22]研究认为,鲤(*Cyprinus carpio*)白肌中的 RNA/DNA 比值在饥饿与饱食状态显著不同,且与鱼体的增重成正相关,因此可以 RNA/DNA 比值推断鱼幼体的营养以及是否处于饥饿状态。

本研究表明,饥饿 7 d 时,幼螺肝脏中 RNA/DNA 比值较对照组显著降低,而足肌中 RNA/DNA 比值无明显变化,可能是饥饿早期螺肠道中尚有少量残存的外源性食物,足肌中合成代谢未受影响,表现为螺体蛋白质含量也略有增加;后期各组两组织中 RNA/DNA 比值均显著下降,而螺体蛋白质含量也较对照组下降。恢复投喂后, S7、S15 和 S25 组 RNA/DNA 比值较对照组上升或显著性上升,而螺体蛋白质含量也高于相应的对照组,说明短期饥饿处理恢复投喂后,幼螺的生长环境得到改善,其生长状况良好,故 RNA/DNA 比值回升较快,这在其它研究中有相似报道^[8, 10]。Quinton 等^[11]推测鱼类补偿生长的成因可能是饥饿后再投喂,蛋白分解率仍保持较低水平,而蛋白合成率则迅速恢复正常水平,使蛋白沉积量明显增加,从而体重增长加快。本实验中幼螺饥饿 7~25 d 表现出补偿生长效应从蛋白质含量与 RNA/DNA 比值的协同变化角度分析与 Quinton 等^[11]的推论较符合。但禁食 40 d 后再投喂时 RNA/DNA 比值均低于对照组,蛋白质含量降幅相对也较大,尽管幼螺饥饿主要消耗脂肪与糖原,但肌肉蛋白质也一定程度地被动用,所以禁食时间太长对机体影响较大,这种 RNA/DNA 比值与蛋白质含量的密切相关性说明该比值可作为一种反映幼螺营养状态的指标。

参考文献:

- [1] 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] Mersmann H J. Compensatory growth in finishing pigs after feed restriction [J]. J Anim Sci, 1987,

- 64: 752 - 764.
- [3] Kim M K, Lovell R T. Effects 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.
- [4] 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*, 2001, 21(3): 452 - 457.
- [5] Reimers E, Kjørrefjord A G, Stavostrand S M. Compensatory growth and reduced maturation in second winter farmed Atlantic salmon following starvation in February and March[J]. *J Fish Biol*, 1993, 43(5): 805 - 810.
- [6] Luquet P, Oteme Z J, Cisse A. Evidence for compensatory growth and its utility in the culture of *Heterobranchius longfilis* [J]. *Aquat Living Resour*, 1995, 8: 389 - 394.
- [7] 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.
- [8] 王军霞,李志华,谢松. 饥饿补偿对日本沼虾生长及生化组成的影响[J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 2005, 25(6): 644 - 649.
- [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] 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.
- [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]. *J Fish Biol*, 1990, 37: 33 - 41.
- [12] 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.
- [13] 林小涛,周小壮,于赫男,等. 饥饿对南美白对虾生化组成及补偿生长的影响[J]. *水产学报*, 2004, 28(1): 47 - 53.
- [14] 吴善. 方斑东风螺的产卵及幼贝培育[J]. *中国水产*, 2000, 1: 40 - 41.
- [15] 罗杰,杜涛,梁飞龙,等. 方斑东风螺养殖方式的初步研究[J]. *海洋科学*, 2004, 28(7): 39 - 43.
- [16] 许贻斌,柯才焕,王德祥,等. 方斑东风螺对饲料蛋白质需要量的研究[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2006, 45: 216 - 220.
- [17] Clemmesen C. The effect of food availability age or size on the RNA/DNA ratio of individually measured herring larvae: Laboratory Calibration [J]. *Mar Biol(Berl)*, 1994, 118(3): 377 - 382.
- [18] Maddock D M, Burton M P M. Some effects of starvation on the lipid and skeletal muscles layers of the winter flounder, *Pleuronectes americanus* [J]. *Can J Zool*, 1994, 72: 1672 - 1679.
- [19] 缪锋,朱鑫华. 饥饿时间对褐牙鲆补充群体生长特征的影响[J]. *海洋科学集刊*, 2002, 44: 187 - 192.
- [20] Buckley L, Caldarone E, Ong T L. RNA-DNA ratio and other nucleic acid-based indicators for growth and condition of marine fishes [J]. *Hydrobiologia*, 1999, 401: 265 - 277.
- [21] Clemmesen C. Improvements in the fluorimetric determination of the RNA and DNA content in individual marine fish larvae [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1993, 100: 177 - 183.
- [22] 司亚东. 鲤鱼白肌中的 RNA/DNA 值与其生长的关系[J]. *上海水产大学学报*, 1992, 1(3-4): 59 - 167.

Effects of starvation and recovery on growth, proximate composition and RNA/DNA ratio in juvenile spotted ivory shell (*Babylonia areolata*)

XUE Ming^{1,2}, KE Cai-huan^{2*}, WANG De-xiang², WEI Yong-jie²

(1. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China;

2. College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: To investigate the compensatory growth responses of the scavenging gastropod *Babylonia areolata*, a refeeding after starvation study was performed at $(25.8 \pm 1.7) ^\circ\text{C}$. Juvenile spotted ivory shells weighing a mean of 5.25 g were starved for 7 (S7), 15 (S15), 25 (S25), and 40 (S40) days, respectively, and then fed to satiation once a day during the 30 days refed period. The four corresponding control groups were fed to satiation during the experiment. Three tanks each containing 30 snails made up a group. The results indicated that the water contents of the whole soft body increased gradually during starvation, and was significantly higher than that of the control when the snails were fasted for 15 days ($P < 0.05$). The lipid and glycogen contents were significantly lower than those of the controls when food were prohibited for 15 days and 25 days respectively ($P < 0.05$), while there were no significant differences in protein contents ($P > 0.05$). The ratios of RNA/DNA in foot muscle and hepatopancreas of the snails both decreased gradually during the fasting period. After 30 days recovery growth, except for the water content in the S40 group, which was significantly higher than that of the control ($P < 0.05$), there were no significant differences in other biochemical composition between refed and control groups ($P > 0.05$). The ratios of RNA/DNA were near or markedly higher than that of the control except in hepatopancreas of the S40 group which was lower than that of the control ($P < 0.05$). The feeding rate (FR) during refed period was higher (for S7, S15) or significantly higher (for S25, S40) than that of the controls which were fed throughout the experiment, there were no significant differences in food conversion efficiency (FCE) and increments of body weight between the S7, S15, S25 groups and their controls respectively, as well as no significant differences were found between the S7, S25 groups and the controls respectively as to specific growth rate (SGR) ($P > 0.05$), while the SGR was markedly higher than that of the control in the S15 group ($P < 0.05$). Whereas there were significant decreases in the FCE, SGR and increment of body weight for the S40 group, although the FR of this group was greatly increased compared to the control ($P < 0.05$). In conclusion, the snails could utilize lipid and glycogen first as energy resource when being deprived of food, and there is complete compensatory growth in snails as the starvation period was no more than 25 days. The results of the present study indicate that prolonging the feeding intervals properly can facilitate the culture manipulation and spare food under the premise of not affecting the growth rate of the snails, and the RNA/DNA ratios in the two tissues are a valid indicator of nutritional condition in spotted babylon juveniles.

Key words: *Babylonia areolata*; starvation; compensatory growth; proximate composition; RNA/DNA ratio

Corresponding author: KE Cai-huan. E-mail: chke@xmu.edu.cn