

# 饥饿对方斑东风螺幼螺生化组成和消化酶活力的影响

薛明<sup>1,2</sup>, 柯才焕<sup>1</sup>, 魏永杰<sup>1</sup>

(1. 厦门大学海洋学系, 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门 361005; 2. 广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524025)

**摘要:** 通过室内试验测定方斑东风螺 *Babylonia areolata* 在饥饿 120d 过程中体内生化组成、能值及消化系统主要消化酶活力的连续变化。结果表明, 随着饥饿时间延长, 螺体的水分与灰分含量逐渐上升, 而蛋白质、脂肪及糖原含量和能值均呈下降趋势。胃、肠道与肝胰脏中脂肪酶总活力在饥饿 10d 时较对照组略有上升, 随后呈下降趋势; 淀粉酶总活力和蛋白酶总活力均随饥饿时间延长而降低。饥饿 70d 时, 脂肪酶、淀粉酶、蛋白酶分别降为对照的 70.12%、63.66%、42.79%, 脂肪酶与淀粉酶总活力在 70—90d 时迅速下降; 各酶活力在 90—120d 均降至较低的水平。结果进一步显示, 幼螺在饥饿前期主要消耗脂肪与糖原供能, 70d 后加大对贮备蛋白质的动用, 而后期 (90—120d) 则以利用蛋白质为主; 各消化酶活性在饥饿 90d 前快速下降, 之后呈恒定状态。饥饿时螺体含水量可作为预测其营养状态的指标。

**关键词:** 方斑东风螺 *Babylonia areolata*; 饥饿; 生化组成; 能值; 消化酶活力

中图分类号: P735.4 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)03-0120-06

## Effects of starvation on biochemical compositions and digestive enzyme activities of spotted babylon, *Babylonia areolata* juveniles

XUE Ming<sup>1,2</sup>, KE Cai-huan<sup>1</sup>, WEI Yong-jie<sup>1</sup>

(1. Department of Oceanography, State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Fisheries College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

**Abstract:** An experiment was conducted to determine the effects of starvation on biochemical compositions, energy values and activities of protease, lipase and amylase of the digestive system of *Babylonia areolata* juveniles during a period of 120 days. The results indicated that water and ash contents in the whole soft body increased gradually, while the contents of protein, lipid and glycogen, as well as the energy values, decreased greatly during starvation. The total lipase activity obtained from stomach, intestine and hepatopancreas was higher than that from the control when the snails were deprived for 10 days; it decreased markedly during starvation, and the total activities of amylase and protease reduced gradually with prolonged starvation period. The relative activity percentages were 70.12% and 63.66% for lipase and amylase when compared to the control after being starved for 70 days, whereas the responding value was 42.79% for protease. The activities of lipase and amylase showed a marked decrease from the 70<sup>th</sup> to the 90<sup>th</sup> day; they remained stable relatively thereafter. In conclusion, the lipid and glycogen contents were mobilized greatly during early growth period, while the protein was metabolized when the snails were starved longer than 70 days and served as the predominant energy source 90 days later. The total digestive enzyme activities of all three kinds maintained at lower level from the 90<sup>th</sup> to 120<sup>th</sup> day after a rapid decrease, and the water content could be used as an effective marker to estimate the nutrient status of the snails during starvation period.

**Key words:** *Babylonia areolata*; starvation; biochemical compositions; energy value; digestive enzyme activities

收稿日期: 2009-07-31; 修订日期: 2009-11-29。蔡卓平编辑

基金项目: 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)

作者简介: 薛明(1975—), 女, 安徽省桐城市人, 讲师, 硕士, 主要从事海洋无脊椎动物学研究。

通信作者: 柯才焕。E-mail: chke@xmu.edu.cn

自然水域生境中, 由于食物空间分布的不均匀性及出现时间的季节更替, 水生动物在其生活中遭遇饥饿的现象非常普遍。饥饿会影响动物的生理代谢活性及内源性能量贮存物质的消耗<sup>[1]</sup>。在逆境胁迫下, 动物体内的有关酶活性会发生相应的变化以适应胁迫。迄今关于饥饿对鱼类和甲壳类生化组成与消化酶活性影响的研究较多<sup>[2-9]</sup>, 但饥饿对软体动物影响的相关研究较少<sup>[10-13]</sup>。饥饿对软体动物有关消化酶活力变化的研究更是鲜见, 仅有关于两种蛤仔 *Ruditapes decussates* 和 *Venerupis pullastra* 在饥饿 15d 后蛋白酶、淀粉酶等消化酶活性变化的研究<sup>[14]</sup>。

方斑东风螺 *Babylonia areolata* 隶属软体动物门 (Mollusca), 腹足纲 (Gastropoda), 前鳃亚纲 (Prosobranchia), 新腹足目 (Neogastropoda), 蛾螺科 (Buccinidae), 东风螺属, 广泛分布于中国、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。关于方斑东风螺的幼体生物学、人工育苗及营养等方面已有若干研究<sup>[15-17]</sup>。本试验以方斑东风螺幼螺为材料, 探讨长期饥饿对螺体生化组成、能值及消化器官中主要消化酶活力的影响, 为研究方斑东风螺在饥饿胁迫下的生理生化适应对策以及改善其养殖生产管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2006 年 6—10 月在厦门大学生态试验场进行。方斑东风螺幼螺来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 1 周, 每天投喂块状冰鲜蓝圆鲂 *Decapterus maruadsi*, 然后精选活力好、大小均匀的个体, 个体质量为  $(5.63 \pm 0.71)\text{g}$ , 壳长为  $(2.69 \pm 0.34)\text{cm}$ 。幼螺放置于玻璃水族箱 ( $55\text{cm} \times 45\text{cm} \times 42\text{cm}$ ) 中驯化 2 周, 水体积为 70L, 每箱放入 60 只, 共 10 箱; 箱底备细沙厚约 4cm, 24h 连续充气, 每天换水 1/3; 试验期间水温为  $(28.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ , 盐度为 29.2, 溶氧为  $(6.5 \pm 1.0)\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 所用海水为试验前同批贮备, 先经沉淀和沙滤处理, 使用过滤棉不间断循环过滤; 每隔 30d 将细沙取出进行冲洗、晒干, 重新换上干净细沙。分别于试验起始及饥饿 10、30、50、70、90 和 120d 从各水族箱中随机取出 4 只螺, 共 40 只, 测量壳长与称重; 随机选取 10 只供酶活力分析, 其余作生化成分分析。

### 1.2 酶活力测定

取样后立即在冰块中解剖取出螺体消化系统的胃、肠道及部分肝胰脏样品, 双蒸水冲洗后用滤纸吸干; 将组织样品各自混合后分成 3 份, 称重, 然后按样品量分别加入相应倍数的冰冻去离子水; 低温下 ( $0-4^\circ\text{C}$ ) 使用玻璃匀浆器制成匀浆, 在  $12\,000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  转速下冷冻离心 30min, 取上清液于  $-20^\circ\text{C}$  下保存, 24h 内测完。测定脂肪酶活力时, 样品不需离心处理。

酶活力测定方法参考朱俭等<sup>[18]</sup>。蛋白酶活力测定采用福林-酚法, 用 0.5% 酪蛋白溶液作为反应底物, 以 37℃ 下每分钟水解酪蛋白生成  $1\mu\text{g}$  酪氨酸作为 1 个酶活力单位  $\text{U}(\mu\text{g} \cdot \text{min}^{-1})$ , 其中缓冲液的 pH 值在胃中为 2.4, 在肠道与肝胰脏中为 7.5。脂肪酶活力测定采用稀 NaOH 溶液滴定测量反应产物中脂肪酸的酸价法, 用聚乙烯醇橄榄油乳液为底物, 以每分钟水解脂肪生成  $1\mu\text{g}$  分子脂肪酸为 1 个脂肪酶活力单位  $\text{U}(\mu\text{g} \cdot \text{min}^{-1})$ 。淀粉酶活力测定采用 3, 5-二硝基水杨酸显色法, 用 1% 可溶性淀粉溶液为底物, 以每分钟催化淀粉生成  $1\mu\text{g}$  麦芽糖作为 1 个酶活力单位  $\text{U}(\mu\text{g} \cdot \text{min}^{-1})$ 。

### 1.3 酶液蛋白浓度测定

以牛血清白蛋白作标准, 酶液蛋白浓度用福林酚法测定。各酶活性以比活力表示, 即酶液中每 mg 蛋白具有的酶活力单位 ( $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$  蛋白)。

### 1.4 生化组成分析

为消除单只螺测定误差与样品量需要, 将每次所取的螺分 3 份。水分测定采用烘箱  $96^\circ\text{C}$  恒温干燥法; 粗蛋白测定采用瑞士 Buchi 仪器公司的 K-314 半自动凯氏定氮仪; 粗脂肪测定采用氯仿: 甲醇:  $\text{H}_2\text{O}$  (2:2:1) 法; 总糖测定采用蒽酮比色法; 粗灰分测定采用马福炉  $550^\circ\text{C}$  灰化法; 能值测定采用美国 Parr 仪器公司的氧弹式热量仪。

### 1.5 数据统计

数据均以平均值  $\pm$  标准差或平均值的形式给出; 用 SPSS 13.0 统计软件进行数据的单因素方差分析 (ANOVA) 与相关性分析; 当差异达显著性水平时; 用 Duncan's 多重比较分析不同处理间的显著性水平 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果

### 2.1 幼螺生化组成与能值变化

方斑东风螺幼螺的饥饿耐受性较强, 在食物缺乏 120d 后仍存活较好, 无死亡个体出现。饥饿过程

中螺体的各营养成分含量变化见表 1, 其中幼螺的含水量(72.34%—82.19%)与灰分含量(11.13%—23.97%)随饥饿时间延长而上升, 并于饥饿 50、70d 时显著性高于对照组。螺体粗蛋白含量在饥饿 30d 时较起始组略有上升, 30—120d 呈下降趋势, 但饥

饿 90d 前各期差异不显著, 第 120d 时则显著低于对照组及饥饿前期 ( $P<0.05$ )。总糖与粗脂肪含量随饥饿时间延长而下降, 并分别于饥饿 50、70d 时显著性低于对照组( $P<0.05$ ), 其中总糖含量在第 120d 时有一定程度的回升。

表 1 饥饿状态下方斑东风螺的营养成分变化

Tab. 1 Changes of biochemical compositions of *B. areolata* juveniles during starvation period

时间/d	水分/%	粗蛋白/%	粗脂肪/%	总糖/%	灰分/%
0*	72.34 ± 4.43 c	66.34 ± 1.82 a	12.89 ± 2.11 a	9.03 ± 0.90 a	11.13 ± 0.88 d
10	72.93 ± 2.25 c	65.96 ± 1.52 a	12.04 ± 2.13 a	8.49 ± 0.88 ab	12.28 ± 1.85 d
30	73.38 ± 2.89 c	66.75 ± 2.13 a	11.25 ± 2.06 a	8.07 ± 1.13 ab	12.89 ± 1.40 d
50	74.72 ± 4.16 b	66.09 ± 1.68 a	10.47 ± 2.01 ab	6.86 ± 0.81 bc	14.78 ± 2.29 cd
70	77.12 ± 2.17 b	65.84 ± 1.30 a	9.31 ± 1.97 b	6.01 ± 1.24 c	16.93 ± 2.23 c
90	80.05 ± 1.74 a	64.75 ± 1.39 a	8.67 ± 1.65 b	5.91 ± 1.65 c	20.09 ± 1.99 b
120	82.19 ± 4.54 a	59.92 ± 1.37 b	8.63 ± 1.72 b	6.34 ± 1.37 b	23.97 ± 1.24 a

0\*为起始对照组; 同一列数据后具不同字母者表示差异显著( $P<0.05$ )

在饥饿过程中, 螺体能值含量也随饥饿时间延长而下降(图 1), 但饥饿各期间软体部每克干质量的能值无显著性差异( $P>0.05$ ), 而每克湿质量能值在饥饿 70d 时显著性降低( $P<0.05$ ), 至 120d 时降为对照组的 53.86%。

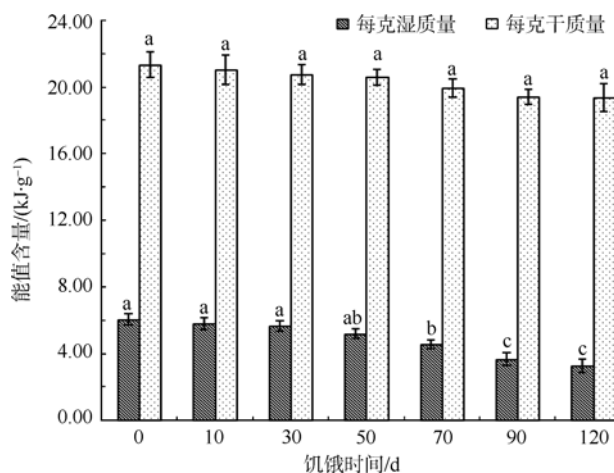


图 1 方斑东风螺饥饿状态下软体部每克湿质量与每克干质量能量含量的变化

同一单位的柱间不同字母者表示差异显著( $P<0.05$ )

Fig. 1 Changes of energy content per gram wet and dry weight of soft body of *B. areolata* juveniles during starvation period

图 2 所示为螺体饥饿不同时间处理组营养成分含量相对起始组的百分比变化。灰分与水分含量相对百分比上升幅度较大, 试验结束时分别为摄食状态的 113.62%、138.67%。3 大能源物质相对百分比均呈下降趋势, 其中蛋白质的相对百分比在饥饿 70d 前降幅较缓(2.69%—17.90%), 70—120d 时下降

较快(17.90%—41.84%); 而脂肪与糖原含量的相对百分比自饥饿开始即迅速下降, 至 90d 时降幅分别为 51.49%、52.78%, 第 90—120d 时两者下降幅度均较小, 其中脂肪相对百分比从 51.49%降为 56.89%, 糖原相对百分比从 52.78%降为 54.77%。

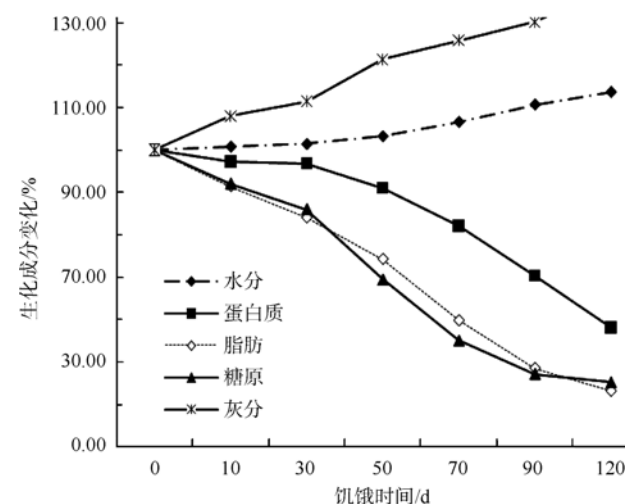


图 2 方斑东风螺饥饿状态下生化成分相对起始百分比变化

Fig. 2 Changes of percentage of biochemical compositions to the initial values of *B. areolata* juveniles during starvation period

## 2.2 幼螺含水量与 3 大营养组分及能值相关性分析

分析螺体含水量与其他营养成分及能值的相关性发现, 含水量除了与灰分含量的相关性不显著外, 与 3 大营养组分及能值均存在显著的线性负相关( $P<0.01$ )。蛋白质含量与含水量的回归方程为:  $Y_P = -0.6999X_W + 0.6887$  ( $R^2 = 0.9730$ ,  $P<0.01$ ); 脂肪含量

与含水量的回归方程为： $Y_F = -0.1444X_W + 0.1355$  ( $R^2 = 0.6938, P < 0.01$ ); 糖原含量与含水量的回归方程为： $Y_S = -0.1177X_W + 0.1072$  ( $R^2 = 0.7698, P < 0.01$ ); 能值与含水量的回归方程为： $Q = -18.736X_W + 19.149$  ( $R^2 = 0.6356, P < 0.01$ ), 式中  $X_W$ 、 $Y_P$ 、 $Y_F$ 、 $Y_S$  和  $Q$  分别表示软体部每克湿质量的水分、蛋白质、脂肪、糖原含量和能值。

2.3 幼螺消化酶活性变化

幼螺胃、肠道、肝胰脏的主要消化酶活力在食物缺乏过程中的变化如表 2 所示, 摄食状态时肝胰脏中各酶活力均高于胃、肠道组织。胃蛋白酶与肠

蛋白酶活力在饥饿早期(10d 时)有所增强, 30d 后则迅速下降, 肝胰脏蛋白酶活力随饥饿时间的延长而下降, 但 3 种组织蛋白酶活力在饥饿 90—120d 期间均稳定在较低的水平上。胃脂肪酶活力在饥饿过程中始终下降, 肠道与肝胰脏脂肪酶活力在饥饿 10d 时明显增强, 而随着继续饥饿各组织脂肪酶活力均较快下降, 第 90—120d 时酶活力则维持在较低的状态。淀粉酶活力在 3 种组织中总体上均呈下降趋势, 但饥饿第 30、50d 时在胃与肠道、肝胰脏组织中稍有回升, 后期(90—120d)各组织中酶活力也相对稳定。

表 2 饥饿状态下方斑东风螺消化器官中主要消化酶的活力(U·mg<sup>-1</sup>蛋白)变化  
Tab. 2 Changes of the main digestive enzyme activities (U·mg<sup>-1</sup> Protein) in digestive organs of *B. areolata* juveniles during starvation period

组织酶类	0d	10d	30d	50d	70d	90d	120d
胃蛋白酶	0.63 ± 0.09	0.81 ± 0.05	0.35 ± 0.03	0.32 ± 0.03	0.32 ± 0.08	0.20 ± 0.02	0.17 ± 0.02
肠蛋白酶	0.38 ± 0.05	0.43 ± 0.08	0.25 ± 0.04	0.26 ± 0.06	0.20 ± 0.03	0.12 ± 0.03	0.11 ± 0.01
肝蛋白酶	1.79 ± 0.43	1.52 ± 0.58	1.15 ± 0.37	0.73 ± 0.22	0.68 ± 0.08	0.57 ± 0.11	0.58 ± 0.09
胃脂肪酶	0.56 ± 0.20	0.50 ± 0.13	0.45 ± 0.10	0.43 ± 0.09	0.33 ± 0.10	0.14 ± 0.08	0.13 ± 0.05
肠脂肪酶	0.77 ± 0.20	0.85 ± 0.23	0.73 ± 0.20	0.59 ± 0.17	0.47 ± 0.11	0.21 ± 0.08	0.19 ± 0.06
肝脂肪酶	1.16 ± 0.32	1.23 ± 0.22	1.15 ± 0.17	1.11 ± 0.11	0.94 ± 0.11	0.27 ± 0.09	0.22 ± 0.04
胃淀粉酶	0.63 ± 0.23	0.47 ± 0.19	0.54 ± 0.09	0.42 ± 0.11	0.42 ± 0.07	0.13 ± 0.03	0.10 ± 0.03
肠淀粉酶	0.47 ± 0.24	0.33 ± 0.34	0.23 ± 0.22	0.27 ± 0.18	0.27 ± 0.10	0.15 ± 0.08	0.12 ± 0.06
肝淀粉酶	0.84 ± 0.13	0.65 ± 0.20	0.55 ± 0.12	0.57 ± 0.12	0.54 ± 0.08	0.22 ± 0.06	0.25 ± 0.03

因幼螺各消化酶比活力在胃、肠、肝中差异较大, 为估计幼螺消化系统中各酶总活性变化, 将 3 类器官相应酶活力相加(图 3), 结果发现蛋白酶总活

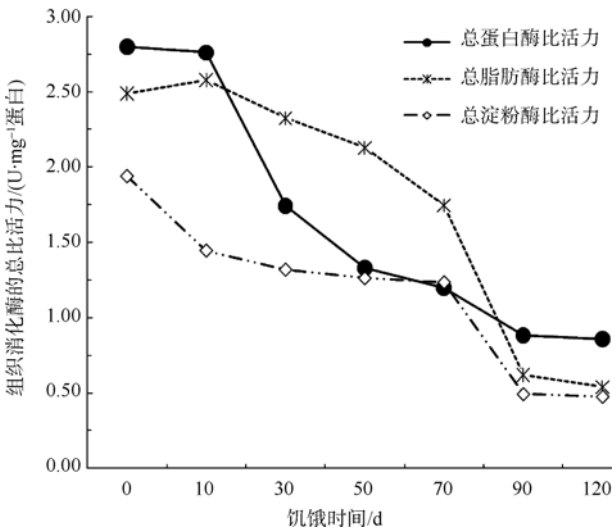


图 3 饥饿状态下幼螺三种消化器官中各类消化酶总比活力随时间的变化

Fig. 3 Changes of total activities of three digestive enzymes in digestive system of *B. areolata* juveniles during starvation period

力在饥饿早期(10d)无明显变化, 第 10—90d 期间迅速下降, 第 90—120d 则稳定在一定的水平上, 并高于脂肪酶与淀粉酶总活力。脂肪酶总活力在饥饿第 10d 时略有上升, 至第 70d 降幅较小, 第 70—90d 快速降低, 第 90—120d 期间则稳定在一较低的水平上。淀粉酶总活力在饥饿第 10d 时较快下降, 至第 70d 期间缓慢下降, 但第 70—90d 期间又急速降低, 后期(90—120d)变化幅度则较小。

3 讨论

3.1 方斑东风螺饥饿状态下能源物质动用情况

在饥饿状态下, 水生动物主要利用机体贮能物质作为代谢能源<sup>[1]</sup>。Bayne<sup>[11]</sup>报道紫贻贝 *Mytilus edulis* 在冬季食物缺乏期间代谢底物浓度显著下降, 且对蛋白质的动用量高于脂肪或碳水化合物。Ansell 等<sup>[12]</sup>报道不同温度下饥饿的射线斧蛤 *Donax vittatus* 体内碳水化合物、脂肪与蛋白质含量均下降, 且蛋白质由于氨基酸糖异生作用或作为呼吸底物被动用量最大。Russell-Hunter 等<sup>[13]</sup>报道高背红螺 *Helisoma trivolvis* 在饥饿时首先消耗葡萄糖或糖原, 然后利

用脂类,最后动用蛋白质。Rossi等<sup>[10]</sup>报道陆生螺类 *Megalobulimus oblongus* 饥饿 20d 后糖原含量下降,但淋巴中葡萄糖的含量无明显变化;短期饥饿没有导致其体内合成代谢的下降。

在没有食物供应的情况下,方斑东风螺幼螺在饥饿 30d 时体内蛋白质含量却略有上升,而脂肪与糖原含量降低,说明饥饿早期消化道中外源性物质可能尚起着较大作用,不仅能满足氮排泄的需要,还能维持体蛋白的平衡,这与吕林兰等<sup>[6]</sup>对异育银鲫 *Carassius auratus gibelio* 在饥饿 20d 时的研究结果相似。随着饥饿时间延长,螺体 3 大营养成分含量均下降,其中蛋白质含量在饥饿 30—70d 期间与对照组无显著差异,90—120d 则显著减少。脂肪与糖原含量于 50、70d 时显著低于起始组,说明饥饿前期幼螺主要消耗脂肪与糖原提供能量,随着饥饿程度加剧,螺体开始动用蛋白质作为能源;而糖原含量在后期过量消耗后,120d 时有所回升,这可能是肝胰脏的糖异生作用加强所致,说明螺体的糖原含量要维持在基本动态平衡水平以保证存活的需要,这种现象在史氏鲟 *Acipenser schrenckii* 的饥饿研究中也发现<sup>[9]</sup>。

### 3.2 饥饿状态下幼螺含水量与生化成分及能值的相关性

饥饿状态下,幼螺含水量与 3 大营养成分及能值之间均存在显著的线性负相关,尤其是含水量与蛋白质含量,两者之间的相关系数达 0.973 0,这种密切相关性说明可依据含水量间接估计螺体的其他生化成分及能值含量。在鱼类、甲壳类中也有相似报道,如谢小军等<sup>[3]</sup>报道以水分含量为自变量可间接估计南方鲇 *Silurus meridionalis* 幼鱼比能值、蛋白质含量和脂肪含量;雷思佳等<sup>[5]</sup>报道台湾红罗非鱼 *Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus* 幼鱼含水量在不同盐度、温度及饵料种等条件下均与蛋白质、脂肪含量及比能值呈显著的线性负相关;Hardy 等<sup>[2]</sup>报道雪蟹 *Chionoecetes opilio* 在饥饿 5 个月的过程中,消化腺中含水量与其脂肪含量,肌肉中水分含量与其蛋白质含量均呈显著的线性负相关;而 Iles 等<sup>[19]</sup>发现北海鲱鱼 *Clupea harengus* 鱼体含水量与脂肪在连续 3 年的测定中均呈明显的线性负相关,且摄食状况、年龄差异、性成熟状态等对相关关系无明显影响。因此以较容易测定的成分参数作为指标来预测机体其他营养成分的方法简易可行,且不受摄食与否的影响,所以含水量是能较好地预测螺体营养

状态的一个指标。

### 3.3 饥饿对幼螺消化器官 3 类消化酶活力的影响

幼螺饥饿过程中 3 类酶活力总体上均呈下降趋势,这与多数研究结果一致<sup>[6-8,14]</sup>。饥饿 10d 时幼螺胃、肠道的蛋白酶和肠、肝胰脏的脂肪酶活力较对照组增强,这可能是由于在饥饿早期,幼螺为了更好地利用消化道内残余的食物,增强相关酶活力以提高食物转化率;随着继续饥饿,各组织中蛋白酶与脂肪酶活力逐渐降低,这是当食物耗尽后,消化道不再受到食物蠕动的机械刺激,感觉器官对神经系统的刺激也不复存在,导致消化系统的酶分泌量下降<sup>[1]</sup>。各组织淀粉酶活力总体均呈下降趋势,但在幼螺饥饿 30、50d 时,胃与肠、肝胰脏中的淀粉酶活力稍有回升,这可能是由于肝胰脏加大转化糖原物质的量以供能量需要<sup>[6]</sup>,第 90—120d 期间不同组织中各酶活力均稳定在较低的水平上,且无显著性变化,这是幼螺长期饥饿胁迫下消化系统的一种适应性,尽可能维持酶活力在一定水平,以保证在有食物供应时能够及时、迅速地作出反应,尽快恢复消化吸收能力。类似情况在其他研究也有报道,如 Albentosa 等<sup>[14]</sup>发现两种蛤仔 *R. decussates* 和 *V. pullastra* 在饥饿 15d 后蛋白酶、淀粉酶等消化酶的活力也恒定在较低的水平上;杨代勤等<sup>[7]</sup>发现黄鳝 *Monopterus albus* 在饥饿的前 5—10d 消化系统中蛋白酶、脂肪酶活力下降幅度较大,当饥饿继续加深时,各消化酶活力维持在稳定的水平,无显著性变化。

吕林兰等<sup>[6]</sup>报道异育银鲫在饥饿 40d 过程中的体营养组成与消化酶活力的变化也存在一定的相关性。Johnston 等<sup>[4]</sup>报道红岩龙虾 *Jasus edwardsii* 叶状幼体在饥饿过程中蛋白酶活力增强,脂肪酶活力下降,推导其在食物缺乏过程中主要消耗蛋白质供能,而相对保留脂肪含量。本试验发现方斑东风螺幼螺蛋白酶总活力在饥饿早期(10d)无明显变化,10—70d 时迅速下降,90—120d 时则稳定在一定的水平上,并高于脂肪酶与淀粉酶总活力,说明 70d 前幼螺对蛋白质的消耗较少,70d 后则对蛋白质的动用加大。脂肪酶总活力饥饿 10d 时略有增强,说明短期饥饿刺激使消化系统的脂肪酶分泌量增加以吸收利用消化道内残余的食物,这与区又君等<sup>[8]</sup>报道千年笛鲷 *Lutjanus sebae* 在饥饿早期消化系统脂肪酶总活力的变化相似,10—70d 时降幅较小,70—90d 时快速降低,90—120d 时则稳定在较低的水平上。淀

粉酶总活力饥饿在 70d 前下降也较缓慢, 后期与脂肪酶总活力的变化相似, 说明饥饿 70d 前主要消耗脂肪与糖原供能, 同时还表明饥饿状态下, 螺体营养成分与其消化系统内消化酶活力的变化也有着密切的相关性。

#### 4 结论

本文通过室内试验模拟测定方斑东风螺 *Babylonia areolata* 在饥饿 120d 过程中基本营养成分、能值及消化系统主要消化酶活力的连续变化。结果表明:

1) 试验过程中无死亡个体出现, 但幼螺的含水量与灰分含量随饥饿时间延长而上升, 并于饥饿 50、70d 时显著高于对照组。螺体粗蛋白含量在饥饿 30d 时较起始组略有上升, 30—120d 呈下降趋势, 但饥饿 90d 前各期差异不显著, 第 120d 时则显著低于对照组及饥饿前期 ( $P<0.05$ )。总糖与粗脂肪含量随饥饿时间延长而下降, 并分别于饥饿 50、70d 时显著性低于对照组 ( $P<0.05$ ), 其中总糖含量在第 120d 时有一定程度的回升。结果显示, 幼螺在饥饿

前期主要消耗脂肪与糖原供能, 70d 后加大对贮备蛋白质的动用量, 而后期(90—120d)则以利用蛋白质为主。

2) 幼螺消化系统胃、肠道、肝胰脏中蛋白酶总活力在饥饿早期(10d)无明显变化, 第 10—90d 期间迅速下降, 第 90—120d 则稳定在一定的水平上; 脂肪酶总活力在饥饿第 10d 时略有上升, 至第 70d 降幅较小, 第 70—90d 快速降低, 第 90—120d 期间则稳定在一较低的水平上。淀粉酶总活力在饥饿第 10d 时较快下降, 之后与脂肪酶活力变化趋势相似。可见各消化酶活力在饥饿 90d 前快速下降, 之后呈恒定状态, 这可能是幼螺在长期饥饿胁迫下产生的适应性, 即尽可能维持酶活力在一定水平, 以保证在有食物供应时能够及时、迅速地作出反应。

3) 经分析, 幼螺含水量除了与灰分含量的相关性不显著外, 与 3 大营养组分及能值均存在显著的线性负相关( $P<0.01$ ), 水分含量与蛋白质、糖原、脂肪、能值的相关系数分别为 0.986 4、0.877 3、0.832 9、0.797 2, 因此饥饿时螺体含水量可作为预测其营养状态的指标。

#### 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): 181–188.
- [2] HARDY D, DUTIL J D, GODBOUT G, et al. Survival and condition of hard shell male adult snow crabs (*Chionoecetes opilio*) during fasting at different temperatures[J]. Aquaculture, 2000, 189(3/4): 259–275.
- [3] 谢小军, 孙儒泳. 南方鲇幼鱼鱼体的含能量及化学组成[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 1990, 26(3): 83–88.
- [4] JOHNSTON D J, RITAR A J, THOMAS C W, et al. Digestive enzyme profiles reveal digestive capacity and potential energy sources in fed and starved spiny lobster ( *Jasus edwardsii*) phyllosoma larvae[J]. Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol, 2004, 138(2): 137–144.
- [5] 雷思佳, 叶世洲, 李德尚, 等. 台湾红罗非鱼幼鱼水分含量与脂肪、蛋白质含量及比能值之间关系的研究[J]. 华中农业大学学报, 1999, 18(4): 367–370.
- [6] 吕林兰, 董学兴, 王爱民, 等. 饥饿对异育银鲫体成分及蛋白酶和淀粉酶的影响[J]. 水利渔业, 2007, 27(5): 26–28.
- [7] 杨代勤, 陈芳, 阮国良, 等. 饥饿对黄鳍消化酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1 167–1 170.
- [8] 区又君, 刘泽伟. 饥饿和再投喂对千年笛鲷幼鱼消化酶活性的影响[J]. 海洋学报, 2007, 29(1): 86–91.
- [9] 高露姣, 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): 279–285.
- [10] ROSSI I C C, DA SILVA R S M. Effects of starvation and a carbohydrate-rich diet on glycogen metabolism in a gastropod mollusk, *Megalobulimus oblongus*[J]. Comp Biochem Physiol, 1993, 106(4): 831–836.
- [11] BAYNE B L. Aspects of the metabolism of *Mytilus edulis* during starvation[J]. Neth J Sea Res, 1973, 7: 399–410.
- [12] ANSELL A D, SIVADAS P. Some effects of temperature and starvation on the bivalve *Donax vittatus* (da Costa) in experimental laboratory populations[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1973, 13(3): 229–262.
- [13] RUSSELL-HUNTER W D, EVERSOLE A G. Evidence for tissue degrowth in starved freshwater pulmonate snails (*Helisoma trivolvis*) from tissue, carbon and nitrogen analyses[J]. Comp Biochem Physiol A Comp Physiol, 1976, 54 (4): 447–453.
- [14] ALBENTOSA M, MOYANO F J. Influence of nutritional stress on digestive enzyme activities in juveniles of two marine clam species, *Ruditapes decussatus* and *Venerupis pul-lastra*[J]. J Sea Res, 2008, 59(4): 249–258.
- [15] 魏永杰, 黄斌, 柯才焕, 等. 方斑东风螺早期发育过程中几种消化酶的活性[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(1): 55–59.
- [16] 吴善. 方斑东风螺的产卵及幼贝培育[J]. 中国水产, 2000(1): 40–41.
- [17] ZHOU J B, ZHOU Q C, CHI S Y. Optimal dietary protein requirement for juvenile ivory shell, *Babylonia areolata*[J]. Aquaculture, 2007, 270: 186–192.
- [18] 朱俭, 曹凯鸣, 周润琦, 等. 生物化学实验[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981: 192–193.
- [19] ILES T D, WOOD R J. The fat/water relationship in North sea herring (*Clupea harengus*) and its possible significance[J]. J Mar Biol Ass UK, 1965, 45(2): 353–366.