

饥饿再投喂对缢蛏消化酶活力和抗氧化能力的影响

章承军¹, 刘健², 陈锦辉², 吴建辉², 李家乐¹, 王玲¹, 沈和定^{1*}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 上海市长江口中华鲟自然保护区管理处, 上海 200092)

摘要: 在海水温度 8~11 °C, 盐度 20~22, pH 7.4~7.9 的条件下, 将采自福建宁德的 5 种规格缢蛏(平均壳长 0.7 cm、1.4 cm、2.0 cm、4.0 cm、6.0 cm 分别记为 N1、N2、N3、N4、N5, 其中 N1、N2、N3 为稚贝) 饥饿 6 d 后投喂单胞藻 5 d, 以淀粉酶活力、纤维素酶活力、丙二醛含量和总抗氧化能力为指标, 研究了饥饿再投喂期间不同规格缢蛏消化能力和抗氧化能力的变化过程, 对缢蛏的补偿生长进行了初步探索。结果显示, 缢蛏淀粉酶和纤维素酶活力有随个体增大而下降的趋势, 总抗氧化能力随个体增大而升高。饥饿阶段: N1 组消化酶活力迅速大幅下降, N2、N3、N4 组不同程度升高后下降, N5 组在饥饿期间无明显变化; 丙二醛含量显著(除 N3) 降低($P < 0.05$), 2~3 d 时降至最低, 此后开始上升。恢复投喂后各组消化酶活力分别在 1~4 d 升至显著高于饥饿前水平($P < 0.05$)。恢复投喂 3 d 后 N1、N4、N5 组丙二醛含量降至显著小于饥饿前水平($P < 0.05$)。试验期间各规格缢蛏总抗氧化能力无显著变化($P > 0.05$)。试验结果表明饥饿再投喂对缢蛏抗氧化能力无显著影响但可提高其消化能力, 说明可设置合理的饥饿再投喂模式使缢蛏发生补偿生长。

关键词: 缢蛏; 补偿生长; 饥饿再投喂; 消化酶; 丙二醛; 总抗氧化能力

中图分类号: Q 955; S 917

文献标识码: A

由于自然界中季节更替、环境剧变或食物分布不均等原因, 动物经常受到饥饿或营养不足的胁迫。作为生理生态学上的一种适应性, 动物继饥饿或营养不足后在恢复正常摄食时表现出超过未受饥饿或营养不足胁迫的正常个体的生长速度, 称为补偿生长现象^[1]。目前国内外对水产动物的补偿生长已有较多研究, 但主要集中在鱼类^[2-4], 对贝类的研究很少。国外文献只记录了扁卷螺 (*Planorbis contortus*)^[5]、海湾扇贝 (*Argopecten irradians*)^[6] 和鲍 (*Haliotis fulgens*)^[7] 等贝类的补偿生长现象, 但并未进行深入研究, 国内仅杨凤等^[8] 对青蛤 (*Cyclina sinensis*) 幼虫的补偿生长进行了相关研究。饥饿对一些贝类幼虫生长、存活、代谢和生理等的影响^[9-13] 与自然界季节性饵料变化对欧洲鸟蛤 (*Cerastoderma edule*) 消化酶活力的影响^[14] 也有过报道, 但均未涉及补偿生长的研究。

营养条件的改变会引起一些氧化代谢产物和抗氧化酶类的改变^[15], 目前在水产动物上饥饿与抗氧化的研究比较少, 且不同的动物可能具有不同的反应^[16]。总抗氧化能力 (T-AOC) 是近年研究发现的用于衡量机体抗氧化酶系统和非酶促系统功能状况的综合性指标。丙二醛 (MDA) 既是机体内脂质过氧化反应的重要产物, 同时又可与蛋白质的游离氨基作用, 引起蛋白质分子内与分子间交联, 导致细胞损伤, 其含量可间接反映脂质过氧化过程^[17]。已有较多的研究使用 MDA/T-AOC 作为评价各种因素对机体抗氧化能力或免疫力影响的指标^[18-20]。

缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 是我国传统四大养殖贝类之一, 现已逐渐成为沿海池塘虾、贝生态养殖的主要混养贝类之一^[21], 国内外学者已对缢蛏进行了广泛深入的研究^[22-24], 但尚未有缢蛏

收稿日期: 2009-11-23 修回日期: 2010-04-06

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划 (2006AA10A410); 上海市长江口中华鲟自然保护区项目 (D8006080422, 沪鲟保科 20090826001); 上海市教委重点学科项目 (J50701)

通讯作者: 沈和定, Tel: 021-61900446, E-mail: hdshen@shou.edu.cn

补偿生长的相关报道。本试验以平均壳长为 0.7 cm、1.4 cm、2.0 cm 的缢蛏稚贝和 4.0 cm、6.0 cm 的缢蛏成体为材料,测定了饥饿再投喂期间各规格缢蛏淀粉酶活力、纤维素酶活力、MDA 含量和 T-AOC,分析了此过程对缢蛏消化能力和抗氧化能力的影响并对如何设置饥饿再投喂模式使缢蛏发生补偿生长进行了初步探讨。研究结果能为设置合理的饥饿再投喂模式、探索缢蛏补偿生长发生的阶段和机制积累资料,以不断充实软体动物生理学研究的内容。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用缢蛏于 2009 年 3 月购自福建宁德蕉城区三都镇,运回上海海洋大学海洋生物学实验室。暂养 8 d 后,挑选平均壳长分别为 0.7 cm、1.4 cm、2.0 cm、4.0 cm、6.0 cm 的健康缢蛏分为 N1、N2、N3、N4 和 N5 5 个组,饲养于规格为 24 cm × 16 cm × 17 cm 的玻璃缸中。缢蛏生物学数据如表 1。

表 1 缢蛏生物学数据

Tab. 1 The biology data of *S. constricta*

试验组 groups	壳长(cm) shell length	湿重(g) wet weight	干重(g) dry weight	灰分(g) ash
N1	0.713 4 ± 0.063 1	0.036 4 ± 0.009 2	0.004 3 ± 0.000 6	0.002 7 ± 0.000 3
N2	1.439 8 ± 0.065 7	0.152 6 ± 0.054 2	0.030 8 ± 0.005 4	0.021 4 ± 0.003 4
N3	2.154 7 ± 0.092 7	0.616 0 ± 0.124 6	0.144 4 ± 0.011 8	0.099 6 ± 0.009 8
N4	4.114 9 ± 0.245 2	3.608 0 ± 0.871 7	0.904 8 ± 0.085 2	0.588 1 ± 0.045 2
N5	6.255 6 ± 0.337 1	18.366 0 ± 1.814 0	3.989 6 ± 0.104 8	2.473 5 ± 0.099 8

剔除损伤个体后进行暂养,暂养期间混合投喂湛江等鞭金藻 (*Isochrysis zhanjiangensis*)、小球藻 (*Chlorella* sp.)、牟氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*)、绿色巴夫藻 (*Pavlova viridis*)、微绿球藻 (*Nannochloropsis oculata*)、亚心形扁藻 (*Platymonas subcordiformis*)。试验用海水经 0.45 μm 微孔滤膜抽滤,充气 24 h 以上,盐度为 20 ~ 22, pH 7.4 ~ 7.9,水温 8 ~ 11 °C。

1.2 试验方法

为提供足够试验样本,根据个体大小设置 N5 组 15 个体 × 4 重复, N4 组 20 个体 × 3 重复, N3 组 25 个体 × 3 重复, N2 组 30 个体 × 3 重复, N1 组 35 个体 × 3 重复。各组持续饥饿 6 d 后再投喂混合单胞藻 5 d,再投喂期间每日定时(10:30、13:30、16:30、20:00)投喂,保证饵料充足供应。每日上午 10 时取样提取酶液。

1.3 样品制备和测定方法

将缢蛏用预冷去离子水冲洗后在冰盘内解剖, N5 和 N4 组取消化腺, N3 和 N2 组取消化腺部位, N1 组因个体小软体部少而取全部软体组织,冰浴匀浆后 4 °C、11 000 r/min 离心 15 min,取上清液测定淀粉酶、纤维素酶活力。MDA 和 T-AOC 测定样品的制备均使用完整软体部,操作方法同消化酶。所有样品在 24 h 内测量完毕。

淀粉酶活性、总蛋白含量、T-AOC 和 MDA 含量测定均使用南京建成试剂盒,其中淀粉酶测定

使用碘淀粉比色法,总蛋白测定使用考马斯亮蓝法, T-AOC 测定使用 Fe³⁺ 还原比色法, MDA 含量测定使用 TBA 法。

纤维素酶活力测定:使用 CMC 法^[25]并改进,分别取酶液 1 mL 和底物羧甲基纤维素钠 2 mL 在 40 °C 水浴预热 3 min 后混匀, 40 °C 精确水浴 10 min 后立即加入 DNS 2 mL, 摇匀沸水浴 5 min, 流水冷却后加入蒸馏水 15 mL, 使用 722 型分光光度计 520 nm 测量吸光度。

纤维素酶活定义:在指定条件下,每分钟催化纤维素水解生成 1 μg 葡萄糖所需的酶量为一个单位。

淀粉酶活定义:组织中每毫克蛋白在 37 °C 与底物作用 30 min, 水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活力单位。

总抗氧化能力定义:37 °C 时,每分钟每毫克组织蛋白,使反应体系的吸光度值每增加 0.01 时为一个总抗氧化能力单位。

1.4 数据处理

数据均以平均值 ± 标准差 (mean ± SD) 表示,使用 SPSS 17.0 进行统计分析,采用单因素方差分析,用 Duncan 氏多重比较检验组间差异,用 EXCEL 2003 作图。

2 结果

2.1 饥饿过程中缢蛏消化酶活力的变化

试验起始阶段小规格稚贝 N1 组淀粉酶比活

力(0.250 ± 0.012) U/mg 和纤维素酶比活力(30.271 ± 1.931) U/g 显著高于其它各组($P < 0.05$)。淀粉酶和纤维素酶活力有随个体增大而下降的趋势。饥饿初期(1~2 d)稚贝消化酶活力不同程度下降,成体消化酶活力变化不明显,N1组饥饿1 d后淀粉酶活力即降至饥饿阶段最低点(0.056 ± 0.016) U/mg,说明稚贝对饥饿胁迫抵抗力差,饵料丰度会在短时间内显著影响消化酶活力。饥饿中期(2~4 d),N2、N3、N4组消化酶活力升高,除N2组淀粉酶,其它均升至显著超过饥饿前水平($P < 0.05$) (图1、图2)。饥饿对N5组消化酶活力无显著影响,淀粉酶活力总体呈下降趋势,纤维素酶活力先下降后上升。

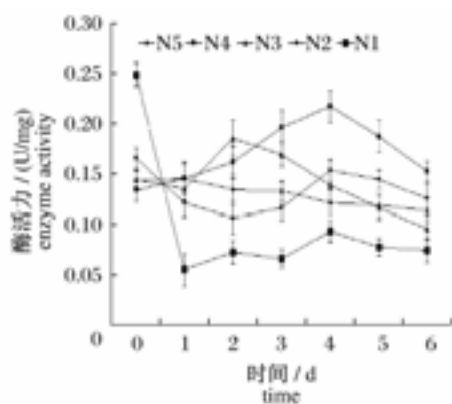


图1 饥饿过程中缢蛭淀粉酶活力的变化
Fig.1 Changes of amylase activity in *S. constricta* during starvation

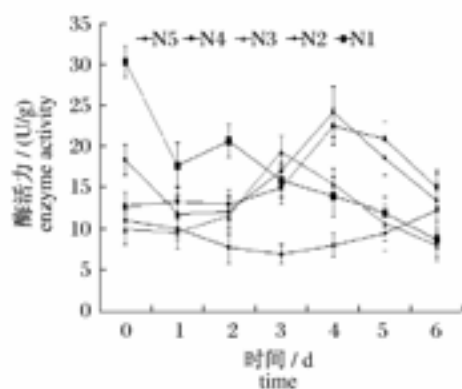


图2 饥饿过程中缢蛭纤维素酶活力的变化
Fig.2 Changes of cellulase in (*S. constricta*) during starvation

2.2 再投喂过程中缢蛭消化酶活力的变化

恢复投喂后3组稚贝消化酶活力迅速升高,

N1、N2、N3组淀粉酶活力分别在恢复投喂4 d、3 d和1 d后升至最高点,为(0.345 ± 0.026) U/mg、(0.285 ± 0.019) U/mg 和(0.245 ± 0.016) U/mg,均显著高于饥饿前初始值($P < 0.05$);纤维素酶活力则分别在恢复投喂3 d、2 d和1 d后升至最高点(31.202 ± 2.653) U/g、(19.213 ± 1.822) U/g 和(15.701 ± 1.156) U/g,其中N1组显著高于初始值($P < 0.05$),N2、N3组差异不显著($P > 0.05$)。两组成体(N4、N5)的淀粉酶和纤维素酶活力分别在第2天和第3天升至最高点(0.215 ± 0.023) U/mg、(0.191 ± 0.013) U/mg 和(19.000 ± 1.605) U/g、(23.500 ± 1.614) U/g,均显著高于饥饿前水平($P < 0.05$) (图3、图4)。可以看出:稚贝阶段,大个体具有较快的恢复速度,稚贝纤维素酶活力恢复速度较快,成体淀粉酶活力恢复较快。

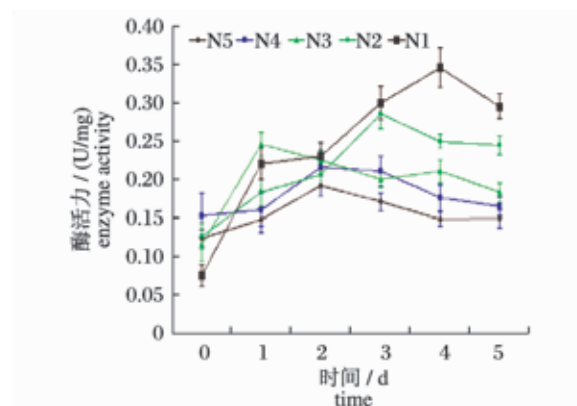


图3 再投喂过程中缢蛭淀粉酶活力的变化
Fig.3 Changes of activity in *S. constricta* after refeeding

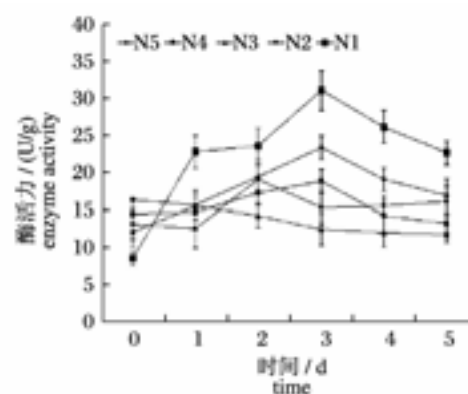


图4 再投喂过程中缢蛭纤维素酶活力的变化
Fig.4 Changes of cellulase activity in *S. constricta* after refeeding

2.3 饥饿过程中缢蛏抗氧化能力的变化

各组(除 N3 组)MDA 含量在饥饿 1~2 d 后显著下降($P < 0.05$),饥饿 2~3 d 后降至最低, N1、N2、N3、N4、N5 最低点分别为(0.201 ± 0.079)、(0.140 ± 0.058)、(0.231 ± 0.084)、(0.220 ± 0.054)、(0.461 ± 0.076) nmol/mg prot。随着饥饿时间延长 MDA 含量上升,饥饿 4~5 d 后 MDA 含量超过饥饿前水平(图 5)。

T-AOC 初始值随个体增大而增强,其中 N1 和 N2 间、N3 和 N4 间无显著差异。T-AOC 由稚贝阶段的先上升后下降转为成体阶段的先下降后上升,但组内 T-AOC 变化差异不显著($P > 0.05$) (图 6)。

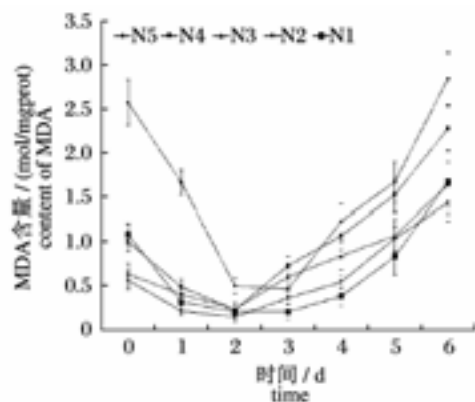


图 5 饥饿过程中缢蛏 MDA 含量的变化
Fig. 5 Changes of MDA content in *S. constricta* during starvation

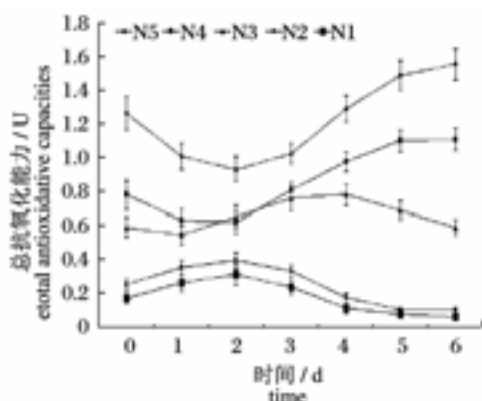


图 6 饥饿过程中缢蛏 T-AOC 的变化
Fig. 6 Changes of T-AOC in *S. constricta* during starvation

2.4 再投喂过程中缢蛏抗氧化能力的变化

恢复投喂后各组 MDA 含量逐渐下降至饥饿前(1.084 ± 0.123)、(0.563 ± 0.101)、($0.631 \pm$

0.120)、(1.005 ± 0.114)、(2.589 ± 0.260) nmol/mg prot 水平。恢复投喂 3 d 后 N1、N4、N5 组 MDA 含量降至(0.402 ± 0.081)、(0.218 ± 0.048)、(0.280 ± 0.062) nmol/mg prot,显著小于饥饿前水平($P < 0.05$),此后开始上升。N2 和 N3 组在恢复投喂阶段保持下降趋势(图 7)。恢复投喂后,各组 T-AOC 逐渐恢复至饥饿前水平(图 8)。

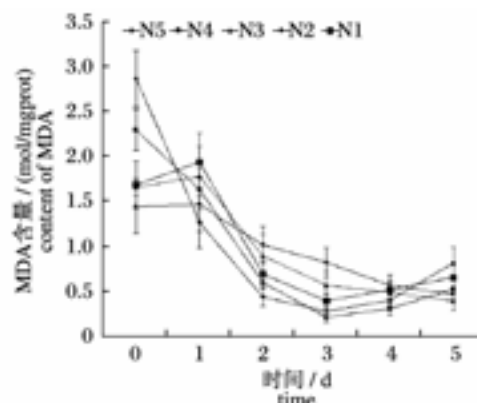


图 7 再投喂过程中缢蛏 MDA 含量的变化
Fig. 7 Changes of MDA content in *S. constricta* after refeeding

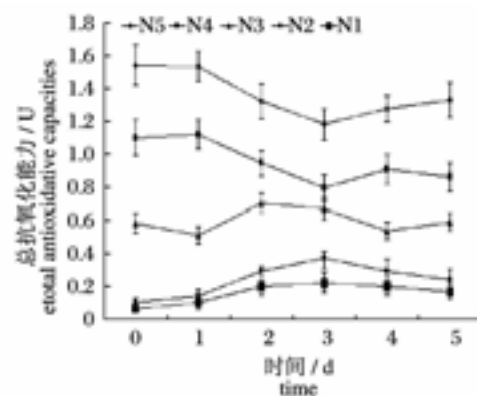


图 8 再投喂过程中缢蛏 T-AOC 的变化
Fig. 8 Changes of T-AOC in *S. constricta* after refeeding

3 讨论

3.1 饥饿再投喂对缢蛏消化酶活力的影响

稚贝在饥饿初期消化酶活力下降,随着规格的增大,下降幅度逐渐减小,说明随着缢蛏的生长消化系统逐渐发育完善,对饵料缺乏时的抵抗力增大,而小规格稚贝消化系统尚未发育完善,在无食物刺激的情况下消化酶分泌量迅速减少。随着饥饿时间的延长,N2、N3、N4 组消化酶活力上升,

甚至超过饥饿前水平,说明机体能够通过提高自身各种酶的活性使代谢发生适应性变化以满足各种生理活动的能量需求,是对饥饿的应激适应。在其它水产动物上也有类似现象,如孟庆武等^[26]对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)仔虾的研究,王燕妮等^[4]对鲤鱼的研究和郑曙明等^[3]对虎鲨的研究等。延长饥饿时间使最小个体 N1 组消化酶活力保持在较低水平,而最大个体 N5 组则变化不明显,可能原因有 3 点:(1) 小个体稚贝消化系统食物储存量很低,在无食物刺激情况下消化酶分泌量减少;(2) 小个体稚贝本身营养物质储存有限,在无外界营养供给时消化酶合成量减少;(3) 本身营养物质储存量少,机体只能通过降低生理活动来适应。

恢复投喂后,不同规格缢蛭消化酶活力在 1~4 d 内恢复至最高水平,这与自然界季节性饵料变化对欧洲鸟蛤消化酶活力的影响相似^[14]。随着个体的增大消化酶活力恢复速度加快可能是由于在相同的饥饿时间段内,饥饿胁迫对大个体的影响较小,较完善的消化系统在再投喂后具有更强的调节能力。

3.2 饥饿再投喂对缢蛭抗氧化能力的影响

饥饿可通过诱导基因表达影响免疫与抗氧化能力、生殖等各方面机能^[27-28]。小规格稚贝消化系统尚未发育完善,摄食量小,从食物中获得外源性抗氧化物质如维生素 C、维生素 E 和胡萝卜素等^[29]能力有限,限制投喂后迅速转为利用自身储藏的营养物质,饥饿刺激迅速引起抗氧化能力代偿性增高。随着饥饿时间延长,营养物质和抗氧化物消耗殆尽,使总抗氧化能力降低。缢蛭规格增大,消化系统逐渐发育完善,摄食量和食物储存量增加,使总抗氧化能力代偿反应延后,外源抗氧化物质获得量减少是大规格缢蛭饥饿阶段早期总抗氧化能力下降的主要原因。

机体内的氧自由基(ROS)主要来源于氧化磷酸化电子链传递中的泄漏^[30],试验起始时稚贝 N1、N2 组 T-AOC 无显著差异而 MDA 含量 N1 组显著高于 N2 组,饥饿 1 d 后两组 MDA 含量降至无显著差异,表明消化机制不完善是小规格稚贝 MDA 含量高的原因。饥饿阶段早期各组 MDA 含量下降而 T-AOC 变化则不一致,说明饥饿使生成 MDA 的底物游离脂肪酸浓度降低是 MDA 含量减少的主要原因^[31]。

随着饥饿时间延长,由依赖食物而逐步转为靠自身储存的脂肪来提供能量,自身分解代谢加速是体内自由基增加的主要原因,抗氧化能力代偿性升高以消除自身分解代谢加速产生的氧自由基,在无外源性抗氧化物质获得情况下,机体自身总抗氧化能力代偿性升高有限,逐渐无法消除自身分解代谢产生的自由基,机体的“自由基稳态”就被打破,MDA 含量迅速升高。

恢复投喂后成体缢蛭 MDA 含量迅速下降,表明设计饥饿时间未对消化系统产生实质性损伤,恢复投喂后成体可迅速从饵料中获得营养物质和抗氧化物质,抗氧化能力应激性升高逐渐消除使总抗氧化能力逐渐恢复至正常水平,稚贝需经过一段时间适应来恢复正常。

3.3 补偿生长

本试验研究发现饥饿再投喂能够提高缢蛭消化酶活力,从理论上说明缢蛭具有发生补偿生长的生理基础。以往的补偿生长研究往往忽略了饥饿对机体免疫力的影响;机体的 MDA 含量和抗氧化能力与免疫力密切相关,本试验发现短时间饥饿在一定程度上提高了缢蛭的抗氧化能力。

饥饿再投喂能够提高缢蛭的消化酶活力,再投喂后稚贝消化酶活力具有较快的恢复速度和较大的超量恢复幅度,因此可通过设置合理的饥饿再投喂模式提高缢蛭的饵料利用率。由于稚贝摄入的能量主要用于生长,表明缢蛭特别是稚贝具有发生补偿生长的可能性。综合饥饿再投喂对消化酶活力和抗氧化能力的影响,可以推断不同规格缢蛭个体的饥饿时间以 1~3 d 较为合理,如何设置最优化的饥饿再投喂模式使缢蛭发生补偿生长还需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] 吴立新,董双林. 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.
- [2] 高露姣,陈立侨,赵晓勤,等. 施氏鲟幼鱼的饥饿和补偿生长研究——对消化器官结构和酶活性的影响[J]. 中国水产科学,2004,11(5):413-419.
- [3] 郑曙明,王燕妮,聂迎霞,等. 虎鲨饥饿后的补偿生长及淀粉酶活性研究[J]. 华中农业大学学报,2003,22(5):483-487.
- [4] 王燕妮,张志蓉. 鲤鱼的补偿生长及饥饿对淀粉酶的影响[J]. 水利渔业,2001,21(5):6-7.
- [5] Calow P. On the regulatory nature of individual

- growth; some observations from freshwater snails [J]. *Journal of Zoology*, 1973, 170(4): 415-428.
- [6] Auster P J, Stewart L L. Compensatory growth in the bay scallop, *Argopecten irradians* (L.) [J]. *Northwest Atlantic Fish Sci*, 1984, 5: 103-104.
- [7] Viana M T, L L M, Garc E Z, et al. The use of silage made from fish and abalone viscera as an ingredient in abalone feed [J]. *Aquaculture*, 1996, 140(1-2): 87-98.
- [8] 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.
- [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(1-4): 357-366.
- [10] 林君卓, 许振祖. 文蛤幼体的摄食生态研究 [J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1997, 36(6): 918-924.
- [11] Holland D L, Spencer B E. Biochemical changes in fed and starved oysters, *Ostrea edulis* L. during larval development, metamorphosis and early spat growth [J]. *J Mar Biol Assoc UK*, 1973, 53(2): 287-298.
- [12] Garc E Z, Bricelj V M, Felbeck H. Metabolic depression and whole-body response to enforced starvation by *Crassostrea gigas* postlarvae [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology (Part A)*, 2002, 133(1): 63-77.
- [13] Moran A L, Manahan D T. Physiological recovery from prolonged 'starvation' in larvae of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 306(1): 17-36.
- [14] Ibarrola I, Larretxea X, Iglesias J I, et al. Seasonal variation of digestive enzyme activities in the digestive gland and the crystalline style of the common cockle *Cerastoderma edule* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology (Part A)*, 1998, 121(1): 25-34.
- [15] 刘松岩. 环境胁迫对中华鲟体内自由基水平和抗氧化酶活力的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [16] Morales A E, Pérez-Jiménez A, Carmen Hidalgo M, et al. Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology (Part C)*, 2004, 139(1-3): 153-161.
- [17] Papadimitriou E, Loumbourdis N S. Exposure of the frog *Rana ridibunda* to copper: Impact on two biomarkers, lipid peroxidation, and glutathione [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2002, 69(6): 885-891.
- [18] Wei X, Liu H, Sun X, et al. Hydroxysafflor yellow A protects rat brains against ischemia-reperfusion injury by antioxidant action [J]. *Neuroscience Letters*, 2005, 386(1): 58-62.
- [19] Ghiselli A, Serafini M, Natella F, et al. Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: critical view and experimental data [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2000, 29(11): 1106-1114.
- [20] Xiao N, Wang X C, Diao Y F, et al. Effect of initial fluid resuscitation on subsequent treatment in uncontrolled hemorrhagic shock in rats [J]. *Shock*, 2004, 21(3): 276.
- [21] 范德朋, 潘鲁青. 盐度和 pH 对缢蛏耗氧率及排氨率的影响 [J]. *中国水产科学*, 2002, 9(3): 234-238.
- [22] 吴众望, 潘鲁青, 董双林. 9 种金属离子对缢蛏消化酶活力的影响 [J]. *中国水产科学*, 2003, 10(4): 297-300.
- [23] 潘鲁青, 范德朋. 环境因子对缢蛏滤水率的影响 [J]. *水产学报*, 2002, 26(3): 226-230.
- [24] Niu D H, Li J L, Liu D B. Polymorphic microsatellite loci for population studies of the razor clam, *Sinonovacula constricta* [J]. *Conservation Genetics*, 2008, 9(5): 1393-1394.
- [25] 王琳. DNS 法测定纤维素酶活力最适条件研究 [J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 1998, 26(3): 66-69.
- [26] 孟庆武, 张秀梅, 张沛东, 等. 饥饿对凡纳滨对虾仔虾摄食行为和消化酶活力的影响 [J]. *海洋水产研究*, 2006, 27(5): 44-50.
- [27] 刘波, 何庆国, 唐永凯, 等. 饥饿胁迫对吉富罗非鱼生长及生理生化指标的影响 [J]. *中国水产科学*, 2009, 16(2): 230-237.
- [28] 赵晓勤, 陈立侨, 顾志敏, 等. 越冬期饥饿对河川沙塘鳢雌鱼卵巢发育的影响 [J]. *水产学报*, 2009, 33(1): 70-77.
- [29] Ansaldo M, Sacristan H, Wider E. Does starvation influence the antioxidant status of the digestive gland of *Nacella concinna* in experimental conditions [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology (Part C)*, 2007, 146(1-2): 118-123.
- [30] 于晓明, 王永辉, 李培兵, 等. 蛋白质对改善半饥饿大鼠肠黏膜抗氧化功能的作用 [J]. *肠外与肠内营养*, 2007, 14(3): 141-143.
- [31] 郭长江, 韦京豫, 杨继军, 等. 饥饿后大鼠核黄素营养状况的变化 [J]. *中国临床营养杂志*, 2005, 13(6): 377-379.

Effects of starvation and refeeding on digestive enzyme activity and antioxidative capacity of razor clam (*Sinonovacula constricta*)

ZHANG Cheng-jun¹, LIU Jian², CHEN Jin-hui², WU Jian-hui²,
LI Jia-le¹, WANG Ling¹, SHEN He-ding^{1*}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Superintendency Department of Shanghai Yangtze Estuarine Nature Reserve for Chinese Sturgeon, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to explore the potential compensatory growth of *S. constricta*, the digestion and antioxidant capacity changes of *S. constricta* during starvation and refeeding were studied in our study. The materials used in our study are 5 specifications of *S. constricta* collected from Ningde, Fujian Province. The average shell length of the materials are 0.7 cm, 1.4 cm, 2.0 cm, 4.0 cm and 6.0 cm which are marked as N1, N2, N3, N4 and N5 respectively. In the conditions of seawater temperature 8–11 °C, salinity 20–22 and pH 7.4–7.9, the effects of six-day starvation and subsequent five-day microalgae refeeding on the digestion and antioxidant capacity of 5 groups of *S. constricta* were investigated. The activity of the digestive enzymes amylase and cellulase, malondialdehyde (MDA) content and total antioxidant capacity (T-AOC) were measured as indicators using detection kits (Nanjing Jiancheng Bioengineering Institute, China) during starvation and subsequent refeeding. The amylase activity was determined by means of iodine-starch method and the method of carboxymethyl cellulase (CMC) saccharification was used for determining the activity of cellulase. Using thibaburic acid (TBA) method to determine the MDA content and Fe³⁺ deoxidation colorimetry method was used for the determination of T-AOC. The determination of total protein used the Coomassie brilliant blue. Based on the data and results, the potential compensatory growth of *S. constricta* was preliminarily explored in our study. The results are as follows: the amylase activity and cellulase activity of *S. constricta* tended to decrease as the individual size grew, but the opposite is true to the T-AOC. In the stage of starvation: the amylase activity and cellulase activity of N1 experienced a rapid and sharp decline while N2, N3 and N4 increased to different degrees before decreased, there were no significant differences in the amylase activity and cellulase activity of N5; the MDA content decreased significantly ($P < 0.05$) except N3, the MDA content reduced to the lowest level after the previous two-day or three-day starvation and after that the MDA content began to rise. Refeeding led to a significant ($P < 0.05$) increase in the activities of amylase and cellulase which were higher than the level before starvation in all groups separately from the 1st day to the 4th day. In the initial 3 days of refeeding, the MDA content of N1, N4 and N5 reduced significantly which was less than the content level before starvation ($P < 0.05$). However, there were no significant differences in the total antioxidant capacity in *S. constricta* of the 5 specifications during the entire experiment ($P > 0.05$). The results of our study indicated that previous six-day starvation and subsequent five-day refeeding had no significant effect on the antioxidant capacity of *S. constricta* but could improve their digestion. A reasonable model of starvation and refeeding of *S. constricta* is suggested to be set to promote the compensatory growth of *S. constricta*.

Key words: *Sinonovacula constricta*; compensatory growth; starvation and refeeding; digestive enzyme; malondialdehyde; total antioxidative capacity

Corresponding author: SHEN He-ding. E-mail: hdshen@shou.edu.cn