

## 缢蛭家系生长与消化酶活性的比较

李炼星, 李浩, 沈和定\*, 李多

(上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306)

**摘要:** 两次对6个缢蛭家系(A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>、D<sub>1</sub>、E<sub>1</sub>和F<sub>1</sub>)生长性状(壳长、壳高、壳宽、总重和软体部重)进行测量、分析,并测定其体内淀粉酶活性和纤维素酶活性。发现缢蛭胃、消化盲囊等器官内淀粉酶活性较高,而纤维素酶的活性很低,消化酶活性与其滤食微藻的食性有关系。对比缢蛭生长性状的增长和消化酶活性的提升,结果表明家系D<sub>1</sub>的5个生长性状均取得最大值,且与家系A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>、E<sub>1</sub>及F<sub>1</sub>存在显著差异(P<0.05)。家系F<sub>1</sub>的5个生长性状均取得最小值,且各性状显著小于家系D<sub>1</sub>。随着日龄的增长,各个家系缢蛭个体的淀粉酶活性和纤维素酶活性都有所增长,2次的测量值显示同样的趋势,D<sub>1</sub>>C<sub>1</sub>>E<sub>1</sub>>A<sub>1</sub>>B<sub>1</sub>>F<sub>1</sub>。发现缢蛭消化酶活性与生长发育相关,较快的生长速度对应较强的消化生理机能,高水平的消化酶活性有利于缢蛭对营养物质的消化吸收并转化为生长发育所需的能量。

**关键词:** 缢蛭; 家系; 生长; 消化酶活性

中图分类号: S944.48

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2016)03-0431-05

### Comparison of the growth traits and digestive enzyme activities of families of *Sinonovacula constricta*

LI Lianxing, LI Hao, SHEN Hedding, LI Duo

(Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources of Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

**Abstract:** Five growth traits of *Sinonovacula constricta* in six families were determined twice, including the shell length, height, and width, total weight, and the weight of soft part. The result showed that the activity of amylase was high and the activity of cellulase was low in stomach and digestive diverticula. There was a direct correlation between the digestive enzyme activity and the feeding habits of its filter-feeding microalgae. The growth traits and the enhancement of the digestive enzyme activity reflected that: 1) all five growth traits of *Sinonovacula constricta* in family D<sub>1</sub> reached the maximum values and obvious differences existed between D<sub>1</sub> and other four families; 2) all five growth traits of *Sinonovacula constricta* in family F<sub>1</sub> reached the minimum levels that were significantly lower than those in family D<sub>1</sub>. The activities of amylase and cellulase in each of all *S.constricta* families increased with the growth of *Sinonovacula constricta*. Two measured values showed the same trend (D<sub>1</sub>>C<sub>1</sub>>E<sub>1</sub>>A<sub>1</sub>>B<sub>1</sub>>F<sub>1</sub>). The digestive enzyme activity was found to be related to the growth and development of *Sinonovacula constricta*, and the faster, the growth speed, the stronger, the digestive function. A high digestive enzyme activity would contribute to the digestion and absorption of nutrients and their conversion to energy necessary for the growth of *Sinonovacula constricta*.

**Key words:** *Sinonovacula constricta*, family, growth traits, digestive enzyme activities

酶作为一种生物高分子物质,参与了包括生物体新陈代谢、营养吸收、能量转换等在内的几乎所有生命活动并起到催化作用,具有底物专一性、催化高效性等特点,而且活性可调节<sup>[1]</sup>。消化酶是应

收稿日期: 2016-02-02

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2012AA10A400-3)和水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心(ZF1206)共同资助。

作者简介: 李炼星, 硕士研究生。E-mail: 469687126@qq.com

\* 通信作者: 沈和定, 教授。E-mail: hdshen@shou.edu.cn

用最广泛的一种酶,包含了一般酶的所有特点,主要集中在生物体的胃、消化腺、肠等消化系统和器官中,包括蛋白酶、淀粉酶及纤维素酶等<sup>[2]</sup>。消化酶活力反映了生物体对营养物质的消化吸收并将其转化为维持生命、生长发育和繁殖所需能量的能力,直接影响着生物体的生长发育<sup>[3-4]</sup>,是反映生物体生理机能的重要指标。

国内外对海洋生物消化酶研究的报道很多,但是主要集中在鱼虾蟹,鲤鱼(*Cyprinus capiohaemato-pteru*)、齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)<sup>[5]</sup>、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)<sup>[6]</sup>、日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)<sup>[7]</sup>、及罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)<sup>[8]</sup>及中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)<sup>[9]</sup>等都有过非常详尽的研究,但是有关贝类消化生理方面的研究仍相对较少。李俊辉等研究了温度和 pH 对马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)肝胰脏消化酶活力的影响<sup>[10]</sup>;李文波等研究了不同饵料对西施舌(*Coelomactra antiquate*)稚贝生长及消化酶活性的影响<sup>[11]</sup>。缢蛏是我国传统的四大养殖经济贝类之一,分布广泛,近年来对缢蛏生理生化的研究较多,却少有对其消化生理与生长相关的研究,如章承军等研究了饥饿再投喂对缢蛏消化酶活力和抗氧化能力的影响<sup>[12]</sup>;范德朋等研究了温度、pH 对缢蛏消化酶活力的影响<sup>[13]</sup>,但目前关于消化酶活性高低与缢蛏阶段生长的关系仍未见报道。本实验通过阶段测定并比较了 6 个缢蛏家系生长阶段的生长指标,分析了家系间淀粉酶、纤维素酶的活性差异,并进一步验证了缢蛏消化酶与其食性之间的关系,旨在探讨消化酶活性对缢蛏不同家系生长发育的影响,以期为缢蛏优良生长家系的选育工作提供一定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验所用缢蛏家系为福建养殖的 F4 代群体选育亲本繁育得到的 30 个全同胞家系。待缢蛏生长发育至 20 mm 左右,选择其中生长性状差异较大的 6 个家系(家系 A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>、D<sub>1</sub>、E<sub>1</sub>和 F<sub>1</sub>),每个家系随机选取 30 枚生长情况良好且无破损的个体,带回实验室暂养于预先铺好海泥的实验池,喂养浓度为 3 万·mL<sup>-1</sup>的钙质角毛藻,投喂量视样品摄食情况而酌情加减,暂养 5 d 后饥饿 48 h,以便缢蛏排出消化道内残留物,而后测定各家系生长性状指标和消化酶活性。30 d 后以同样的方法对这 6 个家系再次进行测定。

### 1.2 方法

**1.2.1 生长性状测量** 用数显游标卡尺测量 6 个缢蛏家系各 30 个个体的壳长、壳宽和壳高,精确到 0.01 mm,电子天平称重,精确到 0.01 g,去壳离水后再次称量其软体部重量,精确到 0.01 g。

**1.2.2 样本制备** 参考姜永华等<sup>[21]</sup>相关样品制备的方法,将冲洗干净的缢蛏用预冷双蒸水再次冲洗后置于冰盘中解剖,迅速取出胃和消化盲囊,剔除附着物,用滤纸吸干各部位水分并称量质量,剪碎,各加入 10 倍体积(m/V)预冷双蒸水(4℃);用高速匀浆机匀浆,匀浆液用高速冷冻离心机 4℃ 10000 r·min<sup>-1</sup>冷冻离心 30 min,取上清液即酶粗提取液,4℃保存,24 h 内测定完毕,或长期保存于一 80℃低温冰箱。10 个缢蛏为一个样品,一个家系即为 3 个平行样品。

**1.2.3 消化酶活性测定** 各消化酶在测定时均设置 3 个平行实验与 3 个对照实验组。由于缢蛏主食浮游性弱而易于下沉的硅藻和底栖硅藻,体内消化酶含量为淀粉酶>纤维素酶>蛋白酶<sup>[14]</sup>,主要消化酶为淀粉酶与纤维素酶,因此本实验对该 2 种酶活力进行比较即可充分体现家系间差异。蛋白总量和淀粉酶(AMS)的测定试剂盒均采购自南京建成科技有限公司。使用考马斯亮兰法测定缢蛏组织蛋白的总量,淀粉酶活性测定使用碘-淀粉比色法。

(1) 组织蛋白浓度测定。由于缢蛏组织中蛋白浓度较高,不在考马斯亮兰法的测定范围内,故组织样本前处理后,再用 0.7%生理盐水稀释 5 倍配成 2%的组织匀浆。加样混匀后在室温静置 10 min,分光光度计测定其 D<sub>595 nm</sub> 值。公式如下:

$$\text{蛋白浓度}(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})=$$

$$\frac{\text{测定吸光值}-\text{空白吸光值}}{\text{标准品吸光值}-\text{空白吸光值}} \times \text{标准品浓度}(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$$

其中蛋白标准液浓度已知,为 0.563 g·L<sup>-1</sup>。

(2) 淀粉酶活性测定。淀粉酶(AMS)的测定使用碘-淀粉比色法<sup>[15]</sup>。37℃水浴条件下加样混匀,充分反应后,分光光度计测定其 D<sub>660 nm</sub> 值。为了保证分光光度计测定时的精确度,需使空白管吸光值与测定管吸光值之差在 0.05~0.15 范围内。故各家系批量测定前做预实验,组织样本原液分别用 0.7%生理盐水稀释 2、4、8 和 16 倍,取 0.1 mL 测定 D<sub>660 nm</sub> 值,选择合适的稀释倍数。淀粉酶活性单位定义为组织中每毫克蛋白在 37℃与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉为 1 个淀粉酶活性单位 U(10 mg/30 min)。公式如下:

$$\text{AMS 活性}(\text{U}\cdot\text{mg}^{-1})=$$

$$\frac{\text{空白吸光值} - \text{测定吸光值}}{\text{空白吸光值}} \times 0.02 \times \frac{30 \text{ min}}{7.5 \text{ min}} \div$$

$$[\text{样品量 (mL)} \times \text{组织蛋白浓度 (mg/mL)}]$$

其中样品量为 0.1 mL。

(3) 纤维素酶活性测定。纤维素酶的测定参照王琳等<sup>[16]</sup>使用的 DNS 法。pH 4.6, 50℃ 条件下反应 5 min, DNS 显色剂显色 5 min, 分光光度计测定其  $D_{490 \text{ nm}}$  值。纤维素酶活性定义为实验条件下 1 min 水解纤维素生成 1  $\mu\text{mol}$  葡萄糖所需的纤维素酶量。公式如下:

$$\text{纤维素酶活性 (U} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{\text{葡萄糖量}}{S \times E_w}$$

其中葡萄糖量 ( $\mu\text{mol}$ ) 由绘制标准曲线查表获得, 5 为酶促反应时间 (min),  $E_w$  为 1 mol 酶液的含酶量 (g)。

**1.2.4 数据处理及分析** SPSS17.0 软件进行数据分析, 单因素法进行方差分析, 差异显著性分析采用最小显著差法 (Least-Significant difference, LSD)<sup>[17]</sup>, 作图使用 EXCEL2003 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 缢蛏家系生长性状比较

4 月和 5 月 2 次对缢蛏各家系生长性状进行测量, 间隔 30 d。4 月各家系壳长、壳高、壳宽、总重和软体部重见表 1。家系  $D_1$  的 5 个生长性状均取得最大值, 且与家系  $F_1$  存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。家系  $F_1$  的 5 个生长性状均取得最小值, 且各性状显著小于家系  $D_1$ , 壳长比  $D_1$  小 30.69%, 壳高比  $D_1$  小 23.84%, 壳宽比  $D_1$  小 27.40%, 总重比  $D_1$  小 61.32%, 软体部重比  $D_1$  小 65.22%。

5 月各家系生长性状见表 2。家系  $D_1$  的 5 个生长性状均取得最大值, 且显著大于家系  $F_1$  ( $P < 0.05$ )。家系  $F_1$  的 5 个生长性状均取得最小值, 且显著小于家系  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $D_1$  和  $E_1$  ( $P < 0.05$ ), 壳长比  $D_1$  小 37.03%, 壳高比  $D_1$  小 29.22%, 壳宽比  $D_1$  小 36.15%, 总重比  $D_1$  小 74.08%, 软体部重比  $D_1$  小 82.71%。

表 1 缢蛏家系 4 月生长性状

Table 1 Growth characters of families of *Sinonovacula constricta* in April

家系 Family	壳长 Shell length	壳高 Shell height	壳宽 Shell width	总重 Body weight	肉重 Soft part weight
$A_1$	21.61±3.76 <sup>b</sup>	8.10±1.21 <sup>ab</sup>	5.53±1.20 <sup>b</sup>	0.60±0.21 <sup>b</sup>	0.13±0.04 <sup>b</sup>
$B_1$	21.40±2.96 <sup>b</sup>	7.98±0.70 <sup>c</sup>	5.22±0.63 <sup>b</sup>	0.56±0.19 <sup>b</sup>	0.14±0.03 <sup>b</sup>
$C_1$	22.19±2.65 <sup>b</sup>	8.10±1.06 <sup>ab</sup>	5.43±0.93 <sup>b</sup>	0.65±0.23 <sup>b</sup>	0.12±0.04 <sup>b</sup>
$D_1$	27.34±4.02 <sup>a</sup>	9.69±1.29 <sup>a</sup>	6.57±1.00 <sup>a</sup>	1.06±0.33 <sup>a</sup>	0.23±0.08 <sup>a</sup>
$E_1$	22.10±3.02 <sup>b</sup>	7.99±0.92 <sup>c</sup>	5.31±0.73 <sup>b</sup>	0.62±0.12 <sup>b</sup>	0.12±0.02 <sup>b</sup>
$F_1$	18.95±2.68 <sup>c</sup>	7.38±0.64 <sup>d</sup>	4.77±0.65 <sup>c</sup>	0.41±0.11 <sup>c</sup>	0.08±0.02 <sup>c</sup>

注: 每一列相同字母表示差异不显著。下同。

Note: The same letter in each line means no significant difference ( $P > 0.05$ ). The same below.

表 2 缢蛏家系 5 月生长性状

Table 2 Growth characters of families of *Sinonovacula constricta* in May

家系 Family	壳长 Shell length	壳高 Shell height	壳宽 Shell width	总重 Body weight	肉重 Soft part weight
$A_1$	30.83±2.00 <sup>c</sup>	10.72±0.73 <sup>c</sup>	7.24±0.69 <sup>c</sup>	1.38±0.34 <sup>c</sup>	0.49±0.08 <sup>c</sup>
$B_1$	30.02±1.72 <sup>c</sup>	10.57±0.57 <sup>c</sup>	7.20±0.31 <sup>c</sup>	1.38±0.31 <sup>c</sup>	0.38±0.09 <sup>c</sup>
$C_1$	36.48±0.82 <sup>ab</sup>	12.06±0.86 <sup>ab</sup>	8.48±0.33 <sup>ab</sup>	2.21±0.34 <sup>ab</sup>	0.68±0.14 <sup>b</sup>
$D_1$	41.64±2.62 <sup>a</sup>	13.45±0.87 <sup>a</sup>	9.93±0.79 <sup>a</sup>	3.55±0.61 <sup>a</sup>	1.33±0.23 <sup>a</sup>
$E_1$	36.14±2.81 <sup>ab</sup>	11.90±0.96 <sup>ab</sup>	8.16±0.72 <sup>ab</sup>	2.17±0.07 <sup>ab</sup>	0.67±0.17 <sup>b</sup>
$F_1$	26.22±2.17 <sup>d</sup>	9.52±1.01 <sup>d</sup>	6.34±0.73 <sup>d</sup>	0.92±0.28 <sup>d</sup>	0.23±0.08 <sup>d</sup>

### 2.2 各家系淀粉酶活性比较

2 次测定缢蛏 6 个家系淀粉酶活性, 2 个月的趋势对比见图 1。随着日龄的增长, 各个家系缢蛏个体的淀粉酶活性都有所增长, 2 次的测量值显示同样的趋势,  $D_1 > C_1 > E_1 > A_1 > B_1 > F_1$ ,  $D_1$  与  $C_1$  淀粉酶活

性无显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 均显著大于其他 4 个家系 ( $P < 0.05$ )。  $A_1$  和  $B_1$  差异不显著 ( $P > 0.05$ )。  $F_1$  小于其他各家系, 且差异显著 ( $P < 0.05$ )。淀粉酶活性增长率  $A_1$  为 14.29%,  $B_1$  为 10.12%,  $C_1$  为 21.61%,  $D_1$  为 25.13%,  $E_1$  为 18.81%,  $F_1$  为 15.71%。

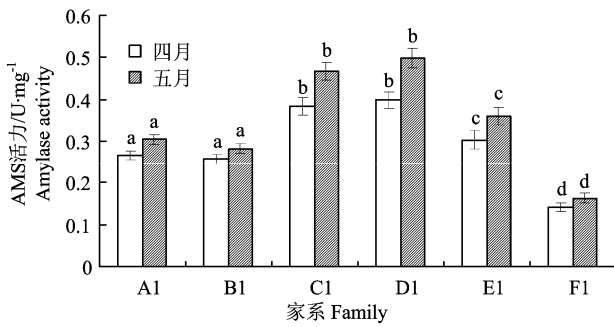


图 1 不同缢蛭家系淀粉酶活性

Figure 1 Amylase activities of *Sinonovacula constricta* from different families

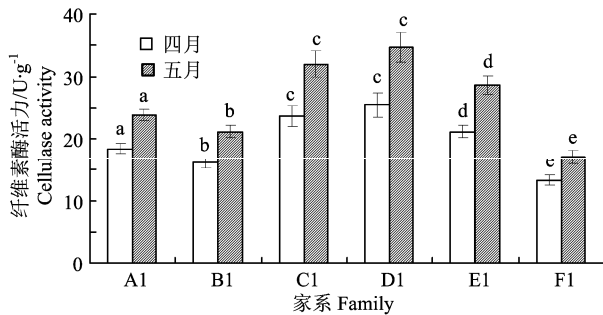


图 2 不同缢蛭家系纤维素酶活性

Figure 2 Cellulase activities of *Sinonovacula constricta* from different families

### 2.3 各家系纤维素酶活性比较

2次测定缢蛭6个家系纤维素酶活性,2个月的趋势对比见图2。随着日龄的增长,各个家系缢蛭个体的纤维素酶活性都有所增长,2次的测定结果显示了与淀粉酶一样的趋势,  $D_1 > C_1 > E_1 > A_1 > B_1 > F_1$ ,  $D_1$ 的纤维素酶活性与其他家系均差异显著( $P < 0.05$ )。  $C_1$ 显著大于  $A_1$ 、 $B_1$ 和  $F_1$ 。  $F_1$ 小于其他各家系,且差异显著( $P < 0.05$ )。纤维素酶活性增长率  $A_1$ 为29.54%,  $B_1$ 为31.55%,  $C_1$ 为35.25%,  $D_1$ 为36.31%,  $E_1$ 为35.10%,  $F_1$ 为29.51%。

## 3 讨论

### 3.1 缢蛭消化酶活性和食性的关系

通过2次对6个缢蛭家系淀粉酶活性和纤维素酶活性的测定,发现缢蛭胃、消化盲囊等组织内淀粉酶活性较高,而纤维素酶的活性很低,仅为淀粉酶活性的十分之一。

缢蛭是滤食性海洋贝类,主要摄食水体中微藻或有机碎屑。在自然海区中硅藻较多,而在人工养殖中,大多投以小型藻如金藻、钙质角毛藻、扁藻等。金藻的组成物质主要为果胶等碳水化合物<sup>[18]</sup>,硅藻的同化产物为金藻昆布糖<sup>[19]</sup>,吉宏武等研究了

3种绿藻的主要化学成分,发现多糖含量高<sup>[20]</sup>,而且主要以淀粉的形式储存在体内。可见缢蛭所摄食的藻类内富含碳水化合物,所以需要较高的淀粉酶活性用于水解碳水化合物。有研究认为不同生物体内消化酶的活性与其食性有直接关系<sup>[21]</sup>。刘万顺等<sup>[22]</sup>用多种底物对滨螺(*Littorina* sp.)和紫贻贝(*Mytilus edulis*)的消化酶进行了研究,发现摄食定生海藻的滨螺的纤维素酶活性较高,而摄食小型微藻的紫贻贝的淀粉酶活性较高,纤维素酶活性却很低。本实验结果表明缢蛭体内消化酶情况与紫贻贝测定结果相似,这说明缢蛭体内消化酶活性的确与其食性有关,食小型微藻的缢蛭表现为高水平的淀粉酶活性和低水平的纤维素酶活性,而以定生海藻为主要饵料的贝类表现相反的消化酶活性。

此外,在对皱纹盘鲍消化酶活性的研究中,李太武发现随着皱纹盘鲍的个体发育,其体内淀粉酶含量和纤维素酶含量有所变化,其发育初期主要摄食浮游性较弱的硅藻,体内淀粉酶含量高,当发育为成鲍后,主要摄食纤维素含量较高的大型定生藻,体内纤维素酶活性变高<sup>[23]</sup>。缢蛭在生长发育过程中也会摄食水体中其他物质如海洋有机碎屑等,在发育的不同阶段对这些物质的摄取率是否不同,对缢蛭体内不同消化酶活性是否有影响,还有待进一步研究。

### 3.2 缢蛭消化酶活性和生长的关系

消化酶和生物体生长发育之间关系密切。姜永华等<sup>[21]</sup>研究了九孔盘鲍不同生长发育时期性腺内的消化酶活性,发现九孔盘鲍消化酶活性随着性腺的发育先升高后降低。通过研究中国对虾幼体和仔虾时期消化酶活性,刘玉梅发现随着虾苗的生长发育,其食性的变化影响着体内主要消化酶的改变,同时发现不同季节中国对虾消化器官内消化酶成分也有所不同<sup>[24]</sup>。消化酶是反映生物体对营养物质的消化机能的重要指标,消化酶的高活性说明生物体对营养物质有较强的消化吸收能力,从而能够加快个体生长。

缢蛭主要摄食水体中富含碳水化合物的微藻,而其体内有较高含量的淀粉酶和很少的纤维素酶,说明淀粉酶起到很重要的生理作用,高水平的淀粉酶活性保证了其对物质的消化、吸收,并将其转化为维持生命、生长发育和繁殖所需能量的能力,直接影响其生长发育。实验中2次测量缢蛭各家系生长指标,各性状均显示  $D_1 > C_1 > E_1 > A_1 > B_1 > F_1$ ,而相对应的是个体消化酶活性的增长,2次测定淀粉酶和纤维素酶活性结果为  $D_1 > C_1 > E_1 > A_1 > B_1$

>F<sub>1</sub>, 从而表明高水平的消化酶活性使得个体能更好地消化吸收营养来促进个体生长。

高水平的消化酶活性反映出较强的消化生理机能和生长力, 通过实验可以进一步确定家系 D<sub>1</sub>、C<sub>1</sub> 为快速生长家系, 有明显的生长优势, 可留选作为缢蛭优良品系的育种材料。在缢蛭大规模养殖生产的过程中, 随着春季气温上升, 缢蛭开始大量摄食并快速生长, 更高的消化酶活性能够为缢蛭的快速生长提供保证, 提高缢蛭养殖经济效益。

### 3.3 缢蛭消化酶活性的变化

目前有较多关于温度与鱼虾类消化酶活性的研究<sup>[25-28]</sup>, 且研究结果表明温度对消化酶活性具有显著影响, 而关于温度对贝类消化酶活性影响的研究较少。由图 1 和图 2 可以看出, 在实验过程中, 壳长的相对增长率 C<sub>1</sub>、D<sub>1</sub>、E<sub>1</sub> 显著大于 A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、F<sub>1</sub> ( $P < 0.05$ ), 相对应的各个缢蛭家系的淀粉酶活性和纤维素酶活性有同样的增长率变化趋势, 初步推测该变化是由于气温升高从而致使缢蛭体内消化酶活性大大提升, 同时该实验处于缢蛭旺盛生长阶段, 其个体消化系统也在不断发育完善, 为消化酶活性的提升提供基础。本实验为温度与贝类消化酶活性的关系提供了一定研究基础, 具体的温度、缢蛭消化系统发育程度以及一些潜在的内外在因素与消化酶活性间的关系还有待进一步研究探讨。

### 参考文献:

- [1] 杨蕙萍, 董圣英. 国内外关于水产动物消化酶研究的概况[J]. 大连水产学院学报, 1998, 13(3): 64-71.
- [2] 安贤惠, 李联泰, 林春梅. 几种贝类消化酶活力的比较[J]. 淮海工学院学报(自然科学版), 2007, 16(1): 57-59.
- [3] 何云, 王成章, 严学兵, 等. 苜蓿草粉对黄河鲤鱼消化生理指标的影响[J]. 草地学报, 2010, 18(1): 121-125; 136.
- [4] 王柏海, 王俊刚, 雷朝亮. 人工饲养和野生美洲大蠊消化酶活性差异研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2007, 18(2): 95-97.
- [5] 赵春彦, 郭娟, 李秀娟, 等. 齐口裂腹鱼肠道主要消化酶活性探研[J]. 通化师范学院学报, 2010(2): 42-44.
- [6] 王川, 刘晓蕾, 蒲德永, 等. 延迟投饵对胭脂鱼仔鱼生长及消化酶活性的影响[C]//中国海洋湖沼学会鱼类学分会, 中国动物学会鱼类学分会 2012 年学术研讨会论文摘要汇编. 2012.
- [7] 蔡永祥. 几种饲料添加剂对日本沼虾消化酶及免疫相关因子的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [8] 董云伟, 牛翠娟. 饲料蛋白水平对罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*) 生长和消化酶活性的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2001, 37(1): 96-99.
- [9] 杨志刚, 阙有清, 纪连元, 等. 以配合饲料替代杂鱼对中华绒螯蟹生长及消化酶活性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(3): 81-85.
- [10] 李俊辉, 王庆恒, 杜晓东, 等. 温度和 pH 对马氏珠母贝肝胰脏消化酶活力的影响[J]. 水产科学, 2011(2): 115-117.
- [11] 李文波, 高如承, 潘辉, 等. 不同饵料对西施舌稚贝生长及消化酶活性的影响[J]. 安徽农学通报(上半月刊), 2012(9): 175-178.
- [12] 章承军, 刘健, 陈锦辉, 等. 饥饿再投喂对缢蛭消化酶活力和抗氧化能力的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(7): 1106-1112.
- [13] 范德朋, 潘鲁青, 肖国强, 等. 温度、pH 对缢蛭 (*Sinonovacula constricta*) 消化酶活力的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2003(4): 69-73.
- [14] 刘巧林, 谢帝芝, 徐丽娟, 等. 贝类消化酶的研究进展[J]. 饲料博览, 2009(9): 20-22.
- [15] 张雨, 陈爱华, 姚国兴, 等. 文蛤红壳色选育子代 2 种壳色群体生长与消化酶活性的比较[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 197-199.
- [16] 王琳, 刘国生, 王林嵩, 等. 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.
- [17] 何毛贤, 管云雁, 林岳光, 等. 马氏珠母贝家系的生长比较[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(1): 39-43.
- [18] 石娟, 潘克厚. 不同光照条件对小新月菱形藻和等鞭金藻 8701 生长及生化成分的影响[J]. 中国水产科学, 2004, 11(2): 121-128.
- [19] 李伟新. 湛江内湾细基江藻生态研究[J]. 海洋科学, 1982(1): 31-34.
- [20] 吉宏武, 赵素芬. 南海 3 种可食绿藻化学成分及其营养评价[J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(3): 19-23.
- [21] 姜永华, 颜素芬, 严正凛. 九孔鲍性腺发育过程中消化酶活力的变化[J]. 水产科学, 2012, 31(3): 125-131.
- [22] 刘万顺, 李濒. 海洋无脊椎动物消化酶的研究— I . 紫贻贝, 日本蟳, 滨螺消化酶的初步分析及其应用[J]. 山东海洋学院学报, 2005, 18(1): 54-62.
- [23] 李太武, 聂丽萍, 刘金屏, 等. 皱纹盘鲍消化酶的研究[J]. 水产科学, 1995, 14(5): 3-7.
- [24] 刘玉梅, 朱谨钊, 吴厚余, 等. 中国对虾幼体和仔虾消化酶活力及氨基酸组成的研究[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 571-575.
- [25] 田相利, 任晓伟, 董双林, 等. 温度和盐度对半滑舌鳎幼鱼消化酶活性的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2008, 38(6): 895-901.
- [26] 韩庆, 刘良国, 张建平, 等. 温度和 pH 对洞庭鲢鱼消化酶活性的影响[J]. 水生生物学报, 2011, 35(1): 22-29.
- [27] 黄燕华, 王国霞, 刘襄河, 等. 温度和 pH 对南美白对虾主要消化酶活性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2008, 29(4): 87-90; 94.
- [28] 白海文, 张颖, 李雪, 等. 温度对施氏鲟幼鱼摄食、生长和肠道消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(5): 799-805.