

# 温度和 pH 值对南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 消化酶活性的影响\*

沈文英 胡洪国<sup>†</sup> 潘雅娟

(绍兴文理学院生物科学系 绍兴 312000)

<sup>†</sup>(绍兴县水产技术推广站 绍兴 312000)

**提要** 采用双因子交互的方法研究了不同温度和 pH 值对南美白对虾淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶活性的影响。结果表明,南美白对虾肝脏、肠道、胃的淀粉酶最适温度分别为 30℃、35℃、30—35℃,最适 pH 均为 6.2。肝脏、肠道、胃的蛋白酶最适温度分别为 50—65℃、55—65℃、60℃,肝脏蛋白酶最适 pH 为 8.5—9.0,肠道蛋白酶最适 pH 为 7.5—8.5,胃蛋白酶最适 pH 为 2.0 和 5.5—6.5。脂肪酶的活力很小,肝脏、肠道、胃的脂肪酶最适温度均为 37℃,最适 pH 均为 7.7。同时测得南美白对虾肠道、肝脏、胃组织内的 pH 分别为 6.7—7.0、5.9—6.1、5.1—5.3。在三种消化酶各自最适的温度、pH 值下,比较其活力大小,在肝脏、肠道、胃均为蛋白酶 > 淀粉酶 > 脂肪酶。

**关键词** 南美白对虾,温度,pH,消化酶活性

**中图分类号** Q48

国内外对经济甲壳类动物消化酶的研究主要集中在不同发育阶段消化酶活力的变化,以及消化酶对饵料组成的适应等方面(潘鲁青等,1997;刘玉梅等,1990; Lovett, 1990; Brocherhoff *et al.*, 1970; Patricia *et al.*, 1990a, b; Maugle, 1982a)。pH 值和温度对甲壳类消化酶的影响的研究较少,于书坤(1987)研究了温度和 pH 值等几种因子对中国对虾 (*Penaeus orientalis*) 消化酶的影响;吴垠等(1997)研究了温度对中国对虾、日本对虾 (*Penaeus japonicus*) 主要消化酶活性的影响等。南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 由中国科学院海洋研究所于 1988 年引入我国,因其具有对水环境抗逆能力强、营养要求低、生长速度快、对盐度适应范围广、离水存活时间长、抗病力强等优点,成为目前世界养殖产量最高的三大虾种(南美白对虾、斑节对虾 *Penaeus monodon* 和日本对虾)之一(王雷等,1994)。目前,关于南美白对虾的研究主要集中在人工繁育和病害防治等方面(王吉桥,2002; Zarain *et al.*, 2001; 叶海辉等,2004,对其消化酶的研究未

见报道。作者采用温度和 pH 值双因子交互的方法研究对南美白对虾胃、肝脏、肠道淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶活性的影响,以期找到三种消化酶的最适反应温度和 pH 值,为南美白对虾的消化生理学研究提供基础数据,同时为配合饲料的研制提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料和样品制备

南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 取自浙江省绍兴县南美白对虾苗种场,选取健康个体,体重为  $(6.58 \pm 0.78)$  g。取对虾在冰块上解剖,每次 20 尾,取出肝脏、肠道、胃组织,剔除附着物,电子天平称重后,将所取样品加 10 倍体积 ( $W/V$ ) 预冷重蒸水,在 0—4℃ 下研磨成匀浆,取部分匀浆液直接用于测定脂肪酶活性,其余部分置于 4℃ 冰箱抽提 20—28h,使消化酶尽可能溶解,高速冷冻离心机离心 (0—4℃, 10000r/min, 30min),取上清液 (即为酶粗提液),用于测定蛋白酶和淀粉酶。

\* 国家高新技术研究发展计划(863)资助项目,2001AA622060 号。沈文英,副教授,E-mail: zoology@zscas.edu.cn

收稿日期:2003-07-09, 收修改稿日期:2003-10-30

## 1.2 酶活力测定

采用 0.2mol/L 磷酸氢二钠-柠檬酸钠缓冲液调节 pH, 用恒温水浴锅调节反应温度。

**1.2.1 淀粉酶活力测定** 采用以可溶性淀粉为底物的 3,5-二硝基水杨酸显色法。淀粉酶活力定义为: 在一定的 pH 和温度下, 每分钟催化淀粉生成 1mg 麦芽糖为一个酶活力单位 (mg/min)。pH = 5.2—8.7, 以 0.5 为幅度, 设置 8 个梯度, 分别在不同 pH 下测酶活力, 反应温度分别设计为 15、20、25、30、35、40℃。

**1.2.2 脂肪酶活力测定** 采用以聚乙烯醇橄榄油为底物的标准氢氧化钠溶液滴定法。脂肪酶活力定义为: 在一定的 pH 和温度下, 每分钟催化产生 1 $\mu$ mol 脂肪酸为一个酶活力单位 ( $\mu$ mol/min)。pH = 5.7—8.2, 以 0.5 为幅度, 设置 6 个梯度, 反应温度分别为 25、30、35、37、40、45℃。

**1.2.3 蛋白酶活力测定** 采用以酪蛋白为底物的福林-酚试剂显色法。蛋白酶活力定义为: 在一定的 pH 和温度下, 每分钟水解酪蛋白产生 1 $\mu$ g 酪氨酸为 1 个酶活力单位 ( $\mu$ g/min)。胃蛋白酶活力测定在 pH = 1.5—6.5, 以 0.5 为幅度, 设置 10 个梯度; 肝脏、肠蛋白酶活力测定在 pH = 4.5—9.0, 以 0.5 为幅度, 设置 10 个梯度, 两者反应温度均分别为 25、30、37、40、45、50、55、60、65℃。

## 1.3 其他数据测定和处理

**消化器官内 pH 值测定:** 取鲜活的个体解剖, 每次 20 尾, 迅速取出肝脏、肠道、胃组织, 用精密 pH 试纸测其中的 pH 值。

**酶液蛋白浓度测定:** 以标准牛血清白蛋白作标准, 采用考马斯亮蓝 G-250 染料法 (扬安刚等, 2001)。酶活性以比活力表示, 比活力 = 酶活力/

蛋白含量 (活力单位/mg 蛋白)。

实验数据处理: 采用双因素可重复方差分析不同温度、pH 值下消化酶比活力是否存在显著差异, 若存在, 采用多重比较的方法来分析消化酶的最适温度和 pH 值。

## 2 结果与分析

### 2.1 消化器官内 pH 值

用精密 pH 试纸对南美白对虾的肝脏、肠道、胃组织内的 pH 值进行测定, 肝脏、肠道、胃组织内的 pH 分别为 5.9—6.1 ( $6.08 \pm 0.04$ )、6.7—7.0 ( $6.82 \pm 0.04$ )、5.1—5.3 ( $5.22 \pm 0.04$ ), 结果表明南美白对虾消化器官内 pH 呈弱酸性。

### 2.2 温度和 pH 对淀粉酶活性的影响

根据双因素可重复方差分析得温度、pH 对淀粉酶活性均有显著影响。对温度和 pH 进行多重比较, 结果表明: 在 15—40℃ 范围, 肝脏淀粉酶的最适温度为 30℃; 肠道淀粉酶的最适温度为 35℃; 胃淀粉酶的最适温度为 30—35℃, 肝脏、肠道、胃淀粉酶的适宜温度的范围均为 25—40℃ (表 1)。在 pH = 5.2—8.7 范围, 肝脏、肠道、胃淀粉酶的最适 pH 均为 6.2, 肝脏淀粉酶适宜的 pH 范围为 5.2—7.2; 肠道淀粉酶和胃淀粉酶适宜的 pH 范围均为 5.7—7.2 (表 2)。表明南美白对虾淀粉酶在中性偏酸性时活性最高。

### 2.3 温度和 pH 对蛋白酶活性的影响

双因素可重复方差分析表明, 温度、pH 对蛋白酶活性均有显著影响。对温度和 pH 都进行多重比较, 结果表明: 在 25—65℃, 肝脏、肠道、胃蛋白酶的最适温度分别为 50—65℃、55—65℃、60℃, 肝脏、肠道、胃蛋白酶的适宜温度的范围分别为 37—65℃、45—65℃、55—65℃ (表 3)。pH = 4.5—9.0, 肝脏蛋白酶的最适 pH 为 8.5—9.0, 适

表 1 温度对淀粉酶活性的影响

Tab.1 The effect of temperature on amylase activity

温度 (°C)	肝脏	肠道	胃
15	0.023 $\pm$ 0.060 <sup>dD</sup>	0.033 $\pm$ 0.067 <sup>eD</sup>	0.111 $\pm$ 0.232 <sup>cD</sup>
20	0.149 $\pm$ 0.169 <sup>cdCD</sup>	0.198 $\pm$ 0.157 <sup>dC</sup>	0.383 $\pm$ 0.361 <sup>cCD</sup>
25	0.436 $\pm$ 0.357 <sup>bb</sup>	0.264 $\pm$ 0.193 <sup>cdBC</sup>	0.725 $\pm$ 0.505 <sup>bBC</sup>
30	0.858 $\pm$ 0.472 <sup>aa</sup>	0.356 $\pm$ 0.196 <sup>bcAB</sup>	1.210 $\pm$ 0.648 <sup>aA</sup>
35	0.380 $\pm$ 0.320 <sup>bBC</sup>	0.444 $\pm$ 0.232 <sup>abA</sup>	1.310 $\pm$ 0.788 <sup>aA</sup>
40	0.288 $\pm$ 0.316 <sup>bcBc</sup>	0.319 $\pm$ 0.205 <sup>aBC</sup>	0.913 $\pm$ 0.594 <sup>bAB</sup>

注: 表中同一列数据上标小写字母相同者, 表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 小写字母不同、大写字母相同者, 表示差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ ); 大写和小写字母均不同者, 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。以下同

表 2 pH 值对淀粉酶活性的影响

Tab.2 The effect of pH on amylase activity

pH 值	肝脏	肠道	胃
5.2	0.355 ± 0.326 <sup>bcBC</sup>	0.203 ± 0.143 <sup>dDE</sup>	0.562 ± 0.519 <sup>deCDE</sup>
5.7	0.567 ± 0.443 <sup>bAB</sup>	0.378 ± 0.210 <sup>bABC</sup>	0.923 ± 0.730 <sup>bcBC</sup>
6.2	0.817 ± 0.450 <sup>aA</sup>	0.492 ± 0.172 <sup>aA</sup>	1.520 ± 0.648 <sup>aA</sup>
6.7	0.427 ± 0.379 <sup>bBC</sup>	0.408 ± 0.213 <sup>abAB</sup>	1.187 ± 0.706 <sup>abAB</sup>
7.2	0.363 ± 0.369 <sup>bcBC</sup>	0.327 ± 0.172 <sup>bcBCD</sup>	1.050 ± 0.658 <sup>bABC</sup>
7.7	0.192 ± 0.298 <sup>cdCD</sup>	0.250 ± 0.194 <sup>cdCD</sup>	0.613 ± 0.375 <sup>cdCD</sup>
8.2	0.045 ± 0.082 <sup>dd</sup>	0.075 ± 0.092 <sup>efEF</sup>	0.253 ± 0.225 <sup>efDE</sup>
8.7	0.030 ± 0.056 <sup>dd</sup>	0.017 ± 0.018 <sup>ef</sup>	0.093 ± 0.114 <sup>ef</sup>

表 3 温度对蛋白酶活性的影响

Tab.3 The effect of temperature on protease activity

温度(°C)	肝脏	肠道	胃
25	0.364 ± 0.208 <sup>fd</sup>	0.336 ± 0.136 <sup>ed</sup>	1.018 ± 0.384 <sup>deDE</sup>
30	0.677 ± 0.335 <sup>efCD</sup>	0.482 ± 0.128 <sup>ed</sup>	0.779 ± 0.158 <sup>eE</sup>
37	1.055 ± 0.553 <sup>deBc</sup>	0.502 ± 0.261 <sup>ed</sup>	1.339 ± 0.661 <sup>edDE</sup>
40	1.264 ± 0.755 <sup>cdB</sup>	0.821 ± 0.377 <sup>deCD</sup>	1.333 ± 0.604 <sup>cdDE</sup>
45	1.605 ± 0.797 <sup>cB</sup>	1.264 ± 0.533 <sup>caBC</sup>	1.393 ± 0.622 <sup>cdD</sup>
50	2.402 ± 1.223 <sup>bA</sup>	1.802 ± 0.708 <sup>cB</sup>	1.540 ± 0.570 <sup>cdD</sup>
55	2.863 ± 1.381 <sup>aA</sup>	2.941 ± 1.365 <sup>abA</sup>	2.084 ± 1.015 <sup>bBC</sup>
60	2.676 ± 1.333 <sup>abA</sup>	3.081 ± 1.459 <sup>aA</sup>	2.663 ± 1.199 <sup>aA</sup>
65	2.278 ± 1.172 <sup>bA</sup>	2.490 ± 1.256 <sup>bA</sup>	2.341 ± 1.421 <sup>abAB</sup>

适宜的 pH 范围为 6.0—9.0; 肠道蛋白酶的最适 pH 为 7.0—8.5, 适宜的 pH 范围为 5.5—9.0; 在 PH = 1.5—6.5, 胃蛋白酶的最适 pH 为 2.0 和 5.5—

6.5, 适宜的 pH 范围为 2.0 和 4.5—6.5(表 4)。说明南美白对虾肝脏、肠道蛋白酶在碱性条件活性最高, 而胃蛋白酶在酸性条件活性最高。

表 4 pH 值对蛋白酶活性的影响

Tab.4 The effect of pH on protease activity

pH 值	肝脏	肠道	胃
1.5	—	—	0.744 ± 0.139 <sup>dd</sup>
2.0	—	—	2.490 ± 0.982 <sup>aA</sup>
2.5	—	—	1.040 ± 0.469 <sup>cdCD</sup>
3.0	—	—	1.001 ± 0.274 <sup>cdCD</sup>
3.5	—	—	0.727 ± 0.179 <sup>dd</sup>
4.0	—	—	1.014 ± 0.227 <sup>cdCD</sup>
4.5	0.116 ± 0.076 <sup>dd</sup>	0.328 ± 0.201 <sup>dd</sup>	1.441 ± 0.541 <sup>cSC</sup>
5.0	0.287 ± 0.104 <sup>dd</sup>	0.492 ± 0.227 <sup>cdCD</sup>	1.958 ± 1.037 <sup>bAB</sup>
5.5	1.417 ± 0.932 <sup>cC</sup>	1.197 ± 0.936 <sup>bBC</sup>	2.393 ± 1.144 <sup>abA</sup>
6.0	1.652 ± 1.051 <sup>bcBc</sup>	1.411 ± 1.128 <sup>abAB</sup>	2.378 ± 1.128 <sup>abA</sup>
6.5	1.956 ± 1.159 <sup>abABC</sup>	1.733 ± 1.246 <sup>abAB</sup>	2.522 ± 1.208 <sup>aA</sup>
7.0	2.164 ± 1.149 <sup>aAB</sup>	2.036 ± 1.427 <sup>aA</sup>	—
7.5	2.258 ± 1.172 <sup>aAB</sup>	2.023 ± 1.494 <sup>aA</sup>	—
8.0	2.291 ± 1.147 <sup>aAB</sup>	2.082 ± 1.476 <sup>aA</sup>	—
8.5	2.391 ± 1.120 <sup>aA</sup>	1.932 ± 1.446 <sup>aA</sup>	—
9.0	2.340 ± 1.211 <sup>aA</sup>	2.009 ± 1.629 <sup>aAB</sup>	—

## 2.4 温度和 pH 对脂肪酶活性的影响

根据双因素可重复方差分析得温度、pH 对脂肪酶活性均有显著影响。对温度和 pH 都进行多重比较,结果表明:在 25—45℃ 范围,肝脏、肠道、胃脂肪酶的最适温度均为 37℃;肝脏、肠道脂肪酶的适宜温度的范围均为 30—45℃,胃脂肪酶的适宜温度的范围为 25—45℃(表 5)。pH = 5.7—8.2,肝脏、肠道、胃脂肪酶的最适 pH 均为 7.7,肝脏、肠道脂肪酶的适宜的 pH 范围均为 6.2—8.2,胃脂肪酶适宜的 pH 范围为 6.7—8.2(表 6)。说明南美白对虾脂肪酶在中性偏碱性时活性

最高。

## 2.5 消化酶活性的组织差异性

在三种消化酶各自最适的温度、pH 值下,对南美白对虾肝脏、肠道、胃组织的淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶活性分析表明(表 7):淀粉酶比活力在胃内最高,在肝脏和肠道中接近;蛋白酶比活力在胃、肠道、肝脏中不存在显著性差异;脂肪酶比活力大小为:胃 > 肠道 > 肝脏。说明胃内淀粉酶、脂肪酶的催化能力比较强,蛋白酶比活力在各消化器官变化不大。比较三种消化酶的活性,在肝脏、肠道、胃均为蛋白酶 > 淀粉酶 > 脂肪酶。

表 5 温度对脂肪酶活性的影响

Tab.5 The effect of temperature on lipase activity

温度(℃)	肝脏	肠道	胃
25	0.007 ± 0.008 <sup>cC</sup>	0.010 ± 0.013 <sup>dC</sup>	0.015 ± 0.023 <sup>dB</sup>
30	0.008 ± 0.013 <sup>cBC</sup>	0.025 ± 0.025 <sup>cdBC</sup>	0.018 ± 0.028 <sup>dB</sup>
35	0.020 ± 0.013 <sup>bcBC</sup>	0.045 ± 0.036 <sup>bB</sup>	0.047 ± 0.029 <sup>bcB</sup>
37	0.062 ± 0.035 <sup>AA</sup>	0.078 ± 0.043 <sup>AA</sup>	0.097 ± 0.054 <sup>AA</sup>
40	0.033 ± 0.029 <sup>bcB</sup>	0.042 ± 0.033 <sup>bCb</sup>	0.055 ± 0.041 <sup>bB</sup>
45	0.010 ± 0.013 <sup>cBC</sup>	0.018 ± 0.021 <sup>dBC</sup>	0.028 ± 0.027 <sup>bedB</sup>

表 6 pH 值对脂肪酶活性的影响

Tab.6 The effect of pH on lipase activity

pH 值	肝脏	肠道	胃
5.7	0 <sup>c</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>
6.2	0.032 ± 0.0389 <sup>abAB</sup>	0.028 ± 0.034 <sup>BC</sup>	0.033 ± 0.044 <sup>bC</sup>
6.7	0.023 ± 0.030 <sup>bABC</sup>	0.052 ± 0.041 <sup>bAB</sup>	0.062 ± 0.064 <sup>ABC</sup>
7.2	0.013 ± 0.023 <sup>bcBC</sup>	0.017 ± 0.022 <sup>cdCD</sup>	0.018 ± 0.016 <sup>bcAB</sup>
7.7	0.045 ± 0.027 <sup>AA</sup>	0.072 ± 0.029 <sup>AA</sup>	0.083 ± 0.033 <sup>AA</sup>
8.2	0.027 ± 0.014 <sup>abAB</sup>	0.050 ± 0.028 <sup>bBC</sup>	0.063 ± 0.031 <sup>AB</sup>

表 7 最适温度和 pH 条件下三种消化酶活性比较

Tab.7 Comparison of three digestive enzymes activities under the optimum temperature and pH

消化酶	肝脏	肠道	胃
淀粉酶	0.94 ± 0.20	0.70 ± 0.12	2.47 ± 0.09
蛋白酶	3.97 ± 0.18	4.27 ± 0.22	4.32 ± 0.13
脂肪酶	0.08 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.14 ± 0.03

## 3 讨论

### 3.1 消化道内 pH 值

消化道内酸碱度的作用有两方面,一方面对食物起酸性或碱性消化的作用,另一方面为消化酶提供合适的 pH 值条件(尾崎久雄,1983)。长吻鲩和南方大口鲶胃内 pH 在有食物时为 5.0—

5.5,无食物时为 6.5(叶元士等,1998)。本实验中发现空胃和胃内有食物的南美白对虾胃内 pH 均为 5.1—5.3,与哺乳动物相比要高得多,这可能是胃酸分泌较弱或因为南美白对虾适应海水生活环境所致,有待进一步研究。肠道内 pH 值是胃、肠道分泌物的混合酸碱浓度的反映。南美白对虾肠

道 pH 值为 6.7—7.0, 肝脏 pH 值为 5.9—6.1 说明南美白对虾消化器官内 pH 呈弱酸性。本实验中测得的肝脏、肠道、胃内 pH 值可为设计 pH 值对消化酶的影响实验提供依据。

### 3.2 消化酶的最适 pH 与消化酶的作用

本实验结果表明南美白对虾不同消化酶具有不同的最适 pH。南美白对虾淀粉酶的最适 pH 为 6.2, 适宜的 pH 范围为 5.7—7.2, 属中性偏酸性, 与南美白对虾消化道内的 pH 范围保持基本一致。大多数甲壳类动物淀粉酶的最适 pH 值呈偏酸性, 在 pH = 5—7 范围内。李广丽等(1996)对中华绒螯蟹淀粉酶活性测定, 表明河蟹淀粉酶在偏酸性的情况下活性最高。于书坤(1987)报道中国对虾淀粉酶的最适 pH 为 5—6, 本实验进一步证实了淀粉酶在偏酸性条件下活性较高。

南美白对虾蛋白酶在不同部位的最适 pH 有所不同。胃蛋白酶最适的 pH 为 2.0 和 5.0—6.5, 表明南美白对虾胃蛋白酶在偏酸性条件下活性最高。其中 pH 为 5.0—6.5 与南美白对虾胃内 pH 值相一致, 而胃蛋白酶另一个最适的 pH 为 2.0, 与南美白对虾胃内的 pH 值相差甚远, 这可能是由于南美白对虾胃内存在两类不同结构的胃蛋白酶, 分别在不同的最适 pH 下发挥活性。甲壳类动物肝脏、肠蛋白酶最适 pH 值的资料很少。本实验结果南美白对虾肝脏和肠蛋白酶的适宜 pH 范围为 7.5—9.0, 偏碱性。

南美白对虾脂肪酶的活力较低, 与一些学者在其他甲壳类动物中得到的结果一致。可能是因为反应条件不是最适, 也可能是生物本身脂肪酶活力很低甚至没有, 而是酯酶消化脂类(潘鲁青等, 1997)。南美白对虾脂肪酶最适 pH 均为 7.7, 为弱碱性。南美白对虾肝脏和肠的蛋白酶、脂肪酶的最适 pH 均在偏碱性, 说明偏碱性条件有利于南美白对虾蛋白酶、脂肪酶活力的发挥, 这可能与南美白对虾适宜生长在 pH = 8.0—9.0 的偏碱性水环境有关。

### 3.3 消化酶的最适温度与消化酶的作用

实验结果表明, 南美白对虾淀粉酶的最适反应温度为 30—35℃, 脂肪酶最适反应温度为 37℃, 与吴垠等(1997)在中国对虾、日本对虾中的研究结果相吻合。南美白对虾蛋白酶的最适温度为 50—65℃, 吴垠等(1997)报道中国对虾、日本对虾蛋白酶的最适温度分别为 45—55℃ 和 40—

55℃。Maugle(1982b)报道中国对虾、日本对虾蛋白酶的最适温度分别为 47℃ 和 40℃。三种对虾中, 南美白对虾蛋白酶最适温度较高, 可能是由于其适宜生长在水温较高的水域引起的。

南美白对虾三种消化酶的最适温度均高于栖息水温, 尤其是蛋白酶。在鱼类也有相似的结论(桂远明等, 1993)。消化酶最适反应温度的测定是在实验规定的反应时间条件下进行的, 实际上虾体内酶起作用的时间长的多, 所以最适温度只在一定条件下才具有意义, 但在一定程度上反映消化酶的耐热性和温度对酶活力的影响规律。

### 3.4 肝脏、肠道和胃内消化酶活性比较

在最适 pH 和最适温度下, 南美白对虾肝脏、肠道和胃组织内三种消化酶的活力存在差异性。淀粉酶和脂肪酶活力在胃内最高, 说明胃内淀粉酶和脂肪酶的催化能力比较强, 胃是南美白对虾消化淀粉和脂肪的主要场所。蛋白酶比活力在各消化器官变化不大, 且活力在三种消化酶中最大, 说明南美白对虾具有较高的蛋白质消化能力, 建议配制南美白对虾饲料时可适当提高蛋白质含量。本文中的实验结果与刘玉梅等(1984)研究中国对虾淀粉酶、李广丽等(1996)研究河蟹淀粉酶、蛋白酶得出活性顺序均是肝脏 > 胃 > 肠道的结论不十分一致, 可能是由于种间差异引起的。

### 参 考 文 献

- 于书坤, 1987. 中国对虾消化酶的研究. 海洋科学集刊, 28(10): 85—90
- 王雷, 李光友, 毛远兴, 1994. 口服免疫型药物对养殖中国对虾病害防治作用的研究. 海洋与湖沼, 25(5): 486—491
- 王吉桥, 2002. 南美白对虾健康养殖技术 I. 南美白对虾的生物学. 水产科学, 5: 43—46
- 叶元士, 林仕梅, 罗 莉等, 1998. 温度 pH 值对南方大口鲶, 长吻鲢蛋白酶和淀粉酶活力的影响. 大连水产学院学报, 13(2): 17—23
- 叶海辉, 王桂忠, 金朱兴等, 2003. 南美白对虾(*Penaeus vannamei*)视神经节和脑免疫细胞化学研究. 海洋与湖沼, 35(1): 78—83
- 刘玉梅, 朱谨钊, 1984. 对虾消化酶的研究. 海洋科学, 5: 46—50
- 刘玉梅, 朱谨钊, 吴学余, 1990. 中国对虾幼体和仔虾消化酶活力及氨基酸组成的研究. 海洋与湖沼, 22(6): 571—575
- 李广丽, 李思发, 1996. 长江、瓯江、辽河中华绒螯蟹消化

- 酶的初步研究. 上海水产大学学报, 5(2):134—137
- 扬安刚, 毛积芳, 药立波, 2001. 生物化学与分子生物学实验技术. 北京: 高等教育出版社, 247—248
- 吴 垠, 孙建明, 周遵春, 1997. 温度对中国对虾、日本对虾主要消化酶活性的影响. 大连水产学院学报, 12(2):15—21
- 桂远明, 吴 垠, 1993. 温度对草鱼、鲤、鲢、鳙主要消化酶活性的影响. 大连水产学院学报, 8(4):1—8
- 潘鲁青, 王奎琪, 1997. 三梭子蟹幼体消化酶活力及氨基酸组成的研究, 水产学报, 21(3):246—250
- 尾崎久雄著, 吴尚忠译, 1983. 鱼类消化生理学. 上海: 上海科技出版社, 104—105
- Brocherhoff H, Hovle R J, 1970. Digestive enzymes of the American lobster, J Fish Res Board of Canada, 27(8):1357—1370
- Lovett D L 1990. The change in digestive enzyme activity of larval and post-larval white shrimp *Penaeus setiferus*. Biol Bull Mar Biol Lab Woods Hole, 178(2):144—159
- Mauel P D, 1982a. Effects of short-necked clam diets on shrimp growth and digestive enzyme activities. Bull Japan Soc Sci Fish, 48(12):1759—1764
- Maugle P D, 1982b. Characteristics of amylase and protease of the shrimp *Penaeus japonicus*. Bull Jap Soc Sci Fish, 48(12):1753—1757
- Patricia M B, Judith M C, 1990a. Changes in digestive enzymes activities during early development of American lobster. J Exp Mar Bio Ecol, 136:107—122
- Patricia M B, Judith M C, 1990b. Digestive protease, lipase and amylase activities in stage I larvae of the American lobster. Comp Biochem Physiology, 95A(1):47—54
- Zarain H M, Ascencio V F, 2001. Taura syndrome in Mexico: follow-up study in shrimp farms of sinaloa. Aquaculture, 193:1—9

## EFFECTS OF TEMPERATURE AND pH ON ACTIVITY OF DIGESTIVE ENZYMES IN SHRIMP *PENAEUS VANNAMEI*

SHEN Wen-Ying, HU Hong-Guo<sup>†</sup>, PAN Ya-Juan

(Department of Biology, Shaoxing College of Arts and Sciences, Shaoxing, 312000)

<sup>†</sup>(Fishery Technology Development Station of Shaoxing County, Shaoxing, 312000)

**Abstract** Using temperature/pH two-factor cross method, activity of three digestive enzymes in liver, intestine and stomach of shrimp *Penaeus vannamei* with wet weight of  $(6.58 \pm 0.78)$ g were examined to find out the best temperature/pH environment. The results showed that when pH value ranges was between 5.2—8.7, the most favorable temperature for the amylase in liver, intestine and stomach were 30, 35 and 30—35°C respectively. When temperature range was between 15—40°C, the most favorable pH values were all 6.2. The results indicated also that the amylase was conducive in weak acidic condition. The best temperatures in liver, intestine and stomach for the protease were 50—65°C, 55—65°C and 60°C respectively when the reacting pH values range was between 4.5—9.0 in liver, intestine protease and 1.5—6.5 in stomach protease, The best pH values for the protease of liver were 8.5—9.0, and of intestine were 7.5—8.5, and of stomach were 2.0 and 5.0—6.5 when the reacting temperature range was 25—65°C. These results indicated that the most favorable temperatures in liver, intestine and stomach for protease were higher than growth temperature of *P. vannamei*. Furthermore, the protease in liver and intestine were conducive to alkaline condition while the protease in stomach was conducive to acidic condition. The activity of lipase was weak and lower than that of protease and amylase. The optimum temperature in liver, intestine and stomach for the lipase all were 37°C when the reacting pH values range was between 5.7—8.2, and the optimum pH values all were 7.7 when the reacting temperature range was between 25—45°C. The result indicated that the lipase was conducive to weak alkalinity. The pH values in intestine, liver and stomach of *P. vannamei* measured in our experiment were 5.9—6.1 ( $6.08 \pm 0.04$ ), 6.7—7.0 ( $6.82 \pm 0.04$ ) and 5.1—5.3 ( $5.22 \pm 0.04$ ) respectively. This result indicated that the pH values in digestive organs of *P. vannamei* were weak acidic. All the activity of three digestive enzymes was in an order of from strong to weak: protease, amylase, lipase in liver, intestine and stomach at the most favorable reacting temperature and pH.

**Key words** *Penaeus vannamei*, Temperature, pH, Activity of digestive enzymes