

# 斑节对虾两个种群生化遗传变异的研究

杜晓东, 秦红贵, 黄荣莲, 叶富良

(湛江海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025)

**摘要:** 采用聚丙烯酰胺梯度凝胶垂直板电泳的方法, 对斑节对虾 (*Penaeus monodon* Fabricius) 2 个种群的苹果酸酶 (ME), 苹果酸脱氢酶 (MDH), 谷氨酸脱氢酶 (GDH), 乳酸脱氢酶 (LDH), 磷酸葡萄糖变位酶 (PGM), 碱性磷酸酶 (ALP), 酸性磷酸酶 (ACP), 超氧化物歧化酶 (SOD) 和酯酶 (EST) 等 9 种同工酶做了对比分析。结果表明, 在 2 个种群的 9 种同工酶系统的 18 个位点中, 三亚种群 (中国) 有 9 个为多态位点, 占位点总数的 50.0%; 纳颚岛种群 (泰国) 有 10 个是多态位点, 占位点总数的 55.6%。其中 PGM-3 位点在三亚种群中只出现纯合型, 在纳颚岛种群中只出现杂合型; 而 MDH-1 和 ALP-3 位点在三亚种群中只出现杂合型, 在纳颚岛种群中只出现纯合型。三亚种群和纳颚岛种群的平均杂合度分别是 0.359 6 和 0.325 4, 两者的遗传距离为 0.062 0。

**关键词:** 斑节对虾 (*Penaeus monodon* Fabricius), 同工酶, 三亚种群, 纳颚岛种群, 生化遗传变异  
中图分类号: Q959.215 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2004)06-0032-05

斑节对虾 (*Penaeus monodon* Fabricius) 又名草虾, 角虾, 是对虾科中个体最大的一种。该虾肉质细嫩、滋味鲜美, 高蛋白质、低脂肪, 是国内外市场上十分畅销海鲜品, 已成为东南亚和中国南方诸省的重要养殖对象。养殖种苗主要通过人工繁殖获得。在中国供人工繁殖的亲虾主要来自两方面: 一是从东南亚进口, 二是从海南的三亚等海域捕捞。斑节对虾养殖的迅速发展, 已经造成了对野生资源的过度开发。同时, 长期大规模的无序养殖造成不同区域的种质混杂等弊端。因此, 尽快开展现有野生种群的遗传结构等基础性研究已显得十分迫切, 这是保护野生资源和阻止斑节对虾遗传多样性的丧失所必需的理论依据。然而, 到目前为止, 国内外关于斑节对虾主要是养殖和人工育苗等方面, 遗传学等基础研究报道还不多<sup>[1, 2]</sup>, 尤其是用同工酶方法研究不同野生种群的遗传多样性还未见报道。作者选择大量进口的泰国纳颚岛种群和国内的三亚种群为研究对象, 用同工酶分析其遗传结构, 并计算多样性指数以及两者的遗传距离, 以期为该物种的多样性和人工育种的生产实践提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验用虾来自我国的三亚海域和泰国的纳颚岛海域, 每个种群各取 30 个个体。活体运回实验室后,

低温条件下解剖取肌肉和肝胰脏, 样品置于  $-85^{\circ}\text{C}$  超低温冰箱保存备用。

### 1.2 样品的制备

每个样品取肌肉或肝胰脏约 0.3 g, 每克加入 0.3% 的 NAD 3 mL, 在冰浴下匀浆, 匀浆液于高速冷冻离心机中以  $17\ 000\ \text{r}/\text{min}$  ( $4^{\circ}\text{C}$ ) 离心 20 min (肝胰脏需 2 次离心), 取上清液各分为 2 份, 分装于干净的 1.5 mL 的离心管中, 一份放入  $4^{\circ}\text{C}$  冰箱待用, 另一份则置于超低温冰箱保存以备核查。

### 1.3 电泳与显色

主要参照朱蓝菲<sup>[3]</sup>的聚丙烯酰胺凝胶梯度垂直板电泳法, LDH, MDH, ME 和 GDH 同工酶系统所用凝胶梯度为 4% ~ 15%, 其他同工酶系统所用的凝胶梯度为 4% ~ 25%, 采用北京六一仪器厂生产的 DYY-III 6B 型稳压稳流电泳仪进行电泳, 每点样孔加样量为 20  $\mu\text{L}$ , 其中 MDH 和 LDH 加样量适当减少一些。另

收稿日期: 2003-11-17, 修回日期: 2004-03-12

基金项目: 广东省海洋与渔业厅种质标准化项目

作者简介: 杜晓东 (1962-), 男, 四川剑阁人, 副教授, 博士, 主要从事海洋无脊椎动物生物学及增养殖研究, 电话: 0759-2382404, E-mail: zjxd@21cn.com

加等量的 20% 蔗糖溴酚蓝溶液,电泳在 4 ℃(置于保鲜冰箱)条件下进行,以稳压(200V)电泳 12 h。染色主要按照王中仁<sup>[4]</sup>的方法,并参照其他配方适当改进,以显带清楚为宜,染色后倒出染色废液,用双蒸水冲洗后立即描绘示意图谱并拍照,然后放入 1% 的冰醋酸中保存。

## 1.4 同工酶的命名及谱型分析

作者使用基因构成命名法对酶谱带进行命名,即用英文小写字母代表编码该酶带的基因组成,用相应的大写字母代表该酶带的名称,如,在一个基因型为  $a_1a_2$  二倍体中,电泳后酶谱上的二聚体酶的酶带有 3 条: $A_1A_1$ ,  $A_1A_2$  和  $A_2A_2$ (泳动速率最快的定为  $A_1A_1$ )。以向阳极泳动最慢的酶谱带开始对各个酶位点进行命名,如 ALP 酶系统,离阴极最近的位点称为 ALP-1 位点,其它的依次称为 ALP-2, ALP-3 等。酶谱分析主要根据王中仁总结的基本原则进行。

## 1.5 基因变异的量度

各参数的计算主要源于王中仁的《植物等位酶分析》和熊全沫<sup>[5]</sup>的“同工酶电泳数据的分析及其在种群遗传上的应用”。多态位点比例  $P = \text{多态位点数} / \text{总位点数}$ ; 等位基因频率  $X = (2a + ab) / [2(a + ab + b)]$  其中  $a, b$  为等位基因。

平均杂合度  $H = \sum (1 - \sum X_i^2) / n$ , 其中  $X_i$  为等位基因  $i$  的频率;  $n$  为所测位点数。

杂合子缺失指数  $F = 1 - H_o / H_e$ , 其中  $H_o$  为观测杂合度,  $H_e$  为期望杂合度。

基因分化系数  $D_{st} = (H_T - H_S) / H_T$ , 其中  $H_T$  为总群体基因多样性,  $H_S$  为亚群内基因多样性。

群体间遗传一致性 (Genetic identity, )  $I = \sum X_{ij} Y_{ij} / (\sum X_{ij}^2 \times \sum Y_{ij}^2)^{1/2}$ , 其中  $X_{ij}, Y_{ij}$  分别为  $X, Y$  两个群体中第  $j$  个基因位点上第  $i$  个等位基因频率。

遗传距离 (Genetic distance)  $D = -\ln I$

## 2 结果与分析

### 2.1 酶系统谱带分析

#### 2.1.1 苹果酸酶 (ME E.C.1.1.1.40)

显示 1 个位点,谱带呈现出二聚体的谱型,杂合子显示 3 条带,有的个体出现亚带。2 个种群均有多态(图 1-1)。

#### 2.1.2 苹果酸脱氢酶 (MDH E.C.1.1.1.37)

有互不形成异构体的细胞质型 ( $s$ -MDH) 和线粒体型 ( $m$ -MDH) 两种,前者迁移率较慢,后者较快。图谱显示  $s$ -MDH-1 位点的酶为二聚体,其中纳颚岛种群只有 AA 带,而三亚的则都是杂合体带型, BB 带和 AB 带为其特征带,而  $s$ -MDH-2 染色不够理想;迁移率较快的  $m$ -MDH 为四聚体,显示出 5 条带,全部是杂合子,未见有纯合子出现(图 1-2)。

#### 2.1.3 谷氨酸脱氢酶 (GDH E.C.1.4.1.2)

只有一个位点 GDH-1, 为二聚体。2 个种群均有多态(图 1-3)。

#### 2.1.4 乳酸脱氢酶 (LDH E.C.1.1.1.27)

凝胶图谱显示一个清晰的位点 LDH-1, 2 个种群都只出现纯合子(图 1-4)。

#### 2.1.5 磷酸葡萄糖变位酶 (PGM E.C.5.4.2.2)

共有 3 个位点,是单体酶,其中 PGM-2 只有纯合子出现, PGM-3 的位点在三亚种群只出现纯合子 AA 带型,而在纳颚岛种群只出现杂合子带型,因而其 B 带为纳颚岛种群的特征带(图 1-5)。

#### 2.1.6 碱性磷酸酶 (ALP E.C.3.1.3.1)

凝胶图谱显示至少有 5 个位点,为单体酶。ALP-3 位点的纳颚岛种群全部呈现为纯合子,三亚种群只有杂合子出现,相应的 BB 带即为三亚种群的特征带, ALP-4 位点为多态位点。ALP 的前 4 个位点为正常基因编码,而 ALP-5 及以后的位点均为哑基因编码,其酶带只在极少数个体中出现,且只存在于在三亚种群中。(图 1-6)

#### 2.1.7 酸性磷酸酶 (ACP E.C.3.1.3.2)

为两个位点编码的单体酶,在三亚种群中出现了哑基因编码的酶带(图 1-7)。

#### 2.1.8 超氧化物歧化酶 (SOD E.C.1.15.1.1)

二聚体酶, 2 个位点编码, SOD-1 位点都是纯合子,多数个体出现亚带(图 1-8)。

#### 2.1.9 酯酶 (EST E.C.3.1.1.1)

为多位点编码的单体酶,酶带极为复杂,给分析造成一定的困难,同样根据迁移率的大小,可以将酶带分为 2 个区,迁移率小的称为 I 区,酶谱比较简单,含有 2 个明显的位点,其中 EST-2 是多态位点。而关键在于 II 区,不同位点的酶带不仅出现了交叉,而且出现了酶带重叠,该区带中出现了 3 个以上的等位基因, EST-1 位点出现亚带(图 1-9)。

## 2.2 数据计算

2.2.1 多态位点及多态位点百分数 三亚种群为 50.0%, 纳颚岛种群为 55.6%。

2.2.2 平均每个位点的  $H_e, H_o, H_s, H_t$  和  $D_{st}$  见表 1。计算得到三亚种群的平均  $H_e$  和  $F$  分别是 0.359 6 和 -0.157 1; 纳颚岛种群则分别为 0.325 4 和 -0.228 6。种群间的平均  $D_{st}$  为 27.12%。

2.2.3 2 个种群的  $I = 0.939 9; D = -\ln I = 0.062 0$ 。

## 3 讨论

本实验通过对斑节对虾 2 个不同地理种群的 9 种同工酶 18 个位点的比较研究,发现 2 个种群的 EST-1, PGM-2, SOD-1 和 LDH-1 这 4 个位点都

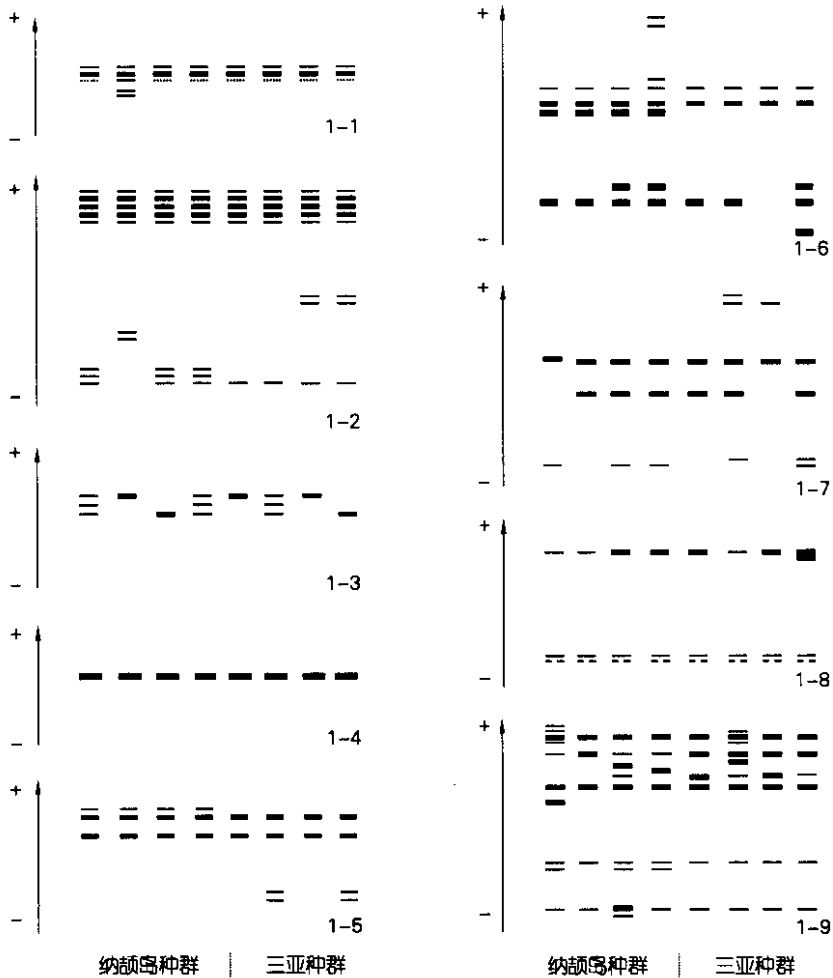


图1 酶系统电泳图谱

Fig.1 Isozyme patterns of enzyme system

1-1. 苹果酸酶; 1-2. 苹果酸脱氢酶; 1-3. 谷氨酸脱氢酶; 1-4. 乳酸脱氢酶; 1-5. 磷酸葡萄糖变位酶; 1-6. 碱性磷酸酶; 1-7. 酸性磷酸酶; 1-8. 超氧化物歧化酶; 1-9. 酯酶

1-1. ME; 1-2. MDH; 1-3. GDH; 1-4. LDH; 1-5. PGM; 1-6. ALP; 1-7. ACP; 1-8. SOD; 1-9. EST

是纯和型, 显著偏离哈迪-温伯格平衡。2个种群的平均杂合度比较接近, 分别是 0.359 (三亚种群) 和 0.325 (纳颌岛种群)。三亚种群有 9 个多态位点, 占总位点的 50%。纳颌岛种群有 10 个多态位点, 占总位点的 55.6%。2 个种群的遗传结构还是具有明显的差异, 比如, *PGM-3* 位点在三亚种群中只出现纯合型, 在纳颌岛种群中只出现杂合型, 而 *MDH-1* 和 *ALP-*

*3* 位点在三亚种群中只出现杂合型, 在纳颌岛种群中只出现纯合型。这 3 个位点可以作为 2 个种群的鉴别标志。2 个种群间的基因分化系数平均达到了 27.12%, 其中主要体现在 *ME-1*, *MDH-1*, *ALP-4* 和 *PGM-3* 这 4 个位点, 它们的基因分化系数都超过了 40%, 这对同一物种的不同种群来说已经比较高了。Nei<sup>[6]</sup>总结了同工酶检测所得的遗传距离的研究

表 1 斑节对虾 2 个种群的同工酶谱分析计算结果

Tab.1 Analyzing results of isozyme patterns of *Penaeus monodon* Fabricius

酶	种群	a 基因频率	b 基因频率	$H_c$	$H_0$	F	$H_s$	$H_t$	$D_{st}$																																																																																																																																																																																																																																																																												
ME-1	三亚	0.5417	0.4583	0.5334	0.6389	0.1978	0.4562	0.7725	0.4095																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.2949	0.7051	0.3302	0.4872	0.4754				MDH-1	三亚	0.375	0.625	0.3987	0.6786	0.7019	0.2344	0.8672	0.7297	纳颌岛	0	1	0.0000	0	0.0000	MDH-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.5000	0.6875	0.2727	纳颌岛	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	GDH-1	三亚	0.4865	0.5135	0.4892	0.6487	0.3260	0.4908	0.7355	0.3327	纳颌岛	0.4048	0.5952	0.4233	0.6191	0.4626	ALP-1	三亚	0.2727	0.7273	0.3103	0	-1.0000	0.4471	0.7320	0.3892	纳颌岛	0.4643	0.5357	0.4714	0	-1.0000	ALP-2	三亚	0.45	0.55	0.4599	0.3	-0.3477	0.4972	0.6902	0.2796	纳颌岛	0.5179	0.4821	0.5143	0.1786	-0.6527	ALP-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.2500	0.3750	0.3333	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	ALP-4	三亚	0.0641	0.9359	0.0888	0.1282	0.4442	0.0849	0.7790	0.8910	纳颌岛	0.0256	0.9744	0.0371	0.0513	0.3810	ACP-1	三亚	0.7857	0.2143	0.7445	0.1429	-0.8081	0.4096	0.5128	0.2012	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.5625	-0.0227	ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1
MDH-1	三亚	0.375	0.625	0.3987	0.6786	0.7019	0.2344	0.8672	0.7297																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0	1	0.0000	0	0.0000				MDH-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.5000	0.6875	0.2727	纳颌岛	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	GDH-1	三亚	0.4865	0.5135	0.4892	0.6487	0.3260	0.4908	0.7355	0.3327	纳颌岛	0.4048	0.5952	0.4233	0.6191	0.4626	ALP-1	三亚	0.2727	0.7273	0.3103	0	-1.0000	0.4471	0.7320	0.3892	纳颌岛	0.4643	0.5357	0.4714	0	-1.0000	ALP-2	三亚	0.45	0.55	0.4599	0.3	-0.3477	0.4972	0.6902	0.2796	纳颌岛	0.5179	0.4821	0.5143	0.1786	-0.6527	ALP-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.2500	0.3750	0.3333	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	ALP-4	三亚	0.0641	0.9359	0.0888	0.1282	0.4442	0.0849	0.7790	0.8910	纳颌岛	0.0256	0.9744	0.0371	0.0513	0.3810	ACP-1	三亚	0.7857	0.2143	0.7445	0.1429	-0.8081	0.4096	0.5128	0.2012	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.5625	-0.0227	ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000												
MDH-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.5000	0.6875	0.2727																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000				GDH-1	三亚	0.4865	0.5135	0.4892	0.6487	0.3260	0.4908	0.7355	0.3327	纳颌岛	0.4048	0.5952	0.4233	0.6191	0.4626	ALP-1	三亚	0.2727	0.7273	0.3103	0	-1.0000	0.4471	0.7320	0.3892	纳颌岛	0.4643	0.5357	0.4714	0	-1.0000	ALP-2	三亚	0.45	0.55	0.4599	0.3	-0.3477	0.4972	0.6902	0.2796	纳颌岛	0.5179	0.4821	0.5143	0.1786	-0.6527	ALP-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.2500	0.3750	0.3333	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	ALP-4	三亚	0.0641	0.9359	0.0888	0.1282	0.4442	0.0849	0.7790	0.8910	纳颌岛	0.0256	0.9744	0.0371	0.0513	0.3810	ACP-1	三亚	0.7857	0.2143	0.7445	0.1429	-0.8081	0.4096	0.5128	0.2012	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.5625	-0.0227	ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																												
GDH-1	三亚	0.4865	0.5135	0.4892	0.6487	0.3260	0.4908	0.7355	0.3327																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.4048	0.5952	0.4233	0.6191	0.4626				ALP-1	三亚	0.2727	0.7273	0.3103	0	-1.0000	0.4471	0.7320	0.3892	纳颌岛	0.4643	0.5357	0.4714	0	-1.0000	ALP-2	三亚	0.45	0.55	0.4599	0.3	-0.3477	0.4972	0.6902	0.2796	纳颌岛	0.5179	0.4821	0.5143	0.1786	-0.6527	ALP-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.2500	0.3750	0.3333	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	ALP-4	三亚	0.0641	0.9359	0.0888	0.1282	0.4442	0.0849	0.7790	0.8910	纳颌岛	0.0256	0.9744	0.0371	0.0513	0.3810	ACP-1	三亚	0.7857	0.2143	0.7445	0.1429	-0.8081	0.4096	0.5128	0.2012	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.5625	-0.0227	ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																												
ALP-1	三亚	0.2727	0.7273	0.3103	0	-1.0000	0.4471	0.7320	0.3892																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.4643	0.5357	0.4714	0	-1.0000				ALP-2	三亚	0.45	0.55	0.4599	0.3	-0.3477	0.4972	0.6902	0.2796	纳颌岛	0.5179	0.4821	0.5143	0.1786	-0.6527	ALP-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.2500	0.3750	0.3333	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	ALP-4	三亚	0.0641	0.9359	0.0888	0.1282	0.4442	0.0849	0.7790	0.8910	纳颌岛	0.0256	0.9744	0.0371	0.0513	0.3810	ACP-1	三亚	0.7857	0.2143	0.7445	0.1429	-0.8081	0.4096	0.5128	0.2012	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.5625	-0.0227	ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																												
ALP-2	三亚	0.45	0.55	0.4599	0.3	-0.3477	0.4972	0.6902	0.2796																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.5179	0.4821	0.5143	0.1786	-0.6527				ALP-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.2500	0.3750	0.3333	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	ALP-4	三亚	0.0641	0.9359	0.0888	0.1282	0.4442	0.0849	0.7790	0.8910	纳颌岛	0.0256	0.9744	0.0371	0.0513	0.3810	ACP-1	三亚	0.7857	0.2143	0.7445	0.1429	-0.8081	0.4096	0.5128	0.2012	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.5625	-0.0227	ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																												
ALP-3	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.2500	0.3750	0.3333																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000				ALP-4	三亚	0.0641	0.9359	0.0888	0.1282	0.4442	0.0849	0.7790	0.8910	纳颌岛	0.0256	0.9744	0.0371	0.0513	0.3810	ACP-1	三亚	0.7857	0.2143	0.7445	0.1429	-0.8081	0.4096	0.5128	0.2012	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.5625	-0.0227	ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																												
ALP-4	三亚	0.0641	0.9359	0.0888	0.1282	0.4442	0.0849	0.7790	0.8910																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.0256	0.9744	0.0371	0.0513	0.3810				ACP-1	三亚	0.7857	0.2143	0.7445	0.1429	-0.8081	0.4096	0.5128	0.2012	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.5625	-0.0227	ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																												
ACP-1	三亚	0.7857	0.2143	0.7445	0.1429	-0.8081	0.4096	0.5128	0.2012																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.5625	-0.0227				ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																												
ACP-2	三亚	0.5	0.5	0.5000	1	1.0000	0.4912	0.6384	0.2306																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116				EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																																												
EST-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000																																																																																																																																																																																																																																																																													
	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000				EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017	PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																																																												
EST-1	三亚	0.9444	0.0556	0.9222	0.1111	-0.8795	0.1619	0.1717	0.0570																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.875	0.125	0.8380	0.25	-0.7017				PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116	PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																																																																												
PGM-1	三亚	0.5	0.5	0.5000	0.7	0.4000	0.4912	0.6384	0.2306																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.5938	0.4062	0.5756	0.8125	0.4116				PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																																																																																												
PGM-2	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000																																																																																																																																																																																																																																																																													
	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000				PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826	SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																																																																																																												
PGM-3	三亚	0	1	0.0000	0	0.0000	0.2496	0.6926	0.6397																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.4792	0.5208	0.4834	0.9583	0.9826				SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000	SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																																																																																																																												
SOD-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000																																																																																																																																																																																																																																																																													
	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000				SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																																																																																																																																												
SOD-2	三亚	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631	0.1172	0.1201	0.0244																																																																																																																																																																																																																																																																												
	纳颌岛	0.9375	0.0625	0.9133	0.125	-0.8631				LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000		纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																																																																																																																																																												
LDH-1	三亚	1	0	1.0000	0	-1.0000	0.0000	0.0000																																																																																																																																																																																																																																																																													
	纳颌岛	1	0	1.0000	0	-1.0000																																																																																																																																																																																																																																																																															

资料,他指出:不同地理群之间的遗传距离变化在 0.00~0.05 的范围内,亚种之间的变化范围则大于 0.05。本实验测得的 2 个种群之间的遗传距离为 0.0620,是否可以考虑划分为亚种值得进一步探讨。据了解,在生产实践中,虾农们也认为从泰国南部海区进口的亲虾质量最好,表现在卵子成熟时间短,卵粒饱满、均匀,孵出的虾苗生长也较快。由此看来,2 个种群的繁殖性能和生长性能也有所差异,在这两方面都占优势的引进种群对本地种群构成了较大的

威胁。

本实验还发现斑节对虾与其它海产无脊椎动物一样,总体来说表现为杂合子缺失,其平均杂合子缺失指数为负值。其中,2 个种群的 *ALP-1*, *ALP-3*, *EST-1*, *PGM-2*, *SOD-1* 和 *LDH-1* 等位点只有纯合型。对这一现象的解释还未取得一致的看法,其说法包括凝胶分辨错误、“0”等位基因、自然选择、选型交配和种群混杂等<sup>[7-9]</sup>。本实验所检测的同工酶中只有三亚种群的 *ALP* 和 *ACP* 出现“0”等位基因,考虑到

斑节对虾的群居生活习性以及体内受精的繁殖方式, 选型交配和种群混杂的可能性较小, 而我们的实验对象都是性成熟的亲虾, 因此, 推测自然选择更有利于某些纯和型个体的生存。从邹志华<sup>[2]</sup>等的报道来看, 养殖种群的同工酶几乎都是纯合型, 杂合子极度缺乏可归结于养殖种群的近亲繁殖以及人工环境的高度稳定所造成的选择。

目前使用的同工酶研究方法都是参照在高等动植物研究中应用的比较成熟的方法, 实际情况是海产无脊椎动物的同工酶谱带变化要大的多, 位点的数目以及带型用不同的方法也得出不同的结论<sup>[10-12]</sup>, 这些都有待于更多的实验来相互印证和确定。

## 4 结论

在 2 个种群的 9 种同工酶系统的 18 个有效位点中, 三亚种群多态位点百分数为 50.0%, 纳颚岛种群为 55.6%。其中 MDH - 1 位点、ALP - 3 位点和 PGM - 3 位点的酶带可以作为 2 个种群的区别标志。只有三亚种群出现了哑基因编码的酶带, 表明了 2 个种群具有的差异性。三亚种群和纳颚岛种群的平均杂合度分别是 0.359 6 和 0.325 4, 2 个种群的遗传距离为 0.062 0。

参考文献:

[1] 李纯厚, 钟振如, 陈敏. 斑节对虾个体发育早期的同

工酶变化[J]. 水产学报, 1994, 18(1): 62 - 64.

- [2] 邹志华, 黎中宝. 斑节对虾等位酶遗传分析[J]. 水产养殖, 2002(6): 31 - 33.
- [3] 朱蓝菲. 鱼类同工酶和蛋白质的聚丙烯酰胺梯度凝胶电泳法[J]. 水生生物学报, 1992, 16(2): 183 - 185.
- [4] 王中仁. 植物等位酶分析[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 95 - 106.
- [5] 熊全沫. 同工酶电泳数据的分析及其在群体遗传上的应用[J]. 遗传, 1986, 8(1): 1 - 5.
- [6] Nei M. Molecular Evolutionary Genetics[M]. New York: Columbia University Press, 1987, 153 - 187.
- [7] Singh S M, Green R H. Excess of allozyme homozygosity in marine molluscs and its possible biological significance[J]. *Malacologia*, 1984, 25: 569 - 581.
- [8] Zouros E, Foltz D W. Possible explanations of heterozygote deficiency in bivalve mollusks[J]. *Malacologia*, 1984, 25: 583 - 591.
- [9] 张志峰, 马英杰, 廖承义, 等. 中国对虾幼体发育阶段的同工酶研究[J]. 海洋学报, 1997, 19(4): 63 - 71.
- [10] 李广丽, 朱春华. 罗氏沼虾个体发育早期的同工酶研究[J]. 水生生物学报, 2001, 25(4): 338 - 343.
- [11] 王金星, 赵小凡, 张红卫, 等. 对虾组织蛋白质和同工酶表型及其在病虾中的变化[J]. 海洋科学, 1995(3): 46 - 51.
- [12] 王桂忠, 李少菁. 锯缘青蟹个体发育过程中同工酶谱的比较研究[J]. 海洋学报, 1991, 13(3): 412 - 416.

# Studies on biochemical genetic variation of two populations of *Penaeus monodon* Fabricius

DU Xiao - dong, QIN Hong - gui, HUANG Rong - lian, YE Fu - liang  
(Fishery College, Zhanjiang Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Received: Nov., 17, 2003

**Key words:** *Penaeus monodon* Fabricius, isozyme, Sanya (China) population, Najie Island (Thailand) population, biochemical genetic variation

**Abstract:** Nine isozymes, Malic enzyme (ME), Malate dehydrogenase (MDH), Glucose dehydrogenase (GDH), Lactate dehydrogenase (LDH), Phosphoglucosmutase (PGM), Alkaline phosphatase (ALP), Acid phosphatase (ACP), Super-oxide dismutase (SOD) and Esterase (EST), of two populations of *Penaeus monodon* Fabricius were analyzed with gradient polyacrylamide gel electrophoresis. Results showed that out of 18 loci in nine isozymes, 9 polymorphic loci in the Sanya (China) population (SYP) and 10 in the Najies (Thailand) population (NIP). Percentage of polymorphic loci were 50.0% and 55.6% respectively. The loci PGM - 3 occurred only in isozygote in SYP, in heterozygote in NIP; while the loci MDH - 1 and ALP - 3 are heterozygote in SYP and isozygote in NIP. The average heterozygosity was 0.359 6 in SYP and 0.325 4 in NIP respectively; and the genetic distance between the two populations was 0.062 0.

(本文编辑: 刘珊珊)