

我国东南沿海 5 个波纹巴非蛤(*Paphia undulata*) 地理群体的形态差异分析*

刘建勇 吴继兴 孙成波

(广东海洋大学水产学院 湛江 524025)

摘要 采用聚类分析、主成分分析和判别分析 3 种分析方法, 对我国东南沿海 5 个野生波纹巴非蛤群体 10 个形态性状进行比较研究。聚类分析和主成分分析结果表明, 广东东莞与福建厦门群体、广东湛江与海南海口群体的形态最为接近, 广西北海群体的趋异程度最大。主成分分析构建了 3 个主成分, 贡献率: 主成分 1 为 23.237%, 主成分 2 为 16.109%, 主成分 3 为 13.009%, 累计贡献率为 52.355%。判别分析结果表明, 5 群体间形态差异显著($P < 0.01$)。建立了 5 群体的判别函数, 判别准确率 P_1 为 47.1%—80.0%, P_2 为 45.7%—80.0%, 5 群体的综合判别率为 63.8%。Mantel 检验结果表明欧氏距离与地理直线距离无明显相关性($r = 0.0822$, $P = 0.3820$)。广西北海群体明显地与其它 4 个地方分开, 可能已形成一个新的亚种。本研究可为我国巴非蛤种质资源保护及遗传育种提供依据。

关键词 波纹巴非蛤, 地理群体, 形态差异, 多元分析

中图分类号 S968.31

波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)俗称花蚶、油蚶、花甲螺, 是一种浅海经济贝类, 广布于印度-西太平洋暖水域, 在我国分布于浙江南部, 台南、高雄, 福建厦门, 广东, 广西, 海南北部等沿海地区(庄启谦, 2001)。波纹巴非蛤软体部所含氨基酸和人体必需氨基酸的总量(不包含色氨酸)很高(迟淑艳等, 2007), 其增养殖生产成本低、周期短、经济效益高、易于管理, 是浅海增养殖的主要品种。近年来, 随着外贸出口需求量的增加, 对波纹巴非蛤的采捕压力加大, 渔区资源遭受严重破坏。

目前, 国内外许多学者对波纹巴非蛤生态生理学特性进行了详细研究。阮金山等(2006)、黄松木等(1984)、吴洪流(2002)、吴洪流等(2000)、赵志江等(1991, 1992)、Usavadee 等(2004)、Leethochavalit 等(2004)、Pleanphit 等(1999)对波纹巴非蛤生活周边环境重金属的含量分布、繁殖周期、性腺发育变化、精子超微结构、顶体反应、波纹巴非蛤病原虫帕金虫

(*Perkinsus* sp.)等进行了研究。在食品应用方面, 关志强等(2007)研究了冷藏条件对文蛤和波纹巴非蛤组织结构影响, 曾少葵等(2002)研究了栅栏效应理论在高水分波纹巴非蛤肉罐头开发中的应用。在分子系统方面, 王静等(2004)对波纹巴非蛤与菲律宾蛤仔两组基因组 DNA 的提取及 RAPD 分析, 指出两者有较近的亲缘关系。

国内对软体动物的形态差异分析研究较多, 钱荣华等(2003)对中国五大湖三角帆蚌的形态差异进行了分析, 张永普等(2004)研究了不同地理种群泥蚶的形态差异, 冯建彬等(2005)研究了我国四海区不同群体文蛤的形态差异。而有关波纹巴非蛤的形态变异在国内外未见报道。本研究通过对福建厦门、广东东莞、广东湛江、广西北海、海南海口等 5 个不同地理群体的 10 个形态性状进行测量, 运用多变量形态度量学方法、多元统计(聚类分析、主成分分析、判别分析)方法、Mantel 检验, 探讨波纹巴非蛤种内形态差异特

* 广东省科技计划项目, 2007A0204500001 号。刘建勇, 副教授, 博士研究生, E-mail: liujy@gdou.edu.cn

通讯作者: 孙成波, 博士, 副教授, E-mail: suncb@gdou.edu.cn

收稿日期: 2008-11-23, 收修改稿日期: 2009-01-22

点与地理分化规律, 以期为波纹巴非蛤地理种群的识别, 种质资源的保护和利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

2007 年 7—8 月, 随机采集南海海区 4 省区 5 地方的波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)样本, 即福建厦门(XM)、广东东莞(DG)、广东湛江(ZJ)、广西北海(BH)、海南海口(HK)。波纹巴非蛤的鉴别参见徐凤山(1997)。所有样本用 5%福尔马林暂时保存带回实验室, 直接用于测量。采样时间、地点、各性状的平均值以及标准差见表 1。

1.2 测量方法

采用游标卡尺(双菱牌, 广州工具厂出品, 精度 0.02mm)、直尺等测量工具, 贝壳的测量标准参考蔡英亚等(1995)。各数量性状的文字描述见表 2。

测量壳长(AB)、壳宽(XY)、壳高(CD)、韧带长(OG)、楯面宽(MN)、楯面长(OH)、小月面长(OF)、小月面宽(PQ)、前端到腹缘(AD)、后端到腹缘(BD),

测量部位与参数见图 1, 使用千分天平测量壳重(KZ)。共测得 1575 个形态学数据。

1.3 数据处理

采用 SPSS11.0 进行聚类分析、主成分分析、判别分析 3 种分析方法对 5 群体进行形态差异分析, 采用 TFPGA 程序分析地理直线距离与欧式距离的相关性。

1.3.1 聚类分析 为消除波纹巴非蛤规格大小对参数值的影响, 先将每只波纹巴非蛤的所有参数分别除以壳长予以校正, 得出 9 个形态学比例性状。分别求出各组样本每个参数校正值的平均值, 用平均值进行聚类分析。采用 9 个形态学比例性状对全部群体个体进行聚类。所采用的聚类方法均为欧氏距离的最长系统聚类法。

1.3.2 主成分分析 为将多个指标作为小数指标的统计方法, 所有数值处理同聚类分析方法, 从 9 个比例性状中通过计算机程序得出 3 个综合性指标, 即互不关联的 3 个主成分。主成分贡献率和累计贡献率的计算参照 Brzeski 等(1988)。

1.3.3 判别分析

表 1 波纹巴非蛤采样时间、地点、样本数目

Tab.1 Statistics of sampling time, sites, and number of *P. undulata*

种群/群体	广东东莞(DG)	广东湛江(ZJ)	广西北海(BH)	福建厦门(XM)	海南海口(HK)
采集时间	2007.08	2007.08	2007.08	2007.08	2007.08
样品数目	35	34	35	35	35
壳长	41.20 ± 1.977	42.97 ± 2.693	37.90 ± 2.367	40.62 ± 1.743	43.66 ± 2.466
壳宽	14.13 ± 0.946	14.89 ± 0.897	15.41 ± 2.2036	13.74 ± 0.811	14.49 ± 0.965
壳高	23.36 ± 1.092	24.82 ± 1.392	20.63 ± 1.864	22.76 ± 1.92	24.60 ± 1.577
韧带长	12.26 ± 0.762	13.51 ± 1.924	11.17 ± 1.741	12.52 ± 0.847	12.69 ± 0.926
楯面宽	4.11 ± 0.763	4.17 ± 0.607	2.53 ± 0.520	3.17 ± 0.616	3.65 ± 0.505
楯面长	22.16 ± 1.500	22.73 ± 1.533	19.53 ± 1.730	21.72 ± 1.262	22.71 ± 1.401
小月面长	13.94 ± 0.849	13.34 ± 1.108	11.72 ± 0.984	12.65 ± 0.806	13.04 ± 1.064
前端到腹缘	19.78 ± 1.865	21.20 ± 2.063	18.06 ± 1.232	19.38 ± 0.982	21.54 ± 1.741
后端到腹缘	27.44 ± 2.079	20.89 ± 1.911	24.79 ± 2.367	27.19 ± 1.900	28.70 ± 1.917
壳重	38.68 ± 6.672	38.52 ± 6.607	23.66 ± 5.452	33.71 ± 6.905	37.68 ± 6.868

表 2 各数量性状的文字描述

Tab.2 Brief description of each quantitative indicator

测量指标	描述	测量指标	描述
壳长(AB)	由前端到后端的距离	楯面长(OH)	楯面最长的两点之间的距离
壳高(CD)	由壳顶到腹缘的距离	小月面长(OF)	壳顶前方小凹陷距离最远两点间的距离
壳宽(XY)	左右两壳面间最大的距离	前端到腹缘(AD)	前端到腹缘之间的距离
韧带长(OG)	铰合部背面黑色几丁质韧带的长度	后端到腹缘(BD)	后端到腹缘之间的距离
楯面宽(MN)	在楯面里与楯面长垂直的最远两点间的距离	壳重(KZ)	去除软体部分, 吸干表面水分后的壳湿重

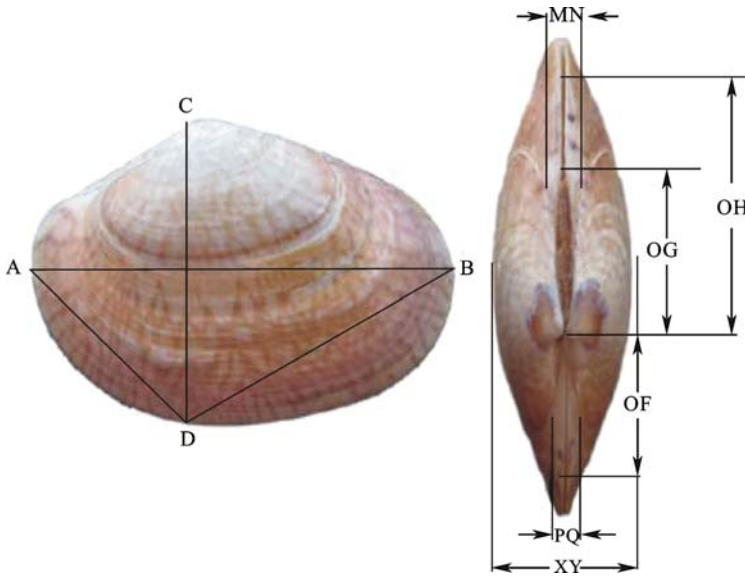


图 1 波纹巴非蛤形态测量

Fig.1 Morphological measurements of *P. undulata*

注: AB 为壳长, CD 为壳高, AD 为前端到腹缘, BD 为后端到腹缘. MN 为楕面宽, OH 为楕面长, OG 为韧带长, OF 为小月面长, PQ 为小月面宽, XY 为壳宽

对所有的样本进行逐步判别分析. 判别准确率的计算公式为:

$$\text{判别准确率 } P_1(\%) = \frac{\text{判别正确的巴非蛤数}}{\text{实测巴非蛤数}} \times 100$$

$$\text{判别准确率 } P_2(\%) = \frac{\text{判别正确的巴非蛤数}}{\text{判别巴非蛤数}} \times 100$$

$$\text{综合判别率} = \frac{\sum_{i=1}^k A_i}{\sum_{i=1}^k B_i}$$

1.3.4 地理直线距离与欧氏距离的相关性分析
使用 Google Earth 软件测量两两取样点间的直线地理距离, 使用 SPSS 11.0 计算欧氏距离, 得出的数据通过 TFPGA 程序(Miller, 1997)对 5 地理群体间的地理直线距离与欧氏距离进行相关性分析.

2 结果

2.1 聚类分析

对所有样本的 9 个形态特征校正值进行聚类分析. 结果表明, 广东东莞群体与福建厦门群体、广东湛江群体与海南海口群体的距离最短, 形态都比较接近, 而广西北海群体与前四者的趋异程度最大. 各群体聚类图见图 2.

2.2 主成分分析

由表 3 可知, 贡献率: 主成分 1 为 23.237%, 主

成分 2 为 16.109%, 主成分 3 为 13.009%, 累积贡献率为 52.355%. 三个主成分可以解释不同群体之间的形态差异的 52.355%. 在第一主成分中, MN/AB 的影响最大, 其贡献率为 78.2%; 第二主成分中 AD/AB 和 BD/AB 影响最大, 其贡献率分别为 80.7%和 77.8%; 第三主成分中 XY/AB 贡献率最大, 其贡献率为 75.7%. 按照累计贡献率大于或等于 85%的要求, 这三个主成分的累计贡献率仅达到 53.355%, 说明波纹巴非蛤不宜用几个相互独立的因子来概括不同群体间的形态差异.

第一、第二主成分的散布图见图 3. 从图 3 中可以看出北海群体与其它群体相离相对较远, 其它 4 群体重叠区域较大, 几乎难以区分, 主成分分析结果与聚类分析结果均表明广西北海群体的趋异程度最大.

2.3 判别分析

通过逐步判别分析, 筛选出 4 个性状的特征值建立了 5 个群体波纹巴非蛤的判别函数, 为了除去个体大小对形态度量指标的影响, 度量指标除以壳长作为判别的特征值, 式中的 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 分别代表韧带长/壳长、楕面宽/壳长、小月面长/壳长、壳重/壳长等 4 个性状. 表 4 为判别函数的各项系数及常数项.

5 群体的费歇尔判别公式如下:

$$Y_{DG} = 299.776X_1 + 283.367X_2 + 1107.884X_3 + 40.070X_4 - 266.644$$

$$Y_{ZJ} = 321.626X_1 + 275.325X_2 + 1010.072X_3 + 38.833X_4 - 239.685$$

$$Y_{BH} = 300.946X_1 + 155.429X_2 + 1021.491X_3 + 25.343X_4 - 216.872$$

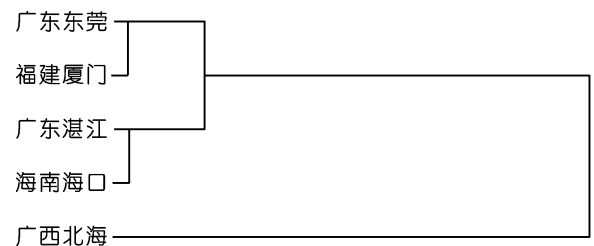
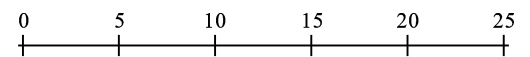


图 2 5 种群波纹巴非蛤聚类分析图

Fig.2 Diagram of cluster analysis of five populations of *P. undulata*

表 3 波纹巴非蛤形态特征的主成分的负荷值和贡献率
Tab.3 Contribution and load of principal components on morphological characteristics of *P. undulata*

变量	负荷值		
	第一主成分	第二主成分	第三主成分
XY/AB	- 0.267	0.0645	0.757*
CD/AB	0.509	0.187	0.436
OG/AB	0.283	0.0431	- 0.112
MN/AB	0.782*	0.221	0.158
DC/AB	0.560	- 0.316	- 0.481
OF/AB	0.494	- 0.0138	- 0.0602
AD/AB	- 0.0045	0.807*	- 0.171
BD/AB	0.152	- 0.778*	0.242
KZ/AB	0.699	0.0608	0.215
主成分值	2.091	1.450	1.717
贡献率(%)	23.237	16.109	13.009
累计贡献率	23.237	39.346	52.355

* 表示负荷值 > 0.700

$$Y_{XM} = 318.568X_1 + 166.398X_2 + 1016.333X_3 + 43.507X_4 - 235.325$$

$$Y_{HK} = 297.685X_1 + 211.867X_2 + 975.327X_3 + 38.821X_4 - 216.085$$

判别分析结果见表 5。判别准确率 P_1 为 47.1%—80.0%。判别分析准确率 P_2 为 45.7%—80.0%。5 群体的综合判别率为 63.8%。

表 4 5 群体波纹巴非蛤形态差异判别函数各项系数及常数项

Tab.4 Coefficients and constants of discriminant functions for the five populations of *P. undulata*

变量	性状	广东东莞 DG	福建厦门 XM	广东湛江 ZJ	海南海口 HK	广西北海 BH
X_1	OG/AB	299.776	321.626	300.946	318.568	297.685
X_2	MN/AB	283.367	275.325	155.429	166.398	211.867
X_3	OF/AB	1107.884	1010.072	1021.491	1016.333	975.327
X_4	KZ/AB	40.070	38.833	25.343	43.507	38.821
常数		- 266.644	- 239.685	- 216.872	- 235.325	- 216.085

表 5 5 群体波纹巴非蛤判别分析结果

Tab.5 Discriminant results of seven populations of *P. undulata*

种群	样本数目 (个)	判别准确率(%)		预测分类				
		P_1	P_2	DG	XM	ZJ	HK	BH
广东东莞 DG	35	71.4	75.8	25	9	1	0	0
广东湛江 ZJ	34	47.1	45.7	4	16	0	7	7
广西北海 BH	35	80.0	80.0	1	0	28	5	1
福建厦门 XM	35	60.0	55.3	1	5	4	21	4
海南海口 HK	35	60.0	63.6	2	5	2	5	21
合计	174		63.8	33	35	35	38	33

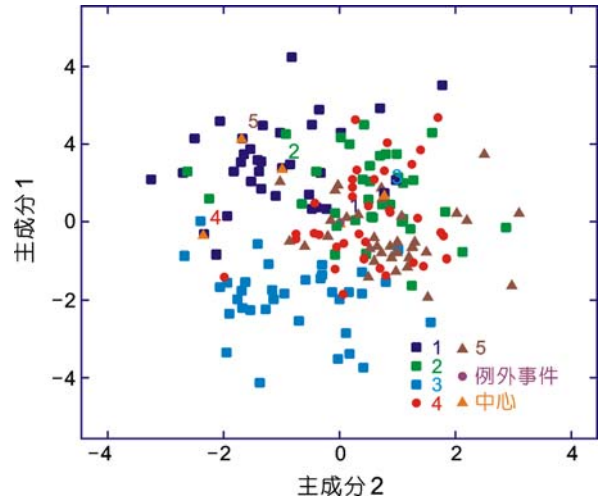


图 3 不同地理种群波纹巴非蛤的第一、二主成分的散布图

Fig.3 Scatter diagram for PC1 and PC2 of *P. undulata* from different geographical populations

2.4 地理距离与遗传距离的相关性分析

使用 Google Earth 软件测量不同地理群体间的地理距离, 使用 SPSS For Win 11.0 计算得出不同地理群体间的欧氏距离, 计算结果见表 6。为了检测群体间欧氏距离和地理距离的相关性, 运用 TFPGA 程序进行了 Mantel 检验(Miller, 1997), 结果表明, 各群体间的地理距离和遗传距离之间没有显著相关性($r =$

表 6 5 地理群体间的地理距离与欧式距离
Tab.6 Geographical and Euclidean distances among different populations

种群	广东深圳	广东湛江	广西北海	福建厦门	海南海口
广东深圳	—	402.27	507.54	468.23	484.08
广东湛江	0.05984	—	136.63	867.33	127.54
广西北海	0.33100	0.28700	—	975.66	205.50
福建厦门	0.04305	0.04328	0.30900	—	933.86
海南海口	0.09365	0.05080	0.25500	0.06704	—

注: 对角线以上的数据为地理距离(km), 对角线以下的为欧氏距离

0.0822, $P = 0.3820$ 。

3 讨论

3.1 5 自然群体波纹巴非蛤形态差异比较分析

本实验测量了采自南海不同海区的 5 个波纹巴非蛤地理种群的多个形态学指标, 结果显示广东湛江群体、广东东莞、福建厦门与海南海口种群之间均存在着一定的形态差异, 而广西北海种群与其它种群的趋异程度较大, 这种差异可能是由地理差异所致栖息环境条件不同造成的。在地理条件、生态环境上的较大差异直接导致了地理隔离和生殖隔离, 在地理条件上, 广西北海位于 $108^{\circ}50' - 109^{\circ}47'E$ 、 $21^{\circ}29' - 21^{\circ}55'34''N$ 之间, 为半封闭、三面被陆地环抱的海湾, 水体交换能力较差, 而其它各港湾水体因黄海沿岸流与南海西南季风漂流而得到交换, 精卵和幼体随洋流漂流而增加了基因交换几率, 不利于形成地理隔离与生殖隔离。在生态条件上, 福建厦门海域与广东东莞海域均属于亚热带海域, 广东湛江、广西北海与海南海口属于热带海域, 刘必谦等(1998)用 RAPD 对大连湾牡蛎的研究认为温度是造成遗传多样性的主要原因; Sarver 等(1993)研究发现贻贝种群的分布与温度和盐度有密切的关系。在底质性质上, 海南海口沿岸属于粉砂淤泥质, 广东湛江、广西北海沿岸属于红树林砂质或淤泥质, 广东东莞、福建厦门沿岸属于基岩砂质或淤泥质, 不同海域所造成的生长温度和栖息的底质等不同, 以及他们生活的不同海区的盐度和饵料等存在着一定差异可能导致不同地理群体波纹巴非蛤的形态差异。

聚类分析的结果表明, 广东湛江群体、广东东莞、福建厦门与海南海口群体之间的差异远比广西北海小, 造成这一结果可能是由于湛江、东莞和海口作为海水养殖发达地区, 与我国福建等海区存在大量的水产品引种、贸易以及增养放流等活动, 不仅可能使养殖群体间基因交流的机会增多, 还可能由于养

殖品种向自然环境的释放而增加了群体间基因交流的概率。另一方面也说明了用形态参数进行聚类分析存在着误差, 仅采用贝类的形态指标还不能完全反映其地理分布特性(么宗利等, 2007), 本实验采集的海区及样品也比较少, 如果结合其它生物学证据, 如遗传学数据更能反映群体间的遗传关系, 实验结果会更加准确, 因此要完全分析清楚各海区波纹巴非蛤群体的形态、遗传等关系, 还要结合分子生物学等手段。

从主成分散布图(图 3)中也可以看到广西北海群体趋异程度最大的结果。由图 3 可知, 福建厦门群体、广东湛江群体、广东东莞群体及海南海口群体存在较大的重叠区域, 表明 3 种群形态基本相似, 非重叠区域表明其差异程度。在不同地理群体波纹巴非蛤的第一、第二主成分散布图中, 不同群体的拟合回归线更清晰地反应出广西北海群体与其它地理群体的差异程度。因形态特征是由遗传因子与环境因子共同作用的结果, 而地理屏障, 使一个群体与同种的另一群体存在某种程度的地理分隔, 从而在形态、生理甚至遗传上形成一定的差异(钱荣华等, 2003)。本研究中不同地理种群之间形态变异与地理环境因子的相关程度究竟多大程度地反应在遗传物质与等位基因的变异上, 以及基因是否产生漂移还有待于进一步的研究。

3.2 三种多元分析方法在波纹巴非蛤形态判别上的应用

以前, 在贝类分类与鉴定上, 形态描述只是通过测定壳长、壳高、壳宽等少数几个形态数量性状和一些属性特征如贝壳颜色、纹理、形状等来进行简单归类, 而适合于一些形态相似的种类和种群的鉴别, 却往往显得无能为力。本研究中采用聚类分析、主成分分析和判别分析三种多元分析方法, 分析波纹巴非蛤的 10 个形态学参数, 9 个比例性状, 可以较好地在形态上区分 5 群体的波纹巴非蛤。这三种方法分析结果相似, 但各自从不同角度反映了不同种群间的形

态学差异, 因此都相互不可替代。聚类分析可将不同种群进行初步归类, 量化种群间的差异程度, 分析种群间的相似程度(刘必谦等, 1998)。主成分分析则将多个形态比例性状综合成少数几个因子, 从而得出不同种群的差异大小, 并可根据不同种群的主成分值找出各种群在各主成分值上差异较大的参数。判别分析是种群鉴定的常用方法, 通过建立判别函数, 对种或种群进行判别。本研究中采用逐步判别方法对 5 种群波纹巴非蛤 9 比例性状建立判别函数, 其判别效果比较理想。逐步判别方法, 可对多个因子进行合理选择, 从大量因子中挑选出若干必要的最佳组合因子建立判别函数。在运用三种多元分析方法时, 为消除蛤体大小不一所引起的误差, 须将各个参数与壳长相比, 用校正后的比例值再标准化, 这样就可正确分析各种群及群体间的形态差异。

参 考 文 献

- 么宗利, 周 凯, 来琦芳等, 2007. 我国 5 个青蛤地理群体形态差异分析. 海洋水产研究, 28(2): 63—70
- 王 静, 高如承, 江树勋等, 2004. 两种贝类基因组 DNA 的提取及 RAPD 分析. 福建师范大学学报(自然科学版), 20(1): 67—69
- 冯建彬, 李家乐, 王美珍等, 2005. 我国四海区不同群体文蛤形态差异与判别分析. 浙江海洋学院学报, 24(4): 318—323
- 庄启谦, 2001. 中国动物志. 北京: 科学出版社, 195—199
- 刘必谦, 戴继勋, 1998. 巨蛎属牡蛎遗传多样性研究. 水产学报, 22(3): 193—197
- 关志强, 李 敏, 宋小勇等, 2007. 冻藏条件对文蛤和波纹巴非蛤组织结构影响的实验研究. 食品与发酵工业, 33(1): 147—153
- 阮金山, 罗冬莲, 杨妙峰, 2006. 东山湾巴非蛤养殖区海水、沉积物重金属的含量分布与潜在生态危害评价. 福建水产, 12(4): 16—21
- 吴洪流, 2002. 波纹巴非蛤性逆转时生殖腺的组织学变化. 海洋科学, 26(1): 5—8
- 吴洪流, 伍春雨, 阵雪芬等, 2000. 波纹巴非蛤雄性生殖腺的组织学观察. 海南大学学报(自然科学版), 18(2): 169—174
- 迟淑艳, 周歧存, 周健斌等, 2007. 华南沿海 5 种养殖贝类营养成分的比较分析. 水产科学, 26(2): 79—83
- 张永普, 林志华, 应雪萍等, 2004. 不同地理种群泥蚶的形态差异与判别分析. 水产学报, 28(3): 339—342
- 赵志江, 李复雪, 1992. 波纹巴非蛤 *Paphia undulata* 精子发生的超微结构. 台湾海峡, 11(3): 238—243
- 赵志江, 李复雪, 柯才焕, 1991. 波纹巴非蛤的性腺发育和生殖周期. 水产学报, 15(1): 1—8
- 钱荣华, 李家乐, 董志国等, 2003. 中国五大湖三角帆蚌形态差异分析. 海洋与湖沼, 34(3): 436—443
- 徐凤山, 1997. 中国海双壳类软体动物. 北京: 科学出版社, 218
- 黄松木, 方火顺, 吴和平等, 1984. 云霄礁美海区波纹巴非蛤生物学特性及增殖研究. 福建水产, 3: 14—19
- 曾少葵, 杨 萍, 洪鹏志, 2002. 栅栏效应理论在高水分波纹巴非蛤肉软罐头开发中的应用. 食品与发酵工业, 128(3): 28—30
- 蔡英亚, 张 英, 魏若飞, 1995. 贝类学概论. 上海: 上海科学技术出版社, 28—30
- Brzeski V J, Doyle R W, 1988. A morphometric criterion for sex discrimination in tilapia. The second international symposium on tilapia in aquaculture: ICLARM conference proceeding. Department of Fisheries. Bangkok, Thailand, and International Conference of Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, 439—444
- Leethochavalit S, Chalermwat K, Upatham E S *et al*, 2004. Occurrence of *Perkinsus* sp. in undulated surf clams *Paphia undulata* from the Gulf of Thailand. Dis Aquat Organ, 60(2): 165—171
- Miller M P, 1997. Tools for Population Genetic Analysis (TFPGA) version 1.3. Department of Biological Sciences, Northern Arizona University, Flagstaff
- Pleanphit Jaroensararaks, Praneet Damrongphol, 1999. The Acrosome Reaction of Sperm from *Paphia undulata*. Science Asia, 25: 181—184
- Sarver S K, Bushek D, 1993. Genetics aspects of disease complex of bule mussel. Mar Biological, 117: 105—112
- Usavadee Thavara, Apiwat Tawatsin, Chompoosri Jakkrawarn, 2004. Evaluation of attractants and egg-laying substrate preference for oviposition by *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). Journal of Vector Ecology, 29(1): 66—72

MORPHOLOGICAL VARIATIONS OF DIFFERENT GEOGRAPHIC POPULATIONS OF *PAPHIA UNDULATA* OFF SOUTHEAST CHINA

LIU Jian-Yong, WU Ji-Xing, SUN Cheng-Bo

(Fisheries College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang, 524025)

Abstract With multi-variant morphological measurement data, the author used three multivariation analysis methods (cluster analysis, principal component analysis and discriminant analysis) to study the morphological variations among five geographic populations of *Paphia undulata* in south China: Dongguan and Zhanjiang (Guangdong), Xiamen (or Amoy, Fujian), Haikou (Hainan), and Beihai (Guangxi). Results indicate that populations of Dongguan, Xiamen, Zhanjiang and Haikou were morphologically grouped together, leaving Beihai population alone. Significant differences were found among the five populations ($P < 0.01$) by discriminant analysis. The Mantel matrix tests of geographic and Euclidean distances indicated no significant relationship ($r = 0.0822$, $P = 0.3820$). As the Beihai population was shown quite different from other ones, it may have been generate a new subspecies. In general, the morphological variations of *P. undulata* may be resulted from a joint effect of genetics and environment. Therefore, more future works are called in molecular genetics for providing scientific basis for germ plasm resources protection and genetic breeding.

Key words *Paphia undulata*, Geographic population, Morphological variation, Multivariation analysis