

文章编号: 1000-0615(2004)03-0339-04

• 研究简报 •

不同地理种群泥蚶的形态差异与判别分析

张永普¹, 林志华², 应雪萍¹

(1. 温州师范学院生命与环境科学学院, 浙江 温州 325027; 2. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江 温州 325000)

关键词: 泥蚶; 种群; 形态差异; 判别分析

中图分类号: S917 文献标识码: A

Morphological variations and discriminant analysis of different geographical populations of *Tegillarca granosa*

ZHANG Yong-pu¹, LIN Zhi-hua², YING Xue-ping¹

(1. School of Life and Environmental Sciences, Wenzhou Normal College, Wenzhou 325027, China;

2. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China)

Abstract: Based on nine morphological characters of populations of *Tegillarca granosa* from Guangxi, Zhejiang, Shandong, of China and Lishui, Korea, multivariate morphometrics was used to investigate their morphological variations among the four different geographical populations. ANOVA indicated that four populations showed significant morphological variations respectively ($P < 0.01$). In the result of principal component analysis, two principal components (PC) were constructed by factor loading, in which the first principal component (PC1) was affected by shell width, shell height and shell moisture weight, and the PC2 was affected by hinge tooth, and the contributory ratios of two PC were 41.02% and 20.41%, respectively. The results of principal component analysis and cluster analysis revealed that the morphological characters of *Tegillarca granosa* from Zhejiang population and Shandong population were similar. The discriminant functions of four populations were established, and the discriminant accuracy was 90.80%, 80.89%, 71.76%, and 97.46% respectively, so the average discriminant accuracy was 86.23%.

Key words: *Tegillarca granosa*; population; morphological variation; discriminant analysis

泥蚶 (*Tegillarca granosa* Linnaeus) 为印度—西太平洋海域的广温广盐性贝类, 在我国主要分布于山东以南沿海, 是我国沿海滩涂的主要经济养殖贝类。有关泥蚶人工育苗、繁殖与生长和生理生化等方面的研究已有较多报道^[1-9], 但种内形态特征的地理变异未见报道。本文利用多变量形态度量学方法对我国山东、浙江、广西和韩国 4 个地理种群泥蚶的形态变异进行了比较研究, 探讨了泥蚶种内的形态

变异特点与地理分化规律, 并建立判别函数, 为泥蚶地理种群的识别、种质保护和良种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

泥蚶均采于 2000 年 10—11 月, 且为随机采集的自然群体。广西地理种群采自广西北海, 浙江地理种群采自浙江

收稿日期: 2003-05-23

资助项目: 浙江省海洋与渔业局海洋开发科技项目(02-04)和温州市科技发展计划项目(S2000A11-1)

作者简介: 张永普(1967-), 男, 浙江浦江人, 副教授, 主要从事于海洋生物学和动物生态学。Tel: 0577-86680733, E-mail:

zhangypu88@yahoo.com.cn

乐清南岙山, 山东地理种群来自山东乳山湾荣成, 韩国地理种群来自韩国全罗南道丽水市。

1.2 形态指标及测定

所有泥蚶材料带回实验室后, 经砂滤海水暂养 2~3 天, 排空泥蚶消化道内的食物, 随机取样测量各个体的形态指标(度量形态指标 8 个, 计数形态指标 2 个)。用数显电

子游标卡尺(精度为 0.01mm) 常规测量壳长(SL)、壳宽(SW)、壳高(SH)、壳顶宽(UW)、外韧带长(OLL)、背缘长(DBL)和放射肋宽(RRW, 左壳中部最宽放射肋的腹缘处宽度)(图 1); 然后直接打开贝壳, 吸干贝壳表面水分, 用电子天平(精度为 0.0001g) 称壳湿重(WSM)。统计放射肋(RR)和铰合齿(HT)的数目。

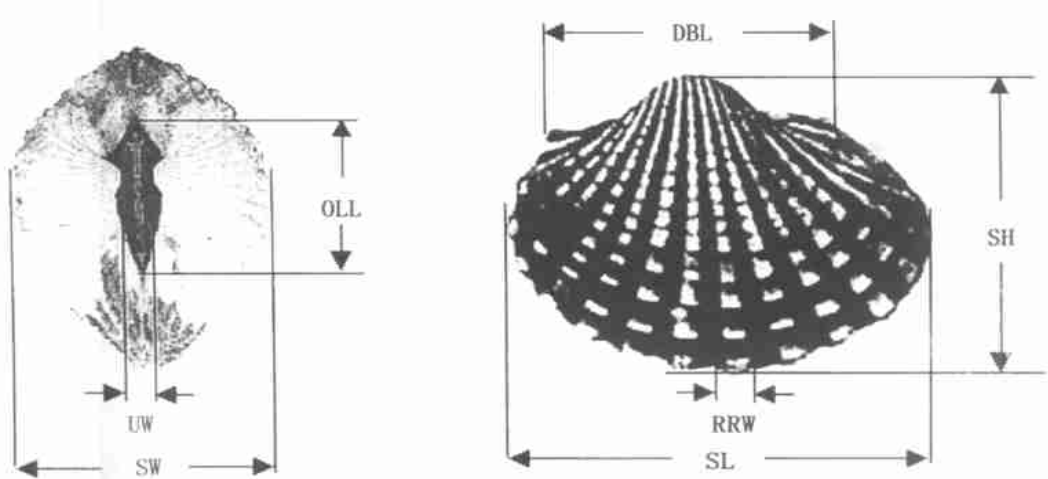


图 1 泥蚶形态测量

Fig. 1 Morphological measurements of *T. granosa*

1.3 数据处理

采用 Statistica 6.0 统计软件包进行形态差异分析、主成分分析(PCA)、聚类分析(CA)和判别分析(DA)。所有数据在作统计分析前检验其正态性(Kolmogorov-Smirnov test)和方差同质性(F-max test)。各度量性状与壳长的回归剩余值作为个体大小的矫正值(壳湿重须经 ln 转化), 以消除个体大小差异对形态特征的影响, 单因子方差分析(one-way ANOVA)和 Tukey 检验等处理和比较相应的数据。描述性统计值用平均值±标准误表示, 显著性水平为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 形态差异比较

不同地理种群泥蚶形态特征的描述性统计值见表 1, 壳长除外的 7 个度量形态特征与壳长呈显著的正相关($P < 0.01$); 定性形态特征放射肋和铰合齿的数目与壳长无关($P > 0.01$)。因此, 度量形态特征与体长的回归剩余值作为形态特征的个体大小矫正值。不同地理种群泥蚶的度量性状矫正值和计数性状经单因子方差分析结果表明: 壳宽、壳高、壳顶宽、外韧带长、放射肋宽、背缘长、壳重、放射肋和铰合齿差异显著($P < 0.01$)。Tukey 检验表明, 壳宽和壳湿重为广西> 浙江和韩国> 山东, 壳高为广西> 韩国> 浙江和山东, 壳顶宽为广西> 山东> 浙江和韩国, 外韧带长为广西

> 山东和韩国> 浙江, 肋宽为广西> 浙江> 山东和韩国, 背缘长为广西> 浙江、山东和韩国, 放射肋为韩国> 山东> 浙江> 广西, 铰合齿为韩国> 广西、浙江和山东。

2.2 主成分分析

所有样本的 9 个性状数据经标准化后进行主成分分析, 2 个主成分的负荷值和方差贡献率见表 2, 结果显示第一和第二主成分(Eigenvalue > 1) 解释形态变异的贡献率为 61.43%。壳宽、壳高和壳湿重在第一主成分有较高的负负载系数(解释变异的 41.02%), 铰合齿在第二主成分有较高的正负载系数(解释变异的 20.41%)。不同地理种群泥蚶的形态特征变量在第一和第二主成分的分值差异显著(ANOVA, PC1: $F_{3, 519} = 382.59, P < 0.01$; PC2: $F_{3, 519} = 335.46, P < 0.01$)。

第一和第二主成分的散布图见图 2。在 PC1 轴上浙江、山东和韩国三个种群重叠较大, 而广西种群与它们 3 个种群有明显差异; 在 PC2 轴上浙江和山东两个种群重叠最大, 韩国种群与它们的差异明显, 广西种群间于它们之间。无论在 PC1 轴上, 还是 PC2 轴上, 浙江和山东两个种群重叠较大, 说明它们的形态特征较为相似。

2.3 聚类分析

对所有样本的 9 个形态特征矫正值进行聚类分析结果表明, 浙江和山东两个种群的形态最为接近, 首先聚为一类, 然后与韩国种群聚类, 再与广西种群聚类(图 3)。

表 1 不同地理种群泥蚶形态特征的描述性统计值

Tab. 1 A descriptive statistics on morphological characteristics of *T. granosa* from different geographical populations

	广西(n=163) Guangxi	浙江(n=157) Zhejiang	山东(n=85) Shandong	韩国(n=118) Korea
壳长(mm) shell length	28.97±0.16 (22.41~33.67)	28.74±0.20 (23.71~39.15)	30.65±0.47 (18.27~38.96)	28.67±0.14 (24.94~32.01)
壳宽(mm) shell width	21.49±0.13 (16.76~25.74)	19.85±0.15 (17.25~28.66)	20.59±0.35 (11.12~20.07)	20.07±0.08 (18.13~22.36)
壳高(mm) shell height	23.44±0.15 (17.77~28.72)	22.18±0.15 (18.75~30.42)	23.29±0.36 (13.53~30.62)	22.50±0.10 (19.73~24.79)
壳顶宽(mm) umbo width	3.52±0.04 (2.01~4.89)	2.61±0.05 (1.26~4.38)	3.11±0.09 (0.90~5.20)	2.52±0.04 (1.17~3.70)
外韧带长(mm) outer ligament length	14.81±0.10 (11.35~17.96)	12.45±0.15 (9.52~20.69)	15.16±0.35 (6.30~20.55)	13.78±0.11 (11.20~16.60)
放射肋宽(mm) radial rib width	1.86±0.03 (1.30~2.34)	1.73±0.02 (1.25~2.39)	1.66±0.03 (1.08~2.27)	1.53±0.01 (1.19~1.88)
背缘长(mm) dorsal brim length	20.72±0.11 (17.51~24.05)	19.87±0.14 (15.86~26.32)	20.96±0.31 (12.64~26.37)	19.99±0.11 (17.06~23.31)
放射肋 radial rib	18.77±0.06 (17~22)	19.51±0.07 (18~21)	20.20±0.09 (18~22)	22.22±0.07 (20~24)
铰合齿 hinge tooth	36.39±0.25 (30~45)	36.01±0.25 (30~43)	35.40±0.37 (27~43)	46.42±0.26 (38~55)
壳湿重(g) shell moisture weight	7.12±0.14 (3.32~12.79)	5.63±0.13 (3.53~15.20)	5.91±0.24 (1.23~11.55)	5.34±0.07 (3.78~9.68)

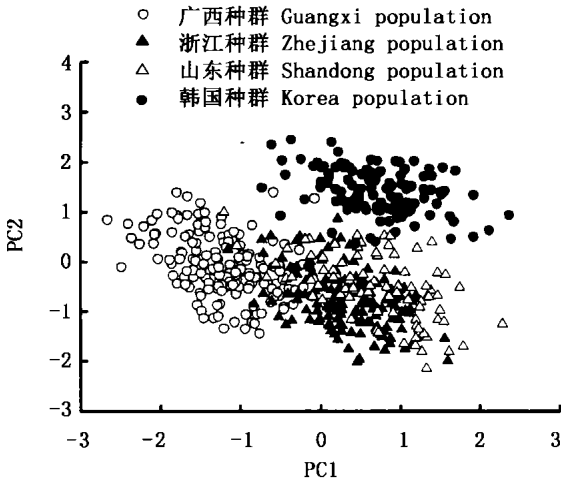


图 2 不同地理种群泥蚶的第一、二主成分的散布图

Fig. 2 Scatter diagram for PC1 and PC2 of *T. granosa* from different geographical populations

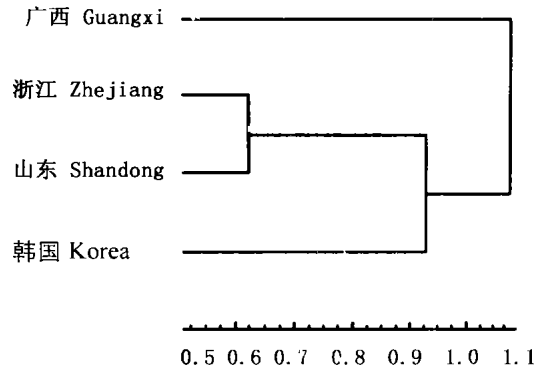


图 3 不同地理种群泥蚶的聚类分析图

Fig. 3 Clustering dendrogram of *T. granosa* from different geographical populations

2.4 判别分析

通过逐步判别分析, 筛选出了 6 个性状的特征值建立了 4 个地理种群泥蚶的判别函数, 为了去除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 $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ 分别代表 $SW/SL, SH/SL, OLL/SL, RRW/SL, \ln WSM/\ln SL, HT$ 等 6 个性状。4 个种群的判别公式如下:

广西种群: $Y = -776.265 + 151.318 X_1 + 1239.450 X_2 + 528.505 X_3 + 1599.610 X_4 - 209.696 X_5 + 5.024 X_6$

浙江种群: $Y = -691.993 + 141.038 X_1 + 1187.424 X_2 + 454.977 X_3 + 1492.259 X_4 - 203.736 X_5 + 5.088 X_6$

山东种群: $Y = -695.927 + 110.664 X_1 + 1205.640 X_2 + 525.412 X_3 + 1293.159 X_4 - 218.617 X_5 + 4.988 X_6$

韩国种群: $Y = -785.706 + 152.036 X_1 + 1239.519 X_2 + 512.170 X_3 + 1240.068 X_4 - 255.062 X_5 + 6.522 X_6$

将随机个体 6 个性状的特征值分别代入上述 4 个公式, 计算出 4 个函数值, 以函数值最大的判别函数所对应的种群名称作为该个体的地理种群名。判别结果表明总判别准确率为 86.23%, 广西、浙江、山东和韩国 4 个种群的判别准确率分别为 90.80%、80.89%、71.76% 和 97.46%。

3 讨论

泥蚶 4 个不同地理种群的 9 个形态性状差异显著, 贝壳形状是决定泥蚶不同地理种群的主要性状, 其次为铰合齿。从主成分分析可知决定形态变异的第一主成分为壳

表 2 泥蚶形态特征的主成分的负荷值和贡献率

Tab. 2 Contributive proportion and loading of principal components on the morphological characteristics of *T. granosa*

变量 variable	负荷值 loading value	
	第一主成分 PC1	第二主成分 PC2
壳宽 shell width	- 0.831	0.336
壳高 shell height	- 0.728	0.380
壳顶宽 umbo width	- 0.626	- 0.142
外韧带长 outer ligament length	- 0.540	0.332
放射肋宽 radial rib width	- 0.654	- 0.402
背缘长 dorsal brim length	- 0.413	0.191
壳湿重 shell moisture weight	- 0.874	0.196
放射肋 radial rib	0.594	0.691
铰合齿 hinge tooth	0.268	0.833
主成分值 eigenvalue	3.69	1.84
贡献率 (%) contributive proportion	41.02	20.41

注: 有主要贡献的变量用黑体注明(负荷值 > 0.700)

Notes: variables with the main contribution to each factor are in bold face(marked loadings > 0.700)

宽、壳高和壳湿重, 壳湿重实质上是壳厚的间接性状指标, 壳宽和壳高决定了壳外形的凸度, 这三个性状是贝壳形状的主要性状, 因此第一主成分实质上是贝壳形状决定。在其它贝类研究中也证实这一点, 如壳体大小、壳形和壳厚是影响中国钉螺不同地理种群的主要因子^[10], 壳高和贝壳侧面轮廓综合因子是影响五种蚌的主要因子^[11]。

主成分和聚类分析的结果一致表明, 浙江和山东种群的形态变异差异较小, 韩国和广西种群的形态变异差异较大, 这可能与泥蚶的栖息环境、遗传多样性的丢失有关。不同海区的盐度和饵料存在着一定差异; 水温(广西属热带水系、浙江属亚热带水系、山东和韩国属温带水系)和底质(广西和山东属泥沙底、浙江属软泥底、韩国属沙泥底)也不尽相同。泥蚶的生长规律与水温有关, 广西种群终年生长, 浙江乐清种群其成贝在冬季停滞生长, 稚贝在冬季也能生长^[4], 山东乳山湾种群蚶苗和成贝在冬季都停滞生长^[3]; 同时, 泥蚶为营穴居生活的底栖动物, 其形状在一定程度上与底质的理化性质有关。作者认为导致泥蚶形态地理变异的主要原因是对环境长期适应的结果, 环境因子中的水温、底质是决定形态变异的主要因子, 这种表型特征的地理变异也是遗传物质长期演变的结果。另外, 浙江和山东种群的形态变异相对较小, 还可能与引种导致了遗传多样性的丢失有关, 浙江地区于 20 世纪 60 年代末开始从山东采集自然蚶苗进行养殖; 20 世纪 90 年代始随着浙江泥蚶人工育苗的大力发展, 山东又从浙江购苗养殖, 从而不可避免地引起两地泥蚶的杂交, 种质混杂, 导致两种群形态差异较小。这一点从判别准确率也可以得到证实, 韩国和广西种群的判别准确率要高, 而山东的判别准确率最低。

参考文献:

- [1] Lin Z H, Wang T G, Xia C G. Large scale production of seeds of *Tegillarca granosa* Linnaeus [A]. Tran Chin Malac (8) [C]. Beijing: Xueyuan Press, 1999. 124- 129. [林志华, 王铁杆, 夏彩国. 泥蚶工厂化育苗技术[A]. 贝类学论文集(8)[C]. 北京: 学苑出版社, 1999. 124 - 129.]
- [2] Zheng J S, Wang M L, Wang Z Y, et al. Study on the development of sex gonad reproductive cycle of bloody clam *Tegillarca granosa* Linnaeus [J]. J Ocean Univ Qingdao, 1995, 25 (4): 503 - 510. [郑家声, 王梅林, 王志勇, 等. 泥蚶的性腺发育和生殖周期[J]. 青岛海洋大学学报, 1995, 25(4): 503 - 510.]
- [3] Wei L P, Sun J S, Ma S Z. The reproduction, growth and distribution of *Tegillarca granosa* Linnaeus in Rushan Bay [J]. J Fish China, 1986, 10(1): 87- 93. [魏利平, 孙尽善, 马绍正. 乳山湾泥蚶繁殖期及蚶苗的生长与分布[J]. 水产学报, 1986, 10(1): 87 - 93.]
- [4] You Z J, Xu S L, Bian P J, et al. The effects of sea water temperature and salinity on the growth and survival of *Tegillarca granosa* larvae and juveniles [J]. Acta Oceanol Sin, 2001, 23 (6): 167- 172. [尤仲杰, 徐善良, 边平江, 等. 海水温度和盐度对泥蚶浮游幼虫和稚贝生长与存活的影响[J]. 海洋学报, 2001, 23(6): 167- 172.]
- [5] You Z J, Wang Y N, Chen J. Growth of *Tegillarca granosa* in the pond culture of Yueqing Bay [J]. J Fish China, 2002, 24 (5): 440 - 447. [尤仲杰, 王一农, 陈坚. 乐清湾塘养泥蚶的生长[J]. 水产学报, 2002, 24(5): 440 - 447.]
- [6] Fang J G, Sun H L, Kuang S H, et al. Study on the filtration and ingestion rate of bloody clam larvae *Tegillarca granosa* Linnaeus [J]. Oceanol et Limnol Sin, 1999, 30 (2): 167 - 171. [方建光, 孙惠玲, 匡世煥, 等. 泥蚶幼虫滤水率和摄食率的研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(2): 167 - 171.]
- [7] Sun J L, Zhang Y P, Gao H. The effect of pH and temperature on protease activity in *Tegillarca granosa* [J]. Fish Sci, 2002, 21 (6): 7 - 9. [孙建礼, 张永普, 高辉. 温度和 pH 值对乐清养殖泥蚶蛋白酶的影响[J]. 水产科学, 2002, 21(6): 7 - 9.]
- [8] Yu Z N, Kong X Y, Yang R, et al. Allozyme variation within populations of *Tegillarca granosa* [J]. J Fish Sci China, 1997, 4 (5): 15 - 21. [喻子牛, 孔晓瑜, 杨锐, 等. 泥蚶等位基因酶遗传变异研究[J]. 中国水产科学, 1997, 4(5): 15- 21.]
- [9] Zhang Y P, Jia S J, Ying X P. A comparative study on the nutritive composition and contents in the meat of *Tegillarca granosa* in varied populations [J]. Trans Ocean Limnol, 2002, 2: 33- 38. [张永普, 贾守菊, 应雪萍. 不同种群泥蚶肉营养成分的比较研究[J]. 海洋湖沼通报, 2002, 2: 33- 38.]
- [10] Zhou X N, Hong Q B, Sun L P, et al. Cluster analysis on the morphology of *Oncomelania* spp. in China [J]. Chinese J Zool, 1997, 32(5): 4- 7. [周晓农, 洪青标, 孙乐平, 等. 中国钉螺壳的聚类分析[J]. 动物学杂志, 1997, 32(5): 4- 7.]
- [11] Wei K J, Xiong B X, Zhao Z S, et al. Morphological variations and discriminant analysis of five freshwater unionid species (Bivalva: Unionidae) [J]. J Fish China, 2003, 27 (1): 13- 18. [魏开建, 熊邦喜, 赵小红, 等. 五种蚌的形态变异与判别分析[J]. 水产学报, 2003, 27(1): 13- 18.]