

网络优先数字出版时间: 2015-11-26

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20151126.1017.016.html>

# 红树蚶与歪红树蚶形态差异分析\*

## Analysis on the Morphological Difference between *Polymesoda erosa* and *Polymesoda expansa*

农莹<sup>1,2</sup>, 杨明柳<sup>2</sup>, 邢永泽<sup>2</sup>, 高霆炜<sup>2</sup>, 阎冰<sup>2\*\*</sup>

NONG ying<sup>1,2</sup>, YANG Ming-liu<sup>2</sup>, XING Yong-ze<sup>2</sup>, GAO Ting-wei<sup>2</sup>, YAN bing<sup>2</sup>

(1. 广西大学动物科学技术学院, 广西南宁 530005; 2. 广西科学院广西红树林研究中心, 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西北海 536000)

(1. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530005, China; 2. Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China)

**摘要:**【目的】从形态上区分红树蚶(*Polymesoda erosa*)和歪红树蚶(*Polymesoda expansa*)。【方法】运用多变量形态度量学分析方法, 采用14项生物学形态性状指标比较广西廉州湾草头村红树林的红树蚶与歪红树蚶的差异。【结果】方差分析结果显示, 1个比例性状达到差异显著水平( $P < 0.05$ ), 12个比例性状达到差异极显著水平( $P < 0.01$ )。主成分分析构建了4个主成分, 第1主成分贡献率为30.70%, 第2主成分贡献率为17.76%, 第3主成分贡献率为10.11%, 第4主成分贡献率为7.80%, 累计贡献率为66.37%。逐步判别分析建立判别函数, 其判别准确率 $p_1$ 为81.7%~89.0%,  $p_2$ 为81.7%~87.5%, 综合判别率为86.0%。【结论】壳高、壳宽、韧带长、韧带宽等性状决定红树蚶和歪红树蚶两个种间的形态差异, 判别方程可以有效将上述种群区分开来。

**关键词:** 红树蚶 歪红树蚶 形态差异 多元分析

**中图分类号:** Q959.215 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2015)04-0268-05

**Abstract:** 【Objective】To explore the morphological difference between *Polymesoda erosa* and *Polymesoda expansa*. 【Methods】Fourteen morphological properties of the two populations of *P. erosa* and *P. expansa* were collected in mangroves at Lianzhou Bay of Guangxi for identifying the morphological difference between the two clams by multivariate morphometrics. 【Results】ANOVA results revealed that the difference in one morphometric property between the two clams were significant ( $P < 0.05$ ), and differences in other twelve morphometric properties between the two clams were highly significant ( $P < 0.01$ ). Four principal components were identified through principal component analysis (PCA) and their contribution rates were 30.70%, 17.76%, 10.11% and 7.80% respectively, accounting for 66.37% accumulation contribution rate. Dependent discriminate functions for principal component 1 and 2 were developed through stepwise discriminant analysis, and discriminant accuracy of two species were 81.7%~89.0% and 81.7%~87.5% respectively. The average was 86%.

【Conclusion】The dominant factors were shell width, shell height, ligament length, ligament width and etc. Our findings provided an effective method for separating *P. erosa* and *P. expansa*.

**Key words:** *Polymesoda erosa*, *Polymesoda expansa*, morphological differences, multivariate analysis

收稿日期: 2015-10-27

修回日期: 2015-11-12

作者简介: 农莹(1990-), 女, 硕士研究生, 主要从事生态毒理学研究。

\* 海洋公益性行业科研专项经费项目(201505028)和广西红树林保护与利用重点实验室基金课题项目(GKLMC-08)资助。

\*\* 通讯作者: 阎冰(1966-), 男, 研究员, 主要从事红树林污染生态研究, E-mail: gxybing@tom.com。

## 0 引言

**【研究意义】**红树蚶(*Polymesoda erosa*)和歪红树蚶(*Polymesoda expansa*)同隶属于软体动物门(Mollusca),双壳纲(Bivalvia),异齿亚纲(Heterodonta),帘蛤目(Veneroida),蚶科(Corbiculidae),*Polymesoda*属。它们广泛分布于热带、亚热带咸淡水交汇的河口及潮间带,尤其以红树林作为主要的栖息地,在我国台湾、广东、广西、海南等地都有分布<sup>[1~3]</sup>,是红树林生境大型底栖动物群落中具有重要作用的关键种。它们具有分布广泛、个体大小适中、适应性强、化学特异性强、剂量-效应关系明显的优点,是红树林区潜在的生物监测指示物种<sup>[4~6]</sup>。

**【前人研究进展】**红树蚶和歪红树蚶分别在18世纪和19世纪被发现和命名<sup>[7]</sup>。20世纪90年代,部分学者对红树蚶的生态环境、生活习性、种群结构及动态变化、分布、繁殖等进行观察<sup>[1,8~13]</sup>。以形态学特征为主要分类指标,其他肉眼可以观察到的特征为辅的传统分类学,一直以来是分类和鉴定水生动物的主要方法。贝类传统分类学建立的重要依据是贝壳的表观特征(大小、质地、壳型、铰合部、铰合齿、内外韧带、壳表二级结构等)、成体软体部的组织和器官的解剖结构(闭壳肌的数目和形状、鳃的结构、外套囊、外套线、接合线、水管触手的形态与分布等)和生态学特征(食性、栖息环境等)<sup>[14]</sup>,以及根据这些表观特征,采用形态学度量及多元分析方法区分其差异<sup>[15~17]</sup>。**【本研究切入点】**在红树林采集红树蚶过程中发现,歪红树蚶与其在同一区域生长和分布,且形态相似,不能从外观准确的将其区分开。**【拟解决的关键问题】**采用方差分析、判别分析和主成分分析3种多元统计学分析方法,对同一地点生长的红树蚶和歪红树蚶的形态性状进行比较分析,旨在为区分和识别这两种不同蚶提供科学理论依据。

## 1 材料与方方法

### 1.1 样品采集

2015年4~5月,于广西北海廉州湾草头村红树林(21°33'28"N,109°9'22"E)采集野生红树蚶和歪红树蚶,共521个样品。如图1所示,红树蚶壳体后方下缘有明显折痕、呈暗绿色,歪红树蚶壳体后缘韧带延伸下来的部位有向外扩张的趋势、无折痕、呈黄绿色<sup>[7]</sup>,以此标准分出红树蚶308个,歪红树蚶213个,刷洗净淤泥、擦干表面水分进行分类鉴定。



图1 红树蚶与歪红树蚶的形态对比

Fig. 1 Morphological comparison of *P. erosa* and *P. expansa*

### 1.2 测量方法

电子天平称量活重(HZ)后放入编好号的塑料碗中。用游标卡尺测量壳长(CD)、壳高(AB)、壳宽(SW)、韧带长(RC)、韧带宽(RK)、左壳主齿总长(ZC)、左壳中主齿宽(ZZ)、左壳后主齿宽(ZH)、右壳主齿总长(YC)、右壳前主齿宽(YQ)、右壳中主齿宽(YZ)、右壳前侧齿高(YG)、右壳前侧齿到前主齿距离(YY),去除内脏和壳外附着物干燥后,电子天平称量壳重(KZ)共15个指标见图2(图2为红树蚶),共测得7815个数据,精确到小数点后3位。

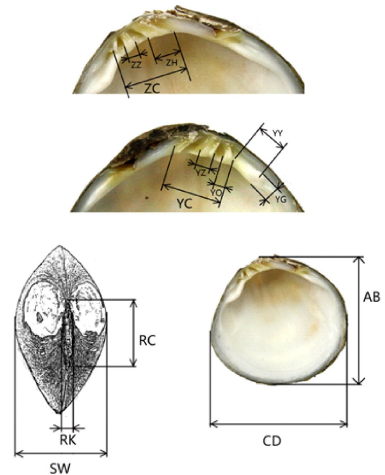


图2 形态学测量位点

Fig. 2 Landmark points of morphological measurement of *P. erosa* and *P. expansa*

### 1.3 数据处理

用SPSS 19.0软件进行数据处理。采用方差分析(ANOVA)、判别分析(DA),主成分分析(PCA)3种方法对红树蚶、歪红树蚶两个种群的形态差异进行比较和分析。为消除样品个体大小对形态特征的影响,先将每个个体所测得的参数除以自身的壳长得到校正值后再进行数据处理。 $P < 0.05$ 认为存在显著性差异, $P < 0.01$ 认为存在极显著差异。

判别分析中判别准确率及综合判别率的计算公式如下:

判别准确率  $p_1(\%) = \text{判别正确的数目} / \text{实测数目} \times 100\%$ ;

判别准确率  $p_2(\%) = \text{判别正确的数目} / \text{判别数目} \times 100\%$ ;

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

其中  $A_i$  为第  $i$  个种群判别正确的样品数,  $B_i$  为第  $i$  个种群实际判别的样品数,  $k$  为种群数<sup>[15,17]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 形态差异比较

由表1可知,红树蚬与歪红树蚬的形态特征中,壳高(AB)、壳宽(SW)、韧带长(RC)、韧带宽(RK)、壳重(KZ)、左壳主齿总长(ZC)、左壳中主齿宽(ZZ)、左壳后主齿宽(ZH)、右壳主齿总长(YC)、右壳前主齿宽(YQ)、右壳中主齿宽(YZ)、右壳前侧齿高(YG)这12项差异极显著( $P < 0.01$ ),右壳前侧齿到前主齿距离(YZ)差异显著( $P < 0.05$ )。

表1 红树蚬与歪红树蚬的14个比例性状(平均值±标准差)

Table 1 Mean values and standard deviation of 14 morphometric characteristics for *P. erosa* and *P. expansa*

比例性状 Morphometric characteristics	校正均值 Corrected mean		标准差 Standard deviation $x$
	红树蚬 <i>P. erosa</i>	歪红树蚬 <i>P. expansa</i>	
HZ/CD	1.043±0.368	1.07±0.278	0.303
AB/CD	0.920±0.029	0.909±0.025	0.000
SW/CD	0.570±0.034	0.551±0.034	0.000
RC/CD	0.426±0.051	0.417±0.028	0.000
RK/CD	0.064±0.008	0.059±0.005	0.000
KZ/CD	0.490±0.191	0.554±0.157	0.000
ZC/CD	0.186±0.017	0.162±0.016	0.000
ZZ/CD	0.039±0.005	0.035±0.004	0.000
ZH/CD	0.064±0.009	0.052±0.008	0.000
YC/CD	0.189±0.017	0.165±0.015	0.000
YQ/CD	0.030±0.004	0.028±0.004	0.000
YZ/CD	0.042±0.006	0.034±0.007	0.000
YG/CD	0.056±0.007	0.048±0.007	0.000
YY/CD	0.124±0.011	0.121±0.010	0.020

### 2.2 判别分析

采用逐步判别方法进行判别。筛选出7个性状的特征值建立红树蚬和歪红树蚬的判别函数,公式中的  $X_1 \sim X_7$  分别代表 HZ/CD, RK/CD, KZ/CD, ZH/CD, YC/CD, YZ/CD, YG/CD, 其判别公式如下:

$$\text{红树蚬: } Y = -18.042X_1 + 856.253X_2 + 23.561X_3 - 309.114X_4 + 649.751X_5 - 79.017X_6 + 918.189X_7 - 100.170;$$

$$\text{歪红树蚬: } Y = -25.126X_1 + 779.960X_2 +$$

$$40.3531X_3 - 381.508X_4 + 623.421X_5 - 151.122X_6 + 820.510X_7 - 80.078。$$

将所有样本进行逐个判别,7个性状的特征值分别带入上述2个公式,计算出2个函数值,被判个体归属于函数值最大的判别函数所对应的种群。分类结果见表2,红树蚬  $p_1 = 89.0\%$ ,  $p_2 = 87.5\%$ ,歪红树蚬  $p_1 = 81.7\%$ ,  $p_2 = 81.7\%$ ,综合判别率  $p = 86.0\%$ ,判别准确率较高。

表2 红树蚬与歪红树蚬判别分析结果

Table 2 Discriminant results of *P. erosa* and *P. expansa*

种类 Species	样本数 Samples	预测分析 Predicted group membership		判别准确率 Discriminant rate(%)		综合判别率 Comprehensive rate(%)
		红树蚬 <i>P. erosa</i>	歪红树蚬 <i>P. expansa</i>	$p_1$	$p_2$	
红树蚬 <i>P. erosa</i>	308	274	34	89.0	87.5	—
歪红树蚬 <i>P. expansa</i>	213	39	174	81.7	81.7	—
合计 Total	521	313	308	—	—	86.0

### 2.3 主成分分析

对红树蚬、歪红树蚬共521个样本7294个性状经校正处理后,主成分分析结果见表3。第1主成分贡献率为30.70%,第2主成分贡献率为17.76%,第3主成分贡献率为10.11%,第4主成分贡献率为7.80%,累计贡献率为66.37%。第1

表3 红树蚬与歪红树蚬形态特征的主成分负荷值及贡献率

Table 3 Contributive proportion and loading of principal components on the morphological characteristics of *P. erosa* and *P. expansa*

比例性状 Morphometric characteristics	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2	主成分3 Principal component 3	主成分4 Principal component 4
HZ/CD	0.457	0.766*	-0.144	-0.304
AB/CD	0.545*	0.063	0.373	0.150
SW/CD	0.584*	0.565*	0.116	0.000
RC/CD	0.375	0.449	0.105	0.512*
RK/CD	0.473	0.227	0.240	0.288
KZ/CD	0.349	0.842*	-0.154	-0.232
ZC/CD	0.863*	-0.372	-0.117	-0.032
ZZ/CD	0.621*	-0.214	0.009	0.340
ZH/CD	0.678*	-0.435	0.066	-0.311
YC/CD	0.874*	-0.351	-0.089	-0.024
YQ/CD	0.333	-0.037	-0.673*	0.334
YZ/CD	0.472	-0.309	-0.226	-0.005
YG/CD	0.526*	-0.133	0.297	-0.476
YY/CD	-0.002	-0.067	0.729*	0.162
累积贡献率 Contributory ratio	0.3070	0.1776	0.1011	0.0780

注: \*表示有主要贡献的变量(|负荷值| > 0.500)。

Notes: \* Variables means the main contribution to each factor (| marked loadings | > 0.500).

主成分受左壳主齿总长(ZC)和右壳主齿总长(YC)影响最大,其次为左壳中主齿宽(ZZ)、左壳后主齿宽(ZH)、壳高(AB)、壳宽(SW)和右壳前侧齿高(YG),第2主成分受壳重(KZ)影响最大,其次为活重(HZ)和壳宽(SW),第3主成分受右前侧齿到主齿距离(YY)影响最大,其次是右壳前主齿宽(YQ),第4主成分受韧带长(RC)影响最大。

如图3所示,第1主成分红树蚬与歪红树蚬有重叠区域,中轴两侧的两种群有分开,第1主成分受左壳主齿总长、右壳主齿总长、左壳中主齿宽、左壳后主齿宽、壳高和右前侧齿到主齿距离影响;第2主成分中,红树蚬和歪红树蚬重叠较大,说明对第2主成分影响较大的壳重、活重和壳宽不能用来区分两种群。

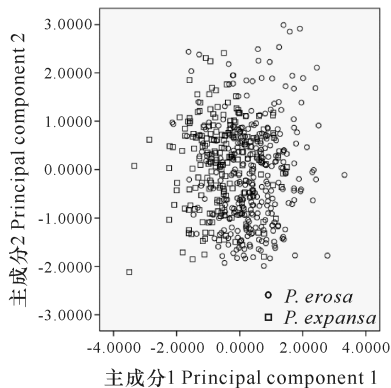


图3 红树蚬与歪红树蚬的第1,2主成分的散布图

Fig. 3 Scatter diagram for Principal component 1 and 2 of *P. erosa* and *P. expansa*

### 3 讨论

通过观察形态和比较个体大小相近的红树蚬与歪红树蚬发现:红树蚬壳体后方下缘有明显折痕、呈暗绿色,歪红树蚬壳体后缘韧带延伸下来的部位有向外扩张的趋势、无折痕、呈黄绿色;壳内顶端铰合部,红树蚬的主齿相对于歪红树蚬偏大<sup>[8]</sup>。然而野外采集到的红树蚬和歪红树蚬大多数形态相似,简单的性状如壳颜色、纹理、形状等不能准确的将它们加以区分,需要采用方差分析、主成分分析和判别分析方法,比较其主要的几个形态特征<sup>[16~19]</sup>,方差分析结果表明,只有活重/壳长这个比例性状差异未能达到显著水平,笔者认为这是与活蚬吸水和排水量有关。主成分分析中影响两种群形态差异的性状如左壳主齿、左壳中主齿、左壳后主齿、右壳主齿和右壳前侧齿都属于铰合齿部,铰合部的差异也是一些贝类分类的主要手段。判别分析是贝类种群鉴定的常用方法,本研究采用形态学度量方法,对其形态性状

进行测量后分析比较,得出的判别公式判别准确率较高,因此可以作为区分红树蚬与歪红树蚬的辅助依据。但判别分析方法并不能完全准确区分红树蚬与歪红树蚬,需借助分子生物学方法。近20年来基于线粒体DNA的DNA条形码技术逐渐应用到生物分类学中,已成为物种鉴定的手段之一<sup>[20]</sup>。

多数学者认为,贝类形态特征是由遗传因子与环境因子共同作用的结果<sup>[15]</sup>。它们不但多样性程度高而且可塑性极大,特别容易受到被观察对象的个体差异、生境变化、外部环境、种间平行进化与种内生态型繁杂等因素的干扰,可能会导致种间差异性较小甚至存在相互重叠的现象。笔者认为,两种蚬形态鉴定困难,可能是因为它们处于同一个生态位,生长环境及生活方式相似,导致了红树蚬与歪红树蚬形态的相似。

### 4 结论

采用3种多元分析方法,对红树蚬和歪红树蚬的14个形态比例参数进行比较研究。从判别分析结果来看,判别准确率  $p_1 = 81.7\% \sim 89.0\%$ ,  $p_2 = 81.7\% \sim 87.5\%$ ,综合判别率  $p = 86.0\%$ ,判别率较高。主成分分析结果表明,第1主成分中影响两种群形态差异的性状为壳高、壳宽、左壳主齿总长、左壳中主齿宽、左壳后主齿宽、右壳主齿总长和右壳前侧齿高。红树蚬和歪红树蚬的区分主要与壳高、壳宽、铰合齿有关。判别方程可用于区分红树蚬与歪红树蚬,多元分析方法可以有效的将上述种群区分开。

### 参考文献:

- [1] 蔡英亚,黄翔鹤,吴洞科. 红树蚬的生态观察[J]. 热带海洋,1995,4(1):94-98.  
Cai Y Y, Huang X H, Wu D K. Studies on the ecology of *Polymesoda erosa* (Solander)[J]. Tropic Oceanology, 1995, 4(1): 94-98.
- [2] 王文卿,王瑁. 中国红树林[M]. 北京: 科学出版社, 2007:113-160.  
Wang W Q, Wang M. The Mangroves of China[M]. Beijing: Science Press, 2007: 113-160.
- [3] 张俊杰. 红树蚬的生物学研究[D]. 南宁: 广西大学, 2013.  
Zhang J J. Biological Study of the Mangrove Clam *Polymesoda (geloina) erosa* [D]. Nanning: Guangxi University, 2013.
- [4] 梁超愉,张汉华,颜晓勇,等. 雷州半岛红树林滩涂底栖

- 生物多样性的初步研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(2): 18-25.
- Liang C Y, Zhang H H, Xie X Y, et al. Study on biodiversity of mangrove benthos in Leizhou Peninsula[J]. Marine Sciences, 2005, 29(2): 18-25.
- [5] 彭逸生, 孙红斌, 谢荣如, 等. 海丰鸟类自然保护区大型底栖动物群落特征[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1163-1169.
- Peng Y S, Sun H B, Xie R R, et al. The macrobenthic communities in Haifeng Birds Nature Reserve[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(3): 1163-1169.
- [6] Jiang J X, Li R G. An ecological study on the Mollusca in mangrove areas in the estuary of the Jiulong River [J]. Hydrobiologia, 1995, 295(1-3): 213-220.
- [7] Morton, B. A review of *Polymesoda* (*Geloina*) Gray, 1842 (Bivalvia; Corbiculacea) from Indo-Pacific mangroves[J]. Asian Marine Biology, 1984, 1: 77-86.
- [8] Morton B. The biology and functional morphology of the Southeast Asian mangrove bivalve, *Polymesoda* (*Geloina*) *erosa* (Solander, 1786) (Bivalvia; Corbiculidae) [J]. Canadian Journal of Zoology, 2011, 54(4): 482-500.
- [9] Ingole B S, Krishna K L, Ansari Z A, et al. New record of mangrove clam *Geloina erosa* (solander, 1786) from the west coast of India [J]. Bombay Nat His Soc, 1994, 19(2): 398-399.
- [10] Ingole B S, Naik S, Furtdo R, et al. Population Characteristics of the Mangroxes, Goa [M]. NAT CONF COAST AGRI, 2002, Goa, India; Proceedings, 2002: 211-212.
- [11] Chatterji A, Ansari Z A, Ingole B S, et al. Indian marine bivalves: Potential source of antiviral drugs[J]. Currentence, 2002, 82(10): 1279-1282.
- [12] 周浩郎, 张俊杰, 杨明柳, 等. 廉州湾红树蚶的繁殖生物学研究[J]. 海洋科学, 2014, 38(12): 34-39.
- Zhou H L, Zhang J J, Yang M L, et al. The reproductive biology of the mangrove clam *Polymesoda erosa* (Solander 1768) in Lianzhou Bay [J]. Marine Sciences, 2014, 38(12): 34-39.
- [13] Clemente S, Ingole B S. Recruitment of mud clam *Polymesoda erosa* (Solander, 1876) in a mangrove habitat of Choraaisland, Goa [J]. Brazilian Journal of Oceanography, 2011, 59(2): 153-162.
- [14] 于贞贞. 异齿亚纲贝类 DNA 条形码与系统发生学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Yu Z Z. DNA Barcoding and Molecular Phylogeny of Heterodonta [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [15] 张永普, 林志华, 应雪萍. 不同地理种群泥蚶的形态差异与判别分析[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 339-342.
- Zhang Y P, Lin Z H, Ying X P. Morphological variations and discriminant analysis of different geographical populations of *Tegillarca granosa* [J]. Journal of fisheries of China, 2004, 28(3): 339-342.
- [16] 张尧庭, 方开秦. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 393-401.
- Zhang Y T, Fang K Q. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis [M]. Beijing: Science Press, 1982: 393-401.
- [17] 冯建彬, 李家乐, 王美珍, 等. 我国四海区不同种群文蛤形态差异与判别分析[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2005, 24(4): 318-323.
- Feng J B, Li J L, Wang M Z, et al. Morphological variations and discriminant analysis of different populations of *Meretrix meretrix* in four sea regions in China [J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2005, 24(4): 318-323.
- [18] 王如才, 王昭萍, 李琪, 等. 海水贝类养殖学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2008.
- Wang R C, Wang Z P, Li Q, et al. Aquaculture Science of Marine Shellfish [M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2008.
- [19] 宋菲菲, 王其翔, 刘名, 等. 不同地区毛蚶种群的形态差异的比较研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2012, 42(11): 40-45.
- Song F F, Wang Q X, Liu M, et al. Morphological variation analysis of *Scapharca subcrenata* population in China [J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science, 2012, 42(11): 40-45.
- [20] 孙启梦. 中国海蟹守螺科 Cerithiidae 的系统分类和动物地理学研究[D]. 广州: 中国科学院研究生院海洋研究所, 2014.
- Sun Q M. Study on the Taxonomy and Zoogeography of Cerithiidae of China Seas [D]. Guangzhou: University of Chinese Academy of Sciences, Institute of Oceanography, 2014.

(责任编辑: 陆 雁)