

中国沿海脉红螺 (*Rapana venosa*) 居群 数量性状遗传多样性研究*

杨建敏 郑小东¹⁾ 李琪 王如才 宋志乐 由宝昌

(山东省海洋水产研究所 烟台 264006 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室 青岛 266003)

(中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室 青岛 266003)

(烟台市芝罘区渔业技术推广站 烟台 264000)

(中国农业大学(烟台) 烟台 264003)

提要 采用多变量形态度量学方法,对丹东(DD)、大连(DL)、秦皇岛(QH)、烟台(YT)、青岛(QD)、连云港(LY)、日照(RZ)和舟山(ZS)脉红螺 8 个地理居群间的形态变异进行了比较研究,建立了居群形态聚类图和形态判别函数。结果显示:我国沿海脉红螺形态存在地理变异现象,愈向北群体间的形态变异愈明显。沿海 8 个居群可分为与其生态相关的两大类群,即内湾近岸类群和外海栖居类群。依据壳重/壳高为指标的差异系数判断,大连居群(DL)与相邻海域丹东(DD)和烟台(YT)居群间的差异程度达到亚种水平,其他居群间均属亚种水平下的单元。本实验所得壳的形态参数按 Mayer 等(1953)标准比较,秦皇岛居群(QH)仅是脉红螺的独立地方居群,尚达不到亚种水平,因此,构不成新种,传统分类上的“强棘红螺 *Rapana peichiliensis*”不存在。

关键词 脉红螺,形态变异,居群差异

中图分类号 Q346

脉红螺 (*Rapana venosa*) 为较大型海洋底栖贝类(王如才, 1987; 齐钟彦, 1998), 主要分布于渤海、黄海、东海与南海, 日本沿海和朝鲜半岛沿海分布也比较丰富。在我国南海沿岸产量较少, 青岛、大连东沟等地产量较大。脉红螺是我国重要的渔业捕捞对象和经济腹足类。

国内外学者就脉红螺的形态地理分布 (Kohn *et al.*, 1975; Helberg *et al.*, 2001)、分类 (Grabau *et al.*, 1928; Kuroda *et al.*, 1957; Grossu *et al.*, 1964; 菅野三郎等, 1964; Habe, 1969)、繁殖生物学 (李嘉泳, 1959; Sahin, 1998; Harding *et al.*, 1999; 魏利平等, 1999; 刘吉明等, 2003) 等方面进行过研究。但不同地理区域的脉红螺在个体形态上有很大差别, 导致分类上的混乱现象。Grabau 等 (1928) 曾因我国渤海湾标本的棘强大而定名“强棘红螺” *R. peichilicensis*。以后 Kuroda 等 (1957)

将 *R. peichilicensis* Grabau & King 列为脉红螺的亚种。为此, 作者就脉红螺不同地理居群的形态进行多变量统计分析, 并结合等位酶分析和线粒体 DNA (mDNA) 数据 (另文), 从不同遗传学水平探究了中国沿海脉红螺居群的遗传结构和遗传多样性状况, 并从居群差异程度来判断不同区域的脉红螺是否有条件构成亚种或区分出“强棘红螺 *R. peichilicensis*”。

1 材料与方法

1.1 材料

2002 年 11 月—2003 年 6 月, 采集了大连、秦皇岛、烟台、青岛、日照、连云港、舟山 8 个脉红螺自然居群的样本, 地跨北纬 20°—40° 约 10 个纬度 (表 1)。每个居群采集 40—60 个个体, 用保温箱运回实验室, 刷洗干净后于玻璃钢水槽暂养待用。

* 国家 863 生物高新技术项目, 863-819-01-01 号。杨建敏, 博士, 副研究员, E-mail: laddenj@ sina.com

1) 通讯作者: 郑小东, 博士, 副教授, E-mail: xdzhen@ouc.edu.cn

收稿日期: 2005-01-18 收修改稿日期: 2005-05-08

表 1 中国沿海脉红螺居群、采集地点、时间以及样品数量和壳长 (mm)

Tab 1 The population, sample site, numbers, date and measurement (mm) of *R. venosa* collected in the coastal water of China

居群	代码	采样地点	数量(个)	时间(年.月.日)	平均壳长 ± 标准差
秦皇岛	QH	39° 52' 52"N—119° 40' 47"E	50	2002. 11. 23	72.02 ± 5.88
丹 东	DD	40° 00' 20"N—124° 20' 21"E	58	2003. 05. 10	67.53 ± 6.58
大 连	DL	39° 13' 18"N—122° 36' 11"E	56	2003. 06. 01	93.0 ± 12.28
烟 台	YT	37° 36' 46"N—121° 14' 56"E	50	2002. 11. 29	73.34 ± 5.40
青 岛	QD	36° 08' 58"N—120° 14' 08"E	55	2003. 04. 06	77.41 ± 12.98
日 照	RZ	35° 21' 57"N—119° 34' 13"E	42	2002. 11. 27	78.84 ± 19.05
连云港	LY	34° 43' 02"N—119° 32' 55"E	51	2002. 11. 25	109.04 ± 14.50
舟 山	ZS	30° 10' 09"N—122° 14' 39"E	50	2002. 11. 02	101.22 ± 9.36

1.2 方法

1.2.1 测量参数 每个居群随机取约 50 个个体, 逐一进行活体解剖取样和生物学测量。先用游标卡尺对每个脉红螺的形态部位进行测量, 精确度为 0.02mm。每个脉红螺均测量 6 个形态参

数, 分别为: *A* 壳高、*B* 螺旋部高、*C* 体螺层高、*D* 壳口宽、*E* 厣宽和 *F* 厣高 (图 1)。用电子天平称取每个个体的体重后敲碎贝壳, 完整取出软体部并称重。共测量 412 个个体。

1.2.2 数据处理及标准化 为了消除脉红螺

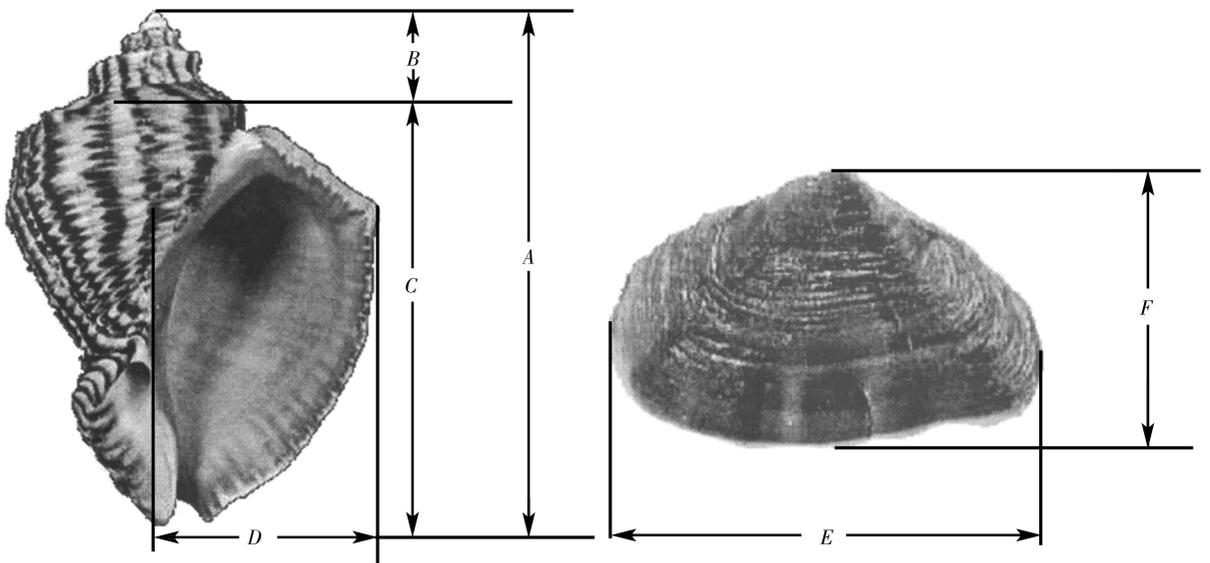


图 1 脉红螺壳和厣的形态测量

Fig 1 The morphologic measurements of the shell and operculum of *R. venosa*

A: 壳高; *B*: 螺旋部高; *C*: 体螺层高; *D*: 壳口宽; *E*: 厣宽; *F*: 厣高。单位为 mm

个体大小的影响, 用简化了的彼此不相关的新变量替代原有的有一定相关关系的变量 (数据), 对简化了的新的形态参数进行两两组合求其回归关系。以其中的 12 个形态学变量 (*B/A*、*C/A*、*D/A*、*E/A*、*F/A*、*B/C*、*D/C*、*E/C*、*F/C*、*E/D*、*F/D*、*F/E*) 及 3 个与生物学有关的变量 (*G/A*、*G/C*、*G/D*) (*G* 为壳重) 作为标准化数值进行聚类分析, 用于分析的标准化数据共 6180 个。

1.2.3 聚类分析 采用 STATISTICA 6.0 软件中 UPGMA 法和 City-block 距离进行样本个体、群体平均值及参数变量聚类。

1.2.4 形态判别与变异分析 运用 SPSS 软件 Stepwise 建立 8 个居群的多元回归方程, 并做差异显著性检验。对贝壳重和壳高进行回归估计, 建立各居群用壳高和壳口宽估计脉红螺贝壳重量的多元回归方程, 以及用壳口宽和体螺层高

估计脉红螺壳高的多元回归方程。

1.2.5 居群地理变异比较 分别以壳重 (G) 与壳高 (A) 和体螺层 (C) 与壳高 (A) 的比值 G/A 和 C/A 为标准, 依以下公式 (Mayer *et al.* 1953) 计算:

$$S.E._d = \sqrt{\frac{N_1}{N_2} (S.E._{M_1})^2 + \frac{N_2}{N_1} (S.E._{M_2})^2} \quad (1)$$

$$C.D. = \frac{M_2 - M_1}{S.D_1 + S.D_2} \quad (2)$$

式中, $S.E._d$ 为平均数差数的标准误差; $S.E._M$ 为平均数标准误差; $C.D.$ 为差异系数; N 为个体数; M 为平均数。

若两个居群平均数的差异量大于 3 倍平均数差数的标准误差, 即 $M_1 - M_2 > 3 S.E._d$, 则判断两个居群为两个显著不同的地理居群; 若二者的差异系数 $C.D. \geq 1.28$ 则可划分为亚种水平。

2 结果

2.1 变量的相似性

对与壳重和壳可测量尺寸有关的 15 个变量的标准化数值进行分析, 各变量 City-block 距离显示 (图 2), 15 个变量分聚为四大类别, 各类别内变量在区分脉红螺形态变异方面有相似功能, 单独选取其中的任一变量, 可用来对脉红螺各居群进行形态鉴定和归类。

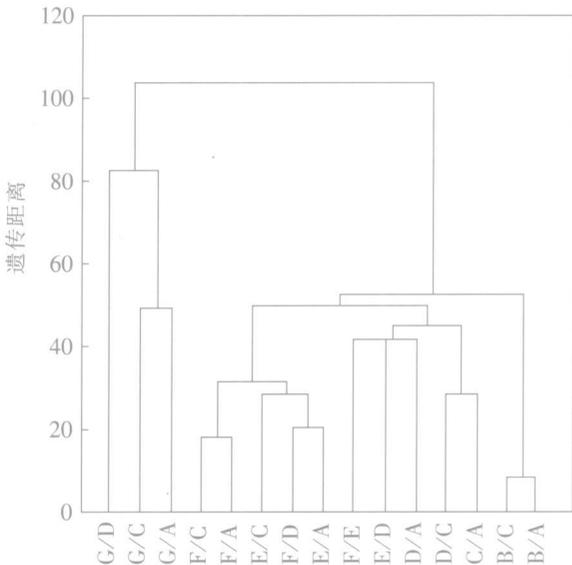


图 2 脉红螺 15 个变量聚类图

Fig 2 Tree diagram for 15 variables of *R. venosa* (City-block distances)

2.2 群体平均值的相似性

在对脉红螺所有 412 个个体的形态原始数进行聚类分析过程中发现, 虽然分析中所选择的

个体形态变量基本能把 8 个不同居群区分开来, 各组分别代表一个独立的居群, 但 8 个居群的原始数据体现的个体特征之间有一定的相互交叉现象, 其拓扑结构图不能清晰地突出居群特征。因此, 进一步选择能代表居群一般特征的每个变量的平均值进行聚类分析, 结果如图 3 示。所采集的 8 个居群可从形态上区分为两大类群: 第一类群包括河北秦皇岛 (QH)、丹东 (DD)、烟台 (YT)、青岛 (QD) 和日照 (RZ) 5 个居群。在这一类群中, 地理位置相近的日照 (RZ) 和青岛 (QD) 居群、丹东 (DD) 和烟台 (YT) 居群首先分别聚到了一起, 而河北秦皇岛 (QH) 居群在第一类群中与日照 (RZ) 和青岛 (QD) 聚合在一起。第二类群包括连云港 (LY)、舟山 (ZS) 和大连 (DL) 3 个居群。分析发现, 第一类群的 5 个居群, 其分布区域主要是近海或近岸内湾, 而第二类群主要分布在外海或岛屿。

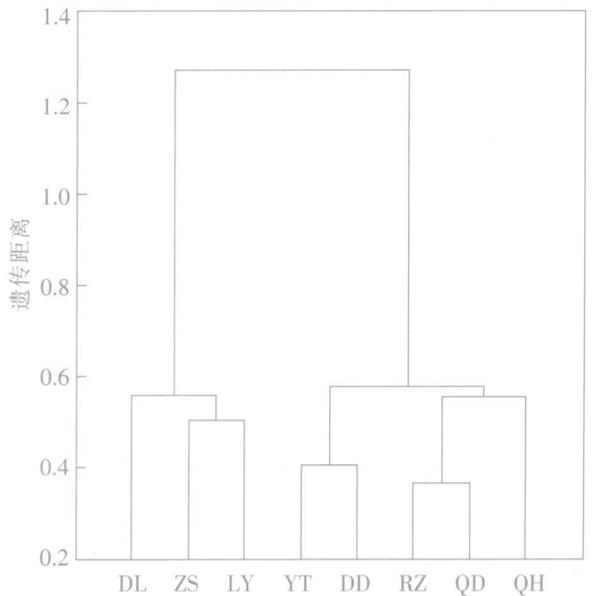


图 3 脉红螺 8 个居群形态特征均值聚类图

Fig 3 Tree diagram for 8 populations of *R. venosa* (City-block distances)

值得注意的是, 大连居群没有同地理纬度相近的烟台 (YT)、丹东 (DD) 和秦皇岛 (QH) 居群靠到一起, 说明该居群与毗邻群体之间在形态上有较大差异, 但差异程度需进一步量化。总的来说, 聚类结果与文献较一致 (菅野等, 1964; Habe, 1969)。结果表明, 形态差异与它们栖息的环境紧密相关, 8 个居群基本可归结为内湾近岸型和外海栖居型两大生态类群。

2.3 形态判别分析及回归方程的建立

经显著性检验,壳重对壳高和壳口宽回归关系以及壳重对壳高和壳口宽回归系数差异性显著 ($P < 0.05$), 可用来建立回归方程。各居群采用逐步回归方法得到估计壳重 (\hat{W}) 对壳高和壳口宽的多元回归方程, 分别为:

$$\begin{aligned} \hat{W}_{QH} &= -82.878 + 1.069X_1 + 1.066X_2 \\ \hat{W}_{DL} &= -158.213 + 1.757X_1 + 1.381X_2 \\ \hat{W}_{DD} &= -18.920 + 0.334X_1 + 0.681X_2 \\ \hat{W}_{YT} &= -78.671 + 1.103X_1 + 0.781X_2 \\ \hat{W}_{QD} &= -87.725 + 1.152X_1 + 0.431X_2 \\ \hat{W}_{RZ} &= -173.426 + 1.757X_1 + 0.713X_2 \\ \hat{W}_{LY} &= -253.487 + 0.763X_1 + 3.875X_2 \\ \hat{W}_{ZS} &= -206.374 + 0.565X_1 + 3.662X_2 \end{aligned}$$

方程中, X_1 为壳高, X_2 为壳口宽。各居群壳重对壳高和壳口宽回归方程显示, 不同居群贝壳的重量对壳高和壳口宽的依赖程度不同, 其中, 青岛居群壳高 (X_1) 的变化对贝壳重量 (\hat{W}) 变化的影响要比壳口宽 (X_2) 对贝壳重量变化的影响大。而对于连云港居群来说, 壳口宽对贝壳重量变化的权重要远远大于壳的高度。

经显著性检验, 壳高对壳口宽和体螺层回归关系以及壳高对壳口宽和体螺层高回归系数差异显著 ($P < 0.05$), 可用来建立回归方程。各居群采用逐步回归方法得到估计壳高 (\hat{Y}) 对壳口宽和体螺层高的多元回归方程, 分别为:

$$\hat{Y}_{QH} = 10.142 + 0.190X_1 + 0.830X_2$$

$$\hat{Y}_{DL} = 1.273 - 0.066X_1 + 1.188X_2$$

$$\hat{Y}_{DD} = 3.805 + 0.098X_1 + 0.991X_2$$

$$\hat{Y}_{YT} = -3.039 + 0.090X_1 + 1.186X_2$$

$$\hat{Y}_{QD} = 5.770 - 0.092X_1 + 1.139X_2$$

$$\hat{Y}_{RZ} = 7.658 + 0.032X_1 + 1.049X_2$$

$$\hat{Y}_{LY} = 16.564 + 0.188X_1 + 0.826X_2$$

$$\hat{Y}_{ZS} = 19.089 - 0.023X_1 + 0.985X_2$$

方程中, X_1 为壳口宽, X_2 为体螺层高。方程显示, 脉红螺壳高的增长主要依赖体螺层的增长, 可以把回归方程的斜率和截距作为区分和鉴别各个居群的标准。

2.4 地理变异与居群比较

整理采集的标本过程中发现, 脉红螺形态在我国沿海有地理变异现象, 从群体的角度, 愈向北变异愈明显。总的来说, 随着纬度的变化, 在形态上有明显不同, 除了壳面颜色、结节、假脐相对宽度和棘的变化外 (张福绥, 1980), 其不同还表现在壳的相对重量和体螺层的相对长度的变化。

以壳重/壳高为指标根据公式 (1)、(2) 得到的结果见表 2 表 3。就相邻海区样品的差异程度来看, 以黄海北部—渤海各居群间样品的差异较显著, 根据二者平均数的差量大于 3 倍平均数差数的标准误差 [$(M_1 - M_2) > 3SE_d$] (表 2) 来判断, 秦皇岛、大连、丹东、烟台、青岛 5 个样品显然可区分为独立的地方种群。黄海中部的日照和连云港 2 个居群差异显著, 也能很好地区分开来。舟山居群与其他居群差异不显著。

表 2 中国沿海脉红螺壳重量的地理变异 (壳重/壳高)

Tab 2 Geographical variation of shell weight of *R. venosa* (shell weight/shell height)

居群	QH	DL	DD	YT	QD	RZ	LY	ZS
QH		-0.3039*	0.1062*	0.0521*	-0.2996	-1.0239	-1.1395	-0.6646
DL	-0.3221		0.5001*	0.4460*	0.0943*	-0.6300	-0.7457	-0.2707
DD	0.1875	0.5096		-0.0541*	-0.4057	-1.1301	-1.2457	-0.7708
YT	0.1318	0.4538	-0.0557		-0.3516	-1.0760	-1.1916	-0.7167
QD	0.0341	0.3562	-0.1534	-0.0977		-0.7243	-0.8400	-0.3651
RZ	0.0428	0.3649	-0.1447	-0.0889	0.0087		-0.1157*	0.3593
LY	-0.4577	-0.1356	-0.6452	-0.5895	-0.4918	-0.5006		0.4749
ZS	-0.2336	0.0885	-0.4211	-0.3654	-0.2677	-0.2764	0.2241	

注: 对角线的左下角为平均数差 ($M_1 - M_2$); 对角线的右上角为 3 倍平均数差数的标准误差 ($3SE_d$)。

* 表示 $(M_1 - M_2) > 3SE_d$ 。

比较表 3 中 7 个居群间以壳重/壳高为指标的差异系数, 可以看出: 大连 (DL) 居群与相邻海域丹东 (DD) 和烟台 (YT) 居群间的差异系数 ($C.D.$) 分别为 1.5523 和 1.3105, 均大于 1.28, 其差异程度达到划分为亚种的水平 (划分亚种水平 $C.D. \geq 1.28$), 而其他居群间 $C.D.$ 值均小于 1.28, 彼此间尚达不到亚种水平。

以体螺层/壳高为指标根据公式 (1) 得到的

结果见表 4。数据显示: 与其他居群相比较, 在尺寸特征上差异最显著, 依据 $(M_1 - M_2) > 3S.E.d$ 的判断标准, 舟山居群在尺寸形态上可成为独立种群。这一特征差异由南向北渐次减弱。然而根据公式 (2) 得到的差异系数 (表 5) 显示, 以体螺层/壳高为指标尚不能把任何居群划分为亚种 ($C.D.$ 均小于 1.28)。

表 3 中国沿海脉红螺 8 个居群间的差异系数比较 (壳重/壳高)

Tab 3 Comparison of diversity coefficients among the eight populations (shell weight/shell height)

居群	QH	DL	DD	YT	QD	RZ	LY	ZS
QH		-0.8856	0.9518	0.6127	0.1026	0.0747	-0.7476	-0.5146
DL	-0.3221		1.5523*	1.3105*	0.7684	0.5176	-0.1824	0.1512
DD	0.1875	0.5096		-0.3103	-0.5168	-0.2688	-1.1186	-1.0061
YT	0.1318	0.4538	-0.0557		-0.3102	-0.1599	-0.9910	-0.8369
QD	0.0341	0.3562	-0.1534	-0.0977		0.0130	0.6347	-0.4834
RZ	0.0428	0.3649	-0.1447	-0.0889	0.0087		-0.5250	-0.3476
LY	-0.4577	-0.1356	-0.6452	-0.5895	-0.4918	-0.5006		0.2688
ZS	-0.2336	0.0885	-0.4211	-0.3654	-0.2677	-0.2764	0.2241	

注: 对角线的左下角为平均数差 ($M_1 - M_2$); 对角线的右上角为差异系数 $C.D.$ 。* 表示 $C.D. > 1.28$

表 4 中国沿海脉红螺壳尺寸的地理变异 (体螺层/壳高)

Tab 4 Geographical variation of shell dimension of *R. venosa* (body spiral height/shell height)

居群	QH	DL	DD	YT	QD	RZ	LY	ZS
QH		0.0664	0.0483	0.0254	0.0427	0.0161*	0.0213	0.0281*
DL	-0.0036		-0.0181	-0.0411	-0.0237	-0.0503	-0.0451	-0.0384
DD	-0.0208	-0.0173		-0.0230	-0.0056*	-0.0322*	-0.0270	-0.0202*
YT	-0.0069	-0.0033	0.0139		0.0174	-0.0093*	-0.0041*	0.0027*
QD	-0.0017	0.0019	0.0192	0.0053		-0.0267*	-0.0216	-0.0147*
RZ	0.0312	0.0347	0.0520	0.0381	0.0328		0.0052*	0.0120
LY	0.0046	0.0081	0.0254	0.0115	0.0062	-0.0266		0.0068*
ZS	0.0284	0.0320	0.0492	0.0353	0.0301	-0.0028	0.0239	

注: 对角线的左下角为平均数差 ($M_1 - M_2$); 对角线的右上角为 3 倍平均数差数的标准误差 ($3S.E.d$)。

* 表示 $(M_1 - M_2) > 3S.E.d$

表 5 中国沿海脉红螺 8 个居群间的差异系数比较 (体螺层 / 壳高)

Tab. 5 Comparison of diversity coefficients among the eight populations of *R. venosa* (body spiral height/shell height)

居群	QH	DL	DD	YT	QD	RZ	LY	ZS
QH		- 0.0699	- 0.3663	- 0.1068	- 0.0282	0.4613	0.0693	0.4470
DL	- 0.0036		- 0.4977	- 0.0787	0.0519	0.7642	0.1857	0.7716
DD	- 0.0208	- 0.0173		0.2879	0.4500	1.0100	0.5102	1.0371
YT	- 0.0069	- 0.0033	0.0139		0.1041	0.6436	0.1995	0.6404
QD	- 0.0017	0.0019	0.0192	0.0052		0.6155	0.1205	0.6097
RZ	0.0312	0.0347	0.0520	0.0381	0.0328		- 0.4399	- 0.0472
LY	0.0046	0.0081	0.0254	0.0115	0.0062	- 0.0266		0.4223
ZS	0.0284	0.0320	0.0492	0.0353	0.0301	- 0.0028	0.0239	

注: 对角线的左下角为平均数差 ($M_1 - M_2$); 对角线的右上角为差异系数 $C.D.$

3 讨论

腹足类的贝壳包含着大量的信息, 可以对其进行精确的度量并能发掘出丰富的分类或居群特征, 其中壳高、壳宽、壳口高、壳口宽、体螺层高、体螺层宽等测量指标仍是分类特征的重要来源。研究中, 先对大量的简单壳征进行测量, 然后在尽可能涵盖原有信息的原则下对测量数据予以数值化得到新变量, 再对这些变量进行总体估量和变量统计分析, 通过变量的组合得到少数特征, 归纳出变异的主要格局, 并用变量差异系数 (或相似性系数) 表示居群间亲缘关系。这样, 能克服传统的分类法对经验和直觉的依赖, 是目前贝类形态分类及居群分析中的常用方法 (周晓农等, 1997; 张福绥, 1980; 魏开建等, 2003; 王忠明等, 2003; 刘小林等, 2002; Kohn *et al.* 1975; 刘仁沿等, 1999; Harasewych, 1981; Goodfriend 1983)。

本研究中作者利用 Statistic 分析软件对我国沿海内湾及近外海 8 个群体脉红螺壳的重量及尺寸特征进行的聚类分析, 结果表明, 采自河北秦皇岛 (QH)、烟台 (YT)、丹东 (DD)、青岛 (QD)、日照 (RZ) 5 个群体具有形态上的相似性, 能很好地聚为一类, 分布于舟山 (ZS)、连云港 (LY) 和大连 (DL) 外海的 3 个群体聚到一个类群。居群特征表现出形态与地理环境的一致性。同一物种, 不同的地理或生态环境其形态特征有所差异, 相同或相近的地理或生态环境其形态上有一致性。

与张福绥 (1980) 根据棘的强弱经过统计大

量标本后得出结论结果相类似: 从采样范围来看, 中国沿海分布的脉红螺可从形态上区分为两大生态类型, 即沿岸带和 / 或内湾类型以及外海类型。而依据壳重 / 壳高和体螺层 / 壳高 2 项指标, 地理纬度不同与壳重和体螺层差异密切相关, 尤其是依据壳重 / 壳高为指标的差异系数判断, 大连 (DL) 居群与相邻海域丹东 (DD) 和烟台 (YT) 居群间的差异程度达到划分为亚种的水平。这与本文中利用形态平均值聚类分析的结果相一致。其他居群间尚达不到亚种水平。这一结果提示: 脉红螺形态在我国沿海有地理变异现象, 从地理的角度, 愈向北各毗邻居群变异愈明显。

文献显示, 在我国脉红螺另一个明显形态特征是棘的变化。强棘型的个体主要分布于胶州湾、北戴河、鸭绿江口、等地; 在日本主要产于明海、濑户内海、相模湾等地 (Habe, 1969)。总的来说, 它们栖息的环境是内湾及沿岸地带。菅野三郎等 (1964) 的研究认为: 海湾内生长的个体棘显著, 而近外海处生长的个体棘不显著。棘的变化是连续的, 其强弱与栖息环境有一定关系。

按照 Mayer 等 (1953) 的标准, 根据本研究得到的贝壳的形态差异系数, 并结合李嘉泳 (1959) 就其产卵习性、产卵季节、卵袋形态及卵子早期分割、生态习性等方面进行的一些观察、研究, 以及张福绥 (1980) 进行养殖试验证明, 河北的“强棘红螺 *R. peichiliensis*”居群没有显示与其他居群有显著差异的特征, 可视为脉红螺的独立地方居

群,尚达不到亚种水平,更构不成新种,因此作者认为,“强棘红螺 *R. peichiliensis*”不存在。

从种群的意义衡量,这些独立的地方居群以及所谓的“亚种”是否有条件区分为亚种,单单依赖于形态判别是远远不够的,需要更丰富的资料,有必要进一步从蛋白质(酶)水平和DNA水平的实验数据来验证。

致谢 中国海洋大学马牲教授、孙世春教授,湛江师范学院陈道海教授,丹东市渔业技术推广站刘吉明高级工程师等,在本研究的样品采集和鉴定中给予极大帮助,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王如才, 1987. 中国水生贝类原色图谱. 杭州: 浙江科学技术出版社, 78—79
- 王忠明, 陈德牛, 吴小平, 2003. 腹足类贝壳特征的测量及分析方法. 动物学杂志, 38(4): 62—65
- 刘小林, 常亚青, 相建海等, 2002. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析. 海洋与湖沼, 33(6): 673—678
- 刘仁沿, 张喜昌, 马成东等, 1999. 菲律宾蛤仔形态性状与遗传变异的关系研究. 海洋环境科学, 18(2): 51—55
- 刘吉明, 任福海, 杨辉, 2003. 脉红螺生态习性的初步研究. 水产科学, 22(1): 17—18
- 齐钟彦, 1998. 中国经济软体动物. 北京: 中国农业出版社, 93—94
- 张福绥, 1980. 中国近海骨螺科的研究 III. 红螺属. 海洋科学集刊, 16: 13—123
- 李嘉泳, 1959. 强棘红螺的生殖和胚胎. 山东海洋学院学报, 1: 92—130
- 周晓农, 洪青标, 孙乐平等, 1997. 中国钉螺螺壳的聚类分析. 动物学杂志, 32(5): 4—7
- 魏开建, 熊邦喜, 赵小红等, 2003. 五种蛙的形态变异判别分析. 水产学报, 27(1): 13—18
- 魏利平, 邱盛尧, 王宝钢等, 1999. 脉红螺繁殖生物学的研究, 水产学报, 23(2): 150—155
- 菅野三郎, 大原隆, 1964. 日本产现栖ならびに化石の变异について (预报). 贝类学杂志, 22(4): 390—391
- Goodfriend G A, 1983. Some new methods for morphometric analysis of gastropod shells. Malac Rev. 16: 79—86
- Grabau A W, King S G, 1928. Shells of Peitaiho. Peking Peking Leader Press. 1—279
- Grossu A V, Lupu D, 1964. The presence of *Rapana bezoar* opposite the Rumanian Black Sea shore (Muricidae). Arch Moll. 93: 215—218
- Habe T A (波部忠重), 1969. A nomenclatorial note on *Rapana venosa* (Valenciennes). Venus. 28(2): 109—111
- Harasewych M G, 1981. Mathematical modeling of the shells of higher prosobranchs. Bull Am Malacol Union. 6—12
- Harding J M, Mann R, 1999. Observations on the biology of the veined Rapana whelk, *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Chesapeake bay. Journal of Shellfish Research. 18(1): 9—17
- Hellberg M E, Balch D P, Roy K, 2001. Climate-driven range expansion and morphological evolution in a marine gastropod. Science. 292(5522): 1707—1710
- Kohn A J, Riggs A C, 1975. Morphometry of the *Conus* shell. Syst Zool. 24: 346—359
- Kuroda T, Habe T, 1957. Check list and bibliography of the recent marine mollusca of Japan. Tokyo: Tokyo Press. 1—210
- Mayer E, Linsley E G, Usinger R L, 1953. Methods and Principles of Systematic Zoology. New York: McGraw-Hill Book Company Inc. 1—328
- Sahin T, 1998. Investigations on some biological characteristics of sea snail *Rapana venosa* (Val 1846) population in the Eastern Black Sea. Oceanographic Literature Review, 45(9): 1616

QUANTITATIVE STUDY ON PHENOTYPIC GENETIC DIVERSITY OF *RAPANA VENOSA* IN CHINA'S COASTAL WATERS

YANG Jian-Min, ZHENG Xiao-Dong, LI Qi, WANG Ru-Cai,

SONG Zhi-Le, YOU Bao-Chang

(Shandong Marine Fisheries Research Institute, Yantai, 264006; Mariculture Research Laboratory, Fishery College, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

(Mariculture Research Laboratory, Fishery College, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

(Zhifu Fishery Technical Extension Station, Yantai, 264000)

(China Agricultural University (Yantai), Yantai, 264003)

Abstract In this paper, the author used multi-varian morphological measurement data to study the classification of eight wild populations of *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in coastal areas of Dandong, Dalian, Qinhuangdao, Yantai, Qingdao, Lianyungang, Rizhao and Zhoushan, China. Based on morphological features, clustering dendrogram and discriminant functions were constructed. The results indicated that there were some differences in terms of phenotypic characters among these populations, and there was a trend that the more obvious the difference was, the more northerly these populations lived. The 8 populations could be divided into 2 groups: inner bay+ inshore group, outshore group, based on the correlation on ecological factors. The coefficient of deviation (*C.D.*) of shell weight/shell height index, between Dalian population and 2 other neighboring populations (Dandong population, Yantai population) were 1.5523 and 1.3105, respectively. It shows that the degree of variations between them reached to the level of subspecies (*C.D.* > 1.28). The degree of variation among other populations were below the subspecies level. *C.D.* data analysis on body spiral height/shell height index showed that the degree of variation among 8 populations were all below the level of subspecies.

Morphological measurements of *R. venosa*'s shell were compared with Mayer *et al.* (1953) standard. Qinhuangdao population was only one member of geographic populations of *R. venosa*, and its variation degree was below the subspecies level. In traditional view, *R. venosa* distributed in Qinhuangdao was regarded as a new species called *R. peichiliensis*. By our studies, *R. peichiliensis* should be regarded as an invalid name. To describe population relationship, even to reveal subspecies and cryptic species, albumin electrophoresis and many other sensitive nucleic acid techniques, such as mitochondrial and nuclear DNA markers can be used. For validation on our phenotypic data, more works should be done in future using these techniques.

Key words *Rapana venosa*, Phenotypic variation, Population diversity