

中国大陆沿海六水系统绒螯蟹(中华绒螯蟹和日本绒螯蟹)群体亲缘关系:形态判别分析

李晨虹 李思发

(农业部水产增殖生态、生理重点开放实验室,上海水产大学, 200090)

摘 要 测量辽河、黄河、长江、瓯江、珠江及南流江六个水系统绒螯蟹群体的 32 个外部形态特征,进行聚类分析和判别分析。聚类分析将辽河、黄河、长江和瓯江四个北方水系的蟹划为一组,把珠江和南流江两个南方水系的蟹划为另一组,两组之间形态差异极显著 ($P < 0.01$)。判别分析亦可将北方蟹和南方蟹完全分开,判别准确率达 100%。至于样本所属水系的判别,对北方四水系蟹的判别平均拟合概率为 86%,其中长江最低,为 73%,黄河最高,为 97%;对南方二水系蟹的判别平均拟合概率为 95%,南流江为 96%,珠江为 94%。又对区别水系所属贡献较大的特征参数进行单因子方差分析,计算差异系数,根据 Mayr 等[1953]提出的 75% 规则,认为北方蟹与南方蟹之间的形态差异是亚种以上水平的差异,而北方蟹内部与南方蟹内部各水系之间差异则属不同地理种群间的差异。

关键词 中华绒螯蟹,日本绒螯蟹,形态学,聚类分析,判别分析

长期以来,对我国大陆各水系统绒螯蟹的分类关系一直存在较大争议。以前对绒螯蟹的分类研究多是通过外观形状、体色、额齿和侧齿的形态、背部的疣突、颚足形状和生殖孔位置等描述性特征以及腿长等少数数量性状进行比较[毕庶万等 1998, 吴琅虎和高志慧 1994, Li 等 1993],未能全面反映不同绒螯蟹的外形差异,更不能建立量化的判别公式。许加武等[1997]对长江、辽河和瓯江三水系的绒螯蟹进行过判别研究,但对我国各主要水系统绒螯蟹的全面比较研究尚未见报导。本研究通过聚类分析、判别分析的方法对我国从北到南沿海 6 个水系统绒螯蟹的 32 个外部形态特征进行比较分析,旨在澄清各水系统绒螯蟹的分类关系,建立各水系统绒螯蟹的判别方法,为我国绒螯蟹的保护和利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1998 年 9~12 月于辽宁盘锦(辽河)、山东东平(黄河)、江苏镇江(长江)、浙江温州(瓯江)、广东顺德(珠江)和广西合浦(南流江)采集样本。闽江水系统绒螯蟹天然资源贫乏,未能采到样本。除黄河蟹为人工繁殖群体外,均为野生群体。所有样本皆为成蟹,随机采集,平均体重分别为 98.2、73.0、139.8、107.2、38.1 和 50.1g,实测样本数分别为 32、34、26、28、33 和 28 只。

1.2 数据测量

测量样本均为活体。为较全面地反映绒螯蟹的外部形态,在头胸甲、步足等部位选取了 24 个测量点(图 1),测量数据基本上反映了绒螯蟹的外部形态。测量工具为游标卡尺,精确到 0.1mm。对每只河蟹都测量了 32 个数据,共得数据 5 792 个。

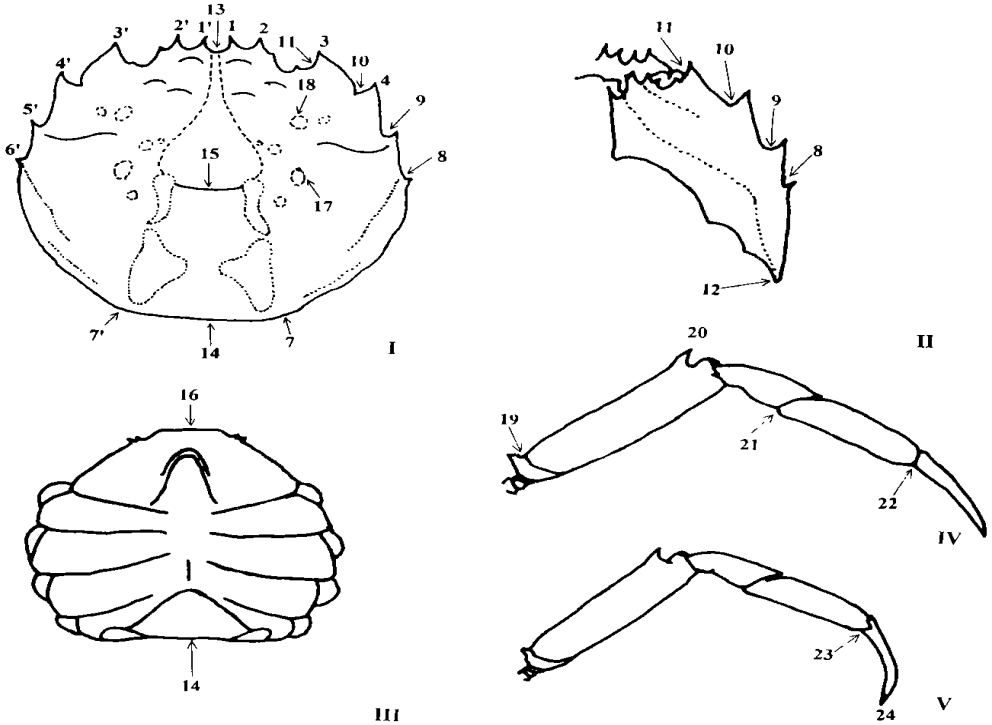


图 1 绒螯蟹测量点位置图

Fig. 1 Landmark points for morphological measurements of mitten crab

I. 背甲背面测量点位置, II 背甲侧面测量点位置, III 腹甲测量点位置, IV 第四步足测量点位置, V 第五步足测量点位置。

A1: 1- 1', A2: 2- 2', A3: 3- 3', A4: 4- 4', A5: 5- 5', A6: 6- 6', A7: 7- 7', B1: 7- 8, B2: 7- 9, B3: 7- 10, B4: 7- 11, C1: 12- 8, C2: 12- 9, C3: 12- 10, C4: 12- 11, L1: 13- 14, L2: 13- 15, L3: 15- 14, L4: 14- 16, L5: 16- 13, H: 测量点 16 处的体高, S1: 12- 17, S2: 12- 18, S3: 17- 3, S4: 17- 4, S5: 17- 5, S6: 17- 6, S7: 17- 7, F1: 19- 20, F2: 21- 22, F3: 23- 24, F4: 点 23 处的宽度。

1.3 分析方法

利用 32 个形态特征对各水系蟹进行聚类分析和判别分析,建立判别公式,并对各水系间差异较大的特征进行了单因子方差检验。所有数据都用 SYSTAT 统计软件[Wilkinson 1989]处理和分析。在分析中,将每只蟹的所有特征值分别除以它的体长值(L1),以校正样本规格差异对特征值的影响。下文所有提到的特征值都是经过校正的值。

1.3.1 聚类分析

采用欧氏距离的最短距离系统聚类法[张尧庭和方开泰 1982]。

1.3.2 判别分析

根据聚类分析结果,用逐步判别的方法进行判别分析,并对选出的对判别贡献较大的参数建立相对简单的判别公式。

1.3.3 判别准确率、拟合概率及差异系数的计算

判别准确率(%) = (判别正确的蟹数/实际蟹数) × 100, 平均拟合概率(%) = $(\frac{\sum_{i=1}^k A_i}{\sum_{i=1}^k B_i}) \times 100$, 式中: A_i 为 i 水系判别正确的蟹数, B_i 为 i 水系蟹的样本数, k 为水系数。

差异系数按 Mayr 等[1953]的方法计算, 如差异系数 > 1.28, 可视为亚种以上水平的差异。

2 结果

2.1 聚类分析

聚类分析把六个水系的蟹分为两组, 辽河、黄河、长江和瓯江四个水系的蟹被划入一组, 称之为北方蟹; 珠江和南流江两个南方水系的蟹被划入另一组, 称之为南方蟹(图2)。

2.2 判别分析

由于聚类分析尚不能判别样本的水系所属, 故进一步进行判别分析。使用 32 个特征值, 样本被判入北方蟹和南方蟹的判别准确率都为 100%。辽河蟹、黄河蟹、长江蟹及瓯江蟹的判别准确率分别为 73%、97%、84% 及 86%。南流江蟹和珠江蟹的判别准确率分别为 96% 和 94%。

以上判别分析的准确率较高, 是运用 32 个特征值计算的结果。为了建立简便实用的判别公式, 在确保一定的判别准确率的前提下, 进一步筛选贡献较大的特征, 并建立了判别公式。判别公式包括三组。第 I 组是用来判别待判样本是北方蟹还是南方蟹, 只选用三个特征, 北方蟹的判别准确率达 99%, 南方蟹判别准确率达 100%, 同使用 32 个特征值的效果相似。第 II 组是用来判别北方蟹的水系所属, 选用 9 个特征, 长江蟹、黄河蟹、辽河蟹及瓯江蟹的判别准确率分别为 69%、88%、72% 和 64%, 平均拟合概率为 74%, 较使用 32 个特征值的判别率降低了 12 个百分点。第 III 组用来判别南方蟹的水系所属, 选用 3 个特征。珠江蟹及南流江蟹的判别准确率分别为 82% 和 74%, 平均拟合概率为 77%, 比使用 32 个特征值的判别率降低了 18 个百分点。简化了的判别公式 II、II 的判别率虽有所降低, 但仍保持在 74% 以上, 而测定数据可大大减少, 故认为仍有实用价值, 适用于初判。

判别公式 I

北方: Factor(1) = - 726 + 1346F3 + 985A7 + 1620A2

南方: Factor(2) = - 633 + 1093F3 + 878A7 + 1856A2

判别公式 II

长江: Factor(1) = - 6775 + 1735A6 + 2440A5 + 3318A3 - 24F1 + 3704L4 + 1942A1 + 5359C3 + 510C2 + 1989A7

黄河: Factor(2) = - 6768 + 1692A6 + 2404A5 + 3485A3 - 73F1 + 580L4 + 2122A1 + 5466C3 + 547C2 + 2037A7

辽河: Factor(3) = - 6773 + 1781A6 + 2349A5 + 3402A3 - 55F1 + 3645L4 + 1950A1 + 5401C3 + 553C2 + 2031A7

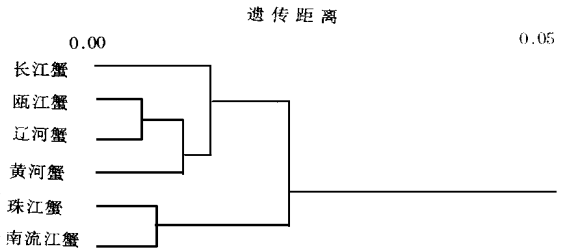


图2 六水系绒螯蟹聚类分析图

Fig. 2 Clustering dendrogram of mitten crabs from six river systems

瓯江: Factor(4) = - 6732+ 1771A6+ 2372A5+ 3438A3- 73F1+ 3639L4+ 1968A1+ 5242C3+ 671C2+ 1987A7

判别公式 III

珠 江: Factor(1) = - 2324+ 5159F4+ 3051F3+ 5099B1

南流江: Factor(2) = - 2361+ 4638F4+ 3131F3+ 5168B1

2.3 单因子方差分析

2.3.1 区别南方蟹与北方蟹的特征

北方蟹和南方蟹之间有 14 个特征差异极显著($P < 0.01$) (表 1)。在 F3(测点 23- 24)、L3 (测点 15- 14) 及 S7(测点 17- 7) 上的差异系数都大于亚种分类阈值-1.28, 可作为区别南方蟹和北方蟹的主要形态标志。

表 1 北方蟹与南方蟹差异较大的特征

Tab. 1 Characters of high variance between mitten crabs of northern and southern rivers

特征	北方 (Mean ± SD)	南方 (Mean ± SD)	差异系数	特征	北方 (Mean ± SD)	南方 (Mean ± SD)	差异系数
F3(测点 23- 24)	0.437 ± 0.025	0.352 ± 0.012	2.30*	L3(测点 15- 14)	0.531 ± 0.011	0.501 ± 0.009	1.5*
S7(测点 17- 7)	0.552 ± 0.009	0.525 ± 0.010	1.42*	F2(测点 21- 22)	0.509 ± 0.028	0.455 ± 0.019	1.15
S1(测点 12- 17)	0.529 ± 0.010	0.508 ± 0.010	1.05	F1(测点 19- 20)	0.761 ± 0.045	0.683 ± 0.023	1.15
H(测点 16 处体高)	0.522 ± 0.012	0.501 ± 0.013	0.84	S2(测点 12- 18)	0.541 ± 0.011	0.524 ± 0.009	0.85
A2(测点 2- 2')	0.239 ± 0.010	0.255 ± 0.011	0.76	A3(测点 3- 3')	0.624 ± 0.017	0.648 ± 0.017	0.71
C3(测点 12- 10)	0.533 ± 0.014	0.514 ± 0.013	0.70	B4(测点 7- 11)	0.919 ± 0.008	0.907 ± 0.011	0.63
C1(测点 12- 8)	0.249 ± 0.019	0.228 ± 0.013	0.66	C2(测点 12- 9)	0.383 ± 0.017	0.365 ± 0.010	0.67

注: * 表示大于亚种分类水平阈值 1.28。

2.3.2 区别北方蟹各水系的特征值

北方蟹内四水系群体间有 8 个特征差异极显著($P < 0.01$) (表 2)。长江蟹第一对侧齿间宽度 A3(测点 3- 3')、背甲前半部长度 L2(测点 13- 15) 小于其它三水系, 而第四对侧齿间宽 A6 (测点 6- 6') 等特征都大于其它三水系。

表 2 北方四水系之间差异较大的特征

Tab. 2 Characters of high variance between mitten crabs of four northern rivers

特征	长江(Mean ± SD)	黄河(Mean ± SD)	辽河(Mean ± SD)	瓯江(Mean ± SD)	差异系数
A6(测点 6- 6')	1.123 ± 0.019	1.096 ± 0.016	1.113 ± 0.020	1.110 ± 0.016	0.77
S6(测点 17- 6)	0.486 ± 0.010	0.468 ± 0.010	0.478 ± 0.013	0.477 ± 0.013	0.90
A5(测点 5- 5')	1.051 ± 0.022	1.029 ± 0.017	1.028 ± 0.014	1.027 ± 0.016	0.63
A3(测点 3- 3')	0.612 ± 0.015	0.631 ± 0.015	0.621 ± 0.015	0.629 ± 0.015	0.63
F2(测点 21- 22)	0.530 ± 0.030	0.495 ± 0.021	0.504 ± 0.026	0.510 ± 0.024	0.69
L4(测点 14- 16)	0.785 ± 0.009	0.768 ± 0.014	0.779 ± 0.013	0.776 ± 0.014	0.74
F1(测点 19- 20)	0.793 ± 0.040	0.739 ± 0.035	0.758 ± 0.047	0.760 ± 0.043	0.72
L2(测点 13- 15)	0.547 ± 0.010	0.556 ± 0.006	0.555 ± 0.008	0.557 ± 0.009	0.53

注: 差异系数是指差别最大两水系间差异系数。

2.3.3 区别南方蟹各水系的特征

南方蟹二水系群体间差异极显著($P < 0.01$) 的形态特征有 F4(点 23 处的宽度) 和 H(点 16 处的高度), 差异显著($P < 0.05$) 的有 A4(测点 4- 4')、B1(测点 7- 8)、A5(测点 5- 5') 和 B2 (测点 7- 9) (表 3)。

表 3 南方二水系之间差异较大的特征

Tab. 3 Characters of high variance between mitten crabs of two southern rivers

特征	南流江(Mean±SD)	珠江(Mean±SD)	差异系数
F4(点 23 处的宽度)	0.068±0.003	0.065±0.002	0.60
H(点 16 处的高度)	0.506±0.014	0.496±0.010	0.42
A4(测点 4- 4')	0.907±0.016	0.896±0.018	0.32
B1(测点 7- 8)	0.633±0.012	0.641±0.013	0.32
A5(测点 5- 5')	1.036±0.016	1.026±0.020	0.28
B2(测点 7- 9)	0.724±0.012	0.731±0.013	0.28

3 讨论

3.1 北方蟹与南方蟹的差异

戴爱云[1988]应用支序分类学的方法对绒螯蟹属的蟹类研究的结果表明中华绒螯蟹与日本绒螯蟹有 9 个独特的共有衍征,是十分亲密的近缘种,认为日本绒螯蟹可能是中华绒螯蟹的一个亚种,而不是独立的种。Li 等[1993]根据同工酶实验的遗传距离也认为日本绒螯蟹与中华绒螯蟹是同一个种。Chan 等[1995]甚至认为合浦蟹和珠江蟹可能是中华绒螯蟹的一个地理种群,或是像欧洲和美洲的中华绒螯蟹一样是一个移植种群。徐兴川[1991]认为瓯江水系的绒螯蟹至少有一部分可能是日本绒螯蟹,依据是瓯江蟹前额齿、侧齿及第四步足长节形态不似中华绒螯蟹,而与日本绒螯蟹相似。根据我们的观测,按照一般分类学的方法分类,本研究采集的北方四水系的绒螯蟹应属于中华绒螯蟹,南方二水系的绒螯蟹应属于日本绒螯蟹。不但聚类分析与判别分析可将它们清楚地分开,而对单个形态指标差异系数的分析则进一步表明,北方蟹与南方蟹有三个特征的差异系数大于 1.28。根据 Mayr 等[1953]提出的 75% 规则,当两群体间形态特征的差异系数大于 1.28 时,表明它们的差异达亚种水平以上。说明北方蟹与南方蟹的差异至少应在亚种水平以上,而不是地理种群间的差异。

3.2 北方蟹水系间差异

判别分析能把辽河、黄河、长江和瓯江四个水系的中华绒螯蟹分开。长江蟹的背甲宽度 A6(测点 6- 6')、S6(测点 17- 6)、第三步足长节长度 F1(测点 19- 20)和掌节长度 F2(测点 21- 22)等特征值较其它三水系大,而第一对侧齿间宽 A3(测点 3- 3')比其它水系小。这些特征在四水系蟹间的差异系数都远低于 1.28 的亚种水平,应属于中华绒螯蟹的不同地理种群。

3.3 南方蟹水系间差异

戴爱云[1991]将广西合浦等地的日本绒螯蟹定名为日本绒螯蟹合浦亚种,而 Guo 等[1997]则认为雷州半岛以西和以东的绒螯蟹应为独立物种——合浦绒螯蟹(*E. hepuiensis*)。本文对珠江水系和南流江水系(合浦)的绒螯蟹研究表明,它们之间虽然存在着某些明显的形态差异,如南流江蟹的第四步足指节宽度 F4(点 23 处的宽度)、体高 H(测点 16 处的高度)、第二、三侧齿间宽度 A4(测点 4- 4')、A5(测点 5- 5')等特征值都大于珠江蟹,而 B1(测点 7- 8)、B2(测点 7- 9)小于珠江蟹,但两水系蟹间这些特征的差异系数都小于 1.28 的亚种水平差异。因此,认为南流江水系蟹与珠江水系蟹应属日本绒螯蟹的不同种群。

本室赵金良、邹曙明和李家乐同志参与采集样本,上海水产大学生物技术专业九九届黄秋菊参加部分实验工作,特此致谢。

参 考 文 献

- 毕庶万, 陈 去, 毕建强等. 1998. 绒螯蟹形态生态特征和放养措施. 水利渔业, 98(4): 33~ 34
- 许加武, 任明荣, 李思发. 1997. 长江、辽河、瓯江中华绒螯蟹种群的形态判别. 水产学报, 21(3): 269~ 274
- 吴琅虎, 高志慧. 1994. 池塘河蟹养殖综合增产技术研究. 淡水渔业, 24(5): 26~ 28
- 张尧庭, 方开泰. 1982. 多因子统计方法引论. 北京: 科学出版社. 237~ 242
- 徐兴川. 1991. 关于中华绒螯蟹品质保持问题的探讨. 水产科技情报, 18(1): 17~ 19
- 戴爱云. 1988. 绒螯蟹属支序分类学的初步分析(甲壳总纲:十足目). 动物分类学报, 13(1): 22~ 26
- 戴爱云. 1991. 绒螯蟹属亚种分化的研究(十足目,短尾派). 系统进化动物学重点实验室论文集(第一集), 北京: 中国科学技术出版社, 61~ 71
- Chan T, Hung M, Yu H. 1995. Identity of *Eriocheir red* (Stimpson, 1858) (Decapoda: Brachyura), with description of a new mitten crab from Taiwan. J Crustacean Biol, 15(2): 301~ 308
- Guo J Y, Ng N K, Dai A, et al. 1997. The taxonomy of three commercially important species of mitten crabs of the genus *Eriocheir* de Haan, 1835 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Grapsidae). Raffles Bull Zool, 45(2): 445~ 476
- Li G, Shen Q, Xu Z X. 1993. Morphometric and biochemical genetic variation of the mitten crab, *Eriocheir*, in southern China. Aquac, 111: 103~ 115
- Mayr E, Linsley E G, Usinger R L. 1953. Methods and principles of systematic zoology. McGraw-Hill, New York and London, 23~ 39, 125~ 154
- Wilkinson L. 1989. Systat: The system for statistics. Evanston, IL. SYSTAT, Inc. 423~ 555

**PHYLOGENESIS OF POPULATIONS OF MITTEN CRABS
(*ERIOCHEIR SINENSIS*, *ERIOCHEIR JAPONICUS*)
IN SIX RIVER SYSTEMS OF MAINLAND CHINA:
MORPHOLOGY DISCRIMINANT ANALYSIS**

LI CherrHong, LI Si-Fa

(Key Laboratory of Ecology and Physiology in Aquaculture of Ministry of Agriculture, Shanghai Fisheries University, 200090)

ABSTRACT Based on 32 morphological characters of each mitten crab (*Eriocheir sinensis* or *E. japonicus*) from six rivers, Liaohe, Huanghe, Yangtze, Oujiang, Pearl and Nanliujiang, Cluster analysis and discriminant analysis were conducted. In the result of cluster analysis, crabs from northern rivers, Liaohe, Huanghe, Yangtze and Oujiang were pooled into one group as *E. sinensis*, while crabs from southern rivers, Pearl and Nanliujiang were pooled into another group as *E. japonicus*. In discriminant analysis, crabs of northern rivers could be divided from southern rivers automatically, and the accuracy rate of discrimination was 100%. Mean accuracy rate of discrimination on crabs from northern rivers, Liaohe, Huanghe, Yangtze and Oujiang, was 86%. Yangtze was the lowest, 73%, while Huanghe was the highest, 97%. Mean accuracy rate of discrimination on crabs from southern rivers, Pearl and Nanliujiang, was 95%, Nanliujiang was 96%, Pearl was 94%. ANOVA was conducted on parameters highly contributed to distinguish the populations of mitten crab, and coefficients of difference were calculated. According to Mayr (1953) 75% rule, in this paper the results indicated that difference between crabs from northern and southern rivers was greater than difference between subspecies, while difference between crabs of four northern rivers and between crabs of two southern rivers belong to of population level.

KEYWORDS *Eriocheir sinensis*, *Eriocheir japonicus*, Morphology, Cluster analysis, Discriminant analysis