

文章编号:1000 - 0615(2001)02 - 0120 - 07

三水系中华绒螯蟹幼蟹形态判别程序的建立和使用

李 勇, 李思发, 王成辉, 李晨虹, 赵金良

(上海水产大学农业部水产增养殖生态、生理重点开放实验室, 上海 200090)

摘要:以中华绒螯蟹幼蟹为研究对象, 每只幼蟹分别测量 30 个形态性状参数, 用聚类分析和逐步判别两种方法进行综合处理和比较分析。(1) 聚类分析结果表明: 长江、瓯江幼蟹形态相近, 而辽河幼蟹与上述两者的形态差异较大;(2) 用逐步判别筛选出的 14 个形态参数的判别分析表明: 三个种群间的形态差异极显著 ($P < 0.01$), 判别准确率为: 81.4% ~ 88.4% (P_1) 和 82.5% ~ 91.4% (P_2), 判别效果依次为辽河蟹 > 瓯江蟹 > 长江蟹, 平均拟合概率为 85.5%; (3) 进一步用上述 14 个形态参数中对判别分析贡献较大的 9 个形态参数作判别分析, 构建了种群判别公式, 平均拟合概率虽降至 80.4%, 但可减少测定和计算工作量的 36%, 比较实用。

关键词:中华绒螯蟹; 幼蟹; 形态判别; 辽河; 长江; 瓯江

中图分类号: S913.5 **文献标识码:** A

Establishment and application of morphological discrimination model for juveniles *Eriocheir sinensis* from Liaohe, Yangtze and Oujiang rivers

LI Yong, LI Si-fa, WANG Cheng-hui, Li Chen-hong, ZHAO Jin-liang

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

Abstract: This paper studies on juvenile crab. 30 metric parameters representing morphological characters were measured and then analyzed comprehensively by the cluster analysis and the stepwise discrimination. (1) The results of cluster analysis shows: The morphology of juvenile Chinese mitten crab from Yangtze river is much similar to that from Oujiang river, but quite different from that of Liaohe river's. (2) The result of stepwise discrimination based on 14 morphological parameters shows there is a significant difference among the populations of juvenile crab from three rivers ($P < 0.01$), the correct rates of discrimination are: 81.4% ~ 88.4% (P_1) and 82.5% ~ 91.4% (P_2). The discriminating efficiency is Liaohe > Oujiang > Yangtze. The average fitted probability is 85.5%. (3) The discriminant analysis, based on further selected 9 morphological parameters, with better contributions to the identification, give less average fitted probability - 80.4%, but decrease the work amount in measurement and calculation significantly (36%), which is highly recommended to application in juvenile crab study.

Key words: *Eriocheir sinensis*, juvenile crab; morphological discrimination, Liaohe river, Yangtze river, Oujiang river

收稿日期: 2000-04-03

基金项目: 国家“九五”攻关项目 (96-008-01-03-05)

第一作者: 李 勇 (1974 -), 男, 安徽庐江人, 硕士, 助理研究员, 现在中科院南海海洋研究所工作, 从事海洋生物生态学的研究。

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 俗称河蟹,属高等甲壳动物,具有很高的经济价值,在我国渤海、黄海与东海沿岸诸省均有分布,主要自然分布于辽河、黄河、长江、瓯江和闽江,其中辽河、长江、瓯江流域已成为我国中华绒螯蟹蟹苗(大眼幼体)、幼蟹(扣蟹)和成蟹的主要产区。近年来人工增养殖发展十分迅速,由于尚未建立鉴别幼蟹种群的有效方法,苗种市场上以假充真、以次充好的现象十分普遍,不仅给广大河蟹养殖户造成了巨大经济损失,也加剧了种质的混杂,因此对不同水系的幼蟹种群进行比较,建立行之有效的鉴别方法,已成为当前河蟹养殖业和种质资源保护的迫切需要。

对不同水系河蟹的形态已有一些报道,但大都局限在对体形、体色的简单描述上,如徐兴川^[1]、徐兴川和朱振东^[2]报道过长江蟹、辽河蟹与瓯江蟹在外部形态、大小以及体色上的差异;吴琅虎和高志慧^[3]也曾对长江蟹与瓯江蟹的形态做过比较。但这些描述均缺少定量分析,难以成为种群鉴别的依据。我们实验室利用逐步判别的方法建立了辽河、长江、瓯江中华绒螯蟹成蟹种群的判别函数,取得了较好的判别效果,拟合概率达 89.4%~92.4%^[4]。本文以幼蟹为对象,除继续使用逐步判别外,还增加了聚类分析,建立了鉴别幼蟹种群的实用程序,给出了简易的操作方法。

1 材料和方法

1.1 实验材料

本实验所用辽河与长江幼蟹均由人工苗培育而成,瓯江幼蟹由天然苗培育而成,不包括性早熟蟹。饲养地点为我室崇明河蟹实验站。测定样本大小如表 1 所示。

1.2 数据测量

幼蟹个体较小,采用游标卡尺为测量工具,精确到 0.1mm。

选取以头胸甲、步足为主体的 43 个测点,对每只幼蟹逐一测量测点距离,计有体长(B_0)、体宽(A_1)、体高(H_0)等 30 个可量性状。共获得了 5 370 个形态数据(图 1~图 5)。

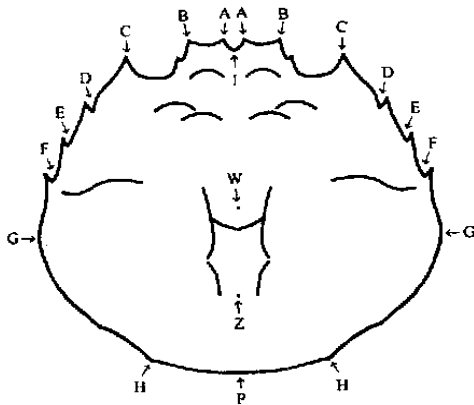


图 1 中华绒螯蟹头胸甲背面测量部位示意图,共 12 个参数

Fig. 1 Sketch diagram of measuring points on the back of carapace of *E. sinensis* with 12 parameters

测量点:A.内额齿 B.外额齿 C.第一前侧齿 D.第二前侧齿
E.第三前侧齿后凹底 F.第四前侧齿凹底 G.体宽角
H.侧后缘界角 I.中央缺刻 P.后缘中点 W.背壳最凸点
Z.心区底端中点

测量参数代号及定义:

A_1 - GG(左侧 G 点到右侧 G 点的直线距离,下同)
 A_2 - FF A_3 - EE A_4 - DD A_5 - CC A_6 - BB A_7 - AA
 A_8 - AB A_9 - HH H_0 - IP H_1 - 背壳最凸点至腹甲的垂直距离
 H_1 - 心区底端中点至腹甲的垂直距离

表 1 幼蟹的采样时间、地点和样本数
Tab. 1 Sampling time, site and sample size of juvenile crab

种群	采样时间 (年-月)	样本数(只)		合计(只)	平均体重 ($\bar{X} \pm SD$, g)
辽河	1997 - 10	30	30	60	5.49 \pm 4.06
长江	1997 - 10	29	30	59	4.23 \pm 3.56
瓯江	1997 - 10	30	30	60	4.19 \pm 3.26

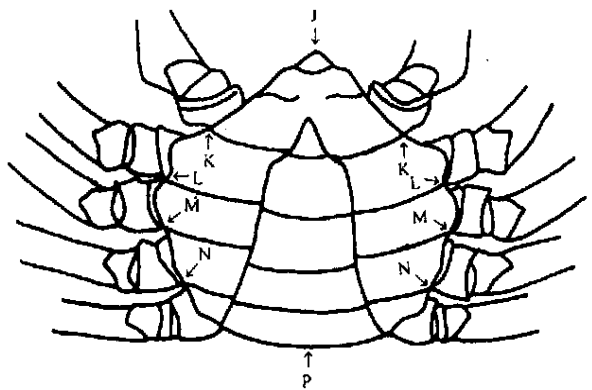


图 2 中华绒螯蟹腹甲测量部位示意图,共 9 个参数

Fig. 2 Sketch diagram of measuring points on the shell of abdomen of *E. sinensis* with 9 parameters

测量点: K.螯足后角 L.第一步足后角 M.第二步足
后角 N.第三步足后角 J.腹甲顶角 P.后缘中点

测量参数代号及定义:
 D_1 - KK D_2 - LL D_3 - MM D_4 - NN M - JP

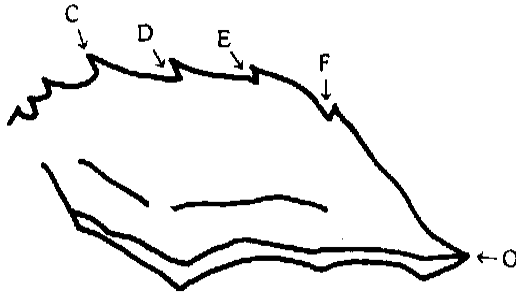


图3 中华绒螯蟹头胸甲左侧面测量部位示意图, 共4个参数

Fig.3 Sketch diagram of measuring points on the left part of carapace of *E. sinensis* with 4 parameters

测量点: C. 第一前侧齿 D. 第二前侧齿凹底 E. 第三前侧齿凹底 F. 第四前侧齿凹底 O. 头胸甲左侧面后缘结点
测量参数代号及定义: C₁ - OF C₂ - OE C₃ - OD C₄ - OC



图4 中华绒螯蟹眼柄长测量示意图, 1个参数

Fig.4 Sketch diagram of measuring points of the eye bar length of *E. sinensis* with 1 parameter

测量点: U. 眼柄顶端 V. 眼柄基端
测量参数代号及定义: K - UV

1.3 分析方法

所有形态特征参数使用聚类分析和逐步判别分析两种多元分析方法,所有数据都用 SYSTAT^[5]、SAS^[6]统计软件处理和分析。

1.3.1 聚类分析

在聚类分析中,为消除幼蟹规格大小对参数值的影响,将每只幼蟹的所有参数分别除以它的体长值(B₀)进行校正,再分别求出辽河、长江、瓯江样本中所有幼蟹每个参数校正值的平均值,输入计算机,进行聚类分析,所用的聚类方法为欧氏距离的最短距离系统聚类法^[7]。

1.3.2 逐步判别分析

逐步判别时所用参数的校正方法按照 Brzeski 等^[8]进行,具体步骤如下:

(1) 对每只幼蟹的 30 个形态实测参数 (Y_{ij}) 分别取自然对数;

i 代表第 i 个形态参数, i = 1, 2, ..., 30;

j 代表第 j 只幼蟹, j = 1, 2, ..., 179。

(2) 对每只幼蟹的 30 个形态实测参数 (Y_{ij}) 的均值取自然对数 (SIZE_j);

$$SIZE_j = \ln\{ (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + B_0 + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + L_{11} + L_{12} + L_{21} + L_{22} + L_{31} + L_{32} + L_{41} + L_{42} + D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + H_0 + H_1 + M + K) / 30 \}$$

(3) 所测全部幼蟹的每一形态实测参数对数值 (ln Y_{ij}) 对 SIZE_j 做线性回归,其回归模型为:

$$E(\ln Y_{ij}) = B_i + K_i \times SIZE_j$$

式中: E(ln Y_{ij}) 为对数处理后的实测参数 (Y_{ij}) 的回归预测值, B_i 为常数, K_i 为系数;

(4) 将每个形态实测参数的对数值 (ln Y_{ij}) 除以相应的回归预测值 [E(ln Y_{ij})], 即得校正值:

$$Y_{ij}' = (\ln Y_{ij}) / E(\ln Y_{ij})$$

式中: Y_{ij}' 为校正值, (ln Y_{ij}) 为实测参数的对数值, E(ln Y_{ij}) 为回归预测值。

在下文中,为了便于阅读,将 30 个形态实测参数 A₁、A₂、A₃、.....、M、K 的校正值分别命名为 a₁、a₂、a₃、.....、m、k。

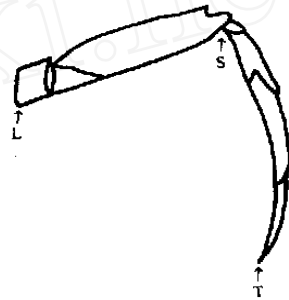


图5 中华绒螯蟹第1-4步足测量部位示意图, 共8个参数

Fig.5 Sketch diagram of measuring points on the 1-4th ambulatory legs of *E. sinensis* with 8 parameters

测量点: L. 第一步足后角 S. 关节点 T. 趾节顶点

测定参数代号及定义: 第一步足 L₁₁ - LS L₁₂ - ST

注: 第二、三、四步足选取的测量点位置与第一步足完全相同

- L₂₁ - 第二步足后角与其关节点间距
- L₂₂ - 第二步足关节点与其趾节顶点间距
- L₃₁ - 第三步足后角与其关节点间距
- L₃₂ - 第三步足后角与其趾节顶点间距
- L₄₁ - 第四步足后角与其关节点间距
- L₄₂ - 第四步足后角与其趾节顶点间距

在对逐步判别筛选出的形态参数均须重新校正,其校正方法与上述方法基本相同,不同之处在于 $SIZE_j$ 是入选参数均值的对数值。

1.3.3 判别准确率的计算

判别准确率的计算按照下式进行:

$$P_1(\%) = \text{判别正确幼蟹数} / \text{实际幼蟹数} \times 100$$

$$P_2(\%) = \text{判别正确幼蟹数} / \text{判入幼蟹数} \times 100$$

$$\text{平均拟合概率}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^k A_i / \sum_{i=1}^k B_i \times 100$$

式中: A_i 为 i 种群判别正确的幼蟹数, B_i 为 i 种群的实际幼蟹数, k 为种群数。

2 结果

2.1 聚类分析

图 6 是用聚类分析法对辽河、长江、瓯江幼蟹样本进行分析的结果。辽河幼蟹与长江、瓯江幼蟹被自然地区分开来,表明在形态上长江与瓯江幼蟹较相似,而辽河蟹趋异程度较高,同长江、瓯江蟹的差异较大。

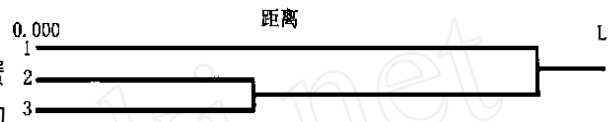


图 6 辽河(1)、长江(2)、瓯江(3)
中华绒螯蟹幼蟹的聚类分析图

Fig. 6 Diagram of cluster analysis of juvenile *E. sinensis* from Liaohe (1), Yangtze (2) and Oujiang rivers (3)

2.2 逐步判别分析

利用 SAS 统计软件逐步判别程序对经过校正的 30 个形态参数进行筛选,得到 14 个形态参数,按照它们入选的先后次序排列如下: a_2 、 h_0 、 m 、 c_1 、 a_5 、 k 、 l_{21} 、 a_4 、 l_{41} 、 d_4 、 a_8 、 c_2 、 d_2 、 l_{22} 。

对筛选出的 14 个形态参数做判别分析。F 检验结果表明,辽河、长江、瓯江幼蟹种群的形态差异极为显著 ($P < 0.01$)。

用经过逐步判别筛选出的 14 个参数为自变量,建立辽河、长江、瓯江幼蟹种群判别公式如下:

辽河种群:

$$Po_1 = -11\ 536\ 656 + 2\ 937\ 768a_2 + \dots + 147\ 086k \quad (1)$$

长江种群:

$$Po_c = -11\ 537\ 206 + 2\ 938\ 099a_2 + 2\ 112\ 984a_4 + \dots + 146\ 988k \quad (2)$$

瓯江种群:

$$Po_0 = -11\ 539\ 101 + 2\ 938\ 436a_2 + 2\ 113\ 145a_4 + \dots + 147\ 003k \quad (3)$$

上列公式中的常数项和各项系数值详见表 2。

根据上列种群线性判别公式及有关常数与系数,将 14 个实测参数校正后,分别代入判别公式中。哪个函数值 (P_0 值) 最大,即属哪一种群。

表 3 示判别结果:判别准确率 P_1 为 81.4% ~

88.4%, P_2 为 82.5% ~ 91.4%, 平均拟合概率为 85.5%。不同种群的判别效果依次为:辽河幼蟹 > 瓯江幼蟹 > 长江幼蟹;对长江幼蟹,被误判的共有 11 只,其中 8 只被误判为瓯江幼蟹,占被误判总数的 72.7%;对瓯江幼蟹,被误判的共有 8 只,其中 6 只被误判为长江幼蟹,占被误判总数的 75.0%,可见长江与瓯江

表 2 幼蟹种群形态线性判别公式常数项及各项系数
Tab. 2 The constant terms and all coefficients of linear discriminant functions for juvenile crab

项目	辽河	长江	瓯江
常数	-11 536 656	-11 537 206	-11 539 101
a_2	2 937 768	2 938 099	2 938 436
a_4	2 113 039	2 112 984	2 113 145
a_5	1 914 772	1 914 734	1 914 971
a_8	52 459	52 459	52 468
c_1	436 707	436 707	436 718
c_2	792 031	792 077	792 148
l_{21}	2 667 755	2 667 802	2 667 954
l_{22}	3 309 906	3 309 936	3 310 278
l_{41}	2 012 514	2 012 535	2 012 685
d_2	2 087 223	2 087 361	2 087 453
d_4	1 745 684	1 745 732	1 745 966
h_0	1 075 231	1 075 337	1 075 327
m	1 782 186	1 782 080	1 782 182
k	147 086	146 988	147 003

幼蟹间的误判频率较高。

表 3 辽河、长江、瓯江幼蟹种群判别结果(根据筛选出的 14 个形态参数)

Tab. 3 The discriminant results of populations of juvenile crab from Liaohe, Yangtze and Oujiang rivers (based on 14 selected morphological parameters)

种群	判别样本数 (只)	判入水系数(只)			判别准确率(%)		平均拟合概率 (%)
		辽河	长江	瓯江	P ₁	P ₂	
辽河	60	53	4	3	88.4	91.4	85.3
长江	59	3	48	8	81.4	82.8	
瓯江	60	2	6	52	86.6	82.5	
合计	179	58	58	63			

鉴于用上述的种群判别公式(1)、(2)、(3)来预测未知幼蟹所属种群时,测定工作量较大,计算工作量较重,故又尝试以这 14 个入选参数中对判别分析贡献较大的形态参数为自变量,来建立较为简单的种群判别函数。

将入选的 14 个形态参数中对种群判别贡献较大的 9 个变量($P < 0.01$)按单因子 F 检验值由大到小排列,见表 4。

经 SPSS 统计软件分析,得到的幼蟹种群判别公式为:

辽河种群:

$$P_{01} = -7.371313 + 3.476669a_2 + 2.377344a_5 + 63.795a_8 + 532.910c_1 + 2.531884d_2 + 2.120936d_4 + 1.271834h_0 + 2.178553m + 189.395 \quad (4)$$

长江种群:

$$P_{0c} = -7.371735 + 3.476953a_2 + 2.377286a_5 + 63.795a_8 + 532.920c_1 + 2.532006d_2 + 2.120999d_4 + 1.271834h_0 + 2.178462m + 189.380k \quad (5)$$

瓯江种群:

$$P_{00} = -7.372754 + 3.477265a_2 + 2.377534a_5 + 63.802a_8 + 532.935c_1 + 2.532110d_2 + 2.121218d_4 + 1.271825h_0 + 2.178569m + 189.396k \quad (6)$$

将所测全部河蟹的 9 个形态参数校正后,回代判别公式(4)、(5)、(6)进行判别(表 5)。判别准确率 P₁ 为:76.7%~83.3%,判别准确率 P₂ 为:76.2%~88.5%,平均拟合概率为 80.4%。

表 5 辽河、长江、瓯江幼蟹种群判别结果(根据在判别分析中贡献较大的 9 个变量)

Tab. 5 The discriminant results of populations of juvenile crab from Liaohe, Yangtze and Oujiang rivers (Based on 9 morphological parameters showing higher contribution to discriminant analysis)

种群	实际观察值(只)	判入水系数(只)			判别准确率(%)		平均拟合概率 (%)
		辽河	长江	瓯江	P ₁	P ₂	
辽河	60	46	8	6	76.7	88.5	80.4
长江	59	3	48	8	81.4	76.2	
瓯江	60	3	7	50	83.3	78.1	
合计	179	52	63	64			

表 4 在辽河、长江、瓯江幼蟹种群形态判别分析中贡献较大的 9 个形态参数

Tab. 4 The 9 morphological parameters showing higher contribution to discriminant analysis for juvenile crab from Liaohe, Yangtze and Oujiang rivers

形态参数	F	P
a ₂	55.150	0.000
h ₀	17.404	0.000
c ₁	15.742	0.000
m	14.987	0.000
k	13.761	0.000
d ₂	10.513	0.000
a ₅	8.172	0.000
d ₄	7.230	0.001
a ₈	6.355	0.002

2.3 形态数据校正简化法

考虑到使用本文所提供的判别公式来预测未知幼蟹所属种群时,必需先对形态实测数据进行校正,校正计算相当繁琐。为便于使用,又进一步对 9 个在判别分析中有较大贡献的参数的校正方法予以简化。具体步骤如下:

(1) 对所要判别的幼蟹的 9 个形态实测参数的均值取自然对数(SIZE):

$$SIZE = \ln\{ (A_2 + A_5 + A_8 + C_1 + D_2 + D_4 + H_0 + M + K) / 9 \}$$

(2) 将实测参数及 SIZE 值代入下列方程,计算各参数校正值:

$$a_2 = \ln A_2 / (0.549 + 1.022SIZE)$$

$$a_5 = \ln A_5 / (0.553 + 0.884SIZE)$$

$$a_8 = \ln A_8 / (-1.153 + 0.749SIZE)$$

$$c_1 = \ln C_1 / (-0.982 + 1.126SIZE)$$

$$d_2 = \ln D_2 / (0.362 + 1.001SIZE)$$

$$d_4 = \ln D_4 / (0.194 + 1.019SIZE)$$

$$h_0 = \ln H_0 / (-0.268 + 1.062SIZE)$$

$$m = \ln M / (0.102 + 1.063SIZE)$$

$$k = \ln K / (-0.650 + 0.748SIZE)$$

(3) 将得到的 9 个参数校正值分别代入判别公式(4)、(5)、(6),哪个函数值(P_0 值)最大,即属哪一种群。

为检验上述判别公式的适用性,对饲养在我室崇明河蟹实验基地的辽河、长江、瓯江幼蟹重新取样(各 20 只),测得 9 个形态参数后,按上述判别步骤进行验证(表 6)。判别准确率 P_1 为:75.0% ~ 85.0%。 P_2 为 81.0% ~ 93.8%,平均拟合概率为 81.7%。由此可见,上述简化判别公式可靠。

表 6 辽河、长江、瓯江幼蟹种群的判别分析测试结果

Tab. 6 The testing discriminant results of populations of juvenile crab from Liaohé, Yangtze and Oujiang rivers

种群	样本大小 (只)	采样时间	平均体重 (M ±SD, g)	判入水系数(只)			判别准确率(%)		平均拟合概率 (%)
				辽河	长江	瓯江	P_1	P_2	
辽河	20	1997.10	4.54 ±3.16	15	3	2	75.0	93.8	
长江	20	1997.10	5.26 ±3.26	1	17	2	85.0	73.9	81.7
瓯江	20	1997.10	4.56 ±3.34	0	3	17	85.0	81.0	

3 讨论

3.1 辽河、长江、瓯江幼蟹种群形态趋异的原因分析

通过判别分析和聚类分析,证明辽河、长江、瓯江中华绒螯蟹幼蟹在外部形态上确有显著差异($P < 0.01$)。辽河幼蟹与长江、瓯江幼蟹差别较大,而长江与瓯江幼蟹相对近似。这从判别分析中,长江、瓯江幼蟹的相互误判频率较高,而在聚类分析中,辽河幼蟹与长江、瓯江幼蟹被自然地区分开来,都清楚地证明了这一点。

由于地理屏障,一个种群往往与同种的另一种群有着某种程度的分隔,形成形态、生理甚至遗传上的差异^[9]。由于本文所取的实验材料均是在我室崇明河蟹实验站培育的幼蟹,消除了水系环境条件差异对幼蟹形态的影响,因此可以肯定:辽河、长江、瓯江幼蟹形态上的差异是由遗传差异所致,而这种遗传上的差异很可能是由于辽河、长江、瓯江中华绒螯蟹在漫长的选择进化过程中,不同的生态环境所造成的,从三水系的地理位置来看,辽河河口距长江河口约 1000 公里,距瓯江河口约 1200 公里,长江河口与瓯江河口相距约 200 公里(仅隔杭州湾),这样的地理距离上的差别也是同三水系幼蟹形态上差异的

大小相符的。

3.2 逐步判别方法的应用

逐步判别是对建立判别函数所依赖的诸因子进行合理选择,因为它既考虑到各入选因子的重要性,又考虑到每选入一个新因子对已入选因子的影响,并及时对已入选因子进行剔除与否的处理,这样就可以从大量的因子中挑选出若干必要的、组合最佳因子去建立判别函数。许加武等^[4]利用逐步判别的方法判别辽河、长江、瓯江中华绒螯蟹的成蟹种群,取得了比较好的判别效果,本文利用逐步判别方法来判别三个水系的幼蟹,判别效果也比较理想。使用 14 个形态参数的平均拟合概率为 85.5%,使用 9 个形态参数的平均拟合概率为 80.4%。可以确认,逐步判别是鉴别河蟹种群的有效方法。

选用参数多少关系到工作量的大小,本文先使用 14 个参数,再从中精选 9 个参数,虽然平均拟合概率减少了 5.1%,但测量与计算的工作量减少了 36%,因此用 9 个参数构建的判别公式在生产上还是适用的。

总之,用逐步判别的方法从大量形态参数中筛选出能反映附加信息的有效参数,并利用有效参数进行判别分析,在鉴别辽河、长江、瓯江幼蟹种群上是完全可行的。

参考文献:

- [1] 徐兴川. 关于中华绒螯蟹品质保持问题的探讨[J]. 水产科技情报,1991,18(1):17-19.
- [2] 徐兴川,朱振东. 长江和瓯江水系幼蟹湖泊放养的技术结果[J]. 淡水渔业,1992,22(5):25-29.
- [3] 吴琅虎,高志慧. 池塘河蟹养殖综合增产技术研究[J]. 淡水渔业,1994,24(5):26-28.
- [4] 许加武,任明荣,李思发. 长江、辽河、瓯江中华绒螯蟹种群的形态判别[J]. 水产学报,1997,21(3):269-274.
- [5] Wilkinson, SYSTAT: The Systat for Statistic (2nd ed.) [M]. SYSTAT Inc, 1989. 341-697.
- [6] 卢纹岱,金水高. SAS/PC 统计分析软件实用技术[M]. 北京:国防工业出版社,1996. 233-247.
- [7] 张尧庭,方开泰. 多元统计方法引论[M]. 北京:科学出版社,1982. 237-242.
- [8] Brzeski V J, Doyle R W. A morphometric criterion for sex discrimination in tilapia [A]. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture: I CLARM Conference Proceeding [C]. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand, and International Center of Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, 1988. 439-444.
- [9] 李思发. 淡水鱼类种群生态学[M]. 北京:农业出版社,1990. 213-215.