文章编号: 1004-8227(2010) 06-0678-07

中国五大湖秀丽白虾地理种群的形态差异与判别分析

张敏莹, 徐东坡, 刘 凯, 段金荣, 施炜纲*
(农业部长江下游渔业资源环境重点野外科学观测试验站, 中国水产科学研究院内陆渔业生态环境和资源重点开放实验室, 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

摘 要: 测量了326尾采自鄱阳湖、洞庭湖、太湖、巢湖和洪泽湖5个地理种群的秀丽白虾的8个形态学特征, 经过校正后形成10个形态学比例参数。运用3种多元统计方法对不同地理种群间的形态差异进行了比较研究。主成分分析构建的前3个主成分的方差贡献率依次为31.216%、21.577%、15.239%, 累积贡献率为68.032%, 主成分分析结果表明5个地理种群间的形态差异主要取决于腹部宽/体长、腹部宽/腹部长和头胸甲宽/体长3个形态学特征; 聚类分析结果表明, 太湖种群最先和鄱阳湖种群聚成一类, 随后与巢湖种群、洪泽湖种群聚集, 最后才和洞庭湖种群聚集, 说明太湖种群和鄱阳湖种群形态差异最小而和洞庭湖种群形态差异最大; 建立了5个种群的判别函数, 判别准确率为76.7%~96.7%, 综合判别率为80.7%。计算了差异系数, 根据Mayr等提出的75%规则, 认为不同地理种群间的形态差异还没有上升到亚种水平的差异。推测遗传差异和环境因子是不同种群秀丽白虾产生形态变异的主要原因。

关键词: 秀丽白虾; 地理种群; 形态差异; 判别分析
文献标识码: A

秀丽白虾(*Exopalaemon modestus*)隶属于甲壳纲、十足目、长臂虾科、白虾属, 广泛分布于我国淡水湖泊及河流中, 是长江中下游地区许多中大型湖泊的虾类优势种[1]。太湖秀丽白虾因其壳薄味美、营养丰富、产量高而与银鱼、梅鲚并称"太湖三宝"[2], 巢湖秀丽白虾与银鱼、河蟹并称为"巢湖三鲜"[3], 巢湖和洪泽湖的"湖米"(白虾的虾仁)远销海内外。因此不论从产量还是产值上讲, 秀丽白虾在我国淡水湖泊渔业中占有非常重要的位置。近年来由于水质污染、过度捕捞等原因, 湖泊中秀丽白虾呈现个体小型化、产量下降的趋势, 白虾种质资源保护显得尤为重要。目前市场供应的秀丽白虾基本上来自野生资源, 为了满足市场需求, 保护、增殖白虾资源, 近年来已有科研单位开始尝试进行秀丽白虾的人工育苗和池塘养殖, 但还仅限于实验、试养阶段[4,5]。不少学者运用多变量形态度量学(Multivariate Morphometrics)方法, 对不同种、不同地理种群的甲壳类、贝类、鱼类等进行形态判别分析[6~10], 均获得了有意义的结果。有关秀丽白虾的研究主要集中在繁殖生物学、生长、食性、耗氧等方面[11~14], 也有少量分子遗传方面的初步报道[15,16], 但关于不同地理种群秀丽白虾形态差异及判别分析的研究还很少见[17]。作者运用多变量形态学分析方法, 以聚类分析、主成分分析、判别分析3种多元分析方法, 对我国五大湖泊不同地理种群的秀丽白虾进行综合分析, 揭示其种群形态差异, 并建立各种群的判别方程, 为秀丽白虾种群鉴别提供理论依据, 为后续的人工繁殖、苗种选育等研究积累基础生物学资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2008年6月采集中国五大湖即太湖(TH)、巢湖(CH)、洪泽湖(ZH)、洞庭湖(DT)和鄱阳湖(PY)

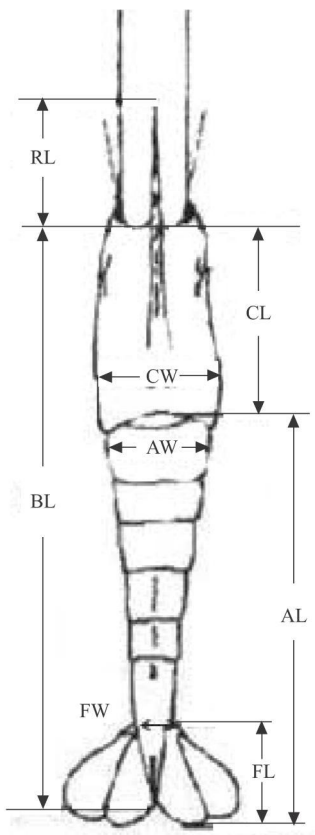
收稿日期: 2009-09-03; 修回日期: 2009-12-03
基金项目: 国家科技基础条件平台项目(2006DKA30470-003)和水产科学研究院专项资金项目(2007JBFB06, 2007JBFB07, 2007JBFA05)共同资助.
作者简介: 张敏莹(1974~), 女, 湖北省应城人, 助理研究员, 硕士, 从事水产动物种质资源评估及增殖保护等研究. E-mail: zhangmy@ffrc.cn
* 通讯作者. E-mail: shiwg@ffrc.cn.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

地理种群的秀丽白虾。各种群采集样本数量不少于 500 尾。样品采集后置于冰盒冷藏带回实验室。随即抽取样品测量, 其中太湖种群 60 尾、巢湖种群 73 尾、洪泽湖种群 73 尾、洞庭湖种群 60 尾、鄱阳湖种群 60 尾, 共测量 5 个种群 326 尾。

1.2　数据测量和处理方法

采用游标卡尺、分规、直尺等工具测量, 精确到 0.1 mm, 测量方法参照文献[18]。测量参数有: 腹部长 AL, 腹部宽 AW, 体长 BL, 头胸甲长 CL, 头胸甲宽 CW, 尾扇长 FL, 额剑长 RL, 尾柄宽(尾柄基部最细处) FW, 共 8 个性状(如图 1)。



注: AL——腹部长; AW——腹部宽; BL——体长; CL——头胸甲长; CW——头胸甲宽; FL——尾扇长; FW——尾柄宽; RL——额剑长

图 1　秀丽白虾形态参数测定部位示意图

Fig. 1　Sketch of Measuration Part of Morphometric Attributes for *E. modestus*

1.3　数据处理

为了消除虾体规格大小对参数值的影响, 采用比例参数对上述 8 个测量性状予以校正, 得出以下 10 个形态学比例性状: 腹部长/体长(AL/BL)、腹部宽/体长(AW/BL)、头胸甲长/体长(CL/BL)、头胸甲宽/体长(CW/BL)、尾扇长/体长(FL/BL)、额剑长/体长(RL/BL)、尾柄宽/体长(FW/BL)、头胸甲宽/头胸甲长(CW/CL)、腹部宽/腹部长(AW/AL)、腹部宽/头胸甲宽(AW/CW)。使用 SPSS 15.0 for windows 软件进行数据处理。

采用聚类分析、主成分分析和判别分析 3 种多元分析方法对 5 种群进行形态差异分析。聚类分析采用分层聚类——Q 型聚类中的类间平均连锁法(Between-groups Linkage)。主成分贡献率和累计贡献率的计算方法参照文献[19]。差异系数按 Mayr[20] 等的方法计算。采用逐步判别方法进行判别分析, 参数校正参照 Brezeski 等[21] 方法。判别准确率 P 的计算公式如下: P= 判别正确的尾数/实测尾数, 综合判别率= $\sum_1^n A_i / \sum_1^n B_i$, 其中: A_i 为第 i 个种群中判别正确的尾数; B_i 为第 i 个种群的实测尾数; n 为种群数。

2　结果

2.1　主成分分析及 **5** 个地理种群间的形态差异

以所有样本的 10 个比例性状进行主成分分析, 获得前 3 个主成分 $PC1$、$PC2$ 和 $PC3$, 10 个比例性状对前 3 个主成分的负荷值及 3 个主成分的方差贡献率见表 1。前 3 个主成分的累积方差贡献率为 68.032%, 第一主成分受性状 X_2(腹部宽/体长) 影响最大, 其次为 X_9(腹部宽/腹部长) 和 X_4(头胸甲宽/体长)。第二主成分主要受 X_8(头胸甲宽/头胸甲长)、X_{10}(腹部宽/头胸甲宽) 的影响, 第三主成分受 X_1(腹部长/体长)、X_5(尾扇长/体长) 影响最大。

表 **1**　**5** 个种群秀丽白虾的 **10** 个形态性状对前 **3** 个主成分的负荷值及 **3** 个主成分的贡献率

Tab. 1　Loading Values and Variance Contribution Ratio of the First Three Principal Components for Ten Morphometric Characters of *Exopalaemon modestus* in Five Populations

性状	性状编号	*PC*1	*PC*2	*PC*3
腹部长/体长(AL/BL)	X_1	−0.163	−0.173	0.822*
腹部宽/体长(AW/BL)	X_2	0.923*	−0.131	0.152
头胸甲长/体长(CL/BL)	X_3	0.277	−0.473	0.159
头胸甲宽/体长(CW/BL)	X_4	0.713*	0.609	0.141
尾扇长/体长(FL/BL)	X_5	0.048	0.082	0.762*
额剑长/体长(RL/BL)	X_6	0.543	−0.040	−0.201
尾柄宽/体长(FW/BL)	X_7	0.564	0.346	0.262
头胸甲宽/头胸甲长(CW/CL)	X_8	0.478	0.808*	0.041
腹部宽/腹部长(AW/AL)	X_9	0.898*	−0.019	−0.295
腹部宽/头胸甲宽(AW/CW)	X_{10}	0.079	−0.857*	0.007
贡献率		31.216%	21.577%	15.239%

注: * 标号的负荷值大于 0.7

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

对前 3 个主成分作分布图, 5 个群体 $PC1$ 与 $PC2$、$PC3$ 的散点分布图见图 2 和图 3。从图 2、图 3 均可看出, 除极少数个体外, 5 个种群的秀丽白虾在 $PC2$、$PC3$ 轴上的值很集中, 在 $PC1$ 轴上的值有较大跨度, 即 5 个种群秀丽白虾的形态差异主要存在于 $PC1$ 轴上。在 $PC1$ 轴上, 洪泽湖、鄱阳湖、太湖和巢湖种群的绝大部分个体交叉重叠在一起, 除和洪泽湖有部分交叉外, 洞庭湖种群和其它种群有较大非重叠区。由表 1 可知, 对 $PC1$ 影响较大的性状主要是 X_2(腹部宽/体长)、X_9(腹部宽/腹部长)和 X_4(头胸甲宽/体长), 即 5 个种群的秀丽白虾形态差异主要表现在腹部宽/体长、腹部宽/腹部长和头胸甲宽/体长上, 特别是洞庭湖种群在上述 3 个性状上和其它种群有较大差异。

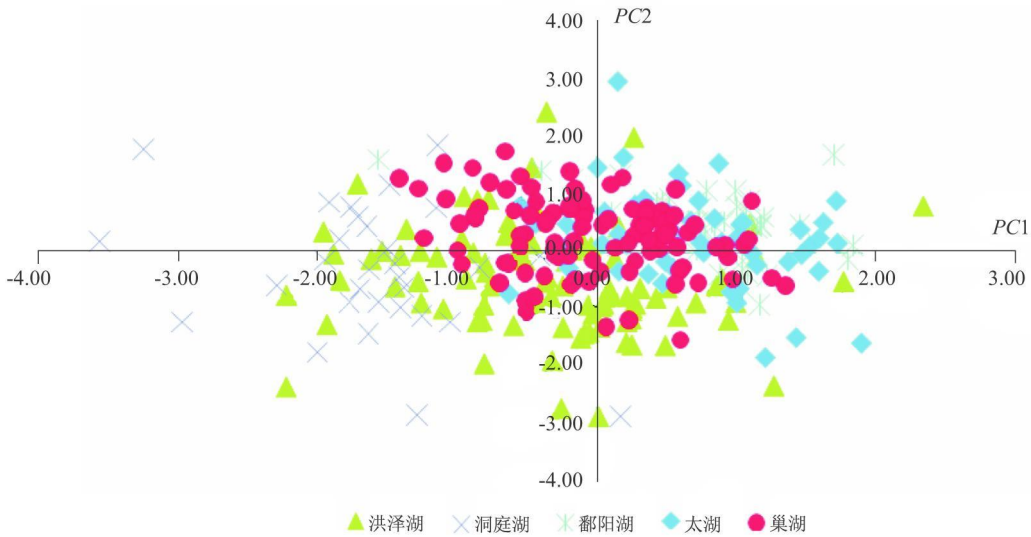


图 2 5 种群秀丽白虾第一、第二主成分散布图

Fig. 2 Scatter Diagram for $PC1$ and $PC2$ of *Exopalaemon modestus* in Five Populations

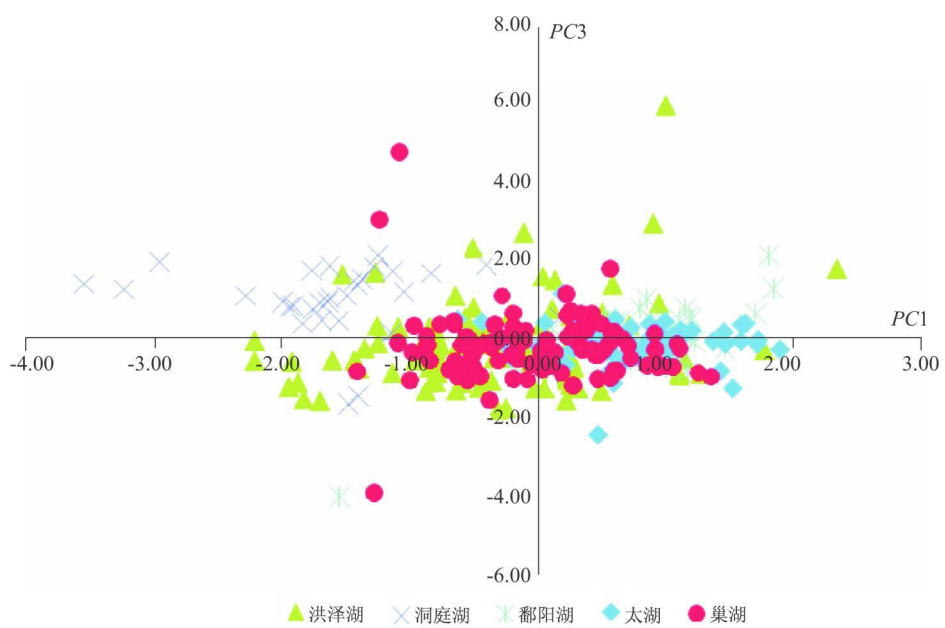


图 3 5 种群秀丽白虾第一、第三主成分散布图

Fig. 3 Scatter Diagram for $PC1$ and $PC3$ of *Exopalaemon modestus* in Five Populations

为了更好地找出各种群间的形态差异, 计算了 10 个形态性状的平均值、标准差及各种群间的差异系数的变化范围(表 2)。从表中可以看出, 洞庭湖种群、洪泽湖种群在性状 X_2(腹部宽/体长)、X_4(头

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

胸甲宽/体长) 和 X_9 (腹部宽/腹部长) 上与太湖、鄱阳湖及巢湖种群的差异较大, 这和主成分分析结果是一致的。具体表现为洞庭湖种群、洪泽湖种群性状 X_2、X_4、X_9 偏小, 即洞庭湖、洪泽湖秀丽白虾腹部和头胸甲较窄, 个体更细长。各种群间10个性状的差异系数最小值为 0. 003, 最大值为 1. 111, 小于亚种间的差异系数 1. 28, 因此它们之间的差异仍然属于不同地理种群间的差异, 还没有上升到亚种水平。

表 2　5个地理种群秀丽白虾的形态性状平均值及差异系数

Tab. 2　Mean Values of Morphometric Characters and Coefficient of Difference of *Exopalaemon modestus* in Five Geographical Populations

性状	性状编号	种群类型					差异系数
		太湖	巢湖	洪泽湖	洞庭湖	鄱阳湖	
腹部长/体长(AL/BL)	X_1	0. 726±0. 019	0. 728±0. 046	0. 749±0. 014	0. 755±0. 033	0. 727±0. 031	0. 013~ 0. 558
腹部宽/体长(AW/BL)	X_2	0. 165±0. 010	0. 157±0. 009	0. 153±0. 016	0. 145±0. 012	0. 167±0. 01	0. 100~ 1. 000
头胸甲长/体长(CL/BL)	X_3	0. 287±0. 018	0. 277±0. 012	0. 286±0. 016	0. 276±0. 021	0. 281±0. 016	0. 003~ 0. 367
头胸甲宽/体长(CW/BL)	X_4	0. 182±0. 011	0. 173±0. 01	0. 164±0. 017	0. 152±0. 014	0. 186±0. 011	0. 065~ 0. 800
尾扇长/体长(FL/BL)	X_5	0. 222±0. 012	0. 222±0. 016	0. 219±0. 024	0. 243±0. 028	0. 226±0. 016	0. 005~ 0. 525
额剑长/体长(RL/BL)	X_6	0. 371±0. 026	0. 348±0. 034	0. 389±0. 033	0. 242±0. 029	0. 37±0. 021	0. 021~ 0. 758
尾柄宽/体长(FW/BL)	X_7	0. 081±0. 007	0. 078±0. 006	0. 073±0. 01	0. 063±0. 008	0. 083±0. 007	0. 071~ 0. 588
头胸甲宽/头胸甲长(CW/CL)	X_8	0. 638±0. 058	0. 626±0. 04	0. 573±0. 065	0. 572±0. 071	0. 663±0. 031	0. 118~ 0. 900
腹部宽/腹部长(AW/AL)	X_9	0. 227±0. 015	0. 216±0. 015	0. 204±0. 019	0. 200±0. 017	0. 23±0. 010	0. 083~ 1. 111
部宽/头胸甲宽(AW/CW)	X_{10}	0. 905±0. 063	0. 911±0. 058	0. 938±0. 089	0. 956±0. 097	0. 897±0. 051	0. 070~ 0. 399

2. 2　聚类分析

对所有样本的 10 个性状进行聚类分析, 得到 5 个种群秀丽白虾的形态聚类图(图 4) 。太湖种群最先和鄱阳湖种群聚成一类, 随后与巢湖种群、洪泽湖种群聚集, 最后才和洞庭湖种群聚集。说明太湖种群和鄱阳湖种群的形态差异最小, 和巢湖、洪泽湖、洞庭湖种群的形态差异依次增大。

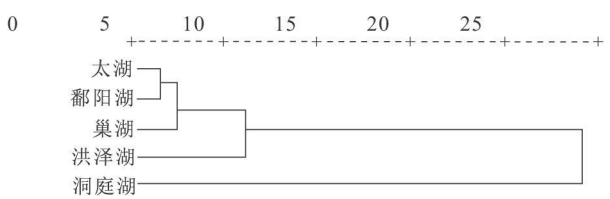


图 4　秀丽白虾 5 种群形态聚类分析

Fig. 4　Clustering Analysis in Five Different Populations of *Exopalaemon modestus*

2. 3　判别分析

对 5 个种群 10 个比例性状判别分析的 F 检验结果表明, 除 X_2、X_3 和 X_8 外, 其余7 个比例性状判别效果较好($P< 0. 01$) 进入判别函数。利用逐步判别分析的方法, 对 7 个比例性状的特征值分别建立了判别方程。判别函数依次为:

$$Y_{TH} = 134. 581X_1 + 2\,600. 743X_4 + 137. 005X_5 + 247. 290X_6 - 73. 967X_7 - 705. 144X_9 + 501. 002X_{10} - 492. 503$$

$$Y_{CH} = 136. 764X_1 + 2\,559. 9173X_4 + 144. 390X_5 + 228. 677X_6 - 107. 171X_7 - 728. 896X_9 + 499. 740X_{10} - 472. 721$$

$$Y_{HZ} = 68. 374X_1 + 2\,936. 030X_4 + 125. 754X_5 + 280. 516X_6 - 213. 585X_7 - 1\,110. 908X_9 + 580. 794X_{10} - 487. 111$$

$$Y_{DT} = 69. 165X_1 + 3\,050. 297X_4 + 216. 806X_5 + 118. 836X_6 - 416. 863X_7 - 1\,199. 863X_9 + 600. 370X_{10} - 463. 058$$

$$Y_{PY} = 130. 996X_1 + 2\,623. 783X_4 + 144. 511X_5 + 244. 141X_6 - 55. 262X_7 - 705. 141X_9 + 501. 813X_{10} - 496. 938$$

为了更具体地判别某一群体的归属, 将除 X_2、X_3 和 X_8 外的 7 个比例性状的值分别代入上述对应分组内的判别函数中, 比较函数值的大小, 被判别个体归属于函数值最大的那个函数所对应的种群。对测量样本按上述判别公式进行预测分类, 结果见表 3。5 个种群判别准确率依次为 76. 7%、78. 1%、82. 2%、96. 7%、78. 3%, 综合判别率为 80. 7% 。

3　讨论

3 种多元分析方法既有区别又有联系。聚类分析可将不同种群进行初步归类, 量化种群间的差异程度, 分析种群间的相似程度[22]。主成分分析则将多个形态比例性状综合成少数几个因子, 并可根据不同种群的主成分负荷值找出对应的差异较大的形态性状。判别分析可对多个因子进行合理选择, 从大量因子中挑选出若干必要的最佳组合因子建立判

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

别函数。3 种分析方法各自从不同角度反映了种群间的形态学差异, 因此相互不可替代。3 种分析方法对 5 个地理种群秀丽白虾的研究结果是一致的, 表明它们在形态上, 既相似又有一定程度的差异。聚类分析结果中, 太湖种群与鄱阳湖种群形态差异最小, 与巢湖种群次之, 而与洞庭湖种群的趋异程度最大。在主成分散布图中也可以看到同样的结果, 太湖、鄱阳湖、巢湖种群几乎重叠在一起, 洞庭湖种群与洪泽湖种群(及其它种群) 既有较大的重叠区域, 也有较大的非重叠区。重叠区域表明相似程度, 非重叠区域表明其差异程度, 说明洞庭湖种群和其它种群在某些性状上有较大差异。判别分析中, 判别准确率为 76. 7% ~ 96. 7%, 特别是太湖、巢湖、鄱阳湖种群的判别率偏低(76. 7%、78. 1%、82. 2%), 在一定程度上说明这 3 个种群间的形态差异很小, 一个种群的个体很容易被误判为另一个种群的个体(见表 3)。

表 **3** 判别函数对秀丽白虾观测样本的预测分类及准确率

Tab. 3 Predicted Classification and Accucary of Discriminant Function for Observed Specimens of *Exopalaemon modestus*

种 群	数量(ind.)	准确率(%)	预测分类				
			太湖	巢湖	洪泽湖	洞庭湖	鄱阳湖
太湖	60	76. 7	46	4	2	0	8
巢湖	73	78. 1	9	57	2	0	5
洪泽湖	73	82. 2	4	7	60	0	2
洞庭湖	60	96. 7	0	0	2	58	0
鄱阳湖	60	78. 3	7	5	1	0	47
总 计	326		66	73	67	58	62

判别分析是一种实用性很强的方法。魏开建等[23]运用多变量形态度量学方法对 5 种蚌进行了形态判别, 其判别准确率为 98. 92%、86. 36%、96. 88%、100% 和 100%, 综合判别准确率为 97. 83% ; 闻海波等[24]采用逐步判别法建立了 3 种育珠蚌的形态判别函数, 其综合判别准确率达到 100%。钱荣华等[9]对中国五大湖及人工群体的三角帆蚌的形态判别准确率为 81. 73%; 赵晓钱等[18]对日本沼虾 4 种群的形态判别准确率为 81. 7%。从笔者对秀丽白虾的判别分析结果来看, 判别准确率依次为 76. 7%、78. 1%、82. 2%、96. 7%、78. 3%, 综合判别率为 80. 7%。综合判别准确率和钱荣华等、赵晓钱等的研究结果相当, 但明显低于魏开建和闻海波等对不同种间蚌类的判别准确率。笔者认为有以下几个方面的原因。首先是由于这种形态判别为种内判别而不是种间判别, 因此判别准确率不如种间判别准确率高, 其次是由于这 5 个种群都位于华中和华东地区, 它们间的地理差距并不是很大, 因而形态差异不是很明显。其三是由于蚌个体较大, 壳硬, 测量误差小, 而虾个体小, 头胸部及腹部有不同程度弯曲, 导致某些参数测量误差增大, 判别准确率下降。此外, 本实验样品采集于 6 月, 正值秀丽白虾的繁殖盛期, 虽然测量样本是从大量样本(大于 500 尾) 中随机抽取, 而且有些关于虾类形态变异的研究也没有考虑雌雄差异[18,25], 但雌雄差异也可能是导致判别准确率有所下降的原因之一。

在物种系统分类研究中, 地理隔离一直被认为是种及种下阶元形成的重要因素[26]。太湖、鄱阳湖、巢湖、洞庭湖隶属于长江水系, 而洪泽湖属于淮河水系。钱荣华等[9]对中国五大湖三角帆蚌的聚类分析表明, 洪泽湖种群与太湖、鄱阳湖、巢湖等其它种群的形态差异最大, 即不同水系间种群的形态差异大于同一水系间不同种群间形态差异。本实验聚类分析结果表明, 洞庭湖种群(而不是洪泽湖种群) 与其它种群的形态差异最大, 这和上述对蚌的研究结果是不一致的。究其原因, 笔者认为, 蚌和虾的生活习性不同, 在河流中, 蚌多营底埋生活只能在底泥上短距离犁行, 而虾类营游泳生活, 其空间分布主要受底质、透明度、水深和水生植被等影响[27], 因此即使是同一湖泊, 环境因子对不同物种形态的影响程度是不同的, 使蚌产生较大形态变异的环境因子不一定会使虾也产生较大形态变异。

种群形态异质性是种的重要适应性之一, 其形态上的差异保障着种群能更加多样化地利用资源、繁殖后代和适应环境[28]。秀丽白虾喜栖息于水体中下层, 以浮游动物、浮游植物、植物碎屑、有机碎屑和腐殖质等为食, 游泳能力较弱。主成分分析表明, 不同种群秀丽白虾躯体纵轴性状如腹部宽/ 体长、头胸甲宽/ 体长及腹部宽/ 腹部长发生分化, 表现为洞庭湖、洪泽湖种群上述 3 个性状的值偏小, 个体更细长, 推测可能与白虾的摄食有关。太湖、巢湖为富营养化湖泊, 水体中浮游植物(特别是藻类) 丰富, 白虾

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

饵料食物丰富, 而在洞庭湖、洪泽湖、鄱阳湖等中营养型湖泊中, 由于换水周期短、湖水更新快, 浮游藻类在水体中积聚相对较少[3], 相对细长的个体可能更有利于提高白虾游泳能力从而获得更多的食物。这和庆宁等[29] 对不同水系间黄颡鱼形态变异的研究结果是类似的。值得注意的是, 同样承受摄食压力的鄱阳湖种群在形态上更多地与太湖、巢湖种群重叠, 而与洞庭湖、洪泽湖种群重叠较少, 可能与鄱阳湖作为通江湖泊与太湖有较多的基因交流有关, 这在某种程度上也说明形态特征是由遗传因子与环境因子共同作用的结果。如能结合分子遗传学研究可能会更真实地反映种群间的差异。

陈杰[17] 等通过对太湖、滇池、呼伦湖、兴凯湖和巢湖秀丽白虾形态变异的研究, 推测温度和底泥是导致种群形态变异的主要原因。本研究中, 太湖、鄱阳湖、巢湖、洪泽湖和洞庭湖都以北部亚热带气候为主, 月平均气温和水温大致相当[3], 温度的空间异质性不明显, 因此温度不可能是影响本研究不同湖泊秀丽白虾形态变异的主要原因。关于形态性状与环境因子的相关程度有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 谈奇坤. 巢湖秀丽白虾渔业生物学初步调查[J]. 动物学杂志, 1982(6): 4~ 7.

[2] 王克文, 余方德, 嵇发根. 湖州市志[M]. 北京: 昆仑出版社, 1999: 702~ 704.

[3] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 234, 104~ 124, 59~ 61.

[4] 胡廷尖, 周志明, 黄鲜明, 等. 秀丽白虾繁殖特性与人工育苗技术研究[J]. 中国水产, 2001(1): 46~ 47.

[5] 胡廷尖, 叶金云, 周志明, 等. 秀丽白虾池塘养殖技术[J]. 科学养鱼, 2002(2): 31~ 31.

[6] 郭　惠, 陈立侨, 杨国梁, 等. 不同罗氏沼虾种群形态差异的比较研究[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 531~ 535.

[7] 孙成波, 陈国良, 童汉荣, 等. 美国4 个凡纳滨对虾(*Litopenaeus Vannamei*) 种群形态差异与判别分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(1): 27~ 32.

[8] 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.

[9] 钱荣华, 李家乐, 董志国, 等. 中国五大湖三角帆蚌形态差异分析[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(4): 436~ 443.

[10] 李思发, 李晨虹, 李家乐. 尼罗罗非鱼品系间形态差异分析[J]. 动物学报, 1998, 44(4): 450~ 457.

[11] 姜叶琴, 杨万喜. 秀丽白虾早期生精细胞结构特征的研究[J]. 海洋湖沼通报, 2003(2): 48~ 53.

[12] 施炜纲. 太湖白虾生长特征的初步研究[J]. 太湖水产养殖, 1985(1): 20~ 22.

[13] 施炜纲. 太湖白虾生物学与食性的研究[J]. 湖泊科学, 1995, (1): 150~ 156.

[14] 姜叶琴, 杨万喜. 日本沼虾和太湖白虾耗氧率的比较[J]. 水产科学, 2003, 22(2): 15~ 17.

[15] 张敏莹, 徐东坡, 段金荣, 等. 太湖秀丽白虾的遗传多样性的RAPD 分析[J]. 中国农学通报, 2008, 24(3): 459~ 462.

[16] 张敏莹, 刘焕章, 徐东坡, 等. RAPD 分析野生和养殖太湖秀丽白虾的遗传多样性[J]. 农业生物技术学报, 2008, 16(5): 905~ 906.

[17] 陈　杰, 郭　慧, 陈立侨, 等. 中国秀丽白虾不同地理群体的形态变异[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2007, 3(2): 72~ 80.

[18] 赵晓勤, 倪　娟, 陈立侨, 等. 日本沼虾4 种群的形态差异分析[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 224~ 229.

[19] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 393~ 401.

[20] MAYR E, LINSLEY E G, USINGER R L. Methods and principles of systematic zoology[M]. New York, Toronto and London: McGraw Hill Book Company, 1953: 23~ 39, 123~ 154.

[21] BRZESKI V J, DOYLE R W. A morphometric criterion for sex discrimination in tilapia[C]//The second international symposium on Tilapia in Aquaculture: ICLARM conference proceeding. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand, and International Center of Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, 1988: 439~ 444.

[22] 李勤生, 蔡庆华, 华　俐, 等. 东湖异养细菌群落的分类结构和聚类分析[J]. 水生生物学报, 1991, 15(3): 242~ 254.

[23] 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.

[24] 闻海波, 顾若波, 徐钢春, 等. 美国紫踵劈蚌与三角帆蚌和褶纹冠蚌的形态比较与判别分析[J]. 动物学杂志, 2007, 42(3): 84~ 89.

[25] 李朝霞, 李　健, 王清印, 等. 中国对虾"黄海1 号"选育群体与野生群体的形态特征比较[J]. 中国水产科学, 2006, 13(3): 384~ 388.

[26] 闫路娜, 左惠凯, 曹玉萍. 文昌鱼秦皇岛、青岛和厦门地理种群形态特征的分化[J]. 动物学研究, 2005, 26(3): 311~ 316.

[27] PENCZAK T, RODRIGUEZ G. The use of electrofishing to estimate population densities of freshwater shrimps (Decapoda, Natantia) in a small tropical river, Venezuela[J]. Archives of Hydrobiology, 1990, 118(4): 501~ 509.

[28] 林植华, 雷焕宗. 雌雄两性黄颡鱼头部形态特征的增长[J]. 丽水师范专科学校学报, 2004, 26(2): 39~ 41.

[29] 庆　宁, 吕凤义, 赵　俊, 等. 华南沿海地区西部入海水系中间黄颡鱼的形态变异及地理分化[J]. 动物学研究, 2007, 28(2): 207~ 21.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

STUDY ON MORPHOLOGICAL VARIATION AND DISCRIMINATION OF WHITE SHRIMP(*EXOPALAEMON MODESTUS* HELLER) AMONG POPULATIONS OF FIVE LARGE LAKES IN CHINA

ZHANG Min-ying, XU Dong-po, LIU Kai, DUAN Jin-rong, SHI Wei-gang

(Ministry of Agriculture Key Field Station of Observation and Research for Fishery Resources and Environment of the Lower Reaches of Yangtze River; Key Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries; Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: White shrimps (*Exopalaemon modestus* Heller) were collected from Taihu Lake, Poyang Lake, Chaohu Lake, Hongze Lake and Dongting Lake in China. Eight morphological traits of 326 shrimps were measured and ten morphological proportional parameters were formed after adjusting. Morphological variation among populations was calculated using three kinds of multivariate analysis techniques. The variance contribution ratios of the first three principal component were 31.216%, 21.577% and 15.239%, respectively, and the cumulate variance contribution ratio was 68.032%. The results of principal component analysis showed that morphological variation among five populations lied mostly on three ratios of ventral width to body length, ventral width to ventral length and head-cuirass width to body length. Cluster analysis showed that the populations from Taihu Lake and Poyang Lake formed a common cluster firstly, then Chaohu Lake, Hongze Lake and Dongting Lake joined to the cluster in turn, which revealed the least variations between Taihu Lake and Poyang Lake and the most variations between Taihu Lake and Dongting Lake. Discriminant functions were established for five populations. The discriminant accuracy was from 66.7% to 96.7% and the synthetic identification discriminant analysis accuracy was 80.7%. Coefficients of difference were calculated. According to Mayr's 75% rule, the differences among different populations of *Exopalaemon modestus* are still within the population level and do not reach the subspecies level. Morphological differences between different populations appear to result from both genetic differences and environmental factors.

Key words: *Exopalaemon modestus* Heller; geographical population; morphological variation; discriminant analysis

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net