

日本沼虾4种群的形态差异分析

赵晓勤¹, 倪娟¹, 陈立侨¹, 顾志敏², 周志明²

(1. 华东师范大学生命科学院, 上海 200062; 2. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313001)

摘要: 4种群日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)分别取自洪泽湖、太湖、广西3地天然水域和浙江德清人工养殖池塘。经在相似条件下暂养7个月后, 运用3种多元分析方法对四者的10项形态比例参数进行比较研究。聚类分析结果表明, 养殖种群与洪泽湖种群的形态最接近, 而与太湖种群、广西种群的趋异程度逐渐增加。主成分分析结果显示, 养殖种群的成体规格小于同期的3个野生种群, 而3个野生种群中又以洪泽湖种群的规格最小。以判别分析建立了4种群的判别函数, 判别准确率分别为: 76.7%~86.7% (P_1) 和 74.3%~96.0% (P_2), 综合判别率 81.7%。3种多元分析结果均认为, 4种群日本沼虾在形态上已产生一定程度的差异, 且集中表现在头胸甲部的性状上, 但所有差异均未达到亚种水平, 须有多项参数综合判别才能辨别; 养殖种群的小型化与选种不当密切相关。[中国水产科学, 2006, 13(2): 224~229]

关键词: 日本沼虾; 野生种群; 养殖种群; 可量性状; 形态差异; 多元分析

中图分类号: Q959.223 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2006)02-0224-06

日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)是中国重要的淡水经济虾类。近年来, 随着水产养殖技术的推广, 其人工养殖业得到了快速发展。然迄今, 养殖的日本沼虾均来自未经遗传选育的天然种群, 而养殖病害的日趋严重和养成规格、品质的下降已造成日本沼虾养殖产业的滑坡^[1-2]。

种质是产业的源头, 调查不同种群间的形态差异则是种质研究的基础。有关日本沼虾的形态研究, 堵南山早已在物种水平上进行了系统地阐述^[3], 但在种群水平上, 国内至今尚缺少深入的探索, 这与日本学者对该物种种质资源从形态至同工酶进行的系列研究存在着较大差距^[4-6]。本研究借鉴在其他水生动物种群形态分析中应用较为成熟的多元分析法, 对中国南部主产区的4种群日本沼虾进行综合分析, 以期找出差异较大的形态特征, 并建立鉴别方法, 为中国的日本沼虾种质资源的保护与利用, 以及生产实践提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

野生种群日本沼虾仔虾于2001年5月初分别取自太湖、洪泽湖、广西南宁3地天然水域, 养殖种

群日本沼虾仔虾于同期取自浙江德清钟管镇的养殖场, 并与上述3个野生种群样品共同放养于当地养殖场的4个相邻池中至2001年11月30日。每种群随机采集30尾, 体质量范围1.38~2.83 g。

1.2 数据测量和处理

用游标卡尺对每尾虾测量8个形态参数(图1): 全长, 体长, 额剑长, 头胸甲长, 头胸甲宽, 腹部长, 腹部宽, 尾扇长。测量精确到0.02 mm。

1.3 方法

为校正样品规格差异对形态参数值的影响, 本研究先将后者转化为以体长、头胸甲宽、头胸甲长和腹部长等为基数的10项形态比例参数, 再用SYSTAT软件进行聚类分析^[7]、判别分析和主成分分析, 并对各种群间差异较大的特征进行了单因子方差检验。

1.3.1 聚类分析 分别求出各种群10项形态比例参数的平均值, 再用这些平均值作聚类分析。所采用的聚类方法为欧氏距离的最短距离系统聚类法^[8]。

1.3.2 主成分分析 数据的校正方法按照文献[9]。通过计算机程序从10项形态比例参数中得出4个综合性指标, 即互不关联的4个主成分。主成分贡献率和累计贡献率的计算参照文献[8]。

收稿日期: 2005-04-06; 修订日期: 2005-08-29。

基金项目: 浙江省重点科研项目基金资助(011102097)。

作者简介: 赵晓勤(1977-), 女, 博士研究生, 从事水产动物种质遗传学研究。E-mail: zhucourt1@263.net

通讯作者: 陈立侨。E-mail: lqchen@online.sh.cn; Fax: 0086-021-62233637。

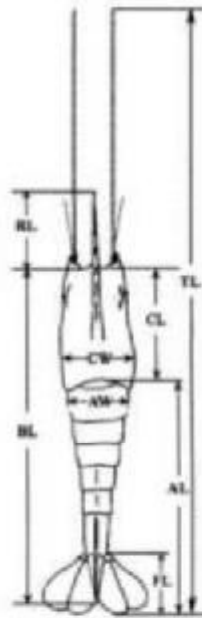


图1 日本沼虾形态参数测定部位示意图

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;RL—额剑长;TL—全长。

Fig.1 Sketch of measurement part of morphometric attributes for *M. nipponensis*

AL—Abdomen length; AW—Abdomen width; BL—Body length; CL—Carapace length; CW—Carapace width; FL—Tail fan length; RL—Rostrum length; TL—Total length.

1.3.3 判别分析 数据的校正方法按照文献[9]。判别准确率的计算公式为:

判别准确率 $P_1 = O/M$, 判别准确率 $P_2 = O/N$ 。

式中: O 为某日本沼虾种群判别正确的尾数, M 为该种群实际尾数, N 为判入该种群尾数。

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

式中: A_i 为第 i 个种群中判别正确的尾数, B_i 为第 i 个种群中的实际尾数, k 为种群数。

1.3.4 差异系数的计算 差异系数(CD)按文献[10]的方法计算。如差异系数大于1.28, 可视为亚种以上水平的差异。

2 结果

2.1 聚类分析

对4种群日本沼虾形态比例参数的聚类分析结果表明, 洪泽湖种群与养殖种群的欧氏距离最短, 形态最为接近, 而与太湖种群, 广西种群的趋势程度逐渐增加

(图2)。此结果不仅与3个野生种群的地理距离相一致, 也提示了浙江德清钟管镇地区的养殖日本沼虾种群与洪泽湖种群之间可能存在较近的亲缘关系。

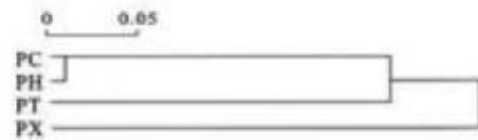


图2 4种群日本沼虾聚类分析图

注: PC—养殖种群; PH—洪泽湖种群; PT—太湖种群; PX—广西种群。

Fig.2 Cluster dendrogram of four populations of *M. nipponensis*

Notes: PC—Population of the cultured; PH—Population of Hongze Lake; PT—Population of Taihu Lake; PX—Population of Guangxi.

2.2 主成分分析

在主成分分析中, 4个主成分对不同种群间总变差的贡献率分别为, 主成分1: 23.33%, 主成分2: 18.31%, 主成分3: 12.52%, 主成分4: 10.63%; 累计贡献率64.80% (表1), 即它们包含了总变异的大部分, 说明可以用几个相互独立的因子来概括4种群间的形态差异。进一步观察对总变差贡献率最大的主成分1, 发现它主要取决于全长/体长, 头胸甲长/体长, 头胸甲宽/体长, 头胸甲宽/头胸甲长这4个指标, 即主成分1基本上反映的是头胸甲部分的形态特征, 由此可以认为, 4种群日本沼虾在形态上的差别很大程度上是由头胸甲的形态差别引起的。

从第1, 2主成分散布图中可以直观地看出: 广西、太湖、洪泽湖、养殖4种群集团沿对角线逐渐向原点靠近; 较其他两个野生种群而言, 洪泽湖种群集团具有明显狭长的外形和沿着第二主轴伸展的趋势, 且与养殖种群有着最大的交叠比例。由于主成分2主要取决于腹部宽/体长、腹部宽/头胸甲宽、腹部宽/腹部长3个指标 (表1), 即腹部的形态特征, 因此图3实质反映了4种群日本沼虾头胸部和腹部的性状分配趋势: 在野生种群中, 成体规格大小由广西种群、太湖种群向洪泽湖种群递减, 洪泽湖种群内部的个体差异集中表现为可食用部分 (腹部) 占整体比重的变化; 与野生种群相比, 养殖种群有着明显的小型化趋势, 且规格参差不齐, 虽然其在形态上与洪泽湖种群很接近, 但从两者的交叠区可以看出, 所接近的多属头胸甲偏大, 经济性性状较差的个体。

表1 4种群日本沼虾主成分分析中的因子负荷矩阵及主成分对总变差的贡献率
Tab.1 Component matrix and contribution of principal components to total variances
in PCA analysis for four populations of *M. nipponensis*

形态比例参数 Proportional parameter	主成分1 Factor 1	主成分2 Factor 2	主成分3 Factor 3	主成分4 Factor 4
全长/体长 TL/BL	0.647	0.306	-0.010	0.288
头胸甲长/体长 CL/BL	0.512	0.188	-0.493	0.242
额剑长/体长 RL/BL	-0.045	0.181	0.077	0.860
腹部长/体长 AL/BL	0.091	0.113	0.832	0.017
尾扇长/体长 FL/BL	0.255	-0.117	-0.312	0.553
头胸甲宽/体长 CW/BL	0.854	-0.007	0.116	-0.080
腹部宽/体长 AW/BL	0.125	0.666	0.209	0.041
腹部宽/头胸甲宽 AW/CW	-0.024	0.781	0.033	0.152
头胸甲宽/头胸甲长 CW/CL	0.501	0.019	0.559	-0.391
腹部宽/腹部长 AW/AL	0.228	0.679	-0.404	-0.165
贡献率/% Contribution ratio	23.33	18.31	12.52	10.63

注: $\square$ 表示负荷值大于 0.500 000.

Note: $\square$ Means the factor loading > 0.500 000.

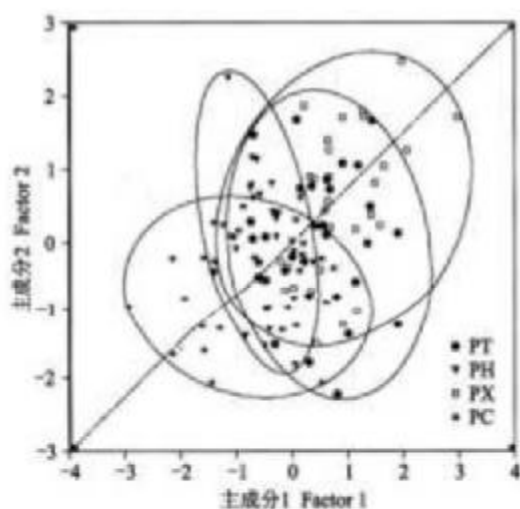


图3 4种群日本沼虾第1,2主成分散布图

注: PC—养殖种群; PH—洪泽湖种群; PT—太湖种群; PX—广西种群.

Fig.3 Distribution of four populations of *M. nipponensis*, factor 2 $\times$ factor 1 coordinate

Note: PC—Population of the cultured; PH—Population of Hongze Lake; PT—Population of Taihu Lake; PX—Population of Guangxi.

2.3 判别分析

利用逐步判别法,对10个形态比例参数进行分析,建立了4种群的判别函数。

$$\begin{aligned} \text{养殖种群: } Y = & -3\,974.902 + 75.876X_1 + \\ & 8\,788.635X_2 + 841.097X_3 + \\ & 3\,468.147X_4 + 7\,026.605X_5 + \\ & 1\,030.699X_6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{广西种群: } Y = & -4\,173.775 + 92.433X_1 + \\ & 8\,965.783X_2 + 852.563X_3 + \\ & 3\,521.030X_4 + 7\,195.924X_5 + \\ & 1\,058.633X_6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{洪泽湖种群: } Y = & -4\,120.719 + 76.848X_1 + \\ & 8\,785.844X_2 + 979.629X_3 + \\ & 3\,528.623X_4 + 7\,144.630X_5 + \\ & 1\,060.351X_6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{太湖种群: } Y = & -4\,085.959 + 96.115X_1 + \\ & 8\,791.455X_2 + 814.848X_3 + \\ & 3\,570.276X_4 + 7\,032.153X_5 + \\ & 1\,026.524X_6 \end{aligned}$$

公式中 $X_1 \sim X_6$ 分别代表全长/体长;头胸甲长/体长;额剑长/体长;腹部长/体长;尾扇长/体长;腹部宽/头胸甲宽。

要判断某尾虾的种群归属,只需将该虾的全长,体长等8个形态参数测出,整理形成 $X_1 \sim X_8$,分别代入上述4个判别函数中,哪个函数得到的Y值最大,该虾即属哪个种群。

为验证判别公式的实用性,对测量样本按上述

判别公式进行预测分类(表2)。判别准确率 P_1 为76.7%~86.7%,判别准确率 P_2 为74.3%~96.0%,综合判别率为81.7%。 F 检验结果表明,判别效果较好($P < 0.01$),因此,上述判别公式是可靠的。

表2 4种群日本沼虾判别结果

Tab.2 Discriminant results of four populations of *M. nipponensis*

种群类型 Population type	预测分类 Predicted group membership				判别准确率/% Identification accuracy		综合判别率/% Total discriminant accuracy
	PC	PX	PH	PT	P_1	P_2	
PC	26	1	0	3	86.7	74.3	81.7
PX	2	23	0	5	76.7	85.2	
PH	6	0	24	0	80.0	96.0	
PT	1	3	1	25	83.3	75.8	

注:PC—养殖种群;PH—洪泽湖种群;PT—太湖种群;PX—广西种群。

Note: PC—Population of the cultured; PH—Population of Hongze Lake; PT—Population of Taihu Lake; PX—Population of Guangxi.

2.4 差异系数(CD)检验

经单因子方差检验,4种群日本沼虾之间有9项形态比例参数差异极显著($P < 0.01$)(表3),但差

异系数均小于1.28,说明各种群间的形态差异尚未达到亚种水平。

表3 4种群日本沼虾之间差异较大的特征

Tab.3 Characters of high variance between four populations of *M. nipponensis*

形态比例参数 Proportional parameter	种群类型 Population type				差异系数 Coefficient of difference
	PC	PX	PH	PT	
全长/体长 TL/BL	2.396±0.147	2.654±0.083	2.486±0.099	2.617±0.124	1.120
头胸甲长/体长 CL/BL	0.305±0.008	0.313±0.005	0.306±0.005	0.306±0.006	0.690
额剑长/体长 RL/BL	0.347±0.010	0.362±0.018	0.379±0.018	0.351±0.012	1.107
腹部长/体长 AL/BL	0.687±0.016	0.691±0.017	0.699±0.014	0.707±0.019	0.593
尾扇长/体长 FL/BL	0.213±0.006	0.219±0.005	0.217±0.007	0.212±0.006	0.639
头胸甲宽/体长 CW/BL	0.181±0.007	0.188±0.007	0.183±0.005	0.188±0.005	0.541
腹部宽/头胸甲宽 AW/CW	0.888±0.027	0.917±0.027	0.912±0.032	0.899±0.029	0.546
头胸甲宽/头胸甲长 CW/CL	0.593±0.021	0.598±0.017	0.591±0.016	0.612±0.016	0.642
腹部宽/腹部长 AW/AL	0.233±0.008	0.241±0.012	0.234±0.011	0.233±0.011	0.401

注:1)差异系数是指差别最大的两种群间的CD差值。

2) PC—养殖种群;PH—洪泽湖种群;PT—太湖种群;PX—广西种群。

Note: 1) Here coefficient of difference shows the largest CD difference among the four populations.

2) PC—Population of the cultured; PH—Population of Hongze Lake; PT—Population of Taihu Lake; PX—Population of Guangxi.

3 讨论

3.1 形态变异与种群分化

对10项形态比例参数的3种多元分析结果均表明,4种群日本沼虾在形态上已经产生一定程度的差异,且集中表现在头胸甲部这一摄食和感觉中

心的性状上。但根据 Mayr 等^[10]提出的判定生物种群分化程度的标准及CD值大小来看,所有形态差异均未达到亚种水平,提示了日本沼虾在太湖、洪泽湖至广西南宁地区的种群未分化状态。

形态学的特征是受遗传因子和环境因子共同影响的^[10]。对于本研究而言,所取的样品在相似环境

下暂养7个月,4种群日本沼虾所处环境条件、生理状态及所食饵料种类等均较为接近,所以形态上的差异可能主要与遗传因素,即与种质有密切的关系。

3.2 养殖种群个体小型化原因分析

日本沼虾养殖种群成体规格偏小的现象虽然早已引起人们的注意^[2],但长期以来对其仅限于主观性的经验描述,并无具体的量化指标。而本研究通过系统分析该虾的10项形态比例参数,在第1、2主成分散布图中清晰显示:中国的日本沼虾主要养殖区——浙江省德清县养殖种群成体规格确居3野生种群之末。

关于养殖种群小型化的原因,一般认为与多代近交繁殖有关^[1],而本研究显示,其与种虾来源也密不可分。由图3可以看出,养殖种群集团与大规格的广西、太湖种群集团交叠少而与小规格的洪泽湖种群集团却有最大比例的交叠,且交叠区多由头胸甲偏大,经济性性状较差的个体组成。这显然与生产和消费要求是相背离的。基于洪泽湖与养殖种群间可能存在的较近亲缘关系,以及太湖种群具有的较高营养品质^[12]和规格,建议在选种过程中加强对太湖种群的关注。

3.3 3种多元分析方法在虾类形态判别上的应用

以前,在虾类的分类与鉴定上,仅限于对某几个特征性状的有或无的描述,这对种上水平的分类十分有效,但对于形态相似程度很高的种群鉴别,却往往显得无能为力。本研究采用聚类分析、主成分分析和判别分析3种多元分析方法,系统分析了4种群日本沼虾的10个比例性状,较好地形态上对它们作了区分。

3种多元分析方法的分析结果是类似的,但它们是从不同的角度反映种群间的形态学差异,因此也是不可相互替代的。聚类分析可以对不同种群进行初步归类,量化种群间的差异程度,它常被用来对分析对象的相似程度进行分析^[13-14]。判别分析可以建立判别公式,对种群进行判别。在本研究所使用的3种分析方法中,判别分析的辨别率最高,例如聚类分析与主成分分析的结果认为洪泽湖和养殖种

群形态差异较小,可是判别分析的准确率在74.3%以上。主成分分析是把许多参数综合成少数因子来说明不同种群差异的大小,并可根据不同种群的主成分值找出各种群在各主成分值上差异较大的参数。

参考文献:

- [1] 邱高峰. 虾蟹类遗传育种学研究[J]. 水产学报, 1998, 22(3): 264-274.
- [2] Fu H T, Gong Y S, Wu Y, et al. Artificial interspecific hybridization between *Macrobrachium* species [J]. *Aquaculture*, 2004, 232: 215-223.
- [3] 褚南山. 甲壳动物学[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 676-718.
- [4] Mashiko Kazuo, Numachib Ken-ichi. Derivation of populations with different-sized eggs in the palaemonid prawn *Macrobrachium nipponense* [J]. *J Crust Biol*, 2000, 20(1): 118-127.
- [5] Mashiko Kazuo. Diversified egg and clutch sizes among local populations of the freshwater prawn *Macrobrachium nipponense* [J]. *J Crust Biol*, 1990, 10: 306-314.
- [6] Mashiko Kazuo. Genetic egg and clutch size variation in freshwater prawn populations [J]. *Oikos*, 1992, 63: 454-458.
- [7] Wilkinson L. SYSTAT: The System for Statistics [M]. Evanston, IL: SYSTAT, Inc., 1989. 423-555.
- [8] 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.
- [9] Branski V J, Doyle R W. A morphometric criterion for sex discrimination in tilapia [A]. The Second International Symposium on tilapia in Aquaculture [C]. ICLARM Conference Proceeding, Department of Fisheries, Bangkok, Thailand, and International Center of Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, 1988. 439-444.
- [10] Mayr E, Lincolley E G, Usinger R L. Methods and principles of systematic zoology [M]. New York and London: McGraw Hill, 1953. 23-39, 125-154.
- [11] 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.
- [12] 倪 娟, 赵晓勤, 陈立侨, 等. 日本沼虾4种群肌肉营养成分的比较[J]. 中国水产科学, 2003, 10(3): 212-215.
- [13] 蔡庆华. 武汉东湖浮游植物水华的多元分析[J]. 水生生物学报, 1990, 14(1): 22-31.
- [14] 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): 242-253.

Analysis of morphological variations among four populations of *Macrobrachium nipponensis*

ZHAO Xiao-qin¹, NI Juan¹, CHEN Li-qiao¹, GU Zhi-min², ZHOU Zhi-ming²

(1. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Freshwater Fisheries Research Institute, Zhejiang Province, Huzhou 313001, China)

Abstract: Based on 10 proportional parameters of morphometric characters, three multivariation analysis methods were conducted to investigate the morphological variations among four populations of *M. nipponensis* which were collected respectively from Hongze Lake, Taihu Lake, Guangxi Province and the artificial culture pond of Deqing, Zhejiang Province and were fed under similar environmental ponds for seven months. The results of cluster analysis showed that the morphometric characters of the cultured population were more similar to that of Hongze Lake population than to those of the populations of Taihu Lake and Guangxi. Principal component analysis revealed that the adults of the cultured population were smaller than those of the three wild populations among which the population of Hongze Lake had the smallest size. Discriminant analysis indicated that there were significant differences among the four populations, that the identification accuracy of the discriminant functions of these populations were 76.7% – 86.7% (P_1) and 74.3% – 96.0% (P_2), that the total discriminant accuracy was 81.7%. All results supported that blind seed selection was relevant to the miniaturization of the cultured population, and that there were some morphological differences, which focused on the carapace characters, among the four populations, but the morphological variation of them was characterized under subspecies, so integrative distinction was needed in differentiation. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 224 – 229]

Key words: *Macrobrachium nipponensis*; wild population; culture population; morphometric character; morphological difference; multivariation analysis

Corresponding author: CHEN Li-qiao. E-mail: lqchen@online.sh.cn