DOI:10.15928/j.1674-3075.2015.02.013

南水北调东线南四湖湖鲚种群的形态判别与地理亲缘关系

李秀启,安 丽,王亚楠,客 涵,高云芳,刘 超

(山东省淡水渔业研究院,济南 250013)

摘要:为澄清南水北调东线南四湖湖鲚种群的地理亲缘关系,运用多变量形态度量学方法,基于26项形态特征参数比较研究了4个水域的鲚(*Coilia ectenes*)种群之间的形态差异。检视南四湖湖鲚样本50尾、太湖湖鲚50尾、洪泽湖湖鲚50尾、利津水库刀鲚1980年代标本50尾。聚类分析结果表明:洪泽湖群体和南四湖群体之间的形态最为接近,首先聚为一支;太湖群体聚为另一支;黄河附属水体利津水库群体与其他3个群体的亲缘关系相对较远。以筛选10个性状的特征值建立的函数判别分析,判别准确率为洪泽湖群体82.7%、利津水库群体100%、南四湖群体84%和太湖群体84.9%,综合判别准确率为84.3%。主成分分析,洪泽湖群体、南四湖群体和太湖群体之间的重叠较多,群体间的遗传距离较近。单因子方差分析,4个鲚群体间有15项形态比例参数差异达到极显著水平($P<0.01$),其他11个形态比例参数的差异系数均小于1.28,表明4个鲚群体间的形态差异尚未达到亚种水平,属于不同地理群体间的差异。从水系连通上推断,南四湖湖鲚为2002年长江向南四湖应急生态补水时由洪泽湖和骆马湖湖鲚群体扩散建群。

关键词:湖鲚;种群;形态判别;亲缘关系;南四湖

中图分类号:Q178.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2015)02-0081-07

南四湖是我国第6大淡水湖,位于北纬34°27′~35°20′、东经116°34′~117°21′,湖面面积1 280 km^2,总库容53.72亿 m^3,湖区由南阳湖、独山湖、昭阳湖和微山湖4个相连的湖区组成,属淮河流域的泗运河水系(济宁市科学技术委员会,1987)。历史上南四湖由南北大运河连接,北通东平湖和黄河,南接大运河经骆马湖、洪泽湖可达长江。目前南水北调东线工程利用京杭大运河逐级提水北送,并连接起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖、南四湖和东平湖,南四湖已成为调节洪水、灌溉、渔业、航运、旅游、南水北调东线输水通道和改善生态环境等多功能综合利用的大型湖泊。

刀鲚(*Coilia ectenes*)隶属鲱形目(Clupeiformes)、鳀科(Engraulidae)、鲚属(*Coilia*),为溯河洄游性鱼,但太湖、洪泽湖等淡水湖泊分布着能够自然繁殖的陆封型群体。袁传宓等(1976)根据形态和生态方面的差异将太湖群体定为刀鲚的新亚种,即太湖湖鲚(*C. ectenes taihuensis*)。来自黄河溯河洄游的刀鲚曾是南四湖的主要经济鱼类(周才武等,1959;周才武和李镇钦,1960),由于江湖阻隔、过度捕捞与围垦,洄游性鱼类资源逐年下降以致完全枯竭。2007年以来,南四湖曾经绝迹多年的湖鲚、间下鱵(*Hyporhamphus intermedius*)和大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)重新出现,并且在渔获物中所占比例逐年增大,种群分布范围从下级湖到上级湖、从运河主航道扩展到整个湖的敞水区,低龄个体呈现快速增加的趋势。

多变量形态度量学(multivariate morphometrics)选取一定数量的解剖学同源坐标点(landmark),将鱼体分成若干功能单元区(functional units),采用框架结构(truss network)从多维空间去度量鱼体外部形态(包括纵向、横向和斜向的测量距离),可以较精确地反映鱼体形态差异,并对众多的形态变量进行多变量统计分析,筛选出存在显著差异的形态变量,进而有效地辨别种间及种内的不同地理居群的形态差异(Bookstein et al,1985)。多变量形态度量学与判别分析和主成分分析相结合,广泛应用于物种有效性的确立、种质鉴别以及地理种群之间的形态变异等方面的研究(李晨虹和李思发,1999;谢仲桂等,2003;程起群和李思发,2004)。本研究采用多变量形态度量学方法,应用聚类分析、主成分分析和判别分析对太湖、洪泽湖和南四湖、黄河下游附属利津水库4个不同地理群体的湖鲚/刀鲚群体进行形态差异的比较研究,以期阐明南四湖湖鲚的地理亲缘关系,为揭示南水北调调水对沿线湖泊渔业资源

收稿日期:2014-07-06

基金项目:山东省科技发展计划项目(2008GG10006023);山东省渔业资源修复项目。

作者简介:李秀启,1968年生,男,博士,副研究员,研究方向为鱼类生态学。E-mail:xiuqili@sina.cn

的影响提供基础数据。

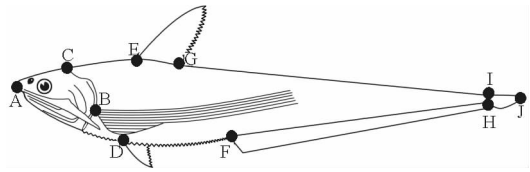
1 材料与方法

1.1 样本采集

本研究中湖鲚群体是指在湖泊内能自然繁殖、不需要洄游的定居性群体。刀鲚群体来自利津水库蓄水时随黄河水纳入的幼鱼。检视刀鲚/湖鲚样本150尾、标本50尾共200尾,其中样本采自南四湖湖鲚50尾、太湖湖鲚50尾、洪泽湖湖鲚50尾,标本为利津水库刀鲚1980年代标本50尾。检视雌雄个体在形态上无显著差异。

1.2 形态度量

选用10个解剖学坐标点(Anatomical landmarks)构建框架结构(图1),采用游标卡尺和两脚规配合,测量了26个可量性状(表1)。所有测量的距离都是点对点之间的直线距离。所有标本均采用电子数显卡尺测量,精确到0.1 mm。



A:吻端(tip of snout),B:胸鳍起点(origin of pectoral fin),C:头部背侧末端(terminal of head back),D:腹鳍起点(origin of pelvic fin),E:背鳍起点(origin of dorsal fin),F:臀鳍起点(origin of anal fin),G:背鳍基末端(terminal of dorsal fin base),H:尾鳍腹侧起点(ventral origin of caudal fin),I:尾鳍背侧起点(dorsal origin of caudal fin),J:尾鳍基末端(terminal of caudal fin)

图1 鲚10个解剖学坐标点示意

Fig.1 Ten Anatomic coordinates of *Coilia ectenes*

表1 鲚形态度量性状

Tab.1 Morphometric measurements of the *Coilia ectenes* specimens

序号	度量性状	序号	度量性状
1	全长	14	吻端至胸鳍起点间的距离
2	体长	15	头部背侧末端至胸鳍起点间的距离
3	吻长	16	头部背侧末端至腹鳍起点间的距离
4	头长	17	头部背侧末端至臀鳍起点间的距离
5	眼径	18	胸鳍起点至腹鳍起点间的距离
6	体高	19	背鳍起点至胸鳍起点间的距离
7	眼间距	20	背鳍起点至腹鳍起点间的距离
8	尾柄高	21	背鳍起点至臀鳍起点间的距离
9	背鳍基长	22	腹鳍起点至臀鳍起点间的距离
10	臀鳍基长	23	腹鳍起点至背鳍基末端间的距离
11	胸鳍长	24	臀鳍起点至背鳍基末端间的距离
12	上颌骨长	25	臀鳍起点至尾鳍背侧起点间的距离
13	吻端至头部背侧末端间的距离	26	背鳍基末端至尾鳍腹侧起点间的距离

为了消除规格大小对量度特征变量的影响,筛选出11个量度特征两两组合得到11个变量:体长/全长、体高/体长、头长/体长、吻长/体长、眼后头长/体长、吻长/头长、眼后头长/头长、眼径/头长、背鳍基长/体长、臀鳍长/体长、胸鳍长/体长和眼径/眼间距,对这11个变量进行统计分析。

1.3 数据处理与分析

全部形态学数据用Microsoft Excel进行统计和数据转换,使用Statistica 6.0软件进行方差分析和主成分分析。将体长以外的11个测量距离做对数转换,以除去异速生长(Allometries)。依据方差-协方差矩阵(Variance · Covariance matrix)提取主成分(Principle component,PC),求得因子载荷(Factor loading)和因子得分(Factor score),并将所得数据转换成图。

差异系数(Coefficient of difference,CD)按Mayr等(1953)的方法计算。

$$CD = |M_A - M_B| / (SD_A + SD_B) \quad (1)$$

式中,M_A和M_B分别为A、B种群某参数的均值,SD_A和SD_B分别为A、B种群某参数的标准差。如果差异系数小于1.28,可视为种内不同地理种群水平的差异,是研究地理种群形态特征梯度变异(Gradient variation)的重要指标。

1.4 统计分析

使用SPSS 15.0软件进行聚类分析、主成分分析和判别分析。为消除鱼体规格大小对参数值的影响,先将每尾鱼的所有参数除以它的体长值予以校正,再分别求出各组样本每个参数的平均校正值,用平均校正值作聚类分析。所采用的聚类方法为欧氏距离的最短距离系统聚类法(张尧庭和方开泰,1982)。

判别分析中判别准确率的计算参照李思发等

(1998)方法:

判别准确率:

$$P_1 = O/M \quad (2)$$

$$P_2 = O/N \quad (3)$$

式中,O 为某湖鲚群体判别正确的尾数,M 为该群体实际尾数,N 为判入该群体的尾数。

$$\text{综合判别率} = \sum_{i=1}^{k} A_i / \sum_{i=1}^{k} B_i \quad (4)$$

式中,A_i 为第 i 个群体判别正确的尾数,B_i 为第 i 个群体的实际尾数,k 为群体数。判别分析采用逐步判别的方法,并构建各个群体的判别函数。

2　结果与分析

2.1　聚类分析

用判别分析程序对 11 个可量参数(全长除外)和 14 个框架参数,共 25 个形态参数进行分析。聚类分析结果图 2。洪泽湖群体和南四湖群体首先聚类,之后与太湖群体相聚,最后与利津水库聚成一支。结果显示,洪泽湖群体和南四湖群体的欧氏距离最短,形态最为接近,可能存在较近的亲缘关系,然后与太湖群体、利津水库群体的趋异程度逐渐增加。

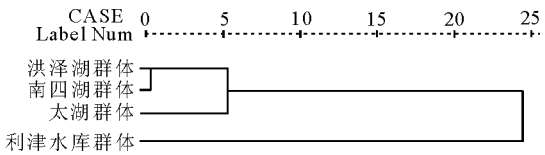


图 2　4 个不同地理群体鲚的聚类分析

Fig. 2　Cluster analysis among four geographical populations of *C. ectenes*

2.2　判别分析

对 4 个地理群体的鲚进行判别分析,结果见表 2。各群体的判别准确率为:洪泽湖群体 82.7%,利津水库群体 100%,南四湖群体 84%,太湖群体 84.9%。综合判别准确率为 84.3%。4 个群体的判别准确率都达到较高的水平。

表 2　25 个形态比例性状对 4 个鲚群体的判别结果

Tab. 2　Discriminant analysis of the four geographical populations of *C. ectenes* based on 25 morphometric characteristics

群体	预测分类				判别准确率/%
	洪泽湖	利津水库	南四湖	太湖	
洪泽湖	43	0	4	5	82.7
利津水库	0	4	0	0	100
南四湖	5	0	42	3	84
太湖	5	0	3	45	84.9
综合判别准确率/%					84.3

用逐步判别分析程序对 25 个形态比例性状进行筛选,得到 10 个性状的特征值,建立 4 个群体的判别函数公式如下:

洪泽湖群体:

$$Y_1 = -905.906 + 1755X_1 + 3574X_2 + 4188X_3 + 2864X_4 + 2298X_5 + 1507X_6 - 87.676X_7 + 453.02X_8 - 253.203X_9 + 980.554X_{10} \quad (5)$$

利津水库群体:

$$Y_2 = -921.512 + 1672X_1 + 3233X_2 + 3199X_3 + 3543X_4 + 2510X_5 + 1555X_6 - 163.764X_7 + 616.442X_8 - 119.686X_9 + 1028X_{10} \quad (6)$$

南四湖群体:

$$Y_3 = -941.888 + 1862X_1 + 3207X_2 + 4066X_3 + 3199X_4 + 2200X_5 + 1551X_6 - 105.999X_7 + 486.418X_8 - 277.109X_9 + 1062X_{10} \quad (7)$$

太湖群体:

$$Y_4 = -935.305 + 1933X_1 + 2969X_2 + 4411X_3 + 3033X_4 + 2345X_5 + 1526X_6 - 60.385X_7 + 467.788X_8 - 382.779X_9 + 939.924X_{10} \quad (8)$$

式中,X_1 为头长/体长,X_2 为眼径/体长,X_3 为眼间距/体长,X_4 为尾柄高/体长,X_5 为背鳍基长/体长,X_6 为臀鳍基长/体长,X_7 为胸鳍长/体长,X_8 为上颌骨长/体长,X_9 为背鳍到腹鳍的距离/体长,X_{10} 为腹鳍到背鳍的距离/体长。

将鲚的 10 个形态比例参数分别代入 4 个判别公式,比较 Y 值大小。Y 值最大的,鲚就属于该群体。

2.3　主成分分析

对 4 个群体形态比例数据的校正值进行主成分分析,共提取了 8 个主成分,25 个性状对 8 个主成分的符合值和累计贡献率见表 3。其中前 3 个主成分的贡献率分别为 13.24%、10.92% 和 9.05%,8 个主成分的累计贡献率为 65.50%。在第 1 主成分中,影响较大的变量为体高/体长、背鳍到胸鳍长/体长、背鳍到腹鳍长/体长和腹鳍到背鳍长/体长;在第 2 主成分中,影响较大的变量为吻长/体长和头长/体长;在第 3 主成分中,影响较大的变量为头部背侧末端到臀鳍长/体长和腹鳍到臀鳍长/体长。

由 4 个鲚地理群体的前 3 个主成分绘制的散点图如图 3。洪泽湖群体、南四湖群体和太湖群体之间的重叠较多,说明此 3 个群体间的遗传距离较近;均与利津水库群体的重叠较少。主成分分析的结果与聚类分析的结果相一致。

表3 鲚4个地理群体形态特征因子负荷矩阵及主成分贡献率

Tab.3 Loading matrix of morphometric characteristics factors and contributive proportions of the eight principal components for four geographical populations of *C. ectenes*

性状比值	主成分							
	1	2	3	4	5	6	7	8
全长/体长	-0.120	0.315	0.098	-0.027	0.120	0.254	0.554	0.222
吻长/体长	-0.054	0.726	-0.044	0.045	-0.117	0.097	0.082	0.021
头长/体长	0.161	0.748	-0.025	0.216	-0.031	0.158	-0.021	-0.339
眼径/体长	-0.136	0.558	0.154	-0.271	0.000	-0.220	0.371	0.063
体高/体长	0.818	-0.210	0.176	0.199	0.053	0.121	0.153	0.051
眼间距/体长	-0.165	0.179	0.179	0.668	-0.019	0.115	0.157	-0.005
尾柄高/体长	0.285	0.045	-0.076	-0.003	-0.268	0.674	-0.005	-0.112
背鳍基长/体长	-0.080	-0.079	-0.121	0.558	-0.316	-0.463	-0.067	0.128
臀鳍基长/体长	0.078	-0.077	-0.226	-0.041	0.664	0.066	0.358	-0.074
胸鳍长/体长	-0.015	0.045	0.076	0.809	0.012	0.110	-0.091	-0.028
上颌骨长/体长	0.182	0.017	0.206	0.206	0.070	0.664	0.039	-0.015
吻端到枕后长/体长	-0.001	0.366	-0.085	0.118	-0.531	-0.309	0.027	-0.111
吻端到胸鳍长/体长	-0.025	0.556	0.041	0.500	-0.162	-0.033	-0.059	0.075
头部背侧末端到胸鳍长/体长	0.180	0.602	0.172	0.011	0.090	-0.064	0.009	0.112
头部背侧末端到腹鳍长/体长	0.052	0.480	0.446	0.186	0.201	0.119	-0.158	0.252
头部背侧末端到臀鳍长/体长	0.144	0.127	0.810	0.158	-0.018	0.242	-0.034	0.002
胸鳍到腹鳍长/体长	0.040	0.031	-0.010	0.044	-0.165	-0.082	0.049	0.882
背鳍到胸鳍长/体长	0.727	0.039	0.121	-0.196	-0.092	0.221	-0.175	-0.014
背鳍到腹鳍长/体长	0.834	0.232	0.082	-0.186	0.099	0.129	0.063	-0.015
背鳍到臀鳍长/体长	0.431	-0.060	0.432	0.090	-0.288	0.123	0.215	-0.385
腹鳍到臀鳍长/体长	0.130	0.022	0.789	0.011	-0.022	-0.069	-0.085	-0.022
腹鳍到背鳍长/体长	0.893	0.090	0.082	-0.063	0.152	0.037	-0.102	-0.003
臀鳍到背鳍长/体长	0.371	0.076	0.485	0.015	-0.190	0.012	0.436	-0.049
臀鳍到尾鳍长/体长	0.083	0.095	0.022	-0.040	0.677	-0.235	0.050	-0.137
背鳍到尾鳍长/体长	0.000	-0.070	-0.280	0.031	0.324	-0.096	0.654	-0.096
贡献率/%	13.24	10.92	9.05	8.12	7.03	6.53	5.58	5.03
累计贡献率/%	13.24	24.16	33.22	41.34	48.37	54.89	60.47	65.50

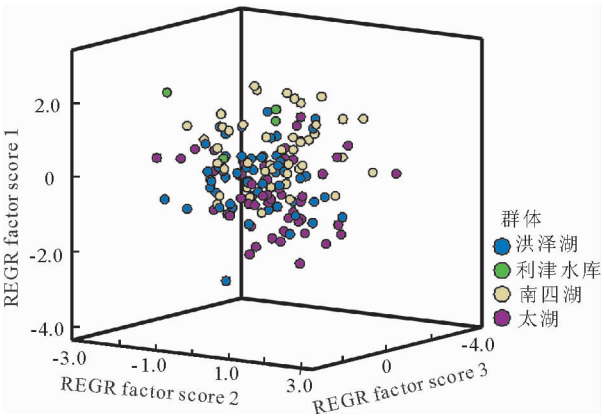


图3 鲚不同地理群体的3个主成分散点分布

Fig.3 Scatterplot scores on the first three principal components for four geographical populations of *C. ectenes*

2.4 差异系数检验

经单因子方差分析,4个鲚群体间有15项形态比例参数差异达到极显著水平($P<0.01$)(表4)。其中,眼间距/体长、臀鳍长/体长、上颌骨长/体长、胸鳍长/体长和背鳍到腹鳍长/体长等4个形态比例参数的差异系数大于1.28,其他11个形态比例参数的差异系数均小于1.28。表明鲚各群体间的形态差异尚未达到亚种水平,属于不同地理群体间的差异。

3 讨论

3.1 刀鲚和湖鲚的判别分析

本研究4个不同地理群体的湖鲚/刀鲚的差异系数临界值小于1.28,根据Mayr(1953)的75%规则,表明各群体间的形态差异尚未达到亚种水平。3个湖泊中的湖鲚(*C. ectenes taihuensis*)和黄河刀鲚是同一个种的不同地理种群,属于不同地理群体间的差异。程起群和韩金娣(2004)通过对刀鲚与湖鲚诸多形态框架性状的比较,计算出它们的差异系数均小于亚种的临界值,研究结果也支持二者之间的差异尚未达到亚种水平的观点。程起群和韩金娣(2004)对刀鲚和湖鲚种群的形态判别研究表明,判别效果极显著($P<0.01$),判别率100%;陆封型群体和洄游型群体形态上存在较大差别,但这种差别不能像鉴定物种那样用少数指标鉴别,必须要借助

表 4　4 个鲚群体之间形态差异较大的特征

Tab. 4　Morphometric characteristics with obvious differences among four geographical populations of *C. ectenes*

形态比例参数	群体类型				差异系数
	洪泽湖	利津水库	南四湖	太湖	
吻长/体长	0.037 ±0.0034	0.034 ±0.0032	0.038 ±0.0036	0.038 ±0.0032	0.625
头长/体长	0.115 ±0.0083	0.150 ±0.0112	0.161 ±0.0082	0.161 ±0.0084	0.561
眼径/体长	0.029 ±0.0022	0.026 ±0.0031	0.028 ±0.0021	0.027 ±0.0020	0.112
体高/体长	0.159 ±0.0107	0.165 ±0.0117	0.164 ±0.0089	0.155 ±0.0117	0.427
眼间距/体长	0.058 ±0.0033	0.051 ±0.0028	0.058 ±0.0026	0.061 ±0.0031	1.628
尾柄高/体长	0.026 ±0.0028	0.031 ±0.0019	0.029 ±0.0033	0.028 ±0.0028	1.085
背鳍基长/体长	0.058 ±0.0063	0.059 ±0.0026	0.052 ±0.0065	0.061 ±0.0072	0.708
臀鳍基长/体长	0.557 ±0.0253	0.563 ±0.0264	0.571 ±0.1700	0.559 ±0.0203	0.331
胸鳍长/体长	0.343 ±0.0348	0.284 ±0.0228	0.337 ±0.0326	0.384 ±0.0406	1.588
上颌骨长/体长	0.143 ±0.0085	0.170 ±0.0107	0.155 ±0.0132	0.153 ±0.0253	1.417
吻端到头部背侧末端长/体长	0.765 ±0.0061	0.0717 ±0.0067	0.075 ±0.0070	0.080 ±0.0152	0.252
吻端到胸鳍长/体长	0.167 ±0.0080	0.167 ±0.0103	0.167 ±0.0091	0.173 ±0.0078	0.355
背鳍到胸鳍长/体长	0.142 ±0.0113	0.150 ±0.0093	0.153 ±0.0134	0.138 ±0.0102	0.648
背鳍到腹鳍长/体长	0.151 ±0.0098	0.166 ±0.0070	0.159 ±0.0138	0.142 ±0.0095	1.485
腹鳍到背鳍长/体长	0.150 ±0.0112	0.163 ±0.0105	0.161 ±0.0106	0.144 ±0.0123	0.803

多个参数才能综合判别。

3.2　南四湖鲚的地理亲缘关系

聚类分析表明洪泽湖鲚群体和南四湖群体首先聚类,之后与太湖群体相聚,最后与利津水库聚成一支。各群体的判别准确率洪泽湖群体为 82.7%,利津水库群体为 100%,南四湖群体为 84%,太湖群体为 84.9%。综合判别准确率为 84.3%,4 个群体的判别准确率都达到较高的水平。主成分分析第一主成分中,影响较大的变量为体高/体长、背鳍到胸鳍长/体长、背鳍到腹鳍长/体长和腹鳍到背鳍长/体长。洪泽湖、南四湖和太湖群体之间的重叠较大,说明此 3 个群体间的遗传距离较近;与利津水库之间的重叠较小,表明与南四湖群体、太湖和洪泽湖群体间的亲缘关系较近。

湖鲚喜集群,游泳迅速、具有较强的扩散能力,水系间的连通是其扩散的主要途径。根据洪泽湖(林明利等,2013)和骆马湖(周化民和白延明,1994;冯照军等,2007)鱼类资源调查表明,湖鲚、大银鱼、太湖新银鱼(*Neosalanx taihuensis*)、间下鱵等敞水区鱼类分别为上述 2 湖中的优势种群。2002 年,南四湖遭遇枯水年份,水生生物和渔业资源遭受毁灭性破坏;同年 12 月,国家组织实施了由长江向南四湖应急生态补水工程,利用京杭大运河作为输水路线,串联洪泽湖、骆马湖等湖库实现了江、淮、沂 3 大水系跨流域调水,从江苏补水 1.1 亿 km^3 入南四湖,从而避免了南四湖水生生态系统的崩溃(黄海田等,2003)。

南四湖通过京杭运河北接东平湖与黄河相连,黄河刀鲚在 1960 之前曾是南四湖的主要经济鱼类,但由于江湖阻隔、过度捕捞与围垦,南四湖洄游性刀鲚资源在 1980 年代后逐年下降以致完全枯竭。2007 年以来,南四湖鲚种群分布由运河航道逐步扩展到下、上级湖区的敞水区,渔获物比例逐年增大,已成为湖区自然渔业资源的优势种群之一。根据形态判别分析,推测南四湖鲚来源于 2002 年长江向南四湖应急生态补水时由洪泽湖和骆马湖湖鲚群体扩散建群。

参考文献

程起群,李思发. 2004. 刀鲚和湖鲚种群的形态判别[J]. 海洋科学,28(11):39 – 43.

程起群,韩金娣. 2004. 刀鲚两种群的形态变异和综合判别[J]. 湖泊科学,(16):356 – 364.

冯照军,王光标,赵彦禹,等. 2007. 江苏骆马湖湿地鱼类资源及其保护[J]. 四川动物, 26(1):126 – 129.

黄海田,仇宝云,朱月新. 2003. 从长江向南四湖应急生态补水运行分析[J]. 南水北调与水利科技,(6):22 – 25.

济宁市科学技术委员会. 1987. 南四湖自然资源调查及开发利用研究[M]. 济南:山东科学技术出版社.

李晨虹,李思发. 1999. 中国大陆沿海六水系绒螯蟹(中华绒螯蟹和日本绒螯蟹)群体亲缘关系:形态判别分析[J]. 水产学报,23(4):337 – 342.

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

林明利,张堂林,叶少文,等. 2013. 洪泽湖鱼类资源现状、历史变动和渔业管理策略[J]. 水生生物学报,37(6): 1118 – 1127.

谢仲桂,谢从新,张鹗. 2003. 我国华鳊属鱼类形态差异及其物种有效性的研究[J]. 动物学研究,32(5):321 – 330.

袁传宓,林金榜,秦安舲,等. 1976. 关于我国鲚属鱼类分类的

历史和现状[J]. 南京大学学报,(2):1-12.
张尧庭,方开秦. 1982. 多元统计分析引论[M]. 北京:科学出版社.
周才武,蔡德霖,李镇钦,等. 1959. 山东南四湖鱼类研究[J]. 山东大学学报,(4):12-40.
周才武,李镇钦. 1960. 山东南四湖渔业问题的初步探讨[J]. 山东大学学报,(4):31-45.
周化民,白延明. 1994. 骆马湖鱼类的初步研究[J]. 徐州师范学院学报,12 (2):53-56.
Bookstein F,Chernoff B,Elder R, et al. 1985. Morphometric in evolutionary biology[J]. Special Publication15, The Academy of Natural Sciences of Philadelphia,15:1-277.
Mayr E, Linsley E G, Usingeb R L. 1953. Methods and Principles of Systematic Zoology[M]. New York: Mc Graw-Hill.

(责任编辑 张俊友)

Morphological Discriminant Analysis and Phylogeography of *Coilia ectenes taihuensis* in Nansi Lake on the Eastern Route of the South-to-North Water Transfer Project

LI Xiu-qi, AN Li, WANG Ya-nan, KE Han, GAO Yun-fang, LIU Chao

(Freshwater Fisheries Research Institute of Shandong, Jinan 250013, P. R. China)

Abstract: Nansi Lake, the sixth large freshwater lake in China, is hydrologically connected to Hongze Lake, Luoma Lake and Dongping Lake by the Eastern Route of the South-North Water Transfer Project. *Coilia ectenes*, belonging to *Coilia*, Engraulidae and Clupeiformes, is an anadromous species. The literature indicates that Nansi Lake formerly connected with the Yellow River through Dongping Lake and *Coilia ectenes* from the Yellow River was the main economic fish species in Nansi Lake before 1960, but completely disappeared after the 1980s because of hydrologic barriers constructed on lakes and rivers, over-fishing and reclamation. Fortunately, *Coilia ectenes* has reappeared in Nansi Lake since 2007 and is making an increasingly large contribution to the total fish harvest. To clarify the phylogeography of *Coilia ectenes* in Nansi Lake in the Eastern Route of South-to-north Water Transfers Project, we used the method of multivariate morphometrics to analyze morphological variation among four populations of *Coilia ectenes*. The study will supply baseline data for evaluating the effects of the South-to-North Water Transfer Project on the fishery resources of lakes along the project route. One hundred and fifty *Coilia ectenes taihuensis* samples were obtained, 50 specimens each from Taihu Lake, Hongze Lake and Nansi Lake populations. In addition, 50 specimens of *Coilia ectenes* collected in the 1980s from Lijin Reservoir were available and used for comparison. Ten anatomical landmarks were selected to build the truss network and 26 morphometric parameters were measured using an electronic digital vernier caliper with an accuracy of 0.1 mm. The differences of 26 morphometric parameters were evaluated by cluster analysis, principal component analysis and discriminant analysis. Results of the cluster analysis revealed that the four populations were clustered into three clades. The first group included populations from Hongze Lake and Nansi Lake, two populations were clustered within the population from Taihu Lake as the second group and the third group was the preserved specimens from Lijin Reservoir. Discriminant analysis, based on the values of 10 morphometric parameters, indicates that the discriminant accuracy of the functions for the four populations of Hongze Lake, Lijin Reservoir, the Nansi Lake and the Taihu Lake were 82.7%, 100%, 84% and 84.9%, respectively, with the total discriminant accuracy of 84.3% for the four populations. Principal component analysis shows that the three populations from Hongze Lake, Nansi Lake and Taihu Lake share more morphological characteristics due to a closer genetic relationship. One-way ANOVA indicates that 15 morphometric characteristics in the four populations displayed a significant difference ($P < 0.01$) and the coefficients of difference (CD) for other 11 morphometric characteristics among the four populations were < 1.28, indicating that the morphological differences among the four population didn't reach the level of subspecies. According to the 75% rule of Mayr, *Coilia ectenes taihuensis* of the three lakes and the *Coilia ectenes* in Lijin Reservoir belong to different geographical groups. We inferred that *C. ectenes taihuensis* populations of Nansi Lake came from Hongze Lake and Luoma Lake by the ecological water diversion from the Yangtze River in 2002.

Key words: *Coilia ectenes taihuensis*; population; morphological discriminant; genetic relationship; Nansi Lake