

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.03.010

大银鱼不同地理群体的形态差异与判别分析^①

周彦锋, 徐东坡, 方弟安, 尤洋

中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/

中国水产科学研究院内陆渔业生态环境与资源重点开放实验室, 江苏 无锡 214081

摘要: 将传统形态学测定和框架测定相结合, 采用聚类分析、主成分分析等多元分析方法, 以体质量和 32 个形态性状为指标, 对分别来自中国太湖(TH)、江苏洪泽湖(HZ)、黑龙江连环湖(LH)和吉林石头口门水库(ST)的 4 个大银鱼 *Protosalanx hyalocranius* 地理群体进行比较分析, 为大银鱼不同地理种群的识别、亲缘关系的比较、种质资源的保护和利用等提供基础资料。结果表明: 黑龙江连环湖(LH)和吉林石头口门水库(ST)间的遗传距离值最小, 而吉林群体(ST)与太湖群体(TH)间的遗传距离值最大。主成分分析显示, 4 个地理大银鱼群体间的差异受躯干部的相关参数影响最大, 4 个群体大银鱼的前 7 个主成分总变异的累计贡献率为 62.00%, 其中前 3 个主成分的累积贡献率为 44.52%, 说明主成分 3 是个拐点。逐步判别分析结果显示, 4 个群体大银鱼的综合判别率为 79.80%, 其中以太湖群体(TH)最高(94.30%), 吉林群体(ST)最低(72.00%)。研究结果表明不同地区大银鱼群体间已经产生了一定程度的形态差异, 但这些差异尚未达到亚种水平。

关键词: 大银鱼; 地理群体; 形态差异; 多元分析

中图分类号: S959.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)03-0054-08

大银鱼 *Protosalanx hyalocranius* 是属于银鱼科大银鱼属的一种底栖类一年生小型鱼类, 主要分布于我国沿海、通海江河(长江中下游、海河)其附属湖泊和水库^[1]。近十几年来, 大银鱼逐渐被移植到北方的水库、湖泊中, 是我国淡水湖泊主要的经济鱼类之一, 其营养丰富, 经济价值较高, 也是我国重要的出口创汇水产品。

目前国内对大银鱼的研究主要集中在移植和增殖养殖技术等方面, 同时对大银鱼的生长特征、繁殖生物学、遗传结构、遗传多样性和种质资源^[2-8]等方面也进行了少量的研究报道, 而关于大银鱼移植后不同地理群体形态差异及判别分析的研究尚属空白。本研究采用聚类、判别和主成分分析 3 种多元分析方法, 对分布在江苏太湖、黑龙江连环湖、吉林石头口门水库和江苏洪泽湖的大银鱼 4 个地理群体的形态差异进行比较分析, 探讨大银鱼种内形态特点与地理分化规律, 以期为大银鱼不同地理群体的识别、亲缘关系的比较、种质资源的保护和利用等提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2011 年 12 月采集江苏太湖(TH)、江苏洪泽湖(HZ)、黑龙江连环湖(LH)和吉林石头口门水库(ST)

① 收稿日期: 2014-01-07

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303056-2); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2013JBFM07); 江苏省水产三项工程(PJ2011-6)。

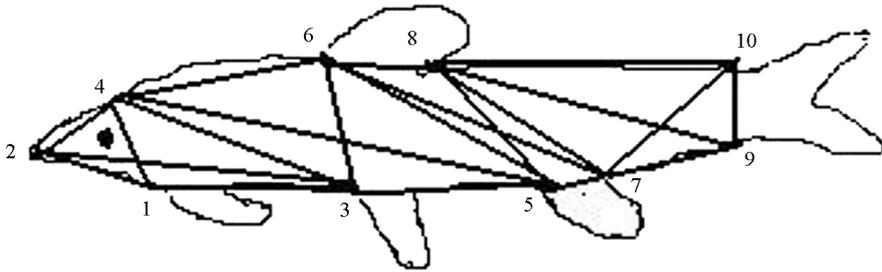
作者简介: 周彦锋(1979-), 男, 江苏无锡人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水生生物学研究。

通信作者: 尤洋, 研究员。

地理群体的大银鱼,各群体采集样本数量不少于 3 000 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(TH)237 尾,江苏洪泽湖(HZ)207 尾、黑龙江连环湖(LH)232 尾,吉林石头口门水库(ST)271 尾.

1.2 数据测量

采用游标卡尺、分规、直尺、精密天平等工具测量,精确到 0.1 mm.测量参数分为两类,一类是传统形态学可量性状 12 项,即全长(L)、体长(L_1)、体高(H_1)、体宽(W_1)、头长(L_2)、吻长(L_3)、吻宽(W_2)、眼径(D_1)、眼间距(D_2)、尾柄长(L_4)、尾柄高(H_2),体质量(T);另一类为框架数据 21 项,框架系统所取定位点(图 1)参照文献[9].



10 个解剖学同源坐标点:1. 胸鳍起点;2. 吻端;3. 腹鳍起点;4. 头背部末端;5. 臀鳍起点;6. 背鳍起点;7. 臀鳍末端;8. 背鳍末端;9. 尾鳍腹部起点;10. 尾鳍背部起点.1 至 2,1 至 3,1 至 4,2 至 3,2 至 4,3 至 4,⋯,9 至 10 之间的距离分别用 $D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, \dots, D_{23}$ 表示.

图 1 大银鱼框架结构数据测量示意图

1.3 数据分析

将传统形态学 12 个可量形状参数与框架的 21 个参数综合在一起,共 33 个参数.为了消除大银鱼规格大小对形态参数值的影响,将各参数原始值除以全长值予以校正,并对校正值取自然对数以提高正态分布性,对校正后的 32 组数据及体质量测量值使用 SPSS 16.0 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 4 群体进行形态差异分析.使用欧式最短距离系统聚类法作聚类分析;主成分贡献率和累计贡献率的计算方法参照文献[10].差异系数按 Mayr^[11] 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 Brzeski 等^[12]的方法.判别准确率 P 的计算公式为

$$P = A_i / B_i$$

综合判别率

$$K = \sum_1^n A_i / \sum_1^n B_i$$

其中 A_i 为第 i 个群体中判别正确的尾数, B_i 为第 i 个群体的实测尾数, n 为群体数.

2 结果与分析

2.1 方差分析

对 4 个不同地理群体大银鱼的 33 个性状参数进行单因子方差分析(表 1),结果表明它们之间的差异系数数值变化范围在 0.509~2.666 之间,平均值为 1.784.

2.1 聚类分析

采用欧式距离的最短系统聚类法,对 33 项(12 个可量比例参数和 21 个框架参数)形态比例性状特征平均值作聚类分析.聚类图(图 2)表明,吉林石头口门水库群体和黑龙江连环湖群体首先聚成一类,随后两群体与洪泽湖群体聚为一支,而太湖群体单独聚集为一支,遗传距离与吉林群体最远.聚类分析说明吉林银

鱼群体与黑龙江群体遗传距离最短, 形态最为接近, 与洪泽湖、太湖群体的形态差异依次增大, 这一结果与 4 个群体采样点的地理距离基本吻合。

表 1 不同地理群体的大银鱼性状参数单因子方差分析

性 状	黑龙江	洪泽湖	太湖	长春	差异系数
L/cm	10.390±0.846	12.625±0.826a	15.958±1.302a	10.353±1.265b	2.634
L1/cm	9.084±0.771	11.020±0.727	13.878±1.178	8.964±0.962	2.578
H1/cm	1.100±0.124	1.178±0.130	1.767±0.248	1.0179±0.157	2.011
L2/cm	1.280±0.124	1.649±0.149	1.864±0.186	1.299±0.166	1.891
L3/cm	0.521±0.074	0.725±0.096	0.749±0.118	0.513±0.083	1.228
W1/cm	0.505±0.063	0.614±0.073	0.673±0.100	0.473±0.191	0.787
D1/cm	0.325±0.027	0.358±0.038	0.384±0.044	0.331±0.027	0.821
D2/cm	0.711±0.085	0.804±0.080	1.094±0.156	0.706±0.098	1.644
L4/cm	0.783±0.103	0.783±0.187	1.258±0.158	0.810±0.130	1.639
H2/cm	0.526±0.061	0.558±0.058	0.662±0.061	0.492±0.062	1.421
W2/cm	0.885±0.116	0.959±0.109	1.257±0.342	0.787±0.128	1.042
T/g	4.257±1.227	6.070±1.359	17.321±4.543	3.632±1.360	2.373
D3/cm	1.724±0.193	2.273±0.196	2.621±0.289	1.732±0.243	1.862
D4/cm	2.155±0.233	2.477±0.203	3.013±0.374	2.107±0.269	1.572
D5/cm	0.690±0.088	0.852±0.092	1.056±0.129	0.633±0.102	1.942
D6/cm	3.797±0.392	4.712±0.378	5.714±0.564	3.805±0.444	2.036
D7/cm	1.280±0.124	1.678±0.146	1.871±0.192	1.299±0.166	1.876
D7/cm	2.703±0.270	3.159±0.264	4.067±0.428	2.628±0.321	2.079
D8/cm	3.132±0.307	3.667±0.379	4.464±0.586	2.918±0.375	1.731
D10/cm	1.914±0.221	2.239±0.194	3.040±0.315	1.829±0.206	2.377
D11/cm	5.688±0.570	6.695±0.486	8.485±0.924	5.469±0.614	2.140
D12/cm	4.213±0.408	4.960±0.344	6.416±0.626	4.240±1.866	0.997
D13/cm	1.858±0.168	2.124±0.183	2.822±0.345	1.742±0.221	2.106
D14/cm	1.492±0.135	1.807±0.146	2.618±0.323	1.478±0.164	2.492
D15/cm	1.011±0.104	1.125±0.121	1.785±0.214	0.935±0.144	2.666
D16/cm	3.012±0.292	3.561±0.271	4.533±0.461	2.881±0.322	2.258
D17/cm	1.212±0.131	1.426±0.149	1.631±0.157	1.224±0.692	0.509
D18/cm	1.872±0.160	2.213±0.179	2.975±0.329	1.7779±0.214	2.449
D19/cm	0.536±0.091	0.647±0.094	0.779±0.148	0.6244±0.111	1.013
D20/cm	0.692±0.091	0.781±0.100	0.945±0.150	0.7355±0.120	1.048
D21/cm	2.353±0.220	2.755±0.223	3.578±0.360	2.3709±0.290	2.112
D22/cm	2.236±0.193	2.748±1.446	3.487±0.354	2.2375±0.280	1.974
D23/cm	0.523±0.056	0.568±0.058	0.681±0.064	0.4931±0.065	1.565

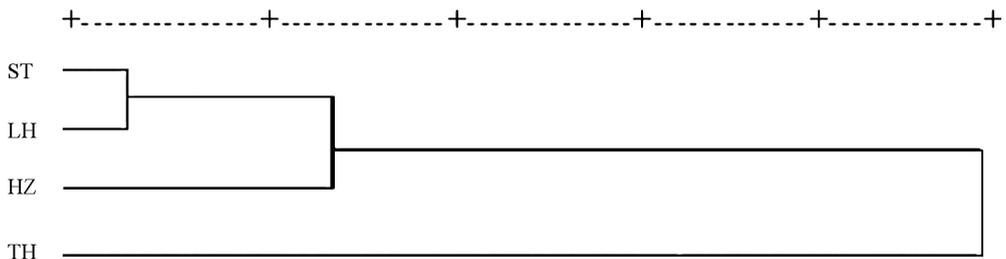


图 2 4 群体大银鱼形态聚类分析

2.2 主成分分析

利用主成分分析具有降维、去相关和集中能量的特点^[13-14], 分别对不同地理群体的大银鱼 33 个形态比例性状进行主成分分析, 共提取出 7 个主成分, 各主成分对群体间总变异的贡献率分别为 PC1

23.515%, PC2 13.12%, PC3 7.90%, PC4 6.57%, PC5 4.37%, PC6 3.38%, PC7 3.16%, 总变异的累计贡献率为 62.00%。其中前 3 个主成分的累积贡献率为 44.52%, 说明主成分 3 是个拐点。第一主成分受性状 R/L (头背部末端到臀鳍起点距离/全长) 影响最大, 其次为 I/L (臀鳍起点到背鳍起点距离/全长) 和 G/L (腹鳍起点到头背部末端/全长), 这些因子可以看作躯干部的特征。第二主成分受体质量影响最大, 眼径次之。由此可以认为, 4 个地理群体大银鱼在形态上的差别一定程度上是由躯干部和体质量的差别引起的(表 2)。

4 个不同地理大银鱼群体的 PC1 与 PC2、PC2 与 PC3 主成分散点图如图 3、图 4 所示, 散点图可直观地显示不同种群的差异情况。4 个群体分布接近原点, ST、LH 群体与 HZ 重叠区域较多, 说明这 3 个大银鱼群体在形态上差异较小, 其中 ST 群体与 LH 的重叠比例最大, 说明两群体遗传距离较近; 而 TH 群体与其他 3 个群体的重叠较小, 说明群体 TH 的形态与其他 3 个群体差异较大。主成分分析的结果与聚类分析的结果相一致。

表 2 4 个群体大银鱼主成分分析中的因子负荷矩阵及主成分对总变异的贡献率

形态参数	成 份						
	1	2	3	4	5	6	7
$L/L1$	0.286	0.113	0.339	0.362	0.139	0.332	-0.039
$H1/L1$	0.167	-0.418	0.629	0.273	-0.005	0.024	0.001
$L2/L1$	0.123	0.653	-0.030	0.494	0.225	0.079	-0.005
$L3/L1$	0.775	-0.042	-0.009	-0.063	-0.121	0.150	-0.125
$D3/L1$	0.288	-0.031	-0.024	-0.096	0.368	0.125	0.033
$D4/L1$	0.540	0.364	0.330	-0.108	-0.094	-0.353	0.025
$D5/L1$	0.726	-0.368	-0.057	0.033	0.013	-0.101	0.029
$D6/L1$	0.729	-0.040	0.058	-0.300	0.250	0.063	0.021
$D7/L1$	0.010	0.087	-0.032	0.048	0.081	0.107	0.911
$D8/L1$	0.225	0.297	0.169	-0.428	0.540	0.144	0.006
$D9/L1$	0.159	0.182	0.053	-0.089	-0.045	-0.163	-0.216
$D10/L1$	0.752	-0.087	-0.015	-0.041	-0.039	-0.203	0.055
$D11/L1$	0.609	0.094	-0.099	-0.060	-0.388	0.091	0.137
$D12/L1$	0.528	-0.666	0.113	0.064	0.150	-0.105	0.040
$D13/L1$	0.439	-0.571	-0.075	0.004	0.306	-0.217	0.013
$D14/L1$	0.793	-0.215	0.101	0.056	-0.096	-0.072	0.063
$D15/L1$	0.207	-0.018	0.007	-0.201	-0.181	0.505	-0.020
$D16/L2$	0.815	-0.032	-0.101	-0.058	-0.284	0.137	-0.002
$D17/L1$	0.608	-0.363	0.008	-0.041	-0.174	0.127	0.103
$D18/L1$	0.767	0.197	-0.196	0.034	0.048	0.117	-0.091
$D19/L1$	0.608	0.509	-0.313	0.280	0.129	0.035	-0.020
$D20/L4$	0.001	0.502	-0.080	0.573	0.179	0.000	-0.025
$D21/L1$	0.648	0.252	-0.382	0.323	0.178	-0.033	-0.076
$D22/L1$	0.579	-0.086	-0.142	0.366	0.039	-0.268	0.000
$D23/L1$	0.573	0.264	0.068	-0.203	-0.230	0.183	-0.131
T	-0.138	-0.836	0.017	0.388	0.083	0.121	-0.016
$D2/L1$	0.084	-0.014	0.604	0.284	-0.035	0.076	-0.082
$W1/L1$	-0.092	-0.009	0.589	0.453	-0.275	0.015	0.013
$H2/L1$	0.241	0.470	0.571	-0.107	-0.035	-0.267	0.152
$L4/L1$	0.132	-0.211	0.560	-0.267	0.403	0.129	-0.103
$D1/L1$	0.154	0.700	0.364	-0.254	-0.050	-0.139	0.026
$W2/L1$	0.003	0.275	0.133	0.119	-0.002	0.277	0.036
贡献率/%	23.50/	13.121	7.895	6.569	4.373	3.379	3.155

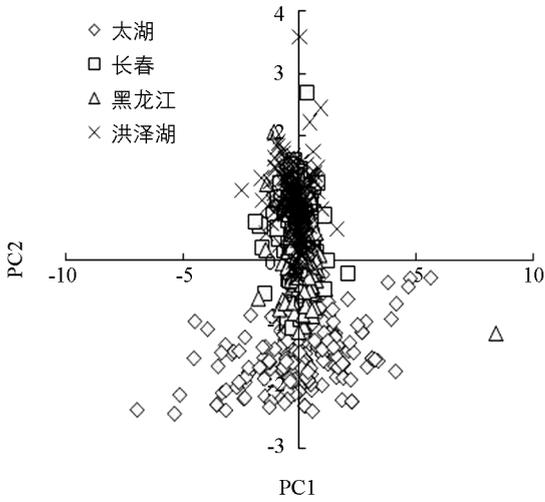


图 3 不同群体大银鱼(PC1 与 PC2)主成分因子散点图

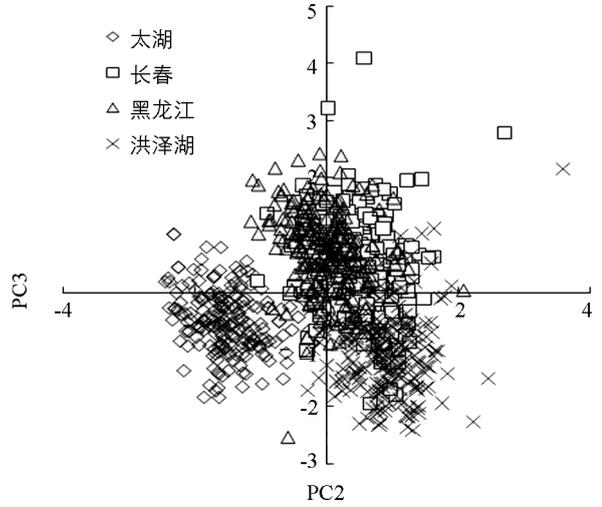


图 4 不同群体大银鱼(PC2 与 PC3)主成分因子散点图

2.3 判别分析

采用逐步判别的方法对大银鱼 4 个地理群体的 33 个可量性状数据和框架数据标准化的特征值进行判别分析, 筛选出贡献率较大的 9 个特征值建立判别函数.

$$Y_1 = 213.090X_1 + 3815.704X_2 + 110.201X_3 + 298.307X_4 + 145.512X_5 + 157.937X_6 - 154.310X_7 + 23.457X_8 + 319.766X_9 - 248.988$$

$$Y_2 = 150.071X_1 + 3519.533X_2 + 113.318X_3 + 304.292X_4 + 227.348X_5 + 150.820X_6 - 221.950X_7 + 37.540X_8 + 300.888X_9 - 240.073$$

$$Y_3 = 195.797X_1 + 3498.133X_2 + 156.606X_3 + 356.540X_4 + 174.804X_5 + 145.174X_6 - 213.894X_7 + 137.862X_8 + 343.835X_9 - 306.230$$

$$Y_4 = 193.905X_1 + 3878.802X_2 + 105.949X_3 + 274.133X_4 + 186.102X_5 + 147.336X_6 - 214.425X_7 - 31.833X_8 + 386.765X_9 - 241.868$$

$Y_1 - Y_4$ 分别为黑龙江群体(LH)、洪泽湖群体(HZ)、太湖群体(TH)和吉林群体(ST)的判别公式. 式中 X_1 代表腹鳍起点至头背部末端/全长、 X_2 代表眼径、 X_3 代表体质量、 X_4 代表背鳍起点至臀鳍末端/全长、 X_5 代表吻端至腹鳍起点/全长、 X_6 代表头背部末端至臀鳍起点/全长、 X_7 代表臀鳍起点至背鳍起点/全长、 X_8 代表臀鳍末端至背鳍末端/全长、 X_9 代表背鳍末端至尾鳍腹部起点/全长.

表 3 给出了大银鱼 4 个地理群体 9 项形态比例参数的判别结果, 判别准确率为 72.00%~94.30%, 综合判别率为 79.80%. 各群体大银鱼的判别准确率由大到小依次为太湖群体、洪泽湖群体、吉林群体和黑龙江群体.

表 3 4 个群体大银鱼判别分析结果

群体	样本数目/ 尾	判别准确率/% <i>P</i>	预测分类			
			LH	HZ	TH	ST
LH	232	72.00	167	16	5	39
HZ	207	83.10	27	172	7	35
TH	210	94.30	0	0	198	0
ST	271	72.70	38	19	0	197
合计	920	79.80	232	207	210	271

3 讨 论

传统的形态学方法是借助可数性状及可量性状进行单一比较,对物种种上水平的分类较为有效,但对于形态相似程度高的地理群体鉴别却难以做出准确的判定.1982年,Bookstein^[15]提出的框架系统分析方法比传统形态学分析方法在反映形态差异方面更有效.赵建等^[16]、李思发等^[17]、霍堂斌等^[18]将传统形态学分析和框架分析相结合,成功地应用卷口鱼、罗非鱼和狗鱼等鱼类种下群体间的形态进行判别研究.本文采用该分析方法对中国大银鱼不同地理群体进行形态差异分析,以期为大银鱼不同地理群体的识别、种质资源的保护和利用等提供基础资料.

研究结果显示多元分析方法所得结果基本一致.聚类分析的亲疏关系谱系图显示从南到北依次分布的4个大银鱼群体,吉林和黑龙江群体遗传距离最短,形态最为接近,而太湖群体单独聚集一支.主成分分析结果表明,大银鱼不同地理群体之间的主成分分布均存在不同程度的重叠区域,表明了其群体间存在着一定的差异,这种形态差异很大程度上是由躯干部的可量形状和体质量引起的,其中ST、LH与HZ群体与TH群体有显著的形态差异,而ST群体与LH群体形态上差异较小.这一结果与聚类分析结果一致,研究结果也基本体现了大银鱼各群体地理关系的相关性,地理距离较近的群体的亲缘关系也较近^[19].从判别结果来看,ST和LH群体因地理分布较近,且形态判别为种内判别,故判别率较低,其判别率分别为72.00%和72.70%,而TH群体判别率较高为94.30%,判别结果表明不同地理大银鱼群体形态存在一定的差异,所采用的参数对实践中进行群体鉴别是可行的.3种方法是从不同角度去分析存在的差异,表现差异的程度不同,所以它们不能相互替代,但可以相互印证^[20].

形态特征是由遗传因子与环境因子共同作用的结果^[21-22],而地理屏障使一个种群与同种的另一种群存在某种程度的地理分隔,从而在形态、生理甚至遗传上形成一定的差异.研究结果显示ST群体和LH群体的形态特征最为接近,形态差异并不显著,这可能是由于2个地理群体具有相似的地理环境,均属北温带大陆性半湿润季风气候类型,且吉林石头口门水库和黑龙江连环湖的水环境也较为接近^[23-24].有研究表明鱼类形态特征的差异与年龄有关^[25],而大银鱼为一年生鱼类,生长周期短,这可能是大银鱼地理群体主成分散点图重叠较多的原因之一.

研究结果显示太湖群体单独聚为一支,结果与采样地理位置基本一致.一方面可能是由于太湖是封闭性湖泊,群体整个生命活动局限在太湖之内,与北方2个群体之间产生了地理隔离;洪泽湖虽然与太湖地理隔离程度不大,但洪泽湖为过水性湖泊,其群体整个生命活动局限性较小;另一方面北方大银鱼在其生命周期的大部分时间里是以浮游动物为食,只有体长达到150 mm以后才完全以鱼虾为食^[26];而太湖产大银鱼体长在100~110 mm时,食物种类转以小型鱼、虾类为主^[27],同时不同水体中饵料生物的群落结构特征和可得性存在一定的差异.

鱼类外形差异是遗传和环境协同作用的结果,大银鱼地理群体之间的形态变异与地理环境因子的相关程度究竟有多大,在遗传物质上是否存在变异,这些都还有待进一步的深入研究.

参考文献:

- [1] 王忠锁,傅萃长,雷光春.中国银鱼的多样性及其保护对策[J].生物多样性,2002,10(4):416-424.
- [2] 龚望宝,吴朗,程飞,等.三峡水库太湖新银鱼春季和秋季繁殖群体的繁殖生物学特征比较[J].水生生物学报,2010,34(5):1065-1068.

- [3] 张际峰,汪承润,王顺昌. 鲢鱼、太湖新银鱼和大银鱼 18SrRNA 基因的克隆与序列分析 [J]. 武汉大学学报(理学版), 2010, 56(1): 087—092.
- [4] 杨 健,徐 勋,刘洪波. 太湖和洪泽湖大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)体内元素的积累特征及产地判别 [J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 201—207.
- [5] 柴 炎,韩广建. 影响大银鱼移植增殖效果的主要技术因素 [J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(2): 184—188.
- [6] 张 颖,董 仕,王 茜,等. 大银鱼和太湖新银鱼同工酶遗传组成的研究 [J]. 大连水产学院学报, 2005, 20(2): 111—115.
- [7] 程汉良,韩雪峰,张全成,等. 辽河水系大银鱼繁殖生物学初探 [J]. 中国水产科学, 2003, 10(5): 437—439.
- [8] 徐木生,邬红娟,刘英杰,等. 道观河水库大银鱼移植生物学效应—3. 繁殖行为 [J]. 湖泊科学, 2000, 12(1): 94—96.
- [9] 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.
- [10] 张尧庭,方开秦. 多元统计分析引论 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [11] MAYR E, LINSLEY E G, USINGER R L. Methods and Principles of Systematic Zoology [M]. New York: McGraw Hill Book Company, 1953.
- [12] BRZESKI V J, DOYLE R W. A Morphometric Criterion for Sex Discrimination in Tilapia [C]. Bangkok: The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture: ICLARM Conference Proceeding, 1988.
- [13] 谌昌强,彤 丽. 基于主成分分析和球结构支持向量机的人耳识别方法 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(8): 136—140.
- [14] 蔡翠萍,汪书丽,权 红,等. 藏药材喜马拉雅紫茉莉种质资源的形态多样性 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(12): 61—66.
- [15] BOOKSTEIN F L. Foundation of Morphometrics [J]. Review of Ecology and Systematics, 1982, 13: 451—470.
- [16] 赵 建,朱新平,陈永乐,等. 珠江卷口鱼不同地理种群的形态变异 [J]. 动物学报, 2007, 53(5): 921—927.
- [17] 李思发,陈 林,李先仁,等. “吉奥”罗非鱼同其亲本及近缘杂交罗非鱼形态差异比较分析 [J]. 上海水产大学学报, 2010, 19(6): 721—727.
- [18] 霍堂斌,袁美云,马 波,等. 白斑狗鱼与黑斑狗鱼的形态差异与判别分析 [J]. 大连水产学院学报, 2011, 26(3): 253—259.
- [19] 孙成波,刘建勇,陈 栎. 北部湾 4 个自然群体双线紫蛤形态差异与判别分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(5): 583—591.
- [20] 丁金强,刘 萍,李 健,等. 中国沿海日本鳎 4 个地理群体的形态差异比较分析 [J]. 中国水产科学, 2012, 19(4): 604—610.
- [21] KEN J T. The Complex Bingham Distribution and Shape Analysis [J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1994, 56: 285—299.
- [22] 刘楚珠,严利平,李建生,等. 基于框架法的东黄海日本鲭产卵群体形态差异分析 [J]. 中国水产科学, 2011, 18(4): 908—917.
- [23] 肖桂义,陆继龙,蔡 波,等. 长春市石头口门水库水质演变及对策 [J]. 地质与勘探, 2003, 39(6): 61—63.
- [24] 袁龙福,蔺玉华,王信海,等. 连环湖他拉红泡水质监测与分析 [J]. 水产学杂志, 2008, 21(1): 77—81.
- [25] 张小立,杨品红,徐黎明,等. 翘嘴鲌、蒙古鲌形态特征及年龄与生长的研究 [J]. 内陆水产, 2008, 33(9): 7—10.
- [26] 尤 洋,尤 琦,郭祖峰,等. 不同纬度太湖新银鱼的食性比较及其饵料生物学容量评价 [J]. 西南民族学院学报(自然科学版), 1999, 25(2): 176—180.
- [27] 刘恩生,鲍传和,吴林坤,等. 太湖新银鱼、鲢鱼的食性比较及相互影响分析 [J]. 湖泊科学, 2007, 19(1): 103—110.

Analysis of Morphological Variation Among Four Geographic Populations of *Protosalanx hyalocranius* in China

ZHOU Yan-feng, XU Dong-po, FANG Di-an, YOU Yang

Freshwater Fisheries Research Center/Key Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries,
Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi Jiangsu 214081, China

Abstract: Geographic variation of thirty-two morphological traits and the body mass of *Protosalanx hyalocranius* was analyzed with multivariate analysis. Four wild populations collected from Taihu Lake between Jiangsu and Zhejiang (TH), Hongzehu Lake in Jiangsu (HZ), Lianhuanhu Lake in Heilongjiang (LH) and Shitoukoumen Reservoir in Jilin (ST) were surveyed. Cluster analysis revealed that the ST stock was most closely related to the LH stock, and that the ST stock was most distantly related to the TH stock. Principal component analysis indicated that torso-related parameters had great influence on the inter-population differences and that the cumulative variance contribution ratio was 62.00% in terms of the seven principal components and 44.52% in terms of the three principal components for populations, thus suggesting that Principal Component 3 was the inflection point. In stepwise discriminant analysis, the total accuracy rate for the populations was 79.80%, the accuracy rate being lowest for the ST stock (64%) and highest for the TH stock (94.30%). All the above analyses indicated that some morphological differences have occurred among the four populations of *P. hyalocranius*, which are therefore characterized as subspecies.

Key words: *Protosalanx hyalocranius*; geographic population; morphological difference; multivariate analysis

责任编辑 夏娟

