

萨罗罗非鱼(*Sarotherodon melanotheron*)与其它 5 种罗非鱼形态差异的多元统计分析*

李学军^{1,2} 李爱景¹ 李思发²

(1. 河南师范大学生命科学学院 新乡 453007; 2. 上海海洋大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室 上海 201306)

提要 采用聚类分析、判别分析、主成分分析 3 种多元统计分析方法, 研究新引进的萨罗罗非鱼与我国已有的尼罗罗非鱼、以色列红罗非鱼、台湾红罗非鱼、奥利亚罗非鱼和齐氏罗非鱼间的形态差异。结果表明: (1) 引进的萨罗罗非鱼头长是体长的 35.4%, 属“小头”型。(2) 萨罗罗非鱼与另外 5 种罗非鱼之间有着非常显著的形态差异, 萨罗罗非鱼在头长、体高和体厚方面占有较明显的优势。(3) 在亲缘关系上, 萨罗罗非鱼单独为一支, 齐氏罗非鱼与奥利亚罗非鱼亲缘关系较近, 台湾红罗非鱼与以色列红罗非鱼亲缘关系较近, 尼罗罗非鱼、奥利亚罗非鱼与台湾红罗非鱼亲缘关系较近。

关键词 萨罗罗非鱼, 形态差异, 多元统计分析, 亲缘关系

中图分类号 Q959.468

罗非鱼(*Tilapias*)依照 Trewavas(1983)的分类方法, 可划分为底质产卵的 *Tilapia* 属、雄鱼口育的 *Sarotherodon* 属和雌鱼口育的 *Oreochromis* 属。*Oreochromis* 属和 *Tilapia* 属的罗非鱼我国引进较早, 种类也较多。为了利用我国丰富的海水资源, 作者于 2002 年引进了西非耐盐能力强的萨罗罗非鱼(*Sarotherodon melanotheron*)(李学军等, 2005)。罗非鱼大都具有很强的繁殖能力, 属间、种间容易混杂, 防止引进的萨罗罗非鱼与其它种类罗非鱼混杂, 因此, 从形态学和分子遗传学等方面确定萨罗罗非鱼与其它种罗非鱼间的差异特征, 保持原种的优良品质是非常重要的。

国内外对罗非鱼种、属间差异的研究大多依据其单一的生态习性、体色花纹及传统的形态学指标(Trewavas, 1983; 陈素芝等, 1994), 往往忽视了各指标之间存在的相关性, 因此不可避免地会丢失若干信息, 分析的结果也难较全面地反映比较对象间的客观差异。本研究采用聚类分析、判别分析、主成分分析 3

种多元分析方法, 研究萨罗罗非鱼与其它 5 种罗非鱼的形态差异, 剔除指标间相互制约的成分, 使复杂的指标简单化, 由外部形态特征分析它们之间的遗传关系, 希望为其种质鉴定与科学保种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

6 种罗非鱼均采自河北中捷国家级罗非鱼良种场。*Sarotherodon* 属的萨罗罗非鱼是 2002 年由美国引进后繁育的 F₁ 代; *Oreochromis* 属的尼罗罗非鱼(*O. niloticus*)是 1994 年由 ICLARM 引进后繁育的 F₇ 代; 以色列红罗非鱼(*Israel red tilapia*)是 *Oreochromis* 属罗非鱼的种间杂交后代, 2001 年由以色列引进后繁育的 F₂ 代; 奥利亚罗非鱼(*O. aureus*)是 1998 年由埃及引进后繁育的 F₅ 代; *Oreochromis* 属的台湾红罗非鱼(*O. niloticus* × *O. mossambica*) 和 *Tilapia* 属的齐氏罗非鱼(*T. zillii*)引进时间不详。6 种实验用罗非鱼捕出后雌雄分开, 随机选取进行形态测量(表 1)。

* 农业部“948”国际引进合作项目, 993125 号; 河南省动物学省级重点学科资助, 2005—2007。李学军, 博士, 副教授, E-mail: xjli67@126.com

收稿日期: 2007-10-17, 收修改稿日期: 2007-12-08

表 1 6种罗非鱼样本数及平均体长、体重
Tab.1 Sampling size and average of standard length, body weight of six tilapias

种类	数量(尾)	体重(g)	体长(cm)
萨罗罗非鱼 Blackchin tilapia	30	124.54 ± 38.21	15.30 ± 1.65
尼罗罗非鱼 Nile tilapia	60	141.24 ± 44.11	18.62 ± 2.11
以色列红罗非鱼 Israel red tilapia	30	128.64 ± 39.93	16.04 ± 1.56
台湾红罗非鱼 Taiwan red tilapia	30	121.42 ± 34.75	18.20 ± 1.58
奥利亚罗非鱼 Blue tilapia	60	124.32 ± 37.28	17.20 ± 1.87
齐氏罗非鱼 Zillii tilapia	60	121.36 ± 30.31	18.34 ± 2.28

注：体重和体长的数据为平均值 ± 标准差

1.2 数据测量

共测量了 270 尾鱼的 10800 个数据。数据分为两类。一类是 8 个可数性状：侧线鳞数 V_1 (罗非鱼的前段侧线鳞)、侧线鳞数 V_2 (罗非鱼的后段侧线鳞)、侧线上鳞 V_3 (罗非鱼前段侧线鳞到背鳍基部垂直方向的鳞数)、侧线下鳞 V_4 (罗非鱼的后段侧线鳞到臀鳍基部垂直方向的鳞数)、背鳍棘数 V_5 、背鳍条数 V_6 、臀鳍棘数 V_7 和臀鳍条数 V_8 ；另一类是 8 个可量性状：体长(SL)、体高(BD)、体厚(BW)、头长(HL)、吻长(SNL)、眼径(ED)、眼间距(IW)和条件系数(K)及 24 个框架性状。框架测量定位点的选择主要参照文献(李思发等, 1998; Brzeski *et al*, 1995)。

1.3 数据处理和分析方法

1.3.1 数据处理 为了消除性别差异对测量统计的影响, 6 种罗非鱼均按雌雄 1 : 1 取样; 为了消除鱼体规格大小对形态分析的影响, 每尾鱼的所有实测可量性状(除体重外)数值均除以它的全长值得比例值, 再分别求出各组样本每个参数的平均比例值, 用平均比例值作多元统计分析。

1.3.2 分析方法

(1) 方差分析 6 种罗非鱼的 8 个可数性状、8 个可量性状及 24 个框架性状参数的平均比例值分别用方差分析进行差异性检验, 如果方差分析检验为差异显著($P < 0.05$), 则用 Duncan's 多重比较进行分析。

(2) 多元统计分析

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。

判别分析 : 先用逐步判别对所有的形态参数进行筛选, 去除判别效果不显著的形态参数, 建立判别方程。

主成分分析 : 从 8 个可量性状参数和 24 个框架性状参数中计算筛选出 5 个特征值向量最大的综合性指标, 即主成分。再根据 5 个主成分的崖底碎石图, 确定出贡献率较大的主成分, 绘制主成分分析图。

上述所有参数及主成分贡献率和累计贡献率的计算参照文献(李思发等, 1998; 李家乐等, 1999; 阮桂海, 2003), 实验结果均用 SAS8.2 软件进行统计分析和绘图(阮桂海, 2003)。

2 结果

2.1 方差分析

6 种罗非鱼形态性状均值见表 2。经方差分析, 除了侧线上鳞、侧线下鳞、臀鳍棘数和框架 D_{5-6} 的均值外, 其它形态学参数 6 种罗非鱼间都差异显著。

2.2 聚类分析

6 种罗非鱼形态性状的聚类分析结果见图 1。6 种罗非鱼可以明显分为 3 大支: 萨罗罗非鱼单独为一支, 尼罗罗非鱼、奥利亚罗非鱼和齐氏罗非鱼聚为一支, 以色列红罗非鱼和台湾红罗非鱼为一支。

2.3 判别分析

用逐步判别程序对形态参数进行筛选, 在可数性状中淘汰掉臀鳍棘数 V_7 ($P=1.000$)、侧线下鳞 V_4 ($P=0.897$)、侧线上鳞 V_3 ($P=0.155$) 五个形态参数, 得到背鳍棘数 V_5 、背鳍条数 V_6 、臀鳍条数 V_8 、侧线鳞数 V_2 和侧线鳞数 V_1 五个判别效果显著的形态参数 ($P < 0.01$)。利用筛选得到的这 5 个形态参数建立的判别方程为:

$$\text{萨罗罗非鱼} = -947.98334 + 2.61908V_1 + 5.90730V_2 + 70.36528V_5 + 39.85753V_6 + 27.34982V_8$$

$$\text{尼罗罗非鱼} = -1175 - 3.30175V_1 + 7.37466V_2 + 77.76025V_5 + 45.76856V_6 + 27.96997V_8$$

$$\text{以色列红罗非鱼} = -1081 + 3.03244V_1 + 6.70963V_2 + 73.94792V_5 + 41.98148V_6 + 30.81641V_8$$

$$\text{台湾红罗非鱼} = -1183 + 3.27518V_1 + 7.66726V_2 + 78.21810V_5 + 46.27309V_6 + 26.92469V_8$$

$$\text{奥利亚罗非鱼} = -1104 + 3.20774V_1 + 7.04589V_2 + 74.10710V_5 + 44.95149V_6 + 28.61969V_8$$

$$\text{齐氏罗非鱼} = -1122 + 2.55565V_1 + 7.15220V_2 + 75.87780V_5 + 45.40291V_6 + 28.13976V_8$$

表 2 6 种罗非鱼形态性状均值与标准差
Tab.2 Means and standard deviations of morphometric characters of six tilapias

性状	形态性状均值和标准差					
	萨罗罗非鱼	尼罗罗非鱼	以色列红罗非鱼	台湾红罗非鱼	奥利亚罗非鱼	齐氏罗非鱼
侧线鳞数	19.23 ± 1.165 ^d	21.88 ± 0.141 ^a	20.83 ± 0.384 ^{bc}	21.87 ± 0.283 ^a	21.25 ± 0.118 ^b	20.47 ± 0.122 ^c
侧线鳞数	11.33 ± 0.994 ^d	14.12 ± 0.172 ^{ab}	12.87 ± 0.283 ^c	14.63 ± 0.251 ^a	13.63 ± 0.197 ^b	13.77 ± 0.147 ^b
侧线上鳞	3.00 ± 0.00 ^b	3.00 ± 0.00 ^b	3.00 ± 0.00 ^b	3.03 ± 0.183 ^a	3.00 ± 0.00 ^b	3.00 ± 0.00 ^b
侧线下鳞	5.93 ± 0.254 ^a	5.93 ± 0.032 ^a	5.90 ± 0.305 ^a	5.87 ± 0.346 ^a	5.92 ± 0.279 ^a	5.93 ± 0.252 ^a
背鳍棘数	15.40 ± 0.498 ^d	16.96 ± 0.502 ^a	16.17 ± 0.648 ^c	17.03 ± 0.183 ^a	16.05 ± 0.502 ^c	16.40 ± 0.558 ^b
背鳍条数	10.90 ± 0.481 ^c	12.60 ± 0.588 ^a	11.67 ± 0.661 ^b	12.70 ± 0.535 ^a	12.57 ± 0.593 ^a	12.52 ± 0.567 ^a
臀鳍棘数	3.00 ± 0.00 ^a	3.00 ± 0.00 ^a	3.00 ± 0.00 ^a	3.00 ± 0.00 ^a	3.00 ± 0.00 ^a	3.00 ± 0.00 ^a
臀鳍条数	9.37 ± 0.556 ^c	9.87 ± 0.503 ^b	10.47 ± 0.507 ^a	9.60 ± 0.675 ^c	10.03 ± 0.450 ^b	9.85 ± 0.547 ^b
体长(SL)	80.47 ± 1.05 ^a	80.78 ± 2.18 ^a	77.67 ± 1.68 ^{cd}	76.77 ± 2.20 ^d	78.60 ± 3.47 ^{bc}	78.99 ± 3.23 ^b
体高(BD)	30.66 ± 1.99 ^{bc}	30.32 ± 1.65 ^c	32.76 ± 1.39 ^a	31.57 ± 2.15 ^b	28.64 ± 2.48 ^d	31.60 ± 2.17 ^b
体厚(BW)	16.49 ± 1.43 ^a	15.43 ± 1.23 ^b	14.40 ± 1.18 ^c	14.23 ± 1.04 ^c	13.55 ± 0.85 ^d	13.31 ± 1.90 ^d
头长(HL)	28.44 ± 2.11 ^a	26.54 ± 1.89 ^{bc}	26.12 ± 1.18 ^{bc}	26.50 ± 1.17 ^{bc}	26.91 ± 1.43 ^b	25.94 ± 1.80 ^c
吻长(SNL)	12.82 ± 1.67 ^a	8.66 ± 0.84 ^c	9.29 ± 0.95 ^b	8.79 ± 0.70 ^c	9.42 ± 0.75 ^b	9.03 ± 1.13 ^b
眼径(ED)	5.29 ± 0.52 ^c	5.22 ± 0.46 ^c	5.49 ± 0.60 ^{bc}	5.70 ± 0.39 ^b	5.50 ± 0.55 ^{bc}	6.19 ± 0.86 ^a
眼间距(IW)	11.79 ± 1.14 ^b	12.62 ± 0.96 ^a	10.70 ± 1.09 ^d	10.80 ± 0.58 ^d	11.93 ± 0.91 ^b	11.30 ± 1.15 ^c
丰满系数(K)	3.46 ± 0.26 ^b	3.35 ± 0.53 ^b	3.88 ± 0.37 ^a	3.84 ± 0.45 ^a	3.05 ± 0.26 ^b	3.50 ± 0.30 ^b
<i>D</i> ₁₋₃	15.43 ± 1.11 ^c	18.01 ± 0.81 ^a	17.91 ± 1.84 ^a	16.56 ± 1.71 ^b	17.71 ± 1.78 ^a	18.22 ± 1.78 ^a
<i>D</i> ₃₋₅	29.21 ± 1.92 ^a	27.79 ± 1.52 ^b	23.92 ± 1.97 ^c	25.23 ± 2.47 ^d	26.23 ± 2.18 ^c	25.70 ± 1.81 ^{cd}
<i>D</i> ₅₋₇	13.04 ± 1.22 ^d	16.27 ± 1.20 ^b	17.60 ± 1.61 ^a	16.31 ± 2.66 ^b	15.83 ± 1.28 ^b	15.11 ± 1.60 ^c
<i>D</i> ₇₋₉	9.06 ± 1.02 ^c	11.20 ± 0.75 ^a	11.17 ± 1.73 ^a	11.50 ± 1.95 ^a	11.13 ± 0.85 ^a	10.58 ± 0.86 ^b
<i>D</i> ₂₋₄	13.80 ± 1.71 ^a	9.68 ± 0.84 ^{bc}	9.69 ± 0.83 ^{bc}	10.50 ± 2.42 ^b	9.93 ± 1.61 ^{bc}	9.54 ± 0.92 ^c
<i>D</i> ₄₋₆	16.5 ± 1.31 ^d	20.41 ± 1.40 ^{bc}	23.06 ± 2.27 ^a	21.43 ± 3.03 ^b	20.35 ± 1.62 ^c	20.32 ± 1.83 ^c
<i>D</i> ₆₋₈	28.86 ± 3.38 ^c	31.23 ± 1.90 ^{ab}	30.40 ± 1.76 ^b	31.94 ± 1.44 ^a	30.39 ± 2.15 ^b	31.20 ± 2.80 ^{ab}
<i>D</i> ₈₋₁₀	14.15 ± 1.64 ^c	17.75 ± 1.53 ^a	15.63 ± 1.67 ^b	15.66 ± 0.76 ^b	17.29 ± 1.84 ^a	15.87 ± 1.97 ^b
<i>D</i> ₁₀₋₁₂	9.56 ± 1.25 ^c	10.22 ± 0.84 ^{ab}	10.63 ± 1.16 ^a	10.64 ± 0.80 ^a	10.25 ± 1.05 ^{ab}	10.09 ± 0.89 ^b
<i>D</i> ₁₋₂	17.62 ± 1.62 ^a	16.43 ± 0.98 ^b	17.13 ± 1.18 ^a	17.53 ± 1.31 ^a	17.06 ± 1.65 ^a	17.65 ± 1.11 ^a
<i>D</i> ₁₋₄	22.76 ± 1.96 ^a	17.09 ± 0.89 ^{bc}	17.82 ± 1.16 ^b	17.92 ± 1.18 ^b	17.03 ± 1.12 ^c	17.32 ± 1.21 ^{bc}
<i>D</i> ₁₋₆	30.61 ± 1.26 ^b	28.26 ± 1.21 ^d	31.30 ± 1.05 ^a	29.90 ± 1.32 ^c	27.78 ± 1.80 ^d	27.91 ± 1.70 ^d
<i>D</i> ₃₋₂	37.43 ± 2.34 ^a	32.91 ± 1.43 ^c	33.35 ± 1.32 ^{bc}	33.17 ± 1.17 ^{bc}	33.29 ± 2.32 ^{bc}	34.01 ± 2.32 ^b
<i>D</i> ₃₋₄	28.60 ± 3.21 ^d	30.75 ± 1.18 ^c	32.39 ± 1.01 ^a	31.46 ± 1.23 ^b	31.61 ± 1.73 ^{bc}	32.96 ± 1.75 ^a
<i>D</i> ₃₋₆	30.11 ± 2.07 ^d	30.59 ± 1.16 ^d	33.50 ± 1.42 ^a	32.67 ± 1.15 ^b	30.76 ± 1.63 ^d	31.78 ± 2.38 ^c
<i>D</i> ₃₋₈	38.26 ± 2.41 ^a	37.05 ± 1.83 ^{bc}	37.40 ± 2.62 ^{ab}	36.90 ± 1.37 ^{bc}	34.76 ± 2.15 ^d	36.34 ± 1.93 ^c
<i>D</i> ₅₋₆	43.31 ± 2.65 ^b	44.88 ± 2.11 ^a	44.27 ± 1.80 ^{ab}	44.72 ± 1.54 ^a	43.55 ± 2.52 ^{ab}	44.19 ± 2.41 ^{ab}
<i>D</i> ₅₋₈	28.49 ± 1.77 ^b	28.57 ± 1.44 ^b	30.22 ± 1.28 ^a	28.88 ± 1.55 ^b	28.09 ± 2.95 ^b	28.25 ± 2.87 ^b
<i>D</i> ₅₋₁₀	24.56 ± 1.34 ^c	25.60 ± 1.16 ^b	26.67 ± 0.99 ^a	24.98 ± 1.42 ^{bc}	24.70 ± 1.94 ^c	23.16 ± 1.69 ^d
<i>D</i> ₇₋₈	25.94 ± 1.58 ^a	25.36 ± 2.03 ^{abc}	26.05 ± 2.26 ^a	24.73 ± 1.48 ^{bc}	24.30 ± 1.77 ^c	25.37 ± 2.62 ^{ab}
<i>D</i> ₇₋₁₀	14.67 ± 1.00 ^a	13.72 ± 1.26 ^b	13.65 ± 0.78 ^b	13.53 ± 0.79 ^b	12.80 ± 1.03 ^c	12.43 ± 0.96 ^c
<i>D</i> ₇₋₁₂	15.49 ± 1.07 ^b	16.69 ± 0.95 ^a	16.40 ± 1.06 ^a	16.55 ± 0.87 ^a	15.44 ± 0.96 ^b	15.30 ± 1.15 ^b
<i>D</i> ₉₋₁₀	16.04 ± 1.16 ^{ab}	15.96 ± 0.98 ^{ab}	15.85 ± 0.98 ^b	16.39 ± 1.04 ^a	15.21 ± 1.04 ^c	14.61 ± 1.12 ^d
<i>D</i> ₉₋₁₂	12.80 ± 0.78 ^a	12.24 ± 0.77 ^{bc}	12.50 ± 0.64 ^{ab}	12.46 ± 0.87 ^{ab}	12.02 ± 0.81 ^c	10.94 ± 0.80 ^d

注: 同一行内平均值后字母相同者表示差异不显著($P>0.05$)

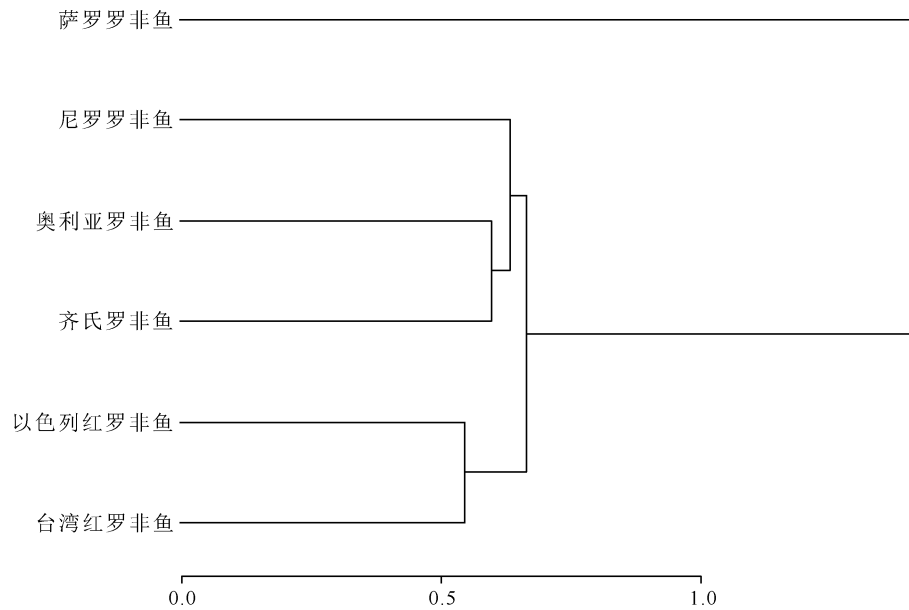


图 1 6 种罗非鱼形态性状的聚类分析图

Fig.1 Cluster dendrogram of morphometric characters of six tilapias

将可量数据与框架数据相结合进行判别分析, 6 种罗非鱼的判别效果都非常显著 ($P < 0.01$)。用逐步判别程序对经过校正的 32 个形态参数进行筛选, 得到 28 个判别效果显著的形态参数。根据 F 检验值大小, 从 28 个筛选出的形态参数中选出对判别贡献较大的 18 个参数 ($P < 0.01$): D_{1-4} 、 D_{3-4} 、 D_{1-6} 、 D_{3-5} 、 D_{5-10} 、 SNL 、 BD 、 EI 、 D_{9-12} 、 BW 、 D_{1-3} 、 D_{7-9} 、 D_{4-6} 、 SL 、 K 、 D_{3-2} 、 D_{7-12} 和 ED , 建立的判别方程为:

$$\text{萨罗罗非鱼} = -807.78678 + 5.28712D_{1-4} + \dots + 0.58260ED$$

$$\text{尼罗罗非鱼} = -758.38556 - 0.09777D_{1-4} + \dots - 0.04890ED$$

$$\text{以色列红罗非鱼} = -752.37432 + 0.07253D_{1-4} + \dots + 1.66060ED$$

$$\text{台湾红罗非鱼} = -736.01325 + 0.63014D_{1-4} + \dots + 2.44419ED$$

$$\text{奥利亚罗非鱼} = -706.76076 - 0.16417D_{1-4} + \dots + 0.76937ED$$

$$\text{齐氏罗非鱼} = -733.09039 + 0.00635D_{1-4} + \dots + 3.13176ED$$

将形态参数值, 分别代入 6 个判别方程中, 可求出 6 判别方程的值, 哪一个判别方程的值最大, 该尾鱼即属于哪一种。

2.4 主成分分析

前 5 个主成分的特征值、方差贡献率等指标列于表 3。由 5 个主成分的崖底碎石图可知, 主成分 3 是

拐点, 其后的主成分特征值都较小且彼此相差不大, 因此确定用前 2 个主成分进行形态差异的分析。主成分 2 对主成分 1 作图结果见图 2, 从图 2 中可以看出, 萨罗罗非鱼和其它 5 种罗非鱼间有较为明显的区别, 都位于主成分 2 = 0.0 水平线的下方, 而其它 5 种罗非鱼之间重叠区较多。但是可以看出: 齐氏罗非鱼和奥利亚罗非鱼之间以及尼罗罗非鱼和台湾红罗非鱼之间有相对较多的重叠区, 难以完全分开, 而齐氏罗非鱼和尼罗罗非鱼分布区基本不重叠。

表 3 前 5 个主成分的相关矩阵特征值

Tab.3 Eigenvalues of correlation matrix of the great five principal components

主成分	特征值向量	特征值差异	方差贡献率 (%)	累积贡献率 (%)
主成分 1	6.71	1.78	20.96	20.96
主成分 2	4.93	2.29	15.41	36.37
主成分 3	2.64	0.50	8.26	44.63
主成分 4	2.14	0.73	6.61	51.33
主成分 5	1.41	0.23	4.42	55.76

3 讨论

3.1 萨罗罗非鱼的形态特点

据 Eyeson(1992)报道, 在加纳的萨罗罗非鱼种群, 可分为 2 种, 一种为“大头”型, 头长是体长的 38.5%, 生长快、繁殖力相对较低; 另一种为“小头”型, 头长为体长的 34.0%, 生长慢、繁殖力相对较高。本实

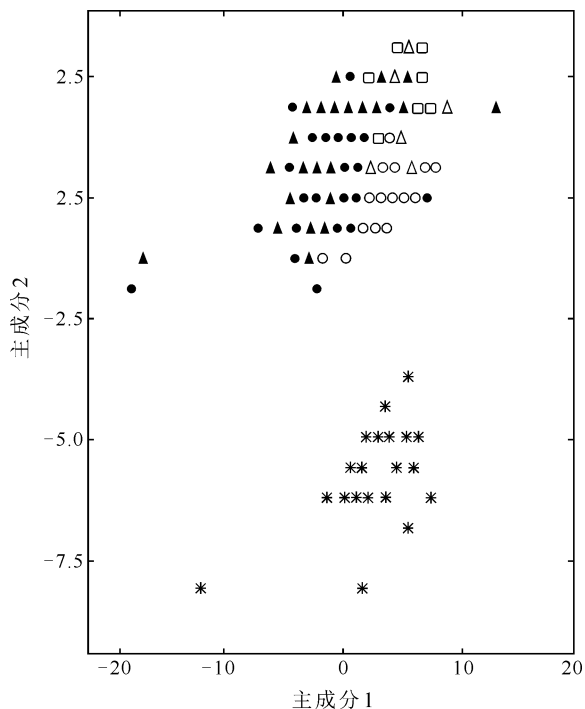


图 2 6 种罗非鱼主成分分析图

Fig.2 Maps of principal component analysis of six tilapias
* : 萨罗罗非鱼; ● : 尼罗罗非鱼; ▲ : 奥利亚罗非鱼; △ : 台湾红罗非鱼; □ : 以色列红罗非鱼; ▲ : 齐氏罗非鱼

验测定的结果, 萨罗罗非鱼头长是体长的 35.4%, 因此, 作者引进的萨罗罗非鱼可能属“小头”型。

在本研究中, 萨罗罗非鱼与其它 5 种罗非鱼相比, 形态特异性非常显著。在有显著差异的所有可数性状中, 都是以萨罗罗非鱼为最小; 在可量性状中, 萨罗罗非鱼在体厚、头长和吻长 3 个形态特征上参数值是最大的; 在框架结构中, 相对较小的形态参数值主要集中在萨罗罗非鱼身体的水平轴方向, 其中 D_{1-3} 、 D_{3-7} 、 D_{7-9} 为腹部水平轴方向, 而 D_{4-6} 、 D_{6-8} 、 D_{8-10} 、 D_{10-12} 为背部水平轴方向; 相对较大的形态参数值主要集中在萨罗罗非鱼的身体垂直轴方向(比如 D_{1-4} 、 D_{3-8} 和 D_{7-10})和头部(比如头长、吻长、 D_{1-4} 和 D_{3-2})。因此, 与其它 5 种罗非鱼相比, 萨罗罗非鱼在头长、体高和体厚方面占有较明显的优势。

3.2 萨罗罗非鱼与其它 5 种罗非鱼亲缘关系的探讨

无论是方差分析还是 3 种多元统计分析都表明, 萨罗罗非鱼与另外 5 种罗非鱼之间有着非常大的差异, 因此作者认为在亲缘关系上, 萨罗罗非鱼单独为

一支, 齐氏罗非鱼和奥利亚罗非鱼可以归为一支, 台湾红罗非鱼和以色列红罗非鱼可以归为一支, 尼罗罗非鱼、奥利亚罗非鱼和台湾红罗非鱼可以归为一支。尼罗罗非鱼、奥利亚罗非鱼和台湾红罗非鱼同为一属, 他们有近似的形态特征不足为怪。台湾红罗非鱼和以色列红罗非鱼形态特征相近, 说明以色列红罗非鱼很有可能和台湾红罗非鱼有某种遗传上的联系。令人费解的是齐氏罗非鱼的亲缘地位, Soduck 等(1991)和 Pouyaud 等(1995)用同工酶的方法, 研究了 *Tilapia*、*Sarotherodon* 和 *Oreochromis* 3 个属罗非鱼的系统发育, 结果都是底质产卵的 *Tilapia* 属罗非鱼最低等, 雄鱼口育的 *Sarotherodon* 属罗非鱼次之, 雌鱼口育的 *Oreochromis* 属罗非鱼最高等, 也就是说 *Oreochromis* 属罗非鱼和 *Sarotherodon* 属罗非鱼的亲缘关系比与 *Tilapia* 属罗非鱼近, 这与本研究的实验结果不同。出现这种情况的原因可能是由于所用的齐氏罗非鱼种质不纯, 已经与其它罗非鱼混杂, 因为从体色上, 本研究所使用齐氏罗非鱼就和奥利亚罗非鱼很相近, 尤其是尾鳍花纹, 也是散射的星状或花纹很少。

3.3 萨罗罗非鱼的保种和应用

李学军(2004)¹⁾利用微卫星技术得出我国引进萨罗罗非鱼群体的有效等位基因数、平均杂合度期望值和多态信息含量值分别为 1.812、0.331 和 0.326, 低于我国引进的尼罗罗非鱼、以色列红罗非鱼、台湾红罗非鱼、奥利亚罗非鱼、齐氏罗非鱼等其它群体。赵金良等(2007)利用 AFLP 技术的研究结果表明, 我国引进的萨罗罗非鱼群体平均多态位点比例为 16.6%, 群体内个体间的平均遗传相似度为 0.922—0.995。这说明我国引进的萨罗罗非鱼群体的遗传变异不高, 可能与多次引进(加纳—美国—中国)过程中, 存在一定的瓶颈效应或奠基群效应有关; 另外, 罗非鱼大都具有很强的繁殖能力, 属间、种间容易混杂, 保持现有新引进萨罗罗非鱼种群的种质纯度, 避免出现上述齐氏罗非鱼与其它罗非鱼混杂的问题, 对萨罗罗非鱼保种和遗传育种开发是非常重要的。

致谢 在实验过程中, 河北中捷农场水产良种场的笄金华、张艳红, 全国水产技术推广总站冯金海, 河北省水产局推广站孙绍勇等研究人员参加了部分工作, 谨致谢忱。

1) 李学军, 2004. 萨罗罗非鱼耐盐性能研究. 上海水产大学博士学位论文

参 考 文 献

- 阮桂海, 2003. SAS 统计分析实用大全. 北京: 清华大学出版社, 211—304
- 李学军, 李思发, 么宗利等, 2005. 不同盐度下尼罗罗非鱼、萨罗非鱼和以色列红罗非鱼幼鱼生长、成活率及肥满系数差异的研究. 中国水产科学, 12(3): 245—251
- 李思发, 李晨虹, 李家乐, 1998. 尼罗罗非鱼品系间形态差异分析. 动物学报, 44(4): 450—457
- 李家乐, 李思发, 李 勇等, 1999. 尼奥鱼[尼罗罗非鱼()× 奥利亚罗非鱼()]同其亲本的形态和判别. 水产学报, 23(3): 261—265
- 陈素芝, 叶 卫, 1994. 我国引进的罗非鱼类的初步研究. 动物学杂志, 29(3): 18—23
- 赵金良, 王伟伟, 李思发等, 2007. 我国引进萨罗非鱼群体的 AFLP 遗传指纹. 上海水产大学学报, 16(3): 293—296
- Brzeski V J, Doyle R W, 1995. A test of an on-farm selection procedure for tilapia in Indonesia. Aquaculture, 137: 219—230
- Eyeson K N, 1992. Residual biparental oral-brooding in the blackchin fish, *Sarotherodon melanotheron*. Journal of Fish Biology, 41: 145—146
- Pouyaud L, Agnese J F, 1995. Phylogenetic relationships between 21 species of three tilapiine genera *Tilapia*, *Sarotherodon* and *Oreochromis* using allozyme data. Journal Fish Biology, 47(1): 26—38
- Soduck P, McAndrew B J, 1991. Molecular systematics of three tilapiine genera *Tilapia*, *Sarotherodon* and *Oreochromis* using allozyme data. Journal Fish Biology, 39(supplement A): 301—308
- Trewavas R, 1983. Tilapiine Fishes of the Genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. London: British Museum (Natural History), Publ. Num. 878. Comstock Publishing Associates, 583

MORPHOMETERIC DIFFERENCE BETWEEN BLACKCHIN TILAPIA *SAROTHERODON MELANOTHERON* AND THE OTHER FIVE TILAPIAS REVEALED BY MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS

LI Xue-Jun^{1,2}, LI Ai-Jing¹, LI Si-Fa²

(1. College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang, 453007; 2. The Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306)

Abstract The morphometric differences between newly introduced blackchin tilapia and other five tilapias including Nile tilapia, Israel red tilapia, Taiwan red tilapia, blue tilapia and Zilii tilapia of our country were studied with cluster analysis, discriminant analysis and principal component analysis. The results showed: (1) The head length of blackchin tilapia is 35.4% of body length, belonging to the small-headed type. (2) Morphometric differences between blackchin tilapia and other five tilapias are significant. Blackchin tilapia has greater head length, body depth, and body width than those of the other five. (3) In morphometric relationship tree, blackchin tilapia forms a separate cluster. Among the five tilapias, Zilii tilapia is close to blue tilapia; Taiwan red tilapia is close to Israel red tilapia; Nile tilapia, blue tilapia and Taiwan red tilapia are close to each other.

Key words Blackchin tilapia, Morphometric difference, Multivariate statistical analysis, Relationship