

太平洋双色鳗鲡(*Anguilla bicolor pacifica*) 与其它 3 种鳗鲡的形态差异分析*

罗鸣钟^{1, 2, 3, 4} 关瑞章^{1, 3, 4} 李忠琴^{3, 4} 靳恒^{3, 4} 徐继松^{3, 4}

(1. 中国科学院水生生物研究所 武汉 430072; 2. 中国科学院大学 北京 100049;
3. 鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心 厦门 361021; 4. 集美大学水产学院 厦门 361021)

提要 通过传统形态学数据和框架结构数据相结合, 应用方差、聚类、判别和主成分等 4 种多元分析方法, 分析了太平洋双色鳗鲡与日本鳗鲡、美洲鳗鲡和花鳗鲡的形态差异。结果表明: (1) 太平洋双色鳗鲡背鳍前端与臀鳍前端之间的垂线距离占全长的 1.4%, 属短鳍型鳗鲡。(2) 太平洋双色鳗鲡与其它 3 种鳗鲡形态差异显著。在可数性状中, 太平洋双色鳗鲡的总脊椎骨数显著小于日本鳗鲡, 显著大于美洲鳗鲡和花鳗鲡, 背鳍前脊椎骨数显著大于其它 3 种鳗鲡; 在可量性状中, 太平洋双色鳗鲡的吻长显著小于美洲鳗鲡和花鳗鲡, 显著大于日本鳗鲡; 在框架结构性状中, 太平洋双色鳗鲡有 6 项性状与其它 3 种鳗鲡差异显著。(3) 太平洋双色鳗鲡的背鳍起点与其它 3 种鳗鲡相比最靠后, 背鳍起点在鳗鲡分类研究中可作为重要的框架结构定位点。本研究可为太平洋双色鳗鲡的合理引进和种质保护提供资料。

关键词 太平洋双色鳗鲡; 形态差异; 框架分析; 多元分析

中图分类号 Q954

鳗鲡是鳗鲡属鱼类的统称, 在分类学上隶属于硬骨鱼纲(Osteichthyes)、鳗鲡目(Anguilliformes)、鳗鲡科(Anguillidae)、鳗鲡属(*Anguilla*), 广泛分布于全球热带、亚热带和温带地区。鳗鲡营养丰富, 经济价值高, 是世界性最重要的水产养殖种类之一。20 世纪 80 年代以来, 我国养鳗业发展迅速, 现已超越日本成为最大的鳗鲡养殖国(吴成业等, 2004)。鳗鲡的繁殖生物学和生态学等方面研究不够, 人工繁殖问题尚未得到完全解决。迄今为止, 各国养殖所需苗种全靠天然捕捞。鳗苗资源短缺已严重限制了我国鳗鲡养殖业及其加工业的发展, 因此对鳗鲡养殖新品种的开发和引进意义重大。本实验室分别于 2010 年和 2011 年从菲律宾引进玻璃鳗进行苗种培育以及幼成鳗养殖试验, 以期筛选出可用于商品化养殖的鳗鲡种类。在养殖过程中, 太平洋双色鳗鲡(*Anguilla bicolor*

pacifica)存活率高, 生长性能优异, 显示出可进行集约化养殖的潜力。鳗鲡的种类鉴定存在难度, 尤其在苗种和幼鳗时期。因此, 确定可靠的分类鉴定标准以及比较太平洋双色鳗鲡幼鳗与其它鳗鲡的形态差异, 对太平洋双色鳗鲡的合理引进极为重要。

目前有关鳗鲡种质鉴定的分子遗传学研究, 国内外已有较多报道。杨弘等(2002)利用 RAPD 标记技术研究了日本鳗鲡、欧洲鳗鲡和美洲鳗鲡的种群遗传结构、品种纯度及其间亲缘关系。Hartmut 等(2002)用 RFLP 技术和单链构象多态性成功鉴别出日本鳗鲡、美洲鳗鲡及欧洲鳗鲡。Vicky 等(2006)用 AFLP 技术研究了欧洲鳗鲡和美洲鳗鲡自然杂交的遗传变异。相对于分子遗传学特征, 形态学特征是遗传物质与环境因子互作的结果, 是物种鉴定的有效依据(Ihssen *et al*, 1981; Han *et al*, 2002)。形态差异分析能

* 国家农业部公益性行业(农业)科研专项, nyhyzx07-043-03 号; 福建省科技计划重点项目, 2009N0046 号; 福建省教育厅重点项目, JA09157 号; 福建省科学技术厅项目, 2009N2003-1 号。罗鸣钟, 博士研究生, E-mail: kklmz413@hotmail.com

通讯作者: 关瑞章, 教授, 博导, E-mail: rzguan@jmu.edu.cn

收稿日期: 2011-12-29, 收修改稿日期: 2012-02-02

简单快速直观地反应不同种间的差异。

本研究以体重小于 10g 的日本鳗鲡(*A. japonicus*)、美洲鳗鲡(*A. rostrata*)、花鳗鲡(*A. marmorata*)和太平洋双色鳗鲡(*A. bicolor pacifica*)共 4 种鳗鲡幼鱼作为研究对象,通过传统形态学数据与框架数据相结合,利用方差分析、聚类分析、判别分析和主成分分析 4 种多元分析方法,研究太平洋双色鳗鲡与其它 3 种鳗鲡的形态差异,找出差异显著的形态性状并建立 4 种鳗鲡的判别方程,旨在为其种质鉴定与苗种选育提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

实验材料均取自福建省集美大学海水试验场。每种鳗鲡随机取样 30 尾(体重均小于 10g),观测样本规格和来源地见表 1。

1.2 数据测量

实验样本经电子天平称重(精确到 0.1g)后进行形态学数据测量(精确到 0.1cm)。形态学数据分为两类:一类是传统形态学性状,包括可数和可量性状。可数性状有总脊椎骨、臀鳍前脊椎骨、臀鳍后脊椎骨及胸鳍条,共 4 项;可量性状有全长、体长、体高、体厚、头长、吻长、口裂高、口裂宽、眼径、眼间距、躯干长、背鳍前端与臀鳍前端的距离,共 12 项。另一类为框架数据,共 18 项。框架测量主要参照 Brzeski 等(1995)和 Nacy 等(1995)的方法。

1.3 数据处理

对可数性状数据进行卡方检验,比较种间差异

显著性。为校正由样品规格差异对形态参数值所造成的影响,本研究将原始可量数据和框架数据与其全长之比进行校正。再利用 SPSS 13.0 软件进行数据分析,主要应用方差分析、聚类分析、判别分析及主成分分析 4 种分析方法。

1.3.1 方差分析 对 4 种鳗鲡共 120 个样本的 29 个比例性状(全长作为校正参数),应用 Duncan's 多重比较进行分析,找出差异显著的性状。

1.3.2 聚类分析 对比例性状进行聚类分析,采用的聚类方法为欧氏最短距离系统聚类法。

1.3.3 判别分析 用逐步判别法对比例性状数据进行筛选,去除判别效果不显著的性状,计算判别准确率,建立判别方程。

$$\text{判别准确率} = \text{判别正确的尾数} / \text{实际尾数}$$

$$\text{综合判别准确率} = \sum_{i=1}^k A_i / \sum_{i=1}^k B_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, k)$$

式中, A_i 为第 i 个鳗鲡中判别正确的尾数, B_i 为第 i 个鳗鲡的实际尾数, k 为种类数。

1.3.4 主成分分析 通过主成分分析,从所有的形态数据中筛选出特征根大于 1 的主成分。计算各主成分负荷值和贡献率,并根据各主成分的碎石图绘制主成分散点图(李学军等, 2008)。

2 结果

2.1 可数性状

4 种鳗鲡的可数性状均值与范围见表 2, 卡方检验结果见表 3。结果表明,太平洋双色鳗鲡总脊椎骨数、臀鳍前脊椎骨数与其它 3 种鳗鲡差异显著,胸鳍

表 1 4 种鳗鲡样本的来源和规格

Tab.1 Original and specification of four eels samples

种类	来源地	体重(g)		体长均值(cm)	
		平均值±标准差	体重范围(g)	平均值±标准差	体长范围(cm)
日本鳗鲡	中国	5.29±1.45	2.73—9.02	19.91±1.91	15.30—23.45
美洲鳗鲡	美国	3.62±1.14	2.01—5.98	13.64±1.37	11.02—16.10
花鳗鲡	菲律宾	2.36±0.54	1.58—3.46	11.13±0.83	9.50—12.75
太平洋双色鳗鲡	菲律宾	3.87±1.66	1.72—8.28	13.07±1.73	10.55—16.20

表 2 4 种鳗鲡可数性状均值与范围

Tab.2 Means and range of meristic characters of four species of eels

性状	日本鳗鲡		美洲鳗鲡		花鳗鲡		太平洋双色鳗鲡	
	均值±标准差	范围	均值±标准差	范围	均值±标准差	范围	均值±标准差	范围
胸鳍条	17.00±0.91	15—19	16.00±0.98	14—18	17.97±2.01	15—22	16.53±1.36	14—20
总脊椎骨	115.30±1.75	111—119	104.23±1.59	101—107	103.23±1.68	101—108	105.60±2.11	103—111
臀鳍前脊椎骨	38.63±1.33	36—41	41.03±1.27	38—43	40.30±1.69	38—44	41.77±1.10	39—44
臀鳍后脊椎骨	76.67±1.90	73—80	63.20±1.69	60—67	62.93±1.93	58—66	63.83±2.26	60—69

条数、臀鳍后脊椎骨数差异不显著。

2.2 可量性状与框架性状

2.2.1 方差分析 4 种鳗鲡的 29 个比例性状的均

值与方差分析结果见表 4。吻长/全长、 D_{1-2} /全长、 D_{1-5} /全长、 D_{5-8} /全长和 D_{5-9} /全长共 5 项性状在 4 种鳗鲡间都表现出显著性差异。而除以上性状外, 太平洋双色

表 3 4 种鳗鲡间可数性状的卡方检验结果

Tab.3 Chi-square test results for meristic characters from four species of eels

种类	可数性状			
	胸鳍条	总脊椎骨	臀鳍前脊椎骨	臀鳍后脊椎骨
日本鳗鲡-美洲鳗鲡	12.74**	44.92**	28.20**	44.75**
日本鳗鲡-花鳗鲡	3.09	45.07**	13.61**	44.58**
美洲鳗鲡-花鳗鲡	16.43**	7.07**	3.55	0.16
太平洋双色鳗鲡-日本鳗鲡	3.27	44.67**	38.52**	44.56**
太平洋双色鳗鲡-美洲鳗鲡	1.81	6.04*	4.65*	1.10
太平洋双色鳗鲡-花鳗鲡	8.10**	19.85**	12.80**	1.93

注: *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$)

表 4 4 种鳗鲡 29 个比例性状的均值与方差分析结果

Tab.4 Mean values and variance analysis results for 29 proportion characters from four species of eels

比例性状	日本鳗鲡	美洲鳗鲡	花鳗鲡	太平洋双色鳗鲡
体长/全长	0.991±0.005 ^a	0.988±0.003 ^{ab}	0.989±0.006 ^{ab}	0.989±0.005 ^{ab}
体高/全长	0.035±0.004 ^a	0.053±0.005 ^b	0.058±0.009 ^c	0.057±0.006 ^c
体厚/全长	0.030±0.003 ^a	0.042±0.005 ^b	0.051±0.006 ^c	0.051±0.004 ^c
头长/全长	0.112±0.006 ^a	0.128±0.007 ^b	0.134±0.006 ^c	0.132±0.007 ^c
吻长/全长	0.025±0.002 ^a	0.030±0.003 ^b	0.032±0.004 ^c	0.028±0.003 ^d
口裂高/全长	0.020±0.004 ^a	0.028±0.006 ^b	0.032±0.006 ^b	0.030±0.006 ^b
口裂宽/全长	0.020±0.003 ^a	0.027±0.003 ^b	0.031±0.005 ^c	0.029±0.005 ^{bc}
眼径/全长	0.012±0.002 ^a	0.015±0.002 ^{ab}	0.018±0.004 ^b	0.017±0.004 ^b
眼间距/全长	0.017±0.002 ^a	0.021±0.002 ^b	0.027±0.003 ^c	0.026±0.004 ^c
躯干长/全长	0.026±0.014 ^a	0.283±0.011 ^c	0.267±0.018 ^{ab}	0.272±0.013 ^b
背-臀鳍距/全长	0.102±0.007 ^a	0.103±0.016 ^a	0.166±0.011 ^b	0.014±0.012 ^c
D_{1-2} /全长	0.062±0.005 ^a	0.076±0.008 ^c	0.081±0.009 ^d	0.072±0.006 ^b
D_{1-4} /全长	0.116±0.006 ^a	0.135±0.006 ^b	0.139±0.004 ^c	0.137±0.009 ^{ac}
D_{1-5} /全长	0.291±0.013 ^b	0.329±0.011 ^c	0.255±0.007 ^a	0.405±0.019 ^d
D_{1-7} /全长	0.385±0.012 ^a	0.421±0.015 ^c	0.409±0.016 ^b	0.418±0.015 ^c
D_{2-3} /全长	0.059±0.005 ^a	0.066±0.007 ^b	0.066±0.009 ^b	0.066±0.010 ^b
D_{2-4} /全长	0.064±0.006 ^a	0.072±0.007 ^b	0.068±0.009 ^{ab}	0.068±0.010 ^{ab}
D_{2-6} /全长	0.308±0.021 ^a	0.337±0.014 ^c	0.324±0.020 ^b	0.332±0.017 ^{bc}
D_{2-7} /全长	0.328±0.025 ^a	0.353±0.014 ^c	0.338±0.024 ^{ab}	0.343±0.022 ^{bc}
D_{4-5} /全长	0.177±0.012 ^b	0.201±0.012 ^c	0.127±0.009 ^a	0.273±0.017 ^{bc}
D_{4-6} /全长	0.257±0.009 ^a	0.279±0.010 ^c	0.260±0.017 ^{ab}	0.269±0.014 ^b
D_{4-7} /全长	0.269±0.010 ^a	0.291±0.012 ^c	0.275±0.018 ^{ab}	0.286±0.017 ^{bc}
D_{4-8} /全长	0.876±0.007 ^a	0.851±0.019 ^b	0.853±0.012 ^b	0.862±0.020 ^b
D_{4-9} /全长	0.884±0.007 ^c	0.866±0.023 ^{ab}	0.863±0.011 ^a	0.873±0.019 ^b
D_{5-6} /全长	0.088±0.007 ^b	0.094±0.014 ^b	0.150±0.018 ^c	0.050±0.09 ^a
D_{5-7} /全长	0.099±0.011 ^b	0.107±0.014 ^b	0.162±0.020 ^c	0.056±0.010 ^a
D_{5-8} /全长	0.700±0.011 ^c	0.657±0.018 ^b	0.733±0.013 ^d	0.585±0.019 ^a
D_{5-9} /全长	0.709±0.011 ^c	0.669±0.018 ^b	0.743±0.012 ^d	0.595±0.018 ^a
D_{8-9} /全长	0.008±0.003 ^a	0.012±0.003 ^b	0.011±0.004 ^{ab}	0.011±0.005 ^{ab}

注: 同行右上标字母不相同表示差异显著($P<0.05$)

鳗鲡的背-臀鳍距/全长、 D_{5-6} /全长和 D_{5-7} /全长与其它 3 种鳗鲡存在显著性差异, 故可作为判别太平洋双色鳗鲡与其它 3 种鳗鲡的特定性状。

2.2.2 聚类分析 对 4 种鳗鲡的 29 个形态比例性状数据的平均值进行聚类分析(图 1), 结果表明日本鳗鲡与美洲鳗鲡形态较为接近, 先聚为一支, 种间欧氏距离为 0.012。再先后与花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡聚在一起, 种间欧氏距离分别为 0.023 和 0.064。

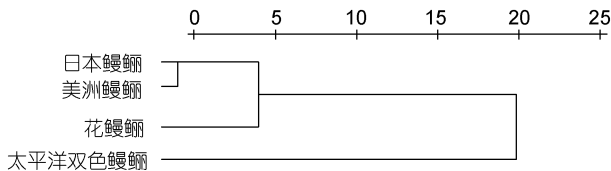


图 1 4 种鳗鲡形态聚类分析图

Fig.1 Diagram of cluster analysis of four species of eels

2.2.3 判别分析 用逐步判别程序对 29 个形态比例性状数据进行分析, 筛选出体高/全长 V_1 、体宽/全长 V_2 、眼径/全长 V_3 、眼间距/全长 V_4 、背-臀鳍距/全长 V_5 、 D_{1-2} /全长 V_6 、 D_{1-4} /全长 V_7 、 D_{4-5} /全长 V_8 、 D_{5-6} /全长 V_9 与 D_{5-8} /全长 V_{10} 等 10 个贡献率最大的比例性状, 建立的判别方程如下:

$$\text{日本鳗鲡} = -1708.091 + 616.072V_1 - 217.201V_2 - 2291.926V_3 + 955.522V_4 + 257.664V_5 - 770.667V_6 + 2736.503V_7 + 2341.758V_8 + 790.375V_9 + 3815.142V_{10}$$

$$\text{美洲鳗鲡} = -1645.830 - 24.437V_1 + 95.796V_2 - 1531.563V_3 - 237.110V_4 + 231.927V_5 - 426.066V_6 + 3263.337V_7 + 2312.568V_8 + 856.006V_9 + 3557.722V_{10}$$

$$\text{花鳗鲡} = -1854.628 - 353.513V_1 + 370.434V_2 - 1430.219V_3 + 506.177V_4 + 433.706V_5 - 210.414V_6 + 3435.674V_7 + 1904.150V_8 + 1196.167V_9 + 3777.428V_{10}$$

$$\text{太平洋双色鳗鲡} = -1556.362 - 468.055V_1 + 1268.340V_2 - 1562.301V_3 + 890.418V_4 + 351.813V_5 - 522.919V_6 + 3025.655V_7 + 2594.885V_8 + 585.375V_9 + 3366.427V_{10}$$

以上 4 方程可用于日本鳗鲡、美洲鳗鲡、花鳗鲡

和太平洋双色鳗鲡的种类判别, 即将样本的形态参数值分别代入 4 个判别方程中求值, 哪一个判别方程的值最大, 该样本即属于哪一种。为验证上述判别方程的准确性, 对本次测量样本的形态比例性状数据代入判别方程进行预测分类, 判别结果见表 5。综合判别准确率和交互验证判别准确率均高达 100%。该结果说明 4 种鳗鲡形态差异显著, 判别方程稳定有效。

2.2.4 主成分分析 对 4 种鳗鲡的 29 个比例性状进行主成分分析, 得到因子负荷值和对总变异的贡献率(表 6)。结果表明 7 项主成分特征根均大于 1, 方差贡献率分别为 28.837%、17.364%、12.503%、10.725%、6.894%、5.184% 和 3.904%, 对总变异的累积贡献率为 85.411%, 即该 7 个主成分可以解释 4 种鳗鲡间形态差异的 85.411%。第一主成分中, 形态比例性状口裂宽/全长、 D_{1-4} /全长、 D_{1-7} /全长和 D_{2-7} /全长的作用最大。第二主成分受 D_{4-8} /全长、 D_{4-8} /全长、 D_{5-8} /全长和 D_{5-9} /全长影响最大。

根据第一主成分和第二主成分绘制散点图(图 2), 可以清楚看出 4 种鳗鲡明显分开, 表明 4 种鳗鲡之间形态特征差异显著。影响第一和第二主成分较大的形态比例性状包括头部、躯干部和尾部。

3 讨论

3.1 太平洋双色鳗鲡的形态特点

Ege(1939)提出按背鳍前端与臀鳍前端之间的垂线距离与全长比值将鳗鲡分为两类, 比值大于 5% 称为长鳍型鳗鲡, 小于 5% 称为短鳍型鳗鲡。本实验检测的结果, 太平洋双色鳗鲡背-臀鳍距占全长的 1.4% 属短鳍型鳗鲡; 日本鳗鲡、美洲鳗鲡和花鳗鲡背-臀鳍距占全长比值分别为 10.2%、10.3%、16.6% 均属长鳍型鳗鲡。

对 4 项可数性状和 29 项比例性状的多元分析结果均表明, 太平洋双色鳗鲡与其它 3 种鳗鲡形态差异显著。在可数性状中, 太平洋双色鳗鲡的总脊椎骨数

表 5 判别方程对 4 种鳗鲡的预测分类及判别准确率

Tab.5 Predicted classification of discriminant equations for four species of eels and their percentages of accuracy

种类	预测种类				判别准确率(%)
	日本鳗鲡	美洲鳗鲡	花鳗鲡	太平洋双色鳗鲡	
日本鳗鲡	30	0	0	0	100
美洲鳗鲡	0	30	0	0	100
花鳗鲡	0	0	30	0	100
太平洋双色鳗鲡	0	0	0	30	100
综合判别准确率(%)	100				

表 6 4 种鳗鲡 29 个比例性状主成分分析的因子负荷值及对总变异的贡献率
Tab.6 Factor loadings and contribution ratio to total variances of principal components extracted from 29 proportion characters in four species of eels

比例性状	主成分						
	1	2	3	4	5	6	7
体长/全长	-0.678	0.221	0.430	0.137	-0.385	0.252	0.188
体高/全长	0.584	0.114	-0.465	-0.113	0.317	0.260	0.220
体厚/全长	0.113	0.521	-0.411	-0.046	0.507	0.184	0.222
头长/全长	0.583	0.008	0.169	0.442	-0.001	0.378	0.027
吻长/全长	0.520	-0.442	0.254	0.206	0.274	0.005	0.454
口裂高/全长	0.623	-0.323	-0.193	0.087	0.199	-0.367	0.166
口裂宽/全长	0.753	-0.155	-0.069	0.211	0.165	0.002	-0.244
眼径/全长	-0.439	0.272	0.622	0.285	0.150	0.313	0.058
眼间距/全长	0.632	-0.123	0.194	0.277	0.290	0.442	-0.083
躯干长/全长	0.702	0.112	0.104	0.096	-0.259	-0.366	-0.221
背-臀鳍距/全长	0.323	0.333	-0.348	0.394	-0.216	-0.257	0.357
D_{1-2} /全长	0.080	-0.301	0.619	0.398	0.284	-0.137	0.172
D_{1-4} /全长	0.749	-0.097	0.191	0.419	0.056	0.173	-0.151
D_{1-5} /全长	0.471	-0.032	0.667	-0.325	0.263	0.085	-0.212
D_{1-7} /全长	0.845	0.161	0.297	-0.152	-0.014	-0.025	0.157
D_{2-3} /全长	0.696	0.149	-0.279	0.208	-0.384	0.291	-0.154
D_{2-4} /全长	0.715	0.200	-0.271	0.148	-0.365	0.295	-0.106
D_{2-6} /全长	0.688	0.380	0.205	-0.294	-0.374	-0.008	0.043
D_{2-7} /全长	0.751	0.311	0.026	-0.172	-0.408	0.025	0.107
D_{4-5} /全长	0.347	0.253	0.434	-0.693	0.212	0.013	-0.092
D_{4-6} /全长	0.261	0.540	0.309	-0.548	-0.079	-0.013	0.356
D_{4-7} /全长	0.561	0.315	0.075	-0.590	0.003	-0.045	0.092
D_{4-8} /全长	-0.115	0.759	0.480	0.226	0.107	-0.195	-0.164
D_{4-9} /全长	0.054	0.749	0.399	0.205	0.214	-0.273	-0.223
D_{5-6} /全长	-0.334	0.666	-0.427	-0.172	0.199	0.173	-0.278
D_{5-7} /全长	-0.380	0.699	-0.379	-0.164	0.286	0.232	0.080
D_{5-8} /全长	-0.028	0.780	-0.043	0.522	0.010	-0.157	0.086
D_{5-9} /全长	0.153	0.744	-0.159	0.501	0.113	-0.228	0.038
D_{8-9} /全长	0.678	-0.221	-0.430	-0.137	0.385	-0.252	-0.188
各主成分贡献率(%)	28.837	17.364	12.503	10.725	6.894	5.184	3.904
累计贡献率(%)	28.837	46.201	58.704	69.429	76.323	81.507	85.411

显著小于日本鳗鲡, 显著大于美洲鳗鲡和花鳗鲡, 背鳍前脊椎骨数显著大于其它 3 种鳗鲡; 在可量性状中, 太平洋双色鳗鲡的吻长显著小于美洲鳗鲡和花鳗鲡, 显著大于日本鳗鲡; 在框架结构比例性状中, 太平洋双色鳗鲡有 6 项与其它 3 种鳗鲡差异显著, 其中 5 项与背鳍起点有关。通过对该 5 项比例性状的分析, 可比较 4 种鳗鲡背鳍的相对起点: 花鳗鲡的背鳍起点最靠前, 日本鳗鲡、美洲鳗鲡背鳍起点相对靠后, 太平洋双色鳗鲡的背鳍起点最靠后。本研究结果与龚小玲等(2010)通过背鳍、臀鳍前脊椎骨数以及与总脊椎骨数的比值等 7 项指标的分析结果完全一致, 表明背鳍起点在鳗鲡分类研究中的重要性以及可靠性, 也说明背鳍起点在鳗鲡分类研究中是重要的框架结构定

位点。

3.2 4 种鳗鲡的形态差异多元分析

本研究通过方差、聚类、判别和主成分共 4 种多元分析方法对 4 种鳗鲡的 29 个比例性状差异进行了分析。结果表明, 4 种鳗鲡形态差异明显, 多个性状差异显著。多元分析结果类似, 从不同角度反映了 4 种鳗鲡的形态差异。

方差分析即在多个性状中找出差异显著的性状。在 29 个形态比例性状中, 吻长/全长、 D_{1-2} /全长、 D_{1-5} /全长、 D_{5-8} /全长和 D_{5-9} 在 4 种鳗鲡间均表现出显著差异, 多与背鳍起点有关。聚类分析可将不同的群体进行初步归类, 量化群体间的差异程度, 分析群体间的相似程度。本研究中太平洋双色鳗鲡与其它 3 种鳗鲡

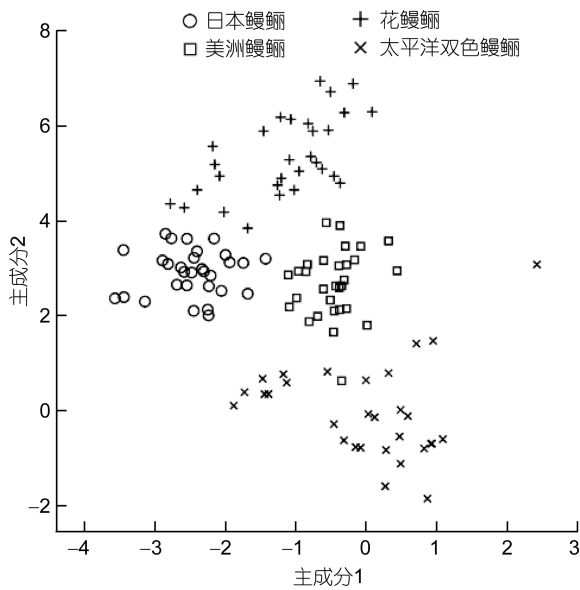


图2 4种鳗鲡29个比例性状第1主成分对第2主成分散点图

Fig.2 Scatter diagram for first and second principal component of 29 proportion characters in four species of eels

差距较远,单独聚为一支。日本鳗鲡与美洲鳗鲡聚为一支,花鳗鲡也单独聚为一支。这与分子学研究方法得出的鳗鲡亲缘关系基本一致(Jamandre *et al*, 2007; Teng *et al*, 2009),表明在养殖条件基本一致时,该4种鳗鲡形态学差异基本受遗传因子作用。判别分析是鱼类种群/种间鉴定的一种常用方法,通过建立判别方程,判定鱼类种群/种类的所属。判别正确率的高低说明了判别分析的有效性程度和不同群体形态差异的显著程度。本研究中对4种鳗鲡幼鱼分别构建了4个判别方程,判别正确率全部为100%,表明能够从形态特征上对4种鳗鲡幼鱼进行准确分类。筛选出的10个对判别效果显著的形态性状,头部、尾部、躯干部均有,差异性性状分散而不集中。主成分分析是将多个参数综合成少数指标的统计方法,提取的主成分可以体现大部分变异。本研究中共提取了7个主成分,对总变异的累积贡献率高达85.411%。其中对第一和第二主成分中具有较大因子负荷值的性状,散布全身,这与判别分析得出的结果表现了一致性。

3.3 框架分析法在鱼类形态判别上的应用

传统的鱼类形态差异研究,所采用的可量性状只包括水平、垂直方向,且多局限于头部和尾柄部分,未能覆盖整个鱼体,故难以全面地描述鱼体形态(谢仲桂等,2003)。20世纪80年代初,Humphries等(1981)提出了框架分析法,即选取一定数量的框架结构定位点,将鱼体分成若干个功能单元区,从多维空间去

度量其外部形态(包括纵向、横向和斜向测量距离),以反映其体形特征的方法。目前,框架法已被逐步应用与鱼类分类和种质鉴定方面的研究,并在多个分类级(种间、同种的不同地理种群、同种的不同品系)中获得了较好的效果。谢仲桂等(2003)研究了我国华鳊属鱼类形态差异及其物种有效性,楼宝等(2009)研究了青岛和舟山褐牙鲈群体形态差异,李思发等(1998)比较了尼罗罗非鱼五个品系的形态差异。本文选取了9个框架结构定位点,共18项框架数据并结合传统的可量,可数数据对4种鳗鲡幼鱼形态差异研究。多元分析结果显示,5个差异显著的比例性状中有4个是框架结构性状;筛选出的10个对判别效果显著的形态性状有5个是框架结构性状;决定第一和第二主成分的9个形态性状中有7个是框架结构性状。本研究中,框架结构较好地反应了4种鳗鲡的形态差异,但框架结构定位点的选择仍需进一步研究。

3.4 形态差异与遗传因子

鳗鲡属鱼类体型相似,一直难以确定准确有效的种间分类指标。Watanabe(2001)对Ege的鳗鲡属鱼类分类系统进行研究,认为许多形态特征因为在不同种间的相似和重叠,在分类鉴定中并不有效。提出花纹形态及背臀鳍间脊椎骨数作为鳗鲡分类的关键指标。然而在一些淡水鳗鲡鉴定中,会出现分类错误的现象。鱼类比其它脊椎动物有更大的种群内部和种群之间的变异,更易受环境因素引起的形态变异影响,从而也影响了其分类鉴定的准确性(Wimberger, 1992; Watanabe, 2001; Ken, 1994)。本研究所采用的样本均由集美大学海水试验场提供,养殖条件和规格大小基本一致,减小了环境因子对4种鳗鲡形态差异的影响。因此,可以认为分析得出的太平洋双色鳗鲡与其它3种鳗鲡的形态差异基本由遗传因子差异产生。

参 考 文 献

- 李学军, 李爱景, 李思发, 2008. 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. 海洋与湖沼, 39(6): 683—688
- 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
- 杨弘, 王希道, 吴婷婷等, 2002. 用RAPD技术研究3种鳗鱼的种质鉴定. 中国水产科学, 3: 38—43
- 吴成业, 刘兆钧, 2004. 中国鳗业面临的困难与对策. 福建水产, 12(4): 16—19
- 龚小玲, 李思发, 2010. 鳗鲡属六种鱼类形态判别研究. 动物分类学报, 35(3): 562—567
- 谢仲桂, 谢从新, 张 鹤, 2003. 我国华鳊属鱼类形态差异及其物种有效性的研究. 动物学研究, 24(5): 321—330

- 楼 宝, 龚小玲, 毛国民等, 2009. 青岛和舟山褐牙鲈群体形态差异分析. 上海海洋大学学报, 18(1): 14—20
- Brzeski V J, Doyle R W, 1995. A test of an on-farm selection procedure for tilapia in Indonesia. *Aquaculture*, 137: 219—230
- Ege V, 1939. A revision of the genus *Anguilla* Shaw, a systematics, phylogenetic and geographical study. *Dana Report*, 16: 1—256
- Han Y S, Yu C H, Yu H T, 2002. The exotic American eel in Taiwan: ecological implications. *Journal of Fish Biology*, 60: 1608—1612
- Hartmut R, Carmen G S, Ricardo I *et al*, 2002. Differentiation of raw or processed eel by PCR- based techniques: restriction fragment length polymorphism analysis (RFLP) and single strand conformation polymorphism analysis (SSCP). *Eur Food Res Technol*, 214: 171—177
- Humphries J M, 1981. Multivariate discrimination by shape in relation to size. *Syst Biol*, 30(3): 291—308
- Ihssen P E, Booke H E, Casselman J M *et al*, 1981. Stock identification: materials and methods. *Can J Fish Aquat Sci*, 8: 1838—1855
- Jamandre B W D, Shen K N, Yambot A V *et al*, 2007. Molecular phylogeny of Philippine freshwater eels *Anguilla* spp. (actinopterygi: anguilliformes: anguillidae) inferred from mitochondrial DNA. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 14: 51—59
- Ken J T, 1994. The complex bingham distribution and shape analysis. *J R Stat Soc B*, 56: 285—299
- Nacy L S, Doyle R W, 1995. The coordination of growth in juvenile tilapia (*Oreochromis mossambicus*×*O. hornorum*). *Aquaculture*, 8(7): 231—245
- Teng H Y, Lin Y S, Tzeng C S, 2009. A new *Anguilla* species and a reanalysis of the phylogeny of freshwater eels. *Zoological Studies*, 48(6): 808—822
- Vicky A, Bjarni J, Louis B, 2006. Natural hybrids in Atlantic eels (*Anguilla anguilla*, *A. rostrata*): evidence for successful reproduction and fluctuating abundance in space and time. *Molecular Ecology*, 15: 1903—1916
- Watanabe S, 2001. Taxonomy of the freshwater eels, genus *Anguilla*. *Aquat Biol*, 23(2): 114—122
- Wimberger P H, 1992. Plasticity of fish body shape. The effects of diet, development, family and age in two species of Geophagus (Pisces: Gichlidae). *Biol J Linn Soc*, 45: 197—218

MORPHOLOGICAL VARIATIONS ANALYSIS BETWEEN *ANGUILLA BICOLOR PACIFICA* AND THE OTHER THREE SPECIES OF EELS

LUO Ming-Zhong^{1,2,3,4}, GUAN Rui-Zhang^{1,3,4}, LI Zhong-Qin^{3,4},
JIN Heng^{3,4}, XU Ji-Song^{3,4}

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049; 3. Engineering Research Centre of Eel Modern Technical Industry, Ministry of Education, Xiamen, 361021; 4. Fisheries College, Jimei University, Xiamen, 361021)

Abstract Eels are one of most importance culture species in the world aquaculture, which have high nutritional value and delicious flavour. Unfortunately, natural resources of *Anguilla japonicus* elvers have been declining in recent years; and the supply of the elver is far insufficient to meet the demand from aquaculture. *A. bicolor pacifica* having high survival rates and excellent growth performance, *A. bicolor pacifica* has been chosen for aquaculture as the best substitute of *A. japonicus*. In this paper, traditional morphological data and truss network data were combined to conduct four multivariate analysis methods, including variance analysis, cluster analysis, discriminant analysis, and principal component analysis, to study the morphological variations between *A. bicolor pacifica* and other three species of eels, including *A. japonicus*, *A. rostrata*, and *A. marmorata*. The results show: (1) As the proportion of the distance between verticals from origin of dorsal fin and anal fin to the total length is 1.4%, *A. bicolor pacifica* were classified as short-finned eel. (2) Morphological variations between *A. bicolor pacifica* and other three species of eels are significant. As a meristic character, the number of total vertebra of *A. bicolor pacifica* was significantly less than that of *A. japonicus*, but *A. rostrata*, and *A. marmorata* were just opposite. Meanwhile, the number of predorsal vertebra of *A. bicolor pacifica* was significantly greater than those of other three species of eels. The snout length of *A. bicolor pacifica* was significantly shorter than that of *A. rostrata* and *A. marmorata*, but *A. japonicus*, longer. Among all the truss network characters, six were significantly different between *A. bicolor pacifica* and other three. (3) The origin point of dorsal fin of *A. bicolor pacifica* was the rearest among all the eels, which is an important indicator in the classification of eels. This research may provide basic data for reasonable introduction and germ plasma resources protection of *A. bicolor pacifica*.

Key words *Anguilla bicolor pacifica*; morphological variation; truss network analysis; multivariate analysis