

我国沿海鲮鱼(*Mugil cephalus*)不同地理 群体形态差异研究*

刘建勇^{1,2} 杨廷宝¹

(1. 中山大学生命科学学院 广州 510275; 2. 广东海洋大学水产学院 湛江 524025)

提要 运用多变量形态度量学分析方法, 对我国沿海的四个鲮鱼群体 110 个个体的形态变异进行了分析。聚类分析和主成分分析结果表明, 位于我国南部沿海的广东湛江群体(ZJ)与福建厦门群体(XM)形态最为接近, 位于北部沿海的河北塘沽群体(HB)与山东青岛群体(QD)的形态最为接近; 而南、北部群体间的趋异程度较大, 有一定程度的形态分化。主成分分析前 3 个主成分对不同群体间总变异方差的贡献率分别为: 50.00%、12.16%、11.10%, 累积贡献率为 73.25%。主成分分析结果表明, 四个鲮鱼群体在形态上的差别很大程度上是由体型的高低、长短引起的, 且主要集中在胸部和尾部。判别分析中采用 9 个不同的变量, 分别构建了四个鲮鱼群体的判别公式, 判别正确率达到 99.1%。

关键词 鲮鱼, 群体, 形态差异, 框架分析

中图分类号 S96

鲮鱼(*Mugil cephalus*)隶属于鲮形目(Mugiliformes)、鲮科(Mugilidae)、鲮属(*Mugil*), 自北纬 42° 至南纬 42° 之间的世界沿海均有分布(Rossi *et al.*, 1998a; Thomson, 1997)。鲮鱼广泛分布于我国沿海, 具有生长快、病害少、食性广、广盐性、肉味鲜美等特点, 是我国咸淡水养殖的重要经济鱼类之一。国内有关鲮鱼的研究主要集中于繁殖生物学、生理、生态及养殖技术方面(李加儿等, 1998; 陈惠彬, 1993), 有关我国沿海鲮鱼不同地理群体的形态学和遗传结构差异方面的研究尚未见报道。

生物形态是物种许多性状的集合, 是遗传因子和环境作用的产物(Motta *et al.*, 1991; Scheiner *et al.*, 1989)。目前, 在进行渔业管理所开展的群体研究中, 不仅常使用遗传学手段, 形态学方法也被广泛应用。传统的形态学分析是采用可数性状及可量性状的单一比较, 这对种间及种上水平的鉴定有效, 但对种内不同地理群体的鉴定往往无能为力(Cadrin, 2000)。框架分析法选取一定数量的解剖学同源坐标点, 采用

框架结构, 将生物体分成若干功能单元区, 从多维空间去度量生物体外部形态, 包括纵向、横向和斜向的测量距离。与传统形态度量法相比, 框架分析方法在反映形态差异方面更有效(Erguden *et al.*, 2005; Roby *et al.*, 1991)。本研究应用可量性状和框架数据, 以聚类分析、判别分析、主成分分析三种多元分析方法, 对我国四个海区鲮鱼的形态差异进行综合分析, 旨在为其种质资源评价、保护和合理利用, 以及后续良种选育提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用鲮鱼(*Mugil cephalus*)分别采集于我国的四个海区, 即: 河北塘沽(HB)、山东青岛(QD)、福建厦门(XM)及广东湛江(ZJ), 各海区的取样数量分别为: 33、17、30、30 尾。各地取样样本的体长范围为 29.7—49.6cm, 体重范围为 815.5—1551.5g。取样时间为 2008 年 1—3 月, 新鲜材料用碎冰保存运输到实

* 国家“863”项目资助, 2006AA09418 号; 国家自然科学基金资助项目, 30771659 号。刘建勇, 副教授, 博士研究生, E-mail: liujy@gdou.edu.cn

通讯作者: 杨廷宝, 教授, 博导, E-mail: lssybt@mail.sysu.edu.cn

收稿日期: 2008-05-23, 收修改稿日期: 2008-07-12

实验室,洗净稍干后称重,并直接用于体长及框架结构的数据测量。

1.2 数据测量

选用 11 个解剖学坐标点(Landmark Point)。每个样本测量 24 个形态指标,它们由 11 个框架坐标点之间的 23 个形态距离,与传统可量数据——体长(Standard Length, *SL*)构成。解剖学坐标点及测量指标情况如封面图所示。采用游标卡尺(双菱牌,广州工具厂出品,精度为 0.01mm)、两脚规配合直尺等测量工具进行测量,共测量了四个海区共 110 尾鲮鱼的 2640 个形态数据。

1.3 数据分析

测量所得数据先用 Microsoft Excel 进行初步统计,为了消除鱼体规格大小对各参数值的影响,先将每尾鱼的所有参数除以它的体长加以校正。然后采用 SPSS For win 11.0 统计软件进行主成分分析、聚类分析和判别分析。

本研究通过计算机程序从 23 个参数计算互不关联的综合性指标,即主成分(1)、主成分(2)、主成分(3)等,并计算各主成分的贡献率和它们的累计贡献率。主成分贡献率和累计贡献率的计算参照张尧庭等(1983)的方法;聚类方法为欧氏距离的最短距离系统聚类法;判别分析采用逐步判别进行分析:将各参数除以体长予以校正,然后利用挑选后的形态参数建立鲮鱼四个群体的判别公式。判别准确率的计算公式为:

判别准确率 $P_1(\%) = \text{判别正确的尾数} / \text{实测尾数} \times 100$

判别准确率 $P_2(\%) = \text{判别正确的尾数} / \text{判别尾数} \times 100$

综合判别率采用下列公式来计算:

$$\frac{\sum_{i=1}^k A_i}{\sum_{i=1}^k B_i}$$

式中, A_i 为第 i 个群体判别正确的尾数, B_i 为第 i 群体的实际尾数, k 为群体数。

2 结果

2.1 主成分分析

由鲮鱼形态性状相关矩阵的特征根、贡献率及累计贡献率(表 1)可知:前三个主成分对不同群体间总变异方差的贡献率分别为 50.00%、12.16%、11.10%,累计贡献率为 73.25%,包含其总变量差的大部分,说明可以用几个相互独立的因子来概括不同品系间的形体差异。各指标在第一主成分上的负荷数多数为

正值(表 2),其中指标 6—8、6—9、7—8、7—9、10—11 的绝对值较大,因此第一主成分主要反应的是鱼类体高特征;第二主成分中指标 1—4、7—10 的负荷绝对值较大,主要反应的是鱼类体长特征;第三主成分中指标 9—11、9—10 的负荷绝对值较大,主要反应的是鱼类尾部形态特征。以上指标主要反映的是鲮鱼体型的高低、长短,且主要集中于胸部、尾部的形态特征。

表 1 鲮鱼形态性状相关矩阵的特征根、贡献率及累计贡献率

Tab.1 The characteristic root, contribution rate, and correlation matrix of morphological traits of *M. cephalus*

主成分	特征根	贡献率(%)	累计贡献率(%)
PC1	11.50	50.00	50.00
PC2	2.80	12.16	62.16
PC3	2.55	11.10	73.25
PC4	1.39	6.05	79.31
PC5	1.15	4.99	84.30
PC6	0.98	4.26	88.55
PC7	0.58	2.54	91.09

2.2 聚类分析

基于校正后的形态度量学数据计算,各群体间的欧氏距离平均值为 0.0175,其中 ZJ 和 XM 之间的距离值(0.0025)最小,而 ZJ 和 QD 群体之间的距离(0.0198)最大。基于欧氏距离,采用最小邻接法构建了鲮鱼不同地理群体间的聚类图(图 1)。4 个鲮鱼群体聚类成 2 个不同的组,第 1 组包括 ZJ 和 XM 群体,第 2 组包括 QD 和 HB 群体。聚类分析结果提示 ZJ 和 XM 群体间亲缘关系较近,而 QD 和 HB 群体间亲缘关系较近。

2.3 判别分析

所有个体的形态学参数都被用于逐步判别分析。 F 检验结果显示,四个鲮鱼群体间形态差异显著($P < 0.01$),判别效果较好。为提高判别公式的实用性,从 23 个校正的形态参数中选出对判别贡献较大的 9 个参数进行判别,这 9 个变量分别为:1—2(X_1)、1—3(X_2)、2—3(X_3)、2—4(X_4)、3—4(X_5)、6—8(X_6)、7—8(X_7)、7—11(X_8)、8—9(X_9)的校正值。所得公式如下:

(1) HB 群体

$$Y_1 = -2364.440 + 4069.024X_1 + 1298.181X_2 + 1010.562X_3 + 5746.980X_4 - 752.252X_5 - 5087.530X_6 + 8951.123X_7 + 4633.149X_8 - 296.468X_9$$

表 2 鲮鱼形态性状主成分载荷矩阵

Tab.2 The loading of principal components (PC) of morphometric characters in different *M. cephalus* populations

性状	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1—2	-0.9057	0.2768	0.0970	0.0901	0.1302
1—3	-0.7189	0.4233	-0.0539	0.2764	0.1570
1—4	-0.3095	0.7211	0.1833	0.0326	0.3200
2—3	0.6569	0.0073	0.5395	0.0790	0.1712
2—4	0.8969	0.1278	-0.1564	-0.0614	0.0120
3—4	0.9018	0.2466	0.0672	0.1656	0.1254
3—5	0.9232	0.2379	-0.0501	0.0490	0.1904
3—8	0.6067	0.0655	0.3274	0.2263	0.1200
4—5	0.4671	0.1719	-0.5895	-0.2443	0.2633
4—8	0.8880	0.0486	0.2385	0.2464	0.0231
5—6	-0.1681	-0.2770	0.4748	0.4766	-0.5670
5—8	0.8772	0.0360	0.3679	0.2334	-0.0296
6—7	0.6297	0.2940	-0.2283	-0.2041	-0.4461
6—8	0.9613	0.1380	-0.0315	0.0371	-0.0248
6—9	0.9403	0.0277	0.2006	-0.0449	0.0403
7—8	0.9046	0.1312	-0.2369	-0.0849	-0.1600
7—9	0.8588	-0.0002	-0.2131	0.2460	0.1123
7—10	0.0250	-0.8228	0.1658	-0.1869	0.2688
7—11	0.3194	-0.6815	0.4187	-0.1817	0.3420
8—9	0.5983	-0.0105	0.2444	-0.6405	-0.2767
9—10	0.4327	-0.3360	-0.7208	0.2985	-0.0222
9—11	0.1602	-0.6058	-0.5625	0.3114	0.0399
10—11	-0.9057	0.2768	0.0970	0.0901	0.1302

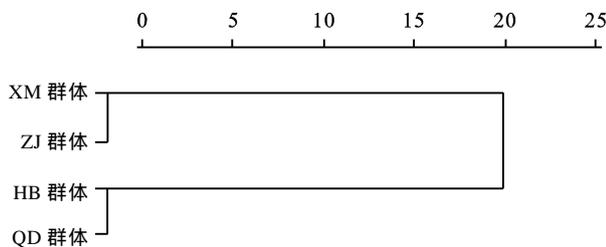


图 1 由欧氏距离产生的鲮鱼四群体的聚类图

Fig.1 Cluster dendrogram of four *M. cephalus* populations in the Euclidean distance

(2) QD 群体

$$Y_2 = -2267.130 + 4248.990X_1 + 1017.077X_2 + 1433.128X_3 + 5570.900X_4 - 817.690X_5 - 4668.413X_6 + 8319.710X_7 + 4510.866X_8 - 145.977X_9$$

(3) XM 群体

$$Y_3 = -2459.161 + 4540.590X_1 + 722.613X_2 + 1322.161X_3 + 6069.303X_4 - 856.786X_5 - 4371.138X_6 + 8505.462X_7 + 4575.978X_8 + 30.681X_9$$

(4) ZJ 群体

$$Y_4 = -2464.719 + 4125.159X_1 + 1159.806X_2 + 1063.654X_3 + 5902.785X_4 - 625.517X_5 - 4469.478X_6 + 8742.844X_7 + 4423.324X_8 - 264.079X_9$$

判断鲮鱼个体的群体归属时, 可将鲮鱼个体各测量指标除以体长值进行校正, 然后分别代入以上四个分类函数公式, 具有相应的最大函数值的即表明该鱼属于该种群。为验证上述判别公式的实用性, 对测量样本按判别公式进行预测分类。判别结果见表 3。由表 3 可见, HB、QD 和 XM 三个群体的判别准确率

表 3 基于大小调整的形态数据的鲮鱼四种群判别分析结果
Tab.3 Results of discriminant analysis on four *M. cephalus* populations using size-adjusted morphological data

种群	预测种群				准确率(%)	综合判别率(%)
	HB	QD	XM	ZJ		
HB	33	0	0	0	100	
QD	0	17	0	0	100	
XM	0	0	30	0	100	99.1
ZJ	0	0	1	29	96.7	
合计	33	17	31	29		

为 100%, ZJ 群体的判别准确率为 96.7%, 综合判别准确率为 99.1%。

3 讨论

本研究运用多变量形态度量学分析方法, 对我国沿海的四个鲮鱼群体的形态变异进行了分析。聚类分析和主成分分析结果表明, 位于我国南部沿海的广东湛江群体(ZJ)与福建厦门群体(XM)形态最为接近; 位于我国北部沿海河北塘沽群体(HB)与山东青岛群体(QD)的形态最为接近; 而南、北部群体间的趋异程度较大, 有一定程度的形态分化。主成分分析中前 3 个主成分对不同群体间总变异方差的贡献率分别为: 50.00%、12.16%、11.10%, 累积贡献率为 73.25%, 包含了它们总变量差的大部分, 说明可以用几个相互独立的因子来概括不同鲮鱼群体间的形体差异。第一主成分主要反应的是鱼类体高特征, 第二主成分主要反应的是鱼类体长特征, 由此可以认为: 四个鲮鱼群体在形态上的差别很大程度上是体型的高低、长短引起的。判别分析中采用 9 个不同的变量, 分别构建了四个鲮鱼群体的判别公式, 判别正确率达到 99.1%。

主成分分析和判别分析表明鲮鱼不同群体间具有显著的形态差异。这与遗传学研究结果相一致, 如同工酶遗传变异及线粒体序列标记检测结果表明, 鲮鱼各大洋不同种群之间存在明显的遗传分化(Crosetti *et al*, 1993, 1994; Rossi *et al*, 1998b)。鲮鱼分布非常广泛, 其群体间的基因交流主要是通过幼体期的漂浮和成鱼的迁移造成的(Rossi *et al*, 1998a), 虽然目前鲮鱼在中国沿岸的迁移模式还不是很清楚, 但已有研究表明(Chang *et al*, 2004; Chen *et al*, 1989; Lee, 1992), 产卵后的鲮鱼及幼体能够主动的向亲体的原栖息地迁移。另外, 鲮鱼沿岸生活, 栖息地不连续(Chang *et al*, 2000a, b; 宋佳坤, 1981), 这种独特的生活方式, 可能会造成群体间的遗传分化。

一直以来, 中国沿海的鲮鱼被分为南、北两个类群, 南方群体的繁殖期在 12 月—翌年 1 月, 北方群体的繁殖期在每年的 3—4 月(宋佳坤, 1981)。本研究的聚类分析结果证实, 位于我国南、北部群体间的形态差异较大。地理隔离、繁殖期的不同以及南北方自然环境因子的较大差异, 可能造成鲮鱼群体间无法进行基因交流, 长期的独立进化导致了我国南、北鲮鱼群体间的遗传差异。生物种群作为独立的生物学单元, 在不同的环境条件下的适应和进化的潜在能力, 是

受种群间个体的交换所限制的, 足够程度的隔离, 也许可以导致鱼类种内种群间的明显的表型和遗传差异, 这可以作为分开管理不同种群的基础(Turan, 2004)。分布于中国沿海的一些其它海洋生物, 如: 鲟鱼(*Chelon haematocheilus*)(Liu *et al*, 2007)、泥蚶(*Tegillarca granosa*)(李太武等, 2003)、青蛤(*Cyclina sinensis*)(潘宝平等, 2005)等不同地理群体间也表现出相类似的遗传分化。

然而, 并不是所有的形态学差异均归因于遗传学差异。通常在形态度量学特征上, 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, 且更易受环境引起的形态变异影响(Wimberger, 1992)。许多研究表明, 环境因素也可能对鱼类形态产生影响(Kent, 1994; Shepherd, 1991; West-Eberhard, 1989)。因此, 鲮鱼不同群体形态学上的差异是否是由于群体间遗传上的差异造成的尚需从分子遗传学等方面作进一步探讨与比较。

本研究中采用 9 个不同的变量, 分别构建了四个鲮鱼群体的判别公式, 判别正确率达到 99.1%, 判别率较高。同遗传学分析相比, 形态度量学方法更加方便、迅速、破坏性小, 比较适合对鲮鱼个体所属居群进行快速有效的判别。因此, 本研究结果可为我国鲮鱼良种选育、种质资源保护措施的制定提供基础资料, 有利于我国鲮鱼资源的保护与可持续利用。但是对形态特征差异的评价只是种质评估的方法之一, 要对鲮鱼的种质进行全面系统的评估, 应将形态特征、生理生化指标和分子遗传标记等结合起来进行全面的研究。

参 考 文 献

- 李太武, 宋林生, 2003. 5 个泥蚶群体遗传多样性的 RAPD 分析. 生物多样性, 11: 118—124
- 李加儿, 区又君, 1998. 广东池养鲮鱼的繁殖生物学. 中国水产科学, 5: 38—42
- 宋佳坤, 1981. 我国鲮科鱼类头部侧线管形态及系统分类. 动物学集刊, 第 1 集: 9—21
- 张尧庭, 方开泰, 1983. 多元统计分析引论. 北京: 科学出版社, 393—401
- 陈惠彬, 1993. 我国鲮科鱼类人工繁殖技术及进展. 现代渔业信息, 8: 1—5
- 潘宝平, 宋林生, 卜文俊等, 2005. 青蛤两个异域种群的遗传多样性与分化研究. 水生生物学报, 29: 372—378
- Cadrin S X, 2000. Advances in morphometric identification of fishery stocks. Rev Fish Biol Fisher, 10: 91—112
- Chang C W, Tzeng W N, 2000. Species composition and seasonal

- occurrence of mullets (Pisces, Mugilidae) in the Tanshui estuary northwest Taiwan. *Journal of the Fisheries Society of Taiwan*, 27: 253—262
- Chang C W, Tzeng W N, Lee Y C, 2000. Recruitment and hatching dates of grey mullet (*Mugil cephalus* L.) juveniles in the Tanshui estuary of northwest Taiwan. *Zool Stud*, 39: 99—106
- Chang C W, Y, Iizuka Y, Tzeng W N, 2004. Migratory environmental history of the grey mullet *Mugil cephalus* as revealed by otolith Sr:Ca ratios. *Mar Ecol-Prog Ser*, 269: 277—288
- Chen W Y, Su W C, Shao K T *et al*, 1989. Morphometric studies of the grey mullet (*Mugil cephalus*) from the waters around Taiwan. *Journal of the Fisheries Society of Taiwan*, 16: 153—163
- Crosetti D, Avise J C, Placidi F, Rossi A R *et al*, 1993. Geographic variability in the grey mullet *Mugil cephalus*: preliminary results of mtDNA and chromosome analyses. *Aquaculture*, 111: 95—101
- Crosetti D, Nelson W S, Avise J C, 1994. Pronounced genetic structure of mitochondrial DNA among populations of the circumglobally distributed grey mullet (*Mugil cephalus*). *J Fish Biol*, 44: 47—58
- Erguden D, Turan C, 2005. Examination of genetic and morphologic structure of sea-bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758) populations in Turkish coastal waters. *Turk J Vet Ani Sci*, 29: 727—733
- Ken J T, 1994. The complex bingham distribution and shape analysis. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 56: 285—299
- Lee S C, 1992. Fish fauna and abundance of some dominant species in the estuary of Tanshui, northwestern Taiwan. *Journal of the Fisheries Society of Taiwan*, 19: 263—271
- Liu J, Gao T X, Wu S *et al*, 2007. Pleistocene isolation in the Northwestern Pacific marginal seas and limited dispersal in a marine fish, *Chelon haematocheilus* (Temminck & Schlegel, 1845). *Mol Ecol*, 16: 275—288
- Motta P J, Kotrschal K M, 1991. Correlative, experimental, and comparative evolutionary approaches in ecomorphology. *Neth J Zool*, 42: 400—415
- Roby D, Lambert J D, Sevigny J M, 1991. Morphometric and electrophoretic approaches to discrimination of capelin (*Mallotus villosus*) populations in the estuary and gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48: 2040—2050
- Rossi A R, Capula M, Crosetti D, Campton D E *et al*, 1998a. Genetic divergence and phylogenetic inferences in five species of Mugilidae (Pisces: Perciformes). *Mar Biol*, 131: 213—218
- Rossi A R, Capula M, Crosetti D, Campton D E *et al*, 1998b. Allozyme variation in global populations of striped mullet, *Mugil cephalus* (Pisces: Mugilidae). *Mar Biol*, 131: 203—212
- Scheiner S M, Lyman R F, 1989. The genetics of phenotypic plasticity I. heritability. *J Evolution Biol*, 2: 95—107
- Shepherd G, 1991. Meristic and morphometric variation in black sea bass north of cape hatteras, North Carolina. *N Am J Fish Manage*, 11: 139—148
- Thomson J M, 1997. The mugilidae of the world. *Queensland Museum*, 41: 457—562
- Turan C, 2004. Stock identification of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using morphometric and meristic characters. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 774
- West-Eberhard M J, 1989. Phenotypic plasticity and the origins of diversity. *Annu Rev Ecol S*, 20: 249—278
- 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 VARIATION OF GREY MULLET *MUGIL CEPHALUS* IN DIFFERENT GEOGRAPHICAL POPULATIONS ALONG CHINA COAST

LIU Jian-Yong^{1, 2}, YANG Ting-Bao¹

(1. School of Life Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, 510275; 2. Fisheries College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang, 524025)

Abstract Morphological variations among four geographical populations of *Mugil cephalus* were analyzed using three multivariation analysis methods using 23 morphometric proportional parameters. The results of clusters analysis and principal component analysis show similar morphological characters within populations, despite that the morphology between northern and southern populations is quite different. The contribution of height and length of the chest and tail to the total variances is the greatest shown by principal component analysis; and the total discriminant accuracy is 99.1% indicated by discriminant analysis. All the results show the four populations can be identified using three multivariation analysis methods as among-population differences are obvious.

Key words *Mugil cephalus*, Population, Morphological variation, Truss network