

文章编号: 1674 - 5566(2015)05 - 0678 - 07

3个红罗非鱼群体的形态差异分析

杨 慧¹, 朱文彬^{1,2}, 董在杰^{1,2}, 吕 帆¹, 公翠萍¹, 刘 念¹, 袁新华^{1,2}

(1. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081)

摘 要: 通过测定中国台湾红罗非鱼、以色列红罗非鱼和马来西亚红罗非鱼群体的形态参数, 采用单因素分析、主成分分析和聚类分析3种多元分析方法, 比较了3个红罗非鱼群体的形态差异。通过回归分析, 建立多元回归方程, 对比分析了3个群体间形态性状对体重的影响。6个可数性状分析结果表明, 3个群体在可数性状上无显著差异。在与出肉率有较高相关系数的比例性状上, 中国台湾红罗非鱼群体与以色列红罗非鱼、马来西亚红罗非鱼群体均存在显著差异。8个可量比例性状的聚类分析和主成分分析结果均表明, 以色列红罗非鱼群体和马来西亚红罗非鱼群体形态最接近, 而与中国台湾红罗非鱼群体形态差异较大。主成分分析构建了3个主成分, 其贡献率分别为34.804%、16.667%、12.974%, 累计贡献率为64.446%。回归分析结果表明, 体长、体厚、尾柄高是影响中国台湾红罗非鱼和以色列红罗非鱼群体体重的主要性状, 体长、体高、体厚是影响马来西亚红罗非鱼群体体重的主要性状。多元分析结果表明, 3个红罗非鱼群体在形态上已经产生一定程度的差异, 且主要表现在体高、头长、尾柄高、吻长、全长这5个形态性状指标上。

研究亮点: 通过对3个红罗非鱼群体14项形态参数的测量与分析, 揭示了各群体间的主要形态学差异, 从形态学上对3个红罗非鱼群体进行了初步判定, 为红罗非鱼的种群划分、遗传改良和选育提供参考。

关键词: 红罗非鱼群体; 形态差异; 多元分析; 种群划分

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

红罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*), 是由尼罗罗非鱼 (*O. niloticus*) 与体色变异的莫桑比克罗非鱼 (*O. mossambicus*) 杂交, 经多代选育而成的优良品种^[1]。其体色纯红, 型似真鲷, 体腔无黑膜、无异味; 生长速度快, 出肉率高、肉质鲜美, 很受消费者欢迎; 而且市场前景广阔, 养殖效益高。但罗非鱼大都具有很强的繁殖能力, 属间、种间容易混杂, 并且杂种能育, 这很容易造成罗非鱼类的种类混杂与退化; 而且红罗非鱼体色分离严重, 各体色的个体在生长速度上存在较大差异, 这严重影响了红罗非鱼的商品价值^[2]。

形态特征是物种最直观的外在表现, 也是种群分类的重要依据。形态学研究主要通过传统的

形态学测定, 这对种间的差异研究可行, 而对群体间的差异则需要通过对群体的大规模计量和统计分析才能确定。目前, 多元分析方法已经成功用于鱼类种群鉴定^[3-9]。但是在我国, 红罗非鱼产业仍属于起步阶段, 且多以生长性能、生理生化指标测定等研究为主, 而对红罗非鱼群体的形态学分析鲜有报道。本研究以中国台湾红罗非鱼群体、以色列红罗非鱼群体和马来西亚红罗非鱼群体为实验对象, 运用单因素分析、主成分分析、聚类分析对这3个群体进行形态差异分析, 寻找3个种群的特征, 运用多元线性回归分析建立估计3个群体体重的最优回归方程, 为红罗非鱼鱼种群划分、遗传改良和选育提供参考。

收稿日期: 2015-03-18 修回日期: 2015-06-05

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2015JBFM07)

作者简介: 杨 慧(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产遗传育种。E-mail: 544619734@qq.com

通信作者: 袁新华, E-mail: yuanxh@ffrc.cn

1 材料与方 法

1.1 实验材料

本实验中的马来西亚红罗非鱼是 2009 年淡水渔业研究中心从马来西亚引进,并一直在宜兴实验基地驯养繁殖,而中国台湾红罗非鱼和以色列红罗非鱼是 2014 年从福建引进,在当地已进行了多年的驯化养殖,仍具有较明显的区域品种特

征。实验中所采用的马来西亚红罗非鱼为 2013 年 7 月繁殖,并在宜兴越冬,越冬后放入 0.13 hm² 池塘饲养,放养密度为 30 000 尾/hm²;而中国台湾红罗非鱼和以色列红罗非鱼为 2013 年 6 月繁殖,在福建越冬,2014 年 5 月从福建引进后分别放入 0.13 hm² 规格的池塘饲养,放养密度均为 30 000 尾/hm²。2014 年 9 月进行采样,每个群体随机选取 100 尾,样本情况见表 1。

表 1 实验鱼采样情况(均值 ± 标准误)
Tab.1 Sampling information of experimental fishes(mean ± SE)

群体 populations	编号 No.	数目 number	体质量/g(Y) body weight	体长/cm body length	体厚/cm body width	体高/cm body depth
中国台湾红罗非鱼 Chinese Taiwan strain	1	100	632.62 ± 12.44	23.50 ± 0.27	5.29 ± 0.05	9.90 ± 0.08
以色列红罗非鱼 Israel strain	2	100	566.88 ± 14.51	23.05 ± 0.23	5.04 ± 0.05	9.46 ± 0.08
马来西亚红罗非鱼 Malaysia strain	3	100	439.91 ± 8.95	21.44 ± 0.18	4.76 ± 0.04	8.89 ± 0.06

1.2 形态参数测量

形态参数包括可数性状和可量性状。可数性状有侧线上鳞、侧线下鳞、背鳍棘数、背鳍条数、臀鳍棘数、臀鳍条数,可数性状直观计数。用直尺测量样本的全长 L_T 、体长 L_B 、体厚 W_B 、体高

D_B 、尾柄长 L_{CP} 、尾柄高 D_{CP} ,用游标卡尺测量样本的头长 L_H 、吻长 L_S 、眼径 D_E 等 8 项形态指标。计算鱼身长度 L_C ($L_C = L_B - L_H$)。具体测量方法见表 2。

表 2 红罗非鱼形态指标
Tab.2 Morphological indices of red tilapia

指标 morphological indices	测量方法 measuring methods
全长 total length	从吻端到尾鳍末端的距离
体长 body length	从吻前端到最后第一节尾椎骨的长度
体厚 body width	背鳍左右侧的最大距离
体高 body depth	背鳍起点的垂直高度
头长 head length	从吻前端至鳃盖后缘的垂直距离
吻长 snout length	眼眶前缘到吻端的直线长度
眼径 eye diameter	眼眶前缘至后缘的距离
尾柄长 caudal peduncle length	从臀鳍最后一根鳍条基部到最后第一节尾椎骨的水平长度
尾柄高 caudal peduncle depth	尾柄的最小垂直高度

1.3 数据分析

为消除样品规格对形态参数值的影响,本研究先将可量性状数据与其体长之比作为校正值,再进行数据分析。应用 SPSS 20.0 进行单因素方差分析、聚类分析和主成分分析^[10];运用逐步多元线性回归法建立形态性状对体重的回归方程。

1.3.1 单因素方差分析

对 6 个可数性状和各可量比例性状进行单因素方差分析(One-way ANOVA),若差异显著,

再进行多重比较(Duncan's procedure), $P < 0.05$ 表示差异显著,所有的结果均以平均值 ± 标准误(mean ± SE)表示。

1.3.2 聚类分析

分别求出各组样本每个形态比例参数的平均值,用平均值作聚类分析。所采用的聚类方法为欧氏距离的最短距离系统聚类法。

1.3.3 主成分分析

通过计算机程序从 8 个形态比例参数中得

出 3 个综合指标,即 3 个互不关联的主成分,计算各个主成分的贡献率和累计贡献率。

1.3.4 多元线性回归分析

以各形态性状为自变量,体重为因变量,运用逐步多元线性回归法建立回归方程。

2 结果

2.1 可数性状

中国台湾红罗非鱼、以色列红罗非鱼和马来西亚红罗非鱼群体可数性状的平均值见表 3。这 3 个群体侧线上鳞、侧线下鳞、背鳍棘数、背鳍条数、臀鳍棘数、臀鳍条数等 6 个可数性状的单因素方差分析结果均不显著($P > 0.05$),表明它们之间无显著差异。

2.2 可量性状

2.2.1 单因素方差分析

3 个红罗非鱼群体比例性状的单因素方差分析结果见表 4。眼径/体长在各群体间无显著差

异($P > 0.05$)。在全长/体长、吻长/体长、尾柄高/体长上,3 个群体间均差异显著($P < 0.05$)。在体厚/体长、体高/体长上,马来西亚红罗非鱼群体与以色列红罗非鱼群体、中国台湾红罗非鱼群体均无显著差异($P > 0.05$),而以色列红罗非鱼群体与中国台湾红罗非鱼群体差异显著($P < 0.05$)。在头长/体长上,中国台湾红罗非鱼群体与以色列红罗非鱼群体、马来西亚红罗非鱼群体均差异显著($P < 0.05$),以色列红罗非鱼群体与马来西亚红罗非鱼群体无显著差异($P > 0.05$)。在尾柄长/体长上,中国台湾红罗非鱼群体与以色列红罗非鱼群体、马来西亚红罗非鱼群体均无显著差异($P > 0.05$),而以色列红罗非鱼群体与马来西亚红罗非鱼群体差异显著($P < 0.05$)。在身长/头长和体长/头长上,以色列红罗非鱼群体与马来西亚红罗非鱼群体间差异不显著($P > 0.05$),而与中国台湾红罗非鱼群体存在显著差异($P < 0.05$)。

表 3 3 个红罗非鱼群体的可数性状(均值 ± 标准误)
Tab.3 Meristic characters of three populations of red tilapia (mean ± SE)

性状 characters	中国台湾红罗非鱼 Chinese Taiwan strain		以色列红罗非鱼 Israel strain		马来西亚红罗非鱼 Malaysia strain	
	范围 range	平均 mean	范围 range	平均 mean	范围 range	平均 mean
侧线上鳞 scale number above lateral line	19 ~ 23	20.80 ± 0.42	19 ~ 22	21.20 ± 0.29	18 ~ 22	21.6 ± 0.45
侧线下鳞 scale number beneath lateral line	14 ~ 17	15.20 ± 0.33	11 ~ 16	14.00 ± 0.54	12 ~ 18	14.80 ± 0.70
背鳍棘数 number of sponous on dorsal fin	16 ~ 18	16.90 ± 0.18	16 ~ 18	17.00 ± 0.15	16 ~ 18	17.00 ± 0.21
背鳍条数 number of sponous on soft dorsal fin	11 ~ 13	12.10 ± 0.23	12 ~ 14	12.50 ± 0.22	11 ~ 14	12.40 ± 0.31
臀鳍棘数 number of sponous on anal fin	3	3.00 ± 0	3	3.00 ± 0	3 ~ 4	3.10 ± 0.10
臀鳍条数 number of sponous on soft anal fin	9 ~ 11	10.10 ± 0.28	9 ~ 11	10.20 ± 0.20	8 ~ 11	9.40 ± 0.31

表 4 3 个红罗非鱼群体的比例性状及差异系数(n=100,均值 ± 标准误)
Tab.4 Morphometric characteristics in three populations of red tilapia (n=100, mean ± SE)

比例性状 morphometric characteristics	中国台湾红罗非鱼 Chinese Taiwan strain	以色列红罗非鱼 Israel strain	马来西亚红罗非鱼 Malaysia strain
L_T/L_B	1.237 ± 0.002 3 ^c	1.235 ± 0.002 6 ^b	1.219 ± 0.001 5 ^a
W_B/L_B	0.223 ± 0.001 4 ^b	0.219 ± 0.001 4 ^a	0.222 ± 0.001 1 ^{ab}
D_B/L_B	0.417 ± 0.002 0 ^b	0.411 ± 0.001 8 ^a	0.415 ± 0.001 6 ^{ab}
L_H/L_B	0.318 ± 0.001 6 ^b	0.311 ± 0.001 2 ^a	0.311 ± 0.001 0 ^a
L_S/L_B	0.115 ± 0.001 1 ^c	0.109 ± 0.000 9 ^b	0.102 ± 0.000 9 ^a
D_E/L_B	0.051 ± 0.004	0.047 ± 0.000 3	0.049 ± 0.000 3
L_{CP}/L_B	0.097 ± 0.000 9 ^{ab}	0.096 ± 0.000 9 ^a	0.098 ± 0.000 8 ^b
D_{CP}/L_B	0.152 ± 0.000 8 ^c	0.148 ± 0.000 7 ^b	0.145 ± 0.000 6 ^a
L_C/L_H	2.151 ± 0.015 1 ^a	2.216 ± 0.012 9 ^b	2.220 ± 0.010 8 ^b
L_B/L_H	3.151 ± 0.015 1 ^a	3.216 ± 0.012 9 ^b	3.220 ± 0.010 8 ^b

注:不同英文字母表示各组间有显著差异($P < 0.05$)。

Note: different superscript letters indicate significant differences between groups ($P < 0.05$).

2.2.2 聚类分析

图 1 是 3 个红罗非鱼群体的聚类分析结果。以色列红罗非鱼和马来西亚红罗非鱼群体欧式距离最短,形态最为接近,首先聚为一类,再与中国台湾红罗非鱼群体聚类,表明它们与中国台湾红罗非鱼群体形态差异较大。

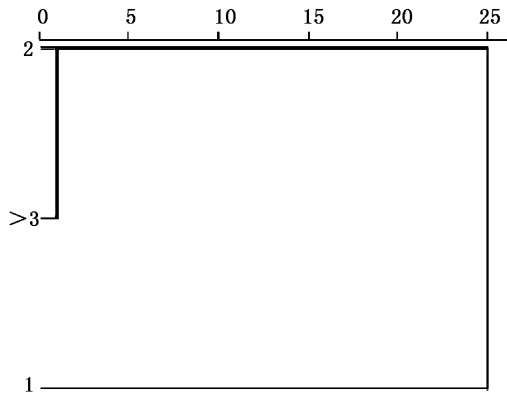


图 1 3 个红罗非鱼群体的聚类分析图

Fig. 1 Cluster dendrogram of three populations of red tilapia

1. 中国台湾红罗非鱼; 2. 以色列红罗非鱼; 3. 马来西亚红罗非鱼。

1. Chinese Taiwan strain; 2. Israel strain; 3. Malaysia strain.

2.2.3 主成分分析

对 3 个红罗非鱼群体的 8 个可量比例性状主成分分析,提取了贡献率最大的前 3 个主成分。贡献率分别为:34.804%、16.667%、12.974%,累积贡献率为 64.446%。这 3 个主成分基本可反映综合指标所隐含的信息。其中对第一主成分起主要作用的是体高/体长、头长/体长、尾柄高/体长、吻长/体长、全长/体长,主成分 1 基本反映了鱼体长度和宽度方面的形态特征,说明这 3 个群体的形态差异主要是由这 5 个指标引起的。对第二主成分起主要作用的是眼径/体长,对第三主成分起主要作用的是尾柄长/体长。

图 2 和图 3 是由主成分 1、2、3 绘制成的散布图。由图可见,3 个群体间都有不同程度的重叠,其中以以色列红罗非鱼和马来西亚红罗非鱼群体重叠较多,难以区分,而它们与中国台湾红罗非鱼群体重叠较少。对于主成分 1,中国台湾红罗非鱼群体基本位于一端,与以色列红罗非鱼和马来西亚红罗非鱼群体有较明显的区分。由于主成分 1 取决于鱼体长度和宽度方面的形态特征,

说明其在此形态特征上与以色列红罗非鱼和马来西亚红罗非鱼群体差异较大。对于主成分 2 和主成分 3,3 个群体间均有重叠,说明在眼径/体长和尾柄长/体长上群体间差异不大。这与聚类分析结果相一致。

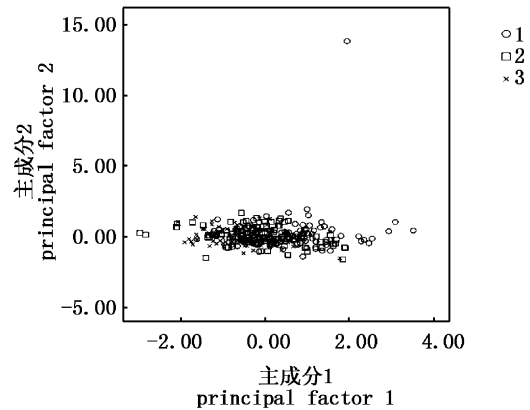


图 2 3 个红罗非鱼群体第 1、2 主成分散布图

Fig. 2 Dispersion point distribution of the first and second principal components of three populations of red tilapia

1. 中国台湾红罗非鱼; 2. 以色列红罗非鱼; 3. 马来西亚红罗非鱼。

1. Chinese Taiwan strain; 2. Israel strain; 3. Malaysia strain.

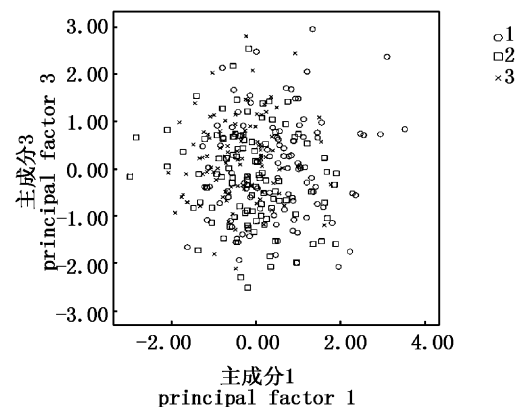


图 3 3 个红罗非鱼群体第 1、3 主成分散布图

Fig. 3 Dispersion point distribution of the first and third principal components of three populations of red tilapia

1. 中国台湾红罗非鱼; 2. 以色列红罗非鱼; 3. 马来西亚红罗非鱼。

1. Chinese Taiwan strain; 2. Israel strain; 3. Malaysia strain.

2.2.4 形态性状对体重的线性回归分析

经回归系数的显著性检验发现,在中国台湾红罗非鱼和以色列红罗非鱼群体中,回归常数和变量体长(L_B)、体厚(W_B)、尾柄高(D_{CP})有极显

著性差异($P < 0.01$);而在马来西亚红罗非鱼群体中,回归常数和变量体长(L_B)、体高(D_B)、体厚(W_B)差异极显著($P < 0.01$)。故以这几个形态性状为自变量、体重为因变量分别建立多元回归方程。方程如下:

$$Y_1 = -1008.528 + 31.638L_B + 105.513W_B + 92.249D_{CP}$$

$$Y_2 = -1083.549 + 33.814L_B + 97.014W_B + 111.788D_{CP}$$

$$Y_3 = -846.187 + 28.458L_B + 45.133D_B + 57.775W_B$$

从方程中看出,在中国台湾红罗非鱼和以色列红罗非鱼群体中,体长(L_B)、体厚(W_B)、尾柄高(D_{CP})对体重的影响最大;在马来西亚红罗非鱼群体中,体长(L_B)、体高(D_B)、体厚(W_B)与体重关系较密切。

3 讨论

3.1 红罗非鱼群体的形态特征

基础群是由亲缘关系相距较远,形态差异较大,遗传基础广泛的不同种群组建而成,它是选育的原始材料^[11]。变异,尤其是可遗传的变异,是选育的基础。可遗传的变异都是通过表型上的变异而表现出来的,鱼类群体的形态变异即是一种表型变异^[12]。对3个红罗非鱼群体的8个比例性状参数进行单因素方差分析,结果表明,在全长/体长、吻长/体长、尾柄高/体长上,3个群体间均差异显著($P < 0.05$),均为中国台湾红罗非鱼 > 以色列红罗非鱼 > 马来西亚红罗非鱼,故可考虑将此作为3个群体的判定性状。在体高/体长上,中国台湾红罗非鱼群体显著大于以色列红罗非鱼群体($P < 0.05$),说明这两个群体在体型上有很大的差异,中国台湾红罗非鱼体型较粗短,以色列红罗非鱼较修长。有研究表明全长与体高比值越大的罗非鱼生长速度越快^[13],即修长型罗非鱼要比粗短型有更快的生长速度。因此,可在红罗非鱼群体的遗传改良尤其是选育中考虑此差异,选择不同群体进行杂交,充分利用杂交优势培育优良新品种。

出肉率也是罗非鱼的重要选育指标之一,在身长/头长、体长/头长上,中国台湾红罗非鱼群体与以色列红罗非鱼、马来西亚红罗非鱼群体均有显著差异($P < 0.05$),董在杰等^[14]研究表明这

两个比例性状与尼罗罗非鱼的出肉率有较强相关性,因此中国台湾红罗非鱼群体与以色列红罗非鱼、马来西亚红罗非鱼群体在出肉率上也可能存在差异,这与聚类分析结果一致。可据此进行3个红罗非鱼群体出肉率方面的选育。在鱼类育种过程中,性状的选择极为重要。体重作为红罗非鱼选育的重要经济指标,很大程度上决定了生产性能,而且受到多项形态性状的影响。根据只有当负相关指数 R^2 大于或等于 0.85 时,表明影响因变量的主要自变量已经找到^[15-16]。本研究中,3个红罗非鱼群体的 R^2 分别为 0.916、0.892、0.947,说明在中国台湾红罗非鱼和以色列红罗非鱼群体中,体长、体厚、尾柄高是与体重相关性较高的形态性状;体长、体高、体厚是影响马来西亚红罗非鱼群体体重的重要性状。因此可以通过形态性状的选育间接达到提高体重的目的。

3.2 红罗非鱼群体的聚类分析、主成分分析

聚类分析结果显示,以色列红罗非鱼和马来西亚红罗非鱼群体聚为一簇,中国台湾红罗非鱼群体为另一簇,表明以色列红罗非鱼和马来西亚红罗非鱼群体亲缘关系较近,而与中国台湾红罗非鱼群体较远。主成分分析结果与聚类分析类似。在主成分分析中占最大比重的主成分 1 主要反映了鱼体长度和宽度方面的形态特征,说明以色列红罗非鱼、马来西亚红罗非鱼与中国台湾红罗非鱼群体在此形态特征上有较大差异,故可将这些形态特征作为它们分类的主要依据。本研究结果与唐瞻杨等^[11]对4个尼罗罗非鱼引进种群的形态差异分析结果相一致。

物竞天择适者生存,种群个体形态差异就是物种对环境适应的一种表现,这种形态上的差异保障着种群更加多样化地利用资源和适应环境。而鱼类比其他脊椎动物有更大的种群内部和种群之间的变异,更易受环境因素影响^[17]。IHSEN 等^[18]认为形态学的特征受遗传因子和环境因子共同影响的。于飞等^[19]通过对大菱鲆4个进口群体进行形态差异分析,认为养殖环境的差异导致了群体形态上的变异。本研究所采的样品均出自相同的网箱,其所处的养殖条件、所食饵料、生理情况基本一致,而且在分析时使用了各形态指标与体长的比值,消除了规格大小的影响,因此可以认为主要是遗传因子不同造成了这3个红罗非鱼群体间的形态差异。

参考文献:

- [1] 李学军, 李思发, 冯金海, 等. 以色列红罗非鱼耐盐性的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(3): 205 - 208.
LI X J, LI S F, FENG J H, et al. Preliminary study on salinity tolerance of Israel red tilapia[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2003, 12(3): 205 - 208.
- [2] 公翠萍, 朱文彬, 刘浩亮, 等. 饲料中添加虾青素对红罗非鱼各组织类胡萝卜素含量和沉积率的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(3): 417 - 422.
GONG C P, ZHU W B, LIU H L, et al. Effect of dietary astaxanthin on carotenoid content and deposition rate in tissues of red tilapia [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(3): 417 - 422.
- [3] 丁金强, 刘萍, 李健, 等. 中国沿海日本鳊 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.
DING J Q, LIU P, LI J, et al. Analysis of morphological variation among four wild populations of *Charybdis japonica* from coastal waters of China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(4): 604 - 610.
- [4] 李雅娟, 张明昭, 于卓, 等. 黑龙江泥鳅、北方泥鳅和泥鳅的形态差异分析[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(5): 397 - 401.
LI Y J, ZHANG M Z, YU Z, et al. Morphological variations in Amur weatherfish *Misgurnus mohoity*, northern weatherfish *Misgurnus bipartitus* and Oriental weatherfish *Misgurnus anguillicaudatus* in China [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(5): 397 - 401.
- [5] 俞菊华, 夏德全, 杨弘, 等. 奥利亚罗非鱼(♀) × 鳊(♂)杂交后代的形态[J]. 水产学报, 2003, 27(5): 431 - 435.
YU J H, XIA D Q, YANG H, et al. Morphology of the progenies of *Oreochromis aurea* (♀) × *Siniperca chuatai* (♂)[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(5): 431 - 435.
- [6] 明俊超, 董在杰, 梁政远, 等. 6 个不同鲤群体的形态差异分析[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(6): 1 - 6.
MING J C, DONG Z J, LIANG Z Y, et al. Analysis of morphological variation in six common carp (*Cyprinus carpio*) populations[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(6): 1 - 6.
- [7] 郭金涛, 赵金良, 甘远迪, 等. 尼罗罗非鱼(♀) × 萨罗罗非鱼(♂)杂交后代 F₁、F₂ 形态性状的遗传与变异[J]. 中国水产科学, 2014, 21(2): 275 - 282.
GUO J T, ZHAO J L, GAN Y D, et al. Inheritance and variation of morphological traits in F₁ and F₂ Hybrids of *Oreochromis niloticus* ♀ × *Sarotherodon melanotheron* ♂ [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(2): 275 - 282.
- [8] 李冰, 柴学森, 张成锋, 等. 建鲤和黑龙江野鲤自交和正反交 F₁ 形态差异分析[J]. 中国水产科学, 2014, 21(1): 59 - 66.
LI B, CHAI X S, ZHANG C F, et al. Morphometric variations analysis of *Cyprinus carpio* var. *jian*, *Cyprinus carpio haematopterus* and the reciprocal F₁ hybrids (*Cyprinus carpio* var. *jian* ♀ × *Cyprinus carpio haematopterus* ♂, *Cyprinus carpio* var. *jian* ♂ × *Cyprinus carpio haematopterus* ♀) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(1): 59 - 66.
- [9] 王伟, 陈立桥, 顾志敏, 等. 7 个不同翘嘴红鲌群体的形态差异分析[J]. 淡水渔业, 2007, 37(3): 40 - 44.
WANG W, CHEN L Q, GU Z M, et al. Analysis of morphological variations among seven populations of *Erythroculter ilishaeformis* [J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(3): 40 - 44.
- [10] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
ZHANG Y T, FANG K T. The introduction of multivariate statistical analysis[M]. Beijing: Science Press, 1982.
- [11] 唐瞻杨, 林勇, 李莉萍, 等. 四个尼罗罗非鱼引进种群的形态差异分析[J]. 西南农业学报, 2012, 25(2): 718 - 722.
TANG Z Y, LIN Y, LI L P, et al. Analysis of morphological variations among four imported populations of *Tilapia nilotica* [J]. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2012, 25(2): 718 - 722.
- [12] 何杰, 徐跑, 董在杰, 等. 吉富品系尼罗罗非鱼(GIFT)群体内的形态差异与分化[J]. 中国水产科学, 2009, 16(1): 54 - 60.
HE J, XU P, DONG Z J, et al. Morphological variation and differentiation in GIFT strains Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(1): 54 - 60.
- [13] 冉春丽, 赵红梅. 罗非鱼体型粗短的原因分析及预防[J]. 中国水产, 2013, (3): 50 - 51.
RAN C L, ZHAO H M. Analysis of the reasons of stubby body for tilapia and prevention [J]. China Fisheries, 2013, (3): 50 - 51.
- [14] 董在杰, 梁政远, 徐跑, 等. 尼罗罗非鱼出肉率与可量性状的相关性[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 212 - 217.
DONG Z J, LIANG Z Y, XU P, et al. Correlation between fillet yield and body measurements in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 212 - 217.
- [15] 刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 857 - 867.
LIU X L, WU C G, ZHANG Z H, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Penaeus vannamei* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(4): 857 - 867.

- [16] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(6): 673-678.
- LIU X L, CHANG Y Q, XIANG J H, et al. Analysis of effects of shell size characters on live weight in Chinese scallop *Chlamys farreri* [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2002, 33(6): 673-678.
- [17] WATANABE S. Taxonomy of the freshwater eels, genus *Anguilla*[J]. Aquatic Biology, 2001, 23(2): 114-122.
- [18] IHSEN P E, BOOKE H E, CASSELMAN J M, et al. Stock identification: Materials and methods[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981, 38(12): 1838-1855.
- [19] 于飞, 张庆文, 孔杰, 等. 大菱鲆4个进口群体的形态差异分析[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(5): 27-32.
- YU F, ZHANG Q W, KONG J, et al. Morphological variations and analyses of four imported turbot stocks, *Scophthalmus maximus* [J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(5): 27-32.

Morphological variation analysis of three populations of red tilapia

YANG Hui¹, ZHU Wenbin^{1,2}, DONG Zaijie^{1,2}, LÜ Fan¹, GONG Cuiping¹, LIU Nian¹, YUAN Xinhua^{1,2}

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, Jiangsu, China)

Abstract: The morphometric differences among the three populations of red tilapia from Chinese Taiwan, Israel and Malaysia were studied with one-way ANOVA, cluster analysis and principal component analysis. Regression analysis was used to compare the impacts of morphological traits on body weight among three populations of red tilapia and establish the multiple regression equations. Analysis of meristic characters indicated that there were no significant differences among these strains. In the morphological traits which had higher value of correlative coefficient to fillet yield, there were significant differences between Chinese Taiwan strain and Israel strain, Malaysia strain. Cluster and principal component analysis showed that morphological characters were rather similar between Israel strain and Malaysia strain, from which Chinese Taiwan strain was different. Three principal components were constructed of which the contributory ratio, from high to low, were 34.804%, 16.667% and 12.974%, summing up to 64.446%. The results of regression analysis revealed that body length, body width and caudal peduncle depth were the key impact factors to body weight of the strains from Chinese Taiwan and Israel, and the traits affecting the body weight of Malaysia strain most converted to body length, body depth and body width. The results of multi-variant indicate that there are some morphological differences among the three populations of red tilapia and the indicators of morphological traits were body depth, head length, caudal peduncle depth, snout length and total length.

Key words: red tilapia populations; morphological variation; multi-variation analysis; population division