

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00908

基于框架法的东黄海日本鲭产卵群体形态差异分析

刘楚珠^{1,2}, 严利平¹, 李建生¹, 吕振波³, 张壮丽⁴, 张辉¹, 李圣法¹

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业资源及生态重点开放实验室, 上海 200090;
2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306;
3. 山东省海洋水产研究所, 山东 烟台 264006;
4. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361012

摘要: 利用 2010 年 1 月至 5 月在闽南、闽东、温台和烟威渔场采集的 254 尾产卵期日本鲭(*Scomber japonicus*)样品, 分析了 4 个海域日本鲭产卵群体的形态差异。每尾样品先以框架测量法(truss method)测定 20 个框架的数据; 再利用相对生长测定法(allometric method)对框架数据进行标准化, 消除个体大小差异对分析的影响。用 254 尾样品标准化后的框架数据进行的主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)提取了 3 个主成分, 其累计贡献率为 86.63%。第 2 主成分主要受第二背鳍基底长度和臀鳍基底长度的影响; 第 3 主成分主要受鳃盖腹部末端至腹鳍起点距离的影响。主成分分析结果表明, 4 个日本鲭产卵群体的形态差异很大程度上是由体型的长短引起的。通过逐步判别分析(Stepwise Discriminant Function Analysis, DFA)建立了 4 个日本鲭产卵群体的判别公式, 其判别准确率 P_1 为 97.06%~100%, 判别准确率 P_2 为 97.14%~100%, 综合判别率为 99.2%。研究结果显示, 源自 4 个海域的日本鲭产卵群体具有显著的形态差异。本研究旨在为东黄海日本鲭种群的划分从形态特征上提供科学依据。

关键词: 东黄海; 日本鲭; 产卵群体; 形态差异; 框架法

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)04-0908-10

日本鲭(*Scomber japonicus*)为暖水性中上层鱼类, 广泛分布于大西洋、印度洋、太平洋的暖温带和温带海域^[1], 是中国近海捕捞的主要经济鱼类之一。

国内外学者对东、黄海的日本鲭种群及其洄游分布进行了不少研究, 一般认为东、黄海日本鲭种群可分为闽南-粤东种群、东海西部种群和五岛西部种群^[2-7], 但以日本鲭产卵群体为材料来源的种群划分研究还未见报道。种群鉴定的材料应是产自产卵场的产卵群体, 利用产卵群体鉴定的结果才具有代表性^[8]。

形态度量分析(morphometric analysis)是研究

种群的方法之一, 但传统测量法集中在鱼体的头、尾部和轴向, 未能全面地利用鱼体提供的有用信息^[9-10], 且往往对同一物种的不同地理种群的划分无能为力^[11]。而框架测量法利用鱼体的 8~12 个解剖学同源坐标点, 纵横交错联结成线, 比较一些关键点的位置或框架长度, 较传统测量法能更准确地反映鱼类同一物种不同种群的形态差异^[12]。本研究依据 2010 年 1-5 月在东、黄海的闽南、闽东、温台、烟威等日本鲭主要产卵场所采集的日本鲭产卵群体样品, 基于框架测量法分析了不同产卵场日本鲭产卵群体的形态差异, 以期对东黄海日本鲭种群的划分从形态特征上提

收稿日期: 2010-12-07; 修订日期: 2011-01-20.

基金项目: 国家科技支撑计划项目资助(2007BAD43B01); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项资金资助项目(2008M06).

作者简介: 刘楚珠(1986-), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源研究. E-mail: liuchuzhu1014@126.com

通信作者: 李圣法, 研究员. E-mail: shengfa@sh163.net

供依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

日本鲭样品系 2010 年 1–5 月间, 用围网、定置网、灯光敷网在东海的闽南–粤东渔场、闽东渔场、温台渔场和黄海的烟威渔场捕获的产卵期个体(图 1), 每个采样点选取性腺III–VI期的个体 30

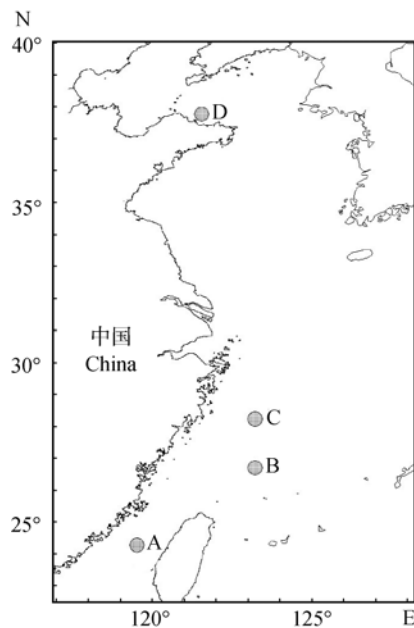


图 1 2010 年东、黄海日本鲭产卵群体的采样位置示意图

A. 闽南渔场; B. 闽东渔场; C. 温台渔场; D. 烟威渔场.

Fig.1 Sampling sites of spawning stocks of chub mackerel in the East China Sea and Yellow Sea

A–Fishing ground south off Fujian; B– East Fujian fishing ground; C–Fishing ground off Wenzhou-Taizhou; D–Fishing ground off Yantai-Weihai. The same codes for sampling sites will be used in the following tables.

尾以上进行形态信息测量(表 1), 性别和性腺成熟度的划分标准参照《海洋调查规范》^[13]。

1.2 数据测量

本研究采用框架测量法, 参照李思发等^[14]的方法选择 10 个定位点, 每尾样品测量了包括叉长在内的 21 个形态指标(图 2), 10 个定位点间的距离为 20 个框架数据(例:图 2 中点 1 和 2 的间距为定位点之间的距离,同时也作为一个性状, 用 1–2 表示, 其他类推); 采用游标卡尺、两脚规和直尺(辅助)等量具进行测量, 日本鲭叉长的测量精确到 0.1 cm, 框架法数据测量精确到 0.01 cm。

1.3 数据分析

1.3.1 数据标准化 利用相对生长测定法^[15] (allometric method)对原始框架数据进行标准化, 以消除个体大小差异带来的影响。相对生长测定法通过以下公式对所有性状进行标准化:

$$M_{adj} = M(L_s / L_o)^b$$

式中: M 为原始形态测量数据; M_{adj} 为原始形态测量数据标准化后的数据; b 为每个样本的 $\lg M$ 对 $\lg L_o$ 的斜率; L_o 为每个样品的叉长; L_s 为本组样品叉长的平均值。

1.3.2 雌雄差异分析 利用多变量方差分析方法分别对 4 组日本鲭样品的雌雄个体间的形态差异性进行显著性分析, 以确定同一取样海域的雌雄样品是否合并分析。

1.3.3 相关性检验 对标准化前后性状之间的相关系数进行检验, 主要目的是验证消除个体大小差异之后是否能够降低性状之间的相关系数^[16]。

1.3.4 主成分分析 运用主成分分析法(principal

表 1 日本鲭的采样方法和样品特征

Tab.1 Sampling method and characteristics of the chub mackerel samples

取样地点 sampling site	采样月份 sampling month	样本量/尾 sample size	性腺成熟度 gonad maturity	叉长范围/cm range of fork length	平均叉长/cm mean fork length	采样网具 sampling net
A	2010.01	100	III–VI	21.2–27.6	24.75±1.27	灯光敷网 lift net
B	2010.01	33	III–VI	25.4–35.2	29.14±1.95	围网 purse seine
C	2010.04	70	III–VI	25.0–32.9	27.45±1.31	围网 purse seine
D	2010.05	51	IV–VI	29.4–36.7	31.46±1.28	定置网 set net

注: A、B、C、D 采样点的具体位置如图 1 所示.

Note: Location of sampling sites A, B, C and D are shown in fig.1.

component analysis, PCA)对 254 尾样品标准化后的框架数据进行分析。通过 KMO 和 Bartlett's 球度检验确定进行分析的数据对于主成分分析的适合情况, 建立相关系数矩阵, 然后以主成分法提

取公因子, 以方差最大正交旋转法对因子负荷矩阵进行旋转, 计算各主成分的特征值和贡献率, 并利用因子得分数据进行二维图相关分析, 得出主成分分析结果的散布图。

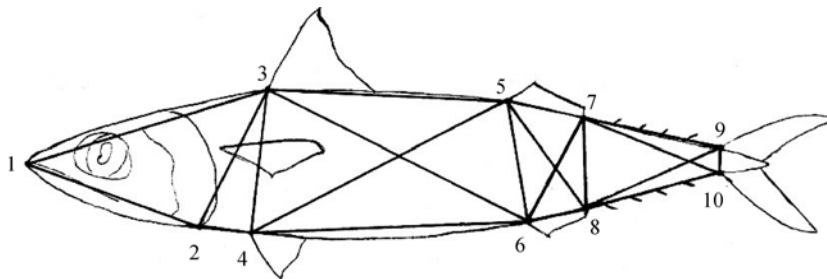


图 2 日本鲭的框架测量示意图

1—10 为定位点, 1—吻前端; 2—鳃盖腹部末端; 3—背鳍起点; 4—腹鳍起点; 5—第二背鳍起点; 6—臀鳍起点; 7—第二背鳍末端; 8—臀鳍末端; 9—尾鳍背部起点; 10—尾鳍腹部起点。

Fig.2 Drawing for measuring truss network of Chub mackerel

1-10: landmark points; 1: tip of snout; 2: ventral terminus of operculum; 3: origin of dorsal fin; 4: origin of pelvic fin; 5: origin of second dorsal fin; 6: origin of anal fin; 7: terminus of second dorsal fin; 8: terminus of anal fin; 9: dorsal origin of caudal fin; 10: ventral origin of caudal fin.

1.3.5 逐步判别分析 采用逐步判别函数分析 (stepwise discriminant function analysis, DFA) 方法筛选测量指标, 利用筛选的测量指标建立判别函数, 计算判别准确率和综合判别率。判别准确率:

判别准确率 $P_1(\%) = \text{判别正确的样本数} / \text{实际样本数} \times 100$,

判别准确率 $P_2(\%) = \text{判别正确的样本数} / \text{判别样本数} \times 100$,

$$\text{综合判别率} = \sum_{i=1}^k A_i / \sum_{i=1}^k B_i$$

式中, 判别正确的样本数是出自库内的样本; 实际样本数是指该样本的采样个体数, 判别样本数是指被判为该采样点的个体数量; A_i 为第 i 个采样点中判别正确的个体数, B_i 为第 i 个采样点的样品数量, k 为采样点数。

主成分分析和逐步判别分析采用 SPSS 16.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 框架数据

从 4 个采样点样本框架数据标准化前后的每个性状算术平均值和标准差来看 (表 2), 框架数据

在标准化后标准差均显著减小, 说明标准化后的数据精确度得到提高。

2.2 雌雄形态差异分析

多变量方差分析方法结果表明, 4 个采样海域日本鲭样品的雌雄个体间形态差异仅温台渔场的 2—4 性状显著 ($P=0.015<0.05$), 其余各采样海域的雌雄形态差异均不显著 ($P>0.05$) (表 3)。对于整个分析来说, 温台渔场的雌雄 2—4 性状的差异可以忽略。因此在后续的分析中, 将同一采样海域的雌雄样品合并分析。

2.3 相关性检验

标准化前后性状之间的相关系数见表 4。数据标准化后各性状之间、性状与叉长之间的相关系数显著降低, 这表明数据标准化消除了个体大小差异对性状测量数据的影响, 降低了性状之间和性状与叉长之间的相关性。

2.4 主成分分析

2.4.1 KMO 和 Bartlett's 检验 根据 Kaiser 的标准^[17]: KMO 值越接近 1, 越适合做主成分分析。本研究所用数据 KMO 值为 0.945, 属于非常适合此分析的类型。Bartlett's 球度检验得出的 P 值为 0.001, 小于显著性水平 0.05, 拒绝 Bartlett's 球度

表 2 4 个地点样本框架数据标准化前、后的算术平均值
Tab.2 Arithmetic mean values of truss data before and after standardization for 4 sampling sites

性状 characters	A		B		C		D	
	标准化前 before standardization	标准化后 standardized	标准化前 before stan- dardization	标准化后 standardized	标准化前 before stan- dardization	标准化后 standardized	标准化前 before stan- dardization	标准化后 standardized
1-2	60.34±3.30	60.35±2.63	70.66±4.31	70.69±2.56	67.37±3.96	67.38±2.56	72.59±4.34	72.59±3.13
1-3	84.40±3.58	84.43±2.39	97.49±6.64	97.50±2.43	92.88±4.42	92.89±2.23	105.60±3.27	105.62±1.89
2-3	51.89±2.49	51.91±2.13	63.27±4.73	63.26±1.88	56.81±3.24	56.81±1.72	69.90±3.27	69.91±2.31
2-4	18.79±5.89	18.79±5.79	19.22±3.19	19.18±2.34	18.40±2.29	18.40±2.09	23.36±2.93	23.36±2.89
3-4	47.82±2.63	47.83±2.07	59.72±4.60	59.72±2.06	53.12±3.36	53.11±1.92	66.39±3.36	66.40±2.44
3-5	69.99±3.91	70.01±2.79	86.64±5.70	86.65±2.17	79.33±5.84	79.32±4.14	92.82±4.23	92.82±2.35
3-6	88.48±4.39	88.50±2.95	111.03±8.62	111.01±2.95	100.51±5.80	100.50±2.70	116.61±15.27	116.63±14.92
4-5	90.86±4.94	90.88±3.15	112.53±8.09	112.53±2.67	104.04±5.57	104.04±2.68	129.45±11.75	129.44±11.25
4-6	87.03±5.11	87.05±3.37	108.24±9.04	108.21±4.25	100.67±6.11	100.67±3.69	123.28±13.49	123.29±12.68
5-6	40.47±2.35	40.48±1.90	52.16±4.90	52.12±1.71	45.98±2.89	45.98±1.88	55.75±4.28	55.76±3.88
5-7	27.75±10.41	27.72±9.99	31.39±2.96	31.37±1.70	29.69±3.17	29.70±3.12	33.31±4.26	33.31±3.91
5-8	43.95±2.42	43.97±1.87	56.32±5.21	56.27±1.86	49.63±4.05	49.64±3.35	59.57±3.28	59.57±2.12
6-7	39.39±2.22	39.40±1.76	49.78±4.46	49.76±1.89	44.76±2.47	44.77±1.60	53.35±4.39	53.36±4.15
6-8	21.55±1.61	21.55±1.42	26.17±2.72	26.16±2.06	24.30±2.93	24.31±2.89	28.23±2.78	28.23±2.53
7-8	28.94±1.92	28.95±1.65	37.79±4.10	37.75±2.18	32.95±2.75	32.95±2.18	41.05±3.57	41.05±3.33
7-9	48.63±2.45	48.65±1.78	60.32±4.81	60.31±1.93	54.05±4.33	54.04±3.09	62.98±3.32	62.98±1.97
7-10	50.93±2.45	50.94±1.80	62.78±4.82	62.78±1.90	56.37±3.73	56.36±2.09	64.92±3.49	64.92±2.23
8-9	49.39±2.47	49.40±1.77	59.83±4.25	59.83±1.46	55.26±3.15	55.26±1.76	63.04±2.75	63.05±1.79
8-10	46.28±2.39	46.29±1.82	55.52±3.75	55.53±1.70	51.51±3.06	51.51±1.82	58.53±5.05	58.53±4.55
9-10	8.74±0.76	8.74±0.74	10.60±1.09	10.60±0.79	9.28±0.85	9.28±0.64	10.87±0.55	10.87±0.49

注: A、B、C、D 采样点的具体位置如图 1 所示。
Note: Location of sampling sites A, B, C and D are shown in fig.1.

检验的零假设, 所用数据矩阵通过检验, 因此可以从该数据矩阵提取出有意义的主成分。

2.4.2 主成分分析 对日本鲭的框架测量数据进行主成分分析, 以累计贡献率超过 85%为标准选择主成分的个数, 结果表明前三项主成分的累计贡献率达到 86.63%(表 5), 即前 3 个主成分可以解释不同采样海域样本间形态差异的 86.63%。其中, 第 1 主成分贡献率为 72.57%, 第 2 主成分贡献率为 7.13%, 第 3 主成分贡献率为 6.92%。第 1 主成分中, 由于负荷值全为正值且大部分都接近 0.9, 说明个体间大小差异较显著, 但相互间区分不明显; 而其他主成分则反映的是形态上的差异。所以对这 3 个主成分进行分析就能够反映综合指标所隐含的基本情况。第 2 主成分中, 第二背鳍基底长度(5-7)和臀鳍基底长度(6-8)两个性状起决

定作用, 其负荷值分别为: 0.964 和 0.392; 在第 3 主成分中起决定性作用的是性状鳃盖腹部末端至腹鳍起点距离(2-4), 负荷值为 0.965。

鉴于主成分 2 和主成分 3 这两个主成分可以解释不同采样海域样本间形态差异的贡献率均不高, 以主成分 2 和主成分 3 分别为 x 轴和 y 轴绘制的二维图对不同采样海域样本间形态差异的解释能力不足以得出有意义的结果。因此分别以主成分 1 和主成分 2、主成分 1 和主成分 3 为 x 轴和 y 轴绘制二维图(图 3、图 4)。散点图 3 显示主成分 1 轴上烟威渔场的日本鲭样品和闽东渔场的日本鲭样品有极少重叠, 其余 2 个采样海域的样品是相互独立的, 说明不同采样海域的样本间有比较显著的形态差异; 图 4 显示主成分 1 轴上不同采样海域的样品之间几乎没有交叉, 也说明了

表 3 不同采样区域雌雄形态差异显著性检验

Tab.3 Test of significance of morphologic differences between male and female samples from the 4 sampling sites

性状 characters	A		B		C		D	
	F	P	F	P	F	P	F	P
1-2	0.025	0.875	2.045	0.163	0.548	0.462	0.084	0.773
1-3	1.766	0.187	0.062	0.805	0.561	0.457	1.609	0.211
2-3	0.409	0.524	0.569	0.456	0.028	0.868	0.713	0.402
2-4	0.526	0.470	0.922	0.344	6.190	0.015*	1.682	0.201
3-4	0.000	0.996	0.828	0.370	0.088	0.767	0.140	0.710
3-5	1.256	0.265	1.052	0.313	1.492	0.226	1.423	0.239
3-6	0.445	0.506	2.071	0.160	1.502	0.225	1.816	0.184
4-5	0.322	0.572	0.312	0.581	0.003	0.957	2.957	0.092
4-6	0.456	0.501	0.105	0.748	0.250	0.618	0.008	0.930
5-6	1.131	0.290	2.475	0.126	1.657	0.202	1.769	0.190
5-7	0.641	0.425	2.694	0.111	0.416	0.521	2.172	0.147
5-8	0.002	0.968	0.856	0.362	0.785	0.379	0.090	0.766
6-7	1.081	0.301	0.319	0.576	0.212	0.647	0.686	0.412
6-8	0.256	0.614	0.159	0.693	0.764	0.385	0.050	0.824
7-8	0.388	0.535	0.876	0.356	1.658	0.202	0.035	0.852
7-9	0.207	0.650	0.499	0.485	1.675	0.200	0.372	0.545
7-10	0.981	0.324	0.033	0.857	0.685	0.411	2.256	0.140
8-9	0.057	0.812	1.389	0.247	0.317	0.575	3.333	0.074
8-10	0.000	0.984	0.004	0.950	0.001	0.975	3.251	0.078
9-10	0.069	0.793	0.148	0.703	0.034	0.854	0.233	0.631

注: “*”表示雌雄个体间性状的形态差异显著; A、B、C、D 采样点的具体位置如图 1 所示。

Note: “*” shows significant morphologic difference between male and female individuals; Location of sampling sites A, B, C and D are shown in fig.1.

不同采样海域的样本间有比较显著的形态差异。

对主成分 1~3 在不同采样点的因子得分平均值和标准差进行统计(表 6)。表 6 显示主成分 1、2 和 3 在不同采样点的因子得分值之间均存在一个关系: $D>B>C>A$, 各主成分在不同采样点的因子得分值的变化格局与各采样点样品的平均叉长(表 1)的变化格局一致, 说明各主成分在不同采样点的因子得分值的差异可能与不同日本鲭产卵群体间体型长短有较大相关性。

2.5 逐步判别分析

根据逐步判别分析, 将筛选出来的显著变量纳入判别方程, 对各采样海域日本鲭产卵群体建立判别公式如下:

闽南渔场: $Y_A=5.357X_1+7.995X_2+2.71X_3+5.223X_4+0.319X_5+2.393X_6+4.546X_7+10.262X_8+7.985X_9-4.624X_{10}+12.58X_{11}-7.029X_{12}-1439.897$

闽东渔场: $Y_B=6.762X_1+8.043X_2+3.926X_3+6.46X_4+0.405X_5+2.946X_6+6.19X_7+12.791X_8+9.624X_9-5.416X_{10}+15.541X_{11}-8.26X_{12}-2101.539$

温台渔场: $Y_C=6.053X_1+8.692X_2+2.693X_3+5.956X_4+0.429X_5+2.847X_6+5.322X_7+11.854X_8+9.244X_9-5.902X_{10}+14.561X_{11}-8.845X_{12}-1808.278$

烟威渔场: $Y_D=6.63X_1+9.226X_2+4.394X_3+6.904X_4+0.78X_5+3.408X_6+6.082X_7+14.038X_8+11.701X_9-8.114X_{10}+16.76X_{11}-9.908X_{12}-2422.772$

式中 X_1-X_{12} 分别代表性状 1-2、1-3、2-3、3-5、4-5、4-6、5-8、6-8、7-9、7-10、8-9、9-10。

欲判断某尾产卵期日本鲭的产卵渔场归属, 只需将其 1-2 等 12 个性状标准化后的值带入上述 4 个公式中, 哪个得出的 Y 值最大, 就属于哪个产卵渔场。

采用交互验证法对建立的判别函数进行回判, 结果见表 7。由表 7 可以看出, 交互验证法的验证

表 4 性状之间和性状与叉长之间的相关系数 (对角线以上部分为标准化之后的相关系数, 对角线以下部分是标准化之前的相关系数)

Tab.4 Coefficients of correlations between characters and between characters and FL before and after the removal of the size effect (respectively shown below and above the diagonal)

性状 characters	1-2	1-3	2-3	2-4	3-4	3-5	3-6	4-5	4-6	5-6	5-7	5-8	6-7	6-8	7-8	7-9	7-10	8-9	8-10	9-10	叉长 fork length
1-2	1	0.57	-0.22	-0.62	-0.25	-0.47	-0.41	-0.55	-0.37	-0.10	-0.28	-0.24	-0.17	-0.08	-0.10	0.24	0.33	0.35	0.38	-0.04	0.0085
1-3	0.87	1	0.29	-0.17	0.13	-0.31	-0.42	-0.25	-0.46	0.24	-0.07	0.04	0.23	-0.10	0.20	-0.04	0.08	0.22	0.12	0.37	0.0052
2-3	0.68	0.90	1	0.47	0.76	0.28	0.14	0.53	-0.04	0.62	0.19	0.32	0.57	-0.10	0.42	-0.39	-0.30	0.09	-0.12	0.54	-0.0043
2-4	0.24	0.56	0.74	1	0.27	0.20	0.02	0.31	-0.05	0.39	0.25	0.29	0.56	0.24	0.26	-0.14	-0.17	-0.28	-0.34	0.09	0.0179
3-4	0.66	0.86	0.96	0.67	1	0.35	0.35	0.42	-0.07	0.71	0.34	0.55	0.58	-0.06	0.50	-0.46	-0.35	-0.02	-0.18	0.51	-0.0106
3-5	0.64	0.82	0.89	0.65	0.89	1	0.54	0.59	0.14	0.14	0.07	0.08	-0.01	-0.06	-0.01	-0.47	-0.27	-0.22	-0.02	0.22	-0.0056
3-6	0.68	0.83	0.88	0.61	0.89	0.94	1	0.41	0.65	0.34	0.45	0.42	-0.06	-0.40	0.21	-0.38	-0.43	-0.31	-0.38	0.17	-0.0061
4-5	0.66	0.86	0.93	0.68	0.91	0.95	0.93	1	0.58	0.18	0.14	0.19	0.13	-0.19	0.23	-0.36	-0.19	-0.21	-0.18	0.39	-0.0220
4-6	0.62	0.76	0.80	0.54	0.78	0.85	0.94	0.92	1	-0.12	0.25	0.11	-0.31	-0.40	0.05	-0.14	-0.22	-0.33	-0.40	0.08	-0.0181
5-6	0.73	0.90	0.95	0.71	0.95	0.88	0.92	0.90	0.81	1	0.46	0.81	0.77	-0.12	0.74	-0.18	-0.11	0.04	-0.16	0.33	0.0001
5-7	0.56	0.75	0.80	0.65	0.83	0.78	0.86	0.81	0.80	0.87	1	0.51	0.35	-0.04	0.17	-0.54	-0.52	-0.33	-0.34	0.22	-0.0069
5-8	0.70	0.88	0.91	0.68	0.93	0.88	0.93	0.91	0.85	0.98	0.88	1	0.64	-0.02	0.82	-0.01	-0.03	-0.05	-0.28	0.19	-0.0090
6-7	0.68	0.88	0.93	0.76	0.92	0.84	0.84	0.87	0.74	0.96	0.83	0.94	1	0.32	0.67	-0.10	0.06	0.07	-0.04	0.33	0.0019
6-8	0.49	0.58	0.58	0.56	0.58	0.60	0.53	0.59	0.46	0.59	0.54	0.62	0.70	1	-0.23	0.05	0.08	-0.28	-0.14	-0.08	-0.0024
7-8	0.66	0.84	0.87	0.64	0.88	0.78	0.84	0.84	0.76	0.93	0.75	0.95	0.92	0.47	1	0.15	0.24	0.27	0.01	0.23	-0.0094
7-9	0.80	0.85	0.78	0.53	0.75	0.78	0.81	0.82	0.79	0.83	0.64	0.86	0.81	0.62	0.81	1	0.84	0.47	0.33	-0.39	-0.0052
7-10	0.82	0.87	0.79	0.51	0.76	0.81	0.81	0.84	0.78	0.84	0.64	0.85	0.83	0.63	0.83	0.97	1	0.51	0.58	-0.18	-0.0068
8-9	0.83	0.90	0.87	0.52	0.84	0.84	0.85	0.86	0.78	0.88	0.71	0.87	0.86	0.55	0.85	0.93	0.93	1	0.84	-0.03	0.0015
8-10	0.82	0.84	0.79	0.43	0.76	0.82	0.78	0.81	0.70	0.80	0.64	0.79	0.79	0.54	0.77	0.88	0.93	0.97	1	-0.09	0.0004
9-10	0.55	0.75	0.80	0.52	0.79	0.70	0.69	0.75	0.64	0.74	0.68	0.70	0.74	0.43	0.68	0.53	0.59	0.65	0.59	1	-0.0153
叉长 fork length	0.87	0.68	0.24	0.66	0.64	0.68	0.66	0.62	0.73	0.56	0.70	0.68	0.49	0.66	0.80	0.82	0.83	0.82	0.55	0.80	1

表 5 日本鲭 20 个框架性状主成分的因子负荷值
Tab.5 Factor loadings of principal components on 20 truss characters of chub mackerel

性状 characters	主成分 principal components		
	1	2	3
1-2	0.890	0.116	-0.140
1-3	0.948	0.156	0.127
2-3	0.926	0.147	0.251
2-4	0.194	0.037	0.965
3-4	0.932	0.162	0.208
3-5	0.915	0.186	0.173
3-6	0.839	0.156	0.111
4-5	0.908	0.154	0.166
4-6	0.888	0.049	0.218
5-6	0.934	0.077	0.208
5-7	0.145	0.964	0.036
5-8	0.934	0.106	0.136
6-7	0.918	0.100	0.188
6-8	0.696	0.392	0.028
7-8	0.884	0.194	0.145
7-9	0.929	0.098	0.139
7-10	0.941	0.125	0.148
8-9	0.936	0.174	0.135
8-10	0.865	0.209	0.100
9-10	0.813	0.090	0.073
特征值 eigenvalue	14.514	1.426	1.385
贡献率/% variance explained	72.57	7.13	6.92

注：上表中黑体字代表在主成分 1、2、3 中对相应性状起决定性作用的因子负荷值。

Note: The boldfaces are the factor loadings which play a decisive role to the characters correspondingly in principal components 1, 2 and 3.

结果的回判准确率超过 95%，判别准确率 P_1 为 97.06%~100%，判别准确率 P_2 为 97.14%~100%，综合判别率为 99.2%。逐步判别分析的 F 检验结

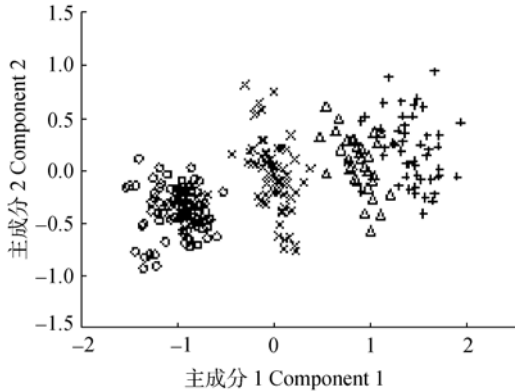


图 3 日本鲭的第 1、第 2 主成分散点图

Fig.3 Scattergram of the first and second components from truss data of chub mackerel

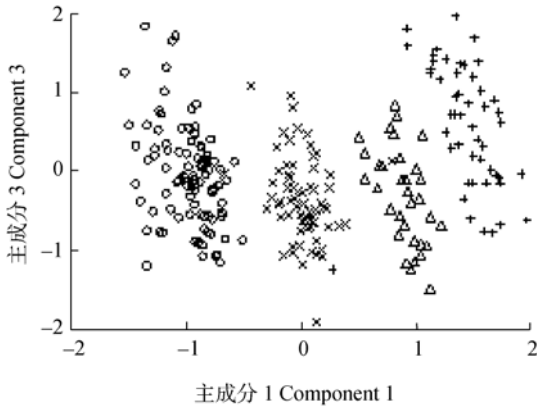


图 4 日本鲭的第 1、第 3 主成分散点图

散点图 3 和 4 中：○代表闽南渔场；△代表闽东渔场；×代表温州渔场；+代表烟威渔场。

Fig.4 Scattergram of the first and third components from truss data of chub mackerel

In the plot 3 and 4, ○: Fishing ground south off Fujian; △: East Fujian fishing ground; ×: Fishing ground off Wenzhou-Taizhou; +: Fishing ground off Yantai-Weihai.

果表明，所建立的判别函数的判别效果较好($P<0.01$)，表明不同采样海域日本鲭形态差异极显著。

表 6 各主成分在不同采样点的因子得分算术平均值和标准差

Tab.6 Arithmetic mean values and standard deviation of factor scores of each principal component for 4 sampling sites

主成分 principal component	因子得分和标准差($\bar{x} \pm SD$) factor scores and standard deviation			
	A	B	C	D
PC1	-1.02±0.34	0.89±0.17	0.01±0.23	1.42±0.28
PC2	-0.18±1.34	0.07±0.27	0.01±0.64	0.29±0.85
PC3	-0.35±1.26	-0.05±0.21	-0.15±0.53	0.60±0.81

注：A、B、C、D 采样点的具体位置如图 1 所示。

Note: Location of sampling sites A, B, C and D are shown in fig.1.

表 7 4 个日本鲭产卵群体的逐步判别分析结果
Tab.7 Results of stepwise discriminant function analysis of four breeding stocks of chub mackerel

样本 sample	A	B	C	D	判别准确率/% identification accuracy
A	33	0	0	0	97.06
B	0	100	0	0	99.01
C	1	1	68	0	97.14
D	0	0	0	51	100
总计 total	34	101	68	51	

注: A、B、C、D 采样点的具体位置如图 1 所示。
Note: Location of sampling sites A, B, C and D are shown in fig.1.

3 讨论

主成分分析结果表明, 4 个采样海域的日本鲭产卵群体有显著的形态差异, 主要集中在鳃盖腹部末端至腹鳍起点距离(2-4)、第二背鳍基底长度(5-7)和臀鳍基底长度(6-8)。这 3 个性状中鳃盖腹部末端至腹鳍起点是躯干部与头部连接的部位, 第二背鳍和臀鳍是躯干部与尾柄部连接的部位, 这说明不同采样海域的日本鲭产卵群体形态差异来自于躯干部的形态。表 1 中 4 个采样点日本鲭样品的平均叉长从大到小依次为 D、B、C、A, 而这 3 个性状的平均值在不同采样点间的关系均符合以上关系。这一结果显示 4 个日本鲭产卵群体形态差异很大程度上是由躯干部的长短引起的。逐步判别分析筛选对形态差异贡献显著的性状, 并建立判别公式。判别结果表明不同采样海域日本鲭间形态差异极显著。主成分分析和逐步判别分析的结果从形态特征上为 4 个采样海域的日本鲭产卵群体的划分提供了基础。

东、黄海日本鲭种群的鉴定与划分工作一直以来都存在较多争议^[2-5], 这很大程度上也是因为缺乏形态学和分子遗传学证据^[6-7]。邵峰等^[6]曾经利用框架法对五岛西部和东海西部的日本鲭种群形态学差异进行过研究, 但其研究还存在一定的局限与不足。首先, 其所采集的样品为越冬个体, 种群鉴定的材料应是采自产卵场的产卵群体, 因为与其他时期相比, 产卵群体的形态等生物学特征能够显著地表现出来, 变异也更具规律性, 因此结果也更为可靠^[8]; 其次, 其数据的标

准化方法是简单地除以体长, 这样并不能有效消除样品个体大小变化对数据的影响^[15]。在鱼类形态学研究中, 个体大小因素在所有变量中占 80 % 乃至更多的比重^[6,18-19]。个体大小的影响未有效移除, 会对形态分析产生很大影响, 并有可能产生错误的结果^[20]。

研究表明, 环境因素也可能对鱼类形态产生影响^[21-23]。海流或水团对上层鱼类群体的空间分布、运动和隔离均起到非常重要的作用^[24]。在东海海域, 高温、高盐的黑潮暖流到达陡峭的大陆斜坡时, 大部分转向东, 进而向东北方向运动, 一小部分黑潮分支则沿东海大陆架向上移动^[25], 而低温、低盐的东海沿岸流从北向南运动至台湾北部海域^[26]。黑潮暖流与东海沿岸流的交汇阻止了台湾海峡以北的日本鲭进入台湾海峡^[20], 同时阻止了台湾海峡闽南渔场的日本鲭向北移动进入台湾海峡以北海域。这样的海洋水文条件可能是日本鲭在台湾海峡的闽南渔场和东海的闽东、温台渔场形成形态特征差异的主要原因。此外, 不同的温盐度等也会对鱼类早期个体发育产生很大的影响^[27]。温台渔场的温盐度主要受东海表层水的影响, 而闽东渔场受黑潮的影响较大^[28], 烟威渔场则主要受黄海暖流和渤莱沿岸水的共同影响^[29]。这 3 个水团的温盐度相差较大^[28-29], 也可能直接或间接导致鱼类发育程度的差别, 从而引起形态差异。Pepin 和 Carr^[30]认为基于形态特征的种群鉴定必须有遗传证据证明形态差异反映了某种程度的生殖隔离, 而不是简单的环境差异。故在分子遗传学方面尚需进行深入研究, 以查明不同日本鲭产卵群体形态学上的显著差异是否由一定程度的生殖隔离引起, 为基于形态差异的种群划分提供证据。

本次采样由于禁渔期和渔船生产渔场等客观条件所限, 并不能涵盖日本鲭的所有产卵场所, 如青岛-石岛渔场、江外渔场、东海外海渔场和台北渔场, 因此在分析整个东黄海日本鲭种群的形态差异与洄游分布等问题上, 还存在一定的局限性。故东、黄海日本鲭种群的鉴定与划分工作还需要更深入的研究和探索。

参考文献:

- [1] Roldán M I, Perrotta R G, Cortey M, et al. Molecular and morphologic approaches to discrimination of variability patterns in chub mackerel, *Scomber japonicus* [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2000, 253: 63–74.
- [2] 丁仁福, 俞连福, 颜尤明. 东海区渔业资源调查和区划[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987: 392–401.
- [3] 颜尤明. 福建近海鲈鱼的生物学[J]. 海洋渔业, 1997, 19(2): 69–73.
- [4] <http://abchan.job.affrc.go.jp/digests20/2006.html>.
- [5] 邓景耀, 赵传纲. 海洋渔业生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 413–452.
- [6] 邵锋, 陈新军, 李纲, 等. 东黄海鲈鱼形态差异分析[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(2): 204–209.
- [7] 邵锋, 陈新军. 东黄海鲈鱼群体遗传差异的 RAPD 分析[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(3): 83–87.
- [8] 陈新军等. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 27–28.
- [9] Bookstein F L. Foundation of morphometrics [J]. Ann Rev Ecol Syst, 1982, 13: 451–470.
- [10] Humphries J M. Multivariate discrimination by shape in relation to sizes [J]. Syst Zool, 1981, 30 (3): 291–308.
- [11] Cadrin S X. Advances in morphometric identification of fishery stocks [J]. Rev Fish Biol Fisher, 2000, 10: 91–112.
- [12] Erguden D, Turan C. Examination of genetic and morphologic structure of sea-bass populations in Turkish coastal waters [J]. Turk J Vet Ani Sci, 2005, 29: 727–733.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化委员会. 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 83–85.
- [14] 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.
- [15] Reist J. An empirical evaluation of several univariate methods that adjust for size variation in morphometric data [J]. Can J Zool, 1985, 63: 1429–1439.
- [16] Tzeng T D, Yeh S Y. Stock structure of spotted mackerel (*Scomber australasicus*) in Taiwan inferred from morphometric variation [J]. J Fish Soc, 2002, 29 (2): 117–128.
- [17] 刘彩霞, 彭作刚, 何舜平. 长臀鲹属鱼类多变量形态分析及物种有效性研究[J]. 水生生物学报, 2005, 29(5): 507–512.
- [18] Junquera S, Perez-Gandaras G. Population diversity in Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1785) as revealed by multivariate analysis of morphometric and meristic characters [J]. Ices J Mar Sci, 1993, 50: 383–391.
- [19] Tzeng T D, Yeh S Y. Permutation tests for difference between two multivariate allometric patterns [J]. Zool Stud, 1999, 38 (1): 10–18.
- [20] Tzeng T D, Yeh S Y. Morphological Variation in the Common Mackerel (*Scomber japonicus*) off Taiwan [J]. M J Fish Soc Taiwan, 2007, 34(2): 197–205.
- [21] Ken J T. The complex bingham distribution and shape analysis [J]. J Roy Stat Soc Ser B (Met), 1994, 56: 285–299.
- [22] Shepherd G. Meristic and morphometric variation in black sea bass north of cape hatteras, North Carolina [J]. N Am J Fish Manage, 1991, 11: 139–148.
- [23] West-Eberhard M J. Phenotypic plasticity and the origins of diversity [J]. Annu Rev Ecol S, 1989, 20: 249–278.
- [24] Tzeng W N. Availability and population structure of spotted mackerel, *Scomber australasicus*, in the adjacent waters of Taiwan [J]. Acta Oceanogr Taiwanica, 1988, 19: 132–145.
- [25] Hsueh Y, Wang J, Chern C S. The intrusion of the Kuroshio across the continental shelf northeast of Taiwan [J]. J Geophys Res, 1992, 97: 14320–14323.
- [26] Wu B. Some problems on circulation study in Taiwan Strait [J]. Taiwan Strait, 1982, 1: 1–7.
- [27] 王宏田, 张培军. 环境因子对海产鱼类受精卵及早期仔鱼发育的影响[J]. 海洋科学, 1998, 4: 50–52.
- [28] 李秀珠, 刘士忠, 沈新强. 东海区渔业资源及其可持续利用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2007: 26–32.
- [29] 金显仕, 赵宪勇. 黄渤海生物资源与栖息环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 21–55.
- [30] Pepin P, Carr S M. Morphometrical, meristic, and genetic analysis of stock structure in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Newfoundland shelf [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992, 50: 1924–1933.

Morphological differences between breeding stocks of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China and Yellow seas

LIU Chuzhu^{1,2}, YAN Liping¹, LI Jiansheng¹, LU Zhenbo³, ZHANG Zhuangli⁴, ZHANG Hui¹, LI Shengfa¹

1. Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries Resources and Ecology, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
2. College of Marine Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. Marine Fisheries Research Institute of Shandong Province, Yantai 264006, China;
4. Fujian Fisheries Research Institute, Xiamen 361012, China

Abstract: Morphological differences of mature stock of Chub mackerel (*Scomber japonicus*) were investigated using samples collected during peak spawning in Southern and Eastern Fujian fishing grounds (Wenzhou-Taizhou and Yantai-Weihai fishing grounds) during January to May 2010. Twenty characters were measured within each individual following the truss method. Data were standardized by allometric methods used to remove influences of size differences during the analysis. Furthermore, multivariate analysis of variance was used to examine differences between female and male individuals from four sampling areas. Results indicate that significant differences were observed for characters 2-4 between females and males from Wenzhou-Taizhou fishing grounds ($P < 0.05$). However, no such differences were found for the other characters or for samples from the other fishing ground. Thus, males and females were lumped for further analysis in this study. A discriminant formula was built by principal component analysis (PCA) and stepwise discriminant function analysis (DFA). Three principal components were constructed, which resulted in a cumulative contributory ratio of 86.63%. Principal component 2 was affected by the length of the second dorsal fin and anal fin, while principal component 3 was especially affected by the extremity of the operculum and starting point of the pelvic fin. Principal component analysis showed that body length was responsible for the morphological difference of mature stock in four sampling areas. The discriminant function of four mature stocks was established by DFA, which showed the range of discriminant accuracy was 97.06%–100% for P_1 , 97.14%–100% for P_2 , and the general discrimination rate was 99.2%. Finally, this research suggests that the morphological differences of mature stock of Chub mackerel are significant in the four sampling areas in the East China and Yellow Seas.

Key words: East China Sea; Yellow Sea; chub mackerel; breeding stock; morphological difference; Truss method

Corresponding author: LI Shengfa. E-mail: shengfa@sh163.net