

利用角质颚形态判别东海两种常见枪乌贼

马迪¹, 金岳¹, 陈芃¹, 陈新军^{1,2,3,4*}, 陈峰⁵

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 农业部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306;

5. 浙江海洋水产研究所, 浙江舟山 316021)

摘要: 为了尝试利用角质颚对东海2种常见枪乌贼类种类进行判别, 本研究对2015年11月采集的69尾中国枪乌贼和100尾杜氏枪乌贼的角质颚, 采用主成分分析法、逐步判别分析法、傅里叶法对2种枪乌贼进行种类判别。结果显示, 在所有12个形态参数的比较中, 中国枪乌贼和杜氏枪乌贼都存在极显著差异, 杜氏枪乌贼角质颚在雌雄群体间存在显著差异。采用逐步判别分析法对2种枪乌贼进行分类, 中国枪乌贼判别正确率为92.4%, 杜氏枪乌贼为85.3%, 总判别正确率为88.2%。根据主成分分析结果, 以2种枪乌贼主成分特征值大于1的因子中, 负载值最高的形态参数比例指标构建判别函数, 中国枪乌贼的判别正确率为98.5%, 杜氏枪乌贼为84.2%, 总判别正确率为90.1%。分雌雄对2种枪乌贼进行分类判别, 雄性的总判别正确率为83.3%, 雌性为97.8%。利用傅里叶法进行判别分析, 基于上颚的判别总正确率为83.3%, 基于下颚的判别总正确率为95.0%。研究表明, 角质颚外部形态可用于2个枪乌贼种类的判别。

关键词: 中国枪乌贼; 杜氏枪乌贼; 角质颚; 种类判别; 东海

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

中国枪乌贼(*Loligo chinensis*)和杜氏枪乌贼(*Uroteuthis duvauceli*)均属头足纲(Cephalopoda), 鞘亚纲(Coleoidea), 枪形目(Teuthoidea), 闭眼亚目(Myopsida), 枪乌贼科(Loliginidae), 尾枪乌贼属(*Uroteuthis*)^[1]。2015年, 中国枪乌贼类的产量占近海头足类总产量的54.3%^[2]。其中中国枪乌贼和杜氏枪乌贼均为重要经济种。苗振清^[3]根据2006—2007年在浙江南部海域的调查, 发现杜氏枪乌贼和中国枪乌贼群体数量较高, 分别占头足类总渔获量的13.01%和11.23%。关于杜氏枪乌贼, 已有趋光性^[4]、营养成分^[5]、食性^[6]、数量分布^[7]等方面的研究。关于中国枪乌贼, 已有生物学特性^[8]、性腺成熟度划分^[9]、资源状况^[10]等方面的研究。2种枪乌贼在外形上差别较小, 目

前区分的手段主要是依据其腕部吸盘角质环上的齿的数量和形状、几丁质内壳形态^[11]。在实际操作中, 发现部分角质环存在剥落现象, 部分内壳存在断裂现象, 对正确区分2种枪乌贼产生了影响。目前, 角质颚已被越来越广泛地应用在头足类的分类与鉴定中, Wolff^[11]从太平洋采集获取了18种头足类, 利用方差分析等方法研究了它们的角质颚, 并依据不同种类角质颚的区别制定了鉴别分类的方法。刘必林等^[12]利用逐步判别和主成分分析法对5种近海常见经济头足类的角质颚进行判别分析。因此, 本研究根据东海海域的中国枪乌贼和杜氏枪乌贼的角质颚外部形态特征进行种类判别, 以期对近海头足类资源的开发和管理提供基础资料。

收稿日期: 2017-04-15 修回日期: 2017-05-10

资助项目: 国家自然科学基金(41476129, 41276156)

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验材料

研究样本由2015年委托浙江省海洋水产研究所担任东海渔业资源监测网的渔船采集, 一共采集获得69尾中国枪乌贼(雄性29尾, 雌性40尾)和100尾杜氏枪乌贼(雄性48尾, 雌性52尾)。将样品冷冻后运回实验室用于分析。

1.2 生物学测定、角质颚测量及照片处理

将样本解冻后, 测定其胴长(mantle length, ML)、体质量(body weight, BW), 鉴别性别。胴长精确至1 mm, 体质量精确至1 g。

用镊子取出位于口部的角质颚, 放入75%的酒精中清洗以去除杂质, 使用游标卡尺(精度0.01 mm)对角质颚形态进行测量。共测量上颚和下颚中各6个数据^[12], 分别为上头盖长(upper hood length, UHL)、上脊突长(upper crest length, UCL)、上喙长(upper rostrum length, URL)、上喙宽(upper rostrum width, URW)、上翼长(upper wing length, UWL)、上侧壁长(upper lateral wall length, ULWL)、下头盖长(lower hood length, LHL)、下脊突长(lower crest length, LCL)、下喙长(lower rostrum length, LRL)、下喙宽(lower rostrum width, LRW)、下翼长(lower wing length, LWL)、下侧壁长(lower lateral wall length, LLWL)。

使用尼康D750单反相机对角质颚进行拍照, 使用SHAPE软件将角质颚图像转化为傅里叶系数, 所得80个系数进行标准化处理(A1, A2, …, A20; B1, B2, …, B20; C1, C2, …, C20; D1, D2, …, D20, 共计80个), 最终每个角质颚外部形态由77个傅里叶系数组成。

1.3 数据分析

不同种类不同性别角质颚的比较 分别对2种枪乌贼及同种枪乌贼的雌雄个体间的角质颚12项形态参数进行均数差异性检验。

主成分分析 对2种枪乌贼12项角质颚外部形态参数进行主成分分析, 找出能够表征角质颚主要特征的形态参数, 并和胴长建立关系。

稳定指标的比较 对中国枪乌贼和杜氏

枪乌贼角质颚各部分形态参数的比值, 按照胴长分组后, 进行组间单因素方差分析(One-Way ANOVA), 筛选出不受生长影响的稳定性指标。比较2种枪乌贼共有的稳定指标, 找出差异性显著的比值。

2种枪乌贼的判别分析 分别利用逐步判别分析和基于主成分的分析结果对2种枪乌贼进行分类。

2种处理方法的比较 随机选取中国枪乌贼和杜氏枪乌贼各30尾, 对其分别运用传统测量学法和傅里叶法进行角质颚的分类判别。

所有统计分析均在SPSS 19.0软件中处理完成, 角质颚的照片使用PhotoShop CS6软件和SHAPE软件进行处理。

2 结果

2.1 角质颚外部形态差异

中国枪乌贼角质颚的各项形态参数的平均值都大于杜氏枪乌贼(表1)。将角质颚各项形态参数除以胴长进行标准化后, 杜氏枪乌贼的形态参数比例指标均值略大于中国枪乌贼(表2)。

通过均数差异假设检验结果分析, 在所有12个形态参数指标比例的比较中, 中国枪乌贼和杜氏枪乌贼都存在极显著差异($P < 0.01$)(表3)。分别对2种枪乌贼不同性别个体进行角质颚形态参数比例指标的均数差异假设检验, 中国枪乌贼所有12个角质颚形态参数指标比例都不存在显著差异; 杜氏枪乌贼的UHL/ML、UCL/ML、URL/ML、ULWL/ML、LHL/ML、LCL/ML、LRL/ML、LRW/ML和LLWL/ML都存在着显著差异($P < 0.05$)(表3)。

2.2 主成分分析结果

中国枪乌贼雌雄个体的角质颚形态没有显著差异(表3), 因此雌雄群体合并进行研究, 而杜氏枪乌贼雌雄个体的角质颚形态有显著差异(表3), 主成分分析认为(取特征值大于1为主成分)是2个主成分因子; 杜氏枪乌贼雄性群体为3个主成分因子, 雌性群体为3个主成分因子。并对所有因子负荷进行最大方差旋转。

中国枪乌贼群体第一主成分因子中载荷系数最大为UHL/ML, 为0.907; 第二主成分因子中载荷系数最大为LRW/ML, 为0.860(表4)。杜氏枪乌贼雄性群体第一主成分因子中载荷系数最

表 1 中国枪乌贼和杜氏枪乌贼角质颚形态参数值
Tab. 1 Beak morphological parameters of *L. chinensis* and *U. duvauceli*

形态参数 morphologic parameters	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>			杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>		
	最大值 max value	最小值 min value	平均值 average value	最大值 max value	最小值 min value	平均值 average value
上头盖长 UHL	17.02	8.94	11.70	11.30	3.98	6.77
上脊突长 UCL	23.62	12.11	15.87	15.67	6.58	9.99
上喙长 URL	5.18	2.03	3.13	3.42	1.36	2.38
上喙宽 URW	4.22	2.02	2.82	2.98	1.01	1.87
上侧壁长 ULWL	18.89	8.27	12.39	13.89	5.32	7.61
上翼长 UWL	7.24	2.58	4.84	6.86	1.68	3.33
下头盖长 LHL	7.62	2.92	4.56	4.30	0.83	2.81
下脊突长 LCL	13.31	6.94	9.45	7.94	2.52	5.47
下喙长 LRL	4.73	2.17	3.12	2.98	0.98	2.08
下喙宽 LRW	5.53	2.42	3.79	3.59	0.78	2.11
下侧壁长 LLWL	15.88	7.40	10.61	10.72	3.45	6.89
下翼长 LWL	11.89	4.41	7.46	7.05	2.01	4.44

表 2 中国枪乌贼和杜氏枪乌贼角质颚形态参数
比例指标均值

Tab. 2 Average beak morphologic ratio index of
L. chinensis and *U. duvauceli*

形态参数比例指标 morphologic ratio index	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>		杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	
	雌性 female	雄性 male	雌性 female	雄性 male
上头盖长/胴长 UHL/ML	0.07	0.06	0.08	0.07
上脊突长/胴长 UCL/ML	0.09	0.09	0.12	0.11
上喙长/胴长 URL/ML	0.02	0.02	0.03	0.03
上喙宽/胴长 URW/ML	0.02	0.02	0.02	0.02
上侧壁长/胴长 ULWL/ML	0.07	0.07	0.09	0.08
上翼长/胴长 UWL/ML	0.03	0.03	0.04	0.04
下头盖长/胴长 LHL/ML	0.03	0.02	0.03	0.03
下脊突长/胴长 LCL/ML	0.05	0.05	0.07	0.06
下喙长/胴长 LRL/ML	0.02	0.02	0.03	0.02
下喙宽/胴长 LRW/ML	0.02	0.02	0.03	0.02
下侧壁长/胴长 LLWL/ML	0.06	0.06	0.08	0.07
下翼长/胴长 LWL/ML	0.04	0.04	0.05	0.05

大为UCL/ML, 为0.879; 第二主成分因子中载荷系数最大为URL/ML, 为0.644; 第三主成分因子载荷系数最大为LWL/ML, 为0.749(表5)。杜氏枪乌贼雌性群体第一主成分因子中载荷系数最

大为LLWL/ML, 为0.844; 第二主成分因子中载荷系数最大为LRW/ML, 为0.795; 第三主成分因子载荷系数最大为URW/ML, 为0.598(表6)。

2.3 主要形态参数和胴长的关系

中国枪乌贼UHL和ML关系式: $ML=10.017UHL+62.918$ ($R^2=0.513$, $P<0.001$)。雌性杜氏枪乌贼LLWL和ML关系式: $ML=11.856LLWL+3.448$ ($R^2=0.656$, $P<0.001$)。雄性杜氏枪乌贼UCL和ML关系式: $ML=9.1512UCL+2.7069$ ($R^2=0.519$, $P<0.001$)。

2.4 稳定性指标

通过ANOVA分析, 中国枪乌贼上颚所有比值在不同胴长间均不存在显著差异($P>0.05$), 可全部视为不受生长影响的稳定性指标; 下颚除了LRW/LHL外, 其他比值在不同胴长间均不存在显著差异($P>0.05$), 可视为不受生长影响的稳定性指标。

雌性杜氏枪乌贼上颚、下颚所有比值在不同胴长间均不存在显著差异($P>0.05$), 可全部视为不受生长影响的稳定性指标。雄性杜氏枪乌贼上颚除了URW/UCL外, 其他比值在不同胴长间均不存在显著差异($P>0.05$), 可视为不受生长影响的稳定性指标; 下颚除了LRW/LHL和LRW/LWL外, 其他比值在不同胴长间均不存在显著

表3 均数差异假设检验结果(P值)

Tab. 3 Results of hypothesis test of means' difference (P value)

形态参数指标比例 morphologic ratio index	不同种比较 comparison between different species	同一种不同性别比较 comparison between different genders in the same specie	
		中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>
上头盖长/胴长 UHL/ML	0	0.115	0.011
上脊突长/胴长 UCL/ML	0	0.260	0.001
上喙长/胴长 URL/ML	0	0.811	0.043
上喙宽/胴长 URW/ML	0	0.300	0.291
上侧壁长/胴长 ULWL/ML	0	0.222	0.023
上翼长/胴长 UWL/ML	0	0.881	0.091
下头盖长/胴长 LHL/ML	0	0.261	0.003
下脊突长/胴长 LCL/ML	0	0.203	0.001
下喙长/胴长 LRL/ML	0	0.518	0.002
下喙宽/胴长 LRW/ML	0	0.700	0.003
下侧壁长/胴长 LLWL/ML	0	0.911	0
下翼长/胴长 LWL/ML	0	0.598	0.056

表4 中国枪乌贼角质颚主成分分析

Tab. 4 Principal component analysis for beak of *L. chinensis*

形态参数 morphologic parameters	第一主成分 first principal component	第二主成分 second principal component
上头盖长/胴长 UHL/ML	0.907	0.289
上脊突长/胴长 UCL/ML	0.093	0.775
上喙长/胴长 URL/ML	0.188	0.745
上喙宽/胴长 URW/ML	0.902	0.097
上侧壁长/胴长 ULWL/ML	0.591	0.445
上翼长/胴长 UWL/ML	0.167	0.754
下头盖长/胴长 LHL/ML	0.817	0.442
下脊突长/胴长 LCL/ML	0.281	0.663
下喙长/胴长 LRL/ML	0.021	0.860
下喙宽/胴长 LRW/ML	0.573	0.619
下侧壁长/胴长 LLWL/ML	0.894	-0.090
下翼长/胴长 LWL/ML	0.907	0.289
特征值 eigen value	5.649	2.065
方差贡献率/% variance contribution	51.350	18.776
累计贡献率/% cumulative variance contribution	51.350	70.126

差异($P>0.05$), 可视为不受生长影响的稳定性指标。

对2种枪乌贼上颚共有的稳定性指标进行差异性检验, 发现URL/UHL、URW/UHL、UWL/

UHL、URL/UCL、UHL/UCL、URL/URW和URL/ULWL这7个比值在2种枪乌贼间存在极显著差异($P<0.01$)。

表 5 雄性杜氏枪乌贼角质颚主成分分析

Tab. 5 Principal component analysis for beak of male *U. duvauceli*

形态参数 morphologic parameters	第一主成分 first principal component	第二主成分 second principal component	第三主成分 third principal component
上头盖长/胴长 UHL/ML	0.614	0.561	-0.216
上脊突长/胴长 UCL/ML	0.879	0.043	-0.178
上喙长/胴长 URL/ML	0.596	0.644	0.016
上喙宽/胴长 URW/ML	0.684	-0.553	0.109
上侧壁长/胴长 ULWL/ML	0.561	-0.134	-0.540
上翼长/胴长 UWL/ML	0.594	-0.352	0.079
下头盖长/胴长 LHL/ML	0.665	0.188	-0.438
下脊突长/胴长 LCL/ML	0.814	-0.062	-0.007
下喙长/胴长 LRL/ML	0.657	0.235	0.213
下喙宽/胴长 LRW/ML	0.625	0.256	0.283
下侧壁长/胴长 LLWL/ML	0.509	0.562	0.234
下翼长/胴长 LWL/ML	0.429	-0.023	0.749
特征值 eigen value	5.012	1.656	1.322
方差贡献率/% variance contribution	41.770	13.797	11.016
累计贡献率/% cumulative variance contribution	41.770	55.567	66.583

表 6 雌性杜氏枪乌贼角质颚主成分分析

Tab. 6 Principal component analysis for beak of female *U. duvauceli*

形态参数 morphologic parameters	第一主成分 first principal component	第二主成分 second principal component	第三主成分 third principal component
上头盖长/胴长 UHL/ML	0.693	-0.182	-0.355
上脊突长/胴长 UCL/ML	0.774	-0.325	-0.117
上喙长/胴长 URL/ML	0.724	-0.306	0.394
上喙宽/胴长 URW/ML	0.644	-0.161	0.598
上侧壁长/胴长 ULWL/ML	0.754	-0.218	-0.206
上翼长/胴长 UWL/ML	0.597	-0.114	0.476
下头盖长/胴长 LHL/ML	0.563	0.416	-0.078
下脊突长/胴长 LCL/ML	0.654	0.162	-0.274
下喙长/胴长 LRL/ML	0.490	0.661	0.137
下喙宽/胴长 LRW/ML	0.314	0.795	0.128
下侧壁长/胴长 LLWL/ML	0.844	0.050	-0.070
下翼长/胴长 LWL/ML	0.697	-0.029	-0.414
特征值 eigen value	5.225	1.589	1.214
方差贡献率/% variance contribution	43.539	13.239	10.120
累计贡献率/% cumulative variance contribution	43.539	56.778	66.898

对2种枪乌贼下颚共有的稳定性指标进行差异性检验, 发现LRL/LCL、LCL/LLWL、LRL/

LRW和LRW/LWL这4个比值在2种枪乌贼间存在极显著差异($P<0.01$)。

2.5 判别分析

2种枪乌贼间的判别 采用逐步判别分析法对2种枪乌贼进行分类。依据Wilks' Lambda法对12项参数值指标进行筛选, 选择了URL/ML和LLWL/ML 2项变量因子对2种枪乌贼进行种类鉴别, 建立判别方程。

中国枪乌贼: $Y = 296.968 \times URL/ML + 446.726 \times LLWL/ML - 16.528$

杜氏枪乌贼: $Y = 561.601 \times URL/ML + 560.299 \times LLWL/ML - 30.266$

利用建立的判别方程进行种类判别, 中国枪乌贼的判别正确率为93.9%, 杜氏枪乌贼判别正确率为86.3%, 总判别正确率为89.4%。交叉验证的结果与初始判别相似, 中国枪乌贼为92.4%, 杜氏枪乌贼为85.3%, 总判别正确率为88.2%(表7)。

根据主成分分析结果, 以主成分特征值中负载值最高的形态参数比例指标UHL/ML、URL/ML、UCL/ML、LRW/ML、LWL/ML、LLWL/ML和LRL/ML建立判别函数。

中国枪乌贼:

$$Y = 184.581UHL/ML + 151.933LRW/ML + 235.104UCL/ML + 19.091URL/ML + 117.905LWL/ML + 104.747LLWL/ML - 40.403LRL/ML - 24.169$$

杜氏枪乌贼:

$$Y = 80.192UHL/ML + 64.534LRW/ML + 319.288UCL/ML + 241.998URL/ML + 91.164LWL/ML + 237.152LLWL/ML + 60.364LRL/ML - 38.218$$

利用建立的判别方程进行种类判别, 中国枪乌贼的正确判别率为98.5%, 杜氏枪乌贼的判别正确率为88.4%, 总判别正确率为92.5%。交叉判别分析认为, 中国枪乌贼的判别正确率为98.5%, 杜氏枪乌贼的判别正确率为84.2%, 总判别正确率为90.1%(表8)。

同一性别2种枪乌贼的判别 采用逐步判别分析法对同一性别2种枪乌贼进行分类。依据Wilks' Lambda法对12项参数值指标进行筛选, 选择UHL/ML、UCL/ML、URL/ML、URW/ML和LLWL/ML 5项变量因子对2种雌性枪乌贼进行种类鉴别, 建立判别方程。

中国枪乌贼:

$$Y = 239.037UHL/ML + 215.491UCL/ML - 112.500URL/ML + 233.431URW/ML + 170.168LLWL/ML - 24.360$$

杜氏枪乌贼:

$$Y = 49.504UHL/ML + 314.158UCL/ML + 336.360URL/ML - 74.703URW/ML + 400.552LLWL/ML - 41.829$$

利用建立的判别方程进行种类判别, 雌性中国枪乌贼的判别正确率为100%, 雌性杜氏枪

表 7 基于逐步判别分析法的中国枪乌贼和杜氏枪乌贼的判别正确率

Tab. 7 The successful discrimination rate for *L. chinensis* and *U. duvauceli* based on stepwise discriminant analysis

逐步判别分析 SDA	种类 species	中国枪乌贼/尾 <i>L. chinensis</i>	杜氏枪乌贼/尾 <i>U. duvauceli</i>	总计/尾 total	正确率/% accuracy
初始判别 original result	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	62	4	66	93.9
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	13	82	95	86.3
交叉验证 cross-validation	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	61	5	66	92.4
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	14	81	95	85.3

表 8 基于主成分分析的中国枪乌贼和杜氏枪乌贼的判别正确率

Tab. 8 The successful discrimination rate for *L. chinensis* and *U. duvauceli* based on principal component analysis

逐步判别分析 SDA	种类 species	中国枪乌贼/尾 <i>L. chinensis</i>	杜氏枪乌贼/尾 <i>U. duvauceli</i>	总计/尾 total	正确率/% accuracy
初始判别 original result	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	65	1	66	98.5
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	11	84	95	88.4
交叉验证 cross-validation	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	65	1	66	98.5
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	15	80	95	84.2

乌贼判别正确率为98%, 总判别正确率为98.9%。交叉验证的结果与初始判别相似, 雌性中国枪乌贼为100%, 雌性杜氏枪乌贼为96.1%, 总判别正确率为97.8%(表9)。

选择UCL/ML、URL/ML、LCL/ML和LLWL/ML 4项变量因子对2种雄性枪乌贼进行种类鉴别, 建立判别方程。

中国枪乌贼:

$$Y = 338.937UCL/ML - 47.248URL/ML + 213.671LCL/ML + 268.705LLWL/ML - 28.464$$

杜氏枪乌贼:

$$Y = 467.081UCL/ML + 197.103URL/ML + 54.889LCL/ML + 349.762LLWL/ML - 42.847$$

利用建立的判别方程进行种类判别, 雄性中国枪乌贼的判别正确率为92.9%, 雄性杜氏枪乌贼判别正确率为88.6%, 总判别正确率为90.3%。交叉验证的结果与初始判别相似, 雄性中国枪乌贼为89.3%, 雄性杜氏枪乌贼为79.5%, 总判别正确率为83.3%(表10)。

2.6 2种处理方法的比较

将测量得到的12项角质颞外部形态参数进行

逐步判别分析, 依据Wilks' Lambda法对12项参数值指标进行筛选, 选择URW/ML、LCL/ML和LLWL/ML 3项变量因子对2种枪乌贼进行种类鉴别, 建立判别方程。

中国枪乌贼:

$$Y = -3.354URW/ML - 7.985LCL/ML + 17.128LLWL/ML - 1.045$$

杜氏枪乌贼:

$$Y = -86.228URW/ML - 56.017LCL/ML + 111.271LLWL/ML - 7.374$$

利用建立的方程进行种类判别, 中国枪乌贼的判别正确率为100.0%, 杜氏枪乌贼判别正确率为90.0%, 总判别正确率为95.0%(表11)。交叉验证的结果与初始判别相似, 中国枪乌贼为100.0%, 杜氏枪乌贼为80.0%, 总判别正确率为90.0%。

将角质颞外部形态提取的77个傅里叶系数进行逐步判别分析, 依据Wilks' Lambda法对77个系数进行筛选, 最终选择了A4、A12、B4、B18、C2、C8、C16、D1、D5、D20这10项变量因子对2种枪乌贼上、下颞进行判别分类, 建立判别方程。

表 9 基于逐步判别分析法的雌性中国枪乌贼和雌性杜氏枪乌贼的判别正确率

Tab. 9 The successful discrimination rate for female *L. chinensis* and female *U. duvauceli* based on stepwise discriminant analysis

逐步判别分析 SDA	种类 species	中国枪乌贼/尾 <i>L. chinensis</i>	杜氏枪乌贼/尾 <i>U. duvauceli</i>	总计/尾 total	正确率/% accuracy
初始判别 original result	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	38	0	38	100
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	1	50	51	98.0
交叉验证 cross-validation	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	38	0	38	100
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	2	49	51	96.1

表 10 基于主成分分析的雄性中国枪乌贼和雄性杜氏枪乌贼的判别正确率

Tab. 10 The successful discrimination rate for male *L. chinensis* and male *U. duvauceli* based on principal component analysis

逐步判别分析 SDA	种类 species	中国枪乌贼/尾 <i>L. chinensis</i>	杜氏枪乌贼/尾 <i>U. duvauceli</i>	总计/尾 total	正确率/% accuracy
初始判别 original result	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	26	2	28	92.9
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	5	39	44	88.6
交叉验证 cross-validation	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	25	3	28	89.3
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	9	35	44	79.5

表 11 基于逐步判别分析法的中国枪乌贼和杜氏枪乌贼的判别正确率

Tab. 11 The successful discrimination rate for *L. chinensis* and *U. duvauceli* based on stepwise discriminant analysis

逐步判别分析 SDA	种类 species	中国枪乌贼/尾 <i>L. chinensis</i>	杜氏枪乌贼/尾 <i>U. duvauceli</i>	总计/尾 total	正确率/% accuracy
初始判别 original result	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	30	0	30	100
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	3	27	30	90.0
交叉验证 cross-validation	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	30	0	30	100
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	6	24	30	80.0

中国枪乌贼上颌:

$$Y = 74.457A4 - 229.454A12 - 55.713C2 + 200.074C16 + 509.569D5 - 10.691$$

杜氏枪乌贼上颌:

$$Y = 13.001A4 - 17.470A12 - 36.126C2 - 195.820C16 + 293.322D5 - 4.261$$

中国枪乌贼下颌:

$$Y = -898.156B4 + 76.305B18 + 283.972C2 - 1332.203C8 + 1543.639D1 + 2256.820D5 - 9766.598D20 - 550.341$$

杜氏枪乌贼下颌:

$$Y = -1174.219B4 + 1718.618B18 + 134.183C2 - 885.415C8 + 1686.096D1 + 2808.528D5 - 11627.313D20 - 606.416$$

式中, $A4$ 、 $A12$ 、 $B4$ 、 $B18$ 、 $C2$ 、 $C8$ 、 $C16$ 、 $D1$ 、 $D5$ 、 $D20$ 为10个傅立叶系数。

基于上颌的判别分析, 中国枪乌贼的判别

正确率为86.7%, 杜氏枪乌贼判别正确率为86.7%, 总判别正确率为86.7%。交叉验证的结果与初始判别相似, 中国枪乌贼为80.0%, 杜氏枪乌贼为86.7%, 总判别正确率为83.3%(表12)。

基于下颌的判别分析, 中国枪乌贼的判别正确率为100.0%, 杜氏枪乌贼判别正确率为96.7%, 总判别正确率为98.3%。交叉验证的结果与初始判别相似, 中国枪乌贼为93.3%, 杜氏枪乌贼为96.7%, 总判别正确率为95.0%(表13)。

3 讨论

3.1 角质颌外部形态差异

对中国枪乌贼和杜氏枪乌贼角质颌形态参数的绝对值进行比较发现, 二者差异显著, 但是如果除以胴长进行标准化后, 其结果与原来有所差异, 因此应当考虑胴长在枪乌贼角质颌比较中的影响。正是这种不同种类枪乌贼角质

表 12 傅里叶法对2种枪乌贼上颌的判别正确率

Tab. 12 Result of classification for upper beak between *L. chinensis* and *U. duvauceli* based on Fourier analysis by SDA

逐步判别分析 SDA	种类 species	中国枪乌贼/尾 <i>L. chinensis</i>	杜氏枪乌贼/尾 <i>U. duvauceli</i>	总计/尾 total	正确率/% accuracy
初始判别 original result	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	26	4	30	86.7
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	4	26	30	86.7
交叉验证 cross-validation	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	24	6	30	80.0
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	4	26	30	86.7

表 13 傅里叶法对2种枪乌贼下颌的判别正确率

Tab. 13 Result of classification for lower beak between *L. chinensis* and *U. duvauceli* based on Fourier analysis by SDA

逐步判别分析 SDA	种类 species	中国枪乌贼/尾 <i>L. chinensis</i>	杜氏枪乌贼/尾 <i>U. duvauceli</i>	总计/尾 total	正确率/% accuracy
初始判别 original result	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	30	0	30	100
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	1	29	30	96.7
交叉验证 cross-validation	中国枪乌贼 <i>L. chinensis</i>	28	2	30	93.3
	杜氏枪乌贼 <i>U. duvauceli</i>	1	29	30	96.7

颚外部形态的差异,为角质颚在种类分类与鉴定中提供了基础。对中国枪乌贼和杜氏枪乌贼不同性别角质颚的比较发现,杜氏枪乌贼雌雄间多项数据存在显著差异,需要分雌雄进行后续分析。

3.2 主成分分析

通过主成分分析,发现中国枪乌贼角质颚的主成分因子分别是头盖部分(UHL)和喙部(LRW);雄性杜氏枪乌贼角质颚的主成分因子分别是脊突部分(UCL)、喙部(URL)和翼部(LWL),雌性的主成分因子分别是侧壁部分(LLWL)和喙部(LRW、URW)。可以认为中国枪乌贼角质颚的生长主要是头盖部分。杜氏枪乌贼的生长主要是脊突部分和侧壁部分,其次是喙部,这与方舟等^[13]对北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)角质颚的研究结果相一致。

2种枪乌贼的主要特征参数和胴长均呈显著的线性相关,这与杨林林等^[14]对东海太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)、徐杰等^[15]对东海剑尖枪乌贼(*L. edulis*)、杨林林等^[16]对东海火枪乌贼(*L. beka*)的研究结果相一致,说明东海近海枪乌贼类角质颚外部形态长度参数和胴长呈线性相关,根据不同种类的相关方程的差异,也可以对其进行区分。

3.3 稳定性指标

不同胴长组保持稳定的角质颚各部分的比值,可以用来作为表征该种枪乌贼,再比较2种枪乌贼所共有的稳定比值,找出差异性显著的部分,用来区分2种枪乌贼。研究发现,中国枪乌贼和杜氏枪乌贼的URL/UHL、URW/UHL、UWL/UHL、URL/UCL、UHL/UCL、URL/URW、URL/ULWL、LRL/LCL、LCL/LLWL、LRL/LRW和LRW/LWL这11个比例指标满足条件,可以用来区别2种枪乌贼。

3.4 判别分析

目前,利用角质颚对头足类进行分类判别的研究中,多采用逐步分析法进行判别^[17-19],而本研究发现,利用逐步判别分析所得的判别正确率略低于基于主成分结果的判别分析所得的正确率,因此,在今后的研究中,可以考虑加入主成分分析,选取能够表征角质颚生长的特征参数,进而利用它们进行判别分析,可能会

得到更准确的结果。

分雌雄对2种枪乌贼进行分类判别,雌性的判别正确率要高于不区分雌雄的结果,而雄性的判别正确率要低于不区分雌雄的结果,说明2种枪乌贼的角质颚在雄性群体间的差异性较雌性小,因此在区分2种枪乌贼时要格外注意雌性个体,结合多种方法,以降低错误率。

3.5 2种处理方法的比较

傅里叶法是常用的几何形态测量法之一,相较于传统测量学法更为准确,在鱼类的耳石判别研究中已经得到了广泛应用^[20-21],在头足类中也有相关研究^[22-23]。因此本研究比较了传统测量学法和傅里叶法在枪乌贼角质颚分类判别中的优劣,结果显示利用傅里叶法对枪乌贼上颚的判别正确率要低于传统测量学法的结果,而下颚的判别正确率要高于传统测量学法的结果。Clarke^[24]认为下颚较上颚形态更稳定,差异更明显,因此更适合作为分类材料,与本实验所得结论相同。今后应更侧重对下颚的研究,并更多地运用傅里叶法等几何形态测量法。

参考文献:

- [1] 陈新军,刘必林,王尧耕.世界头足类[M].北京:海洋出版社,2009.
Chen X J, Liu B L, Wang Y G. World Cephalopods[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009(in Chinese).
- [2] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业统计年鉴-2016[M].北京:中国农业出版社,2016.
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture. China fishery statistical yearbook-2016[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016(in Chinese).
- [3] 苗振清.浙江南部外海渔业资源可持续利用研究[D].青岛:中国海洋大学,2009.
Miao Z Q. Study on sustainable utilization of fishery resources in offshore water of southern Zhejiang Province[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009(in Chinese).
- [4] 何大仁,肖金华,罗会明,等.杜氏枪乌贼趋光行为的研究[J].厦门大学学报,1979(3):99-104.
He D R, Xiao J H, Luo H M, et al. Study on the phototactic behaviour of squid (*Loligo duvauceli* d'Orbigny)[J]. Journal of Xiamen University, 1979(3):

- 99-104(in Chinese).
- [5] 邱月, 曾少葵, 章超桦, 等. 鸢乌贼和杜氏枪乌贼营养成分分析与比较[J]. *广东海洋大学学报*, 2016, 36(1): 19-24.
- Qiu Y, Zeng S K, Zhang C H, *et al.* Nutritional component analysis and quality evaluation of *Symplectoteuthis oualaniensis* and *Loligo duvauceli*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2016, 36(1): 19-24(in Chinese).
- [6] 黄美珍. 台湾海峡及邻近海域4种头足类的食性和营养级研究[J]. *台湾海峡*, 2004, 23(3): 331-340.
- Huang M Z. Study on feeding habits and nutrient level of four cephalopod species from Taiwan Strait and its adjacent areas[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2004, 23(3): 331-340(in Chinese).
- [7] 张壮丽, 刘勇. 东海区杜氏枪乌贼数量分布及其生物学特点[C]//中国南方十六省(市、区)水产学会渔业学术论坛暨第二十六次学术交流大会论文集. 重庆: 重庆市水产学会, 2010.
- Zhang Z L, Liu Y. Quantity distribution and biological characteristics of *Loligo duvauceli* in the East China Sea[C]//Proceedings of the Fisheries Academic Forum and the 26th Academic Exchange Conference of the Fisheries Society of 16 Provinces(cities and districts) in Southern China. Chongqing: Chongqing Society of Fisheries, 2010(in Chinese).
- [8] 张壮丽, 叶孙忠, 洪明进, 等. 闽南--台湾浅滩渔场中国枪乌贼生物学特性研究[J]. *福建水产*, 2008(1): 1-5.
- Zhang Z L, Ye S Z, Hong J M, *et al.* Biological characteristics of the Chinese squid (*Loligo chinensis*) in Minnan-Taiwan Shallow Fishing Ground[J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2008(1): 1-5(in Chinese).
- [9] 欧瑞木. 中国枪乌贼性腺成熟度分期的初步研究[J]. *海洋科学*, 1983, 7(1): 44-46.
- Ou R M. Preliminary study on the stages of gonad maturity of the squid, *Loligo chinensis* gray[J]. *Journal of Marine Science*, 1983, 7(1): 44-46.
- [10] 李渊, 孙典荣. 北部湾中国枪乌贼生物学特征及资源状况变化的初步研究[J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(13): 2716-2719, 2735.
- Li Y, Sun D R. Biological characteristics and stock changes of *Loligo chinensis* gray in Beibu Gulf, South China Sea[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(13): 2716-2719, 2735(in Chinese).
- [11] Wolff G A. Identification and estimation of size from the beaks of 18 species of cephalopods from the Pacific Ocean[R]. U.S.A: NOAA Technical Report NMFS, 1984, 17: 50.
- [12] 刘必林, 陈新军, 方舟, 等. 基于角质颚长度的头足类种类判别[J]. *海洋与湖沼*, 2015, 46(6): 1365-1372.
- Liu B L, Chen X J, Fang Z, *et al.* Species identification of cephalopods based on beak morphometric variables[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, 46(6): 1365-1372(in Chinese).
- [13] 方舟, 陈新军, 陆化杰, 等. 北太平洋两个柔鱼群体角质颚形态及生长特征[J]. *生态学报*, 2014, 34(19): 5405-5415.
- Fang Z, Chen X J, Lu H J, *et al.* Morphology and growth of beaks in two cohorts for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(19): 5405-5415(in Chinese).
- [14] 杨林林, 姜亚洲, 刘尊雷, 等. 东海太平洋褶柔鱼角质颚的形态学分析[J]. *中国海洋大学学报*, 2012, 42(10): 51-57.
- Yang L L, Jiang Y Z, Liu Z L, *et al.* Variation analysis on partial morphometric measurements of beak of *Todarodes pacificus* inhabiting East China Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2012, 42(10): 51-57(in Chinese).
- [15] 徐杰, 刘尊雷, 李圣法, 等. 东海剑尖枪乌贼角质颚的外部形态及生长特性[J]. *海洋渔业*, 2016, 38(3): 245-253.
- Xu J, Liu Z L, Li S F, *et al.* Morphology and growth characteristics of *Uroteuthis edulis* beak in the East China Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(3): 245-253(in Chinese).
- [16] 杨林林, 姜亚洲, 刘尊雷, 等. 东海火枪乌贼角质颚的形态特征[J]. *中国水产科学*, 2012, 19(4): 586-593.
- Yang L L, Jiang Y Z, Liu Z L, *et al.* Analysis of beak morphology of *Loligo beka* in the East China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(4): 586-593(in Chinese).
- [17] 范江涛, 邱永松, 陈作志, 等. 南海鸢乌贼两个群体间角质颚形态差异分析[J]. *中国海洋大学学报*, 2015, 45(10): 42-49.
- Fan J T, Qiu Y S, Chen Z Z, *et al.* Morphological difference of the beak between two stocks of

- Sthenoteuthis oualaniensis* inhabiting South China Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(10): 42-49(in Chinese).
- [18] Martínez P, Sanjuan A, Guerra A. Identification of *Illex coindetii*, *I. illecebrosus* and *I. argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) throughout the Atlantic Ocean; by body and beak characters[J]. *Marine Biology*, 2002, 141(1): 131-143.
- [19] 方舟, 陈新军, 陆化杰, 等. 阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颚的形态差异[J]. 生态学报, 2012, 32(19): 5986-5997.
- Fang Z, Chen X J, Lu H J, *et al.* Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for *Illex argentinus*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(19): 5986-5997(in Chinese).
- [20] Campana S E, Casselman J M. Stock discrimination using otolith shape analysis[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1993, 50(5): 1062-1083(in Chinese).
- [21] 李辉华, 郭弘艺, 唐文乔, 等. 两种耳石分析法在鲟属种间和种群间识别效果的比较研究[J]. *淡水渔业*, 2013, 43(1): 14-18.
- Li H H, Guo H Y, Tang W Q, *et al.* Comparative study of two otolith shape analysis for genus *Coilla* species and stocks identification[J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, 43(1): 14-18(in Chinese).
- [22] Neige P, Dommergues J L. Disparity of beaks and statoliths of some Coleoids: a morphometric approach to depict shape differentiation[J]. *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, 2002, 57: 393-399.
- [23] 苏杭, 方舟, 陈新军. 2种大洋性柔鱼类角质颚形态识别法的比较[J]. *海洋渔业*, 2016, 38(3): 225-235.
- Su H, Fang Z, Chen X J. Beak shape identification of two oceanic squids based on different methods[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(3): 225-235(in Chinese).
- [24] Clarke E M R. A handbook for the identification of Cephalopod beaks[M]. Oxford: Clarendon Press, 1986.

Species identification of Loliginidae inhabiting the East China Sea based on beak

MA Di¹, JIN Yue¹, CHEN Peng¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4*}, CHEN Feng⁵

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Based on 69 samples of *Loligo chinensis* and 100 samples of *Uroteuthis duvauceli* collected in Luchaogang in November of 2015, the paper studied the species identification between *L. chinensis* and *U. duvauceli* by principal component analysis, stepwise discriminate analysis and Fourier analysis. Results showed that there were highly significant differences in the 12 morphological parameters of beak between two species. There were also significant differences between male and female *U. duvauceli*. The total successful discrimination rate for *L. chinensis* and *U. duvauceli* by stepwise discriminate analysis was 88.2%. The total successful discrimination rate for *L. chinensis* and *U. duvauceli* based on the result of principal component analysis was 90.1%. The total successful discrimination rate for male *L. chinensis* and male *U. duvauceli* was 83.3%. The total successful discrimination rate for female *L. chinensis* and female *U. duvauceli* attained 97.8%. The total successful discrimination rate for *L. chinensis* and *U. duvauceli* based on the upper beak by Fourier analysis was 83.3%. The total successful discrimination rate for *L. chinensis* and *U. duvauceli* based on the lower beak by Fourier analysis reached 95%.

Key words: *Loligo chinensis*; *Uroteuthis duvauceli*; beak; species identification; the East China Sea

Corresponding author: CHEN Xinjun. E-mail: xjchen@shou.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (41476129, 41276156)