

基于角质颚长度的头足类种类判别*

刘必林^{1, 2, 3, 4} 陈新军^{1, 2, 3, 4} 方舟¹ 金岳¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室 上海 201306; 4. 远洋渔业协同创新中心 上海 201306)

摘要 本文根据 2013 年 8 月于舟山市沈家门东河菜场采集的 5 种近海常见经济头足类(剑尖枪乌贼、杜氏枪乌贼、金乌贼、曼氏无针乌贼和短蛸), 利用逐步判别和主成分分析法对其上、下角质颚的各 5 种长度指标(喙长、头盖长、脊突长、侧壁长、翼长)进行分析。结果显示, 这 5 种头足类角质颚长度差异显著(ANOVA: $P < 0.001$), 其中以金乌贼的角质颚尺寸最大, 短蛸的角质颚尺寸最小。判别分析显示, 角质颚长度适合用来划分头足类的种类, 综合判别成功率为 96.2%, 其中以上颚侧壁长、上颚头盖长和下颚脊突长对判定的贡献率最高。然而, 与之相比, 标准化后的角质颚长度则更适合用来划分头足类的种类, 综合判别成功率达到 100%, 其中以标准化下颚喙长和标准化下颚翼长对判定的贡献率最高。主成分分析显示, 角质颚长度及标准化后角质颚长度对枪乌贼类和乌贼类的判定成功率均达到 100%。本文建立了一种基于角质颚长度判别分析法的头足类种类判定的新方法, 丰富了头足类种类鉴定的技术手段, 为我国学者在相关领域的研究提供了基础。

关键词 角质颚; 头足类; 逐步判别分析; 主成分分析; 种类判别

中图分类号 Q959.216 doi: 10.11693/hyhz20150100011

剑尖枪乌贼 *Uroteuthis edulis*、杜氏枪乌贼 *Uroteuthis duvauceli*、金乌贼 *Sepia esculenta*、曼氏无针乌贼 *Sepiella maindroni*、短蛸 *Octopus ocellatus* 是我国沿海主要经济头足类, 常见于沿海渔市。角质颚是位于头足类口球内的几丁质硬组织, 由上颚和下颚两部分组成, 其稳定的形态结构和极强的耐腐蚀性使其在头足类的分类鉴定中起着重要作用(刘必林等, 2009)。传统的分子生物学方法判别头足类的种类实验操作比较复杂, 并且在分类地位比较相近的种类的判别上不明显, 而利用角质颚形态来判别头足类的种类和种群要便捷许多(Kassahn *et al.*, 2003; Doubleday *et al.*, 2009)。自 Clarke(1962)首先对头足类的角质颚形态进行了描述以来, 全世界各大洋累计共有 39 科 240 多种头足类的角质颚形态特征得到了描述和测定(Xavier *et al.*, 2007)。随之而来的是, 角质颚长度被广泛用于柔鱼类、枪乌贼类、乌贼类和蛸类

的种类鉴定。

我国在大洋性柔鱼类的角质颚中开展了一些相关研究(刘必林等, 2010; 李思亮等, 2010; Chen *et al.*, 2012), 而对近海的头足类的相关报道还很缺乏(郑小东等, 2002), 其研究还需要加强。因此, 本文通过分析我国近海几种常见经济头足类角质颚的长度特征, 并根据其长度的差异对头足类的种类进行判别, 旨在开启我国在相关领域的研究, 同时为我国近海头足类的种类判别提供新方法。

1 材料与方法

1.1 材料来源

研究样本为 2013 年 8 月采集于舟山市沈家门东河菜场, 共获剑尖枪乌贼样本 49 尾(雌性 25 尾, 雄性 24 尾)、杜氏枪乌贼样本 51 尾(雌性 5 尾, 雄性 46 尾)、金乌贼样本 57 尾(雌性 35 尾, 雄性 22 尾)、曼氏无针

* 国家自然科学基金项目, 41306127 号, 41276156 号, 41476129 号; 上海市自然科学基金项目, 13ZR1419700 号; 上海市教委创新项目, 13YZ091 号; 教育部博士点基金项目, 20133104120001 号。刘必林, 副教授, E-mail: bl-liu@shou.edu.cn

通讯作者: 陈新军, 教授, 博士生导师, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

收稿日期: 2015-01-14, 收修改稿日期: 2015-05-14

乌贼样本 55 尾(雌性 36 尾, 雄性 19 尾)和短蛸样本 39 尾(雌性 6 尾, 雄性 33 尾)。

1.2 角质颚长度测量

样本在实验室解冻, 利用米尺测量胴长(精度 1cm), 电子天平称取体重(精度 1g), 并用镊子取出各种头足类的角质颚, 放入 75% 的酒精中保存, 利用游标卡尺(精度 0.01mm)对角质颚形态进行测量。角质颚由上颚和下颚两部分组成, 两者均包括喙部、头

盖、脊突、翼部、侧壁等部分。测量的形态参数依据刘必林等(2009, 2010): 头盖长(hood length, HL), 即为喙顶端至头盖后缘末端长; 脊突长(crest length, CL), 即为喙顶端至脊突后缘末端长; 喙长(rostrum length, RL), 即为喙顶端至颚角末端长; 侧壁长(lateral wall length, LWL), 即喙顶端至侧壁后缘末端长; 翼长(Wing length, WL), 即为颚角至翼部前缘末端长(图 1)。

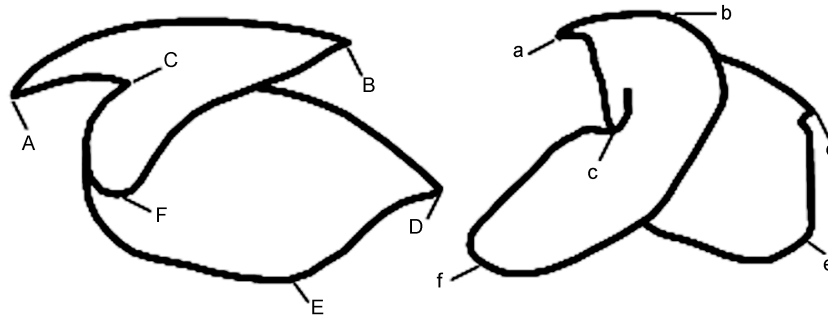


图 1 角质颚形态参数示意图

Fig.1 Schematic diagram showing the measurement of the beak morphometric variables

A—B: 上颚头盖长, A—C: 上颚脊突长, A—D: 上颚喙长, A—E: 上颚侧壁长, A—F: 上颚翼长; a—b: 下颚头盖长, a—c: 下颚脊突长, a—d: 下颚喙长, a—e: 下颚侧壁长, a—f: 下颚翼长

1.3 数据分析

采用逐步判别分析法(stepwise discriminant analysis, SDA)和主成分分析法(principal component analysis, PCA)分析各种头足类之间以及枪乌贼类和乌贼类的种间角质颚长度差异, 并据此判定各种头足类。为了消除个体大小对角质颚长度的影响, 标准化后的角质颚长度数据也被应用于 SDA 和 PCA 分析中。标准化时, 选择 UHL 作为自变量, 其余 9 个角质颚长度指标作为因变量与之建立线性关系:

$$\ln(y) = \ln(a) + b \ln(UHL) + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

式中, y 为除 UHL 之外其余 9 个角质颚长度指标; a 和 b 为估算参数, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 表示残差相符合正态分布。标准化后的角质颚长度指标可由公式转化后获得:

$$\ln\left(\frac{y}{aUHL^b}\right) \quad (2)$$

标准化后 9 个角质颚长度指标分别记为 UCLs、URLs、ULWLs、UWLs、LHLs、LCLs、LRLs、LLWLs 和 LWLs。

1.4 统计检验

单因素方差分析(Univariate analyses of variance, ANOVA)和多因素方差分析(multivariate analysis of variance, MANOVA)用来检验不同种类之间的角质颚长度差异。利用判别分析的前两个判别函数系数及其

均值计算 95% 椭圆置信区间, 95% 椭圆置信区间由 R2.13.1 软件计算。运用弃一法交叉验证法(leave-one-out cross-validation, 又称折叠再分类法 Jackknife reclassification procedure)检验种类划分的成功率。

2 结果

2.1 角质颚长度种间差异

方差分析显示, 剑尖枪乌贼、杜氏枪乌贼、金乌贼、曼氏无针乌贼和短蛸等 5 种头足类角质颚各部的长度差异显著(ANOVA: $P < 0.001$)。从角质颚各部的长度可看出金乌贼的角质颚尺寸最大, 其次为杜氏枪乌贼和曼氏无针乌贼, 再次为剑尖枪乌贼, 短蛸的角质颚尺寸最小(表 1)。

2.2 角质颚长度判别分析

SDA 分析显示, 10 个角质颚原始长度指标中仅 ULWL、UHL、LCL、LWL、LHL、LLWL、UCL 被用于最终的判别分析, 由典型相关系数(表 2)和 Wils's λ (表 3)分析可得 ULWL、UHL、LCL 贡献了绝大部分种间差异。5 种头足类总的判别成功率为 96.2%, 其中金乌贼和短蛸的判别成功率为 100%, 剑尖枪乌贼、杜氏枪乌贼和曼氏无针乌贼依次为 98.0%、86.3%和 96.5%(表 4, 图 2a)。

表 1 五种头足类角质颚长度(均值±标准差)
Tab 1 The beak morphometric variables of 5 cephalopods

变量	剑尖枪乌贼	杜氏枪乌贼	金乌贼	曼氏无针乌贼	短蛸	P
UHL	5.32 ± 0.85	9.73 ± 0.90	17.91 ± 1.74	7.89 ± 0.73	2.89 ± 0.26	<0.001
UCL	7.48 ± 0.96	12.53 ± 2.05	23.95 ± 2.10	10.81 ± 1.01	7.81 ± 0.61	<0.001
URL	1.67 ± 0.29	3.04 ± 0.45	5.15 ± 0.61	2.58 ± 0.34	1.33 ± 0.20	<0.001
ULWL	4.81 ± 0.81	9.78 ± 0.97	18.41 ± 1.41	8.37 ± 0.85	6.04 ± 0.45	<0.001
UWL	2.20 ± 0.42	4.09 ± 0.59	8.24 ± 0.92	3.60 ± 0.45	2.24 ± 0.35	<0.001
LHL	2.06 ± 0.42	3.28 ± 0.33	5.77 ± 0.68	3.21 ± 0.43	2.15 ± 0.27	<0.001
LCL	4.16 ± 0.69	7.05 ± 0.98	14.40 ± 1.37	6.09 ± 0.83	4.96 ± 0.51	<0.001
LRL	1.53 ± 0.28	2.80 ± 0.39	4.85 ± 1.14	2.31 ± 0.42	1.33 ± 0.25	<0.001
LLWL	4.83 ± 0.73	9.16 ± 0.96	17.68 ± 2.89	7.84 ± 0.71	6.21 ± 0.61	<0.001
LWL	2.62 ± 0.57	4.89 ± 0.74	13.00 ± 2.05	5.17 ± 0.91	3.57 ± 0.44	<0.001

表 2 五种头足类角质颚长度逐步判别分析标准化系数
Tab.2 Canonical discriminant function (DF) coefficients for DF1, DF2, DF3 and DF4 for each morphometric variables used in the discriminant function analysis for 5 cephalopods

角质颚长度	标准化系数 1	标准化系数 2	标准化系数 3	标准化系数 4
UHL	0.599	-1.639	0.467	-0.036
UCL	0.046	0.395	0.202	-0.229
ULWL	0.485	0.328	-1.709	-0.349
LHL	-0.353	0.058	-0.624	1.005
LCL	0.100	0.695	0.675	-0.774
LLWL	0.140	0.148	0.680	0.065
LWL	0.062	0.414	0.799	0.805

表 3 基于角质颚长度的逐步判别分析结果
Tab.3 Summary of stepwise discriminant analysis showing the order of variables to entry and the successful discrimination rate for the five species in beak morphometrics

判别步数	变量	输入 F 量	Wilk's λ	统计 F 量	自由度 1	自由度 2
1	ULWL	1552.071	0.38	1552.071	4	243.000
2	UHL	146.631	0.11	516.293	8	484.000
3	LCL	38.357	0.07	298.970	12	637.918
4	LWL	20.114	0.05	213.371	16	733.850
5	LHL	14.301	0.04	169.040	20	793.623
6	LLWL	7.274	0.04	138.914	24	831.493
7	UCL	3.873	0.03	117.345	28	855.938

表 4 基于角质颚长度的头足类种类判别成功率
Tab.4 The successful discrimination rate for the five species in beak morphometrics

种类	判别率	成功判别的样本数					样本数
		剑尖枪乌贼	杜氏枪乌贼	金乌贼	曼氏无针乌贼	短蛸	
剑尖枪乌贼	98.0%	48	0	0	1	0	49
杜氏枪乌贼	86.3%	0	56	0	0	0	56
金乌贼	100.0%	0	0	44	7	0	51
曼氏无针乌贼	96.5%	0	0	2	52	1	55
短蛸	100.0%	0	0	0	0	37	37

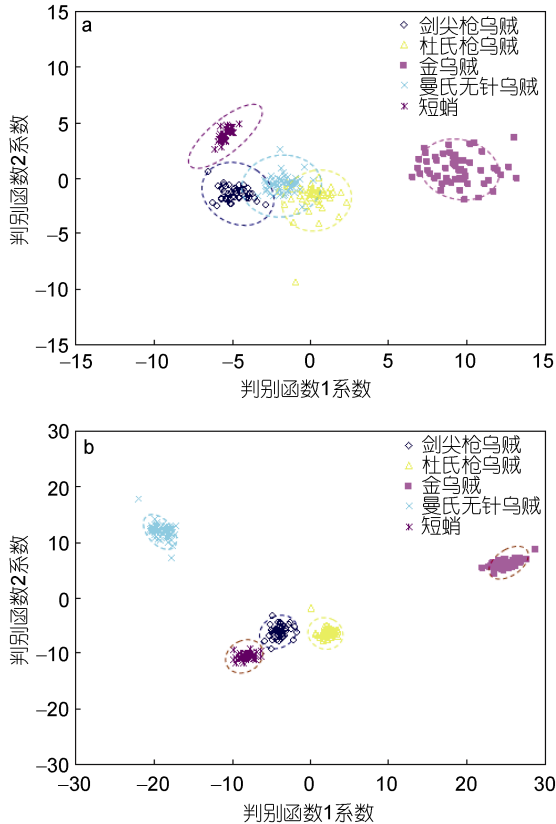


图 2 五种头足类角质颚原始长度(a)及标准化长度(b)判别分析函数系数散点图
 Fig.2 Canonical discriminant plots of initial (a) and standardized (b) beak morphometric variables for 5 cephalopods

SDA 分析显示, 枪乌贼类(剑尖枪乌贼和杜氏枪乌贼)以及乌贼类(金乌贼和曼氏无针乌贼)种间的判别成功率为 100%(表 5); PCA 分析显示, 根据角质颚长度差异可以将剑尖枪乌贼与杜氏枪乌贼以及金乌贼与曼氏无针乌贼完全分开(图 3)。

2.3 角质颚标准化长度判别分析

SDA 分析显示, 10 个角质颚标准化长度指标中仅 LRLs、LWLs、ULWLs、URLs、UWLs、LCLs、UCLs、LHLs 和 LLWLs 被用于最终的判别分析, 由典型相关系数(表 6)和 Wils's λ (表 7)分析可得 LRLs

和 LWLs 贡献了绝大部分种间差异。5 种头足类总的判别成功率为 100.0% (表 8, 图 2b)。

SDA 分析显示, 枪乌贼类(剑尖枪乌贼和杜氏枪乌贼)以及乌贼类(金乌贼和曼氏无针乌贼)种间的判别成功率为 100%(表 9); PCA 分析显示, 角质颚标准化长度差异可以将剑尖枪乌贼与杜氏枪乌贼以及金乌贼与曼氏无针乌贼完全分开(图 4)。

3 讨论

角质颚作为头足类少数硬组织之一, 形态结构稳定, 它在头足类, 尤其属以上单元的分类鉴定中起着重要作用(刘必林等, 2009)。柔鱼类、枪乌贼类、乌贼类和蛸类等 4 种主要头足类的角质形态差异明显(董正之, 1991)。枪乌贼类(剑尖枪乌贼、杜氏枪乌贼)的上颚头盖弧度较圆, 下颚颚角较大, 头盖和侧壁均较狭窄; 乌贼类(金乌贼、曼氏无针乌贼)的上颚颚角比较平直, 下颚颚角更大, 头盖和侧壁均较狭窄; 蛸类(短蛸)的上颚喙和头盖均甚短, 脊突尖狭, 下颚喙也甚短, 顶端钝, 侧壁更为狭窄。然而, 角质颚形态特征在种这一分类水平的鉴定作用显得有些复杂, 它需要研究者们对角质颚各部的细微结构进行一一判别, 甚至有些相近的种类之间的角质颚形态特征完全没有差异, 因此, 角质颚形态测量学的出现弥补了这些不足(Clarke, 1962, 1986)。例如, 研究认为, 枪乌贼类角质颚的种间差异极其微小, 因此只能通过角质颚某些部位的长度差异才能将其相互区分(Pineda *et al*, 1996)。根据角质颚的形态和长度特征, 部分大洋及海域的头足类得到了鉴定, 例如, 西班牙临比戈湾(Clarke *et al*, 1974)、南非海域(Smale *et al*, 1993)、西北太平洋(Kubodera *et al*, 1987)、澳大利亚南部(Lu *et al*, 2002)以及南大洋(Xavier *et al*, 2009)等。

近年来, 业内的学者们不断尝试通过角质颚长度来鉴定那些分类地位相近、栖息环境相似的头足类(Martínez *et al*, 2002; Vega *et al*, 2002; 许嘉锦,

表 5 基于角质颚长度的枪乌贼和乌贼类种间判别成功率、Wilks' λ 和 P 值
 Tab.5 Successful discrimination rate, Wilks' λ and P for loliginids and cuttlefishes with beak morphometric variables

	枪乌贼类		乌贼类	
	剑尖枪乌贼	杜氏枪乌贼	金乌贼	曼氏无针乌贼
剑尖枪乌贼	100%	0%	金乌贼	100%
杜氏枪乌贼	0%	100%	曼氏无针乌贼	0%
总体	100%		总体	100%
Wilks' λ	0.103		Wilks' λ	0.044
P	0.000		P	0.000

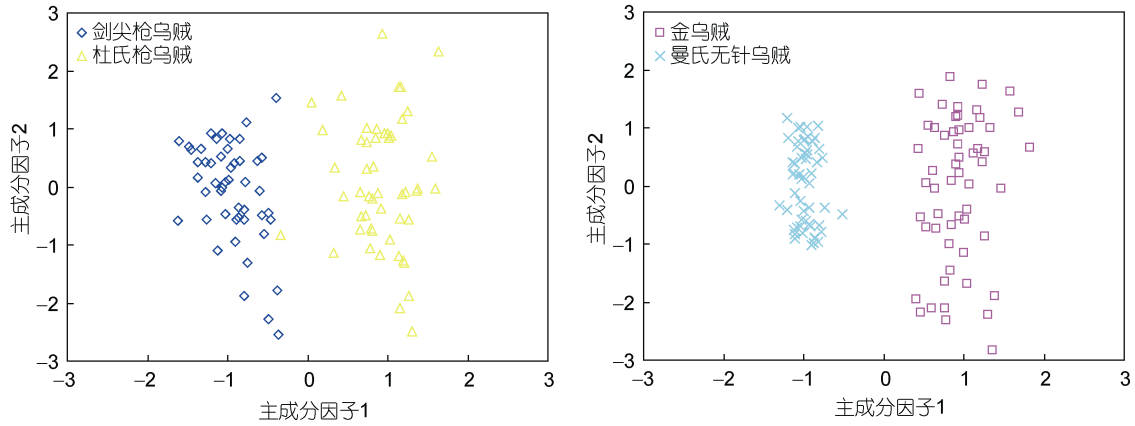


图 3 基于角质颚长度的枪乌贼和乌贼类主成分分析因子散点图

Fig.3 Plot of factorial scores of PCA made with beaks morphometric variables of loliginids and cuttlefishes with beak morphometric variables

表 6 五种头足类角质颚标准化长度典型判别分析标准化系数

Tab.6 Canonical discriminant function (DF) coefficients for DF1, DF2, DF3 and DF4 for each standardized morphometric variables used in the discriminant function analysis for 5 cephalopods

角质颚长度	标准化系数 1	标准化系数 2	标准化系数 3	标准化系数 4
UCLs	0.201	0.973	-0.472	-1.366
URLs	0.166	0.236	0.662	0.573
ULWLs	-0.685	-0.283	1.638	-0.122
UWLs	-0.368	-0.275	-0.373	0.981
LHLs	-0.533	0.040	-1.099	0.248
LCLs	0.484	-1.204	0.155	0.399
LRLs	0.841	0.177	-0.195	0.225
LLWLs	0.636	0.012	0.213	-0.954
LWLs	-0.248	0.943	-0.225	0.525

表 7 基于角质颚标准化长度的逐步判别分析结果

Tab.7 Summary of stepwise discriminant analysis showing the order of variables to entry

判别步数	变量	输入 F 量	Wilk's λ	统计 F 量	df1	df2
1	LRLs	9684.392	0.006	9684.392	4	243.000
2	LWLs	2762.569	0.000	5173.809	8	484.000
3	ULWLs	834.171	0.000	4239.374	12	637.918
4	URLs	453.232	0.000	4195.895	16	733.850
5	UWLs	77.207	0.000	3193.456	20	793.623
6	LCLs	40.420	0.000	2601.828	24	831.493
7	UCLs	48.820	0.000	2357.348	28	855.938
8	LHLs	27.847	0.000	2117.459	32	871.920
9	LLWLs	8.948	0.000	1844.669	36	882.391

表 8 基于角质颚长度的头足类种类判别成功率

Tab.8 The successful discrimination rate for the five species based on standardized beak morphometric variables

种类	判别率	成功判别的样本数					样本数
		剑尖枪乌贼	杜氏枪乌贼	金乌贼	曼氏无针乌贼	短蛸	
剑尖枪乌贼	100%	49	0	0	0	0	49
杜氏枪乌贼	100%	0	56	0	0	0	56
金乌贼	100%	0	0	51	0	0	51
曼氏无针乌贼	100%	0	0	0	55	0	55
短蛸	100%	0	0	0	0	37	37

表 9 基于角质颚标准化长度的枪乌贼和乌贼类种间判别成功率、Wilks' λ 和 P 值Tab.9 Successful discrimination rate, Wilks' λ and P for loliginids and cuttlefishes with standardized beak morphometric variables

	枪乌贼类		乌贼类		
	剑尖枪乌贼	杜氏枪乌贼	金乌贼	曼氏无针乌贼	
剑尖枪乌贼	100%	0%	金乌贼	100%	0%
杜氏枪乌贼	0%	100%	曼氏无针乌贼	0%	100%
总体	100%		总体	100%	
Wilks' λ	0.021		Wilks' λ	0.003	
P	0.000		P	0.000	

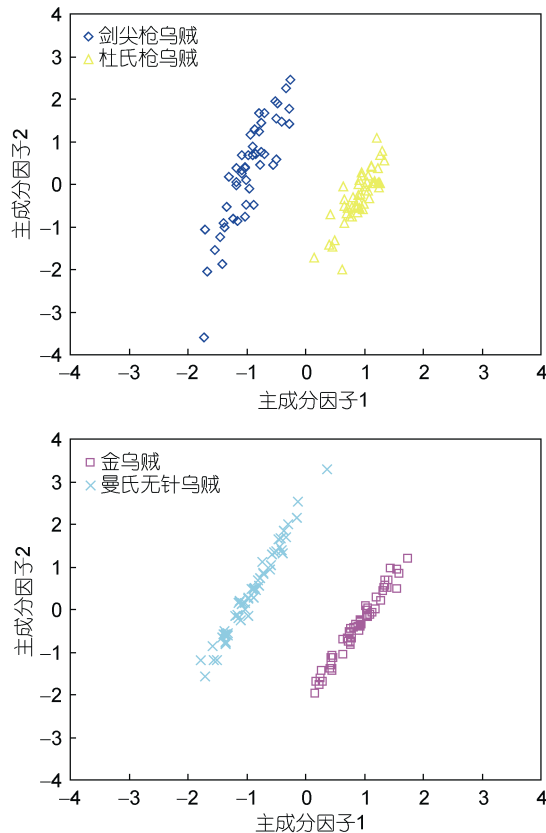


图 4 基于角质颚标准化长度的枪乌贼和乌贼类主成分分析因子散点图

Fig.4 Plot of factorial scores of PCA made with beaks morphometric variables of loliginids and cuttlefishes with standardized beak morphometric variables

2003)。本文研究发现,角质颚长度同样适合用来判定我国近海的头足类,逐步判别分析结果显示,判别成功率高达 96.2%以上。然而,与之相比,标准化后的角质颚长度更适合作为种类的判定,其判别成功率达到了 100%。由于标准化后的角质长度,排除了头足类个体自身大小对其角质长度的影响,因此判定效果更准确、更有效,这在以往的研究中得到了充分证明(Vega *et al.*, 2002; Lefkaditou *et al.*, 2004; 李思亮等, 2010; Chen *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2015)。角质颚长

度用于区分分类地位上相近的种类来说同样效果较好,PCA分析显示,枪乌贼类(剑尖枪乌贼和杜氏枪乌贼)以及乌贼类(金乌贼和曼氏无针乌贼)种间的判别成功率达到 100%。尽管如此,角质颚长度来常被用作头足类的种群鉴定(Vega *et al.*, 2002; Kassahn *et al.*, 2003; Doubleday *et al.*, 2009)。Vega等(2002)根据角质颚长度分析显示,采自太平洋和大西洋的巴塔哥尼亚枪乌贼 *Loligo gahi* 分属 3 个不同种群。Kassahn等(2003)和 Doubleday等(2009)根据分子标记以及角质颚和内壳的形态分别分析了澳大利亚巨乌贼 *S. apama* 和毛利蛸 *O. maorum* 复杂的种群结构。李思亮等(2010)认为角质颚长度差异可用来划分北太平洋柔鱼群体;在此基础上, Fang等(2014)通过角质颚和耳石长度的综合判别分析,将北太平洋柔鱼划分为东部和西部两个群体。Liu等(2015)根据角质颚长度对茎柔鱼潜在的地理种群进行了划分,判别成功率达到 89.5%。除此之外,研究还显示,角质颚长度用作头足类的性别鉴定也有一定的效果,例如,鉴定茎柔鱼性别的成功率超过 60% (Liu *et al.*, 2015)。

由于头足类的软体组织形态不够稳定,因此用作种类或种群判定的效果不好(Martínez *et al.*, 2002)。此外,其另外一个重要缺陷就是化学结构不稳定、极易腐蚀,这对样品的保存、获取途径等要求极高。然而,角质颚不仅形态特征明显,而且其化学结构异常稳定(Miserez *et al.*, 2007)、极耐腐蚀,常残留于头足类捕食者的胃中,是大型捕食动物食性分析的理想材料(Xavier *et al.*, 2011)。因此,在缺少其它分类性状,尤其对捕食动物的胃含物分析时,角质颚的形态是头足类分类鉴定的重要依据。根据胃含物中残留的角质分析显示,鱼类(Cherel *et al.*, 2004)、鲸类(Clarke *et al.*, 1998)、海豚(Blanco *et al.*, 2006)、海鸟(Piatkowski *et al.*, 2001)等都是头足类的主要捕食者。

4 结论

我国近海的剑尖枪乌贼、杜氏枪乌贼、金乌贼、曼氏无针乌贼、短蛸等 5 种常见经济头足类的角质颚长度差异十分显著, 根据角质颚长度的差异可对其进行种类判别, 判别效果显著, 然而标注化后的角质颚长度鉴定头足类种类的效果更好。过去的研究显示, 仅凭角质颚形态上的差别来判定分类地位相近或栖息环境相似的头足类的效果不佳, 而本研究揭示角质颚长度的差异更适合解决此类问题。因此, 本研究方法的提出将大大提高角质颚在头足类种类鉴定中的作用, 为进一步分析不同头足类物种在海洋生态系统中所扮演的角色提供了前期基础。此外, 以往的研究还显示, 角质颚长度在头足类种群甚至性别鉴定上都起着重要作用, 因此, 希望今后重点在种群鉴定方面开展相关研究, 丰富头足类种群研究方法, 为我国近海头足类资源合理开发利用提供基础。

参 考 文 献

- 刘必林, 陈新军, 2009. 头足类角质颚的研究进展. 水产学报, 33(1): 157—164
- 刘必林, 陈新军, 2010. 印度洋西北海域鸢乌贼角质颚长度分析. 渔业科学进展, 31(1): 8—14
- 许嘉锦, 2003. *Octopus* 与 *Cistopus* 属章鱼口器地标点之几何形态学研究. 台湾: 国立中山大学海洋生物研究所硕士学位论文, 66
- 李思亮, 陈新军, 刘必林等, 2010. 利用角质颚判别西北太平洋柔鱼种群结构. 北京: 中国科技论文在线, <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201007-514>
- 郑小东, 王如才, 刘维青, 2002. 华南沿海曼氏无针乌贼 *Sepiella maindroni* 表型变异研究. 青岛海洋大学学报, 32(5): 713—719
- 董正之, 1991. 世界大洋经济头足类生物学. 济南: 山东科学技术出版社, 3—4
- Blanco C, Raduán M Á, Raga J A, 2006. Diet of Risso's dolphin (*Grampus griseus*) in the western Mediterranean Sea. *Sci Mar*, 70(3): 407—441
- Chen X J, Lu H J, Liu B L *et al*, 2012. Species identification of *Ommastrephes bartramii*, *Dosidicus gigas*, *Sthenoteuthis oualaniensis* and *Illex argentinus* (Ommastrephidae) using beak morphological variables. *Sci Mar*, 76(3): 473—481
- Cherel Y, Duhamel G, 2004. Antarctic jaws: cephalopod prey of sharks in Kerguelen waters. *Deep Sea Res I*, 51(1): 17—31
- Clarke M R, 1962. The identification of cephalopod beaks and the relationship between beak size and total body weight. *Bull Br Mus Nat Hist Zool*, 8: 419—480
- Clarke M R, 1986. A Handbook for the Identification of Cephalopod Beaks. Oxford, UK: Clarendon Press, 273
- Clarke M R, Macleod N, 1974. Cephalopod remains from a sperm whale caught off Vigo, Spain. *Journal of Marine Biology Association of the United Kingdom*, 54: 959—968
- Clarke M R, Young R, 1998. Description and analysis of cephalopod beaks from stomachs of six species of odontocete cetaceans stranded on Hawaiian shores. *Journal of Marine Biological Association of the UK*, 78(2): 623—641
- Doubleday Z A, Semmens J M, Smolenski A J *et al*, 2009. Microsatellite DNA markers and morphometrics reveal a complex population structure in a merobenthic octopus species (*Octopus maorum*) in south-east Australia and New Zealand. *Mar Biol*, 156(6): 1183—1192
- Fang Z, Liu B L, Li J H *et al*, 2014. Stock identification of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean on the basis of beak and statolith morphology. *Sci Mar*, 78(2): 239—248
- Kassahn K S, Donnellan S C, Fowler A J *et al*, 2003. Molecular and morphological analyses of the cuttlefish *Sepia apama* indicate a complex population structure. *Mar Biol*, 143(5): 947—962
- Kubodera T, Furuhashi M, 1987. A Manual for Identification of Myctophid Fishes and Squids in the Stomach Contents. Japanese: the fisheries agency of Japan, 65
- Lefkaditou E G, Bekas P, 2004. Analysis of beak morphometry of the horned octopus *Eledone cirrhosa* (Cephalopoda: Octopoda) in the Thracian Sea (NE Mediterranean). *Medit Mar Sci*, 5(1): 143—149
- Liu B L, Fang Z, Chen X J *et al*, 2015. Spatial variations in beak structure to identify potentially geographic populations of *Dosidicus gigas* in the Eastern Pacific Ocean. *Fish Res*, 164: 185—192
- Lu C C, Ickeringill R, 2002. Cephalopod Beak Identification and Biomass Estimation Techniques: Tools for Dietary Studies of Southern Australian Finfishes. *Museum Victoria Science Reports*, 6: 1—65
- Martínez P, Sanjuan A, Guerra A, 2002. Identification of *Illex coindetii*, *I. illecebrosus* and *I. argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) throughout the Atlantic Ocean; by body and beak characters. *Mar Biol*, 141(1): 131—143
- Miserez A, Li Y L, Waite J H *et al*, 2007. Jumbo squid beaks: inspiration for design of robust organic composites. *Acta Biomater*, 3(1): 139—149
- Piatkowski U, Pütz K, Heinemann H, 2001. Cephalopod prey of king penguins (*Aptenodytes patagonicus*) breeding at Volunteer Beach, Falkland Islands, during austral winter 1996. *Fish Res*, 52(1—2): 79—90
- Pineda S E, Aubone A, Bruneth N E, 1996. Identificación Y morfometría comparada de las mandíbulas de *Loligo gahi* Y *Loligo sanpaulensis* (Cephalopoda, Loliginidae) del Atlántico Sudoccidental. *Rev Invest Des Pesq*, 10: 85—99
- Smale M J, Clarke M R, Klages N T W *et al*, 1993. Octopod beak identification-resolution at a regional level (Cephalopoda, Octopoda: Southern Africa). *South Afr J Mar Sci*, 13(1): 269—293
- Vega M A, Rocha F J, Guerra A *et al*, 2002. Morphological differences between the Patagonian squid *Loligo gahi* populations from the Pacific and Atlantic Oceans. *Bulletin of Marine Science*, 71(2): 903—913
- Xavier J C, Cherel Y, 2009. Cephalopod Beak Guide for the Southern Ocean. Cambridge, UK: British Antarctic Survey, 129
- Xavier J C, Clarke M R, Magalhães M C *et al*, 2007. Current status of using beaks to identify cephalopods: III International Workshop and training course on Cephalopod beaks, Faial

island, Azores, April 2007. *Life Mar Sci*, 24: 41—48
Xavier J C, Phillips R A, Cherel Y, 2011. Cephalopods in marine

predator diet assessments: why identifying upper and lower
beaks is important. *ICES J Mar Sci*, 68(9): 1857—1864

SPECIES IDENTIFICATION OF CEPHALOPODS BASED ON BEAK MORPHOMETRIC VARIABLES

LIU Bi-Lin^{1, 2, 3, 4}, CHEN Xin-Jun^{1, 2, 3, 4}, FANG Zhou¹, JIN Yue¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China)

Abstract We studied beak morphometric variables (rostrum, hood, crest, lateral wall and wing length of upper and lower beaks) of five economic cephalopods (*Uroteuthis edulis*, *U. duvauceli*, *Sepia esculenta*, *Sepiella maindroni*, and *Octopus ocellatus*) from the Donghe market in Zhoushan City, using stepwise discriminant analysis (SDA), principal component analysis (PCA), and univariate analyses of variance (ANOVA). The results show that all measured beak variables are species-specific in significant difference ($P < 0.001$). *S. esculenta* have the largest beak while *O. ocellatus* the smallest. SDA results indicate that beak variables are useful for species identification. Of all the variables, the upper lateral wall length (ULWL), upper hood length (UHL), and lower crest length (LCL) contribute to the most of the identification for 96.2% in overall cross-validation rate. In contrast, standardized beak variables are more effective than original ones for having 100% reclassification rate, in which standardized lower rostrum length (LRLs) and standardized lower wing length (LWLs) contributed the most. PCA results show 100% successful discrimination identifying species of loliginids and cuttlefishes using original and standardized beak variables. Therefore, the new method can be applied to determine cephalopod species, which provides useful information for the research in relevant fields.

Key words beak; cephalopod; stepwise discriminant analysis; principal component analysis; species identification