

# 汕头-台湾浅滩渔场中国枪乌贼形态学初步分析

刘梦娜<sup>1,3,4</sup>, 王雪辉<sup>3,4\*</sup>, 刘玉<sup>5</sup>, 邱永松<sup>3</sup>, 何映霖<sup>2</sup>, 贝伟烈<sup>2</sup>, 朱江峰<sup>1</sup>, 杜飞雁<sup>3,4</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 海南智渔可持续发展研究中心, 海南 海口 570208;  
3. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;  
4. 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300; 5. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

**摘要:**形态学研究是海洋生物学的基础,对了解渔业资源的群体组成有重要意义。根据2018年7月至2019年6月在汕头-台湾浅滩渔场采集的940尾中国枪乌贼(*Uroteuthis chinensis*)的形态学数据,对其群体组成、胴长(*ML*)与体质量关系进行了研究;对各形态参数比进行了主成分分析;采用线性、指数、幂函数、逻辑斯谛4种函数对各形态学指标即右第一至第四腕长( $AL_1$ 、 $AL_2$ 、 $AL_3$ 、 $AL_4$ )、右触腕长(*TL*)、鳍长(*FL*)和鳍宽(*FW*)与胴长的关系进行了拟合并选出最优方程。结果发现:中国枪乌贼的胴长范围为50~300 mm,平均胴长111.44 mm,体质量范围7.43~301.00 g,平均体质量53.95 g,雌、雄生长系数*b*值分别为2.269 6和2.067 5,雌性比雄性生长速度更快,并存在个体小型化持续的趋势。主成分分析表明各形态参数比的差异可简化为2个主成分,第1主成分主要解释了各腕长、鳍宽的差异;第2主成分主要解释了鳍长的差异,因子荷载可视化雌雄在第2主成分具有明显偏离态势。各腕指标及鳍长、鳍宽与胴长关系以线性函数拟合最佳,协方差分析表明雌性与雄性个体之间存在显著差异( $p < 0.05$ )。研究结果可为中国枪乌贼渔业生物学积累基础资料,加深对该资源种群组成及变动的了解,从而为实现资源的可持续利用和科学管理提供依据。

**关键词:**海洋生物学;中国枪乌贼;形态学;曲线拟合;主成分分析;汕头-台湾浅滩渔场

DOI: 10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2020. 04. 000

中图分类号:P735

文献标识码:A

文章编号:2095-4972(2020)04-0000-00

中国枪乌贼(*Uroteuthis chinensis*)隶属于头足纲(Cephalopoda)、枪乌贼科(Loliginidae)、尾枪乌贼属(*Uroteuthis*)<sup>[1]</sup>,为大陆架海域暖水性物种<sup>[2]</sup>,又名台湾枪乌贼,俗称鱿鱼。主要分布于北纬25°以南的南海至东中国海一带,尤其是我国南海大陆架、台湾海峡中南部<sup>[3]</sup>。在经济上,中国枪乌贼不仅是南海乃至全国的重要消费水产品,其各类干冻品也远销海外<sup>[4]</sup>,产量占世界头足类科的3/5<sup>[1,5]</sup>,是我国头足类的重要经济种<sup>[3]</sup>;生态上,中国枪乌贼是多种大型鱼类的摄食对象,同时又是小型鱼类和浮游动物的主要捕食者<sup>[6]</sup>,在食物网中具有重要地位和生态意义,且为南海北部尤其汕头-台湾浅滩渔场的关键种<sup>[7]</sup>。

汕头-台湾浅滩渔场(21°50'~23°30'N, 116°00'~119°30'E)位于台湾海峡南部,东海至南海的交

界处。该渔场地形复杂,沿岸有闽南、粤东和台湾西南部的许多江河径流直接流入,咸淡水交替带来大量无机盐类和有机物质,促进了饵料生物的大量繁殖,有利于鱼类索饵、生殖洄游和栖息集群<sup>[8]</sup>,是我国重要的渔场之一。近年来闽南-台湾浅滩渔场资源衰退迹象明显,迫切需要科学合理的渔业政策的管理,增强其资源的可持续性。而目前对该渔场重要优势资源的中国枪乌贼的认识还不够深入,相关数据资料也多停留在上世纪八九十年代,缺乏足够的时效性<sup>[4]</sup>。中国枪乌贼以往的研究,主要集中在生物学特征<sup>[3,9]</sup>、资源状况<sup>[9]</sup>、繁殖与摄食<sup>[6]</sup>、遗传分析<sup>[10]</sup>、耳石<sup>[11-12]</sup>及角质颚<sup>[5,13]</sup>以及年龄与生长<sup>[12,14-15]</sup>等方面,而形态参数特征方面的研究还尚未报道,只在个别专著<sup>[1-2]</sup>中略有涉及。而形态学特征的研究是头足类生物学研究的基础<sup>[16]</sup>,也是种

收稿日期:2019-09-29

基金项目:国家科技基础资源调查专项资助项目(2017FY201405);中国水产科学研究院基本科研业务费资助项目(2019HY-JC0203)

作者简介:刘梦娜(1992—),女,在读硕士研究生;E-mail: monarliu@163.com

\* 通讯作者:王雪辉(1975—),男,博士,副研究员;E-mail: wxhs@163.com

群分类与鉴别和遗传学研究的基础,同时是多种上层海洋动物摄食分析中的重要工具<sup>[17]</sup>。因此,本研究利用 2018—2019 年在汕头-台湾浅滩渔场采获的 940 尾中国枪乌贼样品,对其形态学数据进行统计,分析各个形态参数与胴长之间的关系及其主要的差别因素,为中国枪乌贼渔业生物学积累基础资料,以期为加深对中国枪乌贼种群形态特征的认识提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与处理

本研究样品采自汕头-台湾浅滩渔场(21°50' ~ 23°30'N, 116°00' ~ 119°30'E),进行逐月周年采集,采集时间为 2018 年 7 月—2019 年 6 月,每月随机挑选中国枪乌贼样品,共 940 尾。将样品采用保温箱急冻保存,带回实验室后分析。在实验室解冻后进行生物学测定,测定参数包括胴长(Mantle Length, *ML*)、右第一至第四腕长(Arm Length, *AL*<sub>1</sub>、*AL*<sub>2</sub>、*AL*<sub>3</sub>、*AL*<sub>4</sub>)、右触腕长(Tentacle Length, *TL*)、鳍长(Fin Length, *FL*)和鳍宽(Fin Width, *FW*)等 8 个形态学指标及体质量(Weight, *W*)、纯体质量(Mantle Weight, *MW*,指除头部和内脏之外仅剩的纯胴体的质量),并对性腺成熟度进行辨别。长度精确至 1 mm,体质量精确至 0.01 g(仪器:Y 型精密电子天平;精确度为 0.01 g),性成熟度划分参考欧瑞木(1983)的方法<sup>[18]</sup>。

### 1.2 分析方法

1.2.1 胴长与体质量关系 文献研究表明<sup>[16]</sup>,幂函数为枪形目胴长体质量关系的最佳函数,建立中国枪乌贼体质量、纯体质量与胴长之间的关系函数:

$$W = a_1 ML^{b_1} \quad (1)$$

$$MW = a_2 ML^{b_2} \quad (2)$$

式(1~2)中:*W*为体质量(g),*MW*为纯体质量(g),*ML*为胴长(mm),*a*<sub>1</sub>、*b*<sub>1</sub>、*a*<sub>2</sub>、*b*<sub>2</sub>为参数。

对数据进行统计分析后,采用回归分析法,求得关系函数。

1.2.2 主成分分析 为去除数值本身的影响,将存在缺失数据的个体从样本中剔除后,对中国枪乌贼雌雄个体的形态学参数进行标准化,即将各指标除以胴长,获得形态学参数比 *AL*<sub>1</sub>/*ML*、*AL*<sub>2</sub>/*ML*、*AL*<sub>3</sub>/*ML*、*AL*<sub>4</sub>/*ML*、*TL*/*ML*、*FL*/*ML*、*FW*/*ML*,经 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)检验和 Bartlett 检验后,用于主成分分析<sup>[19]</sup>。结合 Kaiser 准则和 Cattell 碎石检验选取足够解释所有变量的主成分。采用最大方差法对成分矩阵进行正交旋转以使因子具有更准确的解释

性。以第一因子荷载降序的顺序输出旋转后的因子荷载矩阵,并制作因子得分系数空间图。将特征向量与标准化后的数据相乘获得 2 个主成分表达式。并将正态变换后的形态学参数代入表达式中,可视化后进行雌雄个体间的形态学差异分析。

1.2.3 形态学参数与胴长关系拟合 分别使用线性、指数、幂函数、Logistic 函数对雌性和雄性中国枪乌贼的右第一至第四腕长(*AL*<sub>1</sub>、*AL*<sub>2</sub>、*AL*<sub>3</sub>、*AL*<sub>4</sub>)、右触腕长(*TL*)、鳍长(*FL*)和鳍宽(*FW*)等 7 项形态参数与胴长的关系进行拟合。拟合函数公式:

$$\text{线性函数: } y = a + bx; \quad (3)$$

$$\text{指数函数: } y = e^{a+bx+cx^2}; \quad (4)$$

$$\text{幂函数: } y = ax^b; \quad (5)$$

$$\text{Logistic 函数: } y = \frac{a}{1 + e^{-k(x-x_c)}} \quad (6)$$

使用赤池信息量标准(Akaike information criterion, AIC)对模型拟合结果进行检验,结合最大相关性系数和最小 AIC 值筛选出最优模型。利用筛选出的最优函数对中国枪乌贼雌、雄个体的形态学指标与胴长的关系进行分析。

所有数据整理和分析在 EXCEL 2016、SPSS 25、Origin 2017 中完成,部分可视化在 R 软件中完成。

## 2 结果与讨论

### 2.1 群体组成及个体大小变化趋势

根据中国枪乌贼雌雄胴长、体质量的分布(表 1),可以看出雌雄总体胴长范围为 50 ~ 300 mm,平均胴长(111.44 ± 1.07) mm,优势胴长组为 71 ~ 145 mm,占总体 83.19%。其中雌性为 50 ~ 300 mm、(113.45 ± 1.52) mm、71 ~ 145 mm 和 82.42%;雄性为 61 ~ 263 mm、(109.04 ± 1.50) mm、71 ~ 170 mm 和 92.52%。非重叠部分为 50 ~ 60 mm、264 ~ 300 mm。雄性个体平均胴长比雌性小,没有超过 263 mm 的雄性个体(图 1-a)。最大个体胴长 300 mm,体质量 264.10 g;最小个体胴长 50 mm,体质量 7.50 g。

体质量分布分析认为,雌雄总体体质量分布范围 7.43 ~ 301.00 g,平均体质量(53.95 ± 1.28) g,优势体质量为 0.01 ~ 75.00 g,占总体 80.53%。雌、雄体质量分布范围分别为 7.34 ~ 301.00 g、11.85 ~ 229.00 g,优势体质量相同,为 0.01 ~ 75.00 g,占比分别为 78.52%、82.94%,尤其集中于 25.00 ~ 50.00 g 组别,分别占 46.48%、44.16%。非重叠部分 7.35 ~ 10.91 g、236.00 ~ 301.00 g。雄性体质量均值比雌性小,且没有超过 230.00 g 的雄性个体(图 1-b)。纯体质量分布范围 4.38 ~ 166.69 g,平

均纯体质量 ( $31.28 \pm 0.73$ ) g, 非重叠部分为 4.38 ~ 6.59 g, 133.78 ~ 166.69 g。

裘金科(1981)<sup>[20]</sup>对闽南-台湾浅滩渔场(又称汕头-台湾浅滩渔场<sup>[21]</sup>)台湾枪乌贼(即中国枪乌贼)生物学特性的研究中,1975—1977年的713尾渔获物的统计结果显示:胴长分布范围36~485 mm,平均胴长185.7 mm,体质量范围5~900 g,平均体质量183.4 g;张壮丽<sup>[3]</sup>在闽南-台湾浅滩渔场中国枪乌贼生物学研究中,1995年单拖网485尾渔获物统计结果分别为73~315 mm、158.51 mm、

26.0~422.0 g、123.8 g;对2006、2007年光诱网350尾渔获物的统计结果分别为74~275 mm、143.9 mm、20.5~396.2 g和92.6 g,且与同期历史资料对比后认为从上世纪70年代到90年代,再到2006—2007年,中国枪乌贼个体胴长存在不同程度的减小。对比本次研究结果,可以看出2018—2019年度胴长与体质量数据比之前明显减小,推测中国枪乌贼个体比之前更小,一定程度上说明该海域中国枪乌贼个体小型化趋势仍在持续。

表1 汕头-台湾浅滩渔场中国枪乌贼胴长、体质量及纯体质量组成

Tab.1 Composition of length, weight and mantle weight of *U. chinensis* in Shantou-Taiwan Strait Bank fishing ground

参数	尾数/条	胴长/mm		体质量/g		纯体质量/g	
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
雌性	512	50~300	113.45 ± 1.52	7.43~301.00	58.20 ± 1.95	4.38~166.69	33.46 ± 1.09
雄性	428	61~263	108.81 ± 1.47	11.85~229.00	48.86 ± 1.52	6.60~122.89	28.67 ± 0.91
总计	940	50~300	111.44 ± 1.08	7.43~301.00	53.95 ± 1.28	4.38~166.69	31.28 ± 0.73

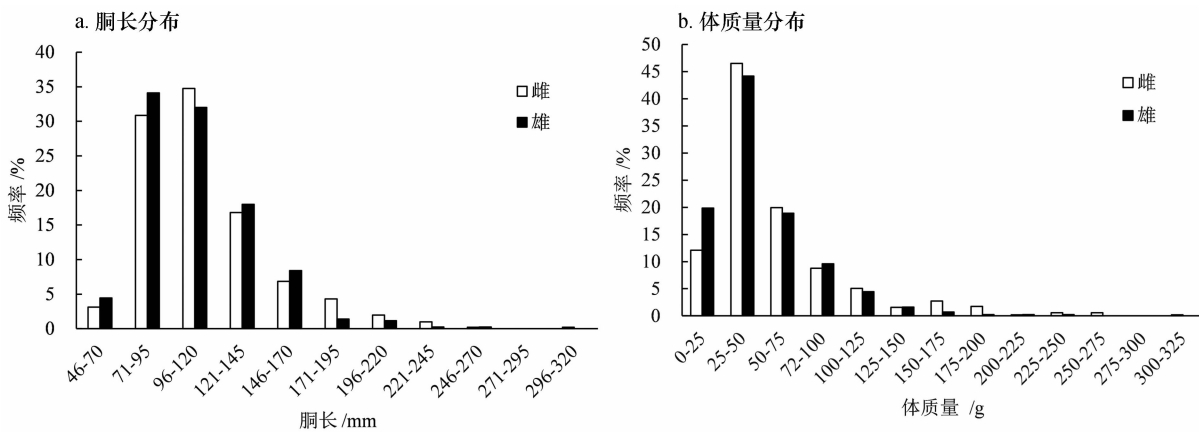


图1 汕头-台湾浅滩渔场中国枪乌贼胴长、体质量分布

Fig.1 Distribution of mantle length and weight of *U. chinensis* in Shantou-Taiwan Strait Bank fishing ground

### 2.2 体质量与胴长关系及生长规律

差异性检验表明本研究中的中国枪乌贼体质量、纯体质量的雌雄差异显著( $p$ 值分别为0.004和0.036)。因此对雌性和雄性群体分别进行体质量、纯体质量与胴长的关系拟合。中国枪乌贼雌性与雄性的体质量与胴长关系式分别为: $W = 1.1 \times 10^{-3} ML^{2.2696}$  ( $R^2 = 0.9323$ );  $W = 2.7 \times 10^{-3} ML^{2.0675}$  ( $R^2 = 0.9253$ ); 纯体质量与胴长的关系式分别为: $MW = 0.6 \times 10^{-3} ML^{2.2726}$  (0.9497),  $MW = 0.9 \times 10^{-3} ML^{2.1985}$  ( $R^2 = 0.9505$ ) (图2)。

头足类的生长由内因和外因共同影响,内因主要是基因组成的差异,外因主要是生存环境和生长

阶段的不同<sup>[22]</sup>。生长系数  $b$  值的大小反映了不同种群或同一种群在不同生长阶段与性别和环境等的变化<sup>[23]</sup>。本研究发现,中国枪乌贼雌、雄生长系数  $b$  值分别为2.2696和2.0675。李渊等<sup>[9]</sup>于北部湾中国枪乌贼的研究表明,雌、雄生长系数分别为2.2392、2.2060;而BAT等(2009)<sup>[15]</sup>在北部湾的研究发现雌、雄中国枪乌贼的  $b$  值分别为2.42、2.16,前者雄性  $b$  值高于本研究,后者则雌、雄都较本研究高(表2)。BAT等<sup>[15]</sup>认为,温度和季节是影响中国枪乌贼的生长的重要因素。汕头-台湾浅滩海域地处东海和南海交界处,其纬度高于北部湾,而同期温度低于北部湾。由表4可知,中国枪乌贼的生

长系数随纬度增高而降低,即纬度越低中国枪乌贼生长速度可能越快。3 次研究都呈现雌性生长系数比雄性高,推测中国枪乌贼的生长特性在雌雄之间存在差异,雌性生长后期比雄性快,但需更多实验数

据的进一步验证。此外,3 次研究的生长系数介于 2.16 ~ 2.42 之间,都远小于 3,说明中国枪乌贼属于异速生长头足类,体长随个体生长不按等比例放大<sup>[24]</sup>。

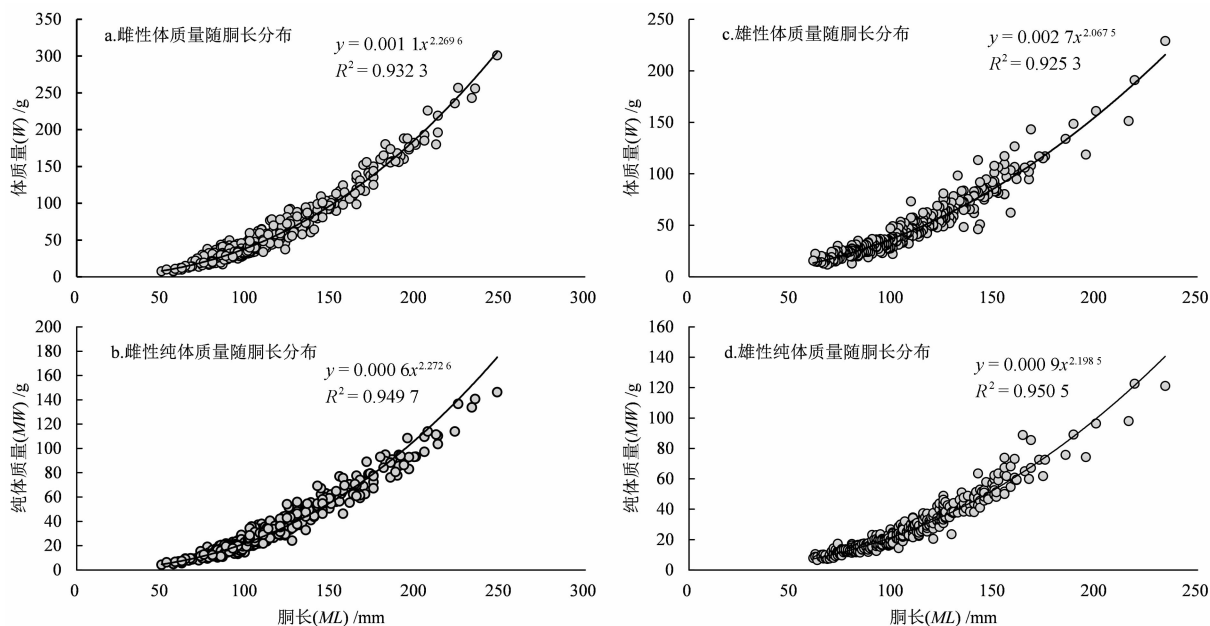


图2 中国枪乌贼雌、雄个体体质量、纯体质量与胴长的关系及其曲线拟合

Fig. 2 Curve fitting of weight and mantle weight of female and male *U. chinensis* with change of mantle length

表2 中国枪乌贼相关研究比较

Tab. 2 Comparison of 3 researches on *U. chinensis*

海域	经度范围	纬度范围	采样时间	b 值		文献
				雌性	雄性	
北部湾			2006 年 5 月、8 月、10 月、11 月和 2007 年 2 月	2.239	2.206	李渊等 <sup>[10]</sup>
北部湾	105° ~ 110°E	17° ~ 22°N	2001 年 4 月、7—10 月	2.42	2.16	BAT 等 <sup>[18]</sup>
汕头-台湾浅滩渔场	116°00' ~ 119°30'E	21°50' ~ 23°30'N	2018 年 7 月 ~ 2019 年 6 月	2.2696	2.0675	本研究

注:表中空格为信息不详

### 2.3 主成分分析

进行主成分分析的样本个体共 395 尾,其中雌性 226 尾,雄性 169 尾。中国枪乌贼形态参数比数据 Bartlett's 检验结果  $p < 0.01$ ,说明本研究的数据结构合理,相关系数矩阵与单位矩阵具有显著差异;KMO 抽样适应性指数为 0.875(根据 Kaiser 的 KMO 度量标准,0.9 以上为非常合适,0.8 为合适),本研究数据适用主成分分析。

主成分分析总方差解释表明 7 个主成分的贡献率分别为 54.067%、15.323%、9.673%、9.180%、4.861%、4.224%、2.672%,前两位主成分对数据变

异度的累积贡献率 69.391%,特征值均大于 1(表 3);碎石图显示主成分 2 之前走势陡峭,3 之后走势明显趋于平缓(图 3);成分矩阵显示主成分 1 和 2 足以解释所有变量。因此,提取前 2 个主成分进行分析。

因子得分系数和因子载荷空间图(图 4)显示: $AL_1/ML$ 、 $AL_2/ML$ 、 $AL_3/ML$ 、 $AL_4/ML$ 、 $TL/ML$ 、 $FW/ML$  在第 1 主成分具有较高的载荷,各变量相关系数均大于 0.5,其中  $AL_1/ML$ 、 $AL_2/ML$ 、 $AL_3/ML$ 、 $AL_4/ML$  大于 0.8,第一主成分主要解释了第一腕长、第二腕长、第三腕长、第四腕长、触腕长和鳍宽几个变量,可

归结为运动能力;FL/ML 在第 2 主成分具有极高载荷,相关系数高达 0.925,第 2 主成分主要解释了鳍长这一变量。同时,AL<sub>1</sub>、AL<sub>2</sub>、AL<sub>3</sub>、AL<sub>4</sub>在第 2 主成分

的得分都成负,FL 在第 1 主成分的得分为负,分别低于平均水平。经协方差分析检验 2 个成分之间没有相关性,本次因子分析具有实际意义。

表 3 中国枪乌贼形态参数比主成分分析总方差解释

Tab. 3 Total variance explained by principal component analysis of morphological parameter ratio of *U. chinensis*

	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.785	54.067	54.067
2	1.073	15.323	69.391
3	0.677	9.673	79.063
4	0.643	9.18	88.243
5	0.34	4.861	93.104
6	0.296	4.224	97.328
7	0.187	2.672	100

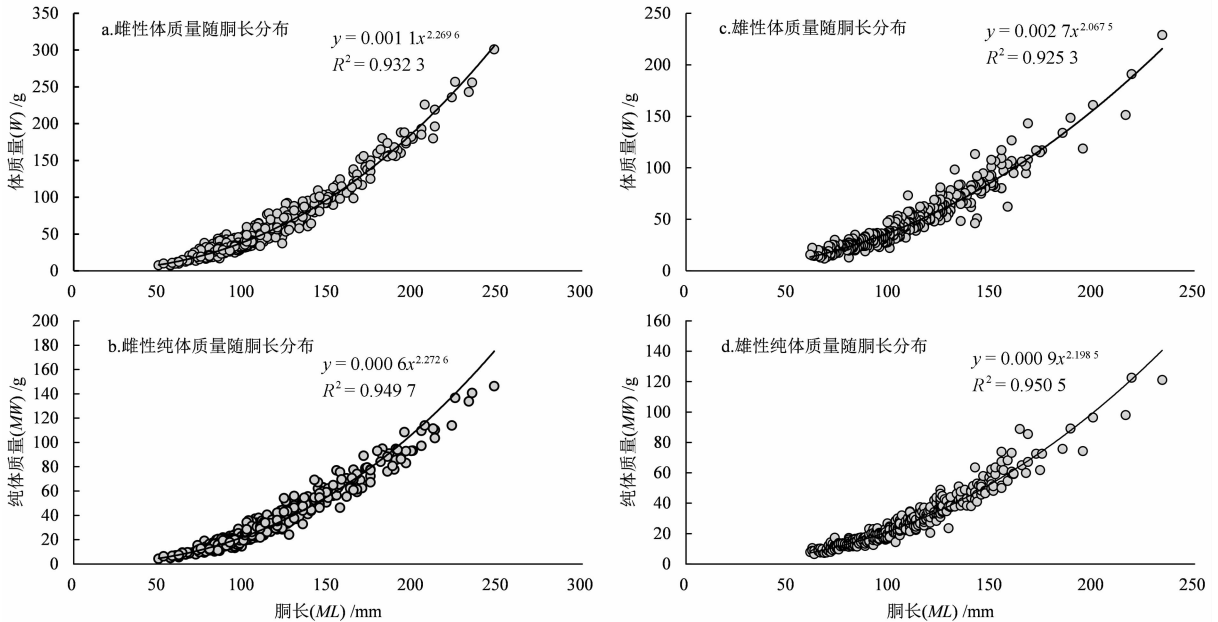


图 3 中国枪乌贼形态学分析成分特征值走势图

Fig. 3 Scree plot of eigenvalues of *U. chinensis* morphological components by Principal Component Analysis

采用回归法估计并输出因子得分系数矩阵。可得到 2 项因子的线性组合:

$$F_1 = 0.225x_1 + 0.235x_2 + 0.228x_3 + 0.225x_4 + 0.175x_5 - 0.021x_6 + 0.155x_7;$$

$$F_2 = -0.089x_1 - 0.106x_2 - 0.042x_3 - 0.048x_4 + 0.196x_5 + 0.863x_6 + 0.355x_7。$$

其中  $x_1 \sim x_7$  为参数  $AL_1/ML$ 、 $AL_2/ML$ 、 $AL_3/ML$ 、 $AL_4/ML$ 、 $TL/ML$ 、 $FL/ML$  和  $FW/ML$  经标准正态变换后的变量。将参数代入式中,获得样本个体  $F_1$ 、 $F_2$  的值并绘制中国枪乌贼主成分分析因子散布图(图 5)。据图显示:雌、雄群体散布重叠度较高,在主成

分 1 轴的分布范围基本相同;在主成分 2 轴方向,雌性群体分布于 0 值附近并偏上,主要在 -1.0 与 2.5 之间;而雄性群体分布于 0 值附近并偏下,在 -2.5 至 2.5 之间。可以看出雌性与雄性之间存在明显的偏离态势。

研究表明,变量  $AL_1/ML$ 、 $AL_2/ML$ 、 $AL_3/ML$ 、 $AL_4/ML$ 、 $TL/ML$ 、 $FW/ML$ 、 $FL/ML$  对中国枪乌贼形态特征都具有代表性,中国枪乌贼的形态上的差别可归结为运动能力和个体大小(模型拟合中鳍长与胴长关系拟合结果高度符合线性相关,认为  $FL/ML$  可代表个体大小差异因素)两方面。

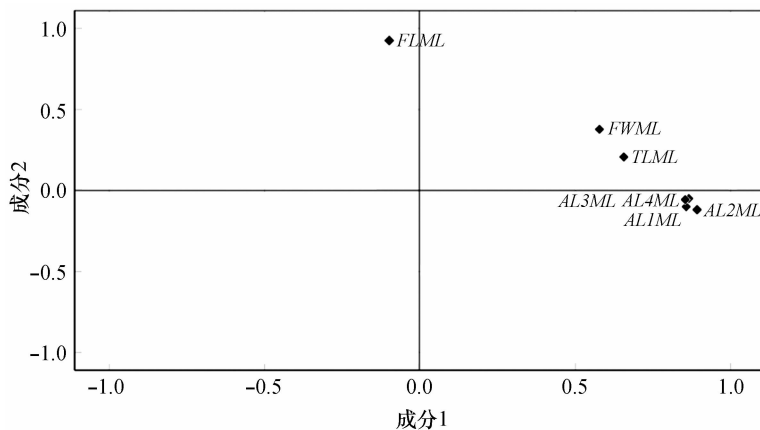


图4 旋转后的因子荷载空间图

Fig. 4 Space map of rotation principal component analysis

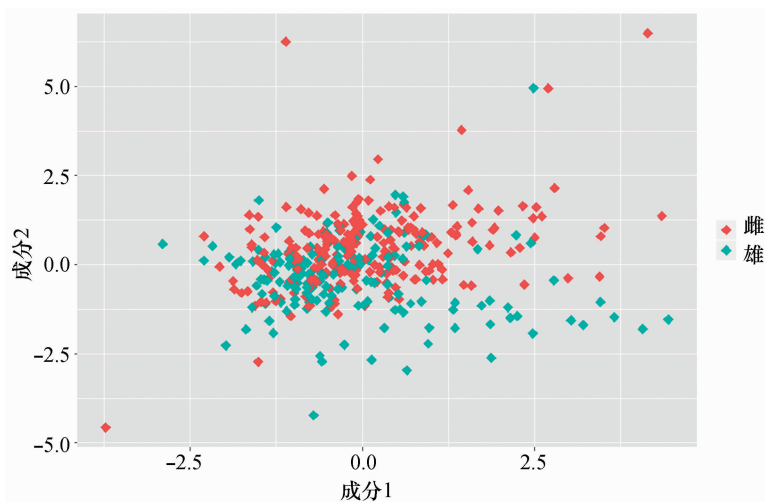


图5 中国枪乌贼形态学指标主成分分析因子散布图

Fig. 5 Distribution of the first 2 principal components of PCA based on 7 morphological indices of *U. chinensis*

## 2.4 形态学参数模型拟合

分别以  $AL_1$ 、 $AL_2$ 、 $AL_3$ 、 $AL_4$ 、 $TL$ 、 $FL$ 、 $FW$  为因变量,以  $ML$  为自变量,使用 4 种函数(线性函数、指数函数、幂函数和 Logistic 函数)进行曲线拟合。综合 AIC 值最小和决定系数最大的结果,认为线性函数是对各指标与胴长关系的最佳拟合函数(表 4)。故选取线性函数作为各形态学指标与胴长关系的表达式,拟合效果见图 6、7,关系式如下:

$AL_1$  与  $ML$  的关系式为:

$$AL_1 = 3.44741 + 0.30158ML \text{ (雌)}; AL_1 = 12.11889 + 0.21947ML \text{ (雄)};$$

$AL_2$  与  $ML$  的关系式为:

$$AL_3 = 5.59183 + 0.3797ML \text{ (雌)}; AL_2 = 15.02213 + 0.28713ML \text{ (雄)};$$

$AL_3$  与  $ML$  的关系式为:

$$AL_2 = 9.08239 + 0.44653ML \text{ (雌)}; AL_3 = 19.45087 + 0.33418ML \text{ (雄)};$$

$AL_4$  与  $ML$  的关系式为:

$$AL_4 = 4.59457 + 0.40003ML \text{ (雌)}; AL_4 = 13.75289 + 0.3051ML \text{ (雄)};$$

$TL$  与  $ML$  的关系式为:

$$TL = 32.91803 + 1.4701ML \text{ (雌)}; TL = 28.47133 + 1.44428ML \text{ (雄)};$$

$FL$  与  $ML$  的关系式为:

$$FL = -11.73264 + 0.66314ML \text{ (雌)}; FL = -17.09808 + 0.70604ML \text{ (雄)};$$

$FW$  与  $ML$  的关系式为:

$$FW = 1.97507 + 0.46811ML \text{ (雌)}; FW = 5.09174 + 0.42121ML \text{ (雄)}。$$

经协方差分析,  $AL_1$ 、 $FL$  雌雄函数差异极显著 ( $p < 0.01$ ),  $AL_2$ 、 $AL_3$ 、 $AL_4$ 、 $TL$ 、 $FW$  雌雄函数差异显著 ( $p < 0.05$ ), 雌性与雄性个体在生长过程中各部位的生长规律有所差别(图 7、8)。

根据回归分析结果,各指标与胴长关系的拟合

以线性函数最佳,说明中国枪乌贼各形态指标随胴长的相对生长速度在各生长阶段没有发生变化。各指标拟合函数中,除 *TL* 的雌、雄斜率都大于 1,其他指标则都小于 1,除 *FL* 之外都小于 0.5,说明中国枪乌贼触腕的生长速度明显快于其它指标,其次是鳍长。4 个腕长的拟合函数之间,斜率相差不太大(雌性为 0.3 ~ 0.45;雄性为 0.2 ~ 0.35),且雌性与雄性都符合  $AL_1 < AL_2 < AL_4 < AL_3$  的趋势。结合实测

值,发现个体的指标长度也符合该趋势,这与陈新军<sup>[1]</sup>和董正之<sup>[2]</sup>的描述相符。另外,除 *FL* 的斜率为雌性小于雄性,其他皆为雌性大于雄性。说明中国枪乌贼的鳍长生长速度为雌性小于雄性,其他部位(各腕长和鳍宽)都是雌性大于雄性。同时,拟合效果说明,鳍长与胴长的关系拟合明显优于其它指标,呈现显著的线性相关性,表明鳍长生长速度在生长过程中的变异性最小,最为稳定。

表 4 汕头-台湾浅滩渔场中国枪乌贼形态指标曲线拟合结果

Tab. 4 Curve fitting results of morphological indexes of *U. chinensis* in Shantou-Taiwan Strait Bank fishing ground

模型	决定系数 R <sup>2</sup>		AIC 值	
	雌性	雄性	雌性	雄性
<i>AL</i> <sub>1</sub> - <i>ML</i>				
线性函数	0.791 8	0.563 3	763.602 2	579.972 6
指数函数	0.792 8	0.576 5	763.449 6	575.771 0
幂函数	0.792 0	0.550 0	763.318 5	584.991 6
Logistic 函数	0.792 4	0.576 4	763.885 5	575.832 0
<i>AL</i> <sub>2</sub> - <i>ML</i>				
线性函数	0.830 1	0.654 5	812.337 3	605.924 5
指数函数	0.828 4	0.657 5	814.539 7	605.469 7
幂函数	0.829 2	0.646 0	812.485 7	610.004 0
Logistic 函数	0.828 4	0.657 7	814.647 9	605.337 6
<i>AL</i> <sub>3</sub> - <i>ML</i>				
线性函数	0.825 2	0.718 3	892.196 0	607.120 3
指数函数	0.823 4	0.719 7	895.501 1	607.302 8
幂函数	0.824 6	0.710 7	892.974 7	611.622 3
Logistic 函数	0.823 2	0.719 8	895.747 8	607.218 4
<i>AL</i> <sub>4</sub> - <i>ML</i>				
线性函数	0.842 3	0.787 2	808.857 1	514.175 3
指数函数	0.842 3	0.791 1	809.926 1	512.041 9
幂函数	0.842 7	0.779	808.415 8	520.495 3
Logistic 函数	0.842 1	0.791 3	810.264 9	511.847 1
<i>TL</i> - <i>ML</i>				
线性函数	0.766 8	0.799	1 512.466 7	1 024.454 3
指数函数	0.770 8	0.798 7	1 509.488 8	1 025.683
幂函数	0.766 8	0.797 3	1 512.429 6	1 025.851 5
Logistic 函数	0.769 9	0.798 7	1 510.347 2	1 025.720 8
<i>FL</i> - <i>ML</i>				
线性函数	0.971 3	0.947 4	625.991 3	530.350 8
指数函数	0.969	0.946 6	644.618 8	533.923 9
幂函数	0.970 5	0.946 5	632.156 8	533.108
Logistic 函数	0.969	0.945 9	644.209 2	536.190 2
<i>FW</i> - <i>ML</i>				

续表 4

模型	决定系数 R <sup>2</sup>		AIC 值	
	雌性	雄性	雌性	雄性
线性函数	0.866 8	0.795 9	840.942 2	613.641 6
指数函数	0.867 1	0.794 8	841.538 4	615.559 2
幂函数	0.866 5	0.795 2	841.476 8	614.269 5
Logistic 函数	0.867 1	0.7938	841.542	616.409 7

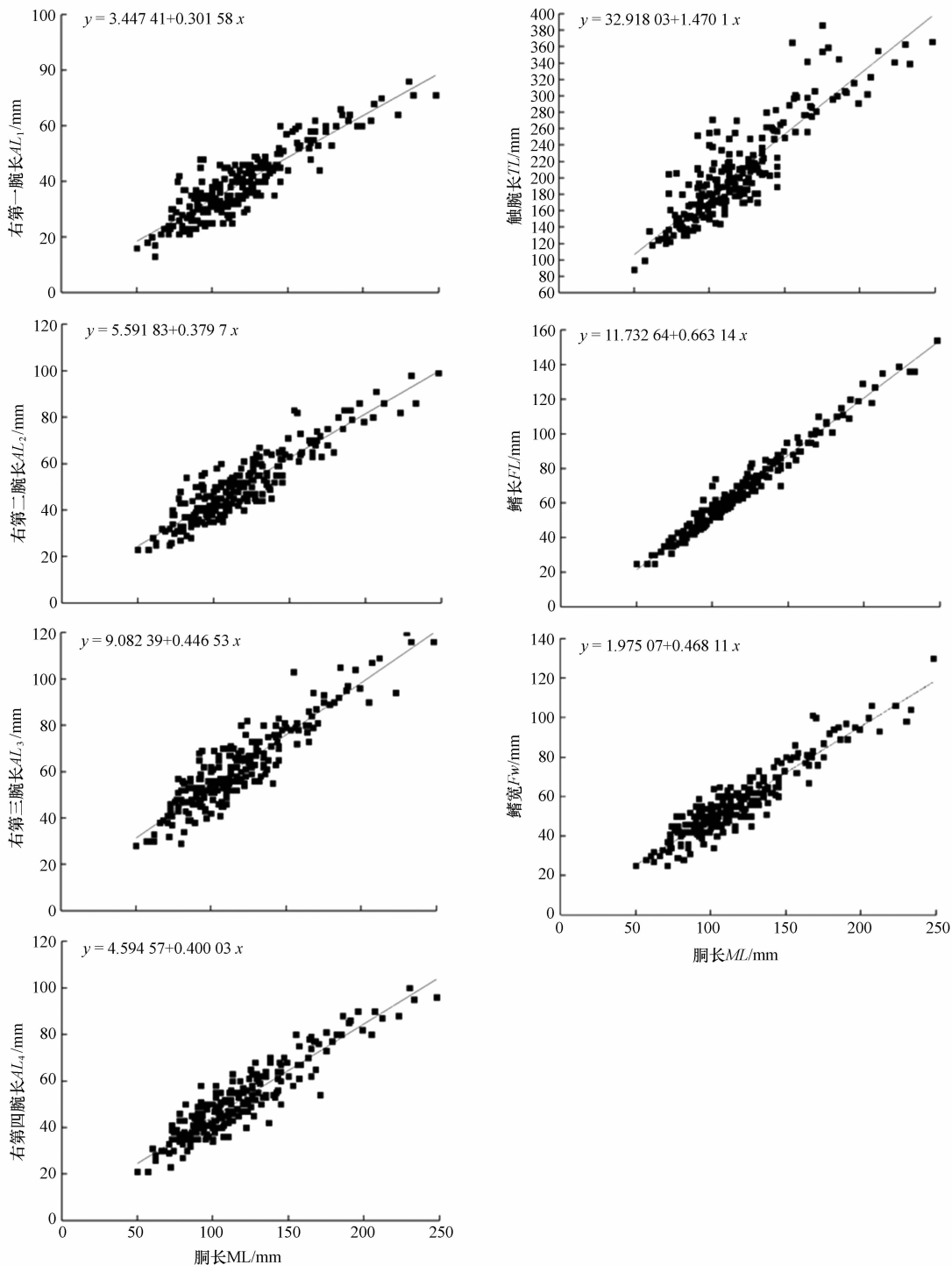


图 6 中国枪乌贼(雌性)形态学参数与胴长线性回归曲线

Fig. 6 Regression curve of morphological parameters and mantle length of female *U. chinensis*



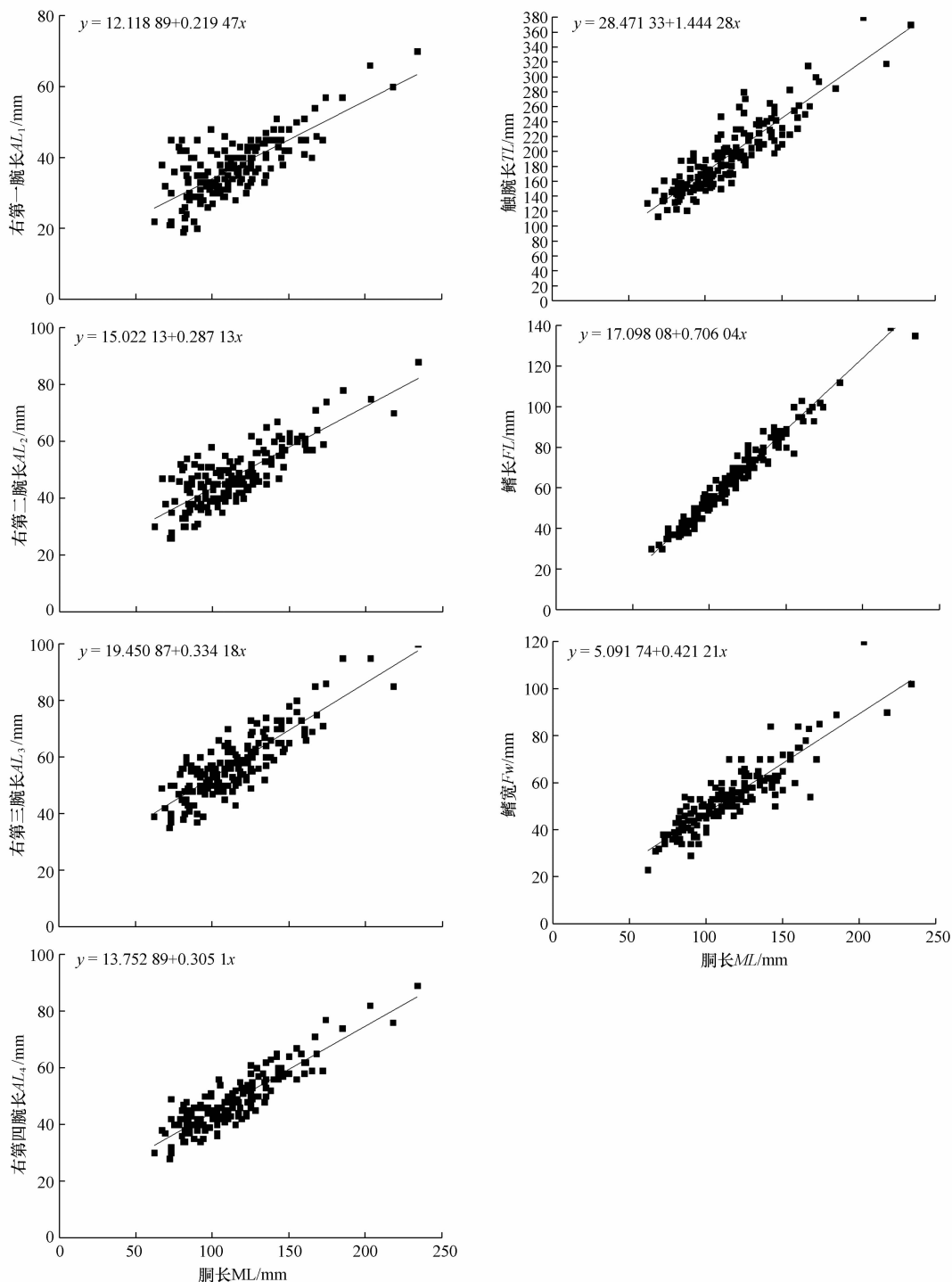


图7 中国枪乌贼(雄性)形态学参数与胴长线性回归曲线

Fig. 7 Regression curve of morphological parameters and mantle length of male *U. chinensis*

### 3 结论

本研究根据汕头-台湾浅滩渔场的 940 尾中国枪乌贼的形态学数据,对其群体组成、胴长与体质量关系进行了研究,对各形态参数比进行了主成分分析,并对各形态学指标与胴长的关系进行了拟合从而选出最优方程。

(1) 中国枪乌贼的胴长范围为 50 ~ 300 mm,平均胴长 111.44 mm,优势胴长组为 71 ~ 145 mm。其中雌性平均胴长 113.45 mm;雄性为 109.04 mm。雄性个体平均胴长比雌性小。总体体质量分布范围 7.43 ~ 301.00 g,平均体质量 53.95 g,优势体质量为 0.01 ~ 75.00 g,占总体 80.53%。雌、雄体质量分布范围分别为 7.34 ~ 301.00 g、11.85 ~ 229.00 g。

(2)雌、雄生长系数  $b$  值分别为 2.269 6 和 2.067 5,中国枪乌贼生长特性在雌雄之间存在差异,雌性个体比雄性大,后期生长比雄性快,为异速生长物种。该海域中国枪乌贼存在个体小型化持续的趋势。

(3)主成分分析表明变量 AL1/ML、AL2/ML、AL3/ML、AL4/ML、TL/ML、FW/ML、FL/ML 对中国枪乌贼形态特征都具有代表性,各形态参数比的差异可简化为 2 个主成分,第 1 主成分主要解释了各腕长、鳍宽的差异;第 2 主成分主要解释了鳍长的差异,中国枪乌贼的形态上的差别可归结为运动能力和个体大小两方面。因子荷载可视化雌雄在第 2 主成分具有明显偏离态势。

(4)根据回归分析,各形态学指标与胴长关系的拟合以线性函数最佳,中国枪乌贼各形态指标随胴长的相对生长速度在各生长阶段没有发生变化。协方差分析表明雌性与雄性个体之间存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。

## 4 展望

由于中国枪乌贼肉质柔软、易于塑形的特性,指

标测量过程可能产生误差,仅依靠外部形态特征进行种属水平的鉴别难度较大,这也是头足类形态学研究的普遍问题<sup>[25-26]</sup>。因此,除使用传统的形态学和生物学<sup>[27-29]</sup>分析,目前,已有许多学者使用角质颚<sup>[30-31]</sup>、晶状体<sup>[32]</sup>、耳石<sup>[33]</sup>等硬组织<sup>[34]</sup>进行头足类形态学上的种群差异分析,也有学者从遗传角度采用分子分析的方法<sup>[26, 35-36]</sup>对形态学鉴别进行补充,头足类种群结构的研究在世界范围已取得很大进步<sup>[37]</sup>。因此,后续进一步的研究,可纳入更多软、硬质测量指标,结合分子手段和繁殖、摄食和采样时间等数据,并与其他地理群体进行比较,对中国枪乌贼进行更全面深入的研究。

致谢:本研究中国枪乌贼样品由汕头市万成鑫水产有限公司提供,课题组柯兰香、陈盟基、符丽雅、王守信和王淼娣共同参与完成生物学测定实验,特此谢忱!

## 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,2009:312-313.
- [2] 董正之. 中国动物志,软体动物门,头足纲[M]. 北京:科学出版社,1988:88-95.
- [3] 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.
- [4] 陈奋捷. 闽南-台湾浅滩渔场中国枪乌贼的可持续利用[J]. 渔业信息与战略,2016,31(4):270-277.
- [5] 韩青鹏,陆化杰,陈新军,等. 南海北部海域中国枪乌贼角质颚的形态学分析[J]. 南方水产科学,2017,13(4):122-130.
- [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.
- [7] 戴泉水,卢振彬,洪明进,等. 台湾海峡南部海域游泳生物区系组成和渔业资源现状[J]. 中国水产科学,2004,11(4):360-366.
- [8] GELLER J, MEYER C, PARKER M, et al. Redesign of PCR primers for mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I for marine invertebrates and application in all-taxa biotic surveys[J]. Molecular Ecology Resources, 2013, 13(5):851-861.
- [9] 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.
- [10] SIN Y W, YAU C, CHU K H. Morphological and genetic differentiation of two loliginid squids, *Uroteuthis* (*Photololigo*) *chinensis* and *Uroteuthis* (*Photololigo*) *edulis* (Cephalopoda: Loliginidae), in Asia[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2009, 369(1):22-30.
- [11] 韩青鹏,陆化杰,金岳,等. 南海北部海域中国枪乌贼耳石的形态学分析[J]. 广东海洋大学学报,2017,37(1):1-6.
- [12] JIN Y, LI N, CHEN X, et al. Comparative age and growth of *Uroteuthis chinensis* and *Uroteuthis edulis* from China Seas based on statolith[J]. Aquaculture and Fisheries, 2019, 4(4):166-172.
- [13] JIN Y, LIU B, CHEN X, et al. Morphological beak differences of loliginid squid, *Uroteuthis chinensis* and *Uroteuthis edulis*, in the northern South China Sea[J]. Journal of Oceanology and Limnology. 2018, 36(2):559-571.
- [14] 李建华,张鑫浩,金岳,等. 基于耳石和角质颚微结构的中国枪乌贼年龄与生长比较[J]. 海洋渔业,2018,40(5):513-521.
- [15] BAT N K, VINH C T, FOLKVORD A, et al. Age and Growth of mitre squid *Photololigo chinensis* in the Tokin Gulf of Vietnam based on statolith microstructure[J]. 2009, (47):57-65.
- [16] 金岳,陈新军. 中国近海头足类基础生物学研究进展[J]. 海洋渔业,2017,39(6):696-712.

- [17] SANTOS R A, HAIMOVICI M. Trophic relationships of the long-finned squid *Loligo sanpaulensis* on the southern Brazilian shelf[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1998, 20(1): 81-91.
- [18] 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, (1): 44-46.
- [19] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 367-373.
- [20] 龚金科. 闽南-台湾浅滩渔场台湾枪乌贼的洄游分布和生物学特性的探讨[J]. *福建水产科技*, 1981, (2): 15-26.
- [21] 杨渡远. 汕头(闽南)-台湾浅滩渔场渔业资源及其管理意见[J]. *水产科技*, 1994, (3): 211-213.
- [22] JACKSON G D, HOWARD C J. Growth in tropical Cephalopods: an analysis based on statolith microstructure[J]. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 1992, 49(2): 218-228.
- [23] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 1 版. 北京: 海洋出版社, 2004: 51-52.
- [24] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 35-38.
- [25] KASSAHN K S, DONNELLAN S C, Fowler A J, et al. Molecular and morphological analyses of the cuttlefish *Sepia apama* indicate a complex population structure[J]. *Marine Biology*, 2003, 143(5): 947-962.
- [26] UNDHEIM E A B, NORMAN J A, Thoen H H, et al. Genetic identification of Southern Ocean octopod samples using mtCOI [J]. *Comptes Rendus Biologies*, 2010, 333(5): 395-404.
- [27] 朱凯. 南海中南部鸢乌贼形态学与繁殖生物学研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- [28] 颜云榕, 易木荣, 冯波, 等. 南海鸢乌贼 3 个地理群体形态差异与判别分析[J]. *广东海洋大学学报*, 2015, 35(3): 43-50.
- [29] 李建华, 陈新军, 方舟, 等. 3 个不同海区鸢乌贼渔业生物学的初步比较[J]. *海洋渔业*, 2016, 38(6): 561-569.
- [30] FANG Z, THOMPSON K, JIN Y, et al. Preliminary analysis of beak stable isotopes ( $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$ ) stockvariation of neon flying squid, *Ommastrephes bartramii*, in the North Pacific Ocean[J]. *Fisheries Research*, 2016, 177: 153-163.
- [31] 林静远, 刘必林, 桓梦瑶, 等. 我国几种常见头足类角质碳氮稳定同位素分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(3): 394-401.
- [32] 刘必林, 桓梦瑶, 许巍, 等. 秘鲁外海茎柔鱼眼睛晶体微结构分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(3): 384-393.
- [33] 欧利国, 刘必林. 南海东沙群岛海域圆鳍鱼鱼类矢耳石的形态特征分析[J]. *南方水产科学*, 2019, 15(3): 33-40.
- [34] 金岳. 基于硬组织的中国近海枪乌贼渔业生物学研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- [35] GAO X, ZHENG X, BO Q, et al. Population genetics of the common long-armed octopus *Octopus minor* (Sasaki, 1920) (Cephalopoda: Octopoda) in Chinese waters based on microsatellite analysis [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2016, 66: 129-136.
- [36] João B D L S, LUIS F D S R, MANUEL H, et al. Molecular differentiation of the species of two squid families (Loliginidae and Ommastrephidae) based on a PCR study of the 5S rDNA gene[J]. *Food Control*, 2011, 22(1): 96-98.
- [37] 陈新军, 刘金立, 许强华. 头足类种群鉴定方法研究进展[J]. *上海水产大学学报*, 2006, (2): 228-233.

## Preliminary analysis of morphology of *Uroteuthis chinensis* in Shantou-Taiwan Strait Bank fishing ground

LIU Meng-na<sup>1,3,4</sup>, WANG Xue-hui \*<sup>3,4</sup>, LIU Yu<sup>5</sup>, QIU Yong-song<sup>3</sup>, HE Ying-lin<sup>5</sup>,  
BEI Wei-lie<sup>2</sup>, ZHU Jiang-feng<sup>1</sup>, DU Fei-yan<sup>3,4</sup>

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

2. China Blue Sustainability Institute, Haikou 570208, China;

3. South China Sea Fisheries Research Institute, China Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

4. Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangzhou 510300, China;

5. South China Sea Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

**Abstract:** Morphological study is the basis of marine biology and is of great significance for understanding the composition of fishery stock. By determining the morphological parameters of 940 *Uroteuthis chinensis* samples collected in Shantou-Taiwan Strait Bank fishing ground from July 2018 to June 2019, we studied the group composition and the relationship between mantle length (*ML*) and weight. Principal Component Analysis (PCA) was used to analyze

the ratio of every morphological parameter to determine the main components of the morphological differences. Besides, 4 functions, linear, exponential, power function and Logistic, were used to fit the curves of relationship between mantle length and other morphological parameters which contains the four wrist length ( $AL_1$ ,  $AL_2$ ,  $AL_3$ ,  $AL_4$ ), touch wrist length ( $TL$ ), fin length ( $FL$ ) and fin width ( $FW$ ), and the best-fitting function was selected and applied. The results showed that the maximum, minimum and average mantle length of *Uroteuthis chinensis* are 50mm, 300mm and 111.44mm, respectively. The mantle weight ( $MW$ ) indicators are 7.43g, 301.00g and 53.95g. And the growth coefficient  $b$  of females and males is 2.2696 and 2.0675. Therefore, females grow faster than males while individuals continue to have a growth trend toward miniaturization. PCA result showed that the difference of morphological parameter ratios can be simplified into two principal components. The first principal component mainly explains the differences of all of the wrist length and fin width between females and males. The second principal component mainly demonstrates the difference of fin length. And the second principal component has a more obvious manifestation in the factor visualization map. The best-fitting function of the relationship between mantle length and morphological parameters is the linear function. There are significant differences between females and males in the relationship between mantle length and morphological parameters. The research results can provide more basic data for the fishery biology of *Uroteuthis chinensis* and more understanding about the composition and changes of the resource population for the sustainable use and scientific management of the stocks.

**Key words:** marine biology; *Uroteuthis chinensis*; morphology; curve-fitting; Principal Component Analysis (PCA); Shantou -Taiwan Strait Bank fishing ground

DOI: 10.3969/J. ISSN.2095-4972.2020.04.000

(责任编辑:肖 静)