

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第19期 Vol.32 No.19 2012

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第19期 2012年10月 (半月刊)

## 目 次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估	张常智, 张明海, 姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例	于洋, 崔胜辉, 赵胜男, 等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构	袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等 (5962)
2010年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系	龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颚的形态差异	方舟, 陈新军, 陆化杰, 等 (5986)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系	谭向峰, 杜宁, 葛秀丽, 等 (5998)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征	王莉雯, 卫亚星 (6006)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用	张亮, 黄建国, 韩玉竹, 等 (6016)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测	黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 等 (6023)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响	吕晋慧, 王玄, 冯雁梦, 等 (6033)
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响	顾韩, 牟长城, 张博文, 等 (6044)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类	张荣, 刘彤 (6056)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响	李茜, 刘增文, 米彩红 (6067)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响	秦华, 刘卜榕, 徐秋芳, 等 (6076)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 参与AM真菌与烟草共生过程	刘洪庆, 车永梅, 赵方贵, 等 (6085)
北京山区防护林优势树种分布与环境的关系	邵方丽, 余新晓, 郑江坤, 等 (6092)
旱直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构	熊君, 林辉锋, 李振方, 等 (6100)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系	黄林, 王峰, 周立江, 等 (6110)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响	战丽杰, 郭立月, 宁堂原, 等 (6120)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响	王树芹, 赖娟, 赵秀兰 (6128)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响	郑建初, 张岳芳, 陈留根, 等 (6138)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及CO <sub>2</sub> 排放量的影响	张俊丽, 高明博, 温晓霞, 等 (6147)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例	孙特生, 李波, 张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系	康文星, 姚利辉, 何介南, 等 (6168)
基于FARSITE模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征	吴志伟, 贺红士, 梁宇, 等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用	田耀加, 梁广文, 曾玲, 等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响	卢志兴, 陈又清, 李巧, 等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应	于非, 王晗, 王绍坤, 等 (6203)
<b>专论与综述</b>	
海水养殖生态系统健康综合评价:方法与模式	蒲新明, 傅明珠, 王宗灵, 等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展	潘金华, 江鑫, 赛珊, 等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应	董桂芳, 解缓启, 朱晓鸣, 等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响	江志坚, 黄小平, 张景平 (6242)
生态免疫学研究进展	徐德立, 王德华 (6251)
<b>研究简报</b>	
喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因	宋敏, 彭晚霞, 邹冬生, 等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征	吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等 (6270)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 336 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 35 \* 2012-10



**封面图说:** 岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有13种,其中有大白鹭、中白鹭、白鹭(小白鹭)、黄嘴白鹭等,体羽皆是全白,世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽,状若双辫,肩和胸着生蓑羽,冬季时蓑羽常全部脱落,白鹭虹膜黄色,嘴黑色,脚部黑色,趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边,以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食,好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期3—7月。繁殖时成群,常和其他鹭类在一起,雌雄均参加营巢,次年常到旧巢处重新修葺使用。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201109101331

方舟,陈新军,陆化杰,李建华,刘必林.阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颚的形态差异.生态学报,2012,32(19):5986-5997.

Fang Z, Chen X J, Lu H J, Li J H, Liu B L. Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for *Illex argentinus*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 5986-5997.

## 阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颚的形态差异

方 舟<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2,3,\*</sup>, 陆化杰<sup>1,2,3</sup>, 李建华<sup>1</sup>, 刘必林<sup>1,2,3</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院,上海 201306; 2. 上海海洋大学大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室,上海 201306;

3. 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)

**摘要:**头足类硬组织具有稳定的形态特征、良好的信息储存以及抗腐蚀性等特点。根据 2007 年 2—5 月和 2010 年 1—3 月我国鱿钓船采集的阿根廷滑柔鱼样品,提取出 625 对耳石和 787 对角质颚,测量耳石 10 个形态数据和角质颚 12 个形态数据,通过除以胴长 (Mantle Length, ML) 校正后,对南巴塔哥尼亚群体 (South Patagonic Stock, SPS) 和布宜诺斯艾利斯-巴塔哥尼亚群体 (Bonaerensis-Northpatagonic Stock, BNS) 形态差异进行分析,并建立不同群体的判别函数。结果表明,BNS 群体耳石和角质颚外形参数雌性大于雄性,而 SPS 群体则为雄性大于雌性。均数差异性检验认为,同一群体不同性别的耳石总长 (Total Statolith Length, TSL)、最大宽度 (Maximum Width, MW)、侧区长 (Lateral Dome Length, LDL)、翼区长 (Wing Length, WL)、翼区宽 (Wing Width, WW) 存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 同性别不同群体的 MW、背侧区长 (Dorsal Lateral Length, DLL)、吻侧区长 (Rostrum Lateral Length, RLL) 和 WW 存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。而同一群体不同性别间角质颚的上头盖长 (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)、上侧壁长 (Upper Lateral wall length, ULWL)、下喙长 (Lower Rostrum length, LRL) 存在显著差异 ( $P < 0.01$ ), 同一性别不同群体角质颚的下头盖长 (Lower Hood length, LHL)、下脊突长 (Lower crest length, LCL)、LRL、下喙宽 (Lower Rostrum width, LRW)、下侧壁长 (Lower Lateral wall length, LLWL)、下翼长 (Lower Wing length, LWL) 存在显著差异 ( $P < 0.01$ )。耳石形态参数经主成分分析,认为 BNS 群体雌雄的主成分因子主要集中在 TSL/ML、DLL/ML、RW/ML 和 MW/ML, SPS 群体主要集中于 TSL/ML、RW/ML、WW/ML 和 DLL/ML; 角质颚形态参数经主成分分析,认为 BNS 群体主成分因子主要集中在 UHL/ML、UCL/ML、ULWL/ML 和 LRW/ML, SPS 群体主要集中在 UHL/ML、UCL/ML、ULWL/ML、URL/ML、LWL/ML 和 LRL/ML。利用角质颚和耳石对两群体样本分性别建立了判别函数,判别正确率均高于 60%, 所划分群体在部分形态指标上差异明显,具有一定的可信度。今后应加强样本采集个体大小和时间跨度,以更好的分析其群体变化规律。

**关键词:**阿根廷滑柔鱼;耳石;角质颚;形态差异;群体判别

## Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for *Illex argentinus*

FANG Zhou<sup>1</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2,3,\*</sup>, LU Huajie<sup>1,2,3</sup>, LI Jianghua<sup>1</sup>, LIU Bilin<sup>1,2,3</sup>

1 College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

2 The Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fisheries Resources Exploitation, Shanghai 201306, China

3 The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China

**Abstract:** The Argentinean short-finned squid, *Illex argentinus*, is a common neritic specie with a wide distribution from approximately 22°S to 54°S along the continental shelf and slope waters and around the Falkland/Malvinas Islands in the Southwest Atlantic Ocean. It is a cephalopod species of great commercial importance targeted by international fishing fleets

**基金项目:**国家 863 计划(2012AA092303);国家自然科学基金(NSFC40876090);上海市优秀学科带头人计划(10XD1402000);曙光计划跟踪项目(08GG14);上海市捕捞学重点学科资助(S30702)

**收稿日期:**2011-09-10; **修订日期:**2012-02-01

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xjchen@shou.edu.cn

consisting of both jigging fleets from Asian countries and trawlers from European countries. This species also plays a crucial role in its marine ecosystem in the southwest Atlantic Ocean. The Argentinean short-finned squid had a complicated intrapopulation structure. At least five major intraspecific stocks are defined based on length at maturity, spawning, hatching time and distribution of animals in early life history stages. Its hard structures, including beaks and statoliths, have stable morphological characteristics, and are resistance to corrosion to a certain extent and suitable for life history information storage. They are often used separately in previous studies, and few studies have used both hard structures in studying squid life history. In this study, using specimens of Argentinean short-finned squid collected by the Chinese squid Jigging fishery fleet during February to May in 2007 and from January to March in 2010, we extracted 625 pairs of statolith from statocysts and 787 pairs of beaks from buccal masses. Ten morphological variables were measured for statoliths and 12 morphological variables were measured for beaks. These morphological variable measurements were standardized using mantle length (ML), which were then used to compare differences among the stocks (i.e., South Patagonian Stock, SPS; and Bonaerensis-Northpatagonic Stock, BNS) and between the sexes. This study showed that the morphological variables of statolith and beak for BNS females were larger than those of males. However, for the SPS cohort, male morphological variables tended to be larger than those of females. A Student's t-test showed that for a given stock the statoliths had significant differences between the sexes in the following morphological variables: Total Statolith Length (TSL), Maximum Width (MW), Lateral Dome Length (LDL), Wing Length (WL), and Wing Width (WW) ( $P < 0.05$ ). For a given sex, significant differences between the two stocks were found in MW, Dorsal Lateral Length (DLL), Rostrum Lateral Length (RLL), and Wing Width (WW) ( $P < 0.05$ ). Student's t-test also showed that for a given stock beaks had significant differences between the sexes in Upper Hood length (UHL), Upper Crest length (UCL), Upper Rostrum length (URL), Upper rostrum width (URW), Upper Lateral Wall Length (ULWL), Lower Rostrum length (LRL) ( $P < 0.01$ ). For a given sex, significant differences were found in Lower Hood length (LHL), Lower crest length (LCL), LRL, Lower Rostrum width (LRW), Lower Lateral Wall Length (LLWL), Lower Wing Length (LWL) between the two stocks ( $P < 0.01$ ). The majority of data variability in principal component analysis of statolith could be explained by TSL/ML, DLL/ML, RW/ML, MW/ML for the BNS and by TSL/ML, RW/ML, WW/ML, DLL/ML for the SPS. The majority of data variability in principal component analysis of beaks could be explained by UHL/ML, UCL/ML, ULWL/ML and LRW/ML for the BNS and by UHL/ML, UCL/ML, ULWL/ML, URL/ML, LWL/ML, LRL/ML for the SPS. When statolith and beaks were used to establish the discrimination function, accuracy rates in distinguishing the two cohorts were above 60%. These findings suggested that the cohorts of *Illex argentinus* in the Southwest Atlantic Ocean could be morphologically identified. However, more samples and longer time series of data may be needed for further validation of this approach and evaluation of uncertainty associated with the results.

**Key Words:** *Illex argentinus*; statolith; beak; morphological differences; stock discrimination

阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)为大洋性浅海种,分布在22°—54°S的西南大西洋大陆架和陆坡,其中以35°—52°S资源尤为丰富,是目前世界头足类中最为重要的资源之一<sup>[1-2]</sup>,它在西南大西洋海域食物网中扮演着重要的角色<sup>[3]</sup>。了解阿根廷滑柔鱼的生长模式,对于渔业资源评估和管理是至关重要的<sup>[4]</sup>。柔鱼类的硬组织是记录年龄的优良载体,耳石被称为生命记录的“黑匣子”<sup>[5]</sup>,同时耳石外部形态也可很好地反应其生长过程<sup>[6]</sup>。角质颤是主要的摄食器官,与耳石、内壳等其它硬组织一样,具有稳定的形态特征、良好的信息储存以及抗腐蚀性等特点,同时其外部形态也能较好地反映出其生长情况<sup>[7]</sup>。目前,已有一些学者对阿根廷滑柔鱼耳石微结构<sup>[8-11]</sup>进行了研究,对阿根廷滑柔鱼生长特性也有了一定的了解。但大多数学者仅对阿根廷滑柔鱼耳石或角质颤的外部形态进行单独分析,并未见将两者相结合进行综合研究,并对不同产卵群体进行比较。为此,本文根据2007年和2010年我国鱿钓船在西南大西洋公海作业采集的阿根廷滑柔鱼样本,根据耳石和

角质颤的外部形态对其进行研究,为更好地了解其群体结构、科学开展资源评估和管理提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本采集及耳石、角质颤提取

调查时间为2007年2—6月和2010年1—3月,分别为 $41^{\circ}04'—47^{\circ}30'S$ 、 $48^{\circ}30'—60^{\circ}00'W$ 和 $45^{\circ}17'—47^{\circ}14'S$ 、 $60^{\circ}05'—60^{\circ}47'W$ ,全部属于公海海域。样本采集委托大型鱿鱼钓船“沪渔908轮”进行,船总长74 m,型深6.90m,型宽11.20m,总吨位1273t,主机功率1250kW,日冻结力为120t,共有59台鱿钓机。每一采集站点的样本从渔获物中随机获得,每次约为30尾,获得的样本经冷冻保藏运回实验室。

耳石从头部平衡囊提取,最后得到完整耳石样本625对(雌性332对、雄性293对)。对取出的耳石进行编号并存放于盛有95%乙醇溶液的1.5 mL离心管中,以便清除包裹耳石的软膜和表面的物质。角质颤从头部口器中提取,最后得到完整角质颤样本787对(雌415对、雄372对)。对取出的角质颤进行编号并存放于盛有75%乙醇溶液的50 mL离心管中,以便清除包裹角质颤表面的有机物质。

根据耳石微结构判读的日龄,结合捕捞日期逆算其产卵日期,研究认为<sup>[12]</sup>:2007年阿根廷滑柔鱼样本基本属于冬季产卵群体(6—7月),即布谊诺斯艾利斯-巴塔哥尼亚北部群体(Bonaerensis-Northpatagonic Stock, BNS),而2010年样本则主要为秋季产卵群体(3—5月),即南部巴塔哥尼亚群体(South Patagonic Stock, SPS)。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样本胴长测量

将样本带回实验室解冻后,测定其胴长,即胴部背面中线最前端至最后端的长度。胴长测量用皮尺测定,结果精确至1 mm。

#### 1.2.2 耳石外形测量

首先将右耳石置于Nikon ZOOM645S体式显微镜(物镜 $\times 0.8, \times 1, \times 2, \times 3, \times 4, \times 5$ ;目镜 $\times 10$ ) $\times 50$ 倍,Olympus光学显微镜(物镜 $\times 4, \times 10, \times 40$ ,目镜 $\times 10$ ) $\times 40$ 倍下用CCD拍照,然后使用WT-Tiger3000图像分析软件,先沿水平和垂直2个方向进行校准,之后分别测量以下10个耳石形态参数值:耳石总长(Total Statolith Length, TSL)、最大宽度(Maximum Width, MW)、背区长(Dorsal dome length, DDL)、侧区长(Lateral Dome Length, LDL)、背侧区长(Dorsal Lateral Length, DLL)、吻侧区长(Rostrum Lateral Length, RLL)、吻区游离端长(Rostrum Length, RL)、吻区宽(Rostrum Width, RW)、翼区长(Wing Length, WL)、翼区宽(Wing Width, WW)(图1)。测量结果精确至0.01 μm,测量由2人独立进行,若两者测量的误差超过5%,则重新测量,否则取它们的平均值<sup>[11]</sup>。

#### 1.2.3 角质颤外形测量

将外部清洗干净后,用数显游标卡尺进行测量。首先沿水平和垂直两个方向进行校准,然后对角质颤的上头盖长(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)、上侧壁长(Upper Lateral wall length, ULWL)、上翼长(Upper Wing length, UWL)、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)、下侧壁长(Lower Lateral wall length, LLWL)、下翼长(Lower Wing length, LWL)12项形态参数进行测量(图2),测量结果精确至0.1 mm。

#### 1.2.4 数据处理方法

(1)为校正样品规格差异对形态参数值的影响,将10

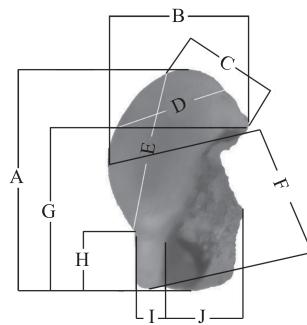


图1 耳石形态参数示意图

Fig. 1 Scheme of morphometric measurements of statoliths

A.耳石总长(TSL);B.最大宽度(MW);C.背区长(DDL);D.背侧区长(DLL);E.侧区长(LDL);F.吻侧区长(RLL);G.翼区长(WL);H.吻区游离端长(RL);I.吻区宽(RW);J.翼区宽(WW)

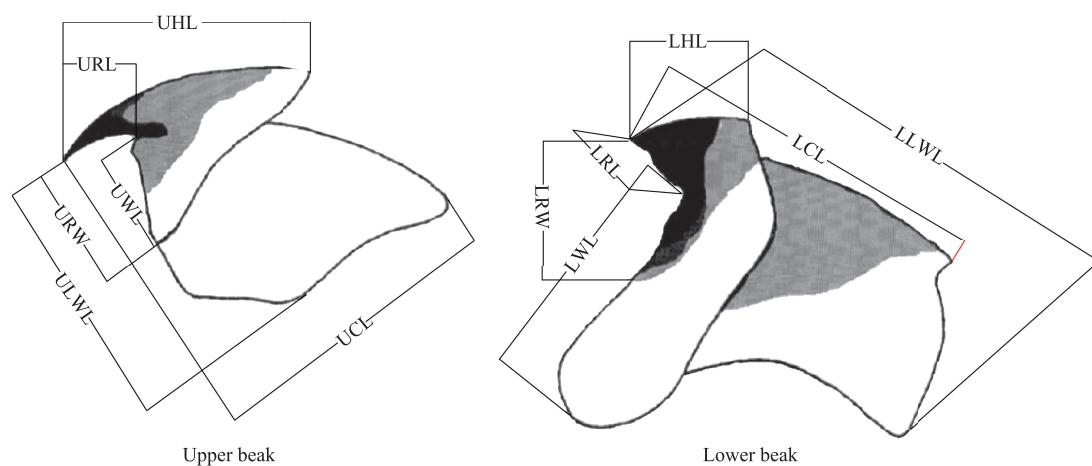


图2 角质颤外部形态测量示意图

Fig. 2 Scheme of morphometric measurement for beaks

UHL: 上头盖长; UCL: 上脊突长; URL: 上喙长; URW: 上喙宽; ULWL: 上侧壁长; UWL: 上翼长; LHL: 下头盖长; LCL: 下脊突长; LRL: 下喙长; LRW: 下喙宽; LLWL: 下侧壁长; LWL: 下翼长; 图左侧为上角质颤, 右侧为下角质颤

个耳石形态参数和 12 个角质颤形态参数均除以胴长, 即  $TSL/ML$ 、 $MW/ML$ 、 $LDL/ML$ 、 $DLL/ML$ 、 $RLL/ML$ 、 $RL/ML$ 、 $RW/ML$ 、 $WL/ML$ 、 $WW/ML$  等 10 个耳石形态比例和  $UHL/ML$ 、 $UCL/ML$ 、 $URL/ML$ 、 $URW/ML$ 、 $ULWL/ML$ 、 $UWL/ML$ 、 $LHL/ML$ 、 $LCL/ML$ 、 $LRL/ML$ 、 $LRW/ML$ 、 $LLWL/ML$ 、 $LWL/ML$  等 12 个角质颤形态比例指标, 以便进行后续各项分析。

(2) 分不同性别, 不同群体对阿根廷滑柔鱼耳石的 10 个外部形态数据以及角质颤的 12 个外部形态数据进行均数差异性( $t$ )检验, 用 Levene's 法进行方差齐性检验, 不满足齐性方差时对数据进行反正弦或者平方根处理<sup>[13]</sup>, 从而分析不同性别和不同群体间在耳石和角质颤在外部形态上的差异<sup>[14]</sup>。

(3) 基于相关系数, 分不同群体及不同性别分别对耳石和角质颤外部形态参数进行主成分分析。经处理后的形态特征参数, 经计算获得相关系数矩阵, 然后求出特征方程  $|R - \lambda I| = 0$  的  $p$  个非负的特征值  $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p \geq 0$  进行因子筛选, 选取前面  $m$  ( $m < p$ ) 个主分量  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$  为第 1、2、…、 $m$  个主分量, 当这  $m$  个主分量的方差和占全部总方差的 60% 以上, 基本上保留了原来绝大部分因子的信息, 即选取  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$  作为主要因子<sup>[15]</sup>。

(4) 利用逐步判别分析法, 结合主成分分析和均数差异性( $t$ )检验的结果, 对不同群体及不同性别的阿根廷滑柔鱼建立群体判别函数, 并计算判别准确率<sup>[16]</sup>。

所有统计分析采用 DPS 7.05 软件进行。

## 2 结果

### 2.1 胴长组成分析

对两个群体的胴长进行统计分析, BNS 群体中雌性个体的最大胴长、最小胴长和平均胴长分别为 346、188 mm 和 240.3 mm, 雄性个体分别为 298、178 mm 和 222.56 mm; SPS 群体中雌性个体最大胴长、最小胴长和平均胴长分别为 261、167 mm 和 218.76 mm, 雄性个体分别为 286、166 mm 和 214.49 mm。胴长组成分析发现(图 3), BNS 群体雌性个体的优势胴长为 220—280 mm, 占总数的 76.63%, 雄性个体为 200—240 mm, 占总数的 83.85%; 而 SPS 群体雌性个体的优势胴长为 200—240 mm, 占总数的 84.84%, 雄性个体为 200—240 mm, 占总数的 81.61%, 两者有一定的差异。

### 2.2 耳石及角质颤外部形态差异

#### (1) 耳石外部形态的差异分析

对两个不同群体及不同性别的耳石外部形态参数统计值见表 1。从表 1 中可看出, 除 RW 外, BNS 群体

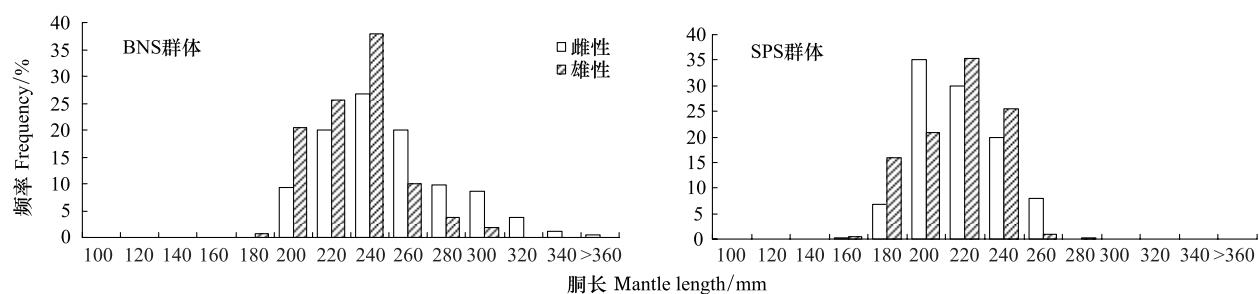


图3 阿根廷滑柔鱼两个不同群体胴长频率分布图

Fig. 3 Distribution of mantle length of two stocks for *Illex argentinus*

的其他耳石形态参数的均值雌性个体要大于雄性,外部形态参数值雌性个体总体上要大于雄性。而 SPS 群体除 WW 外(表 2),其他耳石形态参数的均值雄性个体均大于雌性,外部形态参数值总体上以雄性个体为大。

表1 阿根廷滑柔鱼 BNS 群体耳石形态参数值

Table 1 Morphometric parameters values of statolith for BNS of *Illex argentinus*

形态指标 Morphologic indices	雄性 Male			雌性 Female		
	最大值 Maximum / μm	最小值 Minimum/μm	均值 Average/μm	最大值 Maximum / μm	最小值 Minimum/μm	均值 Average/μm
耳石总长 TSL	1117.96	716.93	961.12	1249.07	772.34	984.42
最大宽度 MW	670.96	342.96	494.89	711.16	341.04	510.86
背区长 DDL	563.60	194.01	300.28	451.19	211.02	302.91
背侧区长 DLL	696.05	420.64	538.79	741.04	381.18	549.47
侧区长 LDL	861.57	448.07	669.96	915.66	489.87	694.45
吻侧区长 RLL	857.00	289.41	645.25	922.33	483.10	671.86
吻区长 RL	435.40	113.55	272.24	383.21	151.48	278.78
吻区宽 RW	194.89	83.52	139.84	228.71	76.15	138.21
翼区长 WL	918.20	281.12	728.87	979.80	528.21	753.09
翼区宽 WW	397.24	107.69	290.18	389.88	192.31	301.86

耳石总长: Total statolith length, TSL; 最大宽度: Maximum width, MW; 背区长: Dorsal dome length, DDL; 背侧区长: Dorsal lateral length, DLL; 侧区长: Lateral Dome length, LDL; 吻侧区长: Rostrum lateral length, RLL; 吻区长: Rostrum lenght, RW; 吻区宽: Rostrum Width, RW; 翼区长: Wing Length, WL; 翼区宽: Wing Width, WW

表2 阿根廷滑柔鱼 SPS 群体耳石形态参数值

Table 2 Morphometric parameters values of statolith for SPS of *Illex argentinus*

形态指标 Morphologic indices	雄性 Male			雌性 Female		
	最大值 Maximum / μm	最小值 Minimum/μm	均值 Average/μm	最大值 Maximum / μm	最小值 Minimum/μm	均值 Average/μm
耳石总长 TSL	1178.86	713.11	996.74	1122.44	742.42	966.62
最大宽度 MW	763.69	453.38	634.60	739.41	463.76	619.03
背区长 DDL	456.76	219.96	351.85	459.92	228.51	340.47
背侧区长 DLL	604.67	287.61	494.99	606.49	295.62	475.29
侧区长 LDL	829.68	542.50	728.22	857.70	547.21	708.62
吻侧区长 RLL	752.17	415.94	584.41	734.38	392.43	580.22
吻区长 RL	388.33	167.99	283.91	373.99	156.52	273.02
吻区宽 RW	192.57	67.36	137.69	194.78	77.72	126.91
翼区长 WL	927.46	520.73	772.52	958.55	181.35	753.55
翼区宽 WW	297.93	101.04	180.28	296.89	85.49	184.54

将同一群体不同性别和不同群体同一性别的耳石外部参数进行均数差异性(*t*)检验,结果表明(如表3),均存在着显著性的差异,且性别间的差异大于群体间的差异。

表3 阿根廷滑柔鱼耳石形态指标均数差异性(*t*)检验 *P* 值Table 3 Values of difference test (*t* test) on means of morphologic indicator for *Illex argentinus* statolith

形态指标 Morphologic indices	群体 Stock		性别 Sex	
	BNS	SPS	雌性 ♀	雄性 ♂
耳石总长 TSL	0.0058 **	0.0004 **	0.0327 *	0.0001 **
最大宽度 MW	0.0143 *	0.0160 *	0.0001 **	0.0001 **
背区长 DDL	0.6531	0.0152 *	0.0001 **	0.0001 **
背侧区长 DLL	0.1594	0.0017 **	0.0001 **	0.0001 **
侧区长 LDL	0.0038 **	0.0019 **	0.0473 *	0.0001 **
吻侧区长 RLL	0.0063 **	0.5510	0.0001 **	0.0001 **
吻区长 RL	0.1815	0.0197 *	0.1988	0.0220 *
吻区宽 RW	0.2449	0.0001 **	0.0001 **	0.2100
翼区长 WL	0.0136 *	0.0387 *	0.9627	0.0001 **
翼区宽 WW	0.0156 *	0.1881	0.0001 **	0.0001 **

\* 表示差异显著(*P*<0.05); \*\* 表示差异极显著(*P*<0.01); BNS: Bonaerensis-Northpatagonic Stock; SPS: South Patagonic Stock

## (2) 角质颤外部形态差异分析

两个不同群体及不同性别对角质颤的外部形态参数统计结果如表4和表5。从表4可看出,BNS群体角质颤所有形态参数的均值雌性个体均大于雄性。而SPS群体除UWL、LHL和LWL外(表5),SPS群体角质颤的其他形态参数均值雄性个体均大于雌性,其角质颤外部形态参数值总体上以雄性个体为较大。

表4 阿根廷滑柔鱼BNS群体角质颤形态参数值

Table 4 Morphometric parameters values of beaks for BNS of *Illex argentinus*

形态指标 Morphologic indices	雄性 Male			雌性 Female		
	最大值 Maximum / $\mu\text{m}$	最小值 Minimum/ $\mu\text{m}$	均值 Average/ $\mu\text{m}$	最大值 Maximum / $\mu\text{m}$	最小值 Minimum/ $\mu\text{m}$	均值 Average/ $\mu\text{m}$
上头盖长 UHL	18.46	9.59	13.44	19.89	9.89	14.27
上脊突长 UCL	24.16	11.64	17.32	24.85	12.19	18.23
上喙长 URL	6.27	2.13	3.86	6.44	2.66	4.12
上喙宽 URW	4.76	1.79	2.98	5.10	2.06	3.14
上侧壁长 ULWL	20.24	10.15	14.11	21.12	9.49	14.90
上翼长 UWL	8.79	2.55	4.14	6.62	3.00	4.28
下头盖长 LHL	6.56	2.87	4.28	6.71	3.24	4.59
下脊突长 LCL	11.86	5.95	8.41	12.55	6.38	8.97
下喙长 LRL	5.26	2.33	3.71	5.77	2.75	3.92
下喙宽 LRW	4.93	2.02	3.49	5.52	2.56	3.68
下侧壁长 LLWL	17.56	9.08	12.28	17.73	9.23	12.90
下翼长 LWL	11.98	5.22	7.79	11.71	5.52	8.27

表5 阿根廷滑柔鱼SPS群体角质颤形态参数值

Table 5 Morphometric parameters values of beaks for SPS of *Illex argentinus*

形态指标 Morphologic indices	雄性 Male			雌性 Female		
	最大值 Maximum / $\mu\text{m}$	最小值 Minimum/ $\mu\text{m}$	均值 Average/ $\mu\text{m}$	最大值 Maximum / $\mu\text{m}$	最小值 Minimum/ $\mu\text{m}$	均值 Average/ $\mu\text{m}$
上头盖长 UHL	14.99	8.67	12.66	15.58	9.11	12.39
上脊突长 UCL	20.07	11.24	16.58	19.52	11.18	15.96
上喙长 URL	5.77	2.20	4.18	5.97	2.45	3.93
上喙宽 URW	4.96	2.04	3.40	5.15	1.82	3.23
上侧壁长 ULWL	17.22	9.94	14.55	17.58	9.89	13.99
上翼长 UWL	7.19	2.34	4.00	5.83	2.15	4.05

续表

形态指标 Morphologic indices	雄性 Male			雌性 Female		
	最大值 Maximum / μm	最小值 Minimum / μm	均值 Average / μm	最大值 Maximum / μm	最小值 Minimum / μm	均值 Average / μm
下头盖长 LHL	5.25	2.69	4.03	5.58	2.73	4.08
下脊突长 LCL	10.02	5.47	8.33	11.36	5.73	8.15
下喙长 LRL	5.24	2.41	3.69	5.42	2.12	3.56
下喙宽 LRW	4.92	1.99	3.59	5.61	1.66	3.29
下侧壁长 LLWL	16.90	6.79	12.08	14.99	8.87	11.72
下翼长 LWL	10.19	4.38	7.36	11.01	4.07	7.41

将同一群体不同性别和不同群体同一性别的角质颚外部形态参数值进行均数差异性(*t*)检验(表6),结果显示均存在显著性的差异,其中BNS群体中雌雄差异大于SPS群体,两个群体的雌性差异大于雄性。

表6 阿根廷滑柔鱼角质颚形态指标均数差异性(*t*)检验 *P* 值Table 6 Values of difference test (*t* test) on means of morphologic indicator for *Illex argentinus* beak

形态指标 Morphologic indices	群体 Stock		性别 Sex	
	BNS	SPS	雌性 ♀	雄性 ♂
上头盖长 UHL	0.5366	0.0488 *	0.0001 **	0.6624
上脊突长 UCL	0.0030 **	0.0002 **	0.0001 **	0.6053
上喙长 URL	0.0001 **	0.0007 **	0.0006 **	0.0001 **
上喙宽 URW	0.0004 **	0.0009 **	0.7934	0.1300
上侧壁长 ULWL	0.0016 **	0.0001 **	0.4069	0.2565
上翼长 UWL	0.0213 *	0.3945	0.0001 **	0.0203 *
下头盖长 LHL	0.0001 **	0.1810	0.0001 **	0.0001 **
下脊突长 LCL	0.0001 **	0.6904	0.0001 **	0.2195
下喙长 LRL	0.0001 **	0.3796	0.0001 **	0.4985
下喙宽 LRW	0.0001 **	0.0029 **	0.0001 **	0.5082
下侧壁长 LLWL	0.0001 **	0.3129	0.0001 **	0.2394
下翼长 LWL	0.0001 **	0.3129	0.0001 **	0.1801

\* 表示差异显著(*P*<0.05); \*\* 表示差异极显著(*P*<0.01)

## 2.3 主成分分析

### (1) 耳石主成分分析

主成分分析认为(表7和表8),第一、第二、第三和第四主成分解释形态参数的累积贡献率均已达到60%。其中,BNS群体雌性为77.585%,雄性为77.492%;SPS群体雌性为81.613%,雄性为81.183%。

表7 阿根廷滑柔鱼BNS群体耳石形态参数比的主成分分析

Table 7 Principal component analysis for the morphometric parameters of BNS cohort of *Illex argentinus* statolith

形态参数值 Morphologic indices	主成分 Principal component							
	因子 1 Factor 1		因子 2 Factor 2		因子 3 Factor 3		因子 4 Factor 4	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
TSL/ML	0.4221 *	0.4504 *	-0.023	0.2001	-0.2021	-0.1858	-0.0368	-0.0382
MW/ML	0.3094	0.3396	0.1197	0.0826	0.5856 *	0.5147 *	0.0501	0.2688
DDL/ML	0.3099	0.2123	-0.1062	0.4945	0.4331	0.4732	0.343	0.0056
DLL/ML	0.2262	0.2404	0.6646 *	0.3099	-0.2084	-0.4339	-0.1703	0.5337
LDL/ML	0.327	0.2762	0.1006	0.0679	0.0412	-0.4177	-0.3114	-0.177
RLL/ML	0.3374	0.3786	-0.4871	-0.1837	0.1488	0.2015	-0.0641	-0.4197
RL/ML	0.3313	0.3473	-0.2181	-0.0946	-0.3645	0.0419	-0.0184	-0.2725
RW/ML	0.2308	-0.1291	0.2183	0.6427 *	-0.2686	-0.0176	0.8131 *	-0.1087
WL/ML	0.3355	0.4129	-0.2682	-0.1116	-0.3493	-0.2309	-0.1669	-0.1131
WW/ML	0.2874	0.2272	0.3431	-0.3738	0.1854	0.1338	-0.2431	0.5788 *
特征值 Eigenvalue	4.8041	3.8271	1.1589	1.7676	1.0202	1.1329	0.7752	1.0215
百分率 Contribution rate/%	48.0415	38.2715	11.5893	17.6765	10.2022	11.3294	7.752	10.2151

\* 为各主成分中负载绝对值最高的指标

从表7可看出,BNS群体雌性个体的第一主成分因子均存在较大的正相关,载荷系数均在0.2以上;雄性个体除RW/ML外,也都存在有较大的正相关。在第一主成分因子中,TSL/ML的载荷系数为最大,均在0.42以上。第二主成分雌性和雄性个体分别与DLL/ML和RW/ML有较大的正相关。第三主成分雌雄个体均与MW/ML有较大的正相关。第四主成分雌性和雄性个体分别与RW/ML和WW/ML有较大的正相关。

从表8可看出,SPS群体雌性个体第一主成分因子除WW/ML外,均存在有较大的正相关,载荷系数均在0.2以上;雄性个体的所有参数都存在有较大的正相关。在第一主成分因子中,TSL/ML的载荷系数为最大,均在0.4以上。第二主成分雌性和雄性个体分别与WW/ML和RW/ML有较大的正相关。第三主成分雌性个体与RL/ML有较大的负相关,雄性个体与DLL/ML有较大的正相关。第四主成分雌性个体与RW/ML有较大的正相关,而雄性个体与DDL/ML有较大的负相关。

表8 阿根廷滑柔鱼SPS群体耳石形态参数比的主成分分析

Table 8 Principal component analysis for the morphometric parameters of SPS of *Illex argentinus* statolith

形态参数值 Morphologic indices	主成分 Principal component							
	因子1 Factor 1		因子2 Factor 2		因子3 Factor 3		因子4 Factor 4	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
TSL/ML	0.4177 *	0.4042 *	-0.0899	-0.138	-0.1201	-0.1012	-0.0134	0.013
MW/ML	0.3577	0.335	-0.0674	0.1155	0.3634	0.3829	-0.0078	-0.2553
DDL/ML	0.2892	0.2611	0.3906	0.4515	-0.0213	-0.1287	-0.1232	-0.6153 *
DLL/ML	0.2963	0.2944	-0.3542	-0.2379	0.4907	0.6114 *	0.1171	0.0612
LDL/ML	0.3659	0.3432	-0.1961	-0.2019	0.2549	0.1506	-0.2983	-0.2813
RLL/ML	0.3489	0.3405	0.0943	-0.0823	-0.3086	-0.4329	-0.2927	0.0625
RL/ML	0.2875	0.3237	-0.0955	-0.1698	-0.5175 *	-0.1356	0.44	0.4003
RW/ML	0.244	0.2153	0.2948	0.5425 *	0.1691	0.2932	0.7309 *	0.5355
WL/ML	0.3101	0.3308	-0.2541	-0.3616	-0.3781	-0.2402	-0.1462	0.0426
WW/ML	0.1792	0.2742	0.7081 *	0.4536	0.1124	-0.284	-0.217	0.143
特征值 Eigenvalue	5.119	5.4217	1.254	1.1233	0.9827	0.8696	0.8056	0.7037
百分率 Contribution rate/%	51.1903	54.2175	12.54	11.2325	9.8268	8.6956	8.056	7.0373

\*为各主成分中负载绝对值最高的指标

## (2) 角质颤主成分分析

主成分分析认为(表9和表10),第一、第二、第三和第四主成分解释形态参数的累积贡献率均已达到60%。其中,BNS群体雌性为69.364%,雄性为60.269%;SPS群体雌性为75.413%,雄性为77.774%。

表9 阿根廷滑柔鱼BNS群体角质颤形态参数比的主成分分析

Table 9 Principal component analysis for the morphometric parameters of BNS of *Illex argentinus* beak

形态参数值 Morphologic indices	主成分 Principal component							
	因子1 Factor 1		因子2 Factor 2		因子3 Factor 3		因子4 Factor 4	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
UHL/ML	0.1718	0.4247 *	-0.0181	0.1728	0.4858 *	-0.1683	0.6251 *	-0.0075
UCL/ML	0.2468	0.1642	0.5785	0.1569	-0.2405	0.5545 *	0.1375	0.4901 *
URL/ML	0.3116	0.3614	-0.2696	-0.1241	-0.2389	0.139	0.1547	-0.3604
URW/ML	0.3126	0.3172	-0.2727	-0.2936	-0.1725	0.2666	0.2254	-0.3811
ULWL/ML	0.2334	0.2456	0.5982 *	0.1186	-0.2548	0.4032	0.1684	0.3508
UWL/ML	0.3214	0.2698	0.0097	0.0942	0.0015	0.1432	-0.065	-0.162
LHL/ML	0.3124	0.2602	0.0544	0.0679	0.2459	-0.4202	-0.3182	0.0559
LCL/ML	0.2466	0.1907	-0.0425	0.2154	0.4153	-0.4039	0.2889	0.3835
LRL/ML	0.3365	0.3709	-0.2952	-0.3566	-0.2632	-0.0787	-0.0715	0.0507
LRW/ML	0.3399 *	0.236	-0.2227	-0.4522	-0.2805	-0.1882	-0.041	0.3146
LLWL/ML	0.2869	0.1035	0.0784	0.5914 *	0.3453	0.0124	-0.475	-0.2832
LWL/ML	0.2958	0.3469	0.1112	0.2977	0.2327	-0.0962	-0.2568	-0.0577
特征值 Eigenvalue	4.7976	3.7761	1.4139	1.4681	1.2191	1.042	0.8931	0.9461
百分率 Contribution rate/%	39.9803	31.4673	11.7827	12.2339	10.1588	8.683	7.4424	7.8843

\*为各主成分中负载绝对值最高的指标

从表9可看出,第一主成分因子中雌性和雄性个体的最大载荷系数分别为LRW/ML和UHL/ML,分别为0.3399和0.4247。第二主成分雌性和雄性个体分别与ULWL/ML和LLWL/ML有较大的正相关。第三主成分雌雄个体分别与UHL/ML和UCL/ML有较大的正相关。第四主成分雌雄个体分别与UHL/ML和UCL/ML有较大的正相关。

从表10可看出,第一主成分因子中雌性和雄性个体的最大载荷系数分别为UHL/ML和UCL/ML,分别为0.3698和0.3897。第二主成分雌性个体与LWL/ML有较大的负相关,雄性与LRL/ML有较大的正相关。第三主成分雌雄个体分别与ULWL/ML和URL/ML有较大的正相关。第四主成分雌雄个体分别与URL/ML和UWL/ML有较大的正相关。

表10 阿根廷滑柔鱼SPS群体角质颤形态参数比的主成分分析

Table 10 Principal components analysis for the morphometric variables of SPS of *Illex argentinus* bleak

形态参数值 Morphologic indices	主成分 Principal component							
	因子1 Factor 1		因子2 Factor 2		因子3 Factor 3		因子4 Factor 4	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
UHL/ML	0.3698*	0.3785	-0.1691	-0.129	-0.2404	0.0115	0.0041	-0.0881
UCL/ML	0.3215	0.3897*	-0.1543	-0.1117	0.5227	-0.1217	-0.1036	-0.1689
URL/ML	0.2023	0.1408	0.2057	0.1464	0.0806	0.8345*	0.8211*	-0.2315
URW/ML	0.2526	0.2411	0.3116	0.3656	0.1563	0.2166	0.2325	-0.1613
ULWL/ML	0.2843	0.3879	-0.1918	-0.1255	0.6064*	-0.0683	-0.1858	-0.1453
UWL/ML	0.2828	0.2053	-0.1762	-0.0829	0.0066	0.283	0.2041	0.8253*
LHL/ML	0.3219	0.3025	-0.1328	-0.0144	-0.3658	-0.0866	-0.1319	0.3688
LCL/ML	0.3446	0.3568	0.0514	-0.0091	-0.0632	-0.2066	-0.2525	-0.0695
LRL/ML	0.2695	0.1396	0.4454	0.545*	-0.1097	-0.052	-0.1183	0.1473
LRW/ML	0.2154	0.1952	0.491	0.5261	-0.0245	-0.1744	-0.2392	-0.0442
LLWL/ML	0.3681	0.3472	-0.0968	-0.0963	-0.3127	-0.1677	-0.0237	-0.051
LWL/ML	0.1323	0.1931	-0.5208*	-0.458	-0.1488	0.2133	0.1786	-0.1212
特征值 Eigenvalue	4.7823	5.2688	2.3858	2.1887	1.0283	1.0238	0.8531	0.8516
百分率 Contribution rate/%	39.8523	43.9066	19.8819	18.2391	8.5695	8.5315	7.1092	7.0967

\*为各主成分中负载绝对值最高的指标

## 2.4 判别函数的建立

逐步判别分析表明,BNS群体雌性和雄性个体在TSL/ML,DDL/ML和RW/ML上的贡献显著( $P<0.01$ ),SPS群体雌性和雄性个体在TSL/ML,FDL/ML,DLL/ML,RLL/ML,RW/ML,WW/ML上贡献显著( $P<0.01$ );BNS群体雌性和雄性个体在UHL/ML,UWL/ML上的贡献显著( $P<0.01$ ),SPS群体雌性和雄性个体在ULWL/ML,UWL/ML,LHL/ML,LRL/ML,LRW/ML,LLWL/ML上贡献显著( $P<0.01$ )。综合均数差异显著性( $t$ )检验和主成分分析结果,BNS群体分别采用耳石形态参数TSL/ML,DDL/ML,RW/ML和角质颤形态参数UHL/ML,UWL/ML来分别建立群体判别函数,其结果为:

$$\text{BNS群体雌性 } Y=22.5358 \times \text{TSL/ML} + 15.5101 \times \text{DLL/ML} + 4.8098 \times \text{RW/ML} - 65.8516$$

$$\text{BNS群体雄性 } Y=23.5974 \times \text{TSL/ML} + 16.4988 \times \text{DLL/ML} + 6.1468 \times \text{RW/ML} - 73.528$$

(以上两式  $F_{\text{临界}} = 1.74$ ,  $F = 11.8085$ ,  $P < 0.01$ )

$$\text{BNS群体雌性 } Y=633.0083 \times \text{UHL/ML} + 4680.382 \times \text{UWL/ML} - 60.0221$$

$$\text{BNS群体雄性 } Y=664.961 \times \text{UHL/ML} + 4869.2 \times \text{UWL/ML} - 65.3491$$

(以上两式  $F_{\text{临界}} = 1.68$ ,  $F = 12.224$ ,  $P < 0.01$ )

SPS群体分别采用耳石形态参数DLL/ML,RW/ML和角质颤形态参数ULWL/ML,LHL/ML,LRW/ML分别建立群体判别函数,其结果为:

$$\text{SPS群体雌性 } Y=33.7035 \times \text{DLL/ML} + 25.042 \times \text{RW/ML} - 44.0829$$

SPS 群体雄性  $Y=35.4171 \times DLL/ML + 28.9505 \times RW/ML - 50.3365$

(以上两式  $F_{\text{临界}} = 1.96$ ,  $F = 18.3285$ ,  $P < 0.01$ )

SPS 群体雌性  $Y=913.1883 \times ULWL/ML + 2950.499 \times LHL/ML + 915.532 \times LRW/ML - 62.7629$

SPS 群体雄性  $Y=998.9747 \times ULWL/ML + 2761.11 \times LHL/ML + 1069.709 \times LRW/ML - 67.2086$

(以上两式  $F_{\text{临界}} = 2.10$ ,  $F = 15.2603$ ,  $P < 0.01$ )

判别正确率在 42%—76% 之间(见表 11),对 BNS 群体的雄性个体来讲,采用耳石外部形态参数进行群体判别比较合适,为其角质颤形态系数的判别正确率只有 42.93% (表 11)。其他基本上稳定在 55% 以上(表 11)。

表 11 阿根廷滑柔鱼判别函数的分类结果

Table 11 Classification results on *Illex argentinus* by discriminant functions

内容 Content		BNS	预测群体 Predict stock		合计 Total	正确率 Accuracy rate/%
			雌性 female	雄性 male		
耳石 Statolith	雌性 female	BNS	110	53	163	67.48
		SPS	128	41	169	75.74
	雄性 male	BNS	63	81	144	56.25
		SPS	66	82	148	55.41
角质颤 Beak	雌性 female	BNS	178	57	235	75.74
		SPS	115	55	170	67.65
	雄性 male	BNS	113	85	198	42.93
		SPS	54	111	165	67.27

### 3 分析与讨论

本研究认为,BNS 群体雌性个体的耳石外部形态参数平均值较雄性个体大,而 SPS 群体耳石外部形态参数平均值则雌性个体比雄性小(表 1 和表 2)。性别之间耳石本身的生长差异与阿根廷滑柔鱼的雌雄生长差异有密切关系,其个体生长上的差异也可能影响到耳石的同步性生长<sup>[17]</sup>。而群体间的生长差异可能是由于不同群体、不同产卵时期以及其栖息环境差异等所造成的。角质颤在不同群体间、不同性别间的差异与耳石所体现出的变化是一致的,即 BNS 群体雌性个体角质颤形态参数均值较雄性个体大,而 SPS 群体均值雌性比雄性小(表 3、表 4),这说明角质颤和耳石的生长具有同步性,并且与个体本身生长有着密切的关系。

研究发现,同一群体雌雄个体间耳石形态值在 TSL、MW、LDL、WL、WW 上表现出显著的差异,在同一性别不同群体间在 MW、DDL、DLL、RLL、WW 上也表现出显著的差异;而角质颤的上颤和下颤形态参数值差异较大,BNS 群体不同性别间上颤除 UHL 外,差异均显著( $P < 0.05$ ),下颤的所有形态值更是达到了极显著( $P < 0.01$ ),SPS 群体不同性别间上颤除 UWL 外,其它形态差异均为显著( $P < 0.05$ ),而下颤仅有 LRW 达到差异极显著( $P < 0.01$ ),可能是由于不同群体的差异所造成的。Roper 等<sup>[18]</sup>认为,角质颤等硬组织是主要的形态变量,和精囊以及其他器官数目的变化相结合,可很好地来鉴别滑柔鱼属的种类。

从主成分分析来看,无论群体及性别,耳石第一主成分因子均为 TSL/ML,可见 TSL 可以用来描述耳石的长度特征;BNS 群体雌雄的主成分因子主要集中在 TSL/ML、DLL/ML、RW/ML 和 MW/ML,SPS 群体雌性的主成分因子主要集中在 TSL/ML、RW/ML、WW/ML 和 DDL/ML。这与马金等<sup>[19]</sup>(认为耳石总长可表征柔鱼长度特征,吻区宽表征宽度特征)和刘必林等<sup>[20]</sup>(认为的莺鸟贼吻区特征变化明显)结果相似。而在角质颤的主成分分析中,则没有表现出相应的规律性。角质颤主成分分析中,BNS 群体雌雄性的主成分因子主要集中在 UHL/ML、UCL/ML、ULWL/ML 和 LRW/ML,SPS 群体雌雄性的主成分因子主要集中在 UHL/ML、UCL/ML、ULWL/ML、URL/ML、LWL/ML 和 LRL/ML。与耳石相比,角质颤的第一主成分因子所占的比例相对较小,两个群体都在 40% 以下,这说明耳石外形变化相对于角质颤来说要更大,能更好地反映出个体大小所造成的变化。

本研究利用角质颤和耳石外部形态参数所建立的判别函数,其判别准确率差异不大,基本上判别正确率在60%以上。尽管群体判别正确率不是很高,但是均数差异( $t$ )检验的结论却也说明了所划分群体在部分形态指标上差异明显,具有一定的可信度。Martínez等<sup>[21]</sup>认为,利用UHL和UWL两项指标可以很好地对滑柔鱼属的3个种类作出判别,对阿根廷滑柔鱼更是达到100%的判别;而Villanueva等<sup>[22]</sup>认为,利用UCL和LCL可以很好对褶柔鱼属进行群体间的判别。李思亮等<sup>[23]</sup>利用胴长、腕长等12个形态指标,采用形态分析法对150°—165°E海域柔鱼2个群体进行了划分,并且建立了判别函数。这说明耳石和角质颤外部形态参数在不同种群、不同性别间是存在一定差异的。

本文基于前人研究结果,利用耳石和角质颤的外部形态参数,对2007和2010年西南大西洋公海捕捞的阿根廷滑柔鱼不同群体进行了差异性比较分析,掌握了其群体间的变化差异。由于样本来源于商业鱿钓船,渔具选择性对阿根廷滑柔鱼样本的采集可能会产生影响,在今后的研究中应更多的采集一些个体较大和较小的样本,同时,积累长时间序列的样本,结合海洋环境年间变化、季节变化等因素,全面比较其耳石、角质颤等硬组织的外部形态差异及其变化,探讨群体、性别、海洋环境等因子对外部形态变化的影响。

#### References:

- [1] Chen X J, Liu B L, Chen Y. A review of the development of Chinese distant-water squid jigging fisheries. *Fisheries Research*, 2008, 89(3): 211-221.
- [2] Wang Y G, Chen X J. The Resource and Biology of Economic Oceanic Squid in the World. Beijing: Ocean Press, 2005: 58-264.
- [3] Dos Santos R A, Haimovici M. The Argentine short-finned squid *Illex argentinus* in the food webs of southern Brazil. *Sarsia*, 2000, 85: 49-60.
- [4] Hatanaka H. Growth and life span of short-finned squid *Illex argentinus* in the waters off Argentina. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1986, 52(1): 11-17.
- [5] Arkhipkin A I. Statoliths as ‘black boxes’ (life recorders) in squid. *Marine and Freshwater Research*, 2005, 56(5): 573-583.
- [6] Clarke M R. The cephalopod statolith. An introduction to its form. *Journal of the Marine Biology Association of the United Kingdom*, 1978, 58(1): 701-712.
- [7] Clarke M R. The identification of cephalopod “beaks” and the relationship between beak size and total body weight. *Bulletin of the British Museum of Natural History, Zoology*, 1962, 8(10): 419-480.
- [8] Arkhipkin A I. Age, growth, stock structure and migratory rate of pre-spawning short-finned squid *Illex argentinus* based on statolith ageing investigations. *Fishery Research*, 1993, 16(4): 313-338.
- [9] Lu H J, Chen X J, Liu B L. Statolith morphology of the *Illex argentinus* in Southwest Atlantic Ocean. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(3): 338-344.
- [10] Uozumi Y, Shiba C. Growth and age composition of *Illex argentinus* (Cephalopoda: Oegopsida) based on daily increment counts in statolith // Okutani T, O'Dor R K, Kubodera T, eds. Recent Advances in Cephalopod Fish Biology. Tokyo: Tokai University Press, 1993: 591-605.
- [11] Lu H J, Chen X J, Liu B L. Effects of individual difference on statolith morphology of *Illex argentinus* in the southwest Atlantic Ocean. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(2): 247-253.
- [12] Lu H J, Chen X J. Age, growth and population structure of *Illex argentinus* based on statolith microstructure in Southwest Atlantic Ocean. *Journal of Fisheries of China*, 2012, DOI: 10.3724/SP.J.1231.2012.27654.
- [13] Guan Y H. Statistics. Beijing: Higher Education Press, 2005: 178-182.
- [14] Du R Q. Biological Statistics. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2003: 70-81.
- [15] Tang Q Y, Feng M G. DPS Data Processing System-Experimental Design, Statistical Analysis and Modeling. Beijing: Science Press, 2006: 635-642.
- [16] Xu K X. Biological Mathematics. Beijing: Science Press, 1999: 40-70.
- [17] Rodhouse P G, Hatfield E M C. Dynamics of growth and maturation in the Cephalopod *Illex argentinus* de Castellanos, 1960 (Teuthoidea: Ommastrephidae). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 1990, 329(1254): 229-241.
- [18] Roper C F E, Mangold K M. Systematic and distributional relationships of *Illex coindetii* to the genus *Illex* (Cephalopoda: Ommastrephidae) // Rodhouse P G, Dawe E G, O'Dor R K, eds. Squid Recruitment Dynamics. The Genus *Illex* As a Model, the Commercial *Illex* Species and Influences on Variability. FAO: Fisheries Technical Paper, 1998, 376: 13-26.
- [19] Ma J, Chen X J, Liu B L, Li S L, Cao J, Zhang G W. Morphologic features of statolith for *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific

- Ocean. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(2) : 215-220.
- [20] Liu B L, Chen X J, Zhong J S. Age, growth and population structure of squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in Northwest Indian Ocean by statolith microstructure. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(3) : 206-212.
- [21] 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. Marine Biology, 2002, 141(1) : 131-143.
- [22] Villanueva R, Sanchez P. Some data on the biology of the squid *Todarodes angolensis* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in Namibian waters. Collect Science Paper ICSEAF, 1989, 1 : 17-22.
- [23] Li S L, Chen X J, Liu B L, Ma J, Cao J, Zhang G W. Morphological analysis on population structure of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(3) : 43-48.

**参考文献:**

- [ 2 ] 王尧耕, 陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业. 北京: 海洋出版社, 2005 : 58-264.
- [ 9 ] 陆化杰, 陈新军, 刘必林. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼耳石外部形态特性分析. 上海海洋大学学报, 2009, 18(3) : 338-344.
- [11] 陆化杰, 陈新军, 刘必林. 个体差异对西南大西洋阿根廷滑柔鱼耳石形态的影响. 水产学报, 2011, 35(2) : 247-253.
- [12] 陆化杰, 陈新军, 利用耳石微结构研究西南大西洋阿根廷滑柔鱼的日龄、生长与种群结构. 水产学报, 2012, DOI: 10.3724/SP.J.1231. 2012.27654.
- [13] 管于华. 统计学. 北京: 高等教育出版, 2005 : 178-182.
- [14] 杜荣騤. 生物统计学 (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2003 : 70-81.
- [15] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统-实验设计、统计分析及模型优化. 北京: 科学出版社, 2006 : 635-642.
- [15] 徐克学. 生物数学. 北京: 科学出版社, 1999 : 40-70.
- [19] 马金, 陈新军, 刘必林, 李思亮, 曹杰, 张广文. 西北太平洋柔鱼耳石形态特征分析. 中国海洋大学学报, 2009, 39(2) : 215-220.
- [20] 刘必林, 陈新军, 钟俊生. 采用耳石研究印度洋西北海域鳆乌贼的年龄、生长和种群结构. 大连水产学院学报, 2006, 24(3) : 206-212.
- [21] 李思亮, 陈新军, 刘必林, 马金, 曹杰, 张广文. 基于形态法的西北太平洋柔鱼种群结构研究. 中国海洋大学学报, 2010, 40(3) : 43-48.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32 ,No. 19 October ,2012( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China .....	ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen .....	YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer .....	YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010 .....	GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for <i>Illex argentinus</i> .....	FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta .....	TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region .....	WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)
Mobilization of potassium from Soils by <i>rhizobium phaseoli</i> .....	ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil .....	HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of <i>Trollius chinensis</i> Bunge .....	LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)
Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from hassock and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China .....	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert .....	ZHANG Rong, LIU Tong (6056)
Effects of mixing leaf litter from <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and <i>Larix principis-rupprechtii</i> with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau .....	LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under <i>Phyllostachys praecox</i> stands .....	QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants .....	LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area .....	SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field .....	XIONG Jun, LIN Hufeng, LI Zhenfang, et al (6100)
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties .....	HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution .....	ZHAN Lijie, GUO Liyue, NING Tangyuan, et al (6120)
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers .....	WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system .....	ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO <sub>2</sub> emission in dry-land of maize .....	ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County .....	SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)
The relationship between energy consumption and carbon emission with economic growth in Liaoning Province .....	KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model .....	WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats .....	TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)
Effect of population of <i>Kerria yunnanensis</i> on diversity of ground-dwelling ant .....	LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)
Response of <i>Parnassius apollo</i> population and vertical distribution to climate warming .....	YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)
<b>Review and Monograph</b>	
Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method .....	PU Xinning, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review .....	PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish .....	DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses .....	JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)
Advances in ecological immunology .....	XU Deli, WANG Dehua (6251)
<b>Scientific Note</b>	
The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills .....	SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)
Characteristics of seed rain of <i>Haloxylon ammodendron</i> in southeastern edge of Junggar Basin .....	LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 19 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 19 (October, 2012)

编 辑 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜  
主 管 中国科学技术协会  
主 办 中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:1000717

印 刷 北京北林印刷厂  
行 销 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局  
国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

广 告 经 营 京海工商广字第 8013 号  
许 可 证

Edited by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel: (010) 62941099  
www.ecologica.cn  
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief FENG Zong-Wei  
Supervised by China Association for Science and Technology  
Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010) 64034563  
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933  
19  
9 771000093125