

文章编号: 1674 - 5566(2011)03 - 0417 - 07

哥斯达黎加外海茎柔鱼个体与耳石间生长关系研究

贾涛¹, 陈新军^{1,2,3}, 李纲^{1,2,3}, 陆化杰¹, 刘必林^{1,2,3}, 马金¹

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 大洋生物资源可持续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: 根据2009年7-8月哥斯达黎加外海采集的茎柔鱼样本, 利用多种统计方法分析了茎柔鱼耳石与个体生长之间的关系。研究认为, 耳石各形态参数与胴长(ML)关系显著($P < 0.01$), 其中背侧区间长(DDL)、耳石总长(TSL)与其相关性最大。耳石生长存在两个阶段, 当ML小于26~30 cm时, 其耳石生长迅速, 之后耳石生长减慢。在生长过程中, 耳石背区长(DL)、吻区内长(RIL)、DDL生长快于TSL, 背侧区夹角(DDA)、吻侧区夹角(RDA)、吻区夹角(RA)则随着ML的增大出现减小趋势, 侧区、吻区形态变化显著($P < 0.05$)。耳石形态先于生长速度发生显著性变化, 同时各形态参量发生显著性变化时间不同, 但形态特征变化主要发生在ML为23~29 cm个体中, 之后趋于稳定。耳石生长及形态显著性变化与茎柔鱼栖息水层改变相关, 茎柔鱼与中上层头足类耳石特征相符。

研究亮点: 分析了茎柔鱼耳石与个体生长之间的关系。耳石各形态变化与胴长关系显著。当胴长小于26~30 cm时, 其耳石生长迅速, 之后减慢。同时推测耳石生长及形态的显著性变化与其栖息水层改变密切相关。

关键词: 茎柔鱼; 耳石; 个体生长; 哥斯达黎加外海
中图分类号: S 931.1
文献标志码: A

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)为大洋性浅海种, 资源量丰富^[1], 广泛分布于东太平洋的加利福尼亚(37°N)到智利(47°S)海域^[1-3]。20世纪90年代以来, 茎柔鱼资源得到了大规模的开发和利用, 年最高产量近 80×10^4 t^[2]。耳石作为头足类生态信息的良好载体^[4], 通过对其微结构和微化学的研究, 可以有效推测头足类资源量分布、洄游路线^[5-6]、产卵场等信息, 并重建头足类生活史^[7]。其中, 耳石形态特征是耳石微结构研究的重要内容^[4-7], 其形态特征的改变往往与栖息环境的变迁相对应^[8], 同一种类之间耳石形态特征也存在差异^[9]。ARGÜELLES等^[10]对秘鲁海域、MARKAIDA等^[11]对加利福尼亚海域茎柔鱼耳石结构进行了相关研究, 但哥斯达黎加海域茎柔鱼耳石与个体生长的关系尚未有报道。本文根据2009年7-8月哥斯达黎加外海采集的茎柔鱼样本, 利用多种统计方法分析了茎柔鱼耳石与个体

生长之间的关系, 探究耳石形态变化规律及其与栖息环境间关系, 为茎柔鱼种群鉴定、年龄生长等渔业生物学研究提供支持。

1 材料与方法

1.1 材料来源

茎柔鱼样本采自于2009年7-8月哥斯达黎加外海, 调查海域为10°30'N~4°30'S、100°W~91°W, 共85个站点。样本采集时, 从每个站点渔获中随机抽取柔鱼20尾(不足20尾则取所有样本)。

1.2 研究方法

1.2.1 耳石样本收集

共取得183尾茎柔鱼耳石样本, 其胴长(Mantel length, ML)范围为20.5~42.9 cm。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, 以便清除软膜和表面的

收稿日期: 2010-04-14 修回日期: 2011-01-15

基金项目: 上海市优秀学科带头人计划(10XD1402000); 国家自然科学基金(NSFC40876090); 上海市捕捞学重点学科(S30702)

作者简介: 贾涛(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail: winjiatao@163.com

通讯作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

有机物质。

1.2.2 耳石形态测量

共筛选出完整耳石样本 128 对(雌 103 对、雄 25 对)。测量时,将耳石最大长度沿垂直方向进行校准,然后通过边框工具将耳石整体置于边框中,获得 4 个切点(图 1b)。其次,测量耳石总长(Total statolith length, TSL)、背区长(Dorsal length, DL)、侧区长(Lateral dome length, LDL)、吻区外长(Rostrum outside length, ROL)、吻区内长(Rostrum inside length, RIL)、吻区基线长(Rostrum baseline length, RBL)、翼区长(Wing length, WL)、背侧区间长(Ventral dorsal dome length, DDL)、吻侧区间长(Rostrum lateral dome length, RDL)、最大宽度(Maximum statolith width, MSW)、背侧区夹角(Ventral dorsal dome angle, DDA)、吻侧区夹角(Rostrum lateral dome angle, RDA)、吻区夹角(Rostrum angle, RA)等 13 项形态参数(图 1b),精确至 $0.1 \mu\text{m}$ 。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。

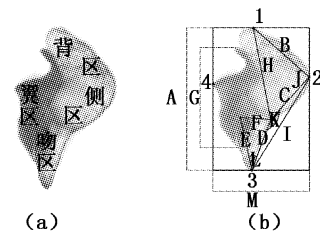


图 1 左耳石各区分布及形态参数示意图

Fig.1 Schema of left statolith domes and morphologic indices

1 号点为垂向最高点;2 号点为背侧区分界点;3 号点为垂向最低点;4 号点为翼区最外侧点;A 至 M 分别代表 TSL、DL、LDL、ROL、RIL、RBL、WL、DDL、RDL、DDA、RDA、RA 和 MSW。

1.2.3 生物学测定

测定 ML,其精度为 0.1 cm ,同时目测其性别、性腺成熟度等。根据 Ehrhardt^[12]将性成熟度划分 5 期(表 1)。由于本次样品中雄性仅有 III、IV 期个体,所以选取雌性样本分析(表 1)。

表 1 茎柔鱼样本生物学数据

Tab.1 The biology statistics of jumbo flying squid samples

性成熟度	数量		胴长/cm	
	雄性	雌性	平均值	标准差
I 期	0	5	26.5	3.1
II 期	0	27	27.9	2.3
III 期	5	50	31.5	4.2
IV 期	20	21	32.2	4.0
V 期	0	0	0	0

1.3 数据处理

研究表明,左右耳石形态没有显著差异($P > 0.05$),因此本文中利用左耳石进行分析。由于 ML 与耳石形态参数属于不同数量级,同时耳石形态包括长度和角度等不同量纲数据,因此需要对其数据进行标准化处理。其公式为:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为原始数据; \bar{x}_j 为样本平均值; S_j 为样本标准差; X_{ij} 为标准化数据。通过标准化处理,每列数据的平均值为 0,方差为 1。

采用典型相关分析理论,分析外部形态参数与耳石形态参数整体及各部分间相关关系,探究个体与耳石间生长关系。

采用 DPS 软件拟合相关变量线性模型,运用

预测区间及标准残差筛选最佳模型。通过模型求导函数分析耳石生长速度变化。

采用向完全随机方差分析、多重比较(LSD 法)理论进行各组间显著性检验及差异性比较,分析不同生长阶段耳石生长变化,同时对模型拟合结果进行验证。

2 结果

2.1 ML 与耳石各形态的关系

2.1.1 ML 对耳石生长影响

ML 与耳石各形态参数均存在正相关(表 2),不同 ML 组耳石各形态参数整体变化极显著($P < 0.01$)。其中相关系数最高的为 DDL、TSL,均大于 0.7。选取这两个参数与 ML 进行线性回归分析。

表 2 茎柔鱼胴长与耳石形态参数典型相关分析及显著性检验

Tab. 2 The correlation analysis and significance test between ML and statolith morphology parameters of *D. gigas*

参数	MW	TSL	DL	LDL	ROL	RIL	WL	RBL	DDL	RDL
相关系数	0.67	0.78	0.60	0.58	0.39	0.54	0.53	0.33	0.79	0.61
检验值 <i>P</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ML(用 L_{ML} 表示)与 TSL(用 L_{TSL} 表示)的关系式为(图 2a):

$$L_{TSL} = 2088.64 / [1 + \text{EXP}(2.2 - 0.14 \times L_{ML})]$$

$$(R^2 = 0.63, P < 0.01) \quad (2)$$

随着 ML 生长,耳石 TSL 不断变大。通过导函数分析, TSL 生长存在两个阶段, ML 小于 16 cm 时, TSL 生长速度不断增加。ML 大于 16 cm 后,其生长速度开始下降, ML 达到 26 cm 以后 TSL 下降速度加快; ML 大于 88 cm 后,其 TSL 生长趋于稳定。

方差分析表明, TSL 在不同 ML 组整体变化极显著(卡方值 100.11, $P < 0.01$)。在 ML 小于 29 cm 个体中(表 3), ML 为 20 ~ 23 cm、23 ~ 26 cm 及 26 ~ 29 cm 个体间其 TSL 变化极显著($P < 0.01$)。在 ML 大于 29 cm 的个体中, ML 为 26 ~

29 cm 与 29 ~ 32 cm、32 ~ 35 cm 与 35 ~ 38 cm 个体间变化不显著($P > 0.05$), 而 ML 为 29 ~ 32 cm 与 32 ~ 35 cm、35 ~ 38 cm 与 38 ~ 42 cm 个体间变化极显著($P < 0.01$)。

ML(用 L_{ML} 表示)与 DDL(用 L_{DDL} 表示)的关系式为(图 2b):

$$L_{DDL} = 73.1944 \times L_{ML}^{0.55}$$

$$(R^2 = 0.63, P < 0.01) \quad (3)$$

DDL 在个体生长过程中持续生长,但生长速度不断降低。当 ML 小于 30 cm 时,生长速度下降较快,此后下降缓慢,并趋于稳定。DDL 在不同 ML 组中整体变化同样极显著(卡方值 96.44, $P < 0.01$),各 ML 组间生长模式与 TSL 生长模式相同(表 3)。

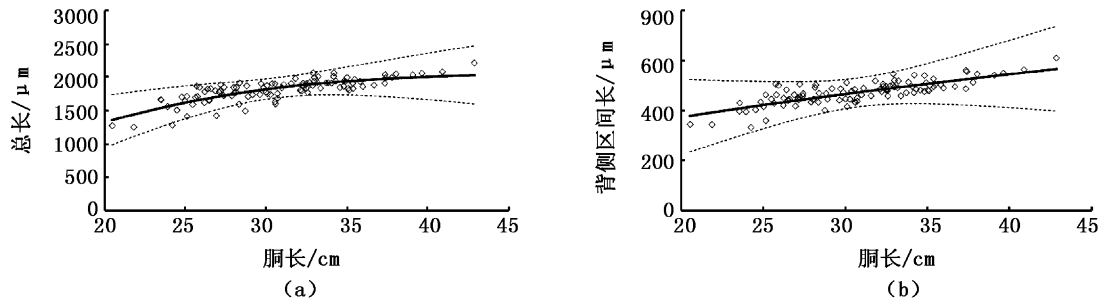


图 2 茎柔鱼胴长与耳石总长、背侧区间长的关系

Fig. 2 The fitting equation about ML and TSL, DDL of *D. gigas*

(a) 胴长与耳石总长拟合方程; (b) 胴长与背侧区间长拟合方程; 实线表示拟合曲线; 圆圈表示实测数据; 虚线表示预测区间。

表 3 不同胴长组间耳石总长和背侧区间长的多重比较分析

Tab. 3 The multiple comparisons of TSL and DDL among different ML groups

	胴长/cm	23 ~ 26	26 ~ 29	29 ~ 32	32 ~ 35	35 ~ 38	38 ~ 42
耳石总长/μm	20 ~ 23	21.12 **	38.04 **	46.30 **	68.54 **	65.62 **	85.53 **
	23 ~ 26		10.04 **	20.10 **	61.97 **	48.37 **	66.96 **
	26 ~ 29			2.92	29.64 **	21.95 **	42.32 **
	29 ~ 32				10.69 **	8.82 **	27.80 **
	32 ~ 35					0.06	11.78 **
	35 ~ 38						9.07 **
背侧区间长/μm	20 ~ 23	13.41 **	24.60 **	29.12 **	48.16 **	51.81 **	76.20 **
	23 ~ 26		6.88 *	12.38 **	49.52 **	49.10 **	75.77 **
	26 ~ 29			1.42	26.18 **	27.83 **	55.22 **
	29 ~ 32				12.22 **	15.76 **	42.13 **
	32 ~ 35					1.27	20.74 **
	35 ~ 38						12.18 **

注: * 表示显著性差异; ** 表示极显著性差异。

2.1.2 ML 对耳石形态影响

耳石各形态参数的生长存在差异,极不均匀(表4)。从表4可知,DL/TSL、RIL/TSL、DDL/TSL 与 ML 存在正相关,DDA、RDA、RA 角度参数与 ML 均为负相关。LDL/TSL、ROL/TSL、RIL/

TSL、RDA 与 ML 相关关系显著($P < 0.05$)。耳石随 ML 呈现异速生长,侧区、吻区形态及其两部分夹角变化最为显著。根据相关性及显著性水平,可选取 ROL/TSL、RIL/TSL、RDA 来分析耳石整个生长过程中形态变化规律。

表4 胴长与耳石形态参数典型相关分析及显著性检验

Tab.4 The correlation analysis and significance test between ML and morphology parameters

	MW/TSL	DL/TSL	LDL/TSL	ROL/TSL	RIL/TSL	WL/TSL	RBL/TSL	DDL/TSL	RDL/TSL	DDA	RDA	RA
相关系数	(0.15)	0.11	(0.02)	(0.20)	0.17	(0.20)	(0.17)	0.09	(0.20)	(0.01)	(0.30)	(0.13)
P	0.18	0.54	0.01	0.01	0.00	0.18	0.25	0.15	0.16	0.78	0.01	0.31

注:括号内数值表示为负值。

在样本中,ML 为 20 ~ 23 cm 的个体,其 ROL/TSL 最小,然后随 ML 增长呈现上升趋势,ML 为 23 ~ 32 cm 的个体其比值趋于稳定,此后缓慢下降(图3a)。方差分析可知,ROL/TSL 整体变化显著($P < 0.05$),ML 为 20 ~ 23 cm 与 23 ~ 26 cm 个体变化显著,此后相邻个体间未出现显著性差异(表5)。RIL/TSL 变化趋势呈现波动(图3b)。多重比较分析可知,RIL/TSL 在 23 ~ 26 cm 与 26 ~ 29 cm 个体间差异最为显著,其他

相邻个体间不存在显著差异。RDA 变化同样呈现波动,变化模式完全与 RIL/TSL 相反(图3c),ML 为 23 ~ 26 cm 的个体,其 RDA 为最大值,ML 大于 26 cm 的个体其 RDA 呈下降趋势。多重比较分析可知(表5),相邻个体间 RDA 变化不显著,但 ML 为 23 ~ 26 cm 个体与 ML 为 29 ~ 32 cm、32 ~ 35 cm、35 ~ 38 cm、38 ~ 42 cm 的个体间差异均显著。

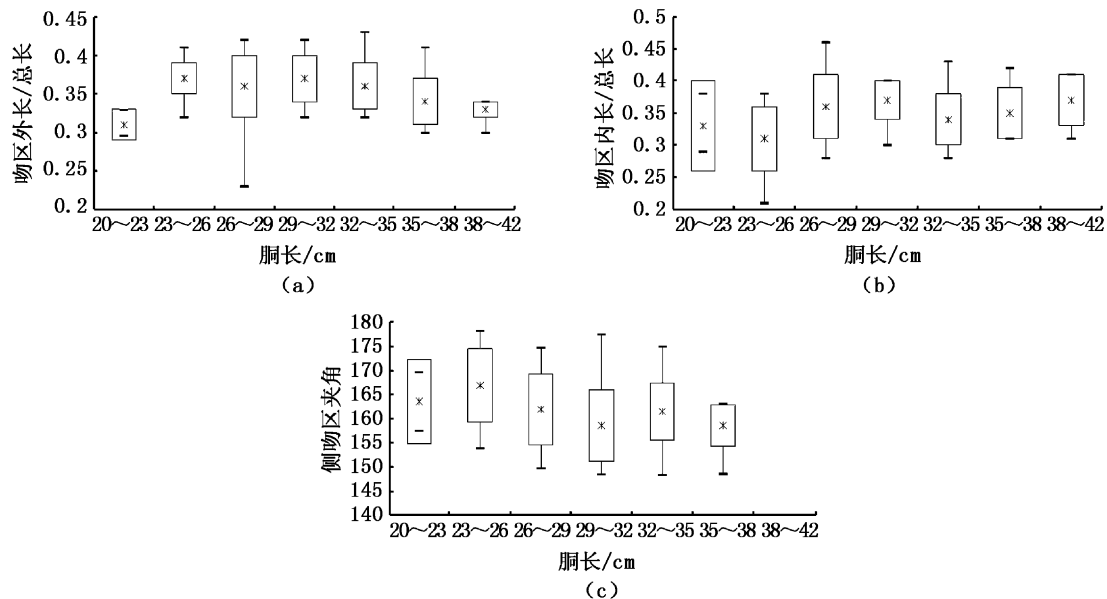


图3 不同胴长组茎柔鱼耳石形态变化趋势

Fig.3 The trends of statolith morphology for *D. gigas* among different ML groups

(a)吻区外长/总长变化趋势;(b)吻区内长/总长变化趋势;(c)吻侧区夹角变化趋势;星号表示平均值;方框表示标准差;短线表示极值。

表 5 不同胴长组间茎柔鱼耳石形态参数多重比较分析

Tab. 5 The multiple comparisons of morphology parameters for *D. gigas* among different ML groups

	胴长/cm	23 ~ 26	26 ~ 29	29 ~ 32	32 ~ 35	35 ~ 38	38 ~ 42
ROL/TSL	20 ~ 23	6.08 *	4.67	5.55 *	5	1.44	0.24
	23 ~ 26		0.66	0.09	0.47	6.10 *	7.80 *
	26 ~ 29			0.28	0.03	3.87	5.78 *
	29 ~ 32				0.15	5.37 *	7.11 *
	32 ~ 35					4.62	6.37 *
	35 ~ 38						0.92
RIL/TSL	20 ~ 23	0.73	0.78	1.06	0.05	0.31	1.31
	23 ~ 26		14.85 **	15.77 **	6.19 *	7.76 *	9.49 **
	26 ~ 29			0.15	2.88	0.42	0.4
	29 ~ 32				3.83	.88	0.14
	32 ~ 35					0.56	2.6
	35 ~ 38						1.02
RDA(°)	20 ~ 23	0.44	0.12	1.03	0.19	1	1.72
	23 ~ 26		5.02	12.43 **	6.23 *	10.68 **	9.43 **
	26 ~ 29			2.6	0.06	2.15	2.96
	29 ~ 32				2.04	0	0.46
	32 ~ 35					1.67	2.55
	35 ~ 38						0.42

注: * 表示显著性差异; ** 表示极显著性差异。

2.2 性成熟度对耳石形态影响

个体性腺发育对耳石各形态参数的生长均未产生显著影响($P > 0.05$)。同样,不同性腺成熟度个体间的 9 个形态比值也未出现显著性差异($P > 0.05$), 3 个角度变量同样不显著。说明不同性腺成熟度个体耳石各部分结构保持稳定。

3 讨论

哥斯达黎加外海茎柔鱼耳石外部形态与其他头足类相似^[13-14], 均存在背区、侧区、吻区、翼区 4 个部分。耳石与 ML 间存在显著相关关系, 其中 DDL、TSL 与 ML 为最大相关, 耳石随 ML 同步生长, 其生长特性与加利福尼亚海域茎柔鱼相似^[11]。通过线性拟合, 耳石生长存在两个阶段, ML 小于 26 ~ 30 cm 的个体其耳石生长迅速, 之后耳石生长缓慢。多重比较结果与此相同, ML 小于 29 cm 的不同 ML 组, TSL、DDL 变化显著, ML 大于 29 cm 个体间变化存在波动, 这与 WIBORG^[15] 和 ARKHIPKIN 等^[16] 认为的耳石生长存在两个阶段相同。WIBORG 等^[17] 研究认为, 耳石生长速度的迅速下降与头足类栖息水层变化有关, 同时结合 ARKHIPKIN 和 BJÜRKE^[18] 分析认为, 哥斯达黎加茎柔鱼属于大洋性产卵, 幼体栖息范围主要为海洋表层, ML 大于 26 ~ 30 cm 的个体活动范围扩大, 可能扩展到中层或底层海

域。

耳石形态变化与 ML 生长间相关关系不统一, DL、RIL、DDL 生长快于 TSL, 其它参数生长较 TSL 缓慢。背区、侧区、吻区间夹角呈减小趋势。耳石形态变化趋势为整体狭长、吻区长窄、背区宽大, 该特征与栖息于中上层头足类特征相符^[14,19]。在耳石各形态中, 仅侧区、吻区变化显著, 吻区形态显著性变化特征与其参与调节头足类淋巴液流动和检测游泳加速度有关^[19], 其显著性变化可以反映茎柔鱼栖息水层的改变^[20]。在整个生长过程中, 耳石各形态参数发生显著性变化时间不同, ROL 在 ML 为 23 cm、RIL 在 ML 为 26 cm、RDA 在 ML 为 29 cm 发生变化。个体生长后期变化不显著, 形态趋于稳定, 这与 ARKHIPKIN 和 BIZIKOV^[21] 研究结果相同。耳石形态发生显著变化的 ML 范围与耳石生长速度显著变化的 ML 范围存在叠加, 但耳石形态变化先于生长速度的变化。

因为头足类的年龄和生长受生物(饵料、敌害、空间竞争等)、非生物(温度、光照、盐度等)以及地理环境等多方面因素的影响, 头足类不同性别、种群、地理区域之间, 甚至不同生长阶段, 适合的生长方程都会有差异^[10-11]。目前采用的主要为线性、指数、幂函数、逻辑斯蒂等方程^[22], 本研究认为茎柔鱼 TSL 生长符合逻辑斯蒂方程,

DDL 生长符合幂函数。方差分析验证,拟合效果良好,基本反映了茎柔鱼耳石生长变化趋势。在以后研究中通过连续采样,按照不同时期、不同种群分别建立生长模型,研究其生长规律。

所有雌性样本不同性成熟个体间耳石生长、形态均未出现显著性差异。NIGMATULLIN 等^[3]认为茎柔鱼存在大、中、小产卵群体, HARMAN 等^[23]认为茎柔鱼存在多次产卵的特点。在本次调查期间不同产卵个体相互叠加(图4)。由于各性成熟个体分布于不同 ML 组,为了消除 ML 影响,选取 ML 为 23~32 cm 组对不同性成熟度个体耳石形态差异进行检验,虽 TSL 生长存在显著性变化($P < 0.01$),但 TSL 呈变小趋势,说明样本存在不同产卵群体,无法证明性成熟度与耳石生长关系。

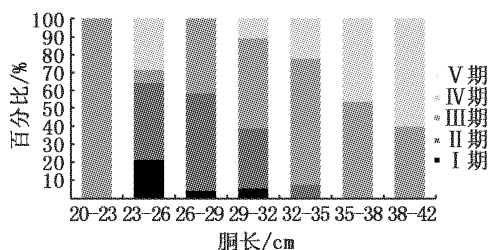


图4 不同胴长组下茎柔鱼各性成熟度等级所占比例
Fig.4 The proportion of different sexual maturity among different ML groups for *D. gigas*

在本次调查中,雄性个体样本较少,本次试验仅选用雌性个体进行。虽然 MARKAIDA^[11]认为雌雄个体耳石生长模式相同,但不同种类耳石形态存在差异^[9],在以后研究中需要采集各性成熟度样本以探究雌雄间生长关系。

MASUDA 等^[24]认为加利福尼亚、秘鲁海域茎柔鱼全年产卵,不同产卵群体由于孵化时间不同造成的栖息环境、食物丰度差异影响耳石生长。在以后研究中需要在划分产卵种群的基础上深入研究耳石生长规律。

参考文献:

- [1] 王尧耕,陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业[M]. 北京:海洋出版社,2005:240-264.
- [2] TAIPE A, YAMASHIRO C, MARIATEGUI L, et al. Distribution and concentrations of Jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999[J]. Fisheries Research, 2001, 54(1):21-32.
- [3] NIGMATULLIN C M, NESIS K N, ARKHIPKIN A I. A review of the biology of the Jumbo-squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) [J]. Fisheries Research, 2001, 54(1):9-19.
- [4] ARKHIPKIN A I. Statoliths as 'black boxes' (life recorders) in squid [J]. Marine and Freshwater Research, 2004, 56(5):573-583.
- [5] IKEDA Y, ARAI N, KIDOKORO H, et al. Strontium; calcium ratios in statoliths of Japanese common squid *Todarodes Pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) as indicators of migratory behavior [J]. Marine Ecology Progress Series, 2003, 251(1):169-179.
- [6] YATSU A, MOCHIOKA N, MORISHITA K, et al. Strontium/calcium ratios in statoliths of the neon flying squid, *Ommastrephes bartramii* (Cephalopoda), in the North Pacific Ocean [J]. Marine Biology, 1998, 131(2):275-282.
- [7] 肖述,郑小东,王如才,等. 头足类耳石轮纹研究进展 [J]. 中国水产科学, 2003, 10(1):73-76.
- [8] ARKHIPKIN A I, BJORKE H. Statolith shape and microstructure as indicators of ontogenetic shifts in the squid *Gonatus fabricii* (Oegopsida, Gonatidae) from the Norwegian sea [J]. Polar Biology, 2000, 23(1):1-10.
- [9] CLARKE M R, MADDOCK L. Statolith from living species of Cephalopods and Evolution [C] // Clarke M R, Trueman E R. The Mollusca, Paleontology and Neontology of Cephalopods. San Diego: Academic Press, 1988:169-184.
- [10] ARGÜELLES J, RODHOUSE P G, VILLEGASA P. Age, growth and population structure of the jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in Peruvian waters [J]. Fisheries Research, 2001, 54(1):51-61.
- [11] MARKAIDA U, QUINONEZ V C, SOSA N O. Age, growth and maturation of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico [J]. Fisheries Research, 2004, 66(1):31-47.
- [12] EHRHARDT N M, JACQUEMIN P S, GARCIA B F, et al. On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico [R] // FAO. Advances in assessment of world cephalopod resources. FAO Fisheries technical Paper NO. 231, 1983:306-340.
- [13] 刘必林. 利用耳石微结构研究印度洋鳶鸟的年龄和生长 [D]. 上海:上海水产大学, 2006.
- [14] 陆化杰, 陈新军, 刘必林, 等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼耳石外部形态特征分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(3):338-344.
- [15] WIBORG K F. *Gonatus fabricii* (Lichtenstein), en mulig fisheriressurs i Norskehavet (*Gonatus fabricii* (Lichtenstein), a possible fishery resource in the Norwegian Sea [J]. Fiskerihavet, 1979, 26(1):33-46.
- [16] ARKHIPKIN A I, BIZIKOV V A, KRYLOV V V. Distribution, stock structure and growth of the squid *Berryteuthis magister* (Berry, 1913) (Cephalopoda, Gonatidae) during summer and fall in the western Bering Sea [J]. Fishery Bulletin, 1995, 94(1):10-30.

- [17] WIBORG K F, GJØSÑTER J, BECK I M. The squid *Gonatus fabricii* (Lichtenstein), investigations in the Norwegian Sea and the western Barents Sea, February-September 1980 and July-September 1981[J]. *Fisken Havet*, 1982,19(1):13 - 25.
- [18] ARKHIPKIN A I, BJØRKE H. Ontogenetic changes in morphometric and reproductive indices of the squid *Gonatus fabricii* (Oegopsida, Gonatidae) in the Norwegian Sea[J]. *Polar Biology*, 1999,22(6):357 - 365.
- [19] HANLON R T, MESSENGER J B. Cephalopod behavior[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996:1 - 248.
- [20] ALEXANDER I, ARKHIPKIN, VYACHESLAV A, et al. Role of the statolith in functioning of the acceleration receptor system in squids and sepioids[J]. *Journal of Zoology*, 2000, 250(1):31 - 55.
- [21] ARKHIPKIN A I, BIZIKOV V A. Statolith in accelerometers of squids and cuttlefish[J]. *Ruthenica*, 1998,8(1):81 - 84.
- [22] 马金,刘必林,陈新军,等. 利用耳石鉴定头足类年龄与生长研究进展[J]. *海洋渔业*,2009,31(3):316 - 324.
- [23] HARMAN R F, YOUNG R E, REID S B, et al. Evidence of multiple spawning in the tropical oceanic squid *Stenoteuthis oualaniensis* (Teuthoidea: Ommastrephidae) [J]. *Marine Biology*, 1989,101(4):513 - 519.
- [24] MASUDA S, YOKAWA K, YATSU A, et al. Growth and population structure of *Dosidicus gigas* in the southeastern Pacific Ocean[C]//Okutani T. Contributed Papers to International Symposium on Large Pelagic Squids. Tokyo: JAMARC, 1996:107 - 118.

Relationship between individual growth and statolith increment of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) in the waters off Costa Rica

JIA Tao¹, CHEN Xin-Jun^{1,2,3}, LI Gang^{1,2,3}, LU Hua-jie¹, LIU Bi-lin^{1,2,3}, MA Jin¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fisheries Resources Exploitation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Ministry Of Education for Oceanic Fisheries Resources Sustainable Exploitation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The growth relationship between statolith and individual of the jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) sampled in waters off Costa Rica from July to August in 2009 was studied with multiple statistical methods. It was found that the growth relationship between statolith and mantle length (ML) was significant ($P < 0.01$), and the biggest coefficient were ventral dorsal dome length (DDL) and total statolith length (TSL). Statolith growth contained two phases, rapid growth of statolith before ML was smaller than 26 - 30 cm, and after that there has a slow growth of statolith. The dorsal length (DL), rostrum inside length (RIL) and DDL grew faster than the TSL, but the ventral dorsal dome angle (DDA), rostrum lateral dome angle (RDA) and rostrum angle (RA) were reduced during the growth process. So the morphology of lateral dome and rostrum were changed significantly ($P < 0.05$). Although the significant changes of statolith morphology preceded the growth changes and the significant changes of various parts in morphology were not synchronized, the morphological changes mainly occurred in individuals with 23 - 29 cm ML, after that the morphology kept stabilized. The significant changes of growth and morphology were associated with habitat changed of water layer, and the jumbo flying squid statolith was coincided with the characteristics of pelagic cephalopods.

Key words: jumbo flying squid; statolith; individual growth; waters off Costa Rica