

文章编号: 1674-5566(2019)06-0943-10

DOI:10.12024/jsou.20190202529

东黄海外海蓝点马鲛的耳石生长形态变化分析

瞿俊跃¹, 方舟^{1,2,3,4,5}, 陈新军^{1,2,3,4,5}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: 鱼类耳石外部形态变化与生长有着密切的关系。利用 2017 年 9 月—2018 年 3 月间在东、黄海外海采集的 335 尾蓝点马鲛样本, 以耳石长、耳石宽、背长、背宽、腹喙长和基叶长为基本形态学参数, 运用函数拟合、方差分析及小波分析等方法, 研究蓝点马鲛耳石与生长之间的关系。结果显示, 蓝点马鲛耳石呈乳白色, 近似长方形, 背面外凸、正面内凹, 外部有较多突起的小齿, 呈锯齿状, 整体弯曲呈现瓦状。左右矢耳石没有显著性差异。蓝点马鲛耳石质量及 6 项形态参数指标均与叉长有着显著的关联, 均为幂函数拟合结果最优。随着蓝点马鲛生长, 该鱼耳石形态特征随叉长变化差异显著, 耳石的总长度不断增加, 而背区和腹区不断向耳石中心缩小, 后区长度增加, 翼长也不断增加, 总体上呈现纵向缩小, 横向增长的趋势且在 350 ~ 400 mm 时的生长与其他叉长组有着显著的不同。

关键词: 蓝点马鲛; 耳石形态与生长; 东海; 黄海

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

耳石是一种主要由碳酸钙等组成的矿化组织, 其形态比骨骼更为稳定^[1], 因而鱼类耳石被认为是研究鱼类生活史、年龄和生长的理想材料, 并且是群体区分的重要指标^[2-3]。鱼类耳石的形态、大小、功能和微结构特征随种类差别而存在差异^[4], 具有高度的物种特异性和显著的种间差异性; 耳石形态分析可以定量解释鱼类种间、群体间的耳石形态差异, 用于鱼类种间、群体间的识别研究^[5-6]。在耳石形态分析方法中, 目前主要有两类: 一类是以框架分析法 (framework analysis method) 为代表的传统形态学分析方法, 一类是几何形态测量学 (geometric morphometrics) 方法, 前者主要侧重于耳石线性测量的表征性变量^[7-8], 后者通过对耳石二维投影后利用图像数字挖掘技术来进行形态结构数值化和数据分析^[9]。

蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*), 俗称鲅

鱼、马鲛等, 隶属鲈形目 (Perciformes) 鲭科 (Scombridae) 马鲛属 (*Scomberomorus*), 系暖温性中上层洄游性经济鱼类^[10]。该种广泛分布于渤、黄和东海近海水域, 南起台湾海峡, 北至渤海辽东湾, 是我国产量较大的重要经济鱼种之一^[11]。蓝点马鲛主要栖息于大陆架, 有时会出现于岩岸陡坡或潟湖区, 主要捕食鳀鱼等小型鱼类; 具有肉质结实味美且营养丰富等特点, 其捕捞量在我国所产马鲛属鱼类中占首位^[12-13]。在当今渔业资源严重衰退情况下, 蓝点马鲛是我国少数维持高产的渔获种类之一, 在黄、渤海海域近十年来 (2000—2009 年) 年产量维持在 20 万 ~ 30 万 t 左右^[14]。随着近年来的深度开发和利用, 其总产量相比以往有所下降^[15], 但相较于其他经济种类, 如真鲷 (*Pagrosomus major*)、牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*)、小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 和大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 产量的明显下降^[16-19], 蓝

收稿日期: 2019-02-20 修回日期: 2019-04-10

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (41876141); 中国博士后科学基金面上项目 (2017M610277); 农业部外海渔业开发重点实验室开放课题 (LOF 2018-02)

作者简介: 瞿俊跃 (1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为近海渔业生物学。E-mail: Michael_qujy@126.com

通信作者: 方舟, E-mail: zfang@shou.edu.cn

点马鲛的产量仍保持在较高水平,因此也突显出该资源在我国海洋捕捞渔业中的重要地位^[20]。近年来国内学者对蓝点马鲛耳石形态的研究主要集中在不同海域的种群划分、种群鉴定和群体识别^[21-23]中,基本没有针对耳石形态与生长的研究。本文对东黄海外海蓝点马鲛耳石形态发育过程进行逐月跟踪采样研究,分析耳石的生长规律,探讨影响耳石形态变化的可能因素,为进一步了解该种类的生长特征规律奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料来源

本研究所用渔获样本来源于2017年9月至2018年3月“浙岭渔23712”与“浙岭渔23713”双拖网船在东海、黄海外海底拖网作业所获得,每月进行随机采集,保证样品不少于30尾,最后共获得蓝点马鲛样本335尾。所获得的样本经冷冻保存运回实验室。采集地点及样本情况见图1和表1。

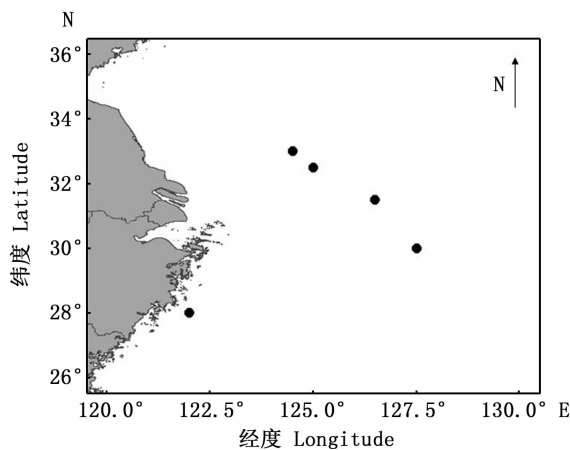


图1 蓝点马鲛捕获区域

Fig.1 Sampling locations of *Scomberomorus niphonius* off Yellow Sea and East China Sea

表1 蓝点马鲛样本信息表

Tab.1 Sampling information of *Scomberomorus niphonius* off Yellow Sea and East China Sea

采集时间 Month	样本数量 Number/尾	叉长分布 Range of fork-length/mm
2017年9月	70	370~750
2017年10月	28	410~766
2017年11月	49	378~550
2017年12月	45	360~828
2018年1月	45	365~640
2018年2月	51	429~567
2018年3月	47	404~595

1.2 研究方法

1.2.1 生物学测定

将实验室中冷冻的样品取出并解冻后,对蓝点马鲛进行生物学测定,包括体长、叉长(fork length, FL)、体质量(body mass, BM)、性别和性腺成熟度。测量体长、叉长用皮尺进行,测定精确至1 mm。根据邱盛尧等^[24]的划分方法,将性腺成熟度划分为I、II、III、IV、V、VI共6期。

1.2.2 耳石采集及处理

耳石的采集和处理均在实验室内完成。使用镊子和解剖刀将耳石从鱼体内的平衡囊中取出,然后去除其表面包裹的一层浅白色膜,并对耳石进行编号,用体积分数75%的乙醇溶液浸泡2 d,然后擦干装入离心管中常温保存。由于蓝点马鲛矢耳石较大,矢耳石内部存在很多沟壑,常用方法无法去除耳石表面附着的杂质,因而将矢耳石浸入次氯酸钙溶液12 h,使得整个矢耳石干净透白,再用超纯水反复冲洗,放入40℃的烘箱中干燥至耳石恒重。

1.2.3 耳石质量与形态指标测定

将干燥后的耳石,采用微量天平CPA225D(精确到0.01 mg)进行称量。将耳石凸面朝上、凹面朝下进行图像采集,利用解剖镜及配套软件在8倍率下进行耳石图像采集,拍摄时将耳石凸面朝上、凹面朝下放置。用Image J图像测量软件对耳石进行水平和垂直校准并对耳石形态特征进行测量(图2)。测量由两人独立进行;若两者测量的误差超过5%,则重新测量;若仍超过5%,则取其平均值^[25]。

测量的6项形态参数^[26]如下:耳石长(total length, TL),耳石从前端到后端的最长距离;耳石宽(total width, TW),耳石从背部到腹部的最宽距离;背长(dorsal length, DL),经过耳石核心,平行于耳石长度线,翼叶到后端的最长距离;背宽(dorsal width, DW),经过耳石核心,垂直于长度线,背部的最宽距离;腹喙长(ventral length, VL),平行于长度线,耳石核心到腹喙的最长距离;基叶长(wing length, WL),平行于长度线,耳石核心到翼叶的最长距离。

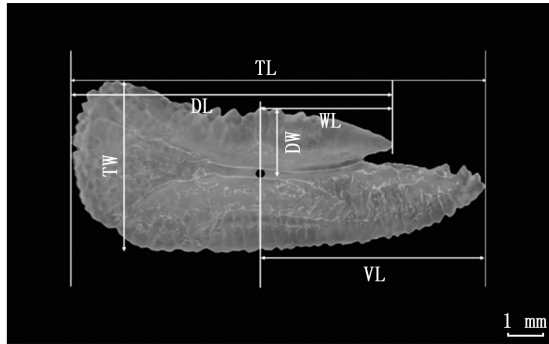


图2 蓝点马鲛耳石形态参数示意图

Fig.2 Schematic otolith morphological parameters of *Scomberomorus niphonius*

1.2.4 耳石轮廓的模拟

近些年来研究发现,耳石轮廓的变化能够更完整地反映出鱼类不同生长阶段的特征^[27]。因此,本研究利用小波分析,根据所获取的耳石图像,从耳石边缘的细节变化进行研究,根据所获得的小波系数来分析蓝点马鲛耳石在不同生长阶段的变化情况,并且模拟出在对应叉长阶段耳石的模拟形态^[8]。

1.3 数据处理

(1)对蓝点马鲛左右矢耳石的耳石质量及形态指标参数采用 t 检验^[28],分析左右耳石之间的差异性。

(2)利用线性、指数、对数和幂函数模型拟合耳石形态特征参数值及耳石质量与叉长的关系,分析耳石各个形态参数值与体长的关系,并根据判别系数及赤池信息准则(akaike's information criterion, AIC)选取拟合函数,判别系数较高及 AIC 值较小者为最适函数^[29-30]。AIC 的计算公式为

$$A_{IC} = n \times \ln\left(\frac{R_{SS}}{n}\right) + 2k \quad (1)$$

式中: A_{IC} 为模型 AIC 值; n 为样本数目; R_{SS} 为残差平方和; k 为模型参数个数。

(3)按叉长将蓝点马鲛分为小于 400 mm、401 ~ 450 mm、451 ~ 500 mm、501 ~ 550 mm、551 ~ 600 mm 和大于 600 mm 的 6 个叉长组,利用方差分析(ANOVA)及多重比较法(LSD)^[31],对不同叉长组间蓝点马鲛耳石各项形态参数值的差异进行检验,以分析不同因子对耳石生长的影响。

(4)利用 R 语言程序(R Core Team,

2015)^[32]中的 wavethresh 加载包来提取小波系数^[33],为了避免异速生长对不同个体形态的影响,采用 LLEONART 等^[34]所描述的方法来消除数据差异。利用 shape R^[35]加载包中的小波分析程序来获取与耳石形态有关的一系列小波参数,并可以重新构建耳石的外形轮廓。上述分析均采用 MS Excel 2016、R 语言及 SPSS 19.0 软件进行。

2 结果

2.1 蓝点马鲛耳石形态

蓝点马鲛耳石为乳白色,近似长方形,背面外凸、正面内凹,外部有较多突起的小齿呈锯齿状,整体弯曲呈现瓦状。耳石背面有一凹槽,将矢耳石分成背区、前区、后区和翼区 4 个部分,腹部凹凸不平,前区有一明显开口,后部常呈较光滑的扇形。耳石中央区域有一核区,处于凹槽最窄处,较薄。幼鱼叉长 360 mm 左右时开口基本形成,这时耳石的翼叶较短,随鱼体及耳石生长,耳石的翼叶逐渐变长且变尖锐,耳石的长宽比随着叉长的增大而增大。见图 3。

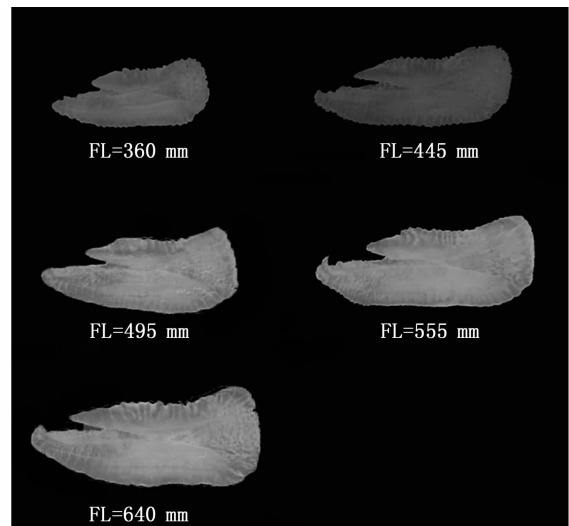


图3 不同叉长下蓝点马鲛耳石形态

Fig.3 Otolith morphology of *Scomberomorus niphonius* with different fork lengths

2.2 耳石基本形态参数

通过对蓝点马鲛耳石 7 个参数指标的差异性检验(表 2)可知,左右矢耳石没有显著性差异,因而矢耳石形态与个体生长关系分析和小波分析都采用左矢耳石进行。

表 2 蓝点马鲛左右耳石形态学参数值

Tab. 2 Otolith morphological parameters of *Scomberomorus niphonius* for left and right side

形态参数 Morphology	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Average	标准差 Standard deviation	<i>P</i>
耳石长 TL/mm	13.54(13.57)	7.60(7.71)	9.47(9.56)	0.87(0.89)	>0.1
耳石宽 TW/mm	5.74(5.99)	3.31(3.33)	4.32(4.29)	0.39(0.41)	>0.1
背长 DL/mm	10.26(9.97)	5.65(5.54)	7.43(7.38)	0.72(0.72)	>0.1
背宽 DW/mm	2.18(2.18)	1.20(1.14)	1.58(1.58)	0.17(0.16)	>0.1
腹喙长 VL/mm	7.78(8.00)	4.11(3.98)	5.45(5.63)	0.58(0.61)	>0.1
基叶长 WL/mm	4.65(5.32)	2.12(2.16)	3.25(3.35)	0.46(0.46)	>0.1
耳石质量 W/mg	67.70(61.70)	14.10(14.30)	27.31(27.38)	6.69(6.71)	>0.1

注:括号外为左耳石参数值,括号内为右耳石参数值

Notes: Out of the brackets is morphological parameter of left otolith, inside of brackets is morphological parameter of right otolith

2.3 耳石参数指标与叉长关系

蓝点马鲛耳石质量及 6 项形态参数指标均与叉长有着显著的关联($P < 0.01$),除了耳石背宽与叉长通过对数拟合的效果最好,其他的各项形态参数及耳石质量与叉长的拟合结果均为幂函数较优,其中耳石质量、耳石长、背长和腹喙长与叉长拟合的判定系数较高。蓝点马鲛耳石的各项指标均随着叉长的增大表现出不同方式的增长(图 4)。拟合方程分别如下:

$$\text{耳石质量与叉长: } L_{FL} = 121.19W^{0.4161}, R^2 = 0.63, P < 0.01$$

$$\text{耳石长与叉长: } L_{FL} = 0.1857L_{TL}^{0.6383}, R^2 = 0.51, P < 0.01$$

$$\text{耳石宽与叉长: } L_{FL} = 0.1168L_{TW}^{0.5842}, R^2 = 0.58, P < 0.01$$

$$\text{背长与叉长: } L_{FL} = 0.1448L_{DL}^{0.6371}, R^2 = 0.17, P < 0.01$$

$$\text{背宽与叉长: } L_{FL} = 0.5579 \ln L_{DW} - 1.8538, R^2 = 0.57, P < 0.011$$

$$\text{腹喙长与叉长: } L_{FL} = 0.0557L_{VL}^{0.7464}, R^2 = 0.41, P < 0.01$$

$$\text{基叶长与叉长: } L_{FL} = 0.0271L_{WL}^{0.7790}, R^2 = 0.77, P < 0.01$$

2.4 不同叉长组耳石形态差异

蓝点马鲛样本在小于 400 mm、401 ~ 450 mm、451 ~ 500 mm、501 ~ 550 mm、551 ~ 600 mm 和大于 600 mm 叉长组的比例分别为 10.69%、21.72%、39.66%、21.03%、5.52 和 1.38%。由

于大于 600 mm 的个体较少,不符合统计分析要求,因此本研究比较上述前 5 组的叉长组的耳石差异。ANOVA 分析表明,蓝点马鲛群体不同叉长组的耳石形态参数指标均存在显著的差异($P < 0.01$)。多重比较(LSD)分析显示,随着叉长的增加,蓝点马鲛耳石的各项形态参数也极显著增加,而背宽(DW)在前 3 个叉长组间不存在差异($P > 0.05$),其他叉长组间均存在显著差异($P < 0.01$)(图 5)。所以,可以根据耳石的外部形态特征对蓝点马鲛生长情况进行推断和判定。

2.5 不同叉长组耳石轮廓变化规律

根据上节所划分的叉长组(除大于 600 mm 以外),利用小波分析对不同组别的耳石轮廓进行分析,结果认为,随着个体的增长,蓝点马鲛耳石的总长度不断增加,而背区和腹区不断向耳石中心缩小,后区的长度增加,翼长也不断增加,总体上呈现纵向缩小、横向增长的趋势(图 6)。

根据小波分析结果,共得到 57 个小波系数,因此本研究使用上述系数进行因子分析。通过分析可知,前两个因子占整体形态变化的大多数(76.5%)(CAP1: 49.8%; CAP2: 26.7%)。在第一得分(CAP1)中,各叉长组的差异不明显,但从总体变化来看,最小的叉长组(350 ~ 400 mm)到中等叉长组(451 ~ 500 mm),到最大的叉长组(551 ~ 600 mm),第一得分不断增大(图 7);叉长为 350 ~ 400 mm 的个体在第二得分(CAP2)中主要为负值,而其他叉长组的个体则主要为正值。

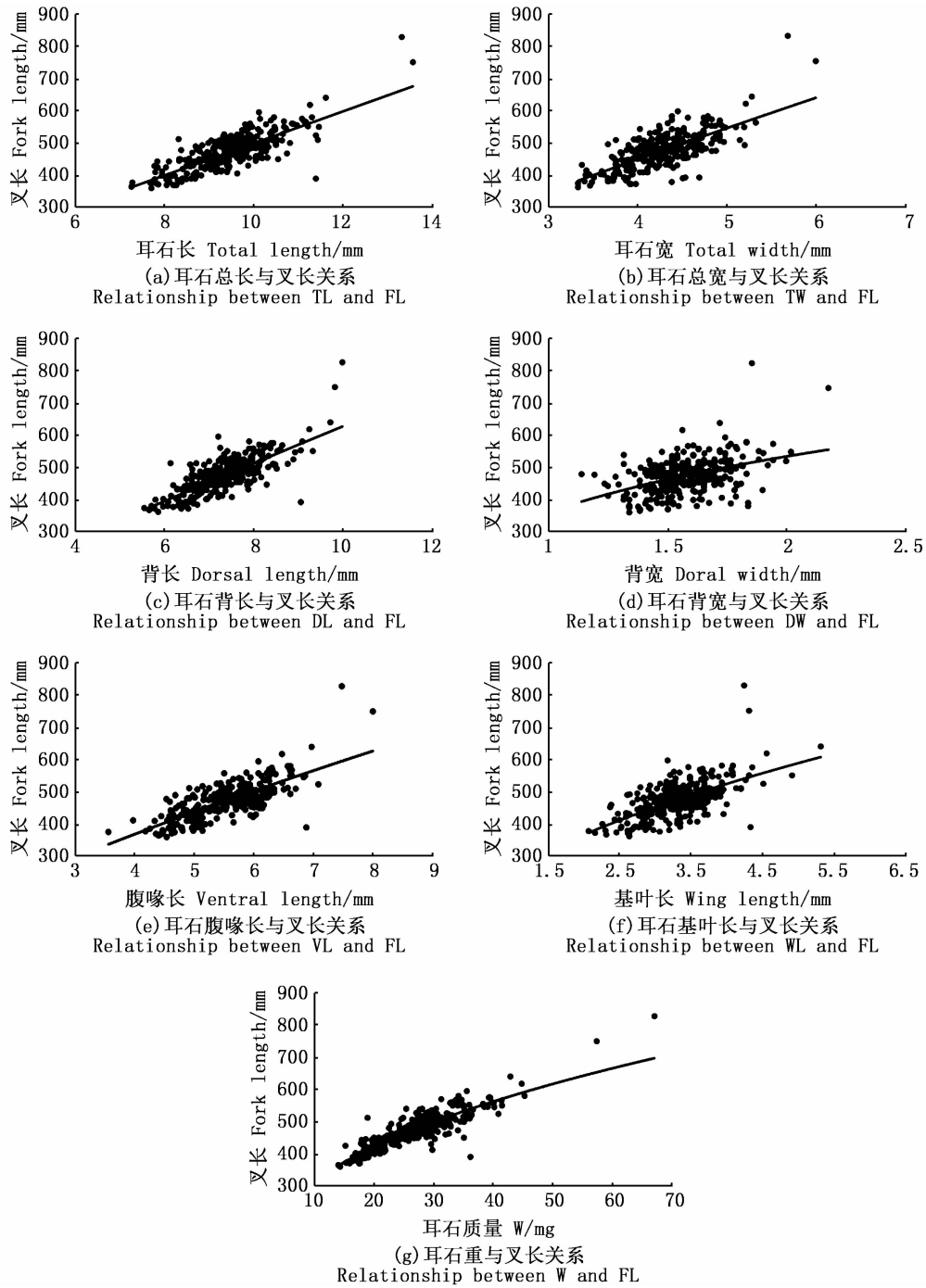
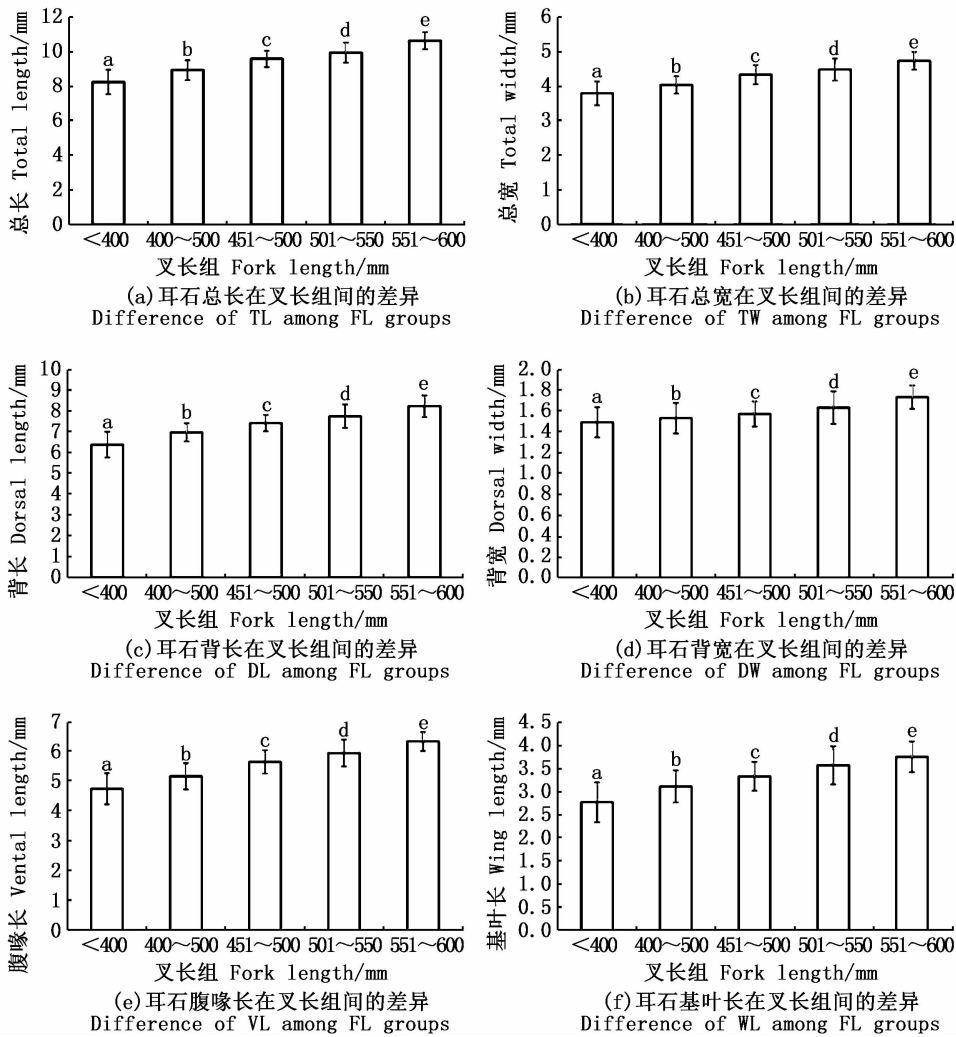


图4 耳石形态参数指标(耳石质量)与叉长关系

Fig. 4 Relationship between fork length and otolith morphological parameters (otolith mass) for *Scomberomorus niphonius*



不同字母代表存在显著差异

Different letters mean significant difference

图 5 不同叉长组耳石形态参数平均值及标准差

Fig. 5 Mean value and standard deviation of otolith morphological parameters for *Scomberomorus niphonius* in different fork length groups

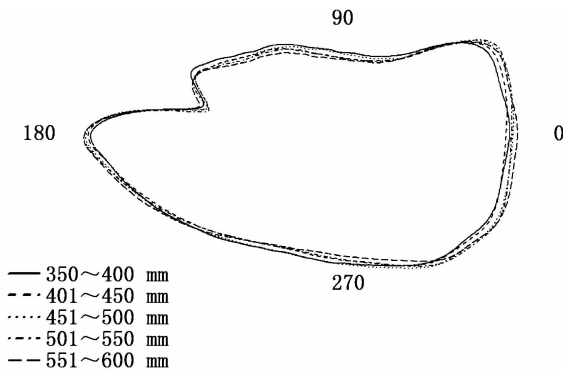


图 6 不同叉长组蓝点马鲛耳石模拟平均形态
Fig. 6 Simulation of mean otolith morphology for *Scomberomorus niphonius* in different fork length groups

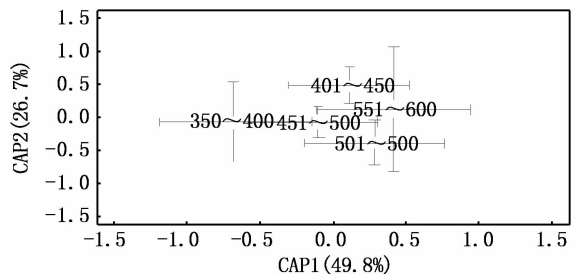


图 7 不同叉长组因子分析
Fig. 7 Factor analysis for *Scomberomorus niphonius* in different fork length groups

3 讨论

黄、渤海海域蓝点马鲛的左右矢耳石差异不显著,矢耳石各部分间未出现显著差异($P > 0.05$)。这一结果与杨林林等^[23]研究的象山港海域蓝点马鲛及王英俊等^[21]对黄海海域蓝点马鲛的研究结果相一致,且与其他鱼类的研究结果相一致^[6]。左右耳石间没有显著差异主要是由于其受到相同的遗传及环境影响,因此左右耳石均可作为蓝点马鲛耳石方面的研究材料。

本文测量了蓝点马鲛 6 个耳石形态指标,并用其对蓝点马鲛耳石进行分析。从形态研究结果来看,蓝点马鲛耳石各项参数与叉长呈显著正相关,随着鱼体的长大,耳石也呈现持续性的生长。ANOVA 分析表明,蓝点马鲛群体不同叉长组的耳石形态参数指标均存在显著的差异($P < 0.01$)。多重比较(LSD)分析显示,随着叉长的增加,蓝点马鲛耳石的各项形态参数也极显著增加,而背宽(DW)在前 3 个叉长组间不存在差异($P > 0.05$),其他叉长组间均存在显著差异($P < 0.01$)。所以,可以根据耳石的外部形态特征对蓝点马鲛生长情况进行判定。拉式南美南极鱼(*Patagonotothen ramsayi*)仅有部分耳石形态参数与叉长显著差异^[36],而蓝点马鲛的耳石形态参数与叉长均存在显著差异,因而能更好地对其生长情况进行判定。

分析耳石轮廓变化可知,随着个体的增长,蓝点马鲛耳石的总长度不断增加,而背区和腹区不断向耳石中心缩小,后区的长度增加,翼长也不断增加,总体上呈现纵向缩小、横向增长的趋势。参照 GAULDIE^[37]对耳石功能的研究,推测耳石吻区变化可能与淋巴液流动和游泳加速度有关。从不同叉长组分析可知,蓝点马鲛在 350~400 mm 时的生长与其他叉长组有着显著的不同。参考大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)初次性成熟耳石的变化^[38]和秋刀鱼(*Cololabis saira*)性腺成熟度 I 期与 II 至 VI 期间的差异^[39],通过本研究可以推测蓝点马鲛初次性成熟叉长在 350~400 mm。蓝点马鲛耳石随鱼体生长而发生变化,其形态特征与鱼体外部形态发育过程类似,早期受饵料生物及温度、盐度、溶解氧等各种因子影响经历了剧烈变化阶段^[40],发育到一定阶段后形态特征会趋于稳定。

研究耳石发育过程中的形态变化可以确认其达到生长稳定的规格“节点”,为目标鱼种耳石的形态识别提供重要的参考^[41]。研究结果对揭示蓝点马鲛耳石形态发育变化规律,以及利用耳石对该鱼种进行准确识别具有重要意义。另外,本研究叉长小于 350 mm 及大于 600 mm 的蓝点马本样品较少,对研究的结果可能会有一定程度的影响,需要在今后的研究中加以补充和完善。

参考文献:

- [1] SMALE M J, WATSON G W, HECHT T. Otolith atlas of southern African marine fishes [M]. Grahamstown, South Africa: J. L. B. Smith Institute of Ichthyology, 1995: 1-253.
- [2] THENKABAIL P S, NOLTE C, LYON J G. Remote sensing and GIS modeling for selection of a benchmark research area in the inland valley agroecosystems of West and Central Africa [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2000, 66(6): 755-768.
- [3] CAMPANA S E, NEILSON J D. Microstructure of fish otoliths [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1985, 42(5): 1014-1032.
- [4] ADMASSU D, CASSELMAN J M. Otolith age determination for adult tilapia, *Oreochromis niloticus*, L. from Lake Awassa (Ethiopian Rift Valley) by interpreting biannuli and differentiating biannual recruitment [J]. Hydrobiologia, 2000, 418(1): 15-24.
- [5] MAISEY J G. Notes on the structure and phylogeny of vertebrate otoliths [J]. Copeia, 1987(2): 495-499.
- [6] 叶振江. 中国海洋鱼类耳石形态学分析及应用研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
YE Z J. Study on otolith shape, taxonomy and application for fishes in China Sea [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [7] 郭弘艺, 唐文乔, 魏凯, 等. 中国鲭属鱼类的矢耳石形态特征 [J]. 动物学杂志, 2007, 42(1): 39-47.
GUO H Y, TANG W Q, WEI K, et al. Morphologic characters of the sagittal otoliths of the fishes of the genus *Coilia* from China [J]. Chinese Journal of Zoology, 2007, 42(1): 39-47.
- [8] 窦硕增, 于鑫, 曹亮. 鱼类矢耳石形态分析及其在群体识别中的应用实例研究 [J]. 海洋与湖泊, 2012, 43(4): 702-712.
DOU S Z, YU X, CAO L. Otolith shape analysis and its application in fish stock discrimination: a case study [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(4): 702-712.
- [9] 沈世杰. 台湾鱼类志 [M]. 台北: 台湾大学动物学系, 1993: 374-385.
SHEN S J. Fishes of Taiwan [M]. Taipei: Department of

- Zoology, Taiwan University, 1993; 374-385.
- [10] SASSA C, YAMAMOTO K, TSUKAMOTO Y, et al. Distribution and migration of age - 0 jack mackerel (*Trachurusj aponicus*) in the East China and Yellow Seas, based on seasonal bottom trawl surveys [J]. Fisheries Oceanography, 2009, 18(4): 255-267.
- [11] 韦晟, 周彬彬. 渤、黄海蓝点马鲛种群鉴别的研究[J]. 动物学报, 1988, 34(1): 71-81.
- WEI C, ZHOU B B. The identifications of populations of the Spanish mackerel, *Scomberomorus niphonius* (Cuvier et Valenciennes) in the Bohai sea and the yellow sea[J]. Acta Zoologica Sinica, 1988, 34(1): 71-81.
- [12] CARPENTER K E, NIEM V H. FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific. Volume 3. Batoid fishes, chimaeras and bony fishes part 1 (Elopidae to Linophrynidae) [M]. Rome: FAO, 1999: 1397-2068.
- [13] SHUI B N, HAN Z Q, GAO T X, et al. Genetic structure of Japanese Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) in the East China Sea and Yellow Sea inferred from AFLP data [J]. African Journal of Biotechnology, 2008, 7(21): 3860-3865.
- [14] 袁杨洋, 叶振江, 刘群, 等. 黄海南部春季蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*) 渔场海洋学特征与渔期渔场分布[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(4): 506-510.
- YUANY Y, YE Z J, LIU Q, et al. Fishery oceanography and spatial-temporal distribution of *Scomberomorus niphonius* in spring in southern Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(4): 506-510.
- [15] 郑元甲, 李建生, 张其永, 等. 中国重要海洋中上层经济鱼类生物学研究进展[J]. 水产学报, 2014, 38(1): 149-160.
- ZHENG Y J, LI J S, ZHANG Q Y, et al. Research progresses of resource biology of important marine pelagic food fishes in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(1): 149-160.
- [16] BLANCO GONZALEZE, ARITAKI M, SAKURAI S, et al. Inference of potential genetic risks associated with large-scale releases of red sea bream in Kanagawa prefecture, Japan based on nuclear and mitochondrial DNA analysis [J]. Marine Biotechnology, 2013, 15(2): 206-220.
- [17] KIM W J, KIM K K, HAN H S, et al. Population structure of the olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) in Korea inferred from microsatellite marker analysis[J]. Journal of Fish Biology, 2010, 76(8): 1958-1971.
- [18] WANG L, LIU S F, ZHUANG Z M, et al. Population genetic studies revealed local adaptation in a high gene-flow marine fish, the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) [J]. PLoS One, 2013, 8(12): e83493.
- [19] HAN Z Q, XU H X, SHUI B N, et al. Lack of genetic structure in endangered large yellow croaker *Larimichthys crocea* from China inferred from mitochondrial control region sequence data [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2015, 61: 1-7.
- [20] 曹艳, 章群, 宫亚运, 等. 基于线粒体 COI 序列的中国沿海蓝点马鲛遗传多样性[J]. 海洋渔业, 2015, 37(6): 485-493.
- CAO Y, ZHANG Q, GONG Y Y, et al. Genetic variation of *Scomberomorus niphonius* in the coastal waters of China based on mtDNA COI sequences [J]. Marine Fisheries, 2015, 37(6): 485-493.
- [21] 王英俊, 叶振江, 杨永桓, 等. 耳石形态在黄海蓝点马鲛群体鉴别方面的应用[J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37(s1): 155-158.
- WANG Y J, YE Z J, YANG Y H, et al. Stock identification of Spanish mackerel, *Scomberomorus niphonius* in the Yellow sea using otolith morphology [J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37(s1): 155-158.
- [22] 张弛. 鱼类耳石形态在蓝点马鲛群体识别和皮氏叫姑鱼年龄估算上的应用实例 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- ZHANG C. Application of fish ear stone morphology in blue dot shark population identification and age estimation of the name of the larvae [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [23] 杨林林, 姜亚洲, 林昱, 等. 象山港蓝点马鲛繁殖群体的耳石形态分析[J]. 海洋渔业, 2018, 40(1): 10-18.
- YANG L L, JIANG Y Z, LIN Y, et al. On sagittal otolith morphology for reproductive population of *Scomberomorus niphonius* in the Xiangshan Bay [J]. Marine Fisheries, 2018, 40(1): 10-18.
- [24] 邱盛尧, 叶懋中. 黄渤海蓝点马鲛繁殖生物学研究 [J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(5): 463-470.
- QIU S Y, YE M Z. Studies on the reproductive biology of *Scomberomorus niphonius* in the yellow sea and Bohaisea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1996, 27(5): 463-470.
- [25] ROHLF F J, SLICE D. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks [J]. Systematic Biology, 1990, 39(1): 40-59.
- [26] TUSET V M, LOMBARTE A, GONZÁLEZ J A, et al. Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus* spp. [J]. Journal of Fish Biology, 2003, 63(6): 1491-1504.
- [27] 陈新军, 方舟, 苏杭, 等. 几何形态测量学在水生动物中的应用及其进展 [J]. 水产学报, 2013, 37(12): 1873-1885.
- CHEN X J, FANG Z, SU H, et al. Review and application of geometric morphometrics in aquatic animals [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(12): 1873-1885.
- [28] 李春喜, 邵云, 姜丽娜. 生物统计学 [M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2008: 85-110.
- LI C X, SHAO Y, JIANG L N. Biostatistics [M]. 4th ed. Beijing: Science Press, 2008: 85-110.
- [29] MAY R J, MAIER H R, DANDY G C, et al. Non-linear

- variable selection for artificial neural networks using partial mutual information [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2008, 23(10/11): 1312-1326.
- [30] BURNHAM K P, ANDERSON D R. Information and likelihood theory: a basis for model selection and inference [M]//BURNHAM K P, ANDERSON D R. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. New York, NY: Springer, 2002.
- [31] GUEORGUIEVA R, KRYSTAL J H. Move over ANOVA: progress in analyzing repeated-measures data and its reflection in papers published in the Archives of General Psychiatry[J]. *Archives of General Psychiatry*, 2004, 61(3): 310-317.
- [32] R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing [EB/OL]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. (2015). <https://www.R-project.org/>.
- [33] NASONG. wavethresh: wavelets statistics and transforms, version 4.5. R package [EB/OL]. (2012). <http://CRAN.R-project.org/package=wavethresh>.
- [34] LLEONART J, SALAT J, TORRES G J. Removing allometric effects of body size in morphological analysis [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2000, 205(1): 85-93.
- [35] LIBUNGANL A, PÁLSSON S. ShapeR: an R package to study otolith shape variation among fish populations [J]. *PLoS One*, 2015, 10(3): e0121102.
- [36] 魏联, 刘子俊, 朱国平. 阿根廷外海拉式南美南极鱼矢耳石形态特征分析[J]. *海洋渔业*, 2017, 39(3): 256-266. WEI L, LIU Z J, ZHU G P. Morphological features of sagittal otolith for *Patagonotothen ramsayi* from the waters off Argentina [J]. *Marine Fisheries*, 2017, 39(3): 256-266.
- [37] GAULDIE R W. Function, form and time-keeping properties of fish otoliths [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1988, 91(2): 395-402.
- [38] 宋利明, 吕凯凯, 杨嘉樑, 等. 马绍尔群岛海域大眼金枪鱼耳石形态 [J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(5): 884-891. SONG L M, LÜK K, YANG J L, et al. Morphology of bigeye tuna otolith in waters near Marshall Islands [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(5): 884-891.
- [39] 朱清澄, 杨明树, 高玉珍, 等. 西北太平洋秋刀鱼耳石生长与性成熟度、个体大小的关系 [J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(2): 263-270. ZHU Q C, YANG M S, GAO Y Z, et al. The relationship between Statolith growth, sexual maturity and body size of *Cololabis saira* in the Northwest Pacific Ocean [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(2): 263-270.
- [40] RILLING G C, HOUDE E D. Regional and temporal variability in distribution and abundance of bay anchovy (*Anchoa mitchilli*) eggs, larvae, and adult biomass in the Chesapeake bay [J]. *Estuaries*, 1999, 22(4): 1096-1109.
- [41] 张晓霞, 叶振江, 王英俊, 等. 青岛海域小眼绿鳍鱼耳石形态的初步研究 [J]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(4): 622-626. ZHANG X X, YE Z J, WANG Y J, et al. Study on otolith morphology of *Chelidonichthys spinosus* in the Qingdao coastal waters [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(4): 622-626.

Variation of otolith growth and morphology of *Scomberomorus niphonius* off East China Sea and Yellow Sea

QU Junyue¹, FANG Zhou^{1,2,3,4,5}, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: Using the 335 *Scomberomorus niphonius* samples collected from off East China Sea and Yellow Sea from September 2017 to March 2018, the relationship between otolith and growth was studied by means of function fitting, variance analysis and wavelet analysis, taking TL, TW, DL, DW, VL, and WL as the basic morphological parameters. Based on the samples of 335 *Scomberomorus niphonius* collected off East China Sea and Yellow Sea between September 2017 and March 2018, the relationship between the ontogenetic shape changes of otoliths and growth was studied by the basic morphological parameters of otolith length, otolith width, dorsal length, dorsal width, ventral length and wing length, using the methods of function fitting, the ANOVA, the Least Significant Difference (LSD) analysis and wavelet analysis. The results showed that the otolith of *Scomberomorus niphonius* milky white, approximate rectangular, the back convex, the front concave, the outside had more protruding small teeth, serrated, the overall bending to show the tile shape. There was no significant difference between the left and right sagittal otolith. The weight of the otolith and 6-item morphological parameters were significantly correlated with the fork length, and all of them were the best fit results of the exponentiation function. With the growth of *Scomberomorus niphonius*, the morphological characteristics of the otolith varied significantly with the fork length, and the total length of the otolith was increasing, and the dorsal and ventral regions continued to shrink to the center of the otolith. The length of the posterior region increased, and the wing length increased, with the overall appearance of vertical shrinkage and horizontal growth trend.

Key words: *Scomberomorus niphonius*; otolith; East China Sea; Yellow Sea