

朱庆环, 田永军, 张弛, 等. 基于耳石微结构的黄、渤海蓝点马鲛幼鱼日龄与生长[J]. 海洋学报, 2020, 42(2): 87–95. doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2020.02.009

Zhu Qinghuan, Tian Yongjun, Zhang Chi, et al. Daily age and growth of young-of-the-year *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea based on otolith microstructure[J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(2): 87–95. doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2020.02.009

# 基于耳石微结构的黄、渤海蓝点马鲛幼鱼日龄与生长

朱庆环<sup>1</sup>, 田永军<sup>1\*</sup>, 张弛<sup>1</sup>, 叶振江<sup>1</sup>, 徐宾铎<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 鱼类的生长是影响群体资源量的要素, 研究鱼类的生长规律是开展资源评估工作的基础。本研究依据 2016 年 9–10 月和 2017 年 8–10 月在黄渤海采集的当年生蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*) 幼鱼, 通过耳石微结构分析, 确定了蓝点马鲛孵化期, 建立了生长模型并估算了生长率。结果显示, 幼鱼日龄范围为 64~151 d, 孵化日期为 5 月 3 日至 6 月 15 日, 高峰期集中在 5 月 20 日至 6 月 3 日。叉长和体质量的生长符合 Logistic 生长模型。叉长平均绝对生长率和特定生长率分别为 2.45 mm/d 和 0.85 %/d, 生长率随着日龄增大而小幅度减小。体质量平均绝对生长率和特定生长率分别为 5.33 g/d 和 2.68 %/d, 最大绝对生长率和最大特定生长率分别出现在 111~120 d 和 91~100 d。本研究表明, 蓝点马鲛幼鱼生长随日龄发生变化, 早期生长较以往进一步加快。

**关键词:** 蓝点马鲛; 幼鱼; 耳石微结构; 日龄; 生长; 黄海; 渤海

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2020)02-0087-09

## 1 引言

蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*) 隶属鲈形目 (Perciformes) 鲭科 (Scombridae), 栖息于近海中上层<sup>[1]</sup>, 是黄渤海重要的大型经济鱼类<sup>[2]</sup>。蓝点马鲛孵化后个体在产卵场附近水域索饵, 进行育幼生长<sup>[3]</sup>。蓝点马鲛当年幼鱼即可作为补充群体加入到捕捞群体中, 占蓝点马鲛秋汛渔获物的 90% 以上<sup>[2]</sup>。

研究鱼类生长规律, 是资源动态评估和渔业管理的基础<sup>[4-5]</sup>, 幼鱼的存活和生长很大程度上决定了补充强度, 进而影响世代强度和丰度<sup>[6-8]</sup>。过去对于蓝点马鲛生长的研究集中于仔稚鱼<sup>[9-10]</sup>或成鱼阶段<sup>[11]</sup>, 而对蓝点马鲛幼鱼生长的研究较少。邱盛尧等<sup>[12]</sup>根据 1963 年至 1991 年收集的样本生物学信息, 分析了黄、渤海蓝点马鲛当年幼鱼的 Von Bertalanffy 生长方

程及其生长参数的年代际波动, 并提出其生长加快的趋势。近年来随着气候变化、捕捞作业方式和捕捞管理策略的改变, 蓝点马鲛年龄结构、生长和繁殖生物学特性发生了变化, 小型化和低龄化趋势不断加剧<sup>[2, 13]</sup>, 为了解蓝点马鲛补充群体现状, 有必要对其年龄和生长等基础生物学进行深入的研究。

通过耳石微结构可以推算鱼类的孵化日期, 基于体长和日龄的关系可以建立起鱼类的生长模型。耳石微结构分析越来越多的用于仔稚鱼及幼鱼<sup>[14-18]</sup>。本文利用 2016 年和 2017 年在黄、渤海近海采集的蓝点马鲛幼鱼样本, 通过耳石微结构分析, 推算蓝点马鲛幼鱼<sup>[14-18]</sup>的日龄和孵化日期, 建立生长方程, 进而研究其生长规律, 以期为研究蓝点马鲛生物学及补充群体的保护和管理提供参考。

收稿日期: 2019-02-28; 修订日期: 2019-05-15。

基金项目: 中央高校基本科研业务费 (201562030); 蓝色粮仓重点专项 (2018YFD0900902); 国家自然科学基金面上项目 (41876177)。

作者简介: 朱庆环 (1993—), 男, 山东省泰安市人, 主要从事渔业资源生物学研究。E-mail: zhuqh1993@126.com

\* 通信作者: 田永军, 男, 教授, 主要从事渔业海洋学研究。E-mail: yjtian@ouc.edu.cn

## 2 材料与方 法

### 2.1 样本采集和处理

本研究于 2016 年 9–10 月和 2017 年 8–10 月在莱州、威海、青岛、吕四近海从商业刺网及拖网调查的渔获物中获取蓝点马鲛幼鱼 (young-of-the-year, YOY)。其中莱州样本来自海区 37.0°~38.5°N, 119°~121°E; 威海样本来自海区 36.5°~38.0°N, 121.5°~123.0°E; 青岛样本来自海区 35.5°~37.0°N, 119.5°~121.5°E; 吕四样本来自海区 32°~34°N, 120.5°~122.5°E (图 1)。样本冰冻保存后运回实验室。

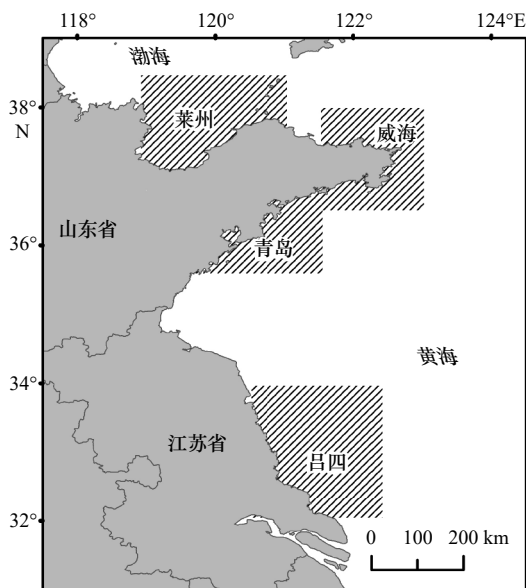


图 1 蓝点马鲛幼鱼的采样位置示意图

Fig. 1 Sampling locations of YOY *Scomberomorus niphonius*

在实验室将蓝点马鲛幼鱼样本解冻, 参照《海洋调查规范. 海洋生物调查》(GB/T 12763.6–2007) 进行生物学测定, 包括叉长 (Fork Length, FL)、体质量 (Body Weight, BW)、摄食强度及性腺成熟度等。叉长和体质量的测定分别精确到 1 mm 和 0.1 g。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 耳石处理

摘取矢耳石清洁干燥, 置于 2 mL 离心管保存, 选取右耳石, 使用调配好的树脂于圆筒形模具中进行包裹。待硬化后, 沿着经过耳石原基的横截面方向进行切割, 获得厚度为 800  $\mu\text{m}$  的横截面切片, 使用热熔胶将其固定于载玻片。依次利用 400 目、800 目和 1 200 目的防水砂纸研磨, 直至耳石原基可见, 利用 0.3  $\mu\text{m}$  氧化铝水绒布抛光。切片进行双面研磨和抛光, 以获得清晰的耳石微结构。

#### 2.2.2 日龄和孵化日期

蓝点马鲛耳石轮纹形成的日周期性和第 1 日轮 (初次摄食标记轮) 形成的时间已经得到确认<sup>[19–20]</sup>, 本实验将第 1 日轮形成时间定为第 5 日龄, 蓝点马鲛幼鱼日龄以耳石日轮数加 4 计算, 孵化日期则由捕捞日期减去日龄确定。本实验将第 1 日轮形成时间定为第 5 日龄, 蓝点马鲛幼鱼日龄 (Daily age, D) 以耳石日轮数加 4 计算, 孵化日期则由捕捞日期减去日龄确定。

#### 2.2.3 生长轮纹读取

在 Olympus BX53 显微镜 (物镜  $\times 20$ , 目镜  $\times 10$ ) 下采用透射光观察耳石切片, 调整焦距和亮度, 使用 CCD 拍摄耳石横截面的全景图像。利用 ImageJ 软件分析耳石横截面微结构图像, 沿着腹侧日轮最清晰的生长轴从第 1 日轮到近端面边缘进行计数, 部分不清晰的生长轮纹数由邻近区域的生长轮纹数推算。每一样本由同一观察者进行 3 次独立计数<sup>[21]</sup>, 时间间隔至少 1 个月, 若几次计数的结果误差在 10% 以内则取其平均值, 否则样本被摒弃。

#### 2.2.4 环境数据获取

根据 NOAA AVHRR 资料, 建立莱州、威海、青岛和吕四近海 (图 1) 2016 年和 2017 年的日平均海水表面温度数据集, 获取蓝点马鲛孵化期的平均海水表面温度。

### 2.3 统计分析

#### 2.3.1 生长模型

本文采用以下几种备选生长模型拟合蓝点马鲛幼鱼的生长:

线性生长模型:

$$Y_t = a + bt, \quad (1)$$

指数生长模型:

$$Y_t = ae^{bt}, \quad (2)$$

对数生长方程:

$$Y_t = a \ln(t) + b, \quad (3)$$

幂函数生长模型:

$$Y_t = at^b \quad (4)$$

Logistic 生长模型:

$$Y_t = \frac{Y_\infty}{1 + e^{-k(t-t_0)}}, \quad (5)$$

Gompertz 生长模型:

$$Y_t = Y_0 e^{h(1 - e^{-gt})}, \quad (6)$$

Von Bertalanffy 生长模型:

$$Y_t = Y_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}], \quad (7)$$

式中,  $Y_t$  为叉长 (或体质量), 单位为 mm (或 g);  $t$  为日龄, 单位为 d;  $k$  为相对生长速率的参数;  $Y_\infty$  表示渐近

叉长(或体质量);  $t_0$  表示鱼类叉长(或体质量)为 0 时的理论日龄;  $a$ 、 $b$ 、 $h$ 、 $g$  为常数。

应用相关指数(即拟合度,  $R^2$ )和赤池信息准则(Akaike Information Criterion, AIC)选择最适模型,  $R^2$  越大、AIC 值越小表示模型的拟合效果越好。AIC 值计算公式为

$$AIC = n \ln(RSS/n) + 2k, \quad (8)$$

式中,  $n$  为样本数;  $RSS$  为残差平方和;  $k$  为模型中参数个数。

### 2.3.2 生长率

采用绝对生长率(Absolute Growth Rate, AGR)和特定生长率(Specific Growth Rate, SGR)<sup>[22-25]</sup>来分析蓝点马鲛幼鱼的生长, 其计算方程分别为

$$AGR = \frac{Y_2 - Y_1}{t_2 - t_1}, \quad (9)$$

$$SGR = \frac{\ln(Y_2) - \ln(Y_1)}{t_2 - t_1} \times 100, \quad (10)$$

式中,  $Y_2$  为  $t_2$  时叉长(或体质量);  $Y_1$  为  $t_1$  时叉长(或体质量); SGR 代表每日生长率百分比, SGR 单位为 %/d; AGR 单位为 mm/d 或 g/d。本研究采用的时间间隔为 10 d。

### 2.3.3 数据分析

采用相关分析检验叉长(体质量)与日龄之间的关系, 显著性水平  $P=0.01$ 。数据采用 Excel2016 软件进行分析, 生长模型和生长率用 OriginPro9.0 进行分析。

## 3 结果

### 3.1 耳石微结构

矢耳石横截面中心为一暗色的耳石原基, 所有耳

石均只有一个原基, 自第一日轮开始的明暗相间的环纹即为日生长轮, 暗带的形成定义为日轮沉积的标志。从原基到耳石边缘依次为核心区、不透明区和透明区。核心区内日轮由圆形逐渐变为椭圆形, 轮纹间距逐渐增大; 不透明区颜色较暗, 生长轮相对较宽; 透明区主要沿背腹轴和内侧面方向继续沉积, 日轮相对较窄, 宽度多变(图 2)。

### 3.2 日龄和孵化日期

实验获得了 215 尾蓝点马鲛幼鱼的耳石日龄数据, 日龄范围为 64~151 d, 平均日龄为  $(98.0 \pm 23.1)$  d, 优势日龄组为 71~90 d, 占总体的 55%, 日龄最小的为 64 d, 叉长 197 mm, 体质量 63.0 g, 最大的 151 d, 叉长 452 mm, 体质量 706.1 g(表 1, 表 2)。推定的孵化日期为 2016 年 5 月 8 日至 6 月 15 日以及 2017 年 5 月 3 日至 6 月 10 日。两年的平均孵化高峰期为 5 月 20 日至 6 月 3 日, 平均孵化日期在 4 个采样区域间呈由南向北依次推迟趋势(表 1)。平均孵化期显示出 2017 年早于 2016 年( $P<0.01$ ), 孵化时海水表面温度平均为  $17.3^\circ\text{C}$ , 两年间没有显著差异( $P>0.05$ , 图 3)。

### 3.3 生长模型

相关分析表明, 叉长与日龄存在显著相关性( $r=0.893$ ,  $P<0.01$ )。对比备选生长模型(表 3), Logistic 生长模型的 AIC 值最小且  $R^2$  最大, 叉长与日龄的关系符合 Logistic 生长模型(图 4), 渐近叉长  $FL_\infty$  为 439.7 mm, 其关系式为

$$FL = \frac{439.700}{1 + e^{-0.035(D-74.324)}} \quad (R^2 = 0.812, n = 215). \quad (11)$$

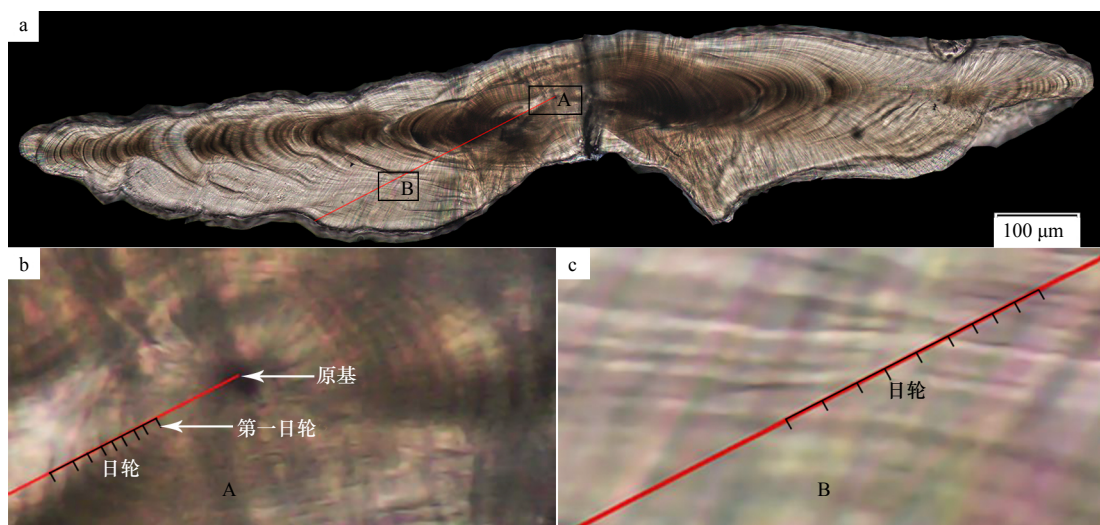


图 2 蓝点马鲛幼鱼矢耳石横截面微结构(红线表示日轮计数轴)

Fig. 2 Microstructure of transverse section of sagittal otolith from YOY *Scomberomorus niphonius* (red line indicates the counting axis)

a. 由原基到边缘日轮计数的路径; b. 核心区域日轮结构; c. B 区域日轮结构

a. Increment measurement route from primordium to edge; b. daily increment in core area; c. daily increment in B-area

表 1 各采样区域蓝点马鲛幼鱼的叉长、体质量、日龄和孵化日期

Table 1 Fork length, body weight, daily age and calculated hatching date of YOY *Scomberomorus niphonius* in each sampling region

采样时间	区域	样本	叉长/mm		体质量/g		日龄/d		推定的孵化日期	
2017年8月	莱州	33	245.2±23.8	197~339*	109.23±37.77	49.9~279.0*	80.6±5.8	67~93*	2017-05-25±6.4	2017-05-12至2016-06-10*
2017年8月	威海	67	414.1±23.1	213~378*	132.48±64.46	59.4~407.8*	79.3±5.1	71~98*	2017-05-25±5.3	2017-05-07至2017-06-03*
2017年8月	青岛	28	230.3±28.7	179~277*	97.95±35.20	41.6~155.7*	86.1±5.2	77~101*	2017-05-21±5.2	2017-05-07至2017-05-31*
2017年9月	吕四	21	397.3±32.1	355~452*	483.18±114.29	335.9~706.1*	139.9±5.5	133~154*	2017-05-17±5.5	2017-05-03至2017-05-24*
2016年9月	威海	23	300.5±18.0	263~335*	238.39±35.41	152.8~296.7*	92.0±5.1	80~101*	2016-06-01±5.1	2016-05-24至2016-06-14*
2016年9月	青岛	23	414.1±22.6	377~483*	600.96±87.46	476.0~842.0*	128.0±7.7	111~149*	2016-05-28±7.7	2016-05-08至2016-06-15*
2016年10月	吕四	20	345.7±21.8	302~382*	323.84±58.00	221.9~443.7*	135.0±9.9	117~148*	2016-05-28±9.9	2016-05-15至2016-06-15*

注: \* 表示叉长、体质量和孵化日期的范围。

表 2 黄、渤海蓝点马鲛幼鱼日龄组成

Table 2 Age composition of YOY *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea

日龄范围/d	样本数	叉长/mm		体质量/g	
		范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差
61~70	2	197~203	200.0±4.2	49.9~63.0	56.43±9.25
71~80	52	179~281	236.5±19.2	41.6~101.82	101.82±28.20
81~90	67	184~339	249.7±30.1	48.5~288.1	123.51±51.90
91~100	25	236~342	301.6±24.4	97.4~333.5	230.08±55.14
101~110	6	265~390	317.5±53.3	161.2~485.0	283.53±131.85
111~120	8	302~413	367.3±40.6	248.7~676.0	449.16±147.25
121~130	19	330~432	396.9±32.0	289.9~693.0	521.42±130.97
131~140	28	312~435	381.8±35.7	221.9~712.0	441.87±134.43
141~150	7	321~483	395.7±57.3	269.3~842.0	483.09±201.98
151~160	1	452~452	452	706.1~706.1	706.1

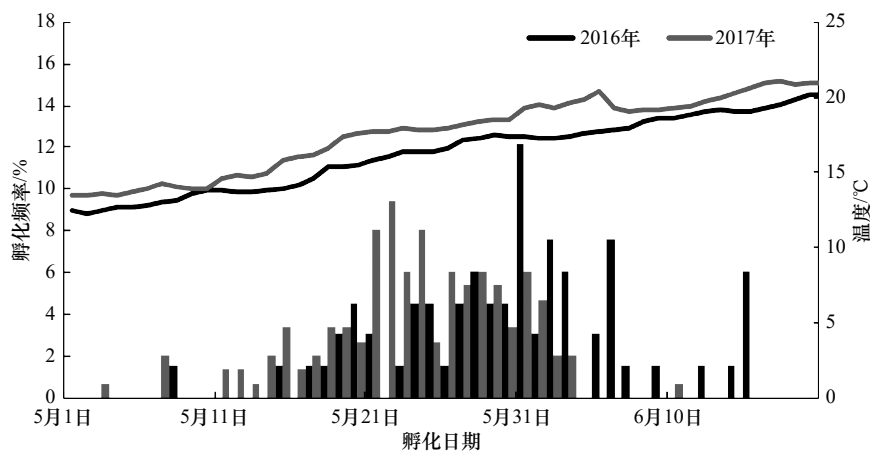


图 3 黄、渤海蓝点马鲛幼鱼孵化日期频率分布直方图及其对应的海水表面温度变化曲线

Fig. 3 Frequency distribution histogram of calculated hatching date of YOY *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea and its corresponding change curve of sea surface temperature

表3 黄、渤海蓝点马鲛幼鱼叉长生长模型的参数与 AIC 的比较

Table 3 The comparison of  $R^2$  and AIC of FL growth of YOY *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea

模型Model	$Y_{\infty}/Y_0$	$a/k/h$	$b/t_0/g$	$R^2$	AIC	$\Delta AIC$
线性	/	25.530	2.742	0.797	1 491.889	14.138
指数	/	125.692	0.008	0.780	1 509.464	31.713
对数	/	-1 014.379	287.007	0.805	1 482.361	4.610
幂函数	/	4.524	0.911	0.799	1 490.632	12.880
Von Bertalanffy	533.469	0.013	33.907	0.808	1 482.444	4.694
Logistic	439.700	0.035	74.324	0.812	1 477.751	0
Gompertz	132.403	0.030	-0.280	0.780	1 511.464	33.713

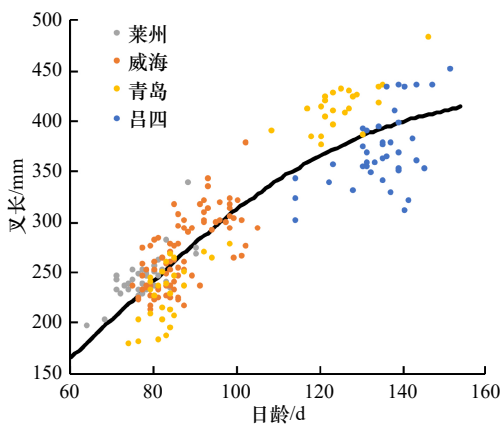


图4 黄、渤海蓝点马鲛幼鱼叉长与日龄的关系

Fig. 4 The relationship of FL and daily age of YOY *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea

相关分析表明,体质量与日龄存在极显著相关性 ( $r=0.856, P<0.01$ )。研究发现(表4), Logistic 生长模型的 AIC 最小且  $R^2$  最大,体质量与日龄的关系符合 Logistic 生长模型(图5),渐近体质量  $BW_{\infty}$  为 506.6 g,其关系式为

$$BW = \frac{506.649}{1 + e^{-0.081(D-97.102)}} \quad (R^2 = 0.759, n = 215). \quad (12)$$

### 3.4 生长率

叉长平均绝对生长率和特定生长率分别为 2.45 mm/d 和 0.85 %/d,最大绝对生长率(5.20 mm/d)和最大特定生长率(1.89 %/d)出现在 91~100 d,整体来看,绝对生长率和特定生长率随着日龄增大微弱减小,但变化不明显。体质量平均绝对生长率和特定生长率分别为 5.33 g/d 和 2.68 %/d,最大绝对生长率(16.56 g/d)和最大特定生长率(6.22 %/d)分别出现在 111~120 d 和 91~100 d,整体上,绝对生长率随日龄增大先增大后减小,特定生长率随着日龄增大而减小(图6,图7)。

## 4 分析与讨论

耳石的形态变化和鱼体形态发育特征存在对应关系,刘志远等<sup>[26]</sup>根据大黄鱼(*Larimichthys crocea*)仔稚鱼不同发育阶段矢耳石形态发育和微结构特征,反演了大黄鱼早期生活史阶段的生长发育特征。蓝点马鲛卵黄囊期、前弯曲期的矢耳石形态最初近似圆

表4 黄、渤海蓝点马鲛幼鱼体质量生长模型的参数与 AIC 的比较

Table 4 The comparison of  $R^2$  and AIC of BW growth model of YOY *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea

模型	$Y_{\infty}/Y_0$	$a/k/h$	$b/t_0/g$	$R^2$	AIC	$\Delta AIC$
线性	/	-428.523	6.797	0.732	1 959.426	19.548
指数	/	23.352	0.022	0.682	1 997.005	57.127
对数	/	-2 996.272	709.264	0.735	1 956.689	16.811
幂函数	/	0.002	2.495	0.708	1 978.685	38.807
Von Bertalanffy	1 066.149	0.009	67.709	0.738	1 957.504	17.626
Logistic	506.649	0.081	97.102	0.759	1 939.878	0
Gompertz	25.258	0.046	-0.490	0.682	1 999.005	59.127

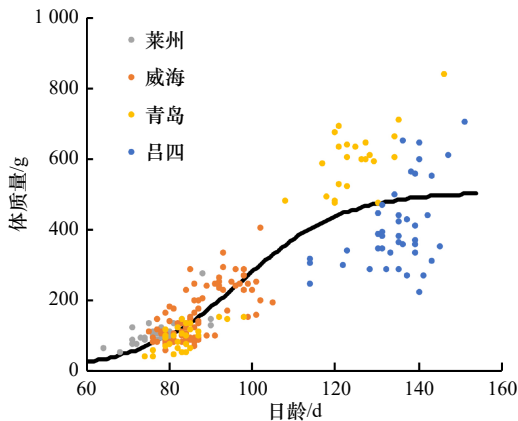


图 5 黄、渤海蓝点马鲛幼鱼体质量与日龄的关系

Fig. 5 The relationship of BW and daily age of YOY

*Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea

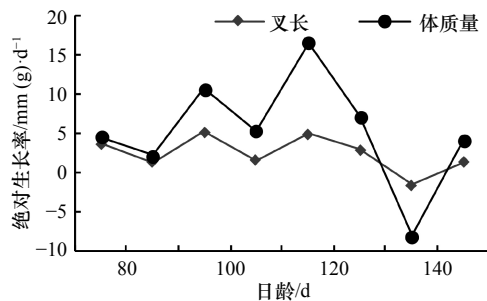


图 6 黄、渤海蓝点马鲛幼鱼叉长及体质量的绝对生长率

Fig. 6 AGR of FL and BW of YOY *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea

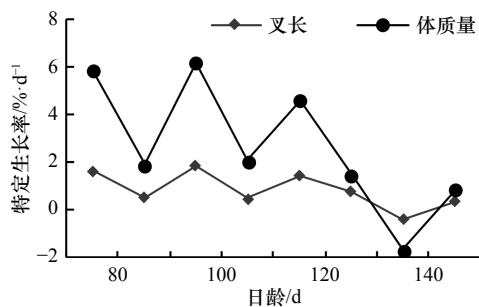


图 7 黄、渤海蓝点马鲛幼鱼叉长及体质量的特定生长率

Fig. 7 SGR of FL and BW of YOY *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea

形,随后前后方向拉伸逐渐变为椭圆形,幼鱼和成鱼耳石形状相对固定。对于较高日龄的幼鱼,耳石横向的或斜向的截面最适合显示矢状耳石的生长模型<sup>[27-28]</sup>。耳石和鱼体生长具有一定的协同性<sup>[29-30]</sup>,日轮宽度通常可以用作生长的代表,反映个体生长史<sup>[31]</sup>。从核心至耳石边缘,蓝点马鲛幼鱼耳石日轮呈现出先增宽后变窄的趋势。

产卵期和孵化期的迟早主要是以水温为转移<sup>[32-33]</sup>,

导致了物候现象的纬度差异和年际波动,4个区域的蓝点马鲛产卵期的差异反映了各地春季海水升温的迟早。两个年份之间进行比较,2017年春季升温较快,平均孵化时间较2016年提前约1周。本研究发现蓝点马鲛的平均孵化时间对应的海水表面温度为17.3℃,这与姜屹倩等<sup>[34]</sup>报道的蓝点马鲛胚胎发育的最适水温范围(15~21℃)相吻合。蓝点马鲛的产卵和孵化与其饵料生物有着密切联系。蓝点马鲛鱼卵仔稚鱼阶段的死亡率极高(一般超过95%),快速的生长有利于缩短仔稚鱼阶段的持续时间<sup>[10,20,35]</sup>。日本鳀(*Engraulis japonicus*)、斑鰹(*Konosirus punctatus*)等鲱形目(Clupeiformes)鱼类在5月中、下旬进入产卵期,为蓝点马鲛仔稚鱼提供了饵料生物环境<sup>[9,33,36]</sup>。本文通过耳石日轮计数推定蓝点马鲛孵化高峰期为5月下旬至6月初,该时间适宜的温度和丰富的食物条件有利于蓝点马鲛仔稚鱼的积极觅食和快速生长,利于提高存活率<sup>[37]</sup>。

蓝点马鲛幼鱼的生长受饵料、温度、光照、盐度、溶解氧等方面的影响,不同地理区域、性别、生长发育阶段所适合的生长方程也有差异。在本文所研究的4个海区,蓝点马鲛幼鱼的生长模式呈现出一定的差异,以所有样本的平均生长曲线为基准,吕四近海的幼鱼生长较慢,在60~100日龄区间,青岛近海的幼鱼个体生长较慢,120日龄后,个体生长高于平均生长(图4,图5)。不同海域间蓝点马鲛幼鱼生长的差异可能是由食物条件的差异引起的。北黄海和渤海比南黄海具有更高的磷酸盐浓度<sup>[38]</sup>,夏季山东半岛南岸近海初级生产力高于黄海南部近海海域<sup>[39]</sup>。因此相较于吕泗海域,山东近海的3个采样地浮游动植物饵料条件更加优越,通过食物链和食物网作用于蓝点马鲛的生长。本研究中蓝点马鲛幼鱼性腺成熟度均为I期,不能分辨雌雄。在幼鱼阶段,随着日龄增大,蓝点马鲛的叉长生长减慢,体质量的主要生长期在120日龄前(图5至图7)。

一般在拟合鱼类早期生长时,Gompertz模型使用较多,宋超<sup>[10]</sup>发现蓝点马鲛仔稚鱼叉长和日龄比较符合指数模型或Gompertz模型。基于蓝点马鲛叉长-体质量的匀速生长,牟秀霞等<sup>[13]</sup>采用Von Bertalanffy模型描述成鱼的生长规律。本研究发现,蓝点马鲛幼鱼叉长和体质量均适合Logistic生长模型。Logistic模型不仅适用于鱼类整个生命周期的生长,而且能够描述对应于季节性温度变化的阶段性生长,尤其适用于描述鱼类体质量的“S型”(图4)生长特征<sup>[24]</sup>。

邱盛尧等<sup>[40]</sup>将蓝点马鲛资源开发利用划分为

4个阶段,即原始阶段(1962年以前)、发展阶段(1962–1976年)、充分利用阶段(1977–1989年)和过度利用阶段(1990年以后),这4个阶段对应的蓝点马鲛幼鱼生长至9月下旬时平均叉长分别为169 mm、174 mm、322 mm和362 mm。本研究发现蓝点马鲛幼鱼9月下旬时平均叉长可达400 mm,早期生长较以往进一步加快。据报道野生蓝点马鲛初孵仔鱼培育20~25 d就能得到全长50 mm以上的蓝点马鲛鱼苗<sup>[41]</sup>,表现出巨大的生长潜力。在本研究所取的幼鱼阶段(2~5月龄),蓝点马鲛叉长日平均绝对生长率为2.45 mm/d,比大多数野生海洋鱼类生长更快。在日龄为131~140 d

发现了叉长和体质量的负增长,可能是采样地的差异造成的,该日龄组的蓝点马鲛幼鱼样本大多数(89%)来自吕四近海(图4,图5)。

捕捞强度的增加和竞争种(其他高营养级捕食者)的资源衰退,促进了蓝点马鲛生长的加快<sup>[12]</sup>。全球变暖背景下,温度升高也有利于蓝点马鲛早期生长加快<sup>[10,42]</sup>,这也可能是幼鱼生长速率发生年代际变化的原因<sup>[43–44]</sup>。捕捞进化、气候环境变化的影响以及个体发育特征,可能是今后深入研究蓝点马鲛生长需要进一步探讨的重要因素。

### 参考文献:

- [1] 陈大刚,张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015: 1887–1889.  
Chen Dagang, Zhang Meizhao. Marine Fishes of China[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2015: 1887–1889.
- [2] 孙本晓. 黄渤海蓝点马鲛资源现状及其保护[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.  
Sun Benxiao. The current situation and conservation of *Scomberomorus niphonius* in Yellow Sea and Bohai Bay[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.
- [3] 张秋华,程家骅,徐汉祥,等. 东海区渔业资源及其可持续利用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2007: 267–271.  
Zhang Qiuhua, Cheng Jiahua, Xu Hanxiang, et al. Utilizing to the Fisheries Resources in the East China Sea and Yellow Sea[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007: 267–271.
- [4] Higgins R M, Diogo H, Isidro E J. Modelling growth in fish with complex life histories[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2015, 25(3): 449–462.
- [5] van Poorten B T, Walters C J. How can bioenergetics help us predict changes in fish growth patterns?[J]. *Fisheries Research*, 2016, 180: 23–30.
- [6] Bradford M J, Cabana G. Interannual variability in stage-specific survival rates and the causes of recruitment variation[M]//Chambers R C, Trippel E A. Early Life History and Recruitment in Fish Populations. Dordrecht: Springer, 1997: 469–493.
- [7] Campana S E. Year-class strength and growth rate in young Atlantic cod *Gadus morhua*[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 135: 21–26.
- [8] Watanabe Y, Zenitani H, Kimura R. Population decline off the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, 52(8): 1609–1616.
- [9] 沙学绅,何桂芬,张孝威. 蓝点马鲛卵子和仔、稚鱼形态特征的观察[J]. 海洋与湖沼, 1966, 8(1): 1–12.  
Sha Xueshen, He Guifen, Zhang Xiaowei. A description of the morphological characters of the eggs and larvae of the blue spotted mackerel, *Scomberomorus niphonius* (Cuvier & Valenciennes)[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1966, 8(1): 1–12.
- [10] 宋超. 象山港蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼的分布与生长研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.  
Song Chao. The distribution of *Scomberomorus niphonius* eggs, larvae and juveniles and the growth of its early life stage in Xiangshan Bay[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [11] 刘蝉馨,张旭,杨开文. 黄海和渤海蓝点马鲛生长的研究[J]. 海洋与湖沼, 1982, 13(2): 170–178.  
Liu Chanxin, Zhang Xu, Yang Kaiwen. Studies on the growth of Spanish mackerel, *Scomberomorus niphonius* in the Huanghai Sea and Bohai Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1982, 13(2): 170–178.
- [12] 邱盛尧,叶懋中. 黄渤海蓝点马鲛当年幼鱼的生长特性[J]. 水产学报, 1993, 17(1): 14–23.  
Qiu Shengyao, Ye Maozhong. The characteristics of growth for Spanish mackerel underyearling in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1993, 17(1): 14–23.
- [13] 牟秀霞,张弛,张崇良,等. 黄渤海蓝点马鲛繁殖群体渔业生物学特征研究[J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1308–1316.  
Mu Xiuxia, Zhang Chi, Zhang Chongliang, et al. The fisheries biology of the spawning stock of *Scomberomorus niphonius* in the Bohai and Yellow Seas[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(6): 1308–1316.
- [14] 窦硕增. 鱼类的耳石信息分析及生活史重建——理论、方法与应用[J]. 海洋科学集刊, 2007(48): 93–113.  
Dou Shuozeng. An introduction to fish otolith research: techniques and applications[J]. *Studia Marina Sinica*, 2007(48): 93–113.
- [15] Hwang S D, Lee T W. Spawning dates and early growth of chub mackerel *Scomber japonicus* as indicated by otolith microstructure of juveniles in the inshore nursery ground[J]. *Fisheries Science*, 2005, 71(5): 1185–1187.
- [16] Berg F, Husebø Å, Godiksen J A, et al. Spawning time of Atlantic herring (*Clupea harengus*) populations within a restricted area reflects their otolith growth at the larval stage[J]. *Fisheries Research*, 2017, 194: 68–75.

- [17] Baumann H, Hinrichsen H H, Voss R, et al. Linking growth to environmental histories in central Baltic young-of-the-year sprat, *Sprattus sprattus*: an approach based on otolith microstructure analysis and hydrodynamic modelling[J]. *Fisheries Oceanography*, 2006, 15(6): 465–476.
- [18] 花传祥, 高玉珍, 朱清澄, 等. 基于耳石微结构的西北太平洋秋刀鱼(*Cololabis saira*)年龄与生长研究[J]. *海洋学报*, 2017, 39(10): 46–53.  
Hua Chuanxiang, Gao Yuzhen, Zhu Qingcheng, et al. Age and growth of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the northwest Pacific Ocean based on statolith microstructure[J]. *Haiyang Xuebao*, 2017, 39(10): 46–53.
- [19] Kono N, Takahashi M, Shima Y. Time of formation of incremental and discontinuous zones on sagittal otoliths of larval Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius*[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2014, 80(1): 21–26.
- [20] Shoji J, Tanaka M. Growth-selective survival in piscivorous larvae of Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius*: early selection and significance of ichthyoplankton prey supply[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 321: 245–254.
- [21] Campana S E. Interactive effects of age and environmental modifiers on the production of daily growth increments in otoliths of plainfin midshipman, *Porichthys notatus*[J]. *Fishery Bulletin*, 1984, 82(1): 165–177.
- [22] Arkhipkin A, Mikheev A. Age and growth of the squid *Sthenoteuthis peropus* (Oegopsida: Ommastrephidae) from the Central-East Atlantic[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1992, 163(2): 261–276.
- [23] Forsythe J W, van Heukelem W F. Growth[M]//Boyle P R. Cephalopod Life Cycles. London: Academic Press, 1987: 1–441.
- [24] Lugert V, Thaller G, Tetens J, et al. A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2016, 8(1): 30–42.
- [25] Gamito, S. Growth models and their use in ecological modelling: an application to a fish population[J]. *Ecological modelling*, 1998, 113(1/3): 83–94.
- [26] 刘志远, 李圣法, 徐献明, 等. 大黄鱼仔稚鱼不同发育阶段矢耳石形态发育和微结构特征[J]. *中国水产科学*, 2012, 19(5): 863–871.  
Liu Zhiyuan, Li Shengfa, Xu Xianming, et al. Morphological development and microstructure of sagittal otolith of large yellow croaker, *Larimichthys crocea* during larval and early juvenile stages[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(5): 863–871.
- [27] 裘海雅, 徐东坡, 施炜纲. 鱼类耳石与年龄关系的研究进展[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2009, 28(3): 331–337, 374.  
Qiu Haiya, Xu Dongpo, Shi Weigang. A review of the relationship between fish otolith and age[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2009, 28(3): 331–337, 374.
- [28] Rey J, Fernández-Peralta L, García A, et al. Otolith microstructure analysis reveals differentiated growth histories in sympatric black hakes (*Merluccius polli* and *Merluccius senegalensis*)[J]. *Fisheries Research*, 2016, 179: 280–290.
- [29] Campana S E. Microstructural growth patterns in the otoliths of larval and juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*[J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1984, 62(8): 1507–1512.
- [30] Modin J, Fagerholm B, Gunnarsson B, et al. Changes in otolith microstructure at metamorphosis of plaice, *Pleuronectes platessa* L[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1996, 53(4): 745–748.
- [31] Hall A E, Vitale L, Kingsford M J. Planktonic larval duration, early growth, and the influence of dietary input on the otolith microstructure of *Scolopsis bilineatus* (Nemipteridae)[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2019, 102(4): 541–552.
- [32] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 116–120.  
Chen Xinjun. *Fishery Resources and Fisheries*[M]. Beijing: China Ocean Press, 2004: 116–120.
- [33] 韦晟. 蓝点马鲛在黄、渤海的渔场、渔期与环境的关系[J]. *海洋湖沼通报*, 1980(2): 34–40.  
Wei Sheng. The fishing seasons and grounds of the blue spotted mackerel, *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai in relation to environmental factors[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1980(2): 34–40.
- [34] 姜屹倩, 樊艳楠, 郑春静, 等. 温度对蓝点马鲛胚胎发育的影响[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2016, 35(4): 271–275.  
Jiang Yiqian, Fan Yannan, Zheng Chunjing, et al. The effect of temperature on embryonic development of *Scomberomorus niphonius*[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2016, 35(4): 271–275.
- [35] Shoji J, Tanaka M. Effect of prey concentration on growth of piscivorous Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* larvae in the Seto Inland Sea, Japan[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2004, 20(4): 271–275.
- [36] Shoji J, Maehara T, Tanaka M. Short-term occurrence and rapid growth of Spanish mackerel larvae in the central waters of the Seto Inland Sea, Japan[J]. *Fisheries Science*, 1999, 65(1): 68–72.
- [37] Burrow J F, Horwood J W, Pitchford J W. The importance of variable timing and abundance of prey for fish larval recruitment[J]. *Journal of Plankton Research*, 2011, 33(8): 1153–1162.
- [38] 王文涛. 中国东海、黄海和渤海微表层营养盐分布及富集研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.  
Wang Wentao. Study on the distribution and enrichment of nutrients in the sea-surface microlayer of the East China Sea, the Yellow Sea and the Bohai Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [39] 文斐, 孙晓霞, 郑珊, 等. 2011年春、夏季黄、东海叶绿素a和初级生产力的时空变化特征[J]. *海洋与湖沼*, 2012, 43(3): 438–444.  
Wen Fei, Sun Xiaoxia, Zheng Shan, et al. Spatial and seasonal variations of chlorophyll a and primary productivity in spring and summer in the Yellow Sea and East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(3): 438–444.
- [40] 邱盛尧, 李登来, 徐彬. 论我国渔业管理对黄渤海蓝点马鲛资源的贡献[J]. *齐鲁渔业*, 2007, 24(3): 39–42.



- Qiu Shengyao, Li Denglai, Xu Bin. Discussion on the contribution of fishery management in China to the resources of *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. *Shandong Fisheries*, 2007, 24(3): 39–42.
- [41] 郑春静, 朱民军, 徐凡土, 等. 野生蓝点马鲛鱼人工育苗初步研究[J]. *河北渔业*, 2008(12): 15–16.  
Zheng Chunjing, Zhu Minjun, Xu Fantu, et al. Preliminary study on artificial breeding of wild *Scomberomorus niphonius*[J]. *Hebei Fisheries*, 2008(12): 15–16.
- [42] Shoji J, Tanaka M. Distribution, feeding condition, and growth of Japanese Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) larvae in the Seto Inland Sea[J]. *Fishery Bulletin*, 2005, 103(2): 371–379.
- [43] Barrow J, Ford J, Day R, et al. Environmental drivers of growth and predicted effects of climate change on a commercially important fish, *Platycephalus laevis*[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2018, 598: 201–212.
- [44] Holt R E, Jørgensen C. Climate change in fish: effects of respiratory constraints on optimal life history and behaviour[J]. *Biology Letters*, 2015, 11(2): 20141032.

## Daily age and growth of young-of-the-year *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea based on otolith microstructure

Zhu Qinghuan<sup>1</sup>, Tian Yongjun<sup>1</sup>, Zhang Chi<sup>1</sup>, Ye Zhenjiang<sup>1</sup>, Xu Binduo<sup>1</sup>

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** The growth of fish is an important factor affecting the stock biomass. Studying the pattern of fish growth underpins fish stock assessment. This study was conducted based on otolith microstructure analysis of young-of-the-year (YOY) *Scomberomorus niphonius* collected from September to October in 2016 and August to October in 2017 from the Yellow Sea and Bohai Sea. The hatching dates were determined for each individual. The growth models were established and the growth rates were calculated. The results showed that the age range of YOY *S. niphonius* was 64–151 d. The hatching dates fell between 3 May and 15 June, with a peak between 20 May and 3 June. The Logistic model gave the best fit to growth of fork length and body weight. The average absolute growth rate and specific growth rate of the fork length were 2.45 mm/d and 0.85 %/d, respectively. The growth rate decreased slightly with the increase of age. The average absolute growth rate and specific growth rate of body weight were 5.33 g/d and 2.68%/d, respectively. The maximum absolute growth rate and maximum specific growth rate occurred at 111–120 d and 91–100 d, respectively. The results of this study showed that the growth of YOY *S. niphonius* varied with age, and the early growth of the *S. niphonius* accelerated further than before.

**Key words:** Japanese Spanish mackerel; young-of-the-year; otolith microstructure; daily age; growth; Yellow Sea; Bohai Sea