

文章编号: 1674-5566(2024)04-0859-09

DOI: 10.12024/jsou.20240404523

## 基于几何形态测量的西北太平洋日本鲭的个体生长规律

杨德道<sup>1</sup>, 俞骏<sup>1</sup>, 王超<sup>1</sup>, 方舟<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 上海海洋大学海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 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可持续利用重点实验室, 上海 201306)

**摘要:** 为探究西北太平洋海域日本鲭的个体生长规律, 利用基于地标点的几何形态测量方法对2021—2022年“淞航”号调查船在西北太平洋海域采集的210尾日本鲭样本进行形态学分析。与其他方法相比, 利用地标点方法能够有效揭示鱼体表型多样性, 反映不同阶段鱼体的变化情况, 揭示其个体生长规律。结果发现不同叉长组的日本鲭的外部形态存在显著差异。主成分分析和多元回归分析均显示, 叉长组越小的个体, 其分区越明显, 3个叉长组间的分区位置存在重叠, 不同叉长组具有相同的生长模式, 日本鲭形态生长速率随叉长的增加而逐渐减小。薄板样条变形网格结果表明, 叉长越小的日本鲭个体, 其腹部, 尾部越小, 日本鲭的外部形态随着叉长的改变而发生变化。结论认为, 西北太平洋日本鲭生长形态随着叉长的增加而逐渐发生改变。

**关键词:** 几何形态测量; 西北太平洋; 日本鲭; 生长规律

**中图分类号:** S 917.4 **文献标志码:** A

日本鲭 (*Scomber japonicus*) 隶属鲭形目 (Scombriformes) 鲭科 (Scombridae) 鲭属 (*Scomber*), 系中上层暖水性洄游鱼类, 主要分布于印度洋、太平洋和大西洋等海域<sup>[1-2]</sup>。在太平洋海域, 日本鲭主要分布在我国沿海、日本、韩国、朝鲜等地<sup>[3]</sup>。由于日本鲭资源量丰富且具有较好的食用价值, 一直都是中日韩等国的重要捕捞对象<sup>[4-5]</sup>。20世纪80年代以来, 随着日本鲭捕捞压力增大, 其出现了个体低龄化、小型化的特点, 资源量衰退严重<sup>[6]</sup>。日本鲭个体在不同的生长阶段, 或受到外部环境等其他因素的影响, 鱼体形态随之发生改变, 因此, 通过日本鲭形态变化探究其个体生长规律显得尤为重要。

传统形态测量法通过基于生物体两点间的线性尺寸来描述样本形态, 但其缺乏特征点, 并不能很好地描述个体间的形态变化过程与规律<sup>[7]</sup>, 几何形态测量学 (Geometric morphometrics, GM) 很好地解决了这一问题。

“地标点”方法作为描述外部形态变化的重要方法之一, 它将生物个体的二维图片数据利用“地标点”建立有关坐标, 通过坐标的形式描述物体的大小与形状, 进而提取生物体的形态特征与信息, 更好地反映物种的形态规律<sup>[8-11]</sup>。目前对于鱼类的几何形态测量方法, 常利用鳞片<sup>[12]</sup>、耳石<sup>[13]</sup>、躯体<sup>[14]</sup>等材料进行种群的判别分析以及形态变化研究<sup>[15]</sup>, 对于日本鲭而言, 已有利用几何形态测量方法对其耳石形状等方面的相关研究<sup>[16]</sup>, 但关于其生长规律的相关研究较少。因此, 本文利用西北太平洋日本鲭生物学参数进行初步分析, 再基于地标点的几何形态测量方法, 将日本鲭的形态数据坐标化, 结合其外部形态、参数及其生长模式, 分析其个体生长规律及相关影响因素, 为后续西北太平洋海域日本鲭的管理提供科学依据和建议。

收稿日期: 2024-04-26 修回日期: 2024-06-04

基金项目: 农业农村部全球渔业资源调查监测评估(公海渔业资源综合科学调查)专项(D-8025-23-1002)

作者简介: 杨德道(2001—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业生物学。E-mail: ydxyeah@163.com

通信作者: 方舟, E-mail: zfang@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

## 1 材料与方法

### 1.1 样本来源

日本鲭样本由“淞航”号远洋渔业资源调查船在西北太平洋公海渔业资源调查时采集,采集时间为2021年、2022年的6—8月,调查范围为西北太平洋(35°N~45°N, 148°E~164°E)公海海域,样本经冷冻保存运回实验室,随机选取2年内的日本鲭样本210尾。

根据日本鲭叉长大小,将其划分为3个叉长组,叉长组A:叉长 $\leq 150$  mm;叉长组B:150 mm<叉长 $\leq 250$  mm;叉长组C:叉长 $> 250$  mm。样本详情见表1。

### 1.2 生物学样本处理

所有样本采集、实验流程、研究方法均严格按照《上海海洋大学实验室动物伦理规范》和上海海洋大学伦理委员会制定的规章制度执行。

将运回实验室完全解冻后的日本鲭样本进行生物学测定,测量其叉长(Fork length, FL),精确至1 mm;体质量(Body mass, BM)精确至1 g。并记录其性别、性腺成熟度、胃含物等相关指标。根据鱼类调查标准,将日本鲭的性腺成熟度划分为I~VI期,Ⅲ期及以上的个体判定为性成熟<sup>[17]</sup>。

### 1.3 图像获取与地标点设置

使用拍摄镜头为Micro 105 mm f/2.8的Nikon D750相机对形态完整、保存完好的日本鲭进行拍照。拍摄时注意将日本鲭平放在桌上,并放置比例尺,调整亮度与焦距,将日本鲭各鳍展开进行拍照。

利用tpsDig2软件对地标进行数字化处理<sup>[18]</sup>,使用R语言中的“geomorph”包建立地标点并进行测量<sup>[19]</sup>,根据日本鲭鱼体特征,参考ANAYA-GODINEZ等<sup>[20]</sup>方法,在日本鲭鱼体上设置了15个地标点,包括眼睛、鳃盖骨、部分鱼鳍等,以便更好地描述与表征日本鲭的鱼类外部轮廓(图1)。

表1 西北太平洋日本鲭样本信息

Tab. 1 Information of *Scomber japonicus* samples in Northwest Pacific Ocean

组别 Group	叉长组 Fork length group/mm	数量 Number/尾	体质量 Body mass/g	雌雄比例 Female to male ratio
A	$\leq 150$	129	79 ~ 118	1:0.65
B	150<FL $\leq 250$	67	131 ~ 264	0.86:1
C	$> 250$	14	312 ~ 590	0.4:1



1-15为地标点编号;1. 吻端;2. 枕骨后末端;3. 背鳍起点;4. 背鳍基部末端;5. 尾鳍基部上端;6. 尾鳍基部下端;7. 臀鳍基部末端;8. 臀鳍起点;9. 腹鳍起点;10. 前鳃盖骨腹侧起点;11. 眼前缘;12. 眼上缘;13. 眼后缘;14. 眼下缘;15. 鳃盖后缘。  
1-15 represent the landmark numbers; 1. Tip of snout; 2. Distal tip of occiput; 3. Origin of dorsal fin; 4. Posterior end of dorsal fin base; 5. Upper insertion of caudal fin base; 6. Lower insertion of caudal fin base; 7. Posterior end of anal fin base; 8. Origin of anal fin; 9. Origin of pelvic fin; 10. Origin of the preopercle on the ventral; 11. The anterior margin of the eye; 12. The upper margin of the eye; 13. The posterior margin of the eye; 14. The lower margin of the eye; 15. The posterior margin of the operculum.

图1 日本鲭个体形态及地标点示意图

Fig. 1 Morphology shape and landmark positions of *Scomber japonicus*

地标点在日本鲭外部形态分析上一般被分为3种类型:9个I类地标点(2、3、4、5、6、7、8、9、10),1个II类地标点(1)和5个III类地标点(11、12、13、14、15)。每个地标点标记过程均由多人重复标记或一人多次重复标记取平均值以减少误差。获得的日本鲭鱼体坐标数据用于下一步分析。

### 1.4 数据分析

#### 1.4.1 生物学分析

对日本鲭样本的雌雄个体进行分类,利用频度分析法,将日本鲭分为3个叉长组,并根据性别和叉长组进行差异性分析。

#### 1.4.2 几何形态测量分析

质心是指物体的质量中心,质心大小为地标

点到质心两点间距离平方和的平方根,质心大小越大,代表该物体的几何形态越大<sup>[21]</sup>。利用坐标数据计算日本鲭样本的质心大小,反映其不同性别与叉长间的形态差异。基于日本鲭质心大小数据,采用多元协方差分析(Multivariate analysis of covariance, MANCOVA)比较日本鲭大小在叉长、性别两个条件下是否存在显著性差异<sup>[22]</sup>。利用主成分分析(Principal component analysis, PCA)对不同叉长组间的形态差异进行比较。使用“plotRef To Target”函数生成薄板样条变形网格(Thin-plate spline, TPS),描述不同叉长组间外部形态的变化情况,比较日本鲭的形态变化及差异。最后建立多元回归模型(Multivariate regression),分析日本鲭形态的多元变化。以上分析均在R 4.0.5中完成。

## 2 结果

### 2.1 传统形态测量

西北太平洋雄性日本鲭叉长为 103~338 mm,优势叉长为 103~150 mm,占总体的 69.02%,雌性日本鲭叉长为 111~387 mm,优势叉长为 111~150 mm,占总体的 52.58%(图 2)。叉长 ≤ 150 mm 的日本鲭个体,其雄性个体数量高于雌性,叉长 > 150 mm 的雌性个数高于雄性。此外,结合对应日本鲭性腺成熟度数据,C 叉长组的日本鲭多为 III、IV 级性成熟个体,A、B 叉长组中多为 I、II 级。

### 2.2 几何形态测量

#### 2.2.1 质心大小

根据计算得出,日本鲭质心大小随着叉长的增加而增加。叉长越大,雌雄个体间质心大小的

差异越明显,雌性个体的质心大小开始大于雄性个体(图 3)。

#### 2.2.2 多元协方差分析

由多元协方差分析结果表明(表 2),不同叉长组间日本鲭的个体大小存在极显著差异( $P < 0.01$ ),不同性别间日本鲭个体的大小差异不显著( $P > 0.05$ )。考虑到交互作用对鱼体形状和大小产生的影响,叉长组和性别交互对日本鲭个体大小的影响不显著( $P > 0.05$ )。

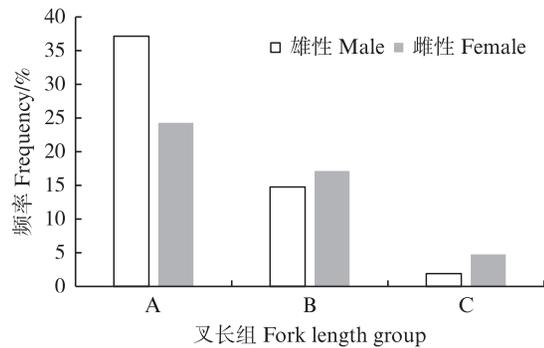


图 2 不同性别日本鲭叉长频率分布  
Fig. 2 Frequency distribution of fork length of *Scomber japonicus* for different sexes

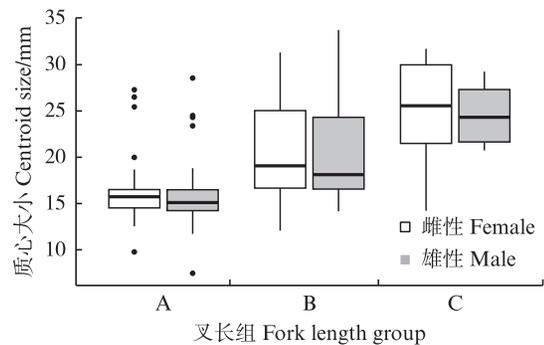


图 3 不同性别不同叉长组间日本鲭个体质心大小变化  
Fig. 3 Centroid size variation in different fork length groups and sexes of *Scomber japonicus*

表 2 日本鲭个体大小的多元协方差分析  
Tab. 2 MANCOVA of different effects on body size by stocks of *Scomber japonicus*

项目 Items	df	SS	MS	$R_{sq}$	F	Z	P
叉长组 Group	2	1 667.5	833.8	0.337 8	52.121 3	7.273 2	0.001*
性别 Sex	1	3.6	3.6	0.000 7	0.226 3	-0.318 1	0.635
叉长组×性别 Group×Sex	2	1.8	0.9	0.000 4	0.055 8	-1.651 4	0.944
残差 Residuals	204	3 263.3	16.0	0.661 1			
合计 Total	209	4 936.3					

注:df为自由度;SS为平方和;MS为均方; $R_{sq}$ 为相关系数的平方;F为检验统计量;Z为效应大小;\*表示有显著的统计学差异( $P < 0.05$ )。Notes: df indicates degrees of freedom; SS indicates sum of squares; MS indicates mean squares;  $R_{sq}$  indicates R-squared; F indicates test statistics; Z indicates effect size; \* represents significant statistical differences ( $P < 0.05$ ).

### 2.2.3 主成分分析

通过对日本鲭形态进行主成分分析,结果表明,不同叉长组的日本鲭外部形态中,前4个主成分的累计贡献率为65.0%,可以认为日本鲭的前4个主成分能较好地概括日本鲭个体的形态变化。

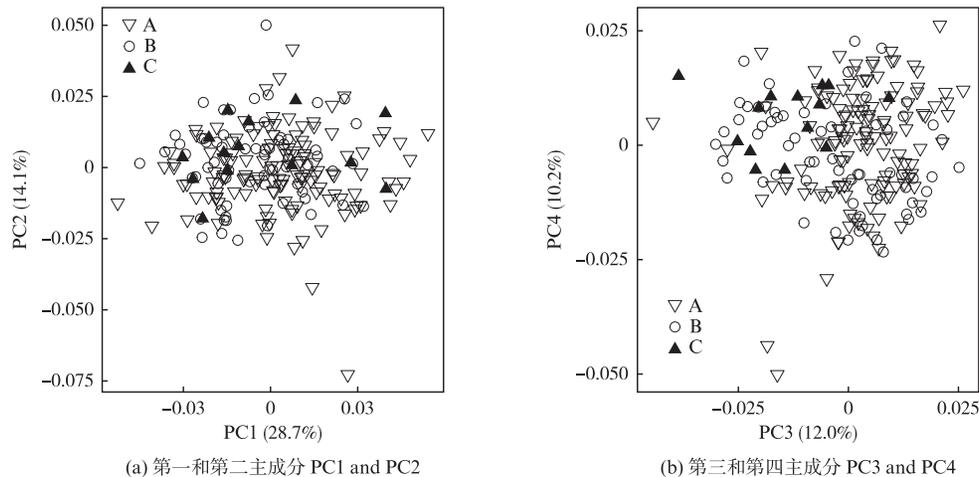


图4 不同叉长组日本鲭个体主成分散点图  
Fig. 4 Scatter plots of PC of *Scomber japonicus* from different fork length groups

### 2.2.4 形态可视化分析

基于TPS分析显示(图5),对于不同叉长组的日本鲭样本,在形态上的差异主要体现在吻部、腹鳍、尾鳍和鳃盖骨等4个部分。其中,A的吻部相较于B、C叉长组更大;A的腹鳍相对较小,B、C在腹鳍上的差异不明显;A鳃盖骨较大,B差异不明显,C鳃盖骨较小。总的来说,3个叉长组的形态变化存在差异。

### 2.2.5 多元回归分析

基于多元回归分析模型,对不同叉长组的日本鲭形态进行分析,结果表明,B、C叉长组下的形态回归散点相较于A更加集中,叉长较小的日本鲭个体的形态差异较为显著,形态更加容易区分(图6)。通过将质心大小对数值与形态预测值建立相关关系,发现3个叉长组的形态生长均呈正向生长模式,通过对回归曲线斜率进行计算(表3),发现3个叉长组的回归曲线斜率逐渐变小,形态变化速率逐渐降低,说明不同叉长组日本鲭的生长模式存在差异,形态随着叉长的增加而逐渐变缓。

不同主成分散点图均能较好地地区分不同叉长组的日本鲭个体,且空间位置有一定的重叠(图4)。其中,叉长 $\leq 150$  mm的个体相较于其他2个叉长组范围更广,更容易区分,其余2个叉长组的分布较为集中。

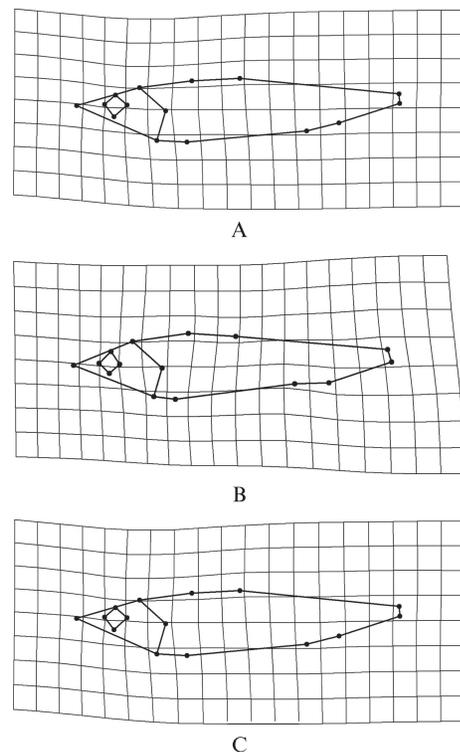


图5 不同叉长组间日本鲭个体形态的薄板样条变形网格  
Fig. 5 Thin-Plate Spline of *Scomber japonicus* morphology from different fork length groups

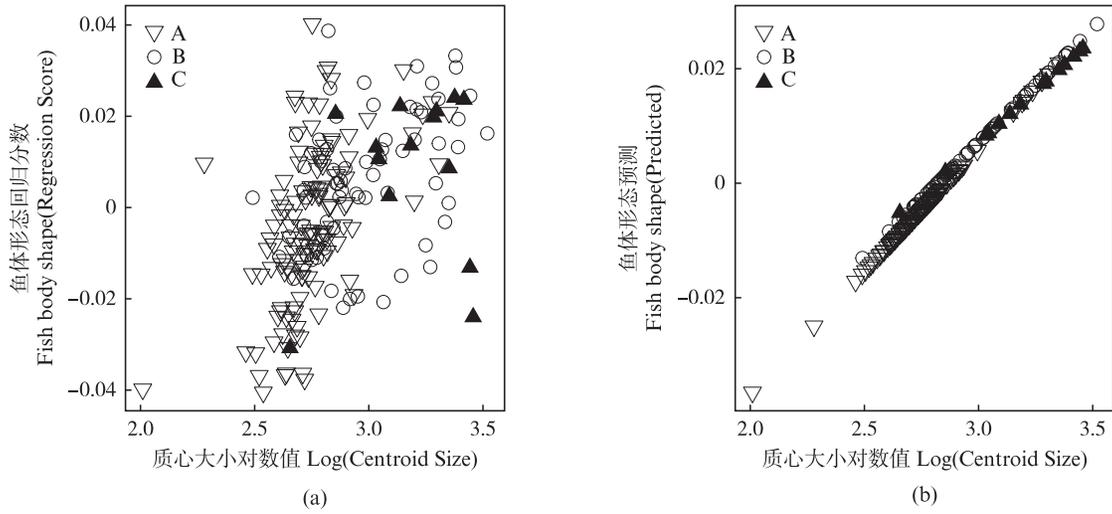


图6 不同叉长组日本鲭形态回归得分及形态预测值与质心大小对数值的关系  
 Fig. 6 Results of shape of regression score and predicted values of *Scomber japonicus* versus log centroid size in different fork length groups

表3 不同叉长组日本鲭回归曲线斜率值  
 Tab. 3 Slope of regression curve of *Scomber japonicus* in different fork length groups

叉长组 Fork length group	回归曲线斜率值 Slope of regression curve
A(≤150 mm)	0.042 9
B(150<FL≤250 mm)	0.039 8
C(>250 mm)	0.035 8

### 3 讨论

通过对不同性别的日本鲭进行叉长组分类可以发现,相同叉长不同性别的日本鲭个体间的质心大小差异并不明显,主要表现为雌性质心大小略大于雄性(图3)。质心大小随叉长的增加相应增加,这与鱼类本身正常的生长发育存在密切联系。根据多元协方差分析,叉长是导致日本鲭大小差异显著的主要因素,性别对日本鲭个体大小的影响不显著,这与赵国庆等<sup>[6]</sup>对西北太平洋日本鲭的研究结论相似。日本鲭在不同的叉长组间的大小分析更加明显,同时印证了不同阶段的日本鲭在形态上存在一定的差异,遗传、生长发育和环境因子都是造成形态多样性的原因<sup>[23-24]</sup>。叉长大小的变化也间接导致了形态的变化,形态的变化也可能表明了不同组织的功能发生改变,或是鱼类对环境的适应或者不同生活史间的差异等<sup>[25]</sup>。

主成分分析结果显示(图4),日本鲭在不同叉长组间的形态分区较为明显,特别是A与B、C

间,可能因为A组性成熟等级较低,叉长较小。研究<sup>[23]</sup>表明,西北太平洋日本鲭的初次性成熟叉长为260 mm,本研究样本叉长主要集中在100~200 mm,性成熟度主要为I、II期,尚未性成熟,所以大多数样本的主成分相对集中。也存在少数III、IV、V期的个体,性成熟个体的叉长相对较大,这也在主成分分析C组中的部分个体中有所体现。

TPS同样验证了叉长组对于日本鲭形态的重要影响(图5),叉长小的日本鲭其个体大小也更小,而随着叉长的增加,其外部形态大小也随之增加。相较于叉长组A的群体,叉长组B、C的个体腹鳍和尾鳍面积更大,这也与日本鲭个体的生长发育有关。此外,根据鱼类生长变化规律,叉长与年龄间存在正相关关系<sup>[26-27]</sup>,叉长越小的个体,其身体相较于B、C更窄,有利于适应在复杂的水动力学海流中进行生长发育,随着叉长的变化,日本鲭的年龄也随之增加,其身体各部位形状更大,有更多的肌肉附着,更有利于其发挥捕食作用。

多元回归分析表明(图6),A叉长组由于叉长较小,差异较大,所以较容易区分,与主成分分析结论一致。分区的分散可能与日本鲭样本本身的年龄大小有关,也可能是生长发育过程中的捕捞站点或洄游习性不同,导致日本鲭在不同生活史阶段所经历的环境不同。质心大小对数值与预测值表明(图6),3个叉长组间的形态生长均呈正向生长模式,且生长速率随叉长减小而减

小。此外,随着叉长的增加,日本鲭接近成熟,其摄食所产生的能量可能用于形态的能量较少,多用于性腺的成熟发育<sup>[28]</sup>,这可能也是其生长变缓的原因之一,从而导致了不同叉长的日本鲭外部形态间的差异。

赵国庆<sup>[29]</sup>对西北太平洋日本鲭的生长研究表明,日本鲭的生长满足VB(von Bertalanffy)生长方程,说明日本鲭年龄越小时,其叉长的生长速度较快,随着年龄的生长,叉长生长速率逐渐变缓,这也与文中不同叉长组日本鲭回归曲线斜率值逐渐变小的结论一致(表3)。

此外,外部环境的变化也可能会造成日本鲭个体外部形态的变化。每年8—9月,西北太平洋的日本鲭的渔场重心发生改变,从东北方向转为西南方向,向水温更高的地方洄游<sup>[30]</sup>,其体内的能量也将转化为脂肪来维持相应体温,摄食规律也会发生改变,摄食规律同时也是影响不同生活史阶段形态变化的重要因素之一<sup>[31]</sup>。同时,鳍作为鱼类移动过程中的重要部分,通过鳍的拍动产生推动力,从而更好地进行洄游。温度升高在一定程度上能促进鱼体的生长,叉长增加,鱼体的外部形态也随之发生改变<sup>[32]</sup>。随着温度上升,日本鲭的栖息地也会跟着洄游随之变化<sup>[33]</sup>,不同栖息地间的海流状况差异较大,日本鲭形态随着适应不同海流状况而发生改变。本研究的日本鲭样本采集时间正值西北太平洋海域日本鲭的夏季洄游时间,所以不同形态的日本鲭个体可能是为了适应不同的栖息环境的需求。

#### 4 结论

本研究采用了基于地标点的几何形态测量方法,对西北太平洋海域日本鲭个体在不同性别和叉长组间的大小、形态和生长模式进行了分析比较,对日本鲭的个体生长规律进行探究。结果发现,日本鲭在叉长影响下个体大小存在显著差异( $P<0.01$ ),表明日本鲭在不同的叉长组间的大小存在差异(表2)。这可能是日本鲭的形态、大小变化与生长发育阶段、外部环境因素(如水温<sup>[34]</sup>、海流<sup>[35]</sup>等)、食物可利用性<sup>[36]</sup>、摄食习性<sup>[37]</sup>等有关。

综上所述,西北太平洋日本鲭个体形态在不同的叉长组间的生长发育过程基本保持一致,形

态的差异主要受到叉长的影响,性别对其影响不显著。本研究是对不同叉长组的日本鲭个体形态的变化规律进行初步分析,认为叉长导致的形态变化主要与洄游导致的栖息环境变化、不同时期日本鲭的摄食差异以及对于生存响应等因素有关。后续的研究中应该结合西北太平洋海域具体环境因子的变化(如:海表温度、盐度、叶绿素、海流等),以及海域性成熟的个体等进行分析,深入探究西北太平洋海域日本鲭的生长规律以及对环境等因素的响应,为进一步可持续利用和开发日本鲭等中上层鱼类提供科学支撑和依据。

#### 参考文献:

- [1] 赵国庆,陈俊霖,张衡,等. 西北太平洋公海日本鲭生物学特征研究[J]. 海洋渔业, 2023, 45(4): 385-402.  
ZHAO G Q, CHEN J L, ZHANG H, et al. Biological characteristics of *Scomber japonicus* in the high seas of the Northwest Pacific [J]. Marine Fisheries, 2023, 45(4): 385-402.
- [2] 刘思源,张衡,杨超,等. 基于最大熵模型的西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭栖息地差异[J]. 上海海洋大学学报, 2023, 32(4): 806-817.  
LIU S Y, ZHANG H, YANG C, et al. Differences in habitat distribution of *Sardinops melanostictus* and *Scomber japonicus* in the northwest Pacific based on a maximum entropy model [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2023, 32(4): 806-817.
- [3] KAWAI H, YATSU A, WATANABE C, et al. Recovery policy for chub mackerel stock using recruitment-per-spawning [J]. Fisheries Science, 2002, 68(5): 963-971.
- [4] SHIRAIISHI T, OKAMOTO K, YONEDA M, et al. Age validation, growth and annual reproductive cycle of chub mackerel *Scomber japonicus* off the waters of northern Kyushu and in the East China Sea [J]. Fisheries Science, 2008, 74(5): 947-954.
- [5] 官文江,马雪莲. 利用贝叶斯动态产量模型评估东、黄海日本鲭资源状况[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(3): 749-760.  
GUAN W J, MA X L. Assessment of the status of *Scomber japonicus* resources in the East China Sea and Yellow Sea using a Bayesian biomass dynamic model [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(3): 749-760.
- [6] 赵国庆,吴祖立,崔雪森,等. 基于空间自相关模型的西北太平洋日本鲭渔场时空变动研究[J]. 海洋学报, 2022, 44(1): 22-35.  
ZHAO G Q, WU Z L, CUI X S, et al. Spatial temporal patterns of chub mackerel fishing ground in the Northwest

- Pacific based on spatial autocorrelation model[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(1): 22-35.
- [7] ZELDITCH M. A landmark book on landmark data [J]. BioScience, 1998, 48(10): 855-858.
- [8] 韩霏武,陈新军,方舟,等. 基于鱼体和耳石形态的东海两种鲈属鱼类判别分析[J]. 海洋渔业, 2020, 42(2): 161-169.
- HAN P W, CHEN X J, FANG Z, et al. Discriminant analysis of two *Scomber* species in the East China Sea based on shape and otolith morphology [J]. Marine Fisheries, 2020, 42(2): 161-169.
- [9] 朱国平,刘芳沁. 几何形态测量学及其在鱼类生态学研究中的应用进展[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(5): 1180-1189.
- ZHU G P, LIU F Q. Geometric morphometrics and its application in fish ecology: A review[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(5): 1180-1189.
- [10] 王超,方舟,陈新军. 基于文献计量的几何形态测量学在渔业中的应用研究进展[J]. 海洋渔业, 2022, 44(1): 112-128.
- WANG C, FANG Z, CHEN X J. Advances in the application of bibliometrics-based on geometric morphometrics in fishes [J]. Marine Fisheries, 2022, 44(1): 112-128.
- [11] 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.
- [12] IBAÑEZ A L, COWX I G, O'HIGGINS P. Geometric morphometric analysis of fish scales for identifying genera, species, and local populations within the Mugilidae [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2007, 64(8): 1091-1100.
- [13] VASCONCELOS J, VIEIRA A R, SEQUEIRA V, et al. Identifying populations of the blue jack mackerel (*Trachurus picturatus*) in the Northeast Atlantic by using geometric morphometrics and otolith shape analysis [J]. Fishery Bulletin, 2018, 116(1): 81-92.
- [14] SEQUEIRA V, RODRÍGUEZ-MENDOZA R, NEVES A, et al. Using body geometric morphometrics to identify bluemouth, *Helicolenus dactylopterus* (Delaroche, 1809) populations in the northeastern Atlantic [J]. Hydrobiologia, 2011, 669(1): 133-141.
- [15] BRAVI R, RUFFINI M, SCALICI M. Morphological variation in riverine cyprinids: a geometric morphometric contribution[J]. Italian Journal of Zoology, 2013, 80(4): 536-546.
- [16] HE T, CHENG J, QIN J G, et al. Comparative analysis of otolith morphology in three species of *Scomber* [J]. Ichthyological Research, 2018, 65(2): 192-201.
- [17] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- YIN M C. Fish ecology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.
- [18] COLANGELO P, VENTURA D, PIRAS P, et al. Are developmental shifts the main driver of phenotypic evolution in *Diplodus* spp. (Perciformes: Sparidae)? [J]. BMC Evolutionary Biology, 2019, 19(1): 106.
- [19] ADAMS D C, OTÁROLA-CASTILLO E. Geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data [J]. Methods in Ecology and Evolution, 2013, 4(4): 393-399.
- [20] ANAYA-GODÍNEZ E, SILVA-SEGUNDO C A, LANDAETA M F, et al. Influence of oceanographic conditions on the body shape variability of *Scomber japonicus* larvae from the western coast of the Baja California Peninsula [J]. Fisheries Oceanography, 2022, 31(3): 225-237.
- [21] 陈新军,方舟,陈洋洋,等. 几何形态测量学在水生生物中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- CHEN X J, FANG Z, CHEN Y Y, et al. Application of geometric morphometry to aquatic organisms[M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [22] ADAMS D C, COLLYER M L. Multivariate phylogenetic comparative methods: evaluations, comparisons, and recommendations [J]. Systematic Biology, 2018, 67(1): 14-31.
- [23] 陈芬芳. 日本鲭种群遗传结构与演化历史分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- CHEN F F. Genetic structure and Evolution History Analysis of the Chub mackerel (*Scomber japonicus*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [24] 刘思源,张衡,杨超,等. ENSO事件下西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭栖息地协同变化特征[J]. 海洋学报, 2024, 46(1): 39-52.
- LIU S Y, ZHANG H, YANG C, et al. Exhibit covariation characteristics in the habitat changes of *Sardinops melanostictus* and *Scomber japonicus* in the northwestern Pacific Ocean under ENSO event [J]. Haiyang Xuebao, 2024, 46(1): 39-52.
- [25] ZELDITCH M, SWIDERSKI D, SHEETS H D. Geometric morphometrics for biologists: a primer [M]. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2012.
- [26] MOHAMAD RADHIA, NURUL FAZLINDA M F, AMAL M N A, et al. A review of length-weight relationships of freshwater fishes in Malaysia [J]. Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research, 2018, 20(1): 55-68.
- [27] ERGUDEN D, TURAN C, GURLEK M. Weight - length relationships for 20 Lessepsian fish species caught by bottom trawl on the coast of Iskenderun Bay (NE

- Mediterranean Sea, Turkey) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2009, 25(1): 133-135.
- [28] KOBAYASHI T, ISHIBASHI R, YAMAMOTO S, et al. Gonadal morphogenesis and sex differentiation in cultured chub mackerel, *Scomber japonicus* [J]. Aquaculture Research, 2011, 42(2): 230-239.
- [29] 赵国庆. 西北太平洋公海日本鲭(*Scomber japonicus*)渔业生物学及渔场变动研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- ZHAO G Q. Study on fishery biology and fishing ground changes of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the high seas of the Northwest Pacific [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [30] 庄之栋, 马超, 刘勇, 等. 北太平洋公海秋季鲈鱼生物学特性的初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 2018(6): 125-131.
- ZHUANG Z D, MA C, LIU Y, et al. A preliminary study on biological characteristics of *Scomberjaponicus* in the North Pacific Ocean in Autumn [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018(6): 125-131.
- [31] YOON S J, KIM D H, BAECK G W, et al. Feeding habits of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the South Sea of Korea[J]. Journal of the Korean Fisheries Society, 2008, 41(1): 26-31.
- [32] DICKSON K A, DONLEY J M, SEPULVEDA C, et al. Effects of temperature on sustained swimming performance and swimming kinematics of the chub mackerel *Scomber japonicus*[J]. Journal of Experimental Biology, 2002, 205(7): 969-980.
- [33] KANG S, LEE J B, HOLLOWED A, et al. The impact of climate changes on the distribution and abundance of mackerels in the northwestern Pacific[J]. 한국산업응용수학회 학술대회논문집, 2010, 5(2): 37.
- [34] 郑波. 鲈鱼年龄和生长及其资源丰度与环境因子关系的研究[D]. 上海: 上海水产大学, 2007.
- ZHENG B. Age and growth of mackerel (*Scomber japonicus*) and therelationship between its abundance and environmental variables [D]. Shanghai: Shanghai Fisheries University, 2007.
- [35] LI G, CHEN X J, LEI L, et al. Distribution of hotspots of chub mackerel based on remote-sensing data in coastal waters of China [J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(11/12): 4399-4421.
- [36] CIKEŠ KEČ V, ZORICA B. The reproductive traits of *Scomberjaponicus* (Houttuyn, 1782) in the eastern Adriatic Sea[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2012, 28(1): 15-21.
- [37] 唐峰华, 戴澍蔚, 樊伟, 等. 西北太平洋公海日本鲭(*Scomber japonicus*)胃含物及其摄食等级研究[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(1): 138-148.
- TANG F H, DAI S W, FAN W, et al. Study on stomach composition and feeding level of chub mackerel in the Northwest Pacific[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(1): 138-148.

## Growth regularity of *Scomber japonicus* based on geometric morphometrics in Northwest Pacific Ocean

YANG Dexiao<sup>1</sup>, YU Jun<sup>1</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, FANG Zhou<sup>1,2,3,4</sup>

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, 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 Sustainable Utilization of Oceanic Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to explore the growth regularity of *Scomber japonicus* in Northwest Pacific Ocean, 210 samples collected by the "Songhang" from 2021 to 2022 used landmarks based on geometric morphometrics. Compared with other methods, the use of landmark methods can effectively reveal the phenotypic diversity of fish, reflect the changes in fish at different stages, and explore their individual growth regularity. The results showed that there were significant differences in the external morphology of *S. japonicus* across different fork length groups. Both principal component analysis and multivariate analysis of covariance showed that *S. japonicus* with smaller fork length had more distinct zones, with overlapping zones among the three different fork length groups. Different fork length groups had the same growth regularities. The growth rate of *S. japonicus* gradually decreased with increasing fork length. The thin-plate spline indicates that the smaller the fork length of *S. japonicus*, the smaller their abdomen and tail. The morphology of *S. japonicus* changes with the change of fork length. The conclusion is that the morphology of *S. japonicus* gradually changes with increasing fork length in Northwest Pacific Ocean.

**Key words:** geometric morphometrics; Northwest Pacific Ocean; *Scomber japonicus*; growth regularity