

文章编号: 1674-5566(2024)04-0848-11

DOI: 10.12024/jsou.20240404497

## 数据不确定性对西北太平洋两种混栖鲈生长研究的影响

刘芷维<sup>1</sup>, 周雨霏<sup>1</sup>, 郑琳琳<sup>1</sup>, 麻秋云<sup>1,2,3</sup>, 崔明远<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306)

**摘要:** 依据2020—2023年“淞航”号渔业资源科学调查与生产船围网的鲈调查数据, 着重分析了种类鉴定不确定性和不同数据来源(是否基于渔业生产获取的数据)对日本鲈和澳洲鲈生长特征的影响。研究发现, 生产船样本肥满度略小于“淞航”号, 且“淞航”号样本体质量增长更快, 摄食情况相对较好。叉长-体质量关系的拟合结果表明, 相同叉长下, 澳洲鲈体质量小于日本鲈; 不同数据来源与不同物种所求 $a$ 值范围为 $1.886 \times 10^{-6} \sim 6.721 \times 10^{-5}$ ,  $b$ 值多数大于3。 $a$ 值变化较大, 说明西北太平洋2021—2023年际水域环境变化较大; 除2020年生产船日本鲈 $b$ 值较小( $b=2.66$ ), 为负异速增长外, 其余均为正异速增长。依据混合效应模型对样本的叉长-体质量关系进行异质性分析, 结果表明数据来源与年份对日本鲈与澳洲鲈生长研究结果的影响更显著, 物种间差异不显著。在基于生长等生活史特征的相关鱼种资源评估和管理的过程中, 建议充分考虑时间差异和不同数据来源导致的不确定性, 而不是采用恒定的、缺乏时间变化和数据来源考虑的生活史参数; 此外, 鉴于实际操作的可行性和成本, 暂时可不区分日本鲈和澳洲鲈, 但仍然建议在科学研究过程中进一步探讨可能的影响。

**关键词:** 西北太平洋; 鲈; 生长特征; 数据不确定性; 混合效应模型

**中图分类号:** S 932.4 **文献标志码:** A

日本鲈(*Scomber japonicus*)与澳洲鲈(*S. australasicus*)同为鲈形目(Perciformes)鲈科(Scomberida)鲈属(*Scomber*), 是暖水性中上层经济鱼类<sup>[1]</sup>, 在西北太平洋渔场的分布高度重合。这两种鱼类形态极为相似, 仅能通过观察鱼体腹部的斑点、背鳍与臀鳍的相对位置, 以及背鳍鳍棘和鳃耙的数量差异来区分<sup>[2]</sup>。然而这些特征并不显著, 且在实际捕捞生产过程中极易受损, 而两种鱼类的渔场重叠, 作业方式和捕捞季节均一致, 造成了渔业混栖现象。生产过程中渔民并不区分种类, 而是将二者统称为鲈<sup>[3]</sup>, 因此渔业生产数据均为两种鱼类的混合数据。只有科学调查、科学观察员和港口采样时才会区分澳洲鲈和日本鲈。捕捞生产和科学调查提供的数据是理解种群状况和制定有效管理策略的基础, 是否区分物种将引入极大

的不确定性, 不同的数据来源和鉴定水平必然会影响到资源评估和渔业管理的种类水平(单物种或混栖物种)和准确度, 对种群状态评价和渔业管理的效果都会产生影响。作为不同的渔业种类, 其种群动力学特别是生活史特征存在多少差异, 资源评估和渔业管理过程中是否需要区分种类, 直接关系到资源养护和渔业管理的成效。

理解鱼类的生活史是进行渔业资源评估与管理的前提, 特别是在分析特定鱼种的种群动态时<sup>[4]</sup>。肥满度作为衡量鱼类生长状况的一个关键指标, 不仅能揭示个体的生理和营养状况, 还能反映其所在栖息地的环境质量<sup>[5]</sup>。这一指标与鱼类的叉长-体质量关系联系密切, 其中叉长-体质量关系是研究鱼类生长特征的基础<sup>[6]</sup>。通过叉长和体质量的变化, 可以观察到鱼类的生理状态及

收稿日期: 2024-04-15 修回日期: 2024-06-20

基金项目: 国家自然科学基金(32202934); 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); 上海市高校特聘教授“东方学者”岗位跟踪计划(GZ2022011)

作者简介: 刘芷维(2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向为资源评估。E-mail: 1401514772@qq.com

通信作者: 麻秋云, E-mail: qyuma@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>

种群结构的演变,为资源评估过程中的关键数据提供支持<sup>[7]</sup>。

然而,数据的不确定性可能对鱼类生长特征的估算结果产生影响,从而给渔业资源评估与管理带来挑战。本文利用西北太平洋日本鲈与澳洲鲈的调查和生产数据,通过混合效应模型来比较不同年份、不同数据来源与不同物种之间的叉长-体质量关系的异质性,以期更好地了解数据不确定性对生长特征的影响,为资源的养护和管理提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

科学调查样本取自2021—2023年上海海洋大学“淞航”号调查船在西北太平洋公海进行的渔业资源综合科学调查,生产样本取自2020年与2022年生产船在该区域的鲈围网作业(表1)。所有样品捕捞后冷冻保存,并运输回实验室分析。根据《海洋调查规范第6部分:海洋生物调查》,叉长精确到1 mm,体质量精确到0.01 g。其中,2021年与2022年“淞航”号样本并未区分日本鲈与澳洲鲈,而是将它们统称为鲈;其余样本均在实验室内鉴定到种。

### 1.2 数据分析

#### 1.2.1 肥满度

肥满度系数是反映鱼类生长情况的指标之一,可用来反映鱼类的生长速度和总体增重程度<sup>[8]</sup>,同时也可用来间接评价生活环境状况<sup>[9]</sup>,其计算公式为

$$Q = W/L^3 \quad (1)$$

式中: $Q$ 为肥满度, $g/cm^3$ ;  $W$ 为鱼类体质量, $g$ ;  $L$ 为相对应的叉长, $cm$ 。在叉长不变的情况下,体质量增加肥满度提高,相反则肥满度降低。

#### 1.2.2 叉长-体质量关系

叉长-体质量关系是鱼类生长特征的重要指标,其参数可以反映出不同样本的生长特征和生态环境的变化。叉长-体质量关系方程式为

$$W = a \times L^b \quad (2)$$

式中: $W$ 为鱼类体质量, $g$ ;  $L$ 为相对应的叉长, $mm$ ;  $a$ 是条件因子;  $b$ 为幂指数系数。

本文分别拟合了不同年份、不同物种与不同数据来源下“淞航”号与生产船各样本的叉长-体质量关系。

#### 1.2.3 线性混合效应模型

线性混合效应模型包括固定效应与随机效应两部分<sup>[10]</sup>,当区域间的差异不能完全由模型中的固定效应来解释时,引入对应于每个区域内的随机效应来刻画区域间的额外差异<sup>[11]</sup>。其基础表达式如下:

$$Y = X \times \beta + Z \times \alpha + \varepsilon \quad (3)$$

式中: $Y$ 为响应向量;  $X$ 为已知的协变量矩阵;  $\beta$ 为未知的全局参数向量(固定效应);  $Z$ 为随机效应的设计矩阵;  $\alpha$ 为随机效应向量;  $\varepsilon$ 为误差向量<sup>[12]</sup>。本文将线性混合模型应用于叉长-体质量关系中,固定效应用于反映生长特征的平均情况,随机效应应用于条件因子 $a$ ,反映不同因素的异质性,其表达式如下:

$$\ln W = \ln a + b \times \ln L + \varepsilon = (E_F + E_R) + b \times \ln L + \varepsilon \quad (4)$$

式中: $E_F$ 为固定效应;  $E_R$ 为随机效应。本文通过7个线性混合效应模型,涵盖了年份、物种与数据来源的不同组合(单因子、双因子和三因子),根据对参数 $a$ 的影响程度,比较分析不同年份、不同物种与不同数据来源下叉长-体质量关系的异质性。

同时计算赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)值,评价比较不同模型的拟合效果,其计算公式如下:

表1 “淞航”号与生产船采集的样本信息

Tab. 1 Sample size of mackerels collected by research vessel "Songhang" and fishing vessel

数据来源 Data sources	年份 Year	调查范围 Survey area	站点数量 Number of stations	种类 Species	样本数量 Sample size/尾
“淞航”号 Songhang	2021	35°N ~ 42°N, 148°E ~ 165°E	42	鲈	1 261
	2022		36		397
	2023	35°N ~ 45°N, 148°E ~ 164°E	39	日本鲈 澳洲鲈	357 220
生产船 Fishing vessel	2020	31°N ~ 42°N, 149°E ~ 152°E	44	日本鲈	1 080
	2022	西北太平洋鲈渔场	-	日本鲈 澳洲鲈	408 661

$$AIC = \frac{2k - 2M}{n} \quad (5)$$

式中: $k$ 为参数的数量; $M$ 为对数似然值; $n$ 为样本量。AIC值越小,表明模型的拟合效果越好。数据的整理是通过 Microsoft Excel 完成的,模型的拟合与预测通过 R 语言中的“lme4”包完成<sup>[13]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 肥满度

肥满度是衡量鱼类生长的重要指标<sup>[14]</sup>。在“淞航”号所获得的数据中,2023年日本鲈求得的肥满度平均值最大(1.15),2021年鲈较小(0.84)。总体而言,“淞航”号各样本随着时间的增长肥满度有增大趋势。生产船各样本的肥满度均值最大的是2020年日本鲈的样本(1.10),其次是2022

年日本鲈(0.94)。对比“淞航”号与生产船,“淞航”号样本肥满度较生产船而言更大。日本鲈较澳洲鲈而言肥满度更大(表2)。

### 2.2 叉长和体质量分布

共采集样本4384尾,其实测叉长为96~367 mm(表3),体质量为7.02~590.45 g(表4)。对比不同来源的数据(图1和图2),“淞航”号日本鲈优势叉长组为120~140 mm、200~240 mm,优势体质量组为7.5~150 g;生产船日本鲈优势叉长组为170~240 mm,优势体质量组40~140 g;“淞航”号澳洲鲈优势叉长组为140~200 mm,优势体质量组为20~80 g;生产船澳洲鲈优势叉长组为130~140 mm,优势体质量组为15~35 g。从不同数据来源来看,“淞航”号样本更大,生产船样本较小;从不同物种来看,日本鲈个体较大,澳洲鲈略小。

表2 不同数据来源、不同年份与不同物种的肥满度指数平均值  
Tab. 2 Average fattiness values from different data sources, different years, and different species

数据来源 Data sources	年份 Year	物种名称 Species	肥满度指数平均值 $\bar{Q}$	肥满度指数最大值 $Q_{\max}$	肥满度指数最小值 $Q_{\min}$
“淞航”号 Songhang	2021	鲈	0.84	2.41	0.29
	2022	鲈	1.12	1.80	0.63
	2023	日本鲈	1.15	2.63	0.52
		澳洲鲈	1.14	1.82	0.69
生产船 Fishing vessel	2020	日本鲈	1.10	2.06	0.61
	2022	日本鲈	0.94	1.27	0.65
		澳洲鲈	0.86	1.39	0.58

表3 “淞航”号与生产船不同年份与不同物种叉长分布  
Tab. 3 Fork length distribution of research vessel "Songhang" and fishing vessel

数据来源 Data sources	年份 Year	物种名称 Species	叉长范围 Fork length range/mm	优势叉长组 Dominant fork length group/mm	优势叉长组占比 Percentage/%
“淞航”号 Songhang	2021年	鲈	96~367	120~160	45.76
	2022年	鲈	120~297	140~200	72.29
	2023年	日本鲈	101~321	120~140;200~240	57.70
		澳洲鲈	108~254	140~200	78.64
生产船 Fishing vessel	2020年	日本鲈	113~294	200~240	76.11
	2022年	日本鲈	140~233	170~200	68.87
		澳洲鲈	119~184	130~140	49.62

表4 “淞航”号与生产船不同年份与不同物种体质量分布  
Tab. 4 Body mass distribution of research vessel "Songhang" and fishing vessel

数据来源 Data sources	时间 Year	物种名称 Species	体质量范围 Body mass range/g	优势体质量组 Dominant body mass group/g	优势体质量组占比 Percentage/%
“淞航”号 Songhang	2021	鲈	7.02~590.45	7.02~50.00	83.74
	2022	鲈	20.00~127.00	20.00~80.00	69.77
	2023	日本鲈	7.50~446.20	7.50~150.00	82.35
		澳洲鲈	15.20~184.00	20.00~80.00	80.91
生产船 Fishing vessel	2020	日本鲈	11.43~311.80	80.00~140.00	71.02
	2022	日本鲈	13.00~305.00	40.00~80.00	79.66
		澳洲鲈	14.00~62.92	15.00~35.00	89.41

### 2.3 叉长-体质量关系及其异质性

使用GLM对样本的叉长-体质量关系进行分析(图3),得出鲈的 $a$ 值为 $9.58 \times 10^{-7}$ , $b$ 值为3.45(表5)。根据赤池信息准则比较8个异质性分析的模型拟合结果发现,同时考虑数据来源和年份作为随机效应的模型与同时考虑数据来源、年份和物种的模型的拟合结果非常接近,且拟合效果优于其他模型(表6)。不同异质性来源求得 $a$ 值

的范围为 $2.71 \times 10^{-6} \sim 3.98 \times 10^{-6}$ (表7)。

在线性混合效应模型LMEM(D.Y.F)中(表5), $a$ 值在2020年最大,最小的是2021年;在相同叉长下,2020年的个体随叉长的增大体质量增加最快,2021年增长最慢(图4)。从不同物种来看,参数 $a$ 值差异不大,三者几乎重合在一起。从不同数据来源来看,“淞航”号的个体随叉长的增加体质量增长速度更快。

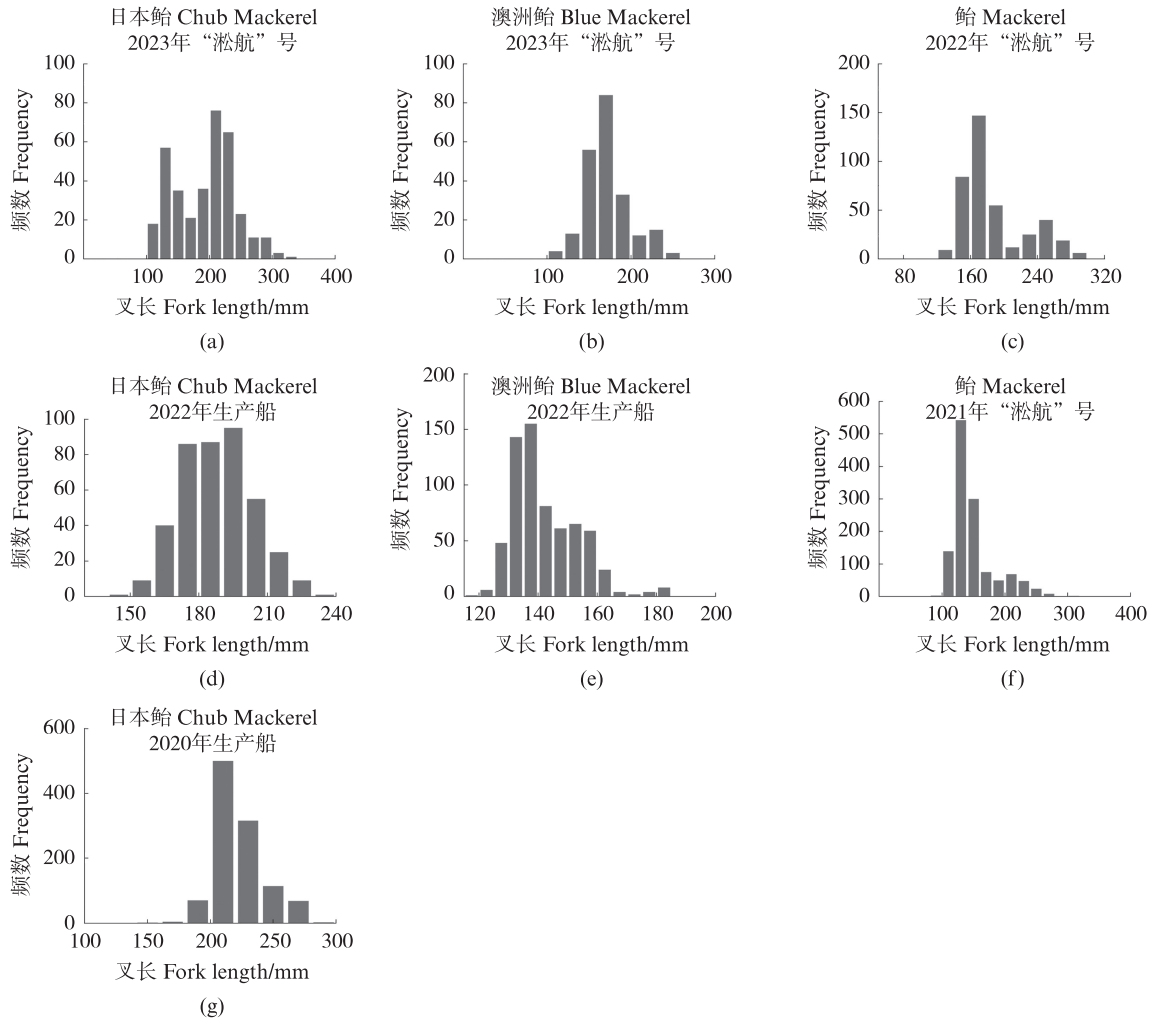


图1 “淞航”号与生产船不同年份与不同物种叉长频率分布直方图  
 Fig. 1 Histogram of fork length frequency distribution for "Songhang" and fishing vessel in different years and species

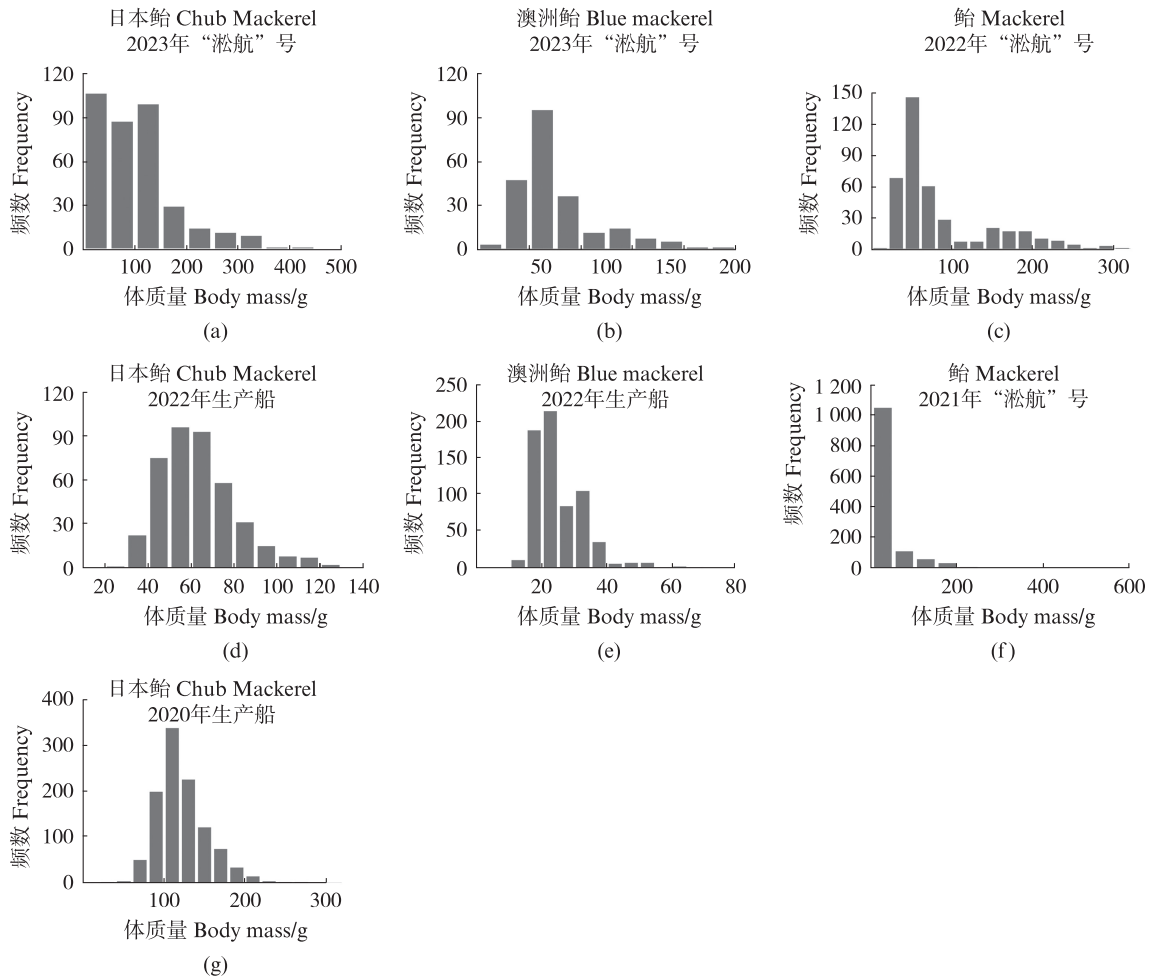


图 2 “淞航”号与生产船不同年份与不同物种体质量频率分布直方图

Fig. 2 Histogram of body mass frequency distribution for research vessel "Songhang" and fishing vessel

表 5 “淞航”号与生产船不同年份与不同物种叉长-体质量关系拟合模型及其评价指标

Tab. 5 Model fitting and evaluation indicators for fork length–body mass relationship of different species in different years on "Songhang" and fishing vessel

模型缩写 Model abbreviations	模型 Model	<i>a</i>	关系式 Equations
GLM		$9.58 \times 10^{-7}$	$W = 9.58 \times 10^{-7} \times L^{3.45}$
LWR-S <sub>2021</sub>		$1.886 \times 10^{-6}$	$W = 1.886 \times 10^{-6} \times L^{3.29}$
LWR-S <sub>2022</sub>		$9.441 \times 10^{-6}$	$W = 9.441 \times 10^{-6} \times L^{3.03}$
LWR-S.J <sub>2023</sub>	$W = aL^b$	$2.059 \times 10^{-6}$	$W = 2.059 \times 10^{-6} \times L^{3.32}$
LWR-S.A <sub>2023</sub>		$3.717 \times 10^{-5}$	$W = 3.717 \times 10^{-5} \times L^{2.77}$
LWR-P.J <sub>2020</sub>		$6.721 \times 10^{-5}$	$W = 6.721 \times 10^{-5} \times L^{2.66}$
LWR-P.J <sub>2022</sub>		$5.475 \times 10^{-6}$	$W = 5.475 \times 10^{-6} \times L^{3.10}$
LWR-P.A <sub>2022</sub>		$2.521 \times 10^{-6}$	$W = 2.521 \times 10^{-6} \times L^{3.25}$

注: LWR 为叉长-体质量关系, 其中 S 为“淞航”号鲈, S.J 为“淞航”号日本鲈, S.A 为“淞航”号澳洲鲈, P.J 为生产船日本鲈, P.A 为生产船澳洲鲈。

Notes: LWR is the relation between fork length and body mass, where S is "Songhang" mackerel, S.J is "Songhang" Chub mackerel, S.A is "Songhang" Blue mackerel, P.J is the production ship Chub mackerel, P.A is the production ship Blue mackerel.

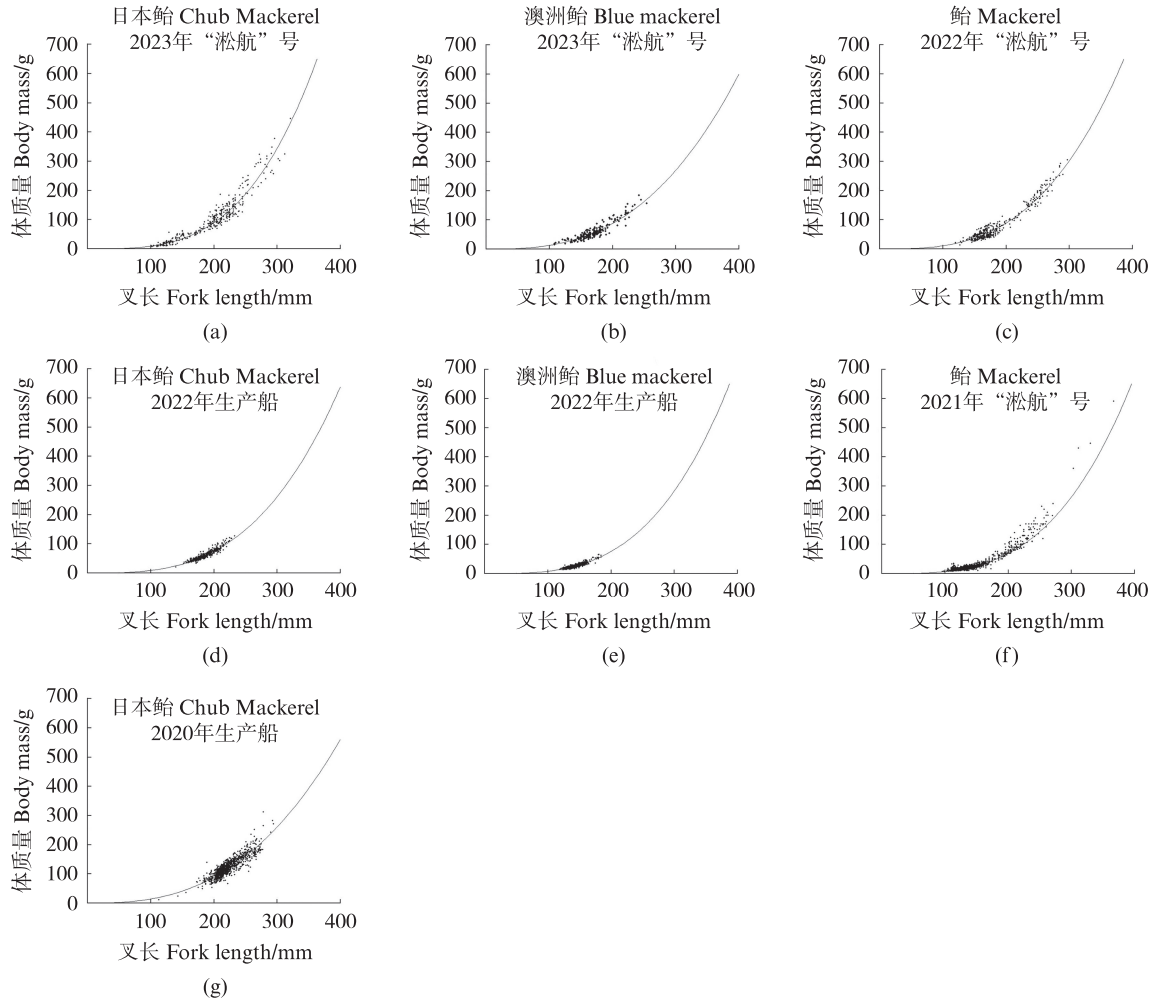


图3 “淞航”号与生产船不同年份与不同物种叉长-体质量关系

Fig. 3 Fork length–body mass relationship of "Songhang" and fishing vessel in different years and species

表6 “淞航”号与生产船不同年份与不同物种叉长-体质量关系的拟合模型及其评价指标

Tab. 6 Fitting models and evaluation indicators for fork length–body mass relationship of different species on "Songhang" and fishing vessel in different years

模型缩写 Model abbreviations	模型 Model	AIC
GLM	$\ln W = \ln a + b \times \ln L$	-1 819
D.	$\ln W = (\ln a + \text{ReD.}) + b \times \ln L$	-1 824
Y.	$\ln W = (\ln a + \text{ReY.}) + b \times \ln L$	-2 497
F.	$\ln W = (\ln a + \text{ReF.}) + b \times \ln L$	-1 915
D.Y.	$\ln W = (\ln a + \text{ReD.} + \text{ReY.}) + b \times \ln L$	-2 788
D.F.	$\ln W = (\ln a + \text{ReD.} + \text{ReF.}) + b \times \ln L$	-2 184
Y.F.	$\ln W = (\ln a + \text{ReY.} + \text{ReF.}) + b \times \ln L$	-2 783
D.Y.F.	$\ln W = (\ln a + \text{ReD.} + \text{ReY.} + \text{ReF.}) + b \times \ln L$	-2 787

注:D、Y、F.分别为lna的数据来源、年份和物种的随机效应。D.Y、D.F、Y.F、D.Y.F.分别为数据来源、年份和物种的不同组合。

Notes: D., Y., and F. are random effects of ln a data sources, years, and species, respectively. D.Y., D.F., Y.F. and D.Y.F. are random combinations of data sources, years and species, respectively.

表7 最优线性混合效应模型(包含年份、物种与数据来源)中参数 $a$ 的估计值Tab. 7 Estimates of parameter  $a$  in the optimal linear mixed effects model (including year, species and data source)

影响因子 Impact factor	参数 $a$ 的估计值 Estimate of parameter $a$	
年份 Year	2020	$3.98 \times 10^{-6}$
	2021	$2.71 \times 10^{-6}$
	2022	$3.49 \times 10^{-6}$
	2023	$3.57 \times 10^{-6}$
物种 Species	鲈	$3.40 \times 10^{-6}$
	日本鲈	$3.42 \times 10^{-6}$
	澳洲鲈	$3.39 \times 10^{-6}$
来源 Source	“淞航”号	$3.73 \times 10^{-6}$
	生产船	$3.10 \times 10^{-6}$

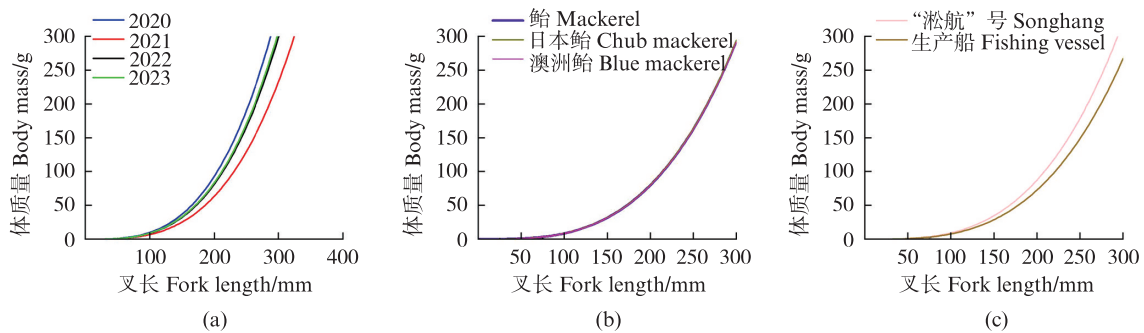


图4 “淞航”号与生产船不同年份与不同物种叉长-体质量异质性分析

Fig. 4 Analysis of fork length-body mass relationship heterogeneity for different species on "Songhang" and fishing vessel in different years

### 3 讨论

#### 3.1 肥满度与叉长-体质量关系

鱼类的肥满度可以间接反映其生活环境<sup>[15]</sup>。本研究中,日本鲈的肥满度相较赵国庆等<sup>[16]</sup>2016—2021年在西北太平洋日本鲈的肥满度(1.30)较小,特别是2022年日本鲈肥满度最小,间接反映出2022年西北太平洋海域环境较差。2022年澳洲鲈肥满度均值也较小(0.86),表明2022年西北太平洋海域环境同样不适于澳洲鲈的育肥。相比之下,2023年西北太平洋水域环境较好,提供了较好的觅食与育肥条件,使日本鲈与澳洲鲈肥满度(1.15与1.14)相对较大。

本研究运用叉长-体质量关系,求得 $a$ 值范围为 $1.889 \times 10^{-6} \sim 6.721 \times 10^{-5}$ , $b$ 值范围为2.66~3.32。其中,2020年生产船日本鲈 $a$ 值为 $6.721 \times 10^{-5}$ ,与已有的研究相比( $3.00 \times 10^{-6} \sim 1.66 \times 10^{-5}$ )<sup>[18-23]</sup>,本研究结果较大,其余年份日本鲈与澳洲鲈的 $a$ 值在文献正常波动范围之内。当幂指数 $b$ 值为2.7~3.7时,即可认为该鱼类为正异速生长<sup>[17]</sup>,因此,本研究中除2020年日本鲈外( $b=2.66$ ),其余年份

日本鲈与澳洲鲈在该海域内呈现正异速生长。2020年西北太平洋日本鲈 $a$ 值较大且体质量增长更快,间接表明2020年西北太平洋水域环境较好,更适宜日本鲈生长。

#### 3.2 叉长-体质量关系异质性

线性混合效应模型不仅能够灵活地结合不同来源的信息,还能有效地解释多种误差来源,现已被广泛地应用于渔业研究中。例如,裴如德等<sup>[26]</sup>使用该模型分析了浙江南部近海小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)的生长和性成熟特征异质性,发现模型能较好地反映小黄鱼的生物学异质性,其生长和性成熟在季节间有显著变化;衷思剑等<sup>[27]</sup>则应用该模型对黄鮟鱇(*Lophius litulon*)的生长进行了异质性分析,结果表明时空特征在混合效应模型中的应用效果显著。这些研究证明了线性混合效应模型在研究鱼类生活史特征异质性方面的成熟应用。

本研究利用线性混合效应模型对日本鲈与澳洲鲈的叉长-体质量关系进行了分析,不同年份、不同数据来源与不同物种求得的 $a$ 值范围为 $2.71 \times 10^{-6} \sim 3.98 \times 10^{-6}$ ,与其他在西北太平洋海域内

( $1.41 \times 10^{-6} \sim 3.00 \times 10^{-6}$ )的研究结果相符。然而,较20世纪80年代东海、黄海与南海海域的研究结果(日本鲈 $a$ 值范围为 $3.00 \times 10^{-6} \sim 1.66 \times 10^{-5}$ ,澳洲鲈为 $7.73 \times 10^{-6} \sim 2.07 \times 10^{-5}$ )<sup>[18-21,24]</sup>,本研究得到的 $a$ 值范围偏小,可能由于西北太平洋海域环境与近海环境相差较大,而近海更适宜日本鲈与澳洲鲈生长。在8个模型中有两个被确定为最优模型,其中年份与不同数据来源的差异较为显著,而不同物种间异质性较小,同时具有年际差异与数据来源差异的模型与同时具有年际差异、数据来源以及种间差异的模型一样好,这间接说明两种鱼类的生长特征较为相似。

### 3.2.1 种间差异

日本鲈与澳洲鲈具有极为相似的分布和生活史特征。两者均为暖水性中上层洄游性鱼类,且形态相似。春夏时节多栖息于中上层,生殖季节常结群到水面活动,有垂直移动现象。二者分布重叠且较为广泛,日本鲈的分布最北可达鄂霍次克海,澳洲鲈则沿东海大陆架分布,北至日本太平洋沿岸,南达南海<sup>[2]</sup>。澳洲鲈适宜水温略高于日本鲈<sup>[28]</sup>,但相差不大。日本鲈与澳洲鲈的生殖季节在每年的1—6月。日本鲈产卵水层更广,水深范围一般在20~100 m,产卵场以伊豆群岛海域为中心<sup>[29]</sup>;澳洲鲈在产卵季节通常于海表面50 m水深之间垂直游动,且产卵场较为分散,主要分布在日本沿太平洋一侧沿岸海域<sup>[30]</sup>。二者的摄食种类也较为相似,主要包括桡足类、头足类、端足类和小型鱼类等<sup>[31-32]</sup>。这些相似的分布范围和生活习性促使日本鲈与澳洲鲈在西北太平洋混栖生活<sup>[33]</sup>。尽管一些生活史特征存在少许差异,但在多个关键生态习性和生活史阶段上的共性可能平衡了这些差异,从而使物种因素对模型拟合结果的影响不显著。因此,在对二者进行初步的生长特征研究时,虽然考虑不区分物种是一种选择,但这些差异有时并不能被忽视,有必要进行深入研究以最终确定这些差异可能带来的影响。

### 3.2.2 年际差异

气候与海洋环境的变化对中上层鱼类的生长产生显著影响<sup>[34]</sup>。水温是影响日本鲈和澳洲鲈生长的关键环境因子<sup>[35-36]</sup>。大尺度的气候变化会影响亲潮-黑潮系统,从而对日本鲈和澳洲鲈的生长、觅食和繁殖产生影响<sup>[28,37]</sup>。此外,盐度和

叶绿素浓度等因素也会对二者的生长产生影响。西北太平洋近年来气候变化剧烈,根据美国国家海洋和大气管理局数据,2020年7月开始进入拉尼娜年份,持续三年。剧烈的气候变化使西北太平洋的环境发生改变。通过异质性分析发现,在相同叉长下,日本鲈与澳洲鲈年际变化较为显著,推测该年际变化与环境变化有关。但由于鱼类生长受多种环境因素的共同影响,因此暂时无法确定造成差异的具体原因,今后的研究可以从气候事件入手,探究其变动与日本鲈和澳洲鲈生长的规律。尽管具体原因尚不明确,时间对生长特征的影响不容忽视。在分析数据尤其是生长特征时,须考虑时间因素带来的影响,而不能简单地假设生长特征在时间变化之下保持不变。

### 3.2.3 不同数据来源间差异

不同数据来源之间的差异可能由多种因素引起,例如捕捞压力、网具选择性、捕捞时间和捕捞区域等<sup>[38-39]</sup>。“淞航”号作为科学调查船,在西北太平洋进行捕捞作业时,会依据资源状况合理分配站位;而生产船由于经济效益或渔民习惯,捕捞更集中在部分区域内,从而导致“淞航”号与生产船依据不同的采样方案获得不同的采样结果。此外,与围网生产船不同,“淞航”号使用四片式中层拖网作业,渔具存在选择性差异。另外,日本鲈与澳洲鲈同为洄游性鱼类<sup>[32,40]</sup>,不同季节和区域的捕捞样本间存在差异,这也可能是“淞航”号与生产船数据差异的原因之一。在实际渔业数据收集时,科学调查船的数据时间跨度小,但数据质量较高;生产船的数据时间跨度较大,样本量较高,但准确度相对较低。因此,科学调查船和生产船之间存在的差异对生长特征研究的影响是不容忽视的。

## 4 展望

本研究对西北太平洋海域内日本鲈与澳洲鲈的生长特征进行了分析,着重探讨了数据不确定性对生长特征的影响,旨在为未来的渔业资源评估及管理提供参考。本研究发现,同时考虑数据来源、年份和物种因素的模型与只考虑数据来源和年份的模型,出现了极为接近的拟合效果,拟合质量显著优于其他模型,且其中种间差异不显著。因此,在生产作业时可不区分物种,以降



低生产成本,提高作业效率。但是,在进行数据处理与分析时,数据的年际差异及来源差异是不容忽视的。另外,温度、盐度、叶绿素浓度、海流和大尺度气候变化等环境因子对日本鲈与澳洲鲈也存在较大影响,在对其生活史特征进行研究时,可以考虑将这些因素的影响纳入模型之中,有助于进一步分析产生时空差异的原因。

#### 参考文献:

- [1] 邵锋,陈新军,李纲,等. 东黄海鲈鱼形态差异分析[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(2): 204-209.  
SHAO F, CHEN X J, LI G, et al. Morphological variations and discriminant analysis of *Scomber japonicus* and *Scomber australasicus* in the Yellow Sea and East China Sea [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2008, 17(2): 204-209.
- [2] 程娇. 西北太平洋两种鲈属鱼类的分子系统地理学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.  
CHENG J. Molecular phylogeography of two *Scomber* species in northwestern Pacific [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [3] North Pacific Fisheries Commission. Blue Mackerel Species Summary [C]. 8th Scientific Committee Meeting, 2023.
- [4] TORRES M A, RAMOS F, SOBRINO I. Length-weight relationships of 76 fish species from the Gulf of Cadiz (SW Spain) [J]. Fisheries Research, 2012, 127-128: 171-175.
- [5] 李昊轩, 邓文博, 郭茜茜, 等. 3种鲈亚科鱼类对不同禁捕策略的响应[J]. 上海海洋大学学报, 2023, 32(4): 841-851.  
LI H X, DENG W B, GUO Q Q, et al. Response of three cultrinae fishes to different fishing ban strategies [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2023, 32(4): 841-851.
- [6] 王杨楠, 韩东燕, 麻秋云, 等. 基于线性混合效应模型的镰鲷叉长-体质量关系的异质性分析[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(1): 135-143.  
WANG Y N, HAN D Y, MA Q Y, et al. Linear mixed-effect models for heterogeneity analysis of fork length-mass relationships for *Pampus echinogaster* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(1): 135-143.
- [7] IQBAL T H, DAMORA A, FIKRI I A, et al. Length-weight relationships of three reef fish species from Kei Islands, Southeast Maluku, Indonesia [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 216: 012028.
- [8] 戴强, 戴建洪, 李成, 等. 关于肥满度指数的讨论[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(5): 715-718.  
DAI Q, DAI J H, LI C, et al. Discussion on relative fatness [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2006, 12(5): 715-718.
- [9] JONES R E, PETRELL R J, PAULY D. Using modified length-weight relationships to assess the condition of fish [J]. Aquacultural Engineering, 1999, 20(4): 261-276.
- [10] 李雅敏, 牟秀霞, 张崇良, 等. 山东近海星康吉鳗体长-体质量关系及其时空异质性[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(3): 729-738.  
LI Y M, MU X X, ZHANG C L, et al. Length-weight relationship and spatio-temporal heterogeneity of *Conger myriaster* in the coastal waters of Shandong Province [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(3): 729-738.
- [11] 孙哈梅. 线性和广义线性混合模型的混合效应预测与应用[D]. 济南: 山东大学, 2018.  
SUN H M. Mixed effect prediction of linear and generalized linear mixed model and their applications [D]. Jinan: Shandong University, 2018.
- [12] 崔明远, 陈伟峰, 戴黎斌, 等. 浙江南部海域蓝圆鲹生长异质性及其死亡特征[J]. 中国水产科学, 2020, 27(12): 1427-1437.  
CUI M Y, CHEN W F, DAI L B, et al. Growth heterogeneity and natural mortality of Japanese scad in offshore waters of southern Zhejiang [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(12): 1427-1437.
- [13] BATES D, MÄCHLERM, BOLKER B, et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4 [J]. Journal of Statistical Software, 2015, 67(1): 1-48.
- [14] 杜良玉, 吴峰, 戴小杰. 淀山湖4种鲈亚科鱼类生长状况分析[J]. 渔业信息与战略, 2023, 38(2): 117-127.  
DU L Y, WU F, DAI X J. Analysis on growth status of four Cultrinae fishes in Dianshan Lake [J]. Fishery Information & Strategy, 2023, 38(2): 117-127.
- [15] 林军, 李增光, 万荣, 等. 长江口凤鲚产卵群体繁殖力特征[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(5): 1023-1031.  
LIN J, LI Z G, WAN R, et al. Fecundity characteristics of spawning stocks of *Coilia mystus* in Yangtze Estuary [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(5): 1023-1031.
- [16] 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.
- [17] 蔡赅. 西北太平洋鲈鱼(*Scomber japonicus*)的资源评估研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.  
CAI K. Stock assessment of Chub mackerel in the Northwest Pacific [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023.

- [18] 王凯, 严利平, 程家骅, 等. 东海鲈鱼资源合理利用的研究[J]. 海洋渔业, 2007, 29(4): 337-343.  
WANG K, YAN L P, CHENG J Y, et al. Study on the reasonable utilization of chub mackerel in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2007, 29(4): 337-343.
- [19] 程家骅, 林龙山. 东海区鲈鱼生物学特征及其渔业现状的分析研究[J]. 海洋渔业, 2004(2): 73-78.  
CHENG J H, LIN L S. Study on the biological characteristics and status of common mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn) fishery in the East China Sea region [J]. Marine fisheries, 2004(2): 73-78.
- [20] 周雨霏, 邓佳怡, 麻秋云, 等. 基于数据有限方法的日本鲭生活史参数估算和资源状态评价[J]. 应用生态学报, 2023, 34(8): 2249-2258.  
ZHOU Y F, DENG J Y, MA Q Y, et al. Estimation of life history traits and stock status for *Scomber japonicus* based on data-limited method [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34(8): 2249-2258.
- [21] CAI K, KINDONG R, MA Q Y, et al. Growth heterogeneity of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean [J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2022, 10(2): 301.
- [22] 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.
- [23] KU J F, TZENG W N. Age and growth of spotted mackerel, *Scomber australasicus* (Cuvier), in the shelf waters of northeastern and southwestern Taiwan [J]. Journal of the Fisheries Society of Taiwan, 1985, 12(2): 12-26.
- [24] FROESE R, THORSON J T, REYES JR R B. A Bayesian approach for estimating length-weight relationships in fishes [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2014, 30(1): 78-85.
- [25] 裴如德, 高春霞, 田思泉, 等. 浙江南部近海小黄鱼生长和性成熟特征的异质性[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1): 333-341.  
PEI R D, GAO C X, TIAN S Q, et al. Heterogeneity of growth and maturity of *Larimichthys polyactis* in the offshore waters of southern Zhejiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(1): 333-341.
- [26] 衷思剑, 麻秋云, 刘淑德, 等. 基于线性混合效应模型的黄鲛鲷体长体重关系的时空差异[J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1299-1307.  
ZHONG S J, MA Q Y, LIU S D, et al. Linear mixed-effects models for estimating spatiotemporal variations of length-weight relationships for *Lophius litulon* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(6): 1299-1307.
- [27] SASSA C, TSUKAMOTO Y. Distribution and growth of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae in the southern East China Sea in response to oceanographic conditions [J]. Marine Ecology Progress Series, 2010, 419: 185-199.
- [28] 王良明, 李渊, 张然, 等. 西北太平洋日本鲭资源丰度分布与表温和水温垂直结构的关系[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(11): 29-38.  
WANG L M, LI Y, ZHANG R, et al. Relationship between the resource distribution of *Scomber japonicus* and seawater temperature vertical structure of northwestern Pacific Ocean [J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(11): 29-38.
- [29] NASHIDA K, MITANI T. Maturation of the spotted mackerel *Scomber australasicus* in the waters off Ashizuri cape, Pacific coast of southern Japan, with reference to the habitat water temperatures [J]. Bulletin of Fisheries Research Agency, 2006(4): 119-124.
- [30] 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.
- [31] 张畅, 陈新军. 西北太平洋澳洲鲈渔业生物学研究进展[J]. 广东海洋大学学报, 2018, 38(1): 91-99.  
ZHANG C, CHEN X J. Review of fisheries biology of blue mackerel (*Scomber australasicus*) in the Northwest Pacific Ocean [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2018, 38(1): 91-99.
- [32] HIYAMA Y, YODA M, OHSHIMO S. Stock size fluctuations in chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Japan/East Sea [J]. Fisheries Oceanography, 2002, 11(6): 347-353.
- [33] 余为, 温健. 洪堡洋流系统内重要渔业资源对气候和海洋环境变化的响应研究进展[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(3): 620-630.  
YU W, WEN J. Review on the response of important fishery resources to the climatic and environmental variability in the Humboldt Current System [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(3): 620-630.
- [34] 周茉, 方星楠, 余为, 等. 厄尔尼诺和拉尼娜事件下西北太平洋柔鱼栖息地时空分布差异[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(4): 984-993.  
ZHOU M, FANG X N, YU W, et al. Difference of spatio-temporal distribution of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean under the El Niño and La Niña events [J]. Journal of Shanghai Ocean

- University, 2022, 31(4): 984-993.
- [35] 张畅, 陈新军. 基于灰色系统的澳洲鲈太平洋群系资源量预测模型[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(1): 154-160.
- ZHANG C, CHEN X J. Forecasting model for spotted mackerel biomass based on grey system theory[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(1): 154-160.
- [36] 王雅萌, 陈芃, 陈新军. 气候变化下西北太平洋大洋生态系统海表面温度特征分析[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(5): 874-883.
- WANG Y M, CHEN P, CHEN X J. Characteristics of sea surface temperature for large marine major ecosystems in the northwest Pacific under climate change[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(5): 874-883.
- [37] 李迎冬, 张崇良, 纪毓鹏, 等. 不同采样设计对估计鱼类空间格局指数的影响[J]. 海洋学报, 2022, 44(1): 36-47.
- LI Y D, ZHANG C L, JI Y P, et al. Effects of sampling design on estimation of spatial pattern indices of fish population[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(1): 36-47.
- [38] 黄洪亮, 王明彦, 徐宝生, 等. 东海区拖网网囊网目选择性研究[J]. 水产学报, 2005, 29(2): 232-237.
- HUANG H L, WANG M Y, XU B S, et al. Study on selectivity of mesh size of cod-end of trawl in the East China Sea region[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(2): 232-237.
- [39] 武胜男, 陈新军. 西北太平洋日本鲭渔业生物学和渔业海洋学研究进展[J]. 广东海洋大学学报, 2018, 38(2): 91-100.
- WU S N, CHEN X J. Review on fishery biology and fishery oceanography of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2018, 38(2): 91-100.

## Impact of data uncertainties on growth of two coexisting mackerel species in Northwest Pacific Ocean

LIU Zhiwei<sup>1</sup>, ZHOU Yufei<sup>1</sup>, ZHENG Linlin<sup>1</sup>, MA Qiuyun<sup>1,2,3</sup>, CUI Mingyuan<sup>1</sup>

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceania Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** This study used the Chub mackerel *Scomber japonicus* and Blue mackerel *S. australasicus* samples derived from both scientific survey and fishing vessels between 2020 and 2023, and analyzed the influence of species identification, different data sources and time variations on individual growth. The results revealed that the fattiness of samples from fishing vessels was slightly lower than that of scientific survey, and the body mass of samples from scientific survey grew faster. The length-body mass relationship showed that under the same fork length, the body mass of Blue mackerel was lighter than that of Chub mackerel. The range of condition factor was  $1.886 \times 10^{-6}$ – $6.721 \times 10^{-5}$ , with the exponent coefficient  $b$  mostly greater than 3. Heterogeneity analysis indicated that there were significant influence of data sources and years on the mackerels' growth, without significant growth difference between Chub mackerel and Blue mackerel in Northwest Pacific Ocean. Therefore, time-varying growth parameters and their uncertainties from different data sources of mackerels are strongly suggested to be considered during the stock assessment and fishery management which require life history traits. Additionally, species distinguishment between two mackerels could be given lower priority during data collection and management, but still deserve concern in the future research.

**Key words:** Northwest Pacific Ocean; uncertainties; mackerel; growth; linear mixed-effects model