

DOI: 10.12264/JFSC2023-0355

东海中南部澳洲鮀繁殖群体生物学特征

史雨楠^{1, 2}, 严利平¹, 李建生¹

1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部东海渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 为研究东海海域澳洲鮀(*Scomber australasicus*)繁殖群体的生物学特征, 依据 2016—2023 年 1—4 月在东海中南部采集的 227 尾澳洲鮀样本, 分析了澳洲鮀繁殖群体的叉长、体重、摄食等级、肥满度、性腺指数、性比及肌肉含量等生物学特征。结果显示, 澳洲鮀繁殖群体性别间的叉长和体重关系无显著差异($P>0.05$), 雌雄个体合并拟合的叉长和体重关系式为: $W=3\times10^{-6}FL^{3.2558}$ 。1 月为澳洲鮀的越冬期, 2—4 月为繁殖期。澳洲鮀的产卵高峰期集中在 3 月, 到 4 月下旬, 已经产卵的澳洲鮀数量比例增大。在性腺发育同等情况下, 雌性澳洲鮀在繁殖期间性腺指数始终高于雄性澳洲鮀, 而肌肉含量却小于雄性澳洲鮀。摄食强度在越冬期到繁殖期前后是先下降后上升的状态, 肥满度则是先上升后下降, 最后恢复到与繁殖期前相近的水平。2 月繁殖初期雄性多于雌性, 到 3—4 月繁殖中后期雌性数量多于雄性。这种繁殖期间性比的变化符合最大限度实现世代补充和繁殖收益最大化的繁殖策略。综上, 东海中南部澳洲鮀的繁殖高峰期集中在 3 月, 在进入繁殖期后, 性腺发育过程中会减少摄食, 生长缓慢, 机体的部分肌肉组织会转化为性腺以满足生殖所需。

关键词: 澳洲鮀; 繁殖群体; 生物学特征; 东海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)04-0429-10

澳洲鮀(*Scomber australasicus*)属暖水性物种^[1-2], 主要分布在东海大陆架沿岸, 北至日本太平洋海岸, 南至南海水域^[3-4]。澳洲鮀的迁徙路线受到很多因素的影响, 例如渔场的地理分布、捕捞条件、季节变化、海洋环境因素以及个体大小等^[5]。澳洲鮀幼鱼游泳能力弱, 无法通过自身游泳迁徙, 只能依靠海洋潮流进行迁徙, 当体长达到 50~60 mm 时, 它们会聚集成群进行迁徙^[6]。澳洲鮀和日本鲭(*Scomber japonicus*)作为同属的不同鱼种, 是不同国家在东海的重点捕捞对象, 包括中国、日本、韩国等, 其中大型围网是其主要的捕捞方式^[7]。东海中南部澳洲鮀和日本鲭存在混栖现象^[8-9], 在东海中南部作业的大型围网渔获物中, 澳洲鮀占有较高的比例^[10]。自 2003 年我国初

具规模在东海中南部海域捕捞鮀鱼以来^[11-12], 该海域已成为夏秋季捕捞澳洲鮀的主要作业渔场^[13-14]。随着 21 世纪初期以来东黄海底层鱼类资源的严重衰退, 澳洲鮀已经成为中上层的经济鱼类的重点捕捞对象, 其渔业地位显得尤为重要。

目前, 国内外学者对澳洲鮀的研究内容主要涉及资源量的评估^[15-16]、渔场分布^[17-18]、年龄测定^[19]、产卵场的分布^[20]、种群分类^[21-22]等。关于澳洲鮀生物学的研究, 主要涉及繁殖力^[23-24]与年龄生长^[25]等, 而东海中南部澳洲鮀的生物学特征研究还需补充和完善。基于此, 本研究以 2016—2023 年 1—4 月在东海中南部大型围网捕捞的澳洲鮀作为研究样本, 对其繁殖期间的生物学特征进行研究, 以期丰富东海澳洲鮀的生物学内容,

收稿日期: 2024-01-19; 修订日期: 2024-03-04.

基金项目: 国家重点研发计划专项(2020YFD0900800); 农财项目-东海近海渔业资源调查(2022)

作者简介: 史雨楠(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源. Email: 1253934293@qq.com

通信作者: 李建生, 副研究员, 研究方向为渔业资源评估与管理. E-mail: jianshengli@sina.com

为以后的渔业资源评估等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样本的采集

本研究澳洲鮰样本取自东海中南部海域($26^{\circ}00'N\sim28^{\circ}00'N, 125^{\circ}E$ 以西)、围网渔获的随机样品，具体采样信息见表 1。

1.2 生物学分析测定

在实验室对样本进行生物学基础测定。样本解冻后，用滤纸吸取多余水分，首先分辨其性别，然后用直尺测量叉长(mm)，用电子天平秤测量体重(g)、纯体重(g)和性腺重(g)，最后鉴定摄食强度。

表 1 澳洲鮰的采样信息
Tab. 1 Sampling information of *Scomber australasicus*

采样时间 sample time	样本数量 number of samples	叉长范围/mm range of fork length	平均叉长/mm average fork length	体重范围/g range of body weight	平均体重/g average body weight
2018-01-02	30	295~366	316.70 ± 17.26	318.7~647.4	413.97 ± 82.32
2016-02-16	30	306~342	331.10 ± 7.82	426.7~602.0	531.18 ± 49.97
2016-03-06, 2017-03-08	60	280~354	327.42 ± 13.29	271.8~651.7	454.62 ± 53.76
2021-03-20, 2023-03-21	56	285~415	334.32 ± 21.79	246~948.2	513.51 ± 115.65
2017-04-05, 2023-04-04	31	304~401	346.07 ± 14.92	337~873.6	527.21 ± 72.02
2023-04-26	20	238~364	301.36 ± 36.92	166.2~571.0	362.86 ± 128.01

1.4 数据处理

主要对 1 月(澳洲鮰雌雄性腺发育等级雌雄均为 II 期, 定为越冬期)和 2—4 月(性腺发育等级已经出现性成熟 III 期及以上)的繁殖群体数据进行处理, 计算比较肥满度的变化趋势、观察性腺指数的变化和雌雄性比变化以及对叉长与体重关系进行拟合, 涉及到的公式主要有:

$$\text{肥满度公式 } K=(W_N/FL^3)\times10^5$$

$$\text{性腺指数 } GSI=(W_G/W_N)\times100$$

$$\text{叉长与体重关系 } W=aFL^b$$

$$\text{纯体重与体重比值(肌肉含量)}=W_N/W\times100$$

式中, W 为体重(g); W_N 为纯体重(g); W_G 为性腺重(g); FL 为叉长(mm); a 是条件因子; b 是生长参数(代表鱼体长、体高和体宽 3 个方向线度的生长速度)。

所有数据都由 Microsoft Excel 2016, SPSS27 进行分析处理, 绘图制作通过 origin 2021 软件。

1.3 性腺成熟度分期和摄食强度的分级

精巢和卵巢发育一共分为 6 个时期, 前 5 期是按照性腺的发育过程进行分期, 第 VI 期卵巢是刚产完卵以后, 可分为一次产卵和分批次产卵。一次产卵类型: 卵巢体积大大缩小, 卵巢退化成 II 期再次发育; 分批次产卵类型: 卵巢退化到 III~IV 期不等。第 VI 期精巢体积大大缩小, 精巢退化至第 III 期, 之后再次发育^[26]。将 III~V 期和 VI-II 期的澳洲鮰定为性成熟。

根据《鱼类生态学》将摄食强度分为 0~4 共 5 个等级^[27], 分别对应空胃、食物不超过胃腔 50%、食物超过胃腔 50%、食物充满不膨胀和食物充满胃腔膨胀等 5 种状态。

2 结果与分析

2.1 叉长、体重

2.1.1 叉长、体重分布 澳洲鮰的叉长和体重分布如图 1 和图 2 所示。统计分析结果表明: 雌鱼(样本量为 138 尾)叉长范围 265~415 mm, 平均叉长(328.01 ± 21.83) mm, 优势叉长组为 320~350 mm, 体重范围 206.4~948.2 g, 平均体重(474.67 ± 113.13) g, 优势体重组为 400~500 g。雄鱼(样本量 89 尾)叉长范围 238~390 mm, 平均叉长(323.19 ± 27.96) mm, 优势叉长组 320~350 mm, 体重范围 166.2~714.7 g, 平均体重(457.54 ± 118.05) g, 优势体重组为 400~500 g。

2.1.2 体重与叉长的关系 使用 SPSS27 软件对性别间的叉长和体重关系进行协方差检验, $P>0.05$, 说明澳洲鮰繁殖群体的雌鱼与雄鱼的叉长和体重对应关系无明显差异。因此将 2—4 月繁殖群体的雌性和雄性样本个体合并, 拟合澳洲鮰叉

长与体重的关系, 其相关曲线如图3所示, 关系式: $W=3\times10^{-6}FL^{3.2558}$ ($n=197$, $R^2=0.8654$, $P<0.05$), 此关系式具有统计学意义。拟合度 R^2 在 0.86 以上, 整体拟合度较好。

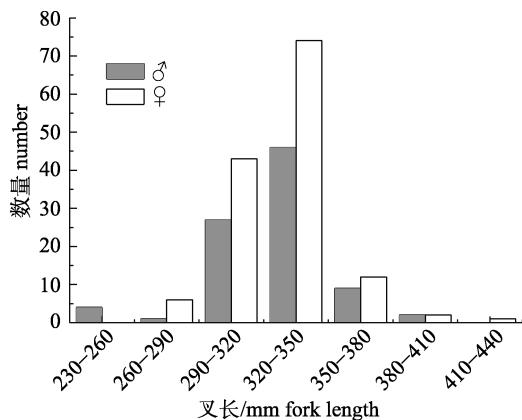


图1 东海中南部澳洲鮈叉长的分布

Fig. 1 Distribution of fork lengths of *Scomber australasicus* in the south-central East China Sea

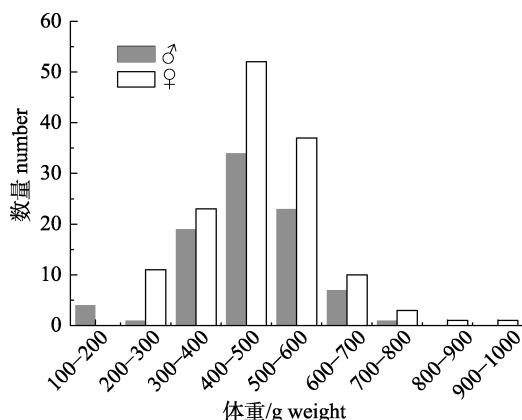


图2 东海中南部澳洲鮈体重的分布

Fig. 2 Distribution of body weight of *Scomber australasicus* in the south-central East China Sea

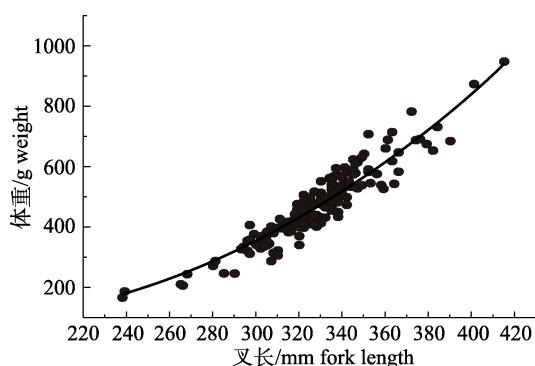


图3 东海中南部澳洲鮈叉长和体重的关系

Fig. 3 Relationships between fork length and body weight of *Scomber australasicus* in the south-central East China Sea

2.2 肥满度、摄食强度和纯体重与体重的比值

2.2.1 肥满度 从东海中南部澳洲鮈越冬期 1 月到繁殖期 2—4 月肥满度随时间的变化曲线(图 4)可以看出, 肥满度以 2 月最高($K=1.25$), 4 月上旬最低($K=1.10$)。在进入 2 月繁殖期前, 肥满度呈上升趋势, 其后在波动中呈下降态势, 到 4 月下旬又回升至 1 月的水平。由此可见, 澳洲鮈从越冬期至繁殖期, 肥满度整体变化趋势是先升高再持续降低最后再恢复到进入繁殖期前的水平。

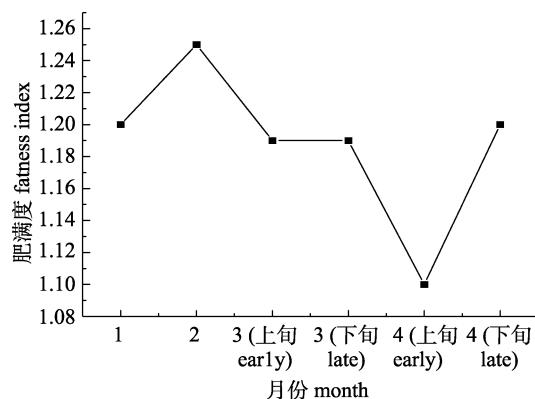


图4 东海中南部澳洲鮈肥满度随时间的变化

Fig. 4 Changes in fatness of *Scomber australasicus* with time in the south-central East China Sea

2.2.2 摄食强度 从摄食等级分布随时间的变化可以看出(图 5): 1 月越冬期摄食强度主要以 1~2 级为主, 从 2 月到 4 月上旬摄食强度 4 级的百分比逐渐上升, 到 4 月上旬 4 级的百分比达到最高为 60%。而空胃率在 2 月最高, 从 3 月下旬到 4 月下旬空胃率都为 0。由此可见, 澳洲鮈从越冬期

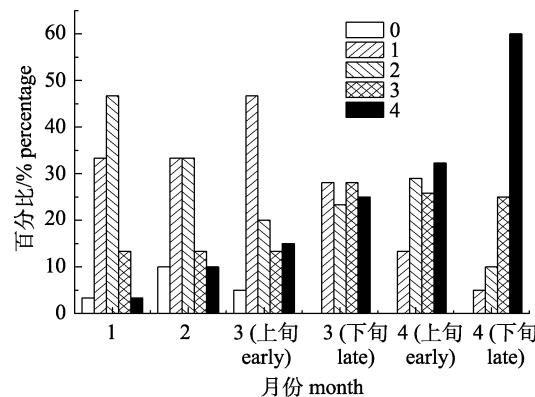


图5 东海中南部澳洲鮈摄食强度随时间的分布状况

Fig. 5 Distribution of feeding grades of *Scomber australasicus* with time in the south-central East China Sea

到繁殖期间, 摄食强度整体的变化趋势是先下降再逐步上升的。

2.2.3 纯体重与体重比值 鱼类纯体重与体重的比值一定程度上可以反映出机体的肌肉含量, 是评估鱼类经济价值的一个指数^[28]。东海澳洲鮰肌肉含量的变化曲线(图 6)显示: 雌雄澳洲鮰从越冬期的 1 月进入繁殖期 2 月, 机体的肌肉含量下降最多, 从 92% 下降到 85%。从繁殖期 2 月到 4 月下旬都是逐步上升的状态, 但直到 4 月下旬也没有达到繁殖期前的水平, 并且雄性澳洲鮰的肌肉含量从 3 月上旬至 4 月下旬均比雌性高约 1%。由此可见, 澳洲鮰从越冬期到繁殖期的肌肉含量变化是先下降再逐步上升的, 同时在繁殖期间, 雄性澳洲鮰的肌肉含量高于雌性澳洲鮰。

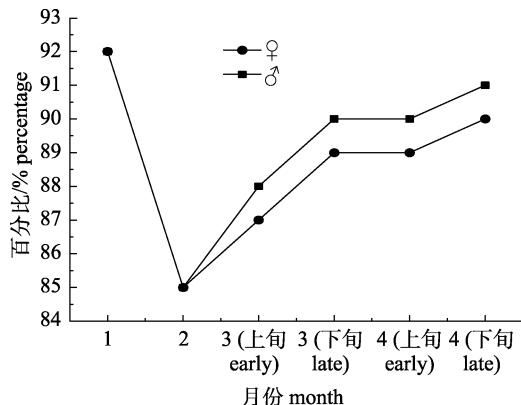


图 6 东海中南部澳洲鮰肌肉含量随时间的变化

Fig. 6 Changes in the meat content of *Scomber australasicus* with time in the south-central East China Sea

2.3 性腺指数

采样月的平均性腺指数变化曲线(图 7)显示: 1 月越冬期所有澳洲鮰性腺处于 II 期水平, 性腺指数最低, 雄性为 0.73, 雌性为 0.65。进入 2 月繁殖期后, 澳洲鮰性腺指数上升, 雄性在 3 月上旬性腺指数达到顶峰, 为 4.91, 之后逐步下降, 而雌性在 3 月下旬性腺指数达到顶峰, 为 4.93, 之后再逐步下降。最后在 4 月下旬性腺指数雄性降到 0.83, 雌性降到 0.86。可以看出, 澳洲鮰从越冬期进入繁殖期性腺指数会先上升, 在繁殖期上升到最高后再开始逐步下降, 雄性会比雌性性腺指数先达到顶峰, 然后再逐步下降。

根据性腺发育的等级对比雌雄性腺指数的变

化曲线(图 8)显示: 雌性澳洲鮰各期的性腺指数均高于雄性, 其中性腺 IV 期差距最大, 差值在 2.02, 性腺 II 期差值最小为 0.03。各月的性腺等级分布如图 9 所示, 1 月澳洲鮰性腺等级全部为 2 期, 没有性成熟个体出现。从 2 月开始, 性成熟个体开

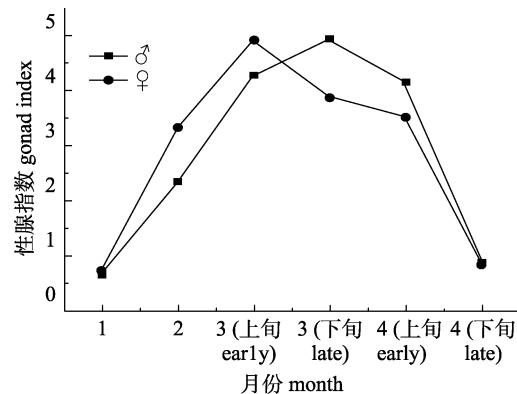


图 7 东海中南部澳洲鮰性腺指数随时间的变化

Fig. 7 Changes in gonad index of *Scomber australasicus* with time in the south-central East China Sea

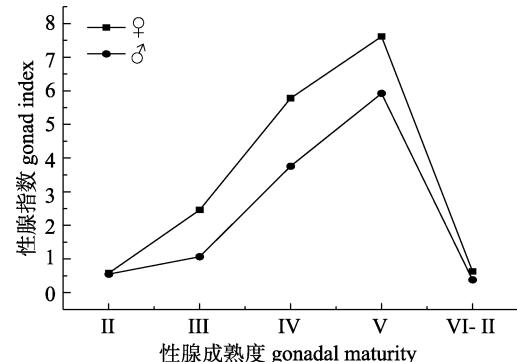


图 8 东海中南部澳洲鮰不同性腺成熟度性腺指数的变化

Fig. 8 Changes in gonad index of different gonadal maturity of *Scomber australasicus* in the south-central East China Sea

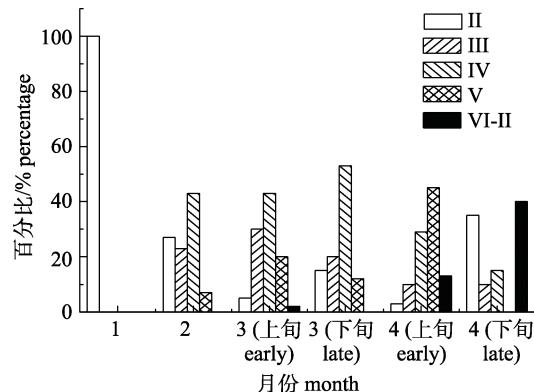


图 9 东海中南部澳洲鮰性腺成熟度随时间的分布状况

Fig. 9 Distribution of gonadal maturity of *Scomber australasicus* with time in the south-central East China Sea

始出现, 成熟比例为2月83%、3月上旬95%、3月下旬85%、4月上旬97%、4月下旬65%。4月上旬开始, 性腺等级VI-II期的澳洲鮈数量比例增多, 占13%, 到了4月下旬已达到40%。表明随着繁殖期高峰结束, 产过卵的澳洲鮈比例逐渐增多。

2.4 雌雄性比

如图10所示, 1月越冬期雌雄性比为2.33:1, 2月最低为0.86:1, 3月上旬达到最高为3.75:1, 4月上旬比例1.01最接近于1($P>0.05$), 其余1月、3月上下旬和4月下旬都大于1($P<0.05$)。可以得知, 从越冬期到繁殖期性比会下降, 繁殖前期雄性数量多于雌性, 在繁殖中后期雌性数量大于雄性。

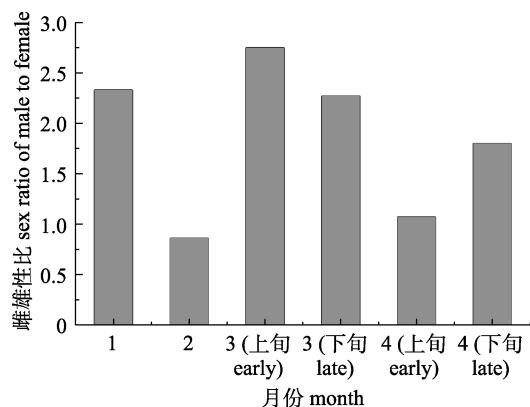


图10 东海中南部澳洲鮈雌雄性比随时间的变化

Fig. 10 Changes in male-to-female sex ratios of *Scomber australasicus* with time in the south-central East China Sea

3 讨论

3.1 叉长与体重

本研究表明, 2018年1月澳洲鮈越冬期群体叉长范围为295~366 mm, 体重范围为318.7~647.4 g, 2016年、2017年、2021年和2023年2—4月繁殖群体的叉长范围为238~415 mm, 体重范围为166.2~948.2 g(表1), 其叉长和体重与2006年越冬期的东海群系澳洲鮈相比均偏小(324.1~422.1 mm, 465.3~1052.8 g)^[29], 与2017—2018年东海越冬期的澳洲鮈叉长(237~395 mm)相比, 叉长范围偏小, 没有小个体和大个体的澳洲鮈^[30]。东海群系澳洲鮈比南海群系与太平洋群系体型要小, 其中太平群系澳洲鮈体型最大^[31-32]。可见, 澳洲

鮈的体型会受到地理位置的影响。雌性与雄性澳洲鮈的优势叉长组相同, 优势体重组也相同, 分别为320~350 mm、400~500 g。但在大体型的澳洲鮈群体中(图1、图2), 雌性的占比要多于雄性, 并且雌性的叉长与体重的均值都略微高于雄性, 这可能与雌性个体为了容纳更多的鱼卵, 提高后代数量有关。这在其他鱼类中也是普遍存在的, 如东海黄鮟鱇(*Lophius litulon*)^[33]、日本鲭^[34]和蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)^[35]等。

鱼类叉长和体重最常用的关系式为 $W=aFL^b$, a 为条件因子, 代表种群生长的环境条件, 受到环境因素影响, 如水温、地理位置、饵料丰富度等, 与肥满度的表述内容相似^[36]。 b 为异速生长参数, 当 $b=3$ 时为匀速生长, 个体具有体型不变和比重不变的特点; 当 $b>3$ 时为正向异速生长, $b<3$ 为负向异速生长^[37]。参数 b 与体长呈正相关性, 幼鱼的 b 多小于3, 生长到成鱼时多等于或大于3^[38]。协方差检验显示澳洲鮈雌雄个体间叉长与体重关系无显著差异性, 本研究对雌雄个体合并拟合, 计算结果显示 $b=3.2588>3$, 表明澳洲鮈在繁殖期间为正向异速生长, 繁殖期间体重的增长速度要快于叉长。

3.2 性腺指数和性比

本研究结果发现, 1月的澳洲鮈性腺发育全部为II期, 肉眼观测可以分辨出雌雄, 性腺指数最低, 3—4月的澳洲鮈性成熟III期以上的比例最高, 性腺指数达到最大。而历史研究结果显示, 从12月开始, 成年澳洲鮈的性腺开始发育变大, 在繁殖季节期间迅速发育, 至第二年的3—4月达到最大^[39-47], 这与本研究东海中南部海域澳洲鮈性腺发育过程情况一致。根据本研究性腺指数月变化的结果可以推断出东海中南部澳洲鮈的产卵期主要集中在2—4月, 高峰期为3月上旬到4月上旬。雄性澳洲鮈性腺发育比雌性先到达峰值(图7), 说明在同一产卵季中雄性澳洲鮈会比雌性性成熟早, 这与黄渤海蓝点马鲛鱼相似^[35]。日本学者研究发现, 澳洲鮈产卵季节在2—6月^[20]。由于研究期间的5—6月东海处于休渔期, 这些月份的样本无法获取, 所以无法得知5—6月数据。但本研究结果发现, 4月下旬40%澳洲鮈已经繁殖结束, 而4月

下旬还可见到性腺 II~IV 期的澳洲鮰个体, 根据性腺发育的过程, 这部分澳洲鮰繁殖期会延续到 5—6 月左右, 这与日本学者的研究结果相符。

鱼类性腺指数可以衡量鱼类性腺发育程度, 也反映出鱼类体内能量在性腺和机体的分配情况^[48]。雌性澳洲鮰的性腺指数在性腺同等发育情况下在繁殖期间是大于雄鱼的, 雌鱼分配到性腺发育的能量要高于雄鱼, 这是因为雌性澳洲鮰会提高自身的繁殖能力来保证种群延续, 这与很多其他鱼种情况相似, 例如东海黄鮟鱇^[33]和日本鲭^[34]等。

性比是决定种群繁殖力的重要因素之一, 是物种生存繁衍的适应性表现。Winters^[49]研究发现, 毛鳞鱼(*Mallotus ailiosus*)在繁殖季节雄性通常会比雌性先到达产卵场, 等待雌性到达产卵场进行交配, 而雌性则是一次将其所有卵子排除, 然后离开产卵场。在对伊利湖白眼鱼(*Sander vitreus*)的研究中发现, 雄性通常比雌性更早到达产卵场, 并且在产卵场停留更长的时间, 使得在繁殖季节中, 海钓的渔获量雄性数量占比更多^[50]。本研究发现澳洲鮰 2 月性比是 0.86 : 1, 雌性澳洲鮰的数量少于雄性澳洲鮰, 说明在繁殖期前期前往产卵场时雄性澳洲鮰先到达产卵场, 导致 2 月雄性数量多于雌性。在繁殖期中后期, 雄鱼在与雌性交配结束后会先离开产卵场, 雌鱼数量显著多于雄鱼。Vandeperre 等^[51]的研究结果显示, 雄性鱼类先进入产卵场可与多个雌性进行生殖活动, 从而保证繁殖收益最大化。可见, 澳洲鮰雄性先于雌性进入产卵场遵循繁殖收益最大化的繁殖策略。另外本研究发现澳洲鮰性比会随着叉长与体重的变化而变化, 在小个体(叉长 230~260 mm, 体重 100~200 g)中雄性数量多于雌鱼, 而随着叉长与体重的增加, 雌鱼数量逐渐大于雄鱼, 且大个体群体中雌性显著多于雄性, 这种现象也见于日本鲭^[52]。

3.3 摄食强度、肥满度和纯体重与体重的比值

鱼类的摄食强度表示鱼类胃肠内食物的饱胀程度^[53], 进入繁殖期摄食强度会变低^[54]。澳洲鮰从 2 月进入繁殖期开始, 空胃率上升, 澳洲鮰的摄食活动开始减弱, 说明产卵繁殖会影响澳洲鮰的摄食活动。在 3 月的产卵高峰期, 澳洲鮰的摄

食等级主要以 1 级为主, 在整体上摄食活动达到最低的状态, 在高峰期过后澳洲鮰的摄食活动明显增强。可见, 澳洲鮰的摄食活动会随着繁殖活动的升高而降低。

肥满度在一定程度上可以反映出鱼类的营养状况、肥瘦程度和发育情况^[55]。通过肥满度可以看出澳洲鮰的发育状况和能量利用程度。肥满度主要受到摄食强度的影响, 因此影响摄食的因素都会影响到肥满度, 例如环境温度、饵料丰富度等^[56]。1—4 月期间, 澳洲鮰的肥满度在 2 月达到最大, 4 月上旬降至最低。这是由于性腺不断发育成熟使得澳洲鮰分配到自身生长的能量降低, 同时繁殖活动影响摄食强度, 使得澳洲鮰在此期间获得的能量减少导致的。在 4 月下旬繁殖末期, 澳洲鮰的肥满度再次上升, 与繁殖期开始前的 1 月基本持平, 并且此时澳洲鮰性腺指数已经下降。表明随着繁殖高峰期的结束, 澳洲鮰摄食活动的增加, 以补充大量繁殖期间损耗的能量。澳洲鮰繁殖季节肥满度的变化也与东海黄鮟鱇^[33]相似。有研究表明, 鱼类在性成熟过程中, 部分肌肉组织将会转变为性腺^[48], 本研究中通过纯体重与体重的比值可以了解到澳洲鮰的肌肉含量, 结果发现雄性澳洲鮰在繁殖期间机体的肌肉含量高于雌性澳洲鮰, 这与雌性澳洲鮰在繁殖期间机体分配到性腺发育的能量过多有关, 且可能是雌性澳洲鮰为保证种群的延续来提高后代存活率的一种方式。

参考文献:

- [1] Yukami R, Ohshima S, Yoda M, et al. Estimation of the spawning grounds of chub mackerel *Scomber japonicus* and spotted mackerel *Scomber australasicus* in the East China Sea based on catch statistics and biometric data[J]. Fisheries Science, 2009, 75(1): 167-174.
- [2] Sezaki K, Kuboshima Y, Mitani I, et al. Identification of chub and spotted mackerels with mitochondrial cytochrome b gene and its application to respective relagic eggs fixed with formalin[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2001, 67(1): 17-22.
- [3] 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. [张畅, 陈新军. 西北太平洋澳洲鮰渔业生物学研究进展[J]. 广东海洋大学学报, 2018, 38(1): 91-99.]

- [4] Tzeng W N. Availability and population structure of spotted mackerel, *Scomber australasicus*, in the Adjacent Waters of Taiwan[J]. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 1988, 19: 132-145.
- [5] Ohga H, Akase F, Sakanoue R, et al. Alanine scanning and characterization of core peptides in Scombridae fish family for construction of Kiss1 super analog[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2020, 288: 113356.
- [6] 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]. *Fisheries Society of Taiwan*, 1985, 12(2): 12-26.
- [7] 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. [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.]
- [8] Cheng J. Molecular phylogeography of two *Scomber* species in northwestern Pacific[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [程娇. 西北太平洋两种鮈属鱼类的分子系统地理学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]
- [9] Hiyama Y, Yoda M, Ohshima 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.
- [10] Zhang Q H, Cheng J H, Xu H X, et al. Fishery resources and sustainable utilization in the East China Sea Area[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007: 505-512. [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: 505-512.]
- [11] Li J S, Yan L P, Hu F. Trend of purse seine production in the southern area of the East China Sea in summer in 2004[J]. *Modern Fisheries Information*, 2005, 20(7): 19-21. [李建生, 严利平, 胡芬. 2004年夏季东海南部海域围网渔业生产动态[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(7): 19-21.]
- [12] Zhang H L, Zhou Y D, Chen B. Analysis on production condition of deep-water light seining fisheries in Zhejiang Province[J]. *Marine Fisheries*, 2007, 29(3): 281-284. [张洪亮, 周永东, 陈斌. 2006年浙江省深水灯光围网渔业生产状况分析[J]. 海洋渔业, 2007, 29(3): 281-284.]
- [13] Li J S, Yan L P, Qian H S, et al. Dynamic analysis on monitoring purse-seine fishery in the regions of East China Sea and Yellow Sea in 2007[J]. *Journal of Modern Fisheries Information*, 2008, 23(6): 9-12. [李建生, 严利平, 钱洪生, 等. 2007年东黄海机轮围网渔业监测动态分析[J]. 现代渔业信息, 2008, 23(6): 9-12.]
- [14] Li J S, Yan L P, Ling J Z, et al. Dynamic analysis on monitoring purse-seine fishery in the regions of East China Sea and Yellow Sea in 2008[J]. *Journal of Modern Fisheries Information*, 2009, 24(6): 6-8, 15. [李建生, 严利平, 凌建忠, 等. 2008年东黄海机轮围网渔业监测动态分析[J]. 现代渔业信息, 2009, 24(6): 6-8, 15.]
- [15] Yan L P, Li J S, Tang M, et al. Assessment of *Scomber australasicus* biomass in the East China Sea community by Length-Structure VPA[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(7): 97-102. [严利平, 李建生, 唐敏, 等. 应用体长结构VPA评估东海群系澳洲鮈资源量[J]. 中国水产科学, 2007, 14(7): 97-102.]
- [16] Rampazzo F, Tosi F, Tedeschi P, et al. Preliminary multi analytical approach to address geographic traceability at the intraspecific level in Scombridae family[J]. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 2020, 56(3): 260-279.
- [17] Li J S, Yan L P, Cheng J H. On the quantitative distribution characteristics of *Scomber australasicus* colony in the East China Sea during summer and autumn 2006[J]. *Marine Fisheries*, 2008, 30(1): 49-55. [李建生, 严利平, 程家骅. 2006年夏秋季东海群系澳洲鮈数量分布特征[J]. 海洋渔业, 2008, 30(1): 49-55.]
- [18] Li J S, Yan L P, Hu F. Annual change of spotted mackerel *Scomber australasicus* fishing season and fishing grounds in central and southern East China Sea in summer and autumn [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(1): 178-184. [李建生, 严利平, 胡芬. 夏秋季东海中南部海域澳洲鮈渔汛和渔场的年变化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(1): 178-184.]
- [19] Yukami R, Ohshima S, Yoda M, et al. Estimation of the spawning grounds of chub mackerel *Scomber japonicus* and spotted mackerel *Scomber australasicus* in the East China Sea based on catch statistics and biometric data[J]. *Fisheries Science*, 2009, 75(1): 167-174.
- [20] Kimura R, Nashida K, Oozeki Y, et al. Age determination method suitable for spotted mackerel *Scomber australasicus* using their otoliths[J]. *Fisheries and Marine Research*, 2002, 66(4): 247-251.
- [21] Tzeng T D. Morphological variation between populations of spotted mackerel (*Scomber australasicus*) off Taiwan[J]. *Fisheries Research*, 2004, 68(1-3): 45-55.
- [22] Tzeng T D. Population structure and historical demography of the spotted mackerel (*Scomber australasicus*) off Taiwan inferred from mitochondrial control region sequencing[J]. *Zoological Studies*, 2007, 46(6): 656-663.
- [23] Sinaga S, Lu H J, Lin J R. Mackerel (*Scomber australasicus*) reproduction in northeastern Taiwan[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, 9(12): 1341.

- [24] Hunter J R, Macewicz B J. Sexual maturity, batch fecundity, spawning frequency, and temporal pattern of spawning for the Northern anchovy, *Engraulis mordax*, during the 1976 spawning season[J]. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 1980, 21: 139-149.
- [25] Hunter J R, Goldberg S R. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*[J]. Fishery Bulletin, 1980, 77(3): 641-652.
- [26] Bond C E. Biology of fishes[M]. Tianjin: Nankai University Press, 1989. [(美)C·E·Bond. 鱼类生物学[M]. 天津: 南开大学出版社, 1989.]
- [27] Ye F L, Zhang J D. Fish ecology[M]. Guangzhou: Guangdong High Education Press, 2002. [叶富良, 张健东. 鱼类生态学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2002.]
- [28] Yang C, Gao Q X, Qin G J, et al. Effects of Antarctic krill meal replacing fish meal on growth performance, gonadal index, amino acid and fatty acid composition in muscle of large size *Pampus argenteus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(10): 4877-4884. [杨程, 高权新, 覃干景, 等. 南极磷虾粉替代鱼粉对大规格银鲳生长性能、性腺指数及肌肉氨基酸与脂肪酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(10): 4877-4884.]
- [29] 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 Fisheries University, 2008, 17(2): 204-209. [邵锋, 陈新军, 李纲, 等. 东黄海鲐鱼形态差异分析[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(2): 204-209.]
- [30] 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. [韩需武, 陈新军, 方舟, 等. 基于鱼体和耳石形态的东海两种鲐属鱼类判别分析[J]. 海洋渔业, 2020, 42(2): 161-169.]
- [31] Kawabata A, Watanabe C, Nishida N, et al. Stock assessment and evaluation for Pacific stock of spotted mackerel (fiscal year 2008)[R]. Fisheries Agency and Fisheries Research Agency of Japan, 2009, 186-218.
- [32] Yukami R. Stock assessment and evaluation for East China Sea stock of spotted mackerel (fiscal year 2007)[R]. Marine Fisheries Stock Assessment and Evaluation for Japanese Waters, 2008.
- [33] Zhang X J, Cheng J H, Shen W, et al. Reproductive biology of yellow goosefish *Lophius litulon*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 290-298. [张学健, 程家骅, 沈伟, 等. 黄鮟鱇繁殖生物学研究[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 290-298.]
- [34] 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. [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.]
- [35] Qiu S Y, Ye M Z. Studies on the reproductive biology of *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1996, 27(5): 463-470, 570. [邱盛尧, 叶懋中. 黄渤海蓝点马鲛繁殖生物学的研究[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(5): 463-470, 570.]
- [36] Li Z L, Jin X S, Shan X J, et al. Inter-annual changes on body weight-length relationship and relative fatness of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(3): 602-610. [李忠炉, 金显仕, 单秀娟, 等. 小黄鱼体长-体质量关系和肥满度的年际变化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 602-610.]
- [37] Liu Z J, Hu Z J, Guo A T, et al. Study on biological characteristics of spawning population of *Coilia nasus* in the Oujiang River[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2022, 41(5): 442-447. [刘志坚, 胡忠健, 郭安托, 等. 瓯江刀鲚繁殖群体生物学特性研究[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2022, 41(5): 442-447.]
- [38] Huang Z L, Chang J B. Fractal characteristics of length-weight relationship in fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(4): 330-336. [黄真理, 常剑波. 鱼类体长与体重关系中的分形特征[J]. 水生生物学报, 1999, 23(4): 330-336.]
- [39] Sinaga S, Lu H J, Lin J R. Mackerel (*Scomber australasicus*) reproduction in northeastern Taiwan[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2021, 9(12): Article No.1341.
- [40] Stroganov A N, Nikitenko A I, Rakitskaya T A, et al. Study of population genetic structure of Atlantic mackerel *Scomber colias* Gmelin, 1789 (Scombridae) in the central East Atlantic [J]. Russian Journal of Genetics, 2023, 59(1): 66-72.
- [41] Watson J J, Priede I G, Witthames P R, et al. Batch fecundity of Atlantic mackerel, *Scomber-scombrus* L.[J]. Journal of Fish Biology, 1992, 40(4): 591-598.
- [42] Watanabe C, Hanai T, Meguro K, et al. Spawning biomass estimates of chub mackerel *Scomber japonicus* of Pacific subpopulation off central Japan by a daily egg production method[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1999, 65(4): 695-702.
- [43] Rogers P J, Ward T M, McLeay L J, et al. Reproductive biology of blue mackerel, *Scomber australasicus*, off southern and eastern Australia: Suitability of the Daily Egg Production Method for stock assessment[J]. Marine and Freshwater Research, 2009, 60(2): 187-202.
- [44] Ward T M, Rogers P J, McLeay L J, et al. Evaluating the use

- of the Daily Egg Production Method for stock assessment of blue mackerel, *Scomber australasicus*[J]. Marine and Freshwater Research, 2009, 60(2): 112-128.
- [45] Lorenzo J M, Pajuelo J G. Growth and reproductive biology of chub mackerel *Scomber japonicus* off the Canary Islands[J]. South African Journal of Marine Science, 1996, 17(1): 275-280.
- [46] Watanabe C. A review of the reproductive studies for chub mackerel in relation to the stock assessment[J]. Bulletin of Fisheries Research Agency, 2006, 68(3): 101-111.
- [47] Nashida K. 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, 68(1): 45-55.
- [48] Froese R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2006, 22(4): 241-253.
- [49] Winters G H. Biological changes in coastal capelin from the over-wintering to the spawning condition[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1970, 27(12): 2215-2224.
- [50] Bade A P, Binder T R, Faust M D, et al. Sex-based differences in spawning behavior account for male-biased harvest in Lake Erie walleye (*Sander vitreus*)[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2019, 76(11): 2003-2012.
- [51] Vandeperre F, Methven D A. Do bigger fish arrive and spawn at the spawning grounds before smaller fish: Cod (*Gadus morhua*) predation on beach spawning capelin (*Mallotus villosus*) from coastal Newfoundland[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 71(3-4): 391-400.
- [52] Li J S, Yan L P, Hu F, et al. The reproductive biology of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in Wen-Tai fishing ground[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(1): 99-105. [李建生, 严利平, 胡芬, 等. 温台渔场日本鲭的繁殖生物学特征[J]. 中国水产科学, 2015, 22(1): 99-105.]
- [53] Chang Y Q, Ding J, Wang L. Introduction to fisheries[M]. Beijing: Science Press, 2019. [常亚青, 丁君, 王革. 水产学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2019.]
- [54] Olaso I, Rauschert M, de Broyer C. Trophic ecology of the family Artedidraconidae (Pisces: Osteichthyes) and its impact on the eastern Weddell Sea benthic system[J]. Marine Ecology Progress Series, 2000, 194: 143-158.
- [55] Deng J Y, Ye C C. Science of fishery resources[M]. Chongqing: Chongqing Press, 2001. [邓景耀, 叶昌臣. 渔业资源学[M]. 重庆: 重庆出版社, 2001.]
- [56] MacPherson E, Duarte C M. Bathymetric trends in demersal fish size: Is there a general relationship?[J]. Marine Ecology Progress Series, 1991, 71(2): 103-112.

Biological characteristics of reproductive stocks of *Scomber australasicus* in the South-Central East China Sea

SHI Yunan^{1,2}, YAN Liping¹, LI Jiansheng¹

1. East China Sea Fisheries Research Institute; Key Laboratory of East China Sea Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 200090, China;

2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: To study the biological characteristics of the breeding stocks of *Scomber australasicus* in the East China Sea, we analyzed the biological characteristics of the breeding stocks of *Scomber australasicus*, including fork length, body mass, feeding grade, fattening, gonad index, sex ratio, and muscle content, based on 227 *Scomber australasicus* samples collected in the south-central part of the East China Sea between January and April, 2016—2023. The results showed that there was no significant difference in the relationship between fork length and body mass between the sexes of the breeding stocks of *Scomber australasicus* ($P>0.05$), and the equation for the relationship between fork length and body mass fitted to both sexes was $W=3\times10^{-6}FL^{3.2558}$. January is the overwintering period for *Scomber australasicus*, and the breeding period is from February to April. The peak spawning period of the Australian mackerel was concentrated in March, and the proportion of mackerel that had already spawned increased by late April. Female mackerel always have a higher gonadal index than male mackerel and less muscle mass than male mackerel, with equal gonadal development. Feeding intensity declined and then increased from the overwintering period to around the breeding period, whereas fattening increased and then declined before returning to pre-breeding levels. Males outnumbered females in early breeding in February, and females outnumbered males in late breeding from March to April. This variation in sex ratio during the breeding period is consistent with a breeding strategy that maximizes generation replenishment and reproductive gain. During the breeding season, the female *Scomber australasicus* organism allocates more energy to gonadal development than the male, while allocating less energy to muscle, to ensure population continuation. Female *Scomber australasicus* are more abundant than males during the breeding season, which may be related to the fact that *Scomber australasicus* is trying to increase the number of offspring to ensure the continuation of the population. The breeding season affects the feeding activity of *Scomber australasicus*, leading to a decrease in fat content. It was found that female *Scomber australasicus* outnumbered males in the large-bodied *Scomber australasicus* population, and that fork length and body weight were slightly higher than in males. However, further research is required to investigate this phenomenon. The biological characteristics of the reproductive stocks of *Scomber australasicus* in the south-central East China Sea were analyzed to enrich the biological data on the reproductive stocks of *Scomber australasicus* in the south-central East China Sea, which will provide a basis for the conservation and utilization of *Scomber australasicus* in the south-central East China Sea.

Key words: *Scomber australasicus*; reproduction stocks; biological characteristics; East China Sea

Corresponding author: LI Jiansheng. E-mail: jianshengli@sina.com