



东海岱衢族大黄鱼资源变动的的原因探析及重建策略

俞存根, 严小军*, 蒋巧丽, 臧迎亮

(浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316022)

摘要: 东海岱衢族大黄鱼历史上曾是我国近海特有的最重要底层经济鱼类之一, 但现在是我国着力恢复与重建的重要对象。为阐明大黄鱼资源变动及其衰退的影响因素, 揭示大黄鱼对栖息地的选择性及其资源难以恢复的原因, 本研究以 1950—2020 年浙江省大黄鱼捕捞产量为样本, 运用指标分析法, 分析岱衢族大黄鱼资源种群数量变动与敲罟作业、围捕“中央渔场”越冬群体等渔业重大事件的相关性, 追踪导致大黄鱼资源衰退的原因; 通过文献综合分析法, 阐述了大黄鱼生物学特性及其演变和对栖息地的适应性表现。结果显示: ①大黄鱼资源衰退乃至枯竭的主要原因是敲罟作业、拦捕进港鱼和捕捞越冬场等不合理开发利用方式引起; ②大黄鱼具有寿命长、性成熟晚、种群结构复杂等特点, 同时还有较强的栖息地环境选择性, 其中温度、盐度、流速、底质、饵料生物是关键环境要素; ③由于过度捕捞, 大黄鱼的生活史型虽然也偏离了原来的选择位置, 但仍然属于 K 选择对策者。研究表明, 大黄鱼资源难以恢复的主要因素除了人为因素(如捕捞强度过大)影响外, 可能还与大黄鱼偏 K 选择的生活史型与栖息地的选择性有关。本研究从生物学特性及栖息地的环境选择性角度提出了大黄鱼今后的保护与增殖策略, 为恢复与重建东海岱衢族大黄鱼资源提供了决策依据。

关键词: 大黄鱼; 资源变动; 生物学特性及其演变; 栖息地选择; 保护与增殖策略

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 是我国近海特有的重要底层经济鱼类, 主要分布在 35°N 以南的东海、东海和南海, 以浙江沿海为主^[1-2]。根据研究, 可将分布在我国沿海的大黄鱼分为 3 个地理种群, 即岱衢族、闽-粤东族和碓洲族^[2-3], 其中, 岱衢族大黄鱼主要分布在黄海南部和东海北部沿岸浅海, 主要生栖场所包括吕泗洋、岱衢洋、大目洋、猫头洋等产卵场以及江外渔场、舟外渔场、大沙渔场等越冬场^[1, 4-7]。在 20 世纪 50 至 70 年代, 东海区大黄鱼年产量为 $6.4 \times 10^4 \sim 19.7 \times 10^4$ t, 绝大多数年份东海区大黄鱼产量约占全国该鱼种产量的

98% 以上, 而岱衢族大黄鱼约占东海区大黄鱼产量的 80% 以上。

在东海的“四大渔产”中, 大黄鱼产量居第二位。但是, 到了 20 世纪 70 年代末, 东海大黄鱼的各个重要产卵场均已形不成渔汛, 80 年代以后, 大黄鱼捕捞产量逐年下降, 至 1990 年达最低, 东海大黄鱼产量仅有 1 681 t^[8]。

为了有效保护大黄鱼资源, 增加大黄鱼产量, 我国于 1985 年在福建宁德开展“大黄鱼人工繁殖及其增殖技术”的联合攻关, 于 1986 年突破了人工繁殖育苗技术, 1987 年掌握了人工培育亲鱼

收稿日期: 2021-10-23 修回日期: 2021-12-31

资助项目: 浙江省科技厅重大科技攻关项目 (2020C02004); 国家自然科学基金 (31270527)

第一作者: 俞存根, 从事渔业资源、渔业生态学研究, E-mail: 235265251@qq.com

通信作者: 严小军 (照片), 从事海洋生物学、生物生化研究, E-mail: yanxj@zjou.edu.cn



技术, 至 1990 年达到生产性育苗百万尾的水平^[9]。1997—2000 年, 在国家科技部和浙江省科委的资助下, 舟山市水产研究所又开展了舟山近海野生岱衢族大黄鱼全人工育苗技术研究, 取得了野生岱衢族大黄鱼亲鱼采捕、活体保活运输、驯养、产卵和育苗的成功^[10], 为大黄鱼养殖业发展奠定了坚实的基础。随着 1994 年大黄鱼海水网箱人工养殖在福建试验成功^[11], 大黄鱼养殖取得了快速发展, 到 2020 年, 全国大黄鱼养殖年产量达 25.4×10^4 t^[8]。同时, 大黄鱼人工繁育技术的突破, 也为恢复东海大黄鱼资源, 开展增殖放流事业提供了苗种条件。

2000 年以后, 基于大黄鱼规模化人工繁育产业的建立, 福建宁德、浙江舟山和宁波等地开始了大黄鱼系统性增殖放流活动, 2010 年以后, 江苏沿海和福建厦门、漳州等地区也开始了大黄鱼的增殖放流^[12]。通过多年的大黄鱼生产性增殖放流, 自然海区的大黄鱼资源量也在逐渐增加, 近几年, 野生大黄鱼频繁重现东海, 以及捕到大黄鱼大网头的新闻也时见于报端。随着资源保护和生态修复成为国家关注的重点, 通过人工增殖放流、海洋牧场建设等技术手段, 恢复与重建自然海区的大黄鱼资源将会愈加成为国家、地方政府以及科技工作者关注的热点。而针对大黄鱼资源的恢复与重建, 广大科技工作者正面临着两个必须予以解决的重要基础问题, 第一个是阐明大黄鱼对栖息地的选择性和洄游条件, 第二个是阐明

大黄鱼种群数量变动规律及其资源衰退乃至枯竭的原因。本研究以浙江渔场岱衢族大黄鱼为对象, 通过收集梳理历史上的调查与研究资料, 试图从大黄鱼资源种群数量变动与敲罟作业、围捕江外和舟外渔场(俗称“中央渔场”)越冬群体等渔业重大事件的相关性, 大黄鱼生物学特性及其栖息地选择性等视角, 分析大黄鱼资源衰退严重且恢复困难的原因。同时, 从生物学特性和栖息地环境适宜性角度提出大黄鱼保护与增殖策略, 为进一步提高大黄鱼资源保护和栖息地环境修复的科学性、恢复与重建东海岱衢族大黄鱼资源提供科学依据。

1 大黄鱼资源种群数量波动

针对大黄鱼资源种群数量变动, 过去曾有学者以舟山市^[13]和东海区^[5,11,14]大黄鱼产量为依据进行科研分析, 也有学者分析了基于生长和死亡参数变化的官井洋大黄鱼资源状况^[15]。浙江作为岱衢族大黄鱼主要分布区和生产渔场, 全省大黄鱼捕捞产量约占东海区的 60%~95%, 1950—2020 年大黄鱼捕捞产量波动趋势如图 1 所示。追溯历史, 浙江渔场大黄鱼产量波动及其资源衰退主要与相关渔业重大事件有关, 并据此可将浙江渔场大黄鱼开发利用及年产量变化分为 5 个阶段。

1.1 第一阶段(1950—1957 年)

大黄鱼资源基础好, 即从数量上来看, 群体

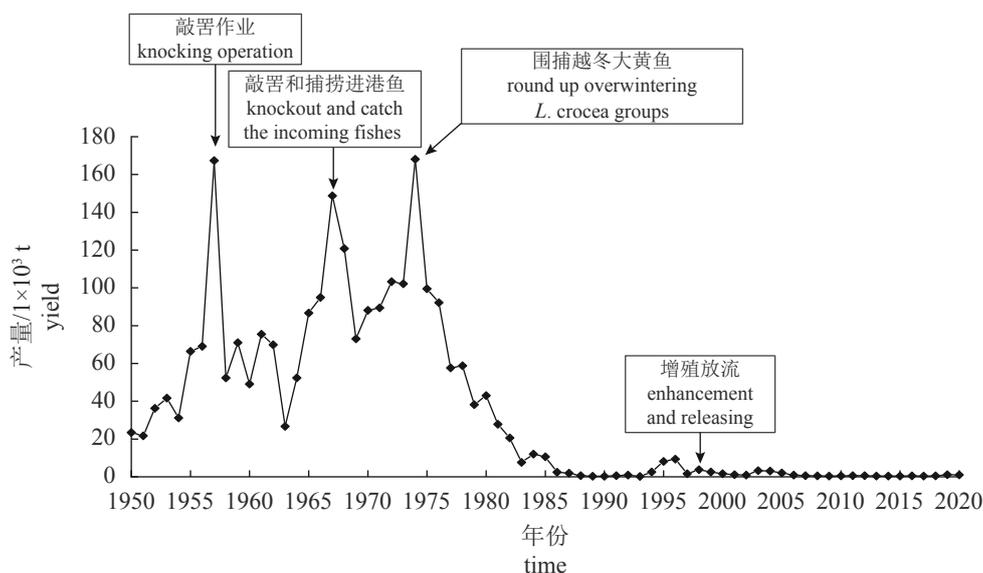


图 1 1950—2020 年浙江省大黄鱼捕捞产量变化与渔业重大事件

Fig. 1 Changes of catch yield and fishery events of *L. crocea* in Zhejiang Province from 1950 to 2020

数量多, 捕捞产量随捕捞强度增加呈持续上升趋势; 从质量上来看, 大黄鱼的年龄、体长组成等群体结构合理, 大黄鱼资源处在正常生长和补充状态。当时, 主要是在春夏汛(4月下旬—6月下旬)用木帆船在沿岸水深10~25 m的产卵场捕捞大黄鱼生殖群体。1956年秋季起, 敲罟作业从福建传入温州, 开始在浙南沿岸渔场敲罟大黄鱼生产。初试成功后, 1957年, 温州地区放弃原来的多种作业方式, 集中了60%以上的渔民投入发展敲罟作业捕捞大黄鱼。至当年年底, 全区投产敲罟作业渔船达到162艘, 大黄鱼产量增加了20倍, 达 10×10^4 t^[16]。因此, 由于敲罟作业的发展使浙江省大黄鱼产量急剧增加达到第一次高峰, 为 16.7×10^4 t。

1.2 第二阶段(1958—1967年)

大黄鱼资源得以恢复, 捕捞产量在波动中上升。敲罟作业对大黄鱼幼鱼损害严重, 据报道, 当年在洞头渔场, 4—7月敲罟捕获的大黄鱼中幼鱼占70%, 初步估算, 一艘敲罟年捕获幼鱼约有 185×10^4 尾, 全区共达 3×10^8 尾^[16]。从而引起了各级领导以及专家学者的高度关注, 很多专家和渔业干部大声疾呼, “为大黄鱼请命”, 要求采取措施, 坚决取缔敲罟作业。1958年秋季, 敲罟作业基本得以禁止; 1964年, 国务院发布《关于禁止敲罟的命令》。因此, 受敲罟作业影响的大黄鱼资源逐渐得以恢复, 捕捞产量经1958—1963年波动下降后出现快速回升。但是, 到1966年, 敲罟作业死灰复燃, 又陆续出海生产, 同时, 随着机帆船的发展, 作业渔场逐渐扩大到产卵场外围, 捕捞大黄鱼进港产卵群体, 作业水深扩大到80 m, 作业时间也相应延长1倍。到1967年, 由于敲罟作业和捕捞进港鱼使浙江省大黄鱼产量达到第二次高峰, 为 14.9×10^4 t。

1.3 第三阶段(1968—1974年)

大黄鱼资源基础尚好, 捕捞产量随着捕捞强度增加而稳定上升。1968年以后, 大黄鱼产量虽然受敲罟和捕捞进港鱼影响, 在1968—1969年有所下降。但是, 随着捕捞大黄鱼的机帆船数量迅速增加、作业时间延长、作业范围扩大、鱼探仪等助渔设备的推广使用, 自1970年起, 产量逐年小幅上升。到1974年初春, 浙江渔民发现了在“中央渔场”, 即江外、舟外渔场存在有大黄鱼越冬场, 并开始大规模捕捞大黄鱼越冬群体, 全省有近2000

对机帆船及一批渔轮集中在江外、舟外渔场围捕越冬大黄鱼, 使浙江省大黄鱼产量达到第三次高峰, 为 16.8×10^4 t。

1.4 第四阶段(1975—1997年)

大黄鱼资源遭到破坏而衰退, 捕捞产量呈直线下降乃至绝迹。自1974年以来, 经过连续4年开辟外海越冬场, 捕捞大黄鱼越冬群体, 不仅使江外、舟外渔场大黄鱼生产彻底荒废, 同时使进入沿岸产卵场繁衍后代的亲体大大减少。1979年起, 岱衢洋、吕泗渔场已形不成大黄鱼生产渔汛, 大黄鱼资源基础遭受严重破坏而逐年衰退, 浙江省大黄鱼捕捞产量自1975年后直线下降, 至20世纪90年代初, 资源走向枯竭状态。

1.5 第五阶段(1998—至今)

开展大黄鱼增殖放流, 恢复和重建自然海区的大黄鱼资源。为了恢复浙江渔场大黄鱼资源, 1998年, 浙江省引进福建宁德大黄鱼, 在宁波象山港口部的万礁至野龙山水域首次投放 14.3×10^4 尾闽-粤东族大黄鱼鱼苗^[17-19]。但是, 闽-粤东族大黄鱼品质和性状远不如本地岱衢族大黄鱼, 且经过多代繁殖后性状退化严重^[18-19]。之后, 随着岱衢族大黄鱼人工育苗技术取得成功, 进一步扩大增殖放流海域, 相继在舟山、宁波等地海域开展了岱衢族大黄鱼增殖放流试验^[18-22], 表明大黄鱼放流鱼能够在放流区域附近海域存活、生长, 并进行索饵、产卵洄游。进入21世纪后, 大黄鱼作为浙江生产性增殖放流的一个重要种类, 其放流的数量规模和区域不断扩大^[23]。据不完全统计, 2018—2020年, 全省就放流大黄鱼育苗 $27\,857.7 \times 10^4$ 尾。近些年, 渔民普遍反映自然海区大黄鱼日渐增多, 在东海捕到野生大黄鱼的新闻也时见报端。但是, 总体来说, 大黄鱼资源没有得以根本好转, 浙江省捕捞产量一直不足千吨, 大黄鱼资源仍处于枯竭状态。

综上, 浙江渔场大黄鱼资源衰退乃至枯竭的主要原因是敲罟作业、拦捕进港鱼和捕捞越冬群体这几种不合理的开发利用方式引起的。在20世纪50年代后期至60年代初, 发展敲罟作业对大黄鱼幼鱼造成严重损害, 导致大黄鱼资源受损, 捕捞产量下降。1967年后, 除了敲罟作业的死灰复燃, 更多的是由于大规模捕捞进港鱼群(包括产卵亲体和1~2龄的幼鱼), 严重影响大黄鱼产卵繁

衍和补充群体数量。尤其是 1974—1977 年利用了“中央渔场”越冬大黄鱼后, 使大黄鱼资源彻底遭到破坏, 捕捞产量直线下降直至难觅踪迹。虽然政府采取大黄鱼保护、开展增殖放流等各种措施, 但是, 至今为止, 大黄鱼资源恢复效果并不明显。

东海的“四大渔产”中, 小黄鱼 (*L. polyactis*) 通过 20 世纪 80 年代的吕泗渔场封港休渔使资源发生量增加, 自 1993 年起, 小黄鱼资源逐渐恢复; 带鱼 (*Trichiurus japonicus*) 经过多年的强度捕捞仍能维持生产。与带鱼相比, 大黄鱼资源衰退却更严重; 与小黄鱼相比, 大黄鱼资源恢复更困难, 究其原因, 可能主要与大黄鱼的生物学特性及其对栖息地的适应性有关。

2 大黄鱼的生物性特征及其演变

研究大黄鱼生物学特性是掌握大黄鱼数量变动的前提, 是合理利用和科学管理资源的依据, 特别是性成熟和生长状况是反映种群数量变化等资源状况的有效指标。根据研究, 大黄鱼的生命周期长, 其中, 岱衢族大黄鱼在 3 个地理种群中, 属于典型的寿命长、性成熟晚、生长速率慢的族群^[1]。雌鱼最高寿命为 30 龄、雄鱼为 25 龄。最小性成熟年龄为 2 龄, 在资源正常时 (1961 年), 岱衢族大黄鱼 2 龄 (周岁)、3 龄、4 龄和 5 龄雌鱼的性成熟比例分别为 2%、42%、96% 和 100%, 雄鱼则分别为 11%、91%、98% 和 100%。开始达性成熟的最小体长和最小纯体质量, 雌鱼分别为 220~240 mm 和 200 g, 雄鱼分别为 200~220 mm 和 150 g, 大量性成熟的体长和纯体质量, 雌鱼为 280 mm 和 300 g 左右, 雄鱼为 280 mm 和 200 g 左右。到 20 世纪 70 年代后期, 由于大黄鱼资源遭到破坏, 性成熟年龄发生明显变化。1978 年, 雌鱼 2 龄性成熟比例为 91%, 4 龄全部性成熟; 雄鱼 2 龄性成熟比例为 93%, 3 龄全部性成熟。开始性成熟的体长, 雌鱼和雄鱼都提前到 200 mm, 220 mm 以上者都大量性成熟。另根据文献报道, 东海区大黄鱼雌鱼初次性成熟年龄比例变化如表 1 所示^[24]。从表中可以看出, 虽然在大黄鱼资源衰退后, 引起了种群性成熟年龄提前的适应性调节, 较低龄大黄鱼性成熟所占比例呈现上升趋势。但是, 全部达到性成熟仍然要在 3 龄及以上, 可见大黄鱼的性成熟年龄较大。与小黄鱼相比, 小黄鱼的性成熟年龄则较小。小黄鱼的性成熟年龄从

表 1 东海区大黄鱼雌鱼初次性成熟年龄比例变化

年份 year	2龄 2-year-old	3龄 3-year-old	4龄 4-year-old	5龄 5-year-old
1957	4	46	93	100
1961	2	48	96	100
1979	30	89	96	100
1982	88	97	98	100
1993	93	100		

1951—1960 年的 2 龄鱼性成熟者所占比例很小, 3 龄鱼约为 70%, 4 龄鱼全部达到性成熟; 到 1968 年 2 龄鱼性成熟者高达 90%, 3 龄鱼全部成为产卵亲鱼, 至 20 世纪 90 年代, 1 龄鱼几乎全部达到性成熟^[25]。可是, 大黄鱼至今未见有 1 龄鱼达到性成熟的个体。说明小黄鱼的生活史型已经随着资源衰退快速向着 *r* 选择方向演变, 而大黄鱼的生活史型虽然也偏离了原来的选择位置, 但仍然属于 *K* 选择对策者。

大黄鱼的繁殖期与生殖能力具有明显的季节性和年间变化特征。有研究表明, 大黄鱼的生殖季节有 2 个, 一个在春季 (称“春宗”), 一个在秋季 (称“秋宗”)^[2]。岱衢族大黄鱼的个体绝对生殖力, “春宗”生殖群体为 $(52.2 \sim 1\ 616.8) \times 10^3$ 粒, 平均为 376.2×10^3 粒; “秋宗”生殖群体为 $(156.12 \sim 601.2) \times 10^3$ 粒, 平均为 286.8×10^3 粒。在整个生命周期中, 个体绝对生殖力表现出 3 个显著的不同阶段, 即青年期 (2~4 龄) 的生殖力低, 壮年期 (5 龄开始) 的生殖力上升, 衰老期 (约 15 龄开始) 的生殖力下降^[1]。

大黄鱼的繁殖还具有其独特的性比、群体结构特征。在生殖群体中, 雌性个体约占 30%, 雄性个体约占 70%, 这样有利于提高在水流较急的浅水海区繁殖条件下的卵子受精率, 是大黄鱼对环境的适应属性之一^[4]。此外, 大黄鱼的生殖鱼群以剩余群体为主, 其中, 补充群体约占 15%~20%, 剩余群体约占 80%~85%^[26]。

大黄鱼的生长周期较长, 且其生长也表现出明显的季节变化和年间变化特征。有研究报道, 在人工养殖状态下, 大黄鱼养殖周期至少要 18 个月, 说明大黄鱼是属于生长周期较长的一种多年生鱼类^[27]。另外, 孔祥雨^[28]研究了浙江近海大黄鱼的生长后得出, 大黄鱼在 4 龄前, 体质量增加迅速, 4 龄为大黄鱼的拐点年龄 (雄鱼为 3.77、雌鱼为 3.45, 取整数 4), 4 龄后生长转慢, 生长速

率下降。另有文献报道,大黄鱼通常在3龄前生长较快,3龄后趋于缓慢,其体质量生长曲线的拐点位于2.95龄处^[6]。罗秉征^[29]通过研究浙江近海大黄鱼的季节生长则发现,大黄鱼体长的季节生长不均衡,性成熟鱼在春季生殖后的6—9月生长最快,增长量约占全年的60%;9月—翌年6月的体长变化不大。性未成熟鱼没有生长停滞期,第2年的幼鱼以7—10月生长最快。

岱衢族大黄鱼的食谱非常广泛。已知有鱼类、甲壳类、头足类、水螅类、多毛类、星虫类、毛颚类和腹足类等8个生物类群,近100种^[1]。且各生命阶段的食性有转换,仔鱼(体长3~6 mm)在卵黄囊消失前一段时间内,进行混合营养,以后摄食外界食物,按食物的重量比排列,主要食物为小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)>日本大眼水蚤>磷虾原蚤状幼体>多毛类海稚虫科幼虫>圆筛藻>有机碎屑>瓣鳃类幼体等;稚鱼(体长6~16 mm)的食物组成为:小拟哲水蚤>中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)>磷虾幼体等;幼鱼(体长16~200 mm)摄食种类增加到50余种,主要种类有中华假磷虾(*Pseudeuphausia sinica*)、中华哲水蚤、水滑真刺水蚤、钩虾类、尖额蚌、刺糠虾、几岛囊糠虾、百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)、中国毛虾(*Acetes chinensis*)、细螯虾(*Leptochela gracilis*)、中华管鞭虾(*Solenocera sinensis*)、虾蛄、七星鱼、幼大黄鱼和幼带鱼等^[1]。

综上,大黄鱼属于寿命长、性成熟晚(生殖力的盛期更晚)、生长周期长、群体结构复杂、生殖鱼群以剩余群体为主的鱼类,这种鱼类的特点是资源比较稳定,但是一旦遭受破坏或衰退,资源恢复能力较差。虽然随着大黄鱼资源的严重衰退,引起了种群性成熟年龄提前的适应性调节,较低龄大黄鱼性成熟所占比例呈现上升趋势,但是,全部达到性成熟仍然在3龄及以上,至今未见有1龄鱼达到性成熟的报道。与当前的带鱼、小黄鱼1龄鱼即可全部达到性成熟相比,大黄鱼的生活史型虽然也偏离了原来的选择位置,但仍然属于K选择对策者,因此,其资源恢复要比带鱼、小黄鱼更困难。

3 大黄鱼对栖息地的环境选择性

栖息地是生物赖以生存和繁衍的空间,关系着生物的食物链和能量流^[30]。研究栖息地的环境

条件是科学实施渔业资源保护与管理、恢复与重建的重要基础。岱衢族大黄鱼主要分布在浙江及江苏南部近海,栖息地包括越冬场、产卵场、索饵场和洄游通道。在不同生活阶段,大黄鱼对栖息地的环境条件(如水温、盐度、流速、底质、饵料生物等)要求并不相同。根据以往研究^[1,6,31],岱衢族大黄鱼的越冬场位于东海外海高盐水和江浙沿岸水交汇的混合水区,中心位置在东海外海高盐锋区北侧,即在江外、舟外渔场,如果海况条件合适,越冬区域向北可扩展至大沙、沙外渔场,向南扩展到浙江南部水深40 m左右海域。大黄鱼越冬期为12月至翌年3月,其对水温选择范围为9~11℃,盐度选择范围为32~34,底质偏好多为泥砂和粉砂质泥。4月起,随着台湾暖流势力增强,水温升高,大黄鱼进入产卵洄游阶段,分别游向吕泗洋、岱衢洋、大目洋、猫头洋等产卵场产卵。产卵场为水深不超过30 m,水色混浊、透明度低、潮流较急的海域。以岱衢洋产卵场为例,产卵期间大黄鱼对水温选择范围为15~22℃,春季盐度选择范围为17~28,即在长江冲淡水西侧;秋季产卵场偏外,盐度选择为26~33;流速选择为2~4 n mile/h,最高可达6 n mile/h;底质以泥砂和软泥为主。大黄鱼产卵期为5月上中旬至6月下旬,产卵结束后,就近分散于岛屿、河口及产卵场外围;8—10月除少数“秋宗”大黄鱼产卵外,大部分鱼群处于索饵阶段,没有明显洄游路线;10月,随着水温下降,陆续向越冬场进行越冬洄游。至于幼鱼,则是1—3月在江外、沙外越冬场及浙南、闽东越冬场越冬,4—5月开始向沿岸海域进行索饵洄游,6—8月在长江口和吕泗渔场及外侧海域索饵育肥生长,9月开始向越冬场洄游,12月到达越冬场。并且在生殖和越冬阶段,或者说在产卵场和越冬场,大黄鱼具有较高的集群性^[1]。

从以上分析可以看出,一方面由于大黄鱼属于集群性较强的鱼类,特别是在产卵场和越冬场,具有较高的集群性,因此,与其他鱼类相比,一旦加强捕捞强度,大黄鱼更容易产生资源严重衰退的后果。另一方面,影响大黄鱼生息的关键环境要素是水温、盐度、流速、底质和饵料生物等,特别是在温盐适宜范围内,流速可以加速大黄鱼性腺发育,促进大黄鱼精子、卵子排出体外,并使排出的精卵在急流中增加接触机会,提高受精率,大黄鱼产卵场一般选择在流速为2~4节,最高为6节的海域。一旦产卵场的流态(水动力环

境)因外界因素(如围海造地等海洋工程)影响而发生改变,将使大黄鱼不能适应其产卵对流速刺激的需求,从而也使衰退的大黄鱼资源更难以恢复。

4 大黄鱼保护与增殖策略

要实现大黄鱼资源的有效保护和恢复,本研究认为,首先要充分了解导致大黄鱼资源衰退的原因;其次要掌握大黄鱼资源的生物学特性;第三,要掌握大黄鱼对栖息地的环境条件选择性,以便有针对性地开展科学的保护与恢复措施;第四,要考虑保持或者使其形成最小产卵群体。

4.1 加强基础研究,为东海岱衢族大黄鱼资源恢复与重建提供理论基础支撑

近 40 多年来,不合理的作业方式、不合理的生产时间和不断增大的捕捞强度不仅致使大黄鱼资源衰退乃至枯竭,还使其生物学特性发生明显变化。同时,大黄鱼栖息地环境受人类活动和自然因素变化影响也很明显,如海洋工程项目建设导致生境碎片化、流速流态改变,全球气候变暖导致海水升温等。然而,过去多数学者关注探究大黄鱼资源衰退及其原因^[13-14,16]、生物学特性变化^[1,6]等,而关于栖息地的环境选择性研究还不多见。但是,随着大黄鱼增殖放流的实施,大黄鱼资源重建事业的推进,有必要梳理历史上其栖息地的水文、化学、底质和饵料生物等调查资料,并加强对大黄鱼生活史的研究及其栖息地环境监测。利用历史资料,结合实测数据,揭示东海岱衢族大黄鱼栖息地的水温、盐度、底质及饵料生物的变化规律,摸清大黄鱼生物学、行为学以及产卵补充机制,进一步掌握产卵场、越冬场的底质、饵料生物、流态以及对温盐度的适应阈值等,以提高对大黄鱼资源、生态环境状况及变化趋势的认知能力,为大黄鱼栖息地重建以及科学实施增殖放流和海洋牧场建设提供理论基础。

4.2 加强管理策略优化,提高大黄鱼资源保护和恢复效果

为了恢复东海岱衢族大黄鱼资源,多年来,政府曾采取了吕泗渔场封港休渔、建立大黄鱼幼鱼保护区、开展大黄鱼增殖放流等各种措施。虽然,近年常有零星捕获野生大黄鱼的记录,也有调查和监测发现在放流区域附近捕获的大黄鱼有逐年增多的迹象,并且有相当一部分雌性大黄鱼

性腺发育至Ⅲ期和Ⅳ期^[21]。这说明放流的大黄鱼已经开始形成了性成熟的群体,但是,至今为止,没有证据表明有野生大黄鱼的大量产卵群体集聚或种群数量恢复的迹象^[32],大黄鱼资源一直未能得到有效恢复。究其原因,除了人为因素(如捕捞强度过大)影响外,可能还与大黄鱼偏 K 对策者的生活史特征有关。一个种群的恢复能力取决于性成熟群体的年龄组成、生长和繁殖力^[33]。要恢复大黄鱼资源,第一要素是具有产卵群体。目前,自然海域里的大黄鱼自然种群已近绝迹,岱衢族大黄鱼的最小性成熟年龄为 2 龄,个体绝对生殖力在 5 龄开始上升,约 15 龄开始生殖力下降^[1]。虽然在 20 世纪 70 年代末起,由于大黄鱼资源衰退,性成熟低龄化趋势明显,2 龄性成熟占比从 60 年代初的个位数上升为 80 年代初的 90% 以上^[1,24],可是,与带鱼、小黄鱼等偏 r 选择对策者相比,其性成熟年龄还是偏大,即使可以通过增殖放流等技术手段增加大黄鱼的发生量,但是,如果无法让其生长到 2 龄及以上,放流的大黄鱼群体就无法成长进入到繁殖期,无法完成生长、繁殖、死亡等整个生活史过程。也就是说,如果增殖放流的大黄鱼不能形成充足的产卵群体(或者说能使资源恢复到可形成生产规模的最小产卵种群),依然会出现资源恢复乏力的现象。为此,一方面要进一步加强大黄鱼生物学特性研究,掌握其资源恢复的最小产卵种群数量;另一方面要针对大黄鱼产卵场、越冬场及产卵洄游习性,调整相应的休渔期、禁渔区以及可捕规格,并严格渔政管理;同时大力调整捕捞作业结构,消减帆张网、底拖网作业,采取在产卵场、越冬场设置障碍,防止底拖网作业,限制沿岸定置张网作业,保护大黄鱼幼鱼生长和亲鱼数量;不断健全与完善增殖放流管理制度,加强大黄鱼增殖放流后的管理工作。

4.3 建立大黄鱼增殖苗种野化驯养区,促进野生大黄鱼产卵群体的形成

1998 年以来,浙江省大黄鱼资源增殖放流工作已连续进行了 20 多年,它对自然海区大黄鱼幼鱼发生量增加起到了较大的促进作用,但是,多年的增殖放流尚未能使大黄鱼资源得以恢复,也未见形成明显的野生大黄鱼产卵群体。究其原因,除了放流规格、区域、时间选择不够科学合理,放流操作不够规范等导致放流苗种初期损耗高,难以在自然海域存活之外,可能还与我们对大黄鱼的早期减耗机制掌握不足,增殖苗种缺乏自然

海域野化驯养环节有关。因此,建议利用大黄鱼集群性较高的特性,建立大黄鱼增殖苗种野化驯养区,即在特定海域通过人为干预实现季节性定居生活,帮助大黄鱼增殖苗种提高对自然环境的适应能力,减少早期损耗,促进产卵群体的形成。同时,通过观察大黄鱼幼鱼生存能力、成活率与环境因子的关系,掌握大黄鱼幼鱼早期减耗机制,反哺于增殖放流事业的发展。野化驯养区的选择原则,第一要考虑自然基础条件,即历史上是大黄鱼的产卵场或是索饵场或是洄游通道,饵料生物丰富;第二要考虑管理政策易实施;第三要考虑技术上可实现。为此,建议选择在中街山列岛建立一个大黄鱼增殖苗种野化驯养基地,因为该海域历史上是大黄鱼产卵场及洄游通道,适宜大黄鱼栖息与生长。同时,中街山列岛已于2006年被列为国家级海洋特别保护区,也是2017年农业部批准的首个国家绿色渔业实验基地的渔业权管理体制改革试点区,已经具备渔业资源科学化、法制化管理的条件。另外,基于大黄鱼行为学的机器鱼仿真诱集、投饵诱集、音学驯化与控制、光学控制、气泡幕控制、射频信号追踪、5G技术追踪等可以实现对大黄鱼苗种控制及野化驯养。

4.4 加强关键技术攻关,改良与重建大黄鱼产卵栖息地环境条件

加强岱衢族大黄鱼大规模优质健康苗种繁育及增殖放流技术、放流大黄鱼行为野化驯养及控制与追踪技术、基于物联网技术的大黄鱼远程可视化观测技术、海洋牧场建设技术等科技攻关。因为大黄鱼产卵不仅与水温、盐度、饵料生物有关,还与流速有关,在温盐适宜范围内,适宜的流速可以加速大黄鱼性腺发育,促进大黄鱼精子、卵子排出体外,并使排出的精卵在急流中增加接触机会,提高受精率。例如,岱衢洋成为大黄鱼重要产卵场的原因之一,可能是与岱衢洋的特殊地理位置和流场流速相关的。在岱衢洋西部分布有大小洋山、川湖列岛、大衢山、岱山和大小鱼山,形成一个喇叭口地形,使得杭州湾落潮潮流进入岱衢洋后受到约束,形成较强的落潮流速。而东部宽阔的喇叭口海域,可以集聚大黄鱼鱼群,加之该海域饵料生物丰富,使得岱衢洋成为我国最重要的大黄鱼产卵场。随着大黄鱼资源逐渐衰退和枯竭,栖息地日趋碎片化,大黄鱼群体之间的物种交流、交配不断减少,将会逐渐陷入“灭绝

旋涡”。今后,在推进野生大黄鱼资源重建中,一是要开展栖息地环境及大黄鱼适应机制研究;二是要加强栖息地流场保护,对已遭破坏的水动力环境、底质环境加以恢复、改良与再造,加快技术创新,重建大黄鱼群体集聚以及相互交流、交配的条件,提高大黄鱼资源恢复与重建能力。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 赵传纲,林景祺.中国海洋渔业资源[M].杭州:浙江科学技术出版社,1990:40-45.
Zhao C Y, Lin J Q. Marine fishery resources of China[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990: 40-45 (in Chinese).
- [2] 徐恭昭,田明城,郑文莲,等.大黄鱼 *Pseudosciaena crocea* (Richardson) 的种族[C]//太平洋西部渔业研究委员会第四次全体会议论文集.北京:科学出版社,1963:39-46.
Xu G Z, Tian M C, Zheng W L, et al. Race of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* (Richardson)[C]// Proceedings of the Fourth Plenary Seminar of the Western Pacific Fisheries Research Commission. Beijing: Science Press, 1963: 39-46 (in Chinese).
- [3] 田明诚,徐恭昭,余日秀.大黄鱼形态特征的地理变异和地理种群问题[J].海洋科学集刊,1962(2):79-97.
Tian M C, Xu G Z, Yu R X. The geographical variation and population problems of morphological traits of large yellow croaker[J]. Studia Marina Sinica, 1962(2): 79-97 (in Chinese).
- [4] 邓景耀,赵传纲.海洋渔业生物学[M].北京:农业出版社,1991:201-236.
Deng J Y, Zhao C Y. Marine fishery biology[M]. Beijing: Agricultural Press, 1991: 201-236 (in Chinese).
- [5] 郑元甲,陈雪忠,程家骅,等.东海大陆架生物资源与环境[M].上海:上海科学技术出版社,2003:488-497.
Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. Biological resources and environment on the continental shelf of the East China Sea[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Press, 2003: 488-497 (in Chinese).
- [6] 农牧渔业部水产局.东海区渔业资源调查和区划[M].上海:华东师范大学出版社,1987:318-338.
Aquatic Bureau of Ministry of Agriculture. Investigation and regionalization of fishery resources in the East

- China Sea region[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1987: 318-338 (in Chinese).
- [7] 徐兆礼, 陈佳杰. 东黄海大黄鱼洄游路线的研究[J]. 水产学报, 2011, 35(3): 429-437.
- Xu Z L, Chen J J. Analysis of migratory route of *Larimichthys crocea* in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(3): 429-437 (in Chinese).
- [8] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 1956—2020 中国渔业统计年鉴 [J]. 北京: 中国农业出版社, 1956-2020.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 1956—2020 China fishery statistical yearbook[J]. Beijing: China Agriculture Press, 1956-2020 (in Chinese).
- [9] 张其永, 洪万树, 杨圣云, 等. 大黄鱼增殖放流的回顾与展望[J]. 现代渔业信息, 2010, 25(12): 3-5, 12.
- Zhang Q Y, Hong W S, Yang S Y, et al. Review and prospects in the restocking of the large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Modern Fisheries Information, 2010, 25(12): 3-5, 12 (in Chinese).
- [10] 倪梦麟, 李碧清, 朱伟, 等. 舟山近海野生岱衢族大黄鱼全人工育苗技术研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2005, 24(1): 22-26.
- Ni M L, Li B Q, Zhu W, et al. Research on whole artificial breeding technique of wild *Pseudosciaena crocea* (Richardson) of Daiqu species off Zhoushan[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 2005, 24(1): 22-26 (in Chinese).
- [11] 胡银茂. 东海海区大黄鱼种质资源的历史演变和现状分析[J]. 绍兴文理学院学报, 2006, 26(7): 49-53.
- Hu Y M. The historical and present status of large yellow croaker germplasm in East China Sea[J]. Journal of Shaoxing University, 2006, 26(7): 49-53 (in Chinese).
- [12] 吴利娜, 张凝莹, 孙松, 等. 微卫星分子标记技术在大黄鱼增殖放流效果评估中的应用[J]. 中国水产科学, 2021, 28(9): 1100-1108.
- Wu L N, Zhang N J, Sun S, et al. Application of microsatellite markers for evaluating the effect of restocking enhancement in *Larimichthys crocea*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(9): 1100-1108 (in Chinese).
- [13] 赵盛龙, 王日昕, 刘绪生. 舟山渔场大黄鱼资源枯竭原因及保护和增殖对策[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2002, 21(2): 160-165.
- Zhao S L, Wang R X, Liu X S. Reasons of exhaustion of resources of *Pseudosciaena crocea* in Zhoushan fishing ground and the measures of protection and proliferation[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 2002, 21(2): 160-165 (in Chinese).
- [14] 徐开达, 刘子藩. 东海区大黄鱼渔业资源及资源衰退原因分析[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(5): 392-396.
- Xu K D, Liu Z F. The current stock of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* in the East China sea with respects of its stock decline[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2007, 22(5): 392-396 (in Chinese).
- [15] 叶金清, 徐兆礼, 陈佳杰, 等. 基于生长和死亡参数变化的官井洋大黄鱼资源现状分析[J]. 水产学报, 2012, 36(2): 238-246.
- Ye J Q, Xu Z L, Chen J J, et al. Resources status analysis of large yellow croaker in Guanjinyang using von Bertalanffy growth equation and fishing mortality parameters[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2): 238-246 (in Chinese).
- [16] 张立修, 毕定邦. 浙江当代渔业史 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990: 115-122.
- Zhang L X, Bi D B. Zhejiang fisheries history in present age[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990: 115-122 (in Chinese).
- [17] 《浙江通志》编纂委员会. 浙江通志 第四十四卷·渔业志 [M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2020: 617.
- Compilation Committee of Zhejiang General Annals. General annals of Zhejiang, Volume 44·Fisheries[M]. Hangzhou: Zhejiang People Press, 2020: 617 (in Chinese).
- [18] 丁爱侠, 贺依尔. 舟山岱衢族大黄鱼放流增殖试验[J]. 中国水产, 2010(8): 67-68.
- Ding A X, He Y E. Test on release and proliferation of *Pseudosciaena crocea* (Daiquyang) in Zhoushan sea area[J]. China Fisheries, 2010(8): 67-68 (in Chinese).
- [19] 丁爱侠, 贺依尔. 岱衢族大黄鱼放流增殖试验[J]. 南方水产科学, 2011, 7(1): 73-77.
- Ding A X, He Y E. Test on release and proliferation of *Pseudosciaena crocea* in Daiquyang sea area[J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(1): 73-77 (in Chinese).

- [20] 练兴常. 大目洋渔场大黄鱼放流现状[J]. *中国水产*, 2000(1): 22-23.
Lian X C. Releasing status of *Pseudosciaena crocea* in Damuyang fishing ground[J]. *China Fisheries*, 2000(1): 22-23 (in Chinese).
- [21] 徐汉祥, 周永东. 浙江沿岸大黄鱼放流增殖的初步研究[J]. *海洋渔业*, 2003, 25(2): 69-72.
Xu H X, Zhou Y D. A preliminary study on release and enhancement of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* in the north coast of Zhejiang[J]. *Marine Fisheries*, 2003, 25(2): 69-72 (in Chinese).
- [22] 林月明. 浙江象山港大黄鱼增殖放流的回顾与总结[J]. *科学养鱼*, 2006(6): 4.
Lin Y M. The review and summary of releasing and proliferation of large yellow croaker in Xiangshan bay of Zhejiang Province[J]. *Scientific Fish Farming*, 2006(6): 4 (in Chinese).
- [23] 周永东. 浙江沿海渔业资源放流增殖的回顾与展望[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(2): 131-139.
Zhou Y D. The retrospection and prospect of releasing and enhancement of fishery resources in Zhejiang coastal waters[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(2): 131-139 (in Chinese).
- [24] 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: 286-290.
Zhang Q H, Cheng J H, Xu H X, *et al.* The fishery resources and its sustainable utilization in the East China Sea region[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007: 286-290 (in Chinese).
- [25] 罗秉征, 卢继武, 兰永伦, 等. 中国近海主要鱼类种群变动与生活史型的演变[J]. *海洋科学集刊*, 1993, 23(1): 123-137.
Luo B Z, Lu J W, Lan Y L, *et al.* Population dynamics and life history patterns for main marine fishes in the coastal waters of China[J]. *Studia Marina Sinica*, 1993, 23(1): 123-137 (in Chinese).
- [26] 徐恭昭, 罗秉征, 王可玲. 大黄鱼种群结构的地理变异[J]. *海洋科学集刊*, 1962, 2: 98-109.
Xu G Z, Luo B Z, Wang K L. Geographical variation of population structure of *Pseudosciaena crocea*[J]. *Studia Marina Sinica*, 1962, 2: 98-109 (in Chinese).
- [27] 伊祥华, 忻荣祥, 吴林忠. 大黄鱼越冬试验[J]. *中国水产*, 1998(9): 38-39.
Yi X H, Xin R X, Wu L Z. Experiments on over wintering of large yellow croaker[J]. *China Fisheries*, 1998(9): 38-39 (in Chinese).
- [28] 孔祥雨. 浙江近海渔场大黄鱼 *Pseudosciaena crocea* (Richardson)生长的研究[J]. *东海海洋*, 1985, 3(1): 56-63.
Kong X Y. A study on the growth of yellow croaker *Pseudosciaena crocea* (Richardson) in Zhejiang off-shore fishing ground[J]. *Donghai Marine Science*, 1985, 3(1): 56-63 (in Chinese).
- [29] 罗秉征. 浙江近海大黄鱼的季节生长[J]. *海洋与湖沼*, 1966, 8(2): 121-139.
Luo B Z. Seasonal growth of the large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* (Rich.), off chekiang[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1966, 8(2): 121-139 (in Chinese).
- [30] 杜萍, 陈全震, 李尚鲁, 等. 东海带鱼资源变动及其栖息地驱动因子研究进展[J]. *广东海洋大学学报*, 2020, 40(1): 126-132.
Du P, Chen Q Z, Li S L, *et al.* Advances in the *Trichiurus lepturus* changes and habitat driving factors in the East China Sea[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2020, 40(1): 126-132 (in Chinese).
- [31] 周永东, 李圣法. 东海区主要经济种类三场一通道及保护区图集 [M]. 北京: 海洋出版社, 2018: 7-10.
Zhou Y D, Li S F. Atlas of spawning grounds, feeding grounds, wintering grounds, migration channels and protected areas of main economic species in the East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2018: 7-10 (in Chinese).
- [32] Liu M, de Mitcheson Y S. Profile of a fishery collapse: Why mariculture failed to save the large yellow croaker[J]. *Fish and Fisheries*, 2008, 9(3): 219-242.
- [33] 布拉克特. 鱼类早期生活史 [M]. 唐小曼, 陈思行, 陆忠康, 等译. 北京: 农业出版社, 1990: 1-10.
Blaxter J H S. The early life history of fish[M]. Tang X M, Chen S X, Lu Z K, *et al.*, translated. Beijing: Agricultural Press, 1990: 1-10 (in Chinese).

Cause analysis of resources change and reconstruction strategy of *Larimichthys crocea* Daiqu group in the East China Sea

YU Cungen, YAN Xiaojun*, JIANG Qiaoli, ZHANG Yingliang

(College of Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: The *Larimichthys crocea* Daiqu group in the East China Sea was once one of the most commercially important demersal fishes unique to China's coastal waters. It is now an important target for our country to restore and rebuild the resources of *L. crocea*. In order to clarify the influencing factors of the decline of its resources, and reveal the selectivity of its habitat and the reasons why the resources of the *L. crocea* are difficult to recover, this paper took the *L. crocea* fishing output in Zhejiang Province from 1950 to 2020 as a sample, and analyzed the correlation between the population number changes of the *L. crocea* Daiqu group and major fishery events, such as knocking operation and rounding up the overwintering group in the central fishing ground, by using index analysis method, which aims to trace the causes of the decline of large yellow croaker resources; The biological characteristics and evolution of *L. crocea* and its adaptability to habitat were described by comprehensive literature analysis. The results showed that: (1) the main causes of the decline and depletion of *L. crocea* resources were caused by several unreasonable development and utilization methods, such as knocking operation, catching the incoming fishes and overfishing the wintering grounds; (2) *L. crocea* has the characteristics of long life span, late sexual maturity, complex population structure, and strong habitat environmental selectivity, among which temperature, salinity, flow rate, substrate and feed organisms are the key environmental factors; (3) Due to overfishing, the life history of *L. crocea* deviated from the original selection position, but it still belonged to K selection game. (4) In addition to human factors (such as excessive fishing intensity), the main factors affecting the recovery of *L. crocea* resources may also be related to the k-biased life history and habitat selection of large yellow croaker. What's more, this study also put forward the future protection and proliferation strategies of *L. crocea* from the perspective of biological characteristics and habitat environmental selectivity, which provides a decision-making basis for the restoration and reconstruction of *L. crocea* Daiqu group in the East China Sea.

Key words: *Larimichthys crocea*; resource changes; biological characteristics and evolution; habitat selection; protection and proliferation strategy

Corresponding author: YAN Xiaojun. E-mail: yanxj@zjou.edu.cn

Funding projects: Key Science and Technology Project of Zhejiang Provincial Department of Science and Technology (2020C02004); National Natural Science Foundation of China (31270527)