

气候变化对海洋渔业资源的影响

肖启华^{1,2}, 黄硕琳^{1*}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学信息学院, 上海 201306)

摘要: 气候变化问题是近年来国际社会关注的热点, 海洋是气候系统储存能量的主要载体, 气候变化给生活于其中的鱼类带来的影响不可忽视。气候的变化影响着各大洋低频气候变化模式以及海洋环境要素的变化, 这些变化通过对鱼类个体的直接作用或生态系统食物链传递的间接作用影响海洋鱼类, 包括鱼类的生理(生长、繁殖、洄游)、物候、资源量以及分布等, 并形成了对海洋生态系统的影响, 最终影响人类对渔业资源的管理。本文通过收集国内外相关文献, 侧重从海洋鱼类资源量、分布变化以及海洋生态系统和渔业资源管理4个方面, 综述了气候变化对渔业资源产生的影响, 为应对气候变化、实现对渔业资源开发的可持续发展研究提供基础。

关键词: 气候变化模式; 海洋环境因素; 渔业资源量; 渔业资源分布; 海洋生态; 渔业资源管理
中图分类号: S 937.3 **文献标志码:** A

政府间气候变化专业委员会(IPCC)于1990年发布了第一次气候变化评估报告, 之后, 气候变化问题逐渐引起了国际社会的关注。为了减缓全球气候的变化, 一系列相关的国际协定或公约先后出台, 如: 1992年的《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)、1997年的《京都议定书》以及2009年的《哥本哈根议定书》等。IPCC于2007年发布第四次评估报告后, 气候变化对人类社会和自然生态系统的威胁上升成为了最重要的国际问题之一。渔业资源为全球43亿人提供了约15%的动物蛋白^[1], 其受到气候变化的影响不容忽视。从物理和生物角度的影响来看, 海洋鱼类的生理、生物过程、物种的物候以及分布都受气候变化的影响; 同时, 气候变化还影响某些海洋物种生物过程的季节性, 使海洋食物链发生变化, 对海洋渔业造成难以预知的影响^[2]。

全球海洋渔业资源分布在包括五大洋在内的19个渔场内, 以太平洋、大西洋以及印度洋渔业资源最为丰富。1950年以来, 全球海洋捕捞业

经历了快速发展, 捕捞产量在1998年达到历史最大量8640万t, 但之后, 海洋捕捞业产量就一直处于下降趋势^[1]。据1950—2009年鱼类种群上岸量数据^[3], 国际主要经济鱼类上岸量大部分都处于下降态势, 以中上层鱼为例, 在221个有记录的种群中, 上岸量前十位的种群中除鲱鱼(*Katsuwonus pelamis*)外, 其余鱼种的渔获量近年来都处于下降态势、甚至经历了大起大落, 如, 日本沙丁鱼(*Sardinops melanostictus*)、南美沙丁鱼(*Sardinops sagax*)以及毛鳞鱼(*Mallotus villosus*) 3个种群历史最高渔获量达到了400~600万t, 到2009年, 它们的渔获量已基本可以忽略不计。在渔业资源开发利用状态方面, 根据联合国粮食及农业组织(FAO)对海洋渔业资源的评估^[3], 自1974年以来, 生物学可持续水平捕捞评估种群(完全开发和低度开发种群)呈下降趋势, 所占比例从90%降至2011年的71.2%; 过度开发种群数量在1974至1989年经历了快速增长, 所占比例从10%增加到26%, 之后增长速度有所放缓; 低度开发种群呈下降趋势。至2011年完全开发种群、

收稿日期: 2015-08-04 修回日期: 2015-11-26

通信作者: 黄硕琳, E-mail: slhuang@shou.edu.cn

过度开发种群以及低度开发的种群分别占61.3%、28.8%以及9.9%。

世界渔业资源现状以及人类对主要经济鱼类的开发利用状况表明,全球渔业资源管理离可持续发展问题世界首脑会议(WSSD)关于“重建过度捕捞种群以及渔业管理实现生态系统方法”目标的实现还有很大差距;同时,也对渔业管理也提出了新的要求:渔业管理必须具有较强的适应性,要适应包括气候变化在内的各种因素对渔业资源变动的影响,渔业资源管理必须在社会、经济以及生态、可持续发展之间取得平衡。

1 影响渔业资源的气候变化相关因素

1.1 主要气候变化模式

气候变化^[4]指气候状态的变化,而这种变化可通过其平均值和/或变率的变化予以判别,变化会持续一段较长时期,通常为几十年或更长时间。全球气候变化模式有很多,在所有的气候变化模式中,厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)和北大西洋涛动(NAO)是区域气候变化的主要决定因素^[2]。

ENSO是气候年度变化最明显的推动力,是太平洋热带地区大尺度海气相互作用的典型反映、持续时间为3~7年。据报道,自1990年以来,ENSO现象发生频率加快,往往是其温暖阶段厄尔尼诺(El Niño)刚结束,凉爽阶段拉尼娜(La Niña)便接踵而至。ENSO的主要信号集中在太平洋赤道附近,但全球都能感受到其影响,如:伴随El Niño现象会发生很多大气和海洋现象,包括热带地区、澳大利亚、南非、印度和部分美洲地区降水异常,热带地区气压和海水表面温度(SST)变化等^[5]; El Niño现象还能通过提高沿岸海水温度、降低温跃层养分以减少浮游生物繁殖以及改变营养动力关系等影响沿海上升流系统^[6]。但到目前为止,还没有确切的证据和较好的气候模型能预测未来El Niño现象的频率与强弱,对其形成机制也没有定论^[2]。NAO是北大西洋地区大气最显著的模态,一年四季都存在,调节着北大西洋40~60°N西风的强弱,不仅直接影响北大西洋及附近地区的气候,甚至影响整个北半球的气候^[7],而NAO能驱动其所影响海域海流以及海温的变动^[8-9]。但到目前为止,NAO变化的原因一直不明朗。

其他影响渔业资源的气候变化模式还包括:太平洋年代际涛动(PDO)、大洋暖池(Warm Pool)

与冷池(Cold Pool)、北极涛动(AO)以及南极涛动(AAO)等。

PDO描述了一种长寿命(20~30年出现一次)北太平洋中纬度地区年代际气候变动现象,用以表征太平洋年代际气候变动现象,对北美冬季气温和降水、中国和澳大利亚的气候都有着重要的影响^[10]。大洋暖池一般指热带西太平洋及印度洋东部多年平均海表温度在28℃以上的暖海区,而冷池指夏季白令海北部海域水下出现的低温区域,暖池与冷池面积随气候变化而变化。AO是北半球中高纬度气压场一种跷跷板式变化,对北半球中高纬度气候变化有着重要的影响,Thompson等^[11]认为,AO对北半球的影响与ENSO同等重要。AAO是指南半球副热带高压带与高纬度绕极低压带之间气压场呈跷跷板式反位相变化的现象,不仅对南半球大尺度及区域性气候变化起着重要作用,而且对东亚地区气候异常也有着重要影响^[12]。

1.2 海洋环境因素

海洋是气候系统储存能量的主要载体,在观测数据相对充足的1971—2010年,气候系统增加的净能量中有60%以上储存在海洋上层(0~700 m),另有大约30%储存在700米以下。海表温度、海洋环流、海平面高度和海冰厚度等海洋环境因素的各种变化是对全球主要气候变化的一种反映。

海表温度是反映海—气热量、动力和水汽交换的重要参量^[13]。全球尺度上,海洋表层温度升幅最大,1971—2010年,在海洋上层75 m以上深度的海水温度升幅为每十年0.11℃^[14]。但全球海洋变暖并不均匀,如Harrison等^[15]根据1950—2000年的观察数据发现,虽然海洋上层水温总体具有上升趋势,但是也存在某些温度降低的地区。大气变暖的地理模式显示,在未来,全球升温依然处于不平衡状态,北半球高纬度地区的温度增高将最多,南大洋和北大西洋变暖程度则相对较小^[14];即使马上停止温室气体排放,由于气候系统的惯性作用,温度达到稳定也需要几个世纪^[16]。

在海洋环流和沿海上升流方面,受气候变化的影响,热量从海面输送到深海、影响着海洋环流。例如,1957—2004年观测数据表明,大西洋经向翻转环流(MOC)减少了30%^[17]。

MOC可以将上层温度较高的水流带入北半球纬度较高地区, 其减弱会使得北半球高纬度地区温度降低; 观测和模型预测表明, MOC在21世纪将进一步减缓^[4], 若海水热量和升温速度超过一定阈值, MOC有可能会停止^[18]。在上升流方面, 目前为止人们对受气候变化影响的上升流的想法和预测各执一词, 甚至相互矛盾。一方面, 有观测显示, 20世纪欧亚大陆温度的升高导致了阿拉伯海上升流的加剧^[19], 也有研究认为海洋和陆地温度升高的差异加大了沿岸海面风力从而加快了沿海上升流速度^[20]; 另一方面, Sarmiento等^[21]进行的仿真研究表明, 除赤道附近地区外, 世界范围内并没有因全球变暖而形成明显上升流模式。

受长期以来气候变化的影响, 其他海洋环境因素也发生了变化。如, 1978年以来的卫星资料显示北极年平均海冰面积以每十年2.7%的速率退缩^[4], 北极冰川融化带来的河流径流作用将使更多的淡水进入海洋, 促进全球海平面上升并减缓从热带携带的热量进入北极区域的洋流过程, 继而影响区域以及全球气候。同时, 全球冰川的退缩与因变暖导致的海洋热膨胀引起了全球平均海平面上升^[4], 但不同地区海平面变化不一致, 这会严重影响到沿海生态系统的平衡。

2 全球气候变化对海洋渔业资源的影响

气候变化通过对地球物理系统的自然影响来影响生活于其中的各种生物。长期以来, 受气候变化的影响, 渔业生态系统发生了持续变化。短期性变化包括鱼类栖息水域与洄游模式、捕食-被捕食关系以及物种组成的变化等; 长期性变化包括物种寿命变短、生态系统结构与功能变化等^[22]。英国利兹大学保护生物学家Thomas等^[23]在未来气候情景下对物种分布进行预测、评估了覆盖地球陆地表面约20%区域内物种的灭绝风险, 认为如果全球变暖状况不加以控制而持续下去, 从墨西哥到澳大利亚区域内的1103个物种中的约25%将在未来50年内由于气温升高而灭绝, 气候变化对鱼类资源的影响可见一斑。IPCC第五次评估报告^[14]也指出: 作为正在发生的气候变化的响应, 许多陆地、淡水和海洋物种已改变了其分布范围、季节性活动、迁徙模式、丰度以及物种间的相互作用。

2.1 气候变化对资源量变化的影响研究

渔业资源丰量和生物量的变化归因于其繁殖和生长速度, 而繁殖和生长速度又取决于其生活海域的环境参数, 气候的变化通过对渔业资源赖以生存生境的改变影响着其资源量。

在鳕鱼资源量变化方面, Sirabella等^[24]运用主成分分析和典型相关分析分析了巴伦支海以及北海区域鳕鱼补充量与海水温度、NAO指数之间的关系, 指出NAO通过对海水温度的影响影响了鳕鱼补充量, 但不同种群的补充量受温度的影响不一致, 栖息地靠近极地的种群(巴伦支之支海鳕)补充量与温度呈正相关关系、靠近赤道的种群(北海鳕)呈负相关关系。Ottersen等^[25]采用回归分析等统计分析方法研究了19世纪70至90年代巴伦支海鳕鱼补充量与NAO指数、海水温度等指标的关系, 同样得出大尺度气候通过区域海水温度对鳕鱼补充量造成影响的结论。

在金枪鱼资源量变化方面, Lu等^[26]对1962—1997年金枪鱼延绳钓捕捞努力量及渔获量数据与SST数据进行互相关分析, 发现在El Niño发生期间, 东赤道太平洋海域SST上升时黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)钓获率较高, 而大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)的高钓获率海域则位于东赤道太平洋的西部边缘; 在La Niña年份, 黄鳍金枪鱼钓获率较高的区域移动到在La Niña年份海水温度较高的北赤道太平洋海域, 但钓获率有所偏低, 而且随着东赤道太平洋海水温度的降低大眼金枪鱼的钓获率也明显下降; 另外, 这种相关性表现出三个月左右的滞后期。Lu等^[27]还根据1967—1995年台湾延绳钓捕捞资料发现, 西南太平洋30°S以南海域长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)单位捕捞努力量渔获量(CPUE)在ENSO发生4年后下降、而在10~30°S海域则在发生8年后下降。Ernesto等^[28]运用互相关分析法研究了1990—1999年期间加利福尼亚湾入口海域黄鳍金枪鱼捕获量与ENSO的关系, 发现ENSO引起的SST变化导致了黄鳍金枪鱼捕获量的变化, 同样, 这种变化也具有一定的滞后性。

Cheung等^[29]通过自创的指标——捕获的平均温度MTC(the mean temperature of the catch, 是以年捕获量为权重计算的开发物种推测平均喜好温度的加权和)与捕捞努力量及大尺度海洋变化(PDO、NAO、AO等)对全球52个大海洋生态系

统的计量分析表明:1970—2006年,全球尺度上MTC以每十年 0.19°C 的速度增长、其中非热带地区以每十年 0.23°C 的速度增长,这说明了海洋捕获量随温度的升高而降低的事实,也从一个方面反映了全球海洋渔业资源量受气候变化、特别是气候变化所引起的全球变暖的影响。

2.2 气候变化对资源分布的影响研究

气候变化影响海洋和水域环境物理特性(温度、盐度、垂直混合度、热盐以及风动环流等)^[2],在确定海洋水生物种的生境及分布方面起到了重要作用。科学家已经证实了海洋生物分布因为气候的变化向两极扩展^[30],过去40年中,伴随冷水物种数量的减少,暖水物种分布范围从纬度上向北延伸了 10° ^[2]。

以金枪鱼资源分布变化研究为例, Kimura等^[31]发现北太平洋长鳍金枪鱼渔场受大尺度海洋现象的影响,其根据日本1970—1988年北太平洋长鳍金枪鱼延绳钓数据,采用统计检验法分析得出:北太平洋长鳍金枪鱼存在逆时针洄游, El Niño发生时引起的海水温度异常变化使得长鳍金枪鱼洄游路径比非El Niño年份宽。太平洋共同体秘书处(SPC)在1990—1992年实施的金枪鱼标志放流项目^[32]以及Lohedey等^[33]对美国围网渔船捕捞的鲣鱼单位捕捞努力量渔获量数据以及南方涛动指数(SOI)、暖池区海表温度 29°C 等温线的计算分析表明,鲣鱼渔场的分布变动和ENSO的发生、西太平洋暖池的移动存在密切的联系。周甦芳等^[34]利用1982—2001年中西太平洋鲣鱼围网数据以及Niño 3.4区平均SST与海表温度距平(SSTA)分析发现, ENSO现象对中西太平洋鲣鱼围网渔场的空间分布有显著影响, El Niño发生时,单位捕捞努力量渔获量经度重心随暖流东扩而东移, La Niña发生时则随着暖流向西收缩而西移;同时, Niño 3.4区海表温度与单位捕捞努力量渔获量经度重心也有显著相关关系。沈建华等^[35]对中西太平洋20世纪70年代以来金枪鱼围网鲣鱼渔获量时空分布的研究也发现:渔获量空间分布明显受SOI现象影响,在相邻的数年中发生El Niño的年份,鲣鱼渔获量分布重心在经度上会偏东,在纬度上会在当年或次年偏南;而在La Niña发生的年份,渔获量分布重心的变化则正好相反。陈新军等^[36]利用灰色关联度法对1990—2000年中西太平洋海域金枪鱼围网生产

作业的多国统计数据进行分析后也得出了类似结论。除此之外,对中西太平洋黄鳍金枪鱼的研究^[37-38]也显示其分布受SST、海面高度以及叶绿素浓度a等变化因子的显著影响。

为了研究未来气候变化对渔业资源分布的可能影响, Cheung等^[39]设定不同的气候变化场景、通过仿真计算对全球1066种海洋鱼类和无脊椎动物的潜在捕捞量进行了预测,结果显示,在未来近40年期间,气候变化可能导致全球捕捞潜力的大规模重新分配,具体表现为在高纬度地区捕捞潜力将平均增加30%~70%、而在热带地区则下降约40%。这揭示了未来一段时间内气候变化可能给渔业资源分布带来的持续影响。

2.3 气候变化对海洋生态的影响研究

在全球气候变化背景下,气候变化对海洋生态系统的影响成为海洋研究面临的重大课题,相关国际组织、欧盟、美国以及英国等在制定的国家海洋中长期战略中都将这一问题列为重点研究方向^[40]。

气候的变化能使海洋生态在短期(1年左右)内由一种半永久性稳定状态非渐进快速变化为另一种全然不同的半永久性状态,这种转换被称为体系转换或体系变化(regime shift)^[2],生态系统对气候年代际变动的响应概念于20世纪90年代早期被提出^[41]。在东北太平洋区域,多项研究^[8, 42-44]反映了20世纪70年代中后期气候体系的转变,体系转换一方面表现为海域温度、盐度的大幅度变化,另一方面表现为局部地区海洋生态体系的变化,如,研究显示体系转换前后,近北极阿拉斯加区域初级生产力以及次级生产力的分布特点都发生了改变,表现为夏季浮游动物生物量增长与体系转换前相比增长了超一倍;而在南部沿岸加利福尼亚上升流域区域微浮游动物生物量则下降了70%;与此同时,阿拉斯加鲑鱼种群在体系转换后的1977—1990年处于高丰度期、而美国西海岸种群则处于低丰度期。在北大西洋东北部海域,伴随着北半球温度异常,20世纪80年代初至中期生态系统也发生了体系转换,向更温暖的体系转换了,表现为浮游动物种数及其空间分布发生了显著的变化^[45],暖温性种的分布向北扩展了约 10° 。与此同时,大西洋中脊以西、特别是拉布拉多海域则向着相反的偏冷体系转换,而这种转变更多的是受NAO变率的影响^[46]。

对于极地生态系统,研究表明^[47-48],近年来海冰和海表温度的变化已经影响了南大洋某些关键地区的磷虾数量,且这种影响具有一定的滞后性,未来海冰的进一步减少可能使得磷虾数量进一步减少。而因南极磷虾(*Euphausia superba*)是近南极生态系统中次级生产力中的关键物种,其数量的变动将通过食物网传导到整个南极以及近南极生态系统中。在北极地区,据IPCC报导,在大西洋影响下北极地区海冰边缘将向北移动,这会导致海冰消失海域原有海冰生物群落的消失,浮游动物(桡足类、磷虾等)以及捕食这些浮游动物的鱼类分布的北移;同时,也有研究^[48]表明,北极地区开放水域的增加以及海表温度的升高会使得北极海冰边缘南部的初级以及次级生产力随之增加,亚极区种群的分布将逐渐向北扩展,这将会带来北极地区渔场的极大增产,但北极地区原有的海洋生态平衡必定会被打破,从而引发一系列生态问题。

海洋对气候变化的生态响应虽然因为不同海区地理位置、大气—海洋以及生态条件等因素的不同而表现出空间分布上的多样性,但也存在全球大尺度的响应。如Behrenfeld等^[49]的SeaWiFS全球海表遥感叶绿素a含量数据的分析表明,在1997—1998年强El Niño到强La Niña转换间期间,叶绿素含量的增加不仅局限在赤道海区,而是全球尺度的一种趋势,全球平均遥感叶绿素含量增加了约10%。所以,应对气候变化应该是全球尺度上的行动。

2.4 气候变化对渔业资源管理的影响研究

渔业资源管理的根本是要维护渔业资源的再生产能力,其目的是为保证人类对生态系统和生物物种最大限度的可持续利用,使天然水域能为人类长久地提供大量经济水产品。海洋生物通过其分布、丰度、物候和个体大小等生物特征的改变来应对气候变化,这导致了海洋生物群落结构和营养作用的改变,最终造成了对渔业的影响^[29];除此之外,人类行为引发的全球性捕捞过度将进一步降低鱼群抵御环境变化的能力,并直接破坏渔业资源,从而放大全球气候变化对海洋渔业的影响。气候的变化以及变化的不确定性将给渔业管理带来前所未有的挑战。

早在20世纪五、六十年代,环境因素的变动对于渔业资源管理的影响就引起了学者的重视^[50-51],但当时对于环境因素的处理比较简单,既没有

对不同的环境因素进行区分,也没有考虑环境对于渔业资源影响的机制,仅仅是将环境因素的变动当作随机正态偏差融入管理模型中。随着研究的深入,气候变化逐渐成为了渔业管理模型主要考虑的因素之一。如Kell等^[52]将鱼类生长和补充作为SST的函数,以北海鳕鱼管理作为案例,研究了未来气候变化条件下短期资源恢复和长期可持续性管理策略的稳健性;A'mar等^[53]在1龄鱼补充量方程中引入了降雨量、SST等变量,以阿拉斯加湾狭鳕鱼(*Theragra chalcogramma*)作为管理对象,采用蒙特卡洛模拟的方法评估了目前所使用的渔业管理策略和一种替代策略在应对气候变化情况下的表现。

目前,人们对气候变化是否会影响渔业资源管理尚存在一定的争议,De Oliveira^[54]指出,只有当气候变化指标对于种群的补充量变化起到50%以上的作用时,气候变化因素才能对渔业管理策略起到影响作用。一般认为气候变化对于渔业管理的影响不同期限以及不同目标的影响不一致:对于短期的资源恢复管理目标,气候变化没有太大影响;但从长期来看,气候变化对于种群状态有较大影响^[52,55]。

对于现行渔业管理系统对气候变化的适应性研究方面,Melnychuk等^[56]采用方差分析和拟二项分布广义线性模型评估了全球550多个海洋商业鱼类与贝类种群的渔业管理系统对气候变化的适应性。结果显示,在传统渔业管理措施之一的——捕捞控制规则(harvest control rules, HCR)方面,各个渔业实施的HCR与海洋气温升高之间没有一致性联系;而另一种渔业管理措施——休渔期设置则显示出了对于气候变化的适应性,许多国家或区域组织对分布在海洋变暖最快区域的种群往往采用了可变日期季节性休渔(flexible-date seasonal closures),而对分布在温度变化最小的区域的种群往往没有实施季节性休渔;而且,Melnychuk等^[56]还发现,在550多个被评估种群中,对其中241个种群的管理目标而言,没有发现近期的海洋变暖对目前种群开发率影响的一致性证据。总体而言,目前商业鱼种的渔业管理系统在应对气候变化方面还缺乏灵活性。

3 总结与展望

全球气候系统变暖的事实毋庸置疑,自20世

纪50年代以来,气候系统观测到的许多变化是过去几十年甚至近千年以来史无前例的。海洋变暖在气候系统储存能量的增加中占主导地位^[1],气候变化通过对海洋的物理作用影响了鱼类种群数量分布、群落结构演替、海洋生态系统,从而影响了人类对渔业资源的管理。全球气候的变化导致了全球主要气候模式的低频变化;这些变化又引起了各海洋环境因素包括海水温度、海冰量、海平面高度、海水酸度、海洋环流强弱等的改变;进而带动如海洋表层密度、海水纵向分层、垂直混合度、海水含氧量、海水透光区养分等海水属性及物理过程的变化。这些同时存在的驱动因子可以对海洋物种及生态系统造成交互、复杂和放大的影响,包括海洋鱼类生物特性、物候和初级、次级生产力等的变化,以及这些变化导致的鱼类营养作用、分布、资源量的变化,海洋生物群落结构的演替,鱼类种群分布的变化,海洋生态系统的变化等。这些变化具有很强的不确定性,往往给渔业管理带来前所未有的挑战。

为应对气候变化、实现渔业资源可持续发展,在未来,应加强以下4个方面的研究:

影响因素分析 受气候变化影响的海洋环境物理属性会直接影响鱼类洄游、集群,从而引起渔业资源分布的变动。目前在气候变化对渔业资源分布的影响方面,研究主要讨论了气候变化各因素自身对资源分布的影响,对于各种因素的交互作用以及交互作用对资源分布影响的讨论极少。另一方面,由于共同受到主要由温室气体排放引起的全球气候变化的影响,各种气候变化模式与海洋环境因素之间应该存在一些共性部分,虽然已有文献对部分气候变化模式之间以及气候变化模式与海洋环境因素之间的关系进行了研究,但包含因素仍不够全面。

在今后的研究中,一方面可以加强气候变化表征因素之间的交互作用对资源分布的影响分析;另一方面可以从物理过程的角度加强影响各海域的各种气候变化模式与该海域海洋环境因素变动量之间的系统研究,探索两者之间的影响机制以及相互联系。

不确定性分析 气候系统的变化以及这些变化给渔业资源带来的影响存在诸多不确定性,其中之一就是气候和非气候因素(如捕捞等)对海洋种群造成的综合影响,这些影响呈现出

明显的非线性动态发展和相互作用(包括温度升高、含氧量降低、盐度降低、酸度增加以及捕捞影响之间的相互作用^[2]),使得气候变化对渔业资源的影响充满不确定性,难以描述与衡量。另外,海洋生物个体、种群、群落和生态系统对气候的反应与反馈、反馈的临界条件也存在着极大的不确定性,研究者已经观测到了海洋系统的一些重大改变(如,海洋生态系统体系转换),这些重大改变发生的临界条件因物种、系统以及影响因素的不同而有所区别^[2],存在很大的不确定性,且至今其中的绝大多数仍不为人所知。

基于以上事实,在今后的研究中应该要加强观测、实验模拟、积累更多的数据以逐渐增加对于这种不确定性的了解。鉴于气候变化对鱼类补充群体(仔稚幼鱼)的影响更明显,研究中应结合鱼类生活史、生态系统理论等,着重关注气候变化的各种因素以及其交互作用对不同海洋鱼类从孵化到稚仔鱼阶段影响的研究。

研究工具使用 在气候变化各类因素对渔业资源量变动、资源分布以及生态影响的研究方面,目前主要还是以统计分析,包括主成分分析、相关分析、回归分析等,其中以线性分析方法为主。统计分析方法虽然能够很好地说明过去渔业资源的变化与气候变化因素之间的相关性,但这种相关性纯粹是从数据的角度来揭示的,而且只能揭示过去发生的事情之间的关系,相关性关系不一定能一直延续到将来,甚至有些量之间的相关性研究到研究成果发表时就已经不存在了^[57],也有研究报道了利用相关性方法预测失败的例子^[58]。

气候变化对海洋环境以及渔业资源造成影响的机制目前尚未完全清晰,但可以肯定的是这些影响不一定是线性的。在今后的研究中,一方面可以借助非线性算法、智能算法等分析气候变化对渔业资源特别是资源分布与生态造成的影响;另一方面应该将渔业科学与海洋科学相结合,研究结合物理海洋模型的渔业资源变化模型或生态系统动力学模型,从而从机制上揭示气候变化对渔业资源变化的影响。

资源管理灵活性 虽然早在20世纪五、六十年代,环境因素的变动对于渔业资源管理的影响就引起了学者的重视,研究持续到现在已经取得了长足的进步,但这些成果似乎还停留

在研究层面, 并未对现行的渔业资源管理系统产生深远的影响, 现行的渔业资源管理系统大多尚缺乏应对气候变化的灵活性^[56]。

为达到持续发展的目的, 渔业管理系统必须要具有一定的灵活性以应对气候变化以及变化的不确定性。从技术层面来说, 因为新的科学知识在管理体系中起着重要的作用, 所以, 为增加系统的灵活性, 迫在眉睫的是要改变固有渔业资源管理的框架, 使得最新的科学发现能纳入管理框架中来、为管理者制定渔业资源管理政策提供可供参考的最新理论、使得管理政策更具适应性。在这一方面, 挪威已经有所行动: 制定的渔业种群的总可捕捞量由海洋研究所(IMR)负责计算, IMR受渔业部门等资助、在评估过程中还与国际海洋开发理事会(ICES)专家合作, 能够做到运用最新的科学理论对资源进行相对科学的评估, 为制定合理的渔业管理目标奠定基础。

自1950年以来, 全球海洋捕捞业经历了快速的发展, 捕捞产量在1998年达到历史最大量后就一直处于下降趋势, 捕捞产量的下降从一定程度上表示了海洋渔业资源量的下降, 这其中可能存在气候变化影响与人类捕捞过量双重因素的影响。研究气候变化对于渔业资源以及海洋生态的影响有助于管理者建立具有气候变化适应性的、有效的渔业资源管理方法, 为实现渔业资源的可持续发展提供研究基础。

参考文献:

- [1] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture[M]. Rome: FAO, 2014: 4-37.
- [2] FAO. Climate change implications for fisheries and aquaculture: Overview of current scientific knowledge[R]. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530. Rome: FAO, 2009: 15-71.
- [3] FAO. Review of the state of world marine fishery resources[R]. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 569. Rome: FAO, 2011: 9-15.
- [4] IPCC. Climate change 2007: Synthesis report[R]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007: 2-46.
- [5] Kirov B, Georgieva K. Long-term variations and interrelations of ENSO, NAO, and solar activity[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2002, 27(6-8): 441-448.
- [6] Lehodey P, Alheit J, Barange M, *et al.* Climate variability, fish, and fisheries[J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(20): 5009-5030.
- [7] Pekarova P, Pekar J. Teleconnections of inter-annual streamflow fluctuation in Slovakia with Arctic Oscillation, North Atlantic Oscillation, Southern Oscillation, and Quasi-biennial Oscillation phenomena[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2007, 24(4): 655-663.
- [8] McGowan J A, Cayan D R, Dorman L M. Climate-ocean variability and ecosystem response in the Northeast Pacific[J]. *Science*, 1998, 281(5374): 210-217.
- [9] Mann K H, Drinkwater K F. Environmental influences on fish and shellfish production in the Northwest Atlantic[J]. *Environmental Reviews*, 1994, 2(1): 16-32.
- [10] 孙建奇, 王会军. 北极涛动与太平洋年代际振荡的关系[J]. *科学通报*, 2005, 50(15): 1648-1653.
Sun J Q, Wang H J. Relationship between Arctic Oscillation and Pacific Decadal Oscillation on decadal timescale[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(1): 75-79 (in Chinese).
- [11] Thompson D W J, Wallace J M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability[J]. *Journal of Climate*, 2000, 13(5): 1000-1016.
- [12] 张自银, 龚道溢, 何学兆, 等. 近500年南极涛动指数重建及其变率分析[J]. *地理学报*, 2010, 65(3): 259-269.
Zhang Z Y, Gong D Y, He X Z, *et al.* Antarctic oscillation index reconstruction since 1500 AD and its variability[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(3): 259-269 (in Chinese).
- [13] 鲍献文, 万修全, 高郭平, 等. 渤海、黄海、东海 AVHRR 海表温度场的季节变化特征[J]. *海洋学报*, 2002, 24(5): 125-133.
Bao X W, Wan X Q, Gao G P, *et al.* The characteristics of the seasonal variability of the sea surface temperature field in the Bohai Sea, the Huanghai Sea and the East China Sea from AVHRR data[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002, 24(5): 125-133 (in Chinese).
- [14] IPCC. Climate change 2013: The Physical science basis. Contribution of working Group I to the Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2013: 4-51.
- [15] Harrison D E, Carson M. Is the world ocean warming?

- Upper-ocean temperature trends: 1950-2000[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2007, 37(2): 174-187.
- [16] Corell R W. Challenges of climate change: An Arctic perspective[J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2006, 35(4): 148-152.
- [17] Bryden H L, Longworth H R, Cunningham S A. Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25°N[J]. *Nature*, 2005, 438(7068): 655-657.
- [18] Stocker T F, Schmittner A. Influence of CO₂ emission rates on the stability of the thermohaline circulation[J]. *Nature*, 1997, 388(6645): 862-865.
- [19] Goes J I, Thoppil P G, do R Gomes H, *et al.* Warming of the Eurasian landmass is making the Arabian sea more productive[J]. *Science*, 2005, 308(5721): 545-547.
- [20] Bakun A. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling[J]. *Science*, 1990, 247(4939): 198-201.
- [21] Sarmiento J L, Slater R, Barber R, *et al.* Response of ocean ecosystems to climate warming[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, 18(3): GB3003.
- [22] 唐启升. 水产学学科发展现状及发展方向研究报告[M]. 北京: 海洋出版社, 2013: 40.
Tang Q S. The research report of the current situation and development of aquatic subject research of development and tendency on aquaculture[M]. Beijing: China Ocean Press, 2013: 40 (in Chinese).
- [23] Thomas C D, Cameron A, Green R E, *et al.* Extinction risk from climate change[J]. *Nature*, 2004, 427(6970): 145-148.
- [24] Sirabella P, Giuliani A, Colosimo A, *et al.* Breaking down the climate effects on cod recruitment by principal component analysis and canonical correlation[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 216: 213-222.
- [25] Ottersen G, Stenseth N C. Atlantic climate governs oceanographic and ecological variability in the Barents Sea[J]. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46(7): 1774-1780.
- [26] Lu H J, Lee K T, Lin H L, *et al.* Spatio-temporal distribution of yellowfin tuna *Thunnus albacares* and bigeye tuna *Thunnus obesus* in the Tropical Pacific Ocean in relation to large-scale temperature fluctuation during ENSO episodes[J]. *Fisheries Science*, 2001, 67(6): 1046-1052.
- [27] Lu H J, Lee K T, Liao C H. On the relationship between EL Niño/Southern oscillation and South Pacific albacore[J]. *Fisheries Research*, 1998, 39(1): 1-7.
- [28] Ernesto T O, Arturo M M, Armando T, *et al.* Variation in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catches related to El Niño-Southern Oscillation events at the entrance to the Gulf of California[J]. *Fishery Bulletin*, 2006, 104(2): 197-203.
- [29] Cheung W W L, Watson R, Pauly D. Signature of ocean warming in global fisheries catch[J]. *Nature*, 2013, 497(7449): 365-368.
- [30] deYoung B, Harris R, Alheit J, *et al.* Detecting regime shifts in the ocean: Data considerations[J]. *Progress in Oceanography*, 2004, 60(2-4): 143-164.
- [31] Kimura S, Nakai M, Sugimoto T. Migration of albacore, *Thunnus alalunga*, in the North Pacific Ocean in relation to large oceanic phenomena[J]. *Fisheries Oceanography*, 1997, 6(2): 51-57.
- [32] Hampton J. Estimates of tag-reporting and tag-shedding rates in a large-scale tuna tagging experiment in the western tropical Pacific Ocean[J]. *Fishery Bulletin*, 1997, 95(1): 68-79.
- [33] Lehodey P, Bertignac M, Hampton J, *et al.* El Niño southern oscillation and tuna in the western Pacific[J]. *Nature*, 1997, 389(6652): 715-718.
- [34] 周魁芳, 沈建华, 樊伟. ENSO 现象对中西太平洋鲣鱼围网渔场的影响分析[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(3): 167-172.
Zhou S F, Shen J H, Fan W. Impacts of the El Niño Southern Oscillation on skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) purse-seine fishing grounds in the Western and Central Pacific Ocean[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(3): 167-172 (in Chinese).
- [35] 沈建华, 陈雪冬, 崔雪森. 中西太平洋金枪鱼围网鲣鱼渔获量时空分布分析[J]. *海洋渔业*, 2006, 28(1): 13-19.
Shen J H, Chen X D, Cui X S. Analysis on spatial-temporal distribution of skipjack tuna catches by purse seine in the Western and Central Pacific Ocean[J]. *Marine Fisheries*, 2006, 28(1): 13-19 (in Chinese).
- [36] 陈新军, 郑波. 中西太平洋金枪鱼围网渔业鲣鱼资源的时空分布[J]. *海洋学研究*, 2007, 25(2): 13-22.
Chen X J, Zheng B. Study on the temp-spatial distribution of skipjack resources for tuna purse seine in the west-central Pacific Ocean[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2007, 25(2): 13-22 (in Chinese).

- [37] 王少琴, 许柳雄, 朱国平, 等. 中西太平洋金枪鱼围网的黄鳍金枪鱼CPUE时空分布及其与环境因子的关系[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(3): 303-308.
Wang S Q, Xu L X, Zhu G P, *et al.* Spatial-temporal profiles of CPUE and relations to environmental factors for yellowfin tuna *Thunnus albacores* from purse-seine fishery in Western and Central Pacific Ocean[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(3): 303-308 (in Chinese).
- [38] 唐峰华, 崔雪森, 杨胜龙, 等. 海洋环境对中西太平洋金枪鱼围网渔场影响的GIS时空分析[J]. 南方水产科学, 2014, 10(2): 18-26.
Tang F H, Cui X S, Yang S L, *et al.* GIS analysis on effect of temporal and spatial patterns of marine environment on purse seine fishery in the western and central Pacific[J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(2): 18-26 (in Chinese).
- [39] Cheung W W L, Lam V W Y, Sarmiento J L, *et al.* Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change[J]. Global Change Biology, 2010, 16(1): 24-35.
- [40] 王金平, 高峰, 唐钦能, 等. 国际海洋生态系统研究态势及对我国的启示[J]. 科学观察, 2011, 6(6): 19-31.
Wang J P, Gao F, Tang Q N, *et al.* Analysis of institutions and hotspots of international marine ecosystem research[J]. Science Focus, 2011, 6(6): 19-31 (in Chinese).
- [41] 商少凌, 张彩云, 洪华生. 气候-海洋变动的生态响应研究进展[J]. 海洋学研究, 2005, 23(3): 14-22.
Shang S L, Zhang C Y, Hong H S. An overview of the marine ecosystem response to climate-ocean variability[J]. Journal of Marine Sciences, 2005, 23(3): 14-22 (in Chinese).
- [42] Francis R C, Hare S R, Hollowed A B, *et al.* Effects of interdecadal climate variability on the oceanic ecosystems of the NE Pacific[J]. Fisheries Oceanography, 1998, 7(1): 1-21.
- [43] Roemmich D, McGowan J. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California current[J]. Science, 1995, 267(5202): 1324-1326.
- [44] Hare S R, Mantua N J, Francis R C. Inverse production regimes: Alaska and West Coast Pacific salmon[J]. Fisheries, 1999, 24(1): 6-14.
- [45] Beaugrand G, Reid P C, Ibañez F, *et al.* Reorganization of north Atlantic marine copepod biodiversity and climate[J]. Science, 2002, 296(5573): 1692-1694.
- [46] Stebbing A R D, Turk S M T, Wheeler A, *et al.* Immigration of southern fish species to south-west England linked to warming of the north Atlantic (1960-2001)[J]. Journal of the Marine Biological Association of the UK, 2002, 82(2): 177-180.
- [47] 吴凡, 方明强, 管磊. 西北太平洋海表温度变化主成分分析[J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(3): 102-107.
Wu F, Fang M Q, Guan L. Analysis of the first principal component of the northwest Pacific Sea surface temperature variations[J]. Periodical of Ocean University of China, 2014, 44(3): 102-107 (in Chinese).
- [48] McBride M M, Dalpadado P, Drinkwater K F, *et al.* Krill, climate, and contrasting future scenarios for Arctic and Antarctic fisheries[J]. ICES Journal of Marine Science, 2014, 71(7): 1934-1955.
- [49] Behrenfeld M J, Randerson J T, McClain C R, *et al.* Biospheric primary production during an ENSO transition[J]. Science, 2001, 291(5513): 2594-2597.
- [50] Ricker W E. Maximum sustained yields from fluctuating environments and mixed stocks[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1958, 15(5): 991-1006.
- [51] Tautz A, Larkin P A, Ricker W E. Some effects of simulated long-term environmental fluctuations on maximum sustained yield[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1969, 26(10): 2715-2726.
- [52] Kell L T, Pilling G M, O'Brien C M. Implications of climate change for the management of north Sea cod (*Gadus morhua*)[J]. ICES Journal of Marine Science, 2005, 62(7): 1483-1491.
- [53] A'mar Z T, Punt A E, Dorn M W. The evaluation of two management strategies for the Gulf of Alaska walleye pollock fishery under climate change[J]. ICES Journal of Marine Science, 2009, 66(7): 1614-1632.
- [54] De Oliveira J A A, Butterworth D S. Limits to the use of environmental indices to reduce risk and/or increase yield in the South African anchovy fishery[J]. African Journal of Marine Science, 2005, 27(1): 191-203.
- [55] Basson M. The importance of environmental factors in the design of management procedures[J]. ICES Journal of Marine Science, 1999, 56(6): 933-942.
- [56] Melnychuk M C, Banobi J A, Hilborn R. The adaptive

- capacity of fishery management systems for confronting climate change impacts on marine populations[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2014, 24(2): 561-575.
- [57] Myers R A, Barrowman N J, Thompson K R. Synchrony of recruitment across the north Atlantic: An update. (Or, “now you see it, now you don't!”)[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1995, 52(1): 103-110.
- [58] Myers R A. When do environment-recruitment correlations work?[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1998, 8(3): 285-305.

Climate change implications for marine fishery resources

XIAO Qihua^{1,2}, HUANG Shuolin^{1*}

(1. *College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

2. *College of Information Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)*

Abstract: The issue of climate change is a hot topic in the international community in recent years. Ocean is the main carrier for the climate system to store energy; the implications of climate change to marine fish in general must not be neglected. The changing of climate affects the changing of the low frequency climate variability patterns and marine environmental factors. Through the direct effect to individual or indirect effect transferred by ecosystem food chain, marine fish have been affected by these changes, including fish physiology (growth, breeding, migration), phenology, the abundance and distribution of resources, as well as marine ecosystem, and finally all those brought influence on fishery resources management. By collecting relevant literature domestic and abroad, this paper focuses on, four aspects i.e., abundance and distribution of resources, marine ecosystem, and fishery resources management, reviewed the impact of climate change on fisheries resources, so as to cope with climate change, and provide research foundation for realizing the sustainable development of fishery resources.

Key words: climate variability patterns; marine environmental factors; abundance of fishery resources; distribution of fishery resources; marine ecosystem; fishery resources management

Corresponding author: HUANG Shuolin. E-mail: slhuang@shou.edu.cn