



基于DLNM的气候变化对中西太平洋围网黄鳍金枪鱼CPUE影响的滞后效应

摘要

热带金枪鱼种群分布与资源丰度对气候变化所引起的海洋环境变动很敏感，厄尔尼诺与南方涛动事件(ENSO)是影响热带中西太平洋

(WCPO)黄鳍金枪鱼

(*Thunnus albacares*)种群分布和变动等的主要

气候事件，且环境变化对金枪鱼种群动态的影响存在滞后效应。为了探索气候异常和振荡对低龄黄鳍金枪鱼群体丰度影响的滞后效应，本研究基于中西太平洋渔业管理委员会(WCPFC)1982年至2021年的围网渔业黄鳍金枪鱼单位捕捞努力量的渔业数据，采用分布滞后非线性模型(DLNM)分析了不同滞后的海洋尼诺指数(ONI)对渔业CPUE的影响。结果显示，热带WCPO南北不同海域的低龄黄鳍金枪鱼群体对ONI的响应存在月度尺度上的滞后，表明DLNM在种群丰度与环境因素之间的滞后效应分析方面的适用性。

DLNM在种群丰度与环境因素之间的滞后效应分析方面的适用性。

研究背景

气候振荡对生态系统的影响和调节将更加复杂和不确定，特别是对生态系统的上层捕食者，而短寿命或低龄幼鱼的种群丰度动态能更准确和迅速地反映出其对气候变化的响应。探索黄鳍金枪鱼低龄群体(多分布于围网渔业)在更小时间分辨率下的种群分布与气候变化的关系，将有助于深入理解金枪鱼群体对气候变化的响应以及气候变化对群体影响的滞后机制。

本研究旨在利用WCPO围网渔业数据，围绕黄鳍金枪鱼CPUE对ONI响应的滞后性，一方面探究DLNM在气候变化对海洋生物种群动态影响滞后性分析中的适用性，另一方面探索在月度尺度上ONI对赤道南北不同海域黄鳍金枪鱼低龄群体影响的滞后效应及机制，以期为WCPO黄鳍金枪鱼资源的合理开发与科学管理提供科学依据。

材料与方法

渔业数据 WCPO围网黄鳍金枪鱼渔获数据来源于中西太平洋渔业委员会(Western & Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC)公众领域渔获量和努力量汇总数据

(<https://www.wcpfc.int/public-domain/>)，选用的数据时间范围为1982—2021年，时间分辨率为月，空间范围为45°N~55°S和105°E~135°W。

气候数据 ONI是表述ENSO事件的常用指数之一，数据来源于美国国家海洋和气象管理局官方网站(<https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/>)。ONI小于-0.5表示该海域正经历拉尼娜现象，ONI大于0.5表示该海域正经历厄尔尼诺现象；ONI在-0.5和0.5之间则表示该海域为中性现象[38-39]。在本研究中，选定ONI值为-1、-0.5、0.5和1进行研究。

DLNM建模:

$$\ln[CPUE_{t+1}] = \alpha + Cb(ONI, lag) + ns(t, df)$$

式中: Cb 为ONI交叉基函数, lag 为最大滞后期数, ns 为自然样条函数, t 为时间变量, df 为自由度。本研究中,在参考了赤池信息量准则(AIC)后,选定ONI的自由度为3。根据滞后效应机制,通常使用渔获的年龄作为最大滞后期数设置依据。由于WCPO围网目标群体黄鳍金枪鱼为低龄群体,年龄集中于<1龄(上岸体长多集中在40~70 cm),因此选定0~12 m作为滞后期数,即最大滞后期数 lag 和时间变量 t 自由度选定为12。选取ONI的中位数作为研究基准,以相对危险度(relative ratio, RR)95%置信区间(CI)的下区间是否大于1作为判断ONI是否影响CPUE的依据。

结果

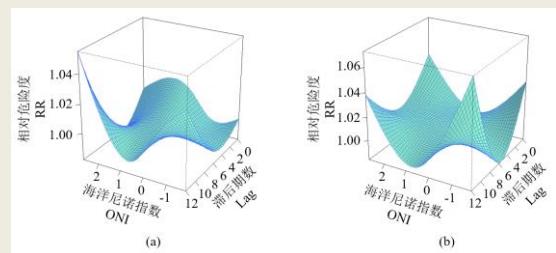


图2 不同滞后期时间ONI对黄鳍金枪鱼CPUE影响三维图 (a) 赤道以北, (b) 赤道以南

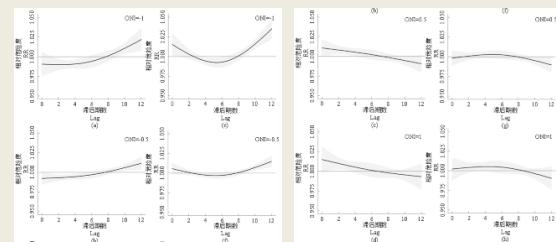


图3 不同ONI下黄鳍金枪鱼CPUE与滞后月数的关系 a, b, c和d. 赤道以北, e, f, g和h. 赤道以南。阴影为RR值95% CI的上下区间。

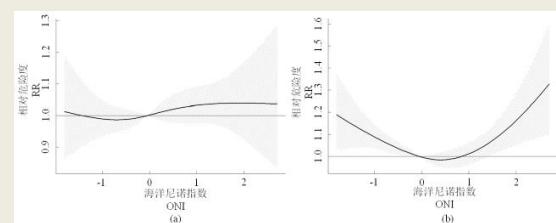


图4 赤道南北ONI对黄鳍金枪鱼CPUE累积效应 (a) 赤道以北, (b) 赤道以南

不同气候变化下ONI对黄鳍金枪鱼CPUE影响的滞后性在不同海域呈现出整体较为一致的趋势,但当出现异常高温(ONI>0.5)时,同期(滞后为0)或滞后较短期的ONI对CPUE的影响在赤道南北海域出现了较为明显的差异。在强低温或低温(即拉尼娜事件)时,无论赤道南北,ONI对CPUE的影响随着滞后时间的增加而愈加明显,而在强高温和高温(厄尔尼诺事件)时则出现了相反趋势。

结论

第一阶段,在赤道以北海域,当ONI=0.5和1时,对CPUE影响在滞后0~4 m发生,但这一滞后效应在赤道以南海域中未明显出现。厄尔尼诺期间,WPO暖池区温跃层上升,减小了黄鳍金枪鱼搜寻食物的深度,压缩了其垂直栖息地范围,而海水含氧量的变化也将黄鳍金枪鱼向上驱赶,使得群体与表层围网等渔具在的垂直空间上具有更大的重叠,提高了渔具的可捕率,在拉尼娜事件中,WPO温跃层的加深扩大了黄鳍的垂直栖息地,减少了它们对水面渔具的脆弱性。

第二阶段,在赤道南北2个区域均出现负相位ONI滞后9~12 m对WCPO围网黄鳍金枪鱼CPUE的正向影响,这一滞后时间与太平洋海域滞后8 m SOI与鲣补充量显著相关基本一致,加之滞后时间与目标渔获年龄基本符合可以推断,WCPFC海域气候振荡可以通过影响群体繁殖行为提升群体繁殖能力或仔幼鱼存活率,时滞一段时间后使增加了群体的补充量。

研究表明:低龄黄鳍金枪鱼群体可能对异常ONI引起的适宜栖息地在水平和垂直变化具有延迟响应,且气候变化可以通过影响海洋初级生产和仔幼鱼存活率进而改变群体补充量。

刘文俊

上海海洋大学海洋科学学院

上海市浦东新区沪城环路999号

邮箱:

1583064276@qq.com

电话: 18355680214