

研究进展

气候变化对北极渔业资源的影响研究进展

焦敏^{1,4} 陈新军^{1,2,3,4} 高郭平^{1,4}

(¹ 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; ² 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;

³ 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; ⁴ 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306)

摘要 近几十年来气候变化越发严峻,对北极渔业资源产生极大的影响。气候变化引发的海水升温、海平面上升和海冰缩减等改变,不仅直接影响北极渔业资源的种类习性及时空分布,而且通过对洋流、北极涛动、臭氧层等的影响间接地影响北极渔业资源的格局。气候变化对北极渔业资源的结构和数量有着不可逆转的影响,且影响范围广。本文通过对影响北极渔业资源的重大气候变化进行分析研究,找出气候变化影响北极渔业资源的主要因素,从而为应对气候变化,保护北极渔业资源提供基础,以便有效地、科学地并全面地确保北极渔业的可持续发展。

关键词 气候变化 北极 渔业资源

doi:10.13679/j.jdyj.2015.4.454

0 引言

近几十年来,全球气候变化问题越来越显著,主要表现在高纬度地区冬季大幅度增暖,高强度的降雨,北极冰层融化速度加快,海平面逐年上升,厄尔尼诺现象明显等。气候变化是一个长期的、全球性的问题,也是一个跨学科的极其复杂的科学问题。而气候变化在北极表现得尤其强烈。过去几十年,北极地区的平均温度升高值是世界其他地区的两倍左右。寒江^[1]指出,冰川和海冰的广泛融化和永冻层上升的温度有力表明北极在强烈增温。同时, Susan^[2]表示北极气候变化会影响到全球气候、海平面高度、生物多样性,甚至对人类社会、世界经济体系带来影响。

许多研究表明,全球气候变化是世界渔业资源产量和分布变化的重要原因之一,气候变化会直接

或间接影响渔场分布、鱼类洄游路线以及渔汛时间等。在北极,气候变化可能导致大量土著种类消失,同时外来种类的入侵,致使北极生物多样性发生变化。目前,气候变化与渔业资源分布和产量波动的关系已经成为相关学科的研究热点之一^[3-6]。而从事气候变化与北极渔业关系研究相对缺乏,本文通过分析气候变化对北极渔业的影响,为北极渔业资源开发与保护提供基础资料。

1 北极渔业资源状况

1.1 北极渔业资源种类

北冰洋地处高寒地带,动植物种类较少,浮游植物的生产力比其他洋区要少 10%,主要包括浮冰上的小型植物,表层水中的微藻类,浅海区的巨藻和海草等^[7]。北极海域主要经济鱼类有:太平洋毛鳞鱼 (*Mallotus villosus*)、格陵兰鳕鲽 (*Reinhardtius hippo-*

[收稿日期] 2014 年 7 月收到来稿,2014 年 9 月收到修改稿

[基金项目] 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2012AA092301)、国家发改委产业化专项(2159999)、上海市科技创新行动计划(12231203900)和国家科技支撑计划(2013BAD13B01)资助

[作者简介] 焦敏,男,1991 年生。硕士研究生,主要从事渔业资源研究。

[联系作者] 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

glossoides)、北方长额虾 (*Pandalus borealis*)、北鳕 (*Boreogadus saida*)、大西洋鳕 (*Gadus morhua*)、黑线鳕 (*Melanogrammus aeglefinus*)、狭鳕 (*Theragra chalcogramma*)、太平洋鳕 (*Gadus macrocephalus*)、蛛雪蟹 (*Chionoecetes opilio*) 等, 以及鲱鱼 (*Clupea harengus*)、鲑鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*) 和大王蟹 (*Paralithodes camtschaticus*) 等^[8]。根据 FAO 统计数据^[9], 北极海域捕捞国家主要为环北极国家, 此外还有英国、德国、西班牙和日本等(见表 1)。

表 1 北极区域主要经济种类及捕捞国
Table 1. Main economic fish populations and fishing nations in the Arctic region

洋区	种类名称	捕捞国和地区
北冰洋	大西洋鳕、鳕形目、格陵兰大比目鱼、黑线鳕、硬骨鱼、北极鳕、圆吻突吻鳕	俄罗斯
东北大西洋	大西洋鳕、大西洋鲱、大西洋鲭鱼、平鲉属、无须鳕、沙丁鱼、比目鱼、硬骨鱼、黑线鳕、竹荚鱼属、黑鳕鱼、牙鳕、北方蓝鳍金枪鱼	比利时、丹麦、法罗群岛、芬兰、法国、德国、冰岛、爱尔兰、马恩岛、荷兰、挪威、波兰、葡萄牙、西班牙、瑞典、英国
西北大西洋	美洲拟庸鲽、大西洋鳕、大西洋鲱、大西洋鲭、大西洋油鲱、平鲉属、毛鳞鱼、硬骨鱼、黑线鳕、黑鳕鱼、金眼门齿鲷、银无须鳕、白鳕鱼、美洲拟鲽、美洲黄盖鲽	加拿大、法罗群岛、法国、德国、格陵兰、冰岛、挪威、葡萄牙、西班牙、圣皮埃尔和密克隆、美国

1.2 北极渔业资源状况
北极海域的海水温度常年较低, 鱼的种类和资源量相对其他洋区较少, 主要渔场集中在东北大西洋。根据对 FAO 统计数据进行分析, 北极地区捕捞量在 1976 年达到最大值 1.51×10^7 t, 年平均捕捞量约为 1.108×10^7 t。而全球海洋渔业年平均捕捞量为 5.229×10^7 t, 北极海洋渔业捕捞量占全球海洋渔业捕捞量的比值呈递减趋势, 所占比例年平均约 24.8% (图 1)。

2 对北极渔业资源影响较大的全球气候变化现象

据《世界气象组织全球气候状况声明》指出, 2001—2012 年全球平均温度持续偏高, 2012 年, 北极海冰范围创历史新低, 仅为 3.41×10^6 km², 是开展卫星观测以来最低记录^[10]。受这些因素的共同影响, 近年来全球出现显著的气候异常和极端事件。其中, 对北极渔业影响较大的气候变化主要有以下几种。

2.1 厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 现象
近年来, 世界气象组织宣称, 厄尔尼诺现象已经成为全球异常的重要表现之一。厄尔尼诺现象是海

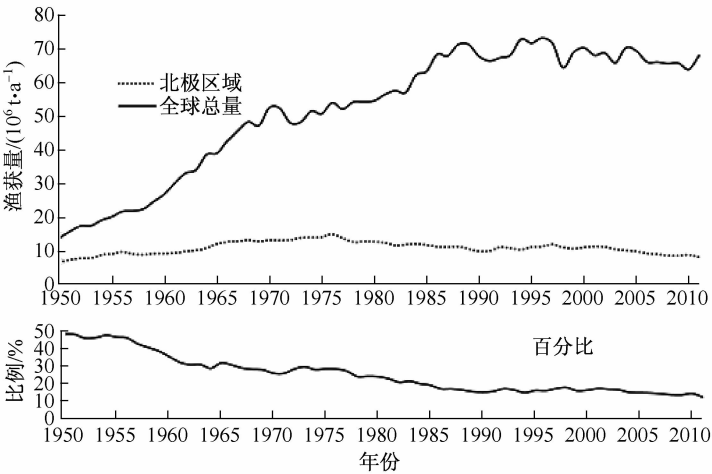


图 1 1950—2011 年北极渔业与全球渔业捕捞量状况
Fig. 1. Status of Arctic fish landings and global fish landings during 1950 to 2011

洋和大气相互作用不稳定状态下的结果, 指发生在赤道东太平洋附近的洋面上的海水异常增暖现象, 与之相对应的是拉尼娜现象^[11]。厄尔尼诺现象可以引起表层水温 (SST)、温跃层结构和海岸地区上升流的变化, 这些变化对鱼类种群构成、分布范围和

资源丰度等有直接影响^[12]。温跃层结构发生变化, 并使到达透光层的营养物质减少, 热带暖水性鱼类向极地方向移动, 冷水性物种也向极地方向洄游或进入较深水层, 集群的上层鱼类分布范围更加分散并进入较深水层, 以致许多定居性的鱼类因食物缺

乏或无法适应温度升高而死亡^[13]。

2.2 大洋暖池 (Warm Pool) 和冷池

大洋暖池 (Warm Pool) 又称热库或暖堆, 一般指的是热带西太平洋及印度洋东部多年平均 SST 在 28 °C 以上的暖海区^[14]。与暖池相对应的是“冷池”现象。“冷池”是指夏季白令海北部海域水下出现的低温区域, “冷池”的出现是由于冬季海冰形成以及春夏海水表层加热等多种因素造成的。而随着气候变化, “冷池”的范围也随之缩小或变大。由于 20 世纪 70 年代中期白令海气候模式发生了大的转换, 造成了 70 年代后期白令海狭鳕等鱼类种群的变化^[15]。

2.3 阿留申低压 (Aleutian Low)

阿留申低压是指位于 60°N 附近阿留申群岛一带的大范围副极地低气压 (气旋) 带, 阿留申低压冬季位于阿留申群岛地区, 到了夏季向北移动, 并几乎消失。它吸引周围空气作逆时针方向旋转, 进而吹动周围大洋表层水体形成逆时针方向环流系统。在北太平洋的 45°N 以北, 构成以阿留申低压为中心, 由阿拉斯加暖流、千岛寒流 (亲潮) 和北太平洋暖流组成的气旋型环流系统^[16-17]。同时, 当阿留申低压东移 (伴随着厄尔尼诺现象) 时, 白令海峡变暖, 冷池范围缩小; 而西移 (伴随着拉尼娜) 时, 白令海变冷且冷池范围也较大。

2.4 北极涛动 (AO) 和北大西洋涛动 (NAO)

北极涛动又称北半球环状模 (NAM), 是北半球中纬度和高纬度大气质量变化的一种带状跷跷板结构, 由 Lorenz^[18] 最早指出这种涛动, 并被 Thompson 和 Wallace^[19] 命名为北极涛动。北极涛动变化会影响海冰的移动, 所以因海冰运动而产生冰间的叠合和离散, 影响潜热和显热通量的分布^[20]。而北大西洋涛动是指亚速尔 (Azores) 高压和冰岛 (Iceland) 低压之间的气压的南北交替变化, 调节着北大西洋 40°N—60°N 之间西风的强弱, 最主要影响北美和欧洲的气候变化, 正 NAO 态时西风增强并北移, 温度升高, 负 NAO 时则呈现相反的作用^[21-22]。由于它们相关较高, 目前国际上常被作为同一个东西。事实上, 北极涛动是全球尺度的一种现象, 而北大西洋涛动是一个区域尺度现象^[23]。在北海和东北大西洋对浮游生物调查发现, 浮游生物与北大西洋涛动有密切关联^[24], 说明北极涛动和北大西洋涛动通过

影响浮游生物类群, 从而对北极渔业资源产生深远影响。

2.5 臭氧层空洞

自 1986 年英国科学家惊奇地发现在南极上空有一个臭氧层空洞, 自此南极臭氧层空洞备受科学家关注。然而, 遗憾的是, 北极地区大气酸化, 臭氧层变薄, 紫外线增强, 科学家在北极也发现了臭氧空洞已经形成, 随着温室气体排放增加, 北极上空的臭氧空洞将急速扩大^[25-27]。当平流层臭氧层受到破坏, 到达地球紫外线将增加, 而紫外线对包括浮游植物在内的水生微小生物的生长和繁殖具损伤作用, 导致水域基础生产力下降^[28-30]。由于北极水域的高生产量, 臭氧层破坏对全球水域生产量的影响是不可忽视的, 臭氧层每减少 16% 将使全球基础生产量损失 5%, 相当于每年渔业产量少了 7×10^6 t^[31]。

3 气候变化对北极渔业资源的影响

3.1 主要影响因子

3.1.1 海水温度升高

鱼类生长发育需要一个适宜的温度, 易受温度变化的影响。水温的升高使鱼类时空分布范围和地理种群量及组成结构发生变化, 同时也会造成海域初级生产者的浮游植物和次级生产者浮游动物的时空分布和地理群落构成发生长期趋势性的变化, 最终导致以浮游动物为饵的上层食物网发生结构性改变, 从而对渔业产生深远的影响^[32-33]。由于北极圈温度升高, 格陵兰冰融加快, 大气-海洋作用引起的环北极表层冷水流加强, 造成大西洋 59° 以北的浮游植物的丰度和峰值季节长度呈相反的逐年下降的趋势^[34]。

随着海水温度的升高 (图 2), 一些鱼类会向高纬度地区迁移寻找适宜他们生活的海域。暖水性生物栖息北限已向北移动, 而冷水性种类种群数量下降、栖息范围缩小^[35]。如自 1962 年以来北海海底的水温温度上升了大约 1 °C, 36 种当地鱼类中有 15 种追随冷水游向北方, 最大迁徙距离达 400 km^[36]。海水温度的升高还会影响北极海洋的洋流、海冰的分布、径流量及盐度等, 这些因素都直接与海洋生态群落结构及栖息密切相关, 并成为世界渔业不稳定的重要因素^[37]。

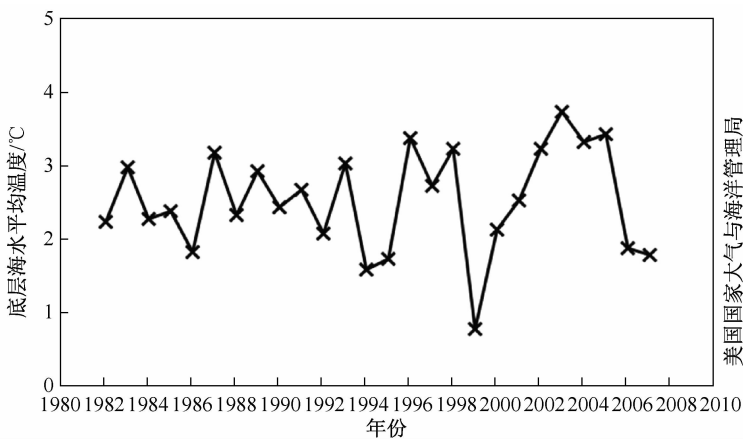


图 2 白令海东南部夏季底层海水温度

Fig. 2. Map showing the bottom water temperature for Southeastern Bering sea in summer

3.1.2 海平面上升

气候变化引起海平面上升,主要源于海水体积的热膨胀、北极海冰加速融化以及陆地水增加汇入海洋。海平面上升使得海啸、风暴潮等极端海洋灾害更容易发生,损失更为严重,有证据表明,风暴巨浪的破坏程度与海平面的变化有直接关系。这些极端海洋灾害会影响鱼类繁殖的场所,致使濒危珍稀物种灭绝,生态发生退化,对渔业生产的负面影响是巨大的^[38-39]。

海平面上升,径流量增大,对沿岸河口环流和盐水的入侵有重要的影响^[40-41]。当海平面升高,来自于北太平洋的水流能够穿越俄罗斯和阿拉斯加之间的白令海峡(其岩床深度为 50 m),从而对北极和北大西洋的淡水和营养平衡产生影响^[42],这些作为鱼类生存的重要因子,间接地影响北极渔业资源的结构和资源量。

3.1.3 海冰变薄变稀

在过去 30 年里,海冰覆盖范围平均下降了 8%,在夏末下降更多,大约缩减了 15%—20%,并且融化趋势加快,同时冰层的厚度也在不断变薄^[43]。1978—2013 年 11 月份的海冰范围相对于 1981—2010 年平均值每 10 年下降 4.9%,即每年下降 53 500 km²(图 3)^[44]。同时,美国海军对过去 20 年核潜艇观测到的海冰厚度数据进行分析,发现在北冰洋中部变薄了 43%^[45]。其中 1972—1991 年间北冰洋海冰的年平均减薄率约为 0.5—1.0 cm^[46]。北极冬、夏季海冰的交替变化以及北冰洋与北太平洋和北大西洋的水交换是全球冷热循环的重要冷源,是全球气候变化的重要驱动力。北极区域海冰的变化,将影响全球环境和气候,尤其是对北半球的影响。

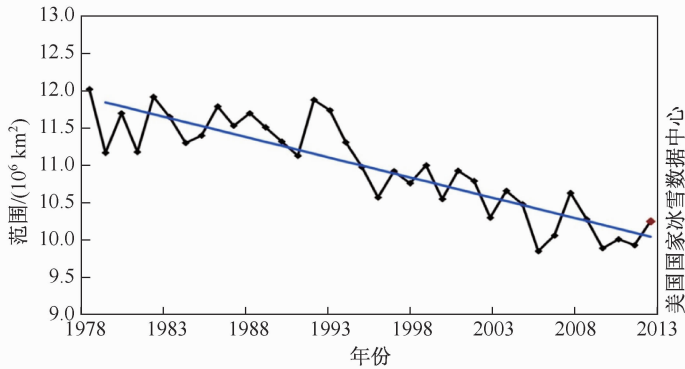


图 3 1978—2013 年 9 月份北极海冰范围月平均值变化图

Fig. 3. Monthly average ice extent on September during 1978 to 2013 in Arctic

北极海冰对作为北极地区整个食物链基础的浮游生物和微生物提供了富滋生地^[47],支持了一个极富生产力的海冰生物群落^[48]。海冰的缩减,会影响淡水的输入,从而影响北极生物种类的所占比重和分布特性^[49];会造成北极洋流受到巨大影响,而北极洋流给人类带来了丰富的渔业资源。纽芬兰渔场、北海渔场、北海道渔场均得益于北极洋流的影响^[50-51]。海冰是北冰洋生态系统中一个最为显著的环境特征,北极生态系统变化会对北极渔场分布和渔获量造成影响。由海洋循环所造成的海洋生态系统的巨大变化会影响传统渔区,北冰洋有可能成为潜在的新渔场^[52]。

3.1.4 海水酸化

由于人类大量使用化石燃料和砍伐森林,CO₂不断汇集被海洋吸收。有研究者基于 175°E 的观测,指出人为 CO₂ 在北太平洋 2 000 m 以上深度的亚极地区过去 20 年里有 280 gC·m⁻² 的累积^[53]。自 18 世纪工业革命以来,人类活动所释放的 CO₂ 约有三分之一被海洋吸收,海水表面的酸性增长了 30%^[54-55]。海洋的酸化会影响鱼类栖息地及其食物来源。例如,海洋酸化会导致藻类生理调节机制的变化,而究竟会导致藻类固碳量增加还是减少,取决于酸化与 CO₂ 浓度升高效应的平衡^[56]。

海洋酸化会影响海洋中离子的存在形式,从而改变不同形态离子的浓度与比例,引起细胞质膜氧化还原系统的变化,并左右胞膜或胞外关键酶的活性,在低 pH 条件下,海水中游离的 Fe 离子会增加,但海水酸化会导致浮游植物对 Fe 吸收量的下降^[57-58]。如果海水不断酸化,将会日益破坏整个北极海洋生态系统,珊瑚、贝壳类以及骨骼含钙的海洋生物会因为钙代谢失常而生长缓慢,数量减少,而以此些海洋生物为食的鱼类也会随之减少或灭绝。有人估计,海洋酸化每年造成的经济损失将以百亿美元计,其中海洋酸化可能增加海洋渔业生产成本约 10%,每年大约 100 亿美元^[59]。

同时,由于北极海洋中的许多鱼类生长过程缓慢,鱼体适应海水酸化的能力可能更低,因此,北极海洋中的鱼类以及生态系统对海洋酸化的反应更为敏感^[60]。

3.2 主要渔业种类

3.2.1 鳕类

鳕类(Gadiformes)是北极主要经济鱼种,栖息

于海洋底层和深海中,种类繁多,主要有北极鳕(*Boreogadus saida*)、大西洋鳕和狭鳕等。其中,大西洋鳕具有广温性和广盐性,产卵场温度一般在 2—10℃,盐度为 28—36。主要分布于北大西洋两岸,英国、冰岛、挪威等国近海和巴伦支海的斯匹次卑尔根岛海域,而这些海域主要来自于墨西哥湾流的北大西洋暖流,加上西斯匹次卑尔根暖流、挪威暖流、西格陵兰暖流、东格陵兰寒流等多个冷暖海流交汇,形成了东北大西洋渔场^[61]。

Ottersen^[62]和 Mann^[63]研究发现,在巴伦支海和拉布拉多海域,大西洋鳕的资源丰度受到 NAO 引起的水温和盐度变化的影响。在高 NAO 年,强西风增加了从西南方向流来的北大西洋暖流和挪威暖流,使巴伦支海水温升高,同时携带了大量的浮游动物饵料,而且水温升高提高了大西洋鳕幼体的主要饵料飞马哲水蚤(*Calanus finmarchicus*)的数量,有利于大西洋鳕幼体的存活和生长。另外有研究者研究了气候变化与鳕鱼资源的关系,发现自从 1988 年以来,大西洋鳕渔获物组成部分主要是 5 龄以下甚至是 3 龄以下的未成熟鳕鱼^[64]。据美国《Science》杂志报道,从加拿大东岸到美国东岸西北部大西洋鳕鱼资源的枯竭,主要源于北冰洋融化的冰冲淡了海水的盐分浓度,使生态系统发生变化,给鳕鱼生存带来了不利因素的结果^[65]。

美国海洋大气局(NOAA)2007 年 6—7 月夏调查船 Osgood 号对白令海的狭鳕资源进行调查,发现原来栖息于白令海、阿留申东侧海域的狭鳕向北移动到了普里比洛夫群岛西北外海到靠近俄罗斯专属区一带海域,初步认为地球气候变暖也许是白令海狭鳕渔场北移的原因^[66]。同时, Wyllie-echev-erria 等^[67]研究了白令海海域冷池和鱼群分布的关系,发现白令海北部海域的“冷池”现象同样对狭鳕资源的鱼类种群变化产生影响。

3.2.2 鲑科

鲑科鱼类(*Salmonidae*)分布最广,数量丰富,是北极区域重要的冷水性经济鱼类。主要有北极鲑鱼(*Arctic charr*)、红点鲑(*Alpine charr*)、白鲑(*Coregonus*)和大西洋鲑(*Salmo salar*)等。鲑类为溯河性鱼类,分布于太平洋、大西洋的北部及北冰洋海区和沿岸诸水系流域中。Reist^[68]等研究了气候变化对北极淡水鱼类和溯河产卵鱼类的影响。发现洄游鱼类会受到气候变化对淡水、河口及海洋地区的综合影

响。气候变化所导致的气温升高,可能产生三种后果:局部群体灭绝;分布范围向北迁移;通过自然选择发生基因变化^[68]。许多鱼类的分布受到等温线位置的限制,气候变化在温度变化上的反映和饵料食物等资源变化上的反映影响鱼类的分布。

美国哥伦比亚大学鲑鱼科研组研究了温度和鲑鱼死亡率关系,发现水温上升会导致很多鲑鱼死亡,而存活下来的鲑鱼具有更加强健的心脏^[69]。对北极红点鲑(*Salvelinus alpinus*)来说,温度升高对其影响是多重的。由于夏季海面温度升高,最适生长温度(12—16℃)的长时间持续,海洋生产力的增加,会使北极红点鲑的平均体长和体重增加。但同时由于春季较高的温度和冰层融化的加快,对在春季融冰时洄游的大西洋鲑产生不利影响,虽然这种情况也可能会提高大西洋鲑在海中居留的适应能力,但会使其耐盐能力下降以及成功溯河洄游的时间缩短,温度的急剧升高还会阻碍洄游鱼类渗透压调节能力,引起能量消耗的增加并导致生长率下降,以及降海过程中死亡率的增加。

4 对策

气候变化对北极渔业资源的影响是多方面的,通常是多种气候变化共同作用的结果,主要影响因素有海水温度升高、海平面上升、海冰缩减和海水酸化等。影响的特点主要有:(a)反应敏感,承受能力差;(b)不可逆转,不可预知;(c)影响范围广,影响因子多。所以在分析气候对北极渔业资源影响时,要进行多因素共同分析,分别针对其生活史过程、繁殖、生长与死亡、浮游生物、资源时空分布等方面进行研究探讨。为了应对气候变化,保护北极渔业资源,我们需要做到如下几点。

(1)开展专项研究。加强开展类似于德国“海洋酸化的生物学影响(BIOACID)”计划^[70]的海平面

上升、海水升温 and 变酸等对北极渔业影响专项研究。定量研究气候变化过程对北极渔业及其生物群落可能产生的影响。同时加强国际间联系,做到资源与研究成果共享,共同加深对气候变化与北极渔业资源关系的了解。

(2)建立北极渔业资源监测与评估数据库。在《北极环境与生态变化监测指标》、《北极生物多样性变化趋势指标》等^[71]现有评估报告基础上,建立“北极气候变化与渔业资源监测指标”,并开始进行监测、记录。通过各国统计部门、相关国际组织、研究机构等部门合作,逐步建立和完善北极渔业资源监测与评估数据库。

(3)预测模型研究。目前,预测气候变化对北极鱼类种群影响的方法主要有:生理法、经验法和分布法^[72]。由于未来温度、水文等预测的不确定性以及其对北极渔业影响复杂性,预测气候变化对北极渔业影响非常困难,需要通过各国研究者的努力,先进行总体定性概况,然后将渔业资源年际变化参数与一些假设的环境的驱动因素联系起来,作为未来气候变化对北极渔业影响的基础资料。

(4)控制捕捞,合理作业。过度捕捞会减弱鱼群对生存环境变化的适应能力,从而加大全球气候变化对渔业的负面影响^[73]。因此要做好北极渔业捕捞量的合理规划和作业方式的正确规范,维持北极渔业资源的可持续开发,同时减少对北极海洋环境的污染。

近年来,全球气候变化形势加剧,其对北极渔业资源波动的影响也更为明显,而国内外、研究气候变化与海洋渔业资源波动关系的文献并不多,针对气候变化与北极渔业资源波动关系的研究则更少。气候变化对北极渔业资源波动的影响需要我们做更多的研究,不断改进研究方法,从而全面而深入地分析北极渔业资源与气候变化的关系,以便应对未来气候变化,可持续开发利用北极渔业资源。

参考文献

- 1 寒江. 北极的气候变化及其影响. AMBIO-人类环境杂志, 2004, (7): 456.
- 2 Arctic Climate Impact Assessment. Impacts of a Warming Arctic. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- 3 Klyashtorin L B. Long-term climate change and main commercial fish production in the Atlantic and Pacific. Fisheries Research, 1998, 37(1-3): 115—125.
- 4 Hollowed A B, Hare S R, Wooster W S. Pacific Basin climate variability and patterns of Northeast Pacific marine fish production. Progress in Oceanography, 2001, 49(1-4): 257—282.

- 5 Sugimoto T, Kimura S, Tadokoro K. Impact of El Niño events and climate regime shift on living resources in the western North Pacific. *Progress in Oceanography*, 2001, 49(1-4): 113—127.
- 6 Cheung W W L, Lam V W Y, Sarmiento J L, et al. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, 2009, 10(3): 235—251.
- 7 杨金森. 世界海洋资源//国家海洋局海洋发展战略研究所. 海洋战略研究文选. 北京: 海洋出版社, 2000: 31—45.
- 8 唐建业, 赵嵌嵌. 有关北极渔业资源养护与管理的法律问题析. *中国海洋大学学报: 社会科学版*, 2010, (5): 11—15.
- 9 Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service, FAO, 2013. <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/query/en>.
- 10 王东阡, 王腾飞, 任福民, 等. 2012 年全球重大天气气候事件及其成因. *气象*, 2013, 39(4): 516—525.
- 11 Hol ton J R, Dmowska R. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. New York: Academic Press, 1989.
- 12 赵小虎. El Niño/La Niña 对西北太平洋柔鱼资源及渔场的影响. 上海: 上海水产大学, 2006.
- 13 NMFS. Impacts of El Niño on fish distribution from NOAA fisheries. [2001-02-01]. <http://www.elnino.noaa.gov/enso4.html>.
- 14 Richey J N, Poore R Z, Flower B P, et al. Regionally coherent Little Ice Age cooling in the Atlantic warm pool. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(21): L21703.
- 15 Niebauer H J. The role of atmospheric forcing on the “Cold Pool” and ecosystem dynamics of the Bering Sea Shelf: A retrospective study. [2001-04-25]. <http://www.cifar.uaf.edu/atmosphere98/niebauer.html>.
- 16 川村隆一, 治文. 北太平洋海-气相互作用的季节变化. *气象科技*, 1987, (6): 46—51.
- 17 任广成. 太平洋海温对冬季阿留申低压的影响. *气象学报*, 1991, 49(2): 249—252.
- 18 Lorenz E N. Seasonal and irregular variations of the Northern Hemisphere sea-level pressure profile. *Journal of Meteorology*, 1951, 8(1): 52—59.
- 19 Thompson D W J, Wallace J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25(9): 1297—1300.
- 20 陈立奇, 赵进平, 卞林根, 等. 影响北极地区迅速变化的一些关键过程研究. *极地研究*, 2003, 15(4): 283—302.
- 21 李崇银, 朱锦红, 孙照渤. 年代际气候变化研究. *气候与环境研究*, 2002, 7(2): 209—219.
- 22 商少凌, 张彩云, 洪华生. 气候-海洋变动的生态响应研究进展. *海洋学研究*, 2005, 23(3): 14—22.
- 23 李建平. 北极涛动的物理意义及其与东亚大气环流的关系//俞永强, 陈文. 海-气相互作用对我国气候变化的影响. 北京: 气象出版社, 2005: 169—176.
- 24 陈宝红, 周秋麟, 杨圣云. 气候变化对海洋生物多样性的影响. *台湾海峡*, 2009, 28(3): 437—444.
- 25 Salawitch R J. Ozone depletion: A greenhouse warming connection. *Nature*, 1998, 392(6676): 551—552.
- 26 Carre R A. Ozone loss, greenhouse gases linked. *Science*, 1998, 280(5361): 202.
- 27 Council A. Arctic pollution issues: a state of the Arctic environment report. Oslo, Norway: Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP), 1997.
- 28 Karentz D, Lutze L H. Evaluation of biologically harmful ultraviolet radiation in Antarctica with a biological dosimeter designed for aquatic environments. *Limnology and Oceanography*, 1990, 35(3): 549—561.
- 29 Cullen J J, Neale P J, Lesser M P. Biological weighting function for the inhibition of phytoplankton photosynthesis by ultraviolet radiation. *Science*, 1992, 258(5082): 646—650.
- 30 Cullen J J, Lesser M P. Inhibition of photosynthesis by ultraviolet radiation as a function of dose and dosage rate: results for a marine diatom. *Marine Biology*, 1991, 111(2): 183—190.
- 31 Hader D P, Worrest R C, Kumar H D, et al. Effects of increased solar ultraviolet radiation on aquatic ecosystems. *Ambio*, 1995, 24(3): 174—180.
- 32 Frank K T, Perry R I, Drinkwater K F. Predicted response of Northwest Atlantic invertebrate and fish stocks to CO₂-induced climate change. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1990, 119(2): 353—365.
- 33 Aebischer N J, Coulson J C, Colebrook J M. Parallel long-term trends across four marine trophic levels and weather. *Nature*, 1990, 347(6295): 753—755.
- 34 Reid P C, Edwards M, Hunt H G, et al. Phytoplankton change in the North Atlantic. *Nature*, 1998, 391(6667): 546.
- 35 方精云, 唐艳鸿, 林俊达, 等. 全球生态学—气候变化与生态响应. 北京: 高等教育出版社, 2000: 1—278.
- 36 王亚民, 李薇, 陈巧媛. 全球气候变化对渔业和水生生物的影响与应对. *中国水产*, 2009, (1): 21—24.
- 37 Beamish R J. Response of Anadromous Fish to Climate Change in the North Pacific. Washington, DC: Taylor & Francis, 1995: 123—136.
- 38 Costa M J, Costa J L, de Almeida P R, et al. Do eel grass beds and salt marsh borders act as preferential nurseries and spawning grounds for fish? An example of the Mira estuary in Portugal. *Ecological Engineering*, 1994, 3(2): 187—195.
- 39 于子江, 杨乐强, 杨东方. 海平面上升对生态环境及其服务功能的影响. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(6): 101—103.

- 40 Pritchard D W. Estuarine hydrography. *Advances in Geophysics*, 1952, 1: 243—280.
- 41 杨桂山, 朱季文. 全球海平面上升对长江口盐水入侵的影响研究. *中国科学(B辑)*, 1993, 23(1): 69—76.
- 42 Marine activity reports. Rapid sea level rise in the arctic ocean. [2006-10-18]. <http://www.seadiscovery.com/mt/mtstories.aspx?showstory=1006682111>.
- 43 Stokstad E. Bid to restrict Polar Bear trade fails. [2013-03-07]. <http://news.sciencemag.org/scienceinsider/2013/03/bid-to-restrict-polar-bear-trade.html>.
- 44 Vizcarra N. Slow growth on the Atlantic side of the Arctic; Antarctic ice extent remains high. National Snow and Ice Data Center (NSIDC): Arctic Sea Ice News & Analysis. [2013-12-04]. <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2013/12/slow-growth-on-the-atlantic-side-of-the-arctic-antarctic-ice-extent-remains-high/>.
- 45 Rothrock D A, Yu Y, Maykut G A. Thinning of the Arctic sea-ice cover. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26(23): 3469—3472.
- 46 Johannessen O M, Shalina E V, Miles M W. Satellite evidence for an Arctic sea ice cover in transformation. *Science*, 1999, 286(5446): 1937—1939.
- 47 Roach A T, Aagaard K, Pease C H, et al. Direct measurements of transport and water properties through the Bering Strait. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978—2012), 1995, 100(C9): 18443—18457.
- 48 Kinnard C, Zdanowicz C M, Fisher D A, et al. Reconstructed changes in Arctic sea ice over the past 1,450 years. *Nature*, 2011, 479(7374): 509—512.
- 49 孙英, 凌胜银. 北极: 资源争夺与军事角逐的新战场. 红旗文稿, 2012, (16): 33—36.
- 50 彭海涛. 全球变暖背景下近十年来北极海冰变化分析. 南京: 南京大学, 2011.
- 51 Legendre L, Ackley S F, Dieckmann G S, et al. Ecology of sea ice biota. *Polar Biology*, 1992, 12(3-4): 429—444.
- 52 王桂忠, 何剑锋, 蔡明红, 等. 北冰洋海冰和海水变异对海洋生态系统的潜在影响. *极地研究*, 2005, 17(3): 165—172.
- 53 Watanabe Y W, Takahashi Y, Kitao T, et al. Total amount of oceanic excess CO₂ taken from the North Pacific subpolar region. *Journal of Oceanography*, 1996, 52(3): 301—312.
- 54 Stocker D Q. Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers. Geneva: IPCC, 2013.
- 55 Raven J, Caldeira K, Elderfield H, et al. Ocean Acidification Due to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. London: The Royal Society, Policy Document, 2005: 60.
- 56 Wu H Y, Zou D H, Gao K S. Impacts of increased atmospheric CO₂ concentration on photosynthesis and growth of micro-and macro-algae. *Science in China Series C: Life Sciences*, 2008, 51(12): 1144—1150.
- 57 Sunda W, Huntsman S. Effect of pH, light, and temperature on Fe-EDTA chelation and Fe hydrolysis in seawater. *Marine Chemistry*, 2003, 84(1-2): 35—47.
- 58 Shi D L, Xu Y, Hopkinson B M, et al. Effect of ocean acidification on iron availability to marine phytoplankton. *Science*, 2010, 327(5966): 676—679.
- 59 Hauke L, Powell K. A global perspective on the economics of ocean acidification. *The Journal of Marine Education*, 2009, 25(1): 25—29.
- 60 陈立奇, 高众勇, 詹力扬, 等. 极区海洋对全球气候变化的快速响应和反馈作用. *应用海洋学学报*, 2013, 32(1): 138—144.
- 61 林景祺. 狭鳕等三种鳕鱼生态和资源. *海洋科学*, 1994, (2): 25—29.
- 62 Ottersen G, Stenseth N C. Atlantic climate governs oceanographic and ecological variability in the Barents Sea. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46(7): 1774—1780.
- 63 Mann K H, Drinkwater K F. Environmental influences on fish and shellfish production in the Northwest Atlantic. *Environmental Reviews*, 1994, 2(1): 16—32.
- 64 O'Brien C M, Fox C J, Planque B, et al. Climate variability and North Sea cod. *Nature*, 2000, 404(6774): 142.
- 65 缪圣赐. 导致大西洋鳕鱼资源枯竭的罪魁祸首是地球变暖. *现代渔业信息*, 2007, 22(6): 35.
- 66 缪圣赐. 据美国 NOAA 调查船调查东白令海的狭鳕主群向北移动明显. *现代渔业信息*, 2007, 22(11): 34—35.
- 67 Wyllie-echeverria T, Wooster W S. Year-to-year variations in Bering Sea ice cover and some consequences for fish distributions. *Fisheries Oceanography*, 2002, 7(2): 159—170.
- 68 Reist J D, Wrona F J, Prowse T D, et al. An overview of effects of climate change on selected arctic freshwater and anadromous Fishes. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2006, 35(7): 381—387.
- 69 方舟. 奇尔科鲑鱼进化出强劲心脏, 只为应对气候变化. *海洋世界*, 2011, (7): 66—67.
- 70 Ragazzola F, Foster L C, Form A, et al. Ocean acidification weakens the structural integrity of coralline algae. *Global Change Biology*, 2012, 18(9): 2804—2812.
- 71 吴雪明, 张侠. 北极跟踪监测与评估体系的设计思路和基本框架. *国际观察*, 2011, (4): 9—16.

72 IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Geneva: IPCC, 2007.

73 Blaxter J H S. 1 Pattern and variety in development. Fish Physiology, 1988, 11: 1—58.

RESEARCH PROGRESS ON THE IMPACT OF CLIMATIC CHANGE ON ARCTIC FISHERY RESOURCES

Jiao Min^{1,4}, Chen Xinjun^{1,2,3,4}, Gao Guoping^{1,4}

(¹College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

²The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

³National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

⁴Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China)

Abstract

In recent decades, the effects of climate change have become increasingly obvious, and there has been considerable impact on fishery resources in the Arctic. Changes, including ocean warming, sea level rise, and sea ice reduction, do not only affect the fishery directly through impacts on the breeding, life history, and tempo-spatial distribution of Arctic fish, but also indirectly through changes in ocean currents, the Arctic oscillation, and the ozone layer. The impact of climate change on the structure, quality, and quantity of the Arctic fishery is wide-ranging and potentially irreversible. In this paper, the main factors affecting Arctic fishery resources are investigated by analyzing major climate variation. The results provide valuable information to help protect the Arctic fishery and to ensure the development of the Arctic fishery is sound and sustainable.

Key words climate change, Arctic, fishery resources