



DOI: 10.20103/j.stxb.202210283060

阚志毅, 陈光程, 陈彬, 陈顺洋, 马志远, 俞炜炜, 杜虹. 热带气旋对红树林的影响研究进展——基于文献计量分析. 生态学报, 2023, 43(18): 7796–7807.

热带气旋对红树林的影响研究进展 ——基于文献计量分析

阚志毅^{1,4}, 陈光程^{1,2,3}, 陈彬^{1,2,3}, 陈顺洋^{1,2,3}, 马志远^{1,2,3}, 俞炜炜^{1,2,3,*}, 杜虹⁴

1 自然资源部第三海洋研究所, 厦门 361005

2 福建省海洋生态保护与修复重点实验室, 厦门 361005

3 自然资源部海洋生态保护与修复重点实验室, 厦门 361005

4 汕头大学海洋灾害预警与防护广东省重点实验室, 汕头 515063

摘要:红树林在防风消浪、促淤保滩、固岸护堤等方面发挥重要的作用,是抵御台风、风暴潮、海岸侵蚀等自然灾害的重要天然屏障。热带气旋是红树林面临的最主要自然威胁之一,削弱了红树林对自然灾害的抵御及生物多样性维持等功能发挥。然而,尽管热带气旋对红树林的影响日益受到全球的广泛关注,但缺乏对该领域研究进展的系统分析和总结。以 Web of science 核心集数据库为数据源,利用 CiteSpace 软件对 1995—2021 年间热带气旋对红树林影响研究进行文献计量分析和可视化图谱绘制,以厘清该领域研究的现状、趋势和热点,并揭示未来的发展方向。研究表明:(1)该领域研究年发文量随时间处于波动上升的趋势,尤其 2013 年后迅速增加,表明该领域的研究日益受到重视;(2)美国、澳大利亚和印度等国家在该领域的研究走在前列,美国的中介中心性最高,其次是德国,美国广泛地与德国、法国、日本等许多国家有密切合作;(3)美国佛罗里达、加勒比地区、澳大利亚北部和印度南部等是当前研究的热点区域;(4)研究热点随时间推移而不断发展,从红树林植被的干扰损害逐渐发展到固碳储碳、海岸防护等功能的影响。全球变化背景下热带气旋对红树林的影响、红树林对热带气旋干扰的弹性、基于遥感和大数据处理的模型模拟等日益受到关注,量化热带气旋对红树林功能的影响、探明热带气旋与海平面上升的关系及对红树林影响、构建完善的观测体系数据集等将是未来研究的重要方向。研究对长期关于热带气旋对红树林影响的研究进展进行定量和可视化分析,可为预测热带气旋对红树林的影响和风险、及减缓和应对其风险等研究提供借鉴参考。

关键词:热带气旋;红树林;CiteSpace;文献计量分析;全球气候变化

红树林生长在热带、亚热带海岸潮间带,不仅具有维护生物多样性、储碳固碳、净化环境等重要的生态功能^[1–3],而且在防风消浪、促淤保滩、固岸护堤等方面发挥重要的作用,是海岸抵御风、浪、水流和其他自然灾害的天然屏障^[4–7],享有“海岸卫士”之称^[8]。然而,热带气旋是红树林面临的最主要自然威胁之一,已成为除人类活动外最大的干扰因素^[9],其不仅严重影响了沿海地区人民的财产和生活生产,而且对包含红树林在内的海岸生态系统造成了破坏^[10–11]。在过去 50 年里,受热带气旋破坏的红树林植被死亡率高达 30%—60%^[12],单次严重的热带气旋可引起 28000hm²的红树林遭到破坏^[13]。除了对红树林植被的直接影响,热带气旋对红树林生态系统及其毗邻的生物多样性^[14]、碳汇^[15]等均会造成破坏。在全球快速的生态环境变化背景下,热带气旋强度和频率增加对红树林生态系统的影响可能加剧^[16–18]。但由于红树林所处海陆交界环境的复杂性,加上热带气旋复杂多变的扰动过程及其引起风、风暴潮以及长期洪水等的叠加作用^[18],人们关于

基金项目:国家重点研发计划(2022YFF0802203)

收稿日期:2022-10-28; 网络出版日期:2023-05-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuweiwei@tio.org.cn,

热带气旋对红树林影响的认识仍然很有限^[19],对于该领域研究的现状、趋势、热点、空缺等问题尚不明确。

随着大数据处理技术的迅速发展,对研究领域发展的定量化、可视化分析工具也得到发展和运用,且日益成为全面梳理研究进展的重要技术支撑,如常用的可视化工具有 HistCite^[20]、RefViz^[21]、SATI^[22]、CiteSpace^[23]等。其中,CiteSpace 软件可实现合作网络、高频词及关键词共现图谱、关键词聚类图谱、时间线图谱、突变词等多功能全面的分析^[23],并且已得到广泛运用^[24]。本研究基于 CiteSpace 工具,对长期关于热带气旋对红树林影响研究的大量研究成果进行定量、可视化分析,总结梳理研究动态、热点和发展趋势、研究空缺等,以期开展热带气旋对红树林生态系统的影响和预测及其应对策略等研究提供借鉴参考。

1 数据与方法

本研究基于 Web of Scienc 核心合集,采用高级检索方式,以“TS = (mangrove) AND TS = (cyclone OR hurricane OR typhoon OR wind)”为检索主题,检索时间跨度为 1995—2021 年,文献类型为“Article”,共检索获得 931 篇文献,根据文献的标题和摘要对检索到的文献进行筛选精炼,得到 845 篇涉及热带气旋对红树林影响研究的文献并作为本研究的数据源。借助于 CiteSpace 软件,对检索到的文献通过发文量及其趋势、主要研究力量、关键词等方面进行定量统计和可视化,通过以“Country”为节点类型,绘制国家机构合作网络图谱;“Keyword”为节点类型,进行高频关键词共现图谱分析。此外,将时间因素加入到了知识图谱的绘制之中制作关键词时序图和学科演变时区图。为了厘清引证文献之间的联系,利用共被引分析关键可以探究研究内容的发展与演进动态。

2 结果与分析

2.1 发文量

年度发文量及其变化趋势可反映研究领域的受关注程度和重要性^[25]。根据年度发文量分布图(图 1),1995—2021 年间热带气旋对红树林影响研究的发文量呈曲折上升的趋势。其中,1995—2004 年间的年发文量低于 15 篇,发文量相对稳定;2005—2012 年间的发文量缓慢上升,年均增长约 1 篇;2013—2021 年间的年均发文量约 72 篇,发文量呈快速上升的趋势,年均增长约 6 篇,2020 年及之后的年发文量已超过 80 篇。从总体趋势上看,热带气旋对红树林影响的研究在全球得到关注和重视日益增加。

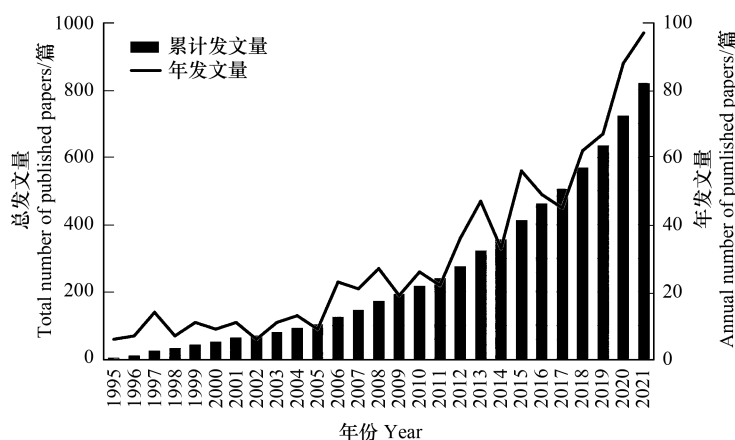


图 1 1995—2021 年热带气旋对红树林影响研究的发文量及其累计数量

Fig.1 Number and cumulative number of publication of effects of tropical cyclones on mangrove from 1997 to 2020

2.2 研究国家与机构

热带气旋对红树林影响研究发文涉及的国家(地区)有 67 个(图 2),其中发文数量最多的是美国(318 篇),其次分别为澳大利亚(105 篇)、印度(75 篇)、墨西哥(62 篇)和中国(57 篇)。美国在该领域的发文数量

占据绝对优势,研究机构多集中于佛罗里达州的高校,如佛罗里达国际大学、佛罗里达州立大学、佛罗里达大西洋大学等,其中以佛罗里达国际大学的发文量最高(47 篇)。除美国的研究机构外,其他主要发文机构有墨西哥的墨西哥大学(20 篇)、澳大利亚的昆士兰大学(18 篇)、海洋科学研究院(10 篇),而中国的研究机构主要有中国科学院(9 篇)、中山大学(5 篇)、厦门大学(3 篇)等。从发文量来看,美国是目前热带气旋对红树林影响研究领域的领头羊,其中以佛罗里达州的一些高校的贡献最大。

合作网络节点的中介中心性表示一个节点在整个网络中的强度,可反映该节点的重要性和影响力。根据该领域的合作网络图谱(图 2),美国的中介中心性最高(0.47),其次是德国(0.35),美国广泛地与德国、法国、日本等许多国家有密切合作。中国的中介中心性为 0.18,位居第五,主要与澳大利亚、美国、菲律宾等国家的机构合作。此外,值得一提的是,有部分国家的发文量虽然不高,但是中介中心性很高,如德国的发文数量仅有 51 篇(位居第六),而中心度位居第二,表明德国一些机构的活跃度高。

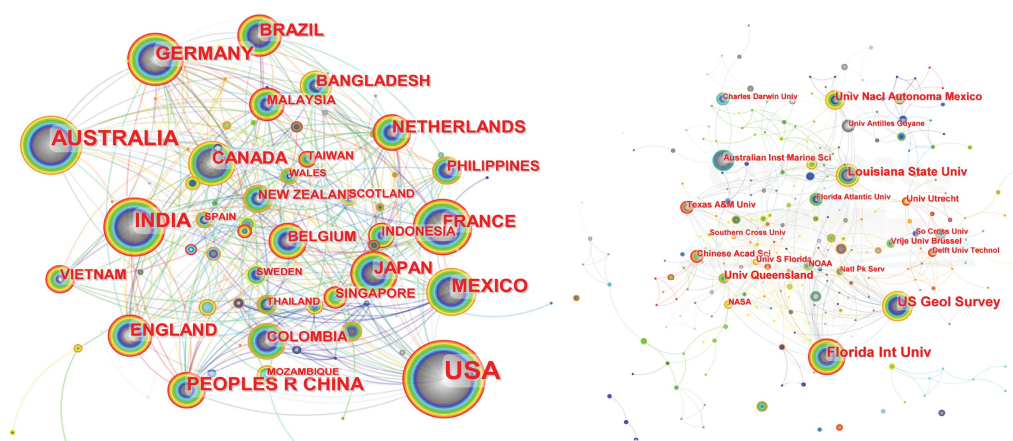


图 2 热带气旋对红树林影响研究的国家合作网络图谱和机构合作网络图谱

Fig.2 Map of the cooperation networks among countries and institutions in the field of effects of tropical cyclones on mangroves

节点大小和发文频次成正比;外圈用红色圆环标注表示该节点有较大中心度(不小于 0.1),是图谱中的关键节点

2.3 学科领域

根据学科领域及其变化趋势(图 3),热带气旋对红树林的影响研究涉及环境科学、生态学、海洋学、地质学、气象学等多学科。随着时间的推移,热带气旋对红树林影响的研究从早期的环境科学领域(发文量 136,中心值 0.47)、生态学(发文量 94,中心值 0.5)和环境科学与生态学领域(发文量 217,中心值 0.19),逐步发展成一个涵盖海洋学(发文量 109,中心值 0.11)、地质学(发文量 102,中心值 0.07)、气象学(发文量 39,中心值 0.02)和遥感(发文量 39,中心值 0.02)等多学科交叉领域的研究。由此可见,随着该领域研究的空间和时间尺度的扩大,遥感与图像处理学科在该领域中作用日益凸显。

2.4 共被引文献及其作者

共被引是指两个作者的文献同时被第三个作者的文献引用,采用作者共被引网络知识图谱可识别对该领域研究具有重要贡献的主要作者及其代表性文献。根据热带气旋对红树林影响研究的共被引图谱(图 4),共被引频次较高的作者依次为澳大利亚海洋科学研究所(Australian Institute of Marine Science)的 Daniel M. Alongi、美国地质调查局(US Geological Survey)的 Thomas J. Smith III、Ken Krauss 和 Karen L. McKee、澳大利亚詹姆斯库克大学(James Cook University)的 Norman C Duke、以及美国环境保护局(US Environmental Protection Agency)的 Chandra Giri 等。而这些学者中单个共被引最高的文献是 Giri 于 2011 发表的首次绘制的 30m 空间分辨率的全球红树林分布^[26],为热带气旋对红树林的影响研究提供重要数据基础^[27]。此外,较高共被引的文献主要有:Alongi 于 2008 年发表的文中指出红树林对热带气旋的干扰具有自我恢复的弹性,并且阐述了气候变化对红树林的影响以及红树林如何应对气候变化^[17];Smith 于 2009 年发表的文中指出热带气旋通过

风灾、风暴潮和沉积物沉积影响红树林的结构,红树林在应对气旋时并不像别的学者所宣称的处于稳定状态^[28];Krauss 通过 2008 的文章总结红树林生态系统形成的驱动因素^[29],并于 2020 年详细说明了气旋与红树林死亡率之间的关系^[12]。

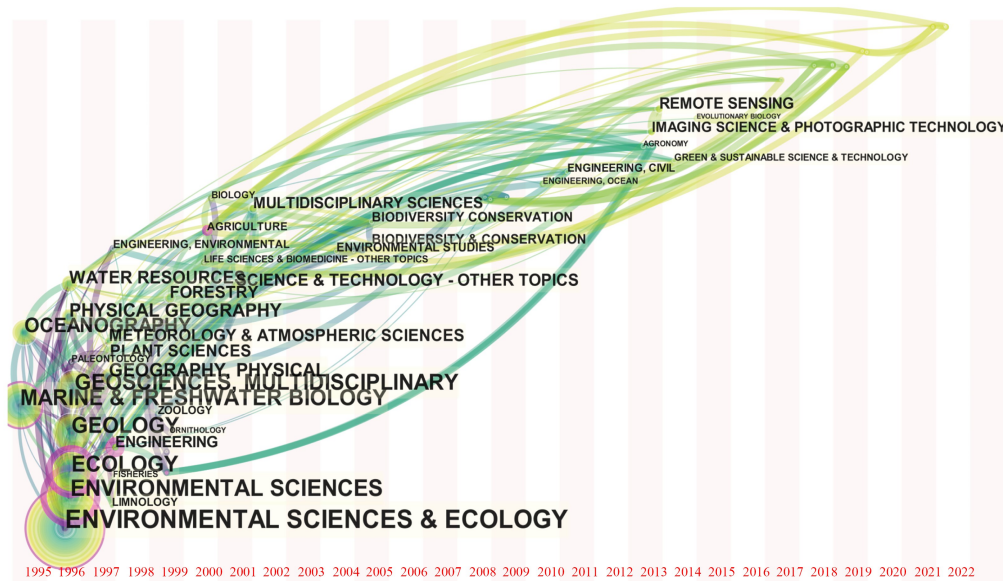


图 3 热带气旋对红树林影响领域学科演变时区图

Fig.3 The evolution of subjects in the field of effects of tropical cyclones on mangroves

节点大小和频次成正比;粉色圈层表示节点具有突现性,即在相应时间段内频次变化率高,一定程度上代表研究方向的转变

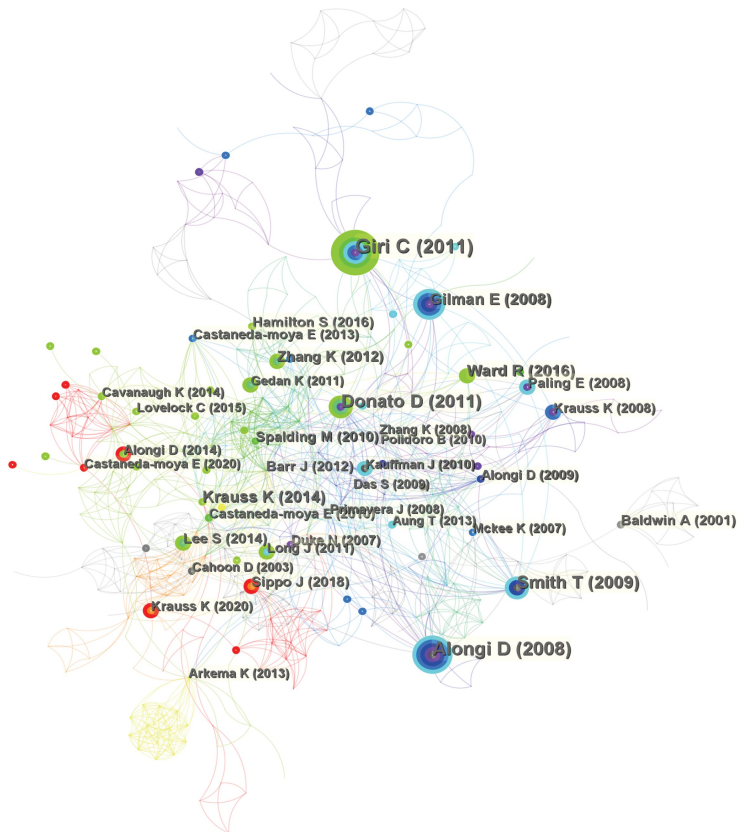


图 4 热带气旋与红树林高共被引文献的知识图谱

Fig.4 Map of frequently co-cited references in the field of effects of tropical cyclones on mangroves

节点大小与被引用频次成正比,不同的颜色代表不同的发表时间

2.5 关键词及其知识图谱

根据关键词聚类(图 5),热带气旋对红树林影响研究主题主要涉及气候变化、亮叶白骨壤(*Avicennia germinans*)、生态系统服务、甲烷、西南佛罗里达、海岸侵蚀、集群、分解、南美洲、Landsat 卫星、数值模拟,其中以气候变化的关注最多。从红树林物种上,以广布于南北美洲和非洲的亮叶白骨壤的研究最多,这与受到广泛关注的南美洲、西南佛罗里达研究区域相对应。在对红树林的影响方面,主要聚焦于红树林的生态系统服务、海岸侵蚀功能、集合种群等的研究。此外,包含 Landsat 数据的 Google Earth Engine 及基于先前观测数据的数值模拟成为该领域研究的重要工具。

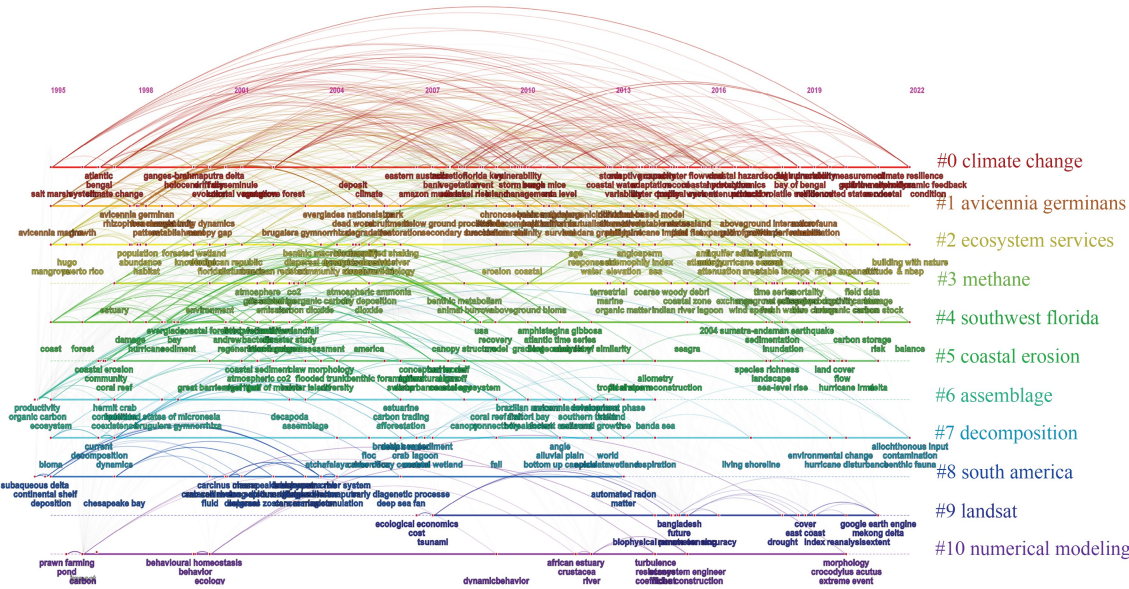


图 5 研究热点关键词时间线图

Fig.5 Timeline map of keywords of effects of tropical cyclones on mangroves

随着时间的推移,该领域研究的关键词也随之变化和丰富(图 6,表 1)。1995—1999 年期间,突现性的关键词主要为“生长”、“动力学”和“海湾”,频次和度中心较高的关键词包括有“生态系统”、“红树林”、“佛罗里达州”、“盐沼”、“海岸”、“生物标志”等,其关于热带气旋对红树林的影响方面主要聚焦于红树林的落叶、断枝以及区域内的红树林死亡率,红树林受灾的位置也得到了显著的关注^[16, 18]。2000—2009 年期间,突现性的关键词为“再生”、“海平面上升”、“模型”,“气候变化”、“生态学”、“扰动”、“再生”、“分散”、“珊瑚礁”等关键词为高频次和度中心,气候变化已成为该阶段研究的重要驱动背景,模型模拟也成为除传统调查外的重要研究手段。2010—2020 年期间,该阶段的关键词相较之前更为分散和细化,“保护”、“弹性”等成为这十年突显性的关键词,“管理”、“盐度”、“脆弱性”、“海平面”、“适应”、“响应”等关键词为高频次和度中心,红树林生态系统的保护和管理及其对于干扰(尤其是气候变化)的弹性和适应受到了关注。

3 讨论

在全球气候变化和人类活动剧增的背景下,关于热带气旋对红树林影响的研究的关注迅速增加,不同时期的研究关注度与全球遭热带气旋事件的影响及相关国际计划的发展密切相关。1995—2004 年间,该领域研究的发文量很少,主要集中于美国佛罗里达和澳大利亚部分地区强热带气旋的研究。而在 2005—2012 年间,全球对该领域研究的关注显著增加,期间 2005 年美国遭受卡特里娜飓风成为美国史上造成损失最严重的飓风^[30],同年联合国气候大会在 2005 年通过了双路线的“蒙特利尔路线图”并于同年 157 个缔约方启动了《京都议定书》^[31],由此,“气候变化”和“极端天气”逐渐受到学者的重点关注^[32],并于 2006 年由 15 家研究

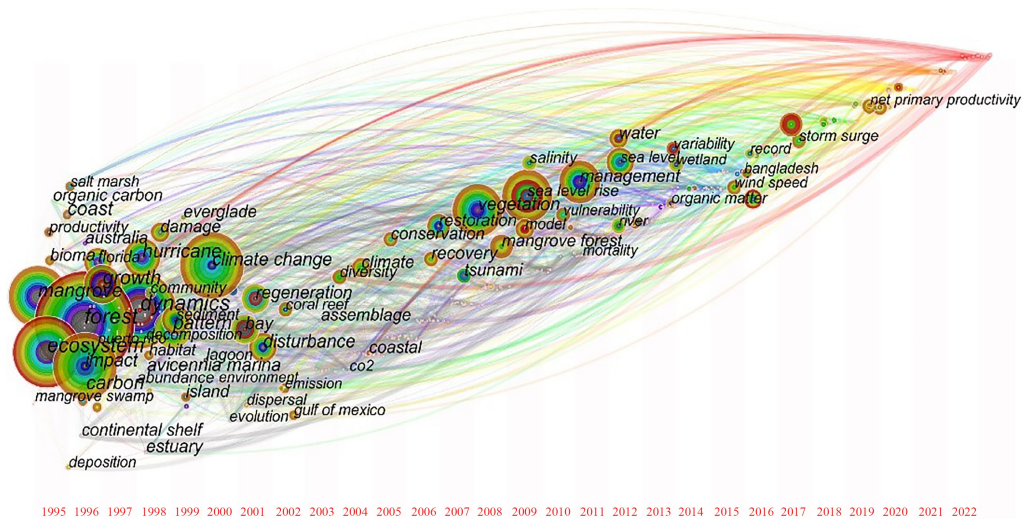


图 6 热带气旋对红树林影响研究的热点关键词时序图

Fig.6 Time zone map of keywords of research of effects of tropical cyclones on mangroves

节点大小和频次成正比；图谱颜色从蓝到橙代表时间的推移。大红色圈层表示节点具有突现性，即在相应时间段内频次变化率高，一定程度上代表研究方向的转变

研究机构联合发表了第一篇描述红树林在气候变化下的生存前景揭开了研究的序幕^[33]。2013 年至今,由于热带气旋作为最为直观的气候变化下的影响因素在世界各地强度和频率增加受到了最为广泛的关注,加上 2013 年之后 Landsat-8、Sentinel-2、GF-1 和 Google Earth Engineer 等遥感影像的应用与机器学习的兴起^[34—36],热带气旋对红树林影响的研究得到迅速蓬勃发展。

表 1 不同时期热带气旋对红树林影响研究的热点关键词

Table 1 Keywords of research of effects of tropical cyclones on mangroves among different periods

年份 Year	关键词 Keywords			
	突现性 Burst	频次和度中心 (Frequency and degree)		
1995—1999	生长 (3.86)	生态系统 (88,57)	红树林 (69,40)	佛罗里达州 (29,23)
	动力学 (4.01)	盐沼 (26,20)	海岸 (22,42)	生物标志 (18,27)
	海湾 (4.2)	有机碳 (14,26)	生产率 (13,23)	澳大利亚 (10,26)
		森林 (131,65)	影响 (89,37)	生长 (50,50)
		碳 (29,40)	风 (11,15)	动力学 (82,70)
		河口 (14,31)	社区 (14,22)	飓风 (45,41)
		模式 (44,43)	破坏 (25,29)	白骨壤 (18,39)
		栖息地 (13,21)	沉积物 (32,23)	海湾 (27,32)
		岛 (17,27)	潟湖 (10,21)	
2000—2009	再生 (4.03)	气候变化 (101,39)	生态学 (12,15)	扰动 (31,34)
	海平面上升 (3.38)	再生 (30,30)	分散 (10,20)	珊瑚礁 (19,17)
	模型 (3.39)	墨西哥湾 (12,19)	碳排放 (10,16)	气候 (27,28)
		海岸带 (21,28)	多样性 (15,13)	保护 (25,27)
		恢复 (29,34)	海啸 (20,26)	海平面上升 (66,22)
		植被 (54,34)	红树林森林 (31,26)	模型 (21,20)
2010—2020	水 (4.32)	管理 (44,30)	盐度 (17,22)	脆弱性 (17,16)
	变异性 (3.84)	海平面 (25,19)	水 (21,24)	河 (17,18)
	保护 (5.2)	响应 (14,13)	变异性 (22,18)	有机物 (15,17)
	恢复力 (4.74)	湿地 (15,16)	适应 (10,13)	风速 (21,16)
		热带气旋 (19,11)	记录 (10,13)	孟加拉国 (10—16)
		扩大 (11,15)	保护 (21,10)	风暴潮 (14,17)
		恢复力 (14,7)		

关于热带气旋对红树林影响的研究,美国、澳大利亚和印度等国家走在前列。美国、澳大利亚、印度拥有大面积的红树林分布,但也是热带气旋高发地区,主要位于美国佛罗里达及加勒比地区、澳大利亚北部和印度南部^[37-38],因此,这些区域受到的关注度更高。此外,在全球气候变化背景下,印度尼西亚、马来西亚、菲律宾等对全球变化敏感性较高的岛屿国家可能受到热带气旋的较大影响^[16, 39],这些国家红树林受热带气旋的影响将会受到愈来愈多的关注。

随着时间的推移,热带气旋对红树林影响的研究热点也不断变化。2000 年以前,该领域研究主要聚焦于以红树林植被等结构的干扰损害,2000 年后全球变化背景下热带气旋对红树林功能的影响及其弹性的影响成为关注的重点,而 2010 年以后逐渐增加了对预测模型、以及人为保护和管理的关注。总体而言,全球变化背景下热带气旋对红树林的影响、红树林对热带气旋干扰的弹性、基于遥感和大数据处理的模型模拟等主题是近年及未来一段时期内该领域研究重点。

(1) 热带气旋对红树林的影响逐渐从结构向功能发展。早期,热带气旋对红树林的影响研究主要关注对红树林植被的直接破坏^[40-41],如红树林枝叶掉落^[42]、树木倾倒^[43],引发红树林死亡的原因主要有风和风暴潮的物理破坏、积水和沉积物引发的窒息等^[12]。如今,已延伸至热带气旋对红树林海岸防护^[44]、固碳储碳^[45-46]、生物多样性^[47]等功能影响的研究,其中红树林生态系统对于固碳方面具有的巨大潜力^[16],热带气旋对红树林固碳储碳的影响将成为最为关注的生态功能之一,包括如短期内对沉积物中有机物积累的干扰^[48-49]、生物量下降而增加生物碳的排放^[50]、以及长时间尺度影响红树林区域的碳排放等^[45]。

(2) 热带气旋在全球气候变化背景下对红树林的影响日益受到研究人员的关注。全球气候变化与热带气旋之间的关系是当前气候学的研究热点。许多研究已表明,全球气候变化导致局部地区热带气旋的频率、强度及其气旋中心降雨量的增加^[12, 51-53],而气候变化带来的海平面上升以及土地利用等人类活动干扰可能增强热带气旋的风暴潮效应^[54],因此,在全球气候变化背景下,热带气旋对局部地区红树林的影响将可能扩大。在研究区域上,当前研究更多聚焦于美国的佛罗里达州,这些区域已经积累了长期的气旋数据和构建了完善的观测体系,依旧会是研究的热点。随着近些年红树林蓝碳^[54]以及印度尼西亚地区红树林减缓全球气候变化潜力的重视^[39],红树林植被丰富但对气候变化敏感的岛屿国家(印度尼西亚、马来西亚、菲律宾等)可能会受到愈来愈多的关注。

(3) 为了应对和减缓热带气旋对红树林的影响,红树林对热带气旋干扰的弹性始终是研究热点^[55]。许多研究已表明,尽管热带气旋会对红树林生态系统造成破坏性的影响,但红树林自身具有适应机制,通常能够承受周期性风暴的结构破坏并恢复^[56]。红树林对热带气旋干扰的弹性强度取决于受到干扰影响的程度^[57]、红树林的林分特征^[58]以及其他环境参数的相互作用^[18, 59]。例如,在热带气旋期间,植株高度较小的红树林由于热带气旋引起的增水保护而避免风暴潮的影响,并且它们的恢复也会相较于成熟红树林更快^[12, 60]。而红树林的状态也是直接影响红树林弹性的主要因素,人类活动频繁的红树林区域会导致红树林的恢复时间延长^[61]。目前,气旋干扰后的天然红树林恢复通常采用自然恢复,其取决于很多因素如存活的种子、盐度、土壤类型^[62]。恢复期间的种间竞争是构建森林的关键因素,会导致红树林恢复到之前状态的时间和物种丰富度产生差异^[16]。人工红树林在气旋中的破坏更为严重,而恢复能力较为薄弱,因此重新补植优势树种是重要的恢复措施^[63]。

(4) 近年来,“遥感”和“模型”已成为该领域研究的高频关键词,与之相关的大时空尺度的热带气旋对红树林影响及其风险的空间量化成为研究的热点。遥感和模型的分析可以对于了解热带气旋-红树林的时空趋势具有积极的意义,避免了复杂的现场环境实现了规模的实地研究。在遥感数据方面,主要包括有星载 Landsat、MODIS 卫星数据和无人机载雷达数据^[57, 64],这些可用于提取热带气旋发生前后的 NDVI、NPV 等数据^[65-66],以监测大空间尺度和长时间序列的红树林受灾及其恢复过程^[67-68]。此外,地面观测网络为研究也提供了长时间序列的数据,如佛罗里达的沉积物观测站记载了每次热带气旋增加的高程以预测红树林面对海平面上升的适应性^[69]。在模型方面,机器学习模型得到初步的应用。由于卫星收集的数据很好服从正态分

布,尤其是多数据模型中^[70]。机器学习模型提高了数据的准确性和结果的丢失^[71-72],且基于观测数据的模型可以促进定量方法的发展了解红树林对沿海灾害脆弱性的阈值^[73],从而干扰促进全球红树林的恢复和保护。也正是因为观测技术和处理手段的多样化^[74],才能不断丰富热带气旋对红树林影响方方面面的研究,实现从直观破坏到生态服务、区域到全球的研究,为红树林自然恢复和人工恢复提供普适性的科学依据。

4 结论与展望

本文利用 CiteSpace 从发文量、研究国家与机构、学科领域、共被引文献和作者、关键词等方面对热带气旋对红树林影响研究发文进行了定量及可视化研究,全面梳理了该领域的趋势和力量,揭示了未来该领域研究的热点。1995—2021 年间,热带气旋对红树林影响的研究受到了越来越多的学者关注,研究力量以美国、澳大利亚、印度等国家及其机构为主导,美国佛罗里达及加勒比地区、澳大利亚北部和印度南部等是当前研究的热点区域,全球气候变化、生态功能、弹性、模型等已逐渐成为该领域研究的热点主题,未来研究应重点关注:

(1) 量化热带气旋对红树林生态服务功能的影响。当前热带气旋对红树林植被的损害率及其死亡已较为明确,但是对其生态功能的影响尚存在严重空缺,而在我国乃至全球日益加强应对气候变化、保护生物多样性、推进生态修复等背景下,量化热带气旋对于红树林生态功能和服务的影响研究将得到更多的关注,以科学指导和支撑国际和我国关于应对气候变化、实施生态保护修复等行动计划实施。

(2) 热带气旋与海平面上升的关系及其对红树林的影响。在全球气候变化的驱动下,热带气旋和海平面上升作为其对红树林影响的关键因素,当前研究表明气旋可以提供沉积物增加红树林区域的高程,从而削减红树林由海向内陆后退的趋势,但是两者之间的相对作用仍不明确,因此,阐明和认识热带气旋和海平面上升的关系及其对红树林的协同作用影响将会成为该领域研究的重点之一。

(3) 构建完善的监测体系和数据库。依托遥感技术和地面观测网络构建动态气旋灾害风险观测平台,长时间大尺度地了解热带气旋发生过程及红树林生态系统的变化状况,并运用环境大数据、地理信息技术、机器学习等工具构建相关的模型,将成为未来预测热带气旋对红树林影响及其应对其风险的主流工具。

参考文献 (References):

- [1] Sandilyan S. Mangrove-the evergreen emerald forest. *Eco News*, 2007, 13(1): 21.
- [2] Farley J, Costanza R. Payments for ecosystem services: from local to global. *Ecological Economics*, 2010, 69(11): 2060-2068.
- [3] Sandilyan S, Thiagesan K, Nagarajan R, Vencatesan J. Salinity rise in Indian mangroves - A looming danger for coastal biodiversity. *Current Science*, 2010, 98(6): 754-756.
- [4] Cahoon D, Hensel P. Hurricane Mitch: a regional perspective on mangrove damage, recovery, and sustainability. US Department of the Interior, US Geological Survey, 2002.
- [5] Kathiresan K. Coastal mangrove forests mitigated tsunamis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 65(3): 601-606.
- [6] Kerr A M, Baird A H. Natural barriers to natural disasters. *BioScience*, 2007, 57(2): 102-103.
- [7] Sandilyan S. Habitat quality and waterbird utilization pattern of Pichavaram wetlands southern India. 2009, 118(1): 62.
- [8] 林鹏. 关注红树林. *人与生物圈*, 2001(3): 3.
- [9] Sippo J Z, Lovelock C E, Santos I R, Sanders C J, Maher D T. Mangrove mortality in a changing climate: an overview. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2018, 215: 241-249.
- [10] Assessment M E. Ecosystems and human well-being: wetlands and water. World Resources Institute, 2005.
- [11] Webster P J, Holland G J, Curry J A, Chang H R. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 2005, 309(5742): 1844-1846.
- [12] Krauss K W, Osland M J. Tropical cyclones and the organization of mangrove forests: a review. *Annals of Botany*, 2020, 125(2): 213-234.
- [13] Villamayor B M R, Rollon R N, Samson M S, Albano G M G, Primavera J H. Impact of Haiyan on Philippine mangroves: implications to the fate of the widespread monospecific *Rhizophora* plantations against strong typhoon. *Ocean & Coastal Management*, 2016, 132: 1-14.
- [14] Bai J K, Meng Y C, Gou R K, Lyu J C, Dai Z, Diao X P, Zhang H S, Luo Y Q, Zhu X S, Lin G H. Mangrove diversity enhances plant biomass production and carbon storage in Hainan Island, China. *Functional Ecology*, 2021, 35(3): 774-786.

- [15] Gomes L E O, Sanders C J, Nobrega G N, Vescovi L C, Queiroz H M, Kauffman J B, Ferreira T O, Bernardino A F. Ecosystem carbon losses following a climate-induced mangrove mortality in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 2021, 297: 381-387.
- [16] Alongi D M. The impact of climate change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports*, 2015, 1(1): 30-39.
- [17] Alongi D M. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 76(1): 1-13.
- [18] Ward R D, Friess D A, Day R H, MacKenzie R A. Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2016, 2(4): e01211.
- [19] Rasquinha D N, Mishra D R. Tropical cyclones shape mangrove productivity gradients in the Indian subcontinent. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 1-12.
- [20] Garfield E, Paris S W, Stock W G. HistCite™: a software tool for informetric analysis of citation linkage. *Information Wissenschaft und Praxis*, 2006, 57(8): 391.
- [21] Agrawal A. Using RefViz with EndNote. EndNote 1 - 2 - 3 Easy!. Boston, MA: Springer US, 2009: 263-275.
- [22] 刘启元, 叶鹰. 文献题录信息挖掘技术方法及其软件 SATI 的实现——以中外图书情报学为例. *信息资源管理学报*, 2012, 2(1): 50-58.
- [23] Chen C M. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2006, 57(3): 359-377.
- [24] 侯剑华, 胡志刚. CiteSpace 软件应用研究的回顾与展望. *现代情报*, 2013, 33(4): 99-103.
- [25] 王武林, 龚姣, 王成金. 基于 CiteSpace 的北极航线研究进展与展望. *资源科学*, 2020, 42(11): 2075-2091.
- [26] Giri C. Observation and monitoring of mangrove forests using remote sensing: opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 2016, 8(9): 783.
- [27] Hamilton S E, Casey D. Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*, 2016, 25(6): 729-738.
- [28] Smith T J, Anderson G H, Balentine K, Tiling G, Ward G A, Whelan K R T. Cumulative impacts of hurricanes on *Florida* mangrove ecosystems: sediment deposition, storm surges and vegetation. *Wetlands*, 2009, 29(1): 24-34.
- [29] Krauss K W, Lovelock C E, McKee K L, López-Hoffman L, Ewe S M L, Sousa W P. Environmental drivers in mangrove establishment and early development: a review. *Aquatic Botany*, 2008, 89(2): 105-127.
- [30] Cutter S L, Emrich C T, Mitchell J T, Boruff B J, Gall M, Schmidtlein M C, Burton C G, Melton G. The long road home: race, class, and recovery from hurricane katrina. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 2006, 48(2): 8-20.
- [31] Copeland B R, Taylor M S. Free trade and global warming: a trade theory view of the Kyoto protocol. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2005, 49(2): 205-234.
- [32] Santilli M, Moutinho P, Schwartzman S, Nepstad D, Curran L, Nobre C. Tropical deforestation and the Kyoto protocol. *Climatic Change*, 2005, 71(3): 267-276.
- [33] Gilman E L, Ellison J, Jungblut V, van Lavieren H, Wilson L, Areki F, Brighthouse G, Bungitak J, Dus E, Henry M, Kilman M, Matthews E, Sauni I J, Teariki-Ruatu N, Tukia S, Yuknavage K. Adapting to Pacific Island mangrove responses to sea level rise and climate change. *Climate Research*, 2006, 32: 161-176.
- [34] Pham L T, Brabyn L. Monitoring mangrove biomass change in Vietnam using SPOT images and an object-based approach combined with machine learning algorithms. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, 128: 86-97.
- [35] Tieng T, Sharma S, MacKenzie R A, Venkattappa M, Sasaki N K, Collin A. Mapping mangrove forest cover using Landsat-8 imagery, Sentinel-2, Very High Resolution Images and Google Earth Engine algorithm for entire Cambodia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 266(1): 012010.
- [36] He Y, Zhang T, You S C, Luo Z Y, Zhang X, Zhang R. Remote sensing monitoring of mangrove variation in Jiulong River Estuary of Fujian from 1978 to 2018. *IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. September 26 - October 2, 2020, Waikoloa, HI, USA. IEEE, 2021: 6654-6657.
- [37] Klotzbach P J. Trends in global tropical cyclone activity over the past twenty years (1986-2005). *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(10): 881-885.
- [38] Klotzbach P J, Wood K M, Schreck C J III, Bowen S G, Patricola C M, Bell M M. Trends in global tropical cyclone activity: 1990-2021. *Geophysical Research Letters*, 2022, 49(6): 774-785.
- [39] Murdiyarso D, Purbopuspito J, Kauffman J B, Warren M W, Sasmito S D, Donato D C, Manuri S, Krisnawati H, Taberima S, Kurnianto S. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 2015, 5(12): 1089-1092.
- [40] Craighead F C, Gilbert V C. The effects of hurricane donna on the vegetation of southern Florida. *Quarterly Journal of the Florida Academy of Sciences*, 1962, 25(1): 1-28.

- [41] Halder N K, Merchant A, Misbahuzzaman K, Wagner S, Mukul S A. Why some trees are more vulnerable during catastrophic cyclone events in the Sundarbans mangrove forest of Bangladesh? *Forest Ecology and Management*, 2021, 490: 119117.
- [42] Smith Iii T J, Duke N C. Physical determinants of inter-estuary variation in mangrove species richness around the tropical coastline of Australia. *Journal of Biogeography*, 1987, 14(1): 9-19.
- [43] Aung T T, Mochida Y, Than M M. Prediction of recovery pathways of cyclone-disturbed mangroves in the mega delta of Myanmar. *Forest Ecology and Management*, 2013, 293: 103-113.
- [44] Marois D E, Mitsch W J. Coastal protection from tsunamis and cyclones provided by mangrove wetlands - a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 2015, 11(1): 71-83.
- [45] Simard M, Fatoyinbo L, Smetanka C, Rivera-Monroy V H, Castañeda-Moya E, Thomas N, van der Stocken T. Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nature Geoscience*, 2019, 12(1): 40-45.
- [46] Lovelock C E, Barbier E, Duarte C M. Tackling the mangrove restoration challenge. *PLoS Biology*, 2022, 20(10): e3001836.
- [47] Baldwin A, Egnotovich M, Ford M, Platt W. Regeneration in fringe mangrove forests damaged by Hurricane Andrew. *Plant Ecology*, 2001, 157(2): 151-164.
- [48] Ouyang X, Guo F, Lee S Y. The impact of super-typhoon Mangkhut on sediment nutrient density and fluxes in a mangrove forest in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 2021, 766(2): 637-648.
- [49] Zhao X C, Rivera-Monroy V H, Farfán L M, Briceño H, Castañeda-Moya E, Travieso R, Gaiser E E. Tropical cyclones cumulatively control regional carbon fluxes in Everglades mangrove wetlands (Florida, USA). *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 1-17.
- [50] Cameron C, Kennedy B, Tuiwawa S, Goldwater N, Soapi K, Lovelock C E. High variance in community structure and ecosystem carbon stocks of Fijian mangroves driven by differences in geomorphology and climate. *Environmental Research*, 2021, 192: 110213.
- [51] Knutson T R, McBride J L, Chan J, Emanuel K, Holland G, Landsea C, Held I, Kossin J P, Srivastava A K, Sugi M. Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience*, 2010, 3(3): 157-163.
- [52] Mendelsohn R, Emanuel K, Chonabayashi S, Bakkensen L. The impact of climate change on global tropical cyclone damage. *Nature Climate Change*, 2012, 2(3): 205-209.
- [53] Friess D A, Adame M F, Adams J B, Lovelock C E. Mangrove forests under climate change in a 2°C world. *WIREs Climate Change*, 2022, 13(4): 792-817.
- [54] Van der Stocken T, Carroll D, Menemenlis D, Simard M, Koedam N. Global-scale dispersal and connectivity in mangroves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, 116(3): 915-922.
- [55] Hagger V, Worthington T A, Lovelock C E, Adame M F, Amano T, Brown B M, Friess D A, Landis E, Mumby P J, Morrison T H, O'Brien K R, Wilson K A, Zganjar C, Saunders M I. Drivers of global mangrove loss and gain in social-ecological systems. *Nature Communications*, 2022, 13(1): 6373.
- [56] Buitre M, Zhang H S, Lin H. The mangrove forests change and impacts from tropical cyclones in the Philippines using time series satellite imagery. *Remote Sensing*, 2019, 11(6): 688.
- [57] Mandal M S H, Hosaka T. Assessing cyclone disturbances (1988 - 2016) in the Sundarbans mangrove forests using Landsat and Google Earth Engine. *Natural Hazards*, 2020, 102(1): 133-150.
- [58] Peereman J, Hogan J A, Lin T C, Michaletz S. Disturbance frequency, intensity and forest structure modulate cyclone-induced changes in mangrove forest canopy cover. *Global Ecology and Biogeography*, 2022, 31(1): 37-50.
- [59] Asbridge E, Lucas R, Rogers K, Accad A. The extent of mangrove change and potential for recovery following severe Tropical Cyclone Yasi, Hinchinbrook Island, Queensland, Australia. *Ecology and Evolution*, 2018, 8(21): 10416-10434.
- [60] Lagomasino D, Fatoyinbo T, Castañeda-Moya E, Cook B D, Montesano P M, Neigh C S R, Corp L A, Ott L E, Chavez S, Morton D C. Storm surge and ponding explain mangrove dieback in southwest Florida following Hurricane Irma. *Nature Communications*, 2021, 12(1): 4003.
- [61] Walcker R, Laplanche C, Herteman M, Lambs L, Fromard F. Damages caused by hurricane Irma in the human-degraded mangroves of Saint Martin (Caribbean). *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 18971.
- [62] Chazdon R L. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2003, 6(1/2): 51-71.
- [63] Primavera J H, Dela Cruz M, Montilijao C, Consunji H, Dela Paz M, Rollon R N, Maranan K, Samson M S, Blanco A. Preliminary assessment of post-Haiyan mangrove damage and short-term recovery in Eastern Samar, central Philippines. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, 109(2): 744-750.
- [64] Dutta D, Das P K, Paul S, Sharma J R, Dadhwal V K. Assessment of ecological disturbance in the mangrove forest of Sundarbans caused by cyclones using MODIS time-series data (2001 - 2011). *Natural Hazards*, 2015, 79(2): 775-790.
- [65] Zeng Y, Friess D A, Sarira T V, Siman K, Koh L P. Global potential and limits of mangrove blue carbon for climate change mitigation. *Current*

- Biology, 2021, 31(8): 1737-1743.e3.
- [66] Mishra M, Kar D, Debnath M, Sahu N, Goswami S. Rapid eco-physical impact assessment of tropical cyclones using geospatial technology: a case from severe cyclonic storms Amphan. *Natural Hazards*, 2022, 110(3): 2381-2395.
- [67] Taillie P J, Roman-Cuesta R, Lagomasino D, Cifuentes-Jara M, Fatoyinbo T, Ott L E, Poulter B. Widespread mangrove damage resulting from the 2017 Atlantic mega hurricane season. *Environmental Research Letters*, 2020, 15(6): 064010.
- [68] Singha C, Swain K C. Quantifying changes in sundarbans mangrove forest through GEE cloud computing approach. *Algorithms for Intelligent Systems*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022: 113-129.
- [69] Feher L C, Osland M J, Anderson G H, Vervaeke W C, Krauss K W, Whelan K R T, Balentine K M, Tiling-Range G, Smith T J, Cahoon D R. The long-term effects of hurricanes wilma and irma on soil elevation change in Everglades mangrove forests. *Ecosystems*, 2020, 23(5): 917-931.
- [70] Belgiu M. Random forest in remote sensing: a review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016, 114: 24-31.
- [71] Breiman L. Random forests. *Machine Learning*, 2001, 45(1): 5-32.
- [72] Xu Z, Zhu G, Metawa N, Zhou Q. Machine learning based customer meta-combination brand equity analysis for marketing behavior evaluation. *Information Processing & Management*, 2022, 59(1): 102800.
- [73] Zhang C, Durgan S D, Lagomasino D. Modeling risk of mangroves to tropical cyclones: a case study of Hurricane Irma. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2019, 224: 108-116.
- [74] Ghosh S, Proisy C, Muthusankar G, Hassenrück C, Helfer V, Mathevet R, Andrieu J, Balachandran N, Narendran R. Multiscale diagnosis of mangrove status in data-poor context using very high spatial resolution satellite images: a case study in pichavaram mangrove forest, Tamil Nadu, India. *Remote Sensing*, 2022, 14(10): 2317.