

粤港澳大湾区红树林湿地面临的生态问题与保护对策

于凌云¹ 林绅辉² 焦学尧² 沈小雪¹ 李瑞利^{1,†}

1. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 深圳 518055; 2. 中交天航南方交通建设有限公司, 深圳 518000; † 通信作者, E-mail: liruli@pkusz.edu.cn

摘要 总结三大湾区——旧金山湾区、纽约湾区和东京湾区及其他典型湾区红树林湿地生态保护与修复在技术、政策和监管等方面的经验, 归纳粤港澳大湾区典型红树林群落存在的生态环境问题与湿地生态系统健康评价现状, 针对粤港澳大湾区各种污染物对红树林湿地的污染情况, 并结合大湾区未来发展规划, 对其红树林湿地保护提出几点建议: 1) 恢复、重建红树林; 2) 处理好城市建设与生态保护的矛盾; 3) 加强管理、宣传和科普教育; 4) 加强科学、科技研究以及科学保护; 5) 建立红树林湿地自然保护区, 加强大湾区联动合作。
关键词 粤港澳大湾区; 红树林; 生态问题; 生态保护措施

Ecological Problems and Protection Countermeasures of Mangrove Wetland in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

YU Lingyun¹, LIN Shenhui², JIAO Xueyao², SHEN Xiaoxue¹, LI Ruili^{1,†}

1. School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055; 2. CCCC TDC Southern Communications Construction Co. Ltd, Shenzhen 518000; † Corresponding authors, E-mail: liruli@pkusz.edu.cn

Abstract This paper summarized the experience of the technical, policy and regulatory of the San Francisco Bay Area, New York Bay Area, Tokyo Bay Area and other typical bay areas, induced the ecological environment problems and wetland ecosystem health assessment of the typical mangrove communities in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, and summarized the situation of various pollutants in mangrove wetlands in the Greater Bay Area. Combining the actual situation and future development of the Greater Bay Area, some suggestions for the protection of mangrove wetlands in Greater Bay Area are proposed: 1) mangrove recovery and reconstruction; 2) handling the contradiction between urban construction and ecological protection; 3) strengthening management, publicity and popular science education; 4) further scientific research and protection scientifically; 5) establishing more mangrove wetland nature reserves and strengthening the joint cooperation of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area.

Key words Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; mangrove; ecological problem; ecological protection measure

粤港澳大湾区包含广东省的广州、深圳、珠海、佛山、中山、东莞、肇庆、江门和惠州9个城市以及港、澳特别行政区, 面积为5.6万km², 覆盖人口6600万。粤港澳大湾区发展迅速, 以期建设成为经济充满活力、生活宜居便利、粤港澳三地深度

合作的示范区, 成为世界一流的湾区和世界级的城市群^[1]。

湿地是世界上受威胁最大的生态系统之一, 在气候变化、生物多样性、水文和人类健康等方面有重要的作用^[2], 因此有“天然碳库”、“天然水库”、

广东省海洋科技攻关项目(广东省典型海湾红树林生态调查与生态保护模式研究)、深圳市科创委项目(KQJSCX20160226110414, JCYJ20160330095549229)和深圳市红树林基围鱼塘修复专项(CGJ20140516)资助

收稿日期: 2018-07-31; 修回日期: 2018-08-26

“天然物种库”和“地球之肾”等称号^[3]。近几个世纪,湿地受到来自海平面上升、气候变化、人类对自然资源的需求、环境压力的累积效应以及人为不合理开发等的严重压力,退化速度不断增加^[4-5]。

近几十年来,随着沿海人口的增加和城市的扩展,粤港澳大湾区的湿地生态环境受到不同程度的损害。由于城市建设的需要,大面积的湿地被占用或填埋。此外,工业废水和居民城市污水直接排入城市边缘湿地中,使城市生态环境受到严重破坏,严重地影响了当地的水文气候,环境恢复工作面临新的挑战,中国城市湿地的保护工作迫在眉睫^[6-7]。

红树林生长在亚热带及热带的海岸潮间带,具有重要的生态服务功能和生态特性,在保障沿海生态安全和生物多样性保护等方面有着举足轻重的地位,是粤港澳大湾区湿地生态重要的组成部分^[8]。自20世纪50年代以来,中国红树林减少50%以上。尽管随着保护意识的提高以及保护政策的有效实施,近来部分地区红树林生态状况得到恢复,但中国红树林湿地的保护和修复工作仍刻不容缓^[9-10]。

兼顾经济与环境的协调发展,如何对湿地生态系统进行合理有效的保护,成为全球广泛关注的问题^[11-13]。目前,已有学者从不同行政区划的尺度对我国红树林湿地存在的生态问题进行描述与分析,并提出建议^[14-16]。随着粤港澳大湾区的经济发展,大湾区内红树林湿地生态系统的健康发展将面临很大的考验,需要根据大湾区的特点,对当地红树林生态系统进行梳理,对当地红树林群落存在的不同问题提出具有针对性的对策。

本文总结国内外典型湾区保护经验,综述粤港澳大湾区各典型红树林群落分别存在的生态环境问题,归纳大湾区红树林湿地生态风险评价以及湿地生态系统健康评价现状,针对粤港澳大湾区目前以及将来可能出现的问题提出几点建议,为粤港澳大湾区的生态环境建设和湿地保护提供参考。

1 国内外典型湾区湿地生态保护的启示

根据不同的恢复目标和恢复方法,国内外各大湾区在湿地保护方面做过多方面的尝试,在世界范围内开展大量的恢复项目。在20世纪80年代后期,美国提出“no net loss”的湿地监管政策,通过湿地保护、湿地管理、构建新的湿地以及教育科研等方法,保证湿地总面积不再减少^[17]。中美洲的墨西哥和危地马拉等国也明确立法禁止红树林的砍伐以及

土地利用方式的改变,并通过国际公约的协定,合作促进湿地资源的管理与应用^[18]。湄公河三角洲的一些地区将红树林按面积分配给个人和家庭,以此应对红树林的衰退^[19]。中国自20世纪90年代以来也开展超过200个的湿地修复项目,在湿地保护上的投入超过207亿美元^[20]。

国外最有代表性的湾区为旧金山湾区、纽约湾区和东京湾区,这三大湾区虽然不适合红树林的种植,但同样作为经济发展迅速的湾区,其湿地修复的思路与政策有值得借鉴的地方。近年来,旧金山湾湿地受到围垦等的影响,沿海湿地仅占10%左右^[21]。为了恢复旧金山湾沿海湿地的生态功能,该地区人为补给沉积物,修复下沉和侵蚀海岸带,建造人工生态岛,并使用新型除草剂(灭草烟)成功地清除入侵的互花米草,人工种植本地植物,确保清除效果^[22]。拆除部分水利设施,为鲑鱼的洄游和水鸟的栖息提供便利。同时,通过构建湿地保护联盟等措施,技术和法律措施双管齐下,取得很大的成效^[23]。纽约湾区的弗莱士河公园原来是一片垃圾填埋场,科研团队采用催化轮栽技术来培育有复原力的景观,同时对原有的固体垃圾堆进行覆盖分层,对表层土进行改造并定期翻新,以便消除入侵物种,确保生物多样性^[24]。同时,在法律保障方面,纽约市通过联邦、州、地区三级立法,组成一个完整的湿地保护法律体系,还实行严格的湿地补偿政策以及多样化的资金来源保障,保证湿地总量净增长^[25]。日本将湿地的保护与旅游观光紧密结合,并已有针对湿地保护相关的法律^[26]。日本通过人工种植森林等方法,对琵琶湖生态环境进行治理,同时保护琵琶湖周围的芦苇,确保湿地动植物安定的生息生育和种群延续必要的空间,有效地改善了琵琶湖的水质及其周边湿地的生态环境^[27-28]。可见,三大湾区成功的湿地修复离不开对湿地生态的高度重视、因地制宜的修复方法、先进的修复技术以及当地政府部门的大力支持。

与地处温带的旧金山、纽约和东京三大湾区相比,亚热带及热带的红树林湿地生态系统是特有的生态系统,红树林受到威胁,会同时带来海岸侵蚀、栖息地破坏等生态问题。许多国家尝试了多种不同的红树林生态修复方法来保护其生态环境。例如,马来西亚半岛西海岸退化红树林的生态修复是用竖立的防波堤减少海浪对幼苗的冲击,选择白骨壤育苗并移栽到湿地中,取得阶段性的成果^[29]。在

墨西哥湾,红树林的修复是通过评估选用疏浚水道等水文恢复手段,同时以社区为基础,推动公众参与,取得显著的成效^[30]。印度尼西亚勿里碧县的红树林生态修复,由于在育苗和移栽过程中的不合理操作以及防浪堤的不合理建设等原因,没有取得预期的效果^[31]。因此,在红树林生态系统修复中,要以科学为基础,进行整体性规划^[32],对当地居民的意愿^[33]、生态修复方式的经济效益^[34]等方面进行详尽的分析,综合形成一套合理的生态修复方案。

在粤港澳大湾区,香港米埔红树林的保护工作起步较早,并根据《拉姆萨尔公约》,被列为国际重要湿地。经过几十年的探索和发展,香港米埔红树林自然保护区在湿地保护、教育科普和发展旅游业等方面取得长足的进步。香港湿地保护的一大特点是基围鱼塘的建设和保护,基围鱼塘占米埔自然保护区面积的67%^[35],整齐排列的鱼塘为湿地周围的鸟类提供食物的来源。保护区为了维持基围鱼塘的生物多样性,定期清理淤泥堵塞的基围,控制基围上乔木的高度和数量,保留传统景观和鸟类的栖息地,控制芦苇的面积和基围的水位。同时,采用自然恢复的方法控制湿地内植物的病虫害,降低人为干扰,定期砍伐外来树种海桑和无瓣海桑,以免影响本土植物的生长,这些措施大大改善米埔保护区的生态环境^[36]。

2 粤港澳大湾区红树林面临的主要问题

粤港澳大湾区的红树林分布广泛,香港、澳门以及广东省的深圳市、珠海市、广州市、惠州市、江门市和中山市均有红树林分布,各级政府设立多个自然保护区(表1),保护和恢复红树林。目前,粤港澳大湾区红树林区普遍存在围垦填海、过度猎捕、不合理的工业开发现象,严重地破坏了大湾区

红树林的生态环境,流域内水污染严重的问题也威胁着大湾区红树林的健康生长。此外,由于自然气候变化和人为干扰等因素影响,粤港澳大湾区不同地区的红树林面临着不同的问题,需要及时解决。

2.1 深圳红树林

福田红树林 作为我国最早的经济特区之一,深圳市在经济快速发展的同时,由于受到填海造陆和污染等的影响,沿海湿地资源状况日益恶化。据统计,福田红树林的现有面积仅为30年前的1/2^[37]。福田红树林的生态环境较为脆弱,存在多方面的生态问题^[38-39],其中水污染、外来物种入侵和病虫害是其生态压力最大的3个方面^[40]。福田红树林湿地水环境污染情况较为严重,水质指标大部分都高于V类水质标准。由于快速城市化和工业化的影响,深圳湾流域重金属污染十分严重^[41]。工业污水、生活污水和海上固体废弃物等大量排入福田红树林,对湿地生物多样性造成严重危害。沙井、福永、西乡和福田红树林区水体出现富营养化趋势,其中无机氮含量较高,已经超过IV类海水水质标准。引进的外来物种海桑和无瓣海桑生长速度较快,已经威胁到福田红树林原生树种的生境^[42]。同时,自1990年后,福田红树林的虫害问题愈发突出,秋茄、桐花和白骨壤的生长都受到一定程度的影响,尤其是白骨壤的正常繁衍和生长受到严重威胁^[43]。此外,福田红树林还存在滨海河口河道硬化、基围鱼塘功能退化以及栖息地生物多样性降低等亟待解决的问题。

大鹏新区红树林 大鹏新区内的红树林主要分布在南澳的东涌、鹿咀和葵涌的坝光等地^[44],主要树种有桐花、白骨壤、老鼠簕和海漆等。龙岗坝典型的银叶树群落已被列为“国家珍稀植物群落保护小区”的重点保护对象。随着深圳的城市化快速

表1 粤港澳大湾区主要红树林保护区
Table 1 Mangrove nature reserve in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

保护区	级别	成立年份	面积/hm ²	主要树种
香港米埔红树林鸟类自然保护区	拉姆萨尔国际湿地公约	1975	380	秋茄、桐花树和白骨壤
广东深圳内伶仃岛-福田自然保护区	国家级	1984	367	秋茄、桐花树和白骨壤
广东珠海淇澳-担杆岛自然保护区	省级	1989	7373	秋茄、桐花树和老鼠簕
广东惠州市惠东红树林自然保护区	市级	2000	533	秋茄、木榄、白骨壤和老鼠簕
路氹城生态保护区	澳门	2003	55	秋茄、桐花树和老鼠簕
广东恩平市镇海湾红树林自然保护区	市级	2005	700	秋茄、桐花、白骨壤和无瓣海桑
深圳大鹏半岛自然保护区	市级	2010	14622	秋茄、桐花树和白骨壤

发展,适合种植红树林的滩涂多被列入填海造陆规划中,或被围填造塘、建工厂或道路,使得宜林地面积大大减少,如果不采取措施保护,很可能消失^[44]。另一方面,随着旅游业的蓬勃发展,大量建筑的兴建和旅游业开发带来的人为活动干扰也对该地区红树林的生态环境造成巨大的威胁^[45]。2016年有报道坝光的一百余株银叶树未经许可被擅自砍伐,造成很大的损失,因此,需要对红树林的管理更加重视。

西乡-沙井红树林 由于城市化和工业的发展,该地区大量红树林湿地被填埋和围垦,目前天然红树林只剩下约10hm²。作为西部工业区的一部分,计算机、通信工程等产业带来的陆源污染对该地区红树林生态系统造成潜在的威胁^[45]。通过该地区的广深沿江高速带来烟尘和尾气污染。将要修建的深中大桥也可能对大桥周边的红树林湿地生态造成一定的威胁:一方面,桥梁在建设和运营过程中会占用一定的土地和滩涂,破坏生物(尤其是鸟类)的栖息地;另一方面,桥梁运营过程中的噪音污染和光污染也不可忽视^[46]。

大铲湾红树林 从20世纪80年代起,填海造陆使得该地区红树林湿地与鱼塘受到严重破坏,适合种植红树林的宜林滩涂多被列入填海造陆规划之中,或被围填造塘、大建工厂和道路,使得宜林地大面积减少^[44],当地红树林面临消失的风险。

2.2 珠海红树林

淇澳岛红树林湿地自然保护区坐落在广东省珠海市淇澳岛的西北部,是中国人工修复面积最大的红树林,也是为数不多的生长在市中心的红树林之一^[47]。平衡本地天然红树物种、其他本地物种和外来引进物种的关系,是珠海淇澳岛红树林面临的一大挑战。由于互花米草的入侵,淇澳岛红树林外围的大片红树林滩涂被占据,天然林难以向外扩散,甚至退化^[48]。薇甘菊的入侵严重地影响淇澳岛红树林的生态环境,导致保护区湿地的物种多样性不断减少,可持续发展情况堪忧^[49]。大量引进的外来红树物种海桑和无瓣海桑使得该地种群结构较为单一,生物多样性较低且较脆弱^[50]。人工林品种海桑与无瓣海桑虽然可以抑制互花米草的生长^[51],但也是潜在的侵入性红树林物种^[52],对当地天然树种有很大的入侵威胁。

2.3 香港红树林

香港红树林保护行为开展较早,保护措施较完

善,但生态环境仍面临一些问题。生态环境最脆弱的是新界西北部湾的红树林群落^[53];香港米埔红树林中沉积物的污染较严重,沉积物农药含量很高(包括一些在香港已被禁止的农药,因此污染源有可能来自大陆)^[53]。同时,珠江下游每年接收200万吨不同类型的废物和废水,生活、工业和农业废物的严重污染一直是影响米埔湿地系统可持续发展的主要因素。此外,不合理的农业/水产养殖活动的扩展和乡村房屋的构建也对香港红树林生态环境造成一定的影响^[54]。

2.4 澳门红树林

目前对澳门红树林的研究相对较少。澳门红树林面积较小,且区系成分较贫乏,主要分布在凼仔跑马场外侧。卫星数据显示,1990年澳门共有23hm²红树林,2000年这些红树林几乎全部消失。随着不断的修复,2015年共有红树林7公顷,但整体上依然呈减少的趋势^[11]。外来种无瓣海桑的入侵影响澳门红树林无瓣海桑在群落中的优势地位。入侵物种五爪金龙、薇甘菊等也对当地老鼠簕造成很大的威胁^[11]。由于生态环境的退化,澳门红树林鸟类也面临较大的威胁^[55]。

2.5 其他地区的红树林

广州南沙红树林主要存在缺乏统一化管理、开发利用不合理和红树林生境恶化等问题,另外,工业废水和生活污水的大量排放以及大量使用农药、化肥导致的面源污染等对南沙红树林湿地生态也造成极大的损害^[56]。惠州红树林保护区多为生长状况良好的白骨壤和无瓣海桑,具有明显的群落结构、丰富的物种多样性和良好的一致性^[57]。惠州惠东县的榄李主要分布在荒废盐池或灌渠,盐池底部大多为坚硬的混凝土,营养缺乏且长期渍水,严重影响红树植物的生长发育和扩散定居,降低物质输入的频率,同时因为缺乏天然潮间带的周期性干湿交替和物质交换,导致榄李立地条件相对较差^[58]。由于大型建设、过度捕捞等人类活动的干扰,出现生产力降低、生物量下降和生物多样性降低等问题^[58]。

3 粤港澳大湾区红树林的生态评价

3.1 红树林生态风险评价

生态风险评价源于环境风险管理政策,是评估、预测人为活动或不利事件对生态环境产生危害和不利影响的可能性的过程以及对该风险可接受程度进行评估的技术方法体系,是制定相关生态质量

基准、污染物环境控制标准的基础依据^[59]。因此,对红树林各类污染物进行生态风险评价可以确定风险源与生态效应之间的关系,判断有毒有害物质对生态系统产生影响的概率,判断在当前污染水平下对评价区域内多大比例的生态物种产生影响。

深圳福田红树林受城市化和工业化影响污染程度较严重。一些研究对深圳福田红树林自然保护区沉积物重金属污染情况进行生态风险评价,结果表明,福田红树林沉积物重金属含量处于中偏高的水平,综合污染指数达“较高污染”等级,其中Hg和Cd的污染风险最大^[60-61]。对深圳湾福田红树林湿地不同生境重金属生态风险的评价结果表明,深圳湾红树林湿地各种生境均存在高潜在生态风险,主要来自Cd的污染,Cu次之^[62]。1970—2000年间,随着深圳经济发展,深圳湾沉积物中Hg和Cu的含量迅速增加,但尚处于低潜在生态危害^[63]。深圳宝安的红树林重金属生态风险比福田更严峻,尤其是Cu的含量已达到严重污染的程度^[64]。除对红树林沉积物的生态风险评价外,对福田桑基鱼塘的生态风险评价结果也不乐观,其沉积物中Cd存在较高的潜在生态风险,Cu也存在一定的潜在生态风险^[65]。也有研究表明,工业废水的排放导致深圳红树林沉积物中钨和钴的含量较高^[66]。除重金属外,有机污染物的生态风险评价也非常重要。由于工业的快速发展,深圳各红树林中有机污染物的含量在我国处于较高水平^[67]。福田红树林多环芳烃的污染严重,其程度远高于坝光^[68]。对福田红树林沉积物有机锡污染的研究表明,尽管深圳湾部分地区水体有机锡污染严重,福田红树林有机锡浓度仍处于较低水平,且在慢慢下降,但有机锡在底栖动物中的累积因子较高,对湿地濒危水禽有生态毒理学风险^[69]。整体而言,福田红树林多种污染物处于较高的生态风险,需要引起重视。

虽然香港米埔红树林保护行为开展较早,保护措施较为完善,但由于深圳湾污染较严重,生态风险评价显示其存在一定的生态风险,保护区内多环芳烃和多氯联苯的污染比较严重。传统的米埔基围鱼塘的沉积物中p,p'-DDE和狄氏剂的浓度分别比美国环境保护局阈值效应水平高约12和15倍^[70]。另有评估显示香港米埔沉积物的毒性较高,尤其是泥滩沉积物^[71]。米埔保护区红树林沉积物受到中度污染,其中Zn,Pb和Ni的平均浓度比深圳红树林高^[72]。对米埔红树林中8种PBDEs的检测和评价表

明,其PBDEs为中度污染,且呈逐年上升的趋势^[73],香港西贡区的红树林生态系统没有受到重金属的污染,生长环境良好^[74]。

针对淇澳岛红树林湿地鱼类重金属污染的生态风险研究表明,淇澳岛红树林湿地的鱼类重金属元素含量排序为Zn>Mn>Cr>Cu>Pb>Cd,其中Cr和Pb的生态风险较大,需要引起关注^[75]。对淇澳岛红树林生物中多种卤代有机污染物的调查研究表明,DDT,PCBs和PBDE是淇澳岛红树林中的主要有机污染物,且在红树林食物网中有生物放大作用^[76]。对广州南沙红树林湿地沉积物污染物风险评价结果显示,多种重金属存在严重富集的情况^[77],沉积物的重金属风险非常高,尤其是Cd的污染情况最为严重,且近40年来重金属污染程度不断加重^[78]。对南沙红树林沉积物多环芳烃污染的风险评估表明其生态风险较低,且污染程度有逐渐下降的趋势^[79]。在合理的监管措施下,南沙红树林的有机氯杀虫剂浓度很低,不会对该地区的红树林生态系统造成污染^[80]。

整体而言,粤港澳大湾区红树林沉积物重金属的生态风险评价较为完善。大湾区典型红树林中,深圳湾红树林处在大城市腹地,受到人为干扰和深圳湾水污染较明显,因此其重金属风险相对更严重。香港米埔等地区的高度重金属风险很大程度上也来自深圳湾的污染。因此,大湾区红树林湿地的修复中过程应伴随珠江流域水污染的治理。珠海淇澳岛和广州南沙等地的重金属污染也存在一定的风险,有研究显示,广州南沙红树林的重金属污染程度超过深圳福田。大湾区红树林部分有机污染物的生态风险较大,需要引起重视。另外,对一些新兴污染物(如微塑料、纳米颗粒等)的研究相对较少,需加强这方面的工作。

3.2 红树林生态系统健康评价

生态系统健康是新兴的生态系统管理学概念,由Schaeffer等^[8]率先提出。Costanza等^[81]对生态系统健康的定义如下:若一个生态系统是稳定的,可持续的,或有活力的,随时间推移可保持其组织力和自主性,且在胁迫下易恢复,那么它是一个健康的和远离胁迫综合症的生态系统。近年来,红树林生态系统健康评价与管理已成为国际海洋环境领域的研究热点^[82]。

红树林湿地生态系统健康评估主要关注种群或群落水平的评估^[83-84]。文献^[85]从环境质量、生物

群落结构及植物健康状况方面对深圳海上田园红树林种植-养殖耦合系统进行评价,发现海上田园的修复工程改善了红树植物的群落结构和健康状况,但没有显著抑制湿地退化的趋势。对深圳市华侨城红树林湿地的研究集中在湿地生态系统服务功能评估^[86]、鸟类多样性调查^[87]、浮游生物调查^[88]以及物种多样性保护^[89]方面。孙毅等^[90]基于PSR模型建立深圳河河口红树林湿地生态系统健康评价体系,对区域内的红树林生态系统的健康状况进行多因子综合评价。胡涛等^[40]采用综合健康指数对福田红树林保护区生态系统进行健康评价,结果表明,尽管社会各界保护响应积极,但由于水污染、人工引种植物及病虫害等方面的压力,保护区生态环境呈恶化趋势。总体来看,保护区综合健康指数处于亚健康状态。张伟科^[91]将福田红树林的生态系统划分成15个功能组,通过构建EWE生态系统健康评价模型,研究该红树林生态系统中不同物种的营养关系及健康状况。陈子月等^[84]基于PSR模型构建福田红树林生态系统评价体系,并对深圳市红树林2008—2018年的综合生态健康指数进行研究。姜刘志等^[39]对福田红树林整体的生态环境现状进行分析,并提出相应的红树林保护建议。与城市化速度极快的福田红树林相比,珠海淇澳岛红树林生态状况要好一些。孙敏^[92]对珠海湿地系统进行生态健康评价,结果显示珠海近岸海域生态健康处于亚健康状态,其近岸海域水环境质量较差,而沉积物、生物体质量较好。王树功等^[47]认为淇澳岛红树林湿地生态系统的主要功能较完善,管理水平尚可,但也存在一定的潜在压力。

整体而言,粤港澳大湾区中,多数红树林群落处于亚健康状态,存在较大的压力,压力的来源主要是水污染,此外,外来物种的入侵也不可忽视。相对于生态风险评价,目前综合评价红树林湿地生态系统健康的研究较少,还有很多问题待研究^[93],有些地区红树林生态健康评价的资料较少或缺失,因此需要完善对红树林湿地生态系统健康评价的研究,从而更好地保护和合理地利用红树林。

4 粤港澳大湾区红树林保护与修复对策

本文基于粤港澳大湾区的现状,结合国内外红树林保护与修复对策,对大湾区红树林保护提出以下几点建议。

1) 恢复和重建红树林,优化红树林结构组成。我国红树林的面积近几十年迅速减少,在红树林面积较小的情况下,其生态风险会加大。因此,对于适宜红树植物生长的地方,可以考虑恢复并重建红树林。同时,对于红树林内植物组成,一方面要注意到大米草与互花米草等种间竞争,及时控制外来物种的蔓延;另一方面,提高单一人工林的生态多样性,加强对红树林内部结构的调整。

2) 处理好城市建设与生态保护的矛盾,对红树林系统进行综合治理,最大化地降低城市建设对红树林湿地生态的影响。治理和保护红树林不能只关注红树林的具体问题,而要从整体出发,将整个红树林湿地作为保护对象,在充分了解红树林生态系统结构与功能的基础上制定保护措施。例如,珠海和深圳地区红树林的修复应与珠江流域水污染治理相结合,采取生态系统综合治理的方式。

3) 加强管理和宣传力度,促进红树林自然科普教育。首先,要加强对污染的监测,了解各地红树林的污染情况,准确地掌握生态系统的健康状况。其次,对破坏现象要进行严格有效的监督和执法。目前,大湾区红树林湿地系统部分重金属和有机污染物存在严重超标的现象,有较高的生态风险,因此更需要对工业污水和生活污水的排放进行严格管控。同时,对于滥砍滥伐、违规捕捞和违规建设等现象,应加强监管与处罚力度。通过宣传教育,让民众了解红树林的重要性,发动更多人保护红树林。

4) 加强科技研究和科学保护。通过对红树林湿地的科技研究,可以准确地评估红树林的生存现状及其经济价值与环境功能,使公众认识红树林的价值^[15]。完善对红树林湿地生态系统的健康评价研究,加强对澳门红树林等相关资料较少的红树林生态系统的研究。此外,关于红树林的动态监测、生态恢复模式建立和一些新型污染物(如纳米颗粒物和微塑料等)的研究,有待进一步完善。

5) 建立红树林湿地自然保护区,加入湿地公约组织,加强大湾区联动合作。建立自然保护区可以增进公众对红树林湿地的了解,意识到红树林湿地保护的紧迫性和重要性。对于已经加入保护区和湿地公约组织的地区,可以申请建立更高一级的保护区。目前,各保护区相对独立,尤其是牵涉到大陆、港、澳三地,粤港澳大湾区各红树林保护区存在很大的相似性,加强各保护区之间的联动合作,互相借鉴成功经验,对各保护区都有很大的价值。

参考文献

- [1] 陈耀, 申兵, 肖金成, 等. 粤港澳大湾区: “一国两制”框架下的大棋局. 中国发展观察, 2017(14): 22–24
- [2] Hu S J, Niu Z G, Chen Y F, et al. Global wetlands: potential distribution, wetland loss, and status. *Science of the Total Environment*, 2017, 586: 319–327
- [3] 崔璐. 国内外湿地保护及湿地公园建设现状. 山西林业科技, 2010, 39(4): 51–52
- [4] Tian B, Zhou Y X, Thom R M, et al. Detecting wetland changes in Shanghai, China using FORMOSAT and Landsat TM imagery. *Journal of Hydrology*, 2015, 529: 1–10
- [5] 邵媛媛, 周军伟, 母锐敏, 等. 中国城市发展与湿地保护研究. 生态环境学报, 2018, 27(2): 381–388
- [6] Wang X L, Ning L M, Yu J, et al. Changes of urban wetland landscape pattern and impacts of urbanization on wetland in Wuhan City. *Chinese Geographical Science*, 2008, 18(1): 47–53
- [7] 宋新山, 王朝生, 汪永辉. 我国城市化进程中的水资源环境问题. 科技导报, 2004(2): 29–32
- [8] Schaeffer D J, Henricks E E, Kerster H W. Ecosystem health: I. measuring ecosystem health. *Environmental Management*, 1988, 12: 445–455
- [9] 但新球, 廖宝文, 吴照柏, 等. 中国红树林湿地资源、保护现状和主要威胁. 生态环境学报, 2016, 25(7): 1237–1243
- [10] Hu L J, Li W Y, Xu B. Monitoring mangrove forest change in China from 1990 to 2015 using Landsat-derived spectral-temporal variability metrics. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018, 73: 88–98
- [11] Jiang W G, Lv J X, Wang C C, et al. Marsh wetland degradation risk assessment and change analysis: a case study in the Zoige Plateau, China. *Ecological Indicators*, 2017, 82: 316–326
- [12] Meng W Q, He M X, Hu B B, et al. Status of wetlands in China: a review of extent, degradation, issues and recommendations for improvement. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 146: 50–59
- [13] Jiang T T, Pan J F, Pu X M, et al. Current status of coastal wetlands in China: degradation, restoration, and future management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2015, 164: 265–275
- [14] 麦少芝, 徐颂军. 广东红树林资源的保护与开发. 海洋开发与管理, 2005(1): 44–48
- [15] 张乔民, 隋淑珍. 中国红树林湿地资源及其保护. 自然资源学报, 2001, 16(1): 28–36
- [16] 张忠华, 胡刚, 梁士楚. 广西红树林资源与保护. 海洋环境科学, 2007, 26(3): 275–279
- [17] 唐圣囡, 李京梅. 美国湿地补偿银行制度运转的关键点及对中国的启示. 湿地科学, 2018, 16(6): 764–770
- [18] Canty S W J, Preziosi R F, Rowntree J K. Dichotomy of mangrove management: a review of research and policy in the Mesoamerican reef region. *Ocean & Coastal Management*, 2018, 157: 40–49
- [19] Nguyen T P, Luom T T, Parnell K E. Mangrove allocation for coastal protection and livelihood improvement in Kien Giang province, Vietnam: constraints and recommendations. *Land Use Policy*, 2017, 63: 401–407
- [20] Zhao Q Q, Bai J H, Huang L B, et al. A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 442–452
- [21] 黄华梅, 高杨, 王银霞, 等. 疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力. 生态学报, 2012, 32(8): 2571–2580
- [22] 钦佩, 李思宇. 互花米草的两面性及其生态控制. 生物安全学报, 2012, 21(3): 167–176
- [23] 张明祥, 鲍达明, 王玉玉, 等. 美国旧金山湾滨海湿地保护与管理的经验及启示. 湿地科学与管理, 2015, 11(1): 24–28
- [24] 赵茜瑶. 美国纽约弗莱士河公园的景观生态修复. 现代园艺, 2016(5): 133–134
- [25] 沈哲, 刘平养, 黄劼. 纽约市湿地保护对我国大中型城市的启示. 环境保护, 2012(19): 76–78
- [26] 谢婕, 罗伟杰. 浅析日本湿地保护立法及其对南沙湿地生态公园的启示. 生态环境保护, 2014(3): 264–266
- [27] 余辉. 日本琵琶湖流域生态系统的修复与重建. 环境科学研究, 2016, 29(1): 36–43
- [28] 李显锋. 水污染防治的立法实践、经验与启示——以日本琵琶湖保护为例. 农林经济管理学报, 2015, 14(2): 184–191
- [29] Kamali B, Hashim R. Mangrove restoration without planting. *Ecological Engineering*, 2011, 37(2): 387–391
- [30] Zaldívar-Jiménez A, Ladrón-De-Guevara-Porras P, Pérez-Ceballos R, et al. US-Mexico joint Gulf of Mexico large marine ecosystem based assessment and management: experience in community involvement and mangrove wetland restoration in Términos lagoon, Mexico. *Environmental Development*, 2017, 22: 206–213
- [31] Nguyen T P, Luom T T, Parnell K E. Mangrove transplantation in Brebes Regency, Indonesia: lessons and recommendations. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 149: 12–21
- [32] Románach S S, Deangelis D L, Koh H L, et al.

- Conservation and restoration of mangroves: global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management*, 2018, 154: 72–82
- [33] Pham T D, Kaida N, Yoshino K, et al. Willingness to pay for mangrove restoration in the context of climate change in the Cat Ba biosphere reserve, Vietnam. *Ocean & Coastal Management*, 2018, 163: 269–277
- [34] Rahman M M, Mahmud M A. Economic feasibility of mangrove restoration in the Southeastern Coast of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 2018, 161: 211–221
- [35] 何诗雨, 胡涛, 徐华林, 等. 香港米埔自然保护区保护与管理经验及启示. *湿地科学与管理*, 2016, 12(1): 26–29
- [36] 李真, 李瑜, 咎启杰, 等. 深圳福田与香港米埔红树林群落分布与格局比较. *中山大学学报(自然科学版)*, 2017, 56(5): 12–19
- [37] 何奋琳. 深圳福田红树林生态系统生态恢复对策研究. *环境科学与技术*, 2004, 27(4): 81–83
- [38] 刘莉娜, 陈里娥, 韦萍萍, 等. 深圳福田红树林自然保护区的生态问题及修复对策研究. *海洋技术*, 2013(2): 125–132
- [39] 姜刘志, 李常诚, 杨道运, 等. 福田红树林自然保护区生态环境现状及保护对策研究. *环境科学与管理*, 2017, 42(11): 152–155
- [40] 胡涛, 丑庆川, 徐华林, 等. 深圳湾福田红树林保护区生态系统健康评价. *湿地科学与管理*, 2015, 11(1): 16–20
- [41] Wang S L, Xu X R, Sun Y X, et al. Heavy metal pollution in coastal areas of South China: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 76(1): 7–15
- [42] Liu L N, Li F L, Yang Q, et al. Long-term differences in annual litter production between alien (*Sonneratia apetala*) and native (*Kandelia obovata*) mangrove species in Futian, Shenzhen, China. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 85(2): 747–753
- [43] 贾凤龙, 陈海东, 王勇军, 等. 深圳福田红树林害虫及其发生原因. *中山大学学报(自然科学版)*, 2001, 40(3): 88–91
- [44] 李海生. 深圳龙岗的红树林. *广东第二师范学院学报*, 2006, 26(3): 67–69
- [45] 张倬纶, 侯霄霖, 梁文钊, 等. 深圳现存红树林群落的生境及保护对策. *湿地科学与管理*, 2012, 8(4): 49–52
- [46] 宋广君. 公路桥梁对生态环境的影响及其保护对策. *北方交通*, 2015(8): 32–35
- [47] 王树功, 郑耀辉, 彭逸生, 等. 珠江口淇澳岛红树林湿地生态系统健康评价. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 391–398
- [48] 张留恩, 廖宝文. 珠海市淇澳岛红树林湿地的研究进展与展望. *生态科学*, 2011, 30(1): 81–87
- [49] 张阳, 张华. 珠海淇澳岛红树林湿地薇甘菊危害情况和发生因素研究. *现代生物医学进展*, 2008, 8(4): 713–716
- [50] Peng Y S, Chen G Z, Tian G H, et al. Niches of plant populations in mangrove reserve of Qi'ao Island, Pearl River Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 357–361
- [51] 唐国玲, 沈禄恒, 翁伟花, 等. 无瓣海桑对互花米草的生态控制效果. *华南农业大学学报*, 2007, 28(1): 10–13
- [52] Leung J Y S, Tam N F Y. Influence of plantation of an exotic mangrove species, *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl., on macrobenthic infaunal community in Futian Mangrove National Nature Reserve, China. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2013, 448: 1–9
- [53] Morton B. Hong Kong's mangrove biodiversity and its conservation within the context of a southern Chinese megalopolis. A review and a proposal for Lai Chi Wo to be designated as a World Heritage Site. *Regional Studies in Marine Science*, 2016, 8: 382–399
- [54] Tam N F Y, Wong Y S. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution*, 2000, 110(2): 195–205
- [55] 何伟添. 澳门海岸湿地生态系统的特征及变化趋势研究[D]. 广州: 暨南大学, 2008: 87–93
- [56] 刘秋红. 广州市红树林资源现状及其保护利用对策. *福建林业科技*, 2005, 32(2): 125–128
- [57] 姚少慧, 孙妮, 苗莉, 等. 惠州红树林保护区红树植物群落结构特征. *广东农业科学*, 2013, 40(17): 153–157
- [58] 彭逸生, 李皓宇, 郑洲翔, 等. 广东惠东县境内榄李种群的分布及保育策略. *湿地科学与管理*, 2016, 12(4): 36–38
- [59] 龙涛, 邓绍坡, 吴运金, 等. 生态风险评价框架进展研究. *生态与农村环境学报*, 2015, 31(6): 822–830
- [60] 邓利, 张慧敏, 劳大荣, 等. 福田红树林自然保护区沉积物重金属污染现状及生态风险评价. *海洋环境科学*, 2014, 33(6): 947–953
- [61] Li R Y, Li R L, Chai M W, et al. Heavy metal contamination and ecological risk in Futian mangrove forest sediment in Shenzhen Bay, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 101(1): 448–456
- [62] 程珊珊, 沈小雪, 柴民伟, 等. 深圳湾红树林湿地不同生境类型沉积物的重金属分布特征及其生态风险评价. *北京大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(2): 415–425
- [63] 李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 等. 近 50 年来深圳湾红树林湿地 Hg、Cu 累积及其生态危害评价. *环境科*

- 学, 2012, 33(12): 4276–4283
- [64] 王冠森, 柴民伟, 栾胜基. 深圳典型红树林湿地重金属累积特征比较研究. *生态环境学报*, 2017, 26(5): 862–870
- [65] 柴民伟, 李瑞利, 徐华林, 等. 深圳湾红树林基围鱼塘沉积物重金属污染评价// 2015年中国环境科学学会年会论文集. 广州, 2015: 1745–1752
- [66] Xu S J, Lin C X, Qiu P H, et al. Tungsten- and cobalt-dominated heavy metal contamination of mangrove sediments in Shenzhen, China. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 100(1): 562–566
- [67] 张再旺, 李甲亮, 隋涛, 等. 中国红树林湿地有机污染物研究进展. *生态科学*, 2017, 36(5): 232–240
- [68] Li F L, Zeng X K, Yang J D, et al. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments and plants of mangrove swamps in Shenzhen, China. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 85(2): 590–596
- [69] Deng L, Liu G H, Zhang H M, et al. Levels and assessment of organotin contamination at Futian Mangrove Wetland in Shenzhen, China. *Regional Studies in Marine Science*, 2015, 1: 18–24
- [70] Wong H L, Giesy J P, Lam P K. Organochlorine insecticides in mudflats of Hong Kong, China. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 2006, 50(2): 153–165
- [71] Kwok C K, Yang S M, Mak N K, et al. Ecotoxicological study on sediments of Mai Po marshes, Hong Kong using organisms and biomarkers. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2010, 73(4): 541–549
- [72] Ong C R G. Concentration of 7 heavy metals in sediments and mangrove root samples from Mai Po, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, 39: 269–279
- [73] Zhu H W, Wang Y, Wang X W, et al. Distribution and accumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Hong Kong mangrove sediments. *Science of The Total Environment*, 2014, 468/469: 130–139
- [74] Yim M W, Tam N F Y. Effects of wastewater-borne heavy metals on mangrove plants and soil microbial activities. *Marine Pollution Bulletin*. 1999, 39(1): 179–186
- [75] 刘金苓, 李华丽, 唐以杰, 等. 珠海淇澳岛红树林湿地经济鱼类的重金属污染现状及对人体健康风险分析. *生态科学*, 2017, 36(5): 186–195
- [76] Sun Y X, Zhang Z W, Xu X R, et al. Bioaccumulation and biomagnification of halogenated organic pollutants in mangrove biota from the Pearl River Estuary, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 99(1): 150–156
- [77] 周锡振. 南沙红树林湿地沉积物重金属和多环芳烃污染研究[D]. 广州: 广州大学, 2013: 43–44
- [78] Wu Q H, Tam N F Y, Leung J Y S, et al. Ecological risk and pollution history of heavy metals in Nansha mangrove, South China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, 104: 143–151
- [79] Wu Q H, Leung J Y S, Tam N F Y, et al. Biological risk and pollution history of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Nansha mangrove, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 85(1): 92–98
- [80] Wu Q H, Leung J Y S, Yuan X, et al. Biological risk, source and pollution history of organochlorine pesticides (OCPs) in the sediment in Nansha mangrove, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 96(1): 57–64
- [81] Costanza R, Norton B G, Haskell B D. *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Washington DC: Island Press, 1992
- [82] Mumby P J, Edwards A J, Ariasgonzález J E, et al. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, 2004, 427: 533–536
- [83] 王初升, 黄发明, 于东升, 等. 红树林海岸围填海适宜性的评估. *亚热带资源与环境学报*, 2010, 5(1): 62–67
- [84] 陈子月, 卓子荣, 陈卓杰. 深圳红树林湿地系统健康评价. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(5): 149–152
- [85] 冯建祥, 朱小山, 宁存鑫, 等. 红树林种植–养殖耦合湿地生态修复效果评价. *中国环境科学*, 2017, 37(7): 2662–2673
- [86] 徐桂红, 吴苑玲, 杨琼. 华侨城湿地生态系统服务功能价值评估. *湿地科学与管理*, 2014, 10(2): 9–12
- [87] 徐桂红, 张小英, 徐昇. 深圳华侨城湿地鸟类多样性调查研究. *湿地科学与管理*, 2015, 11(2): 59–61
- [88] 徐桂红, 杨积涛, 巫锡良, 等. 华侨城湿地浮游生物调查. *湿地科学与管理*, 2016, 12(2): 46–48
- [89] 管启杰, 许会敏, 谭凤仪, 等. 深圳华侨城湿地物种多样性及其保护研究. *湿地科学与管理*, 2013, 9(3): 56–61
- [90] 孙毅, 黄奕龙, 刘雪朋. 深圳河河口红树林湿地生态系统健康评价. *中国农村水利水电*, 2009(10): 32–35
- [91] 张伟科. 福田红树林自然保护区湿地生态系统动态监测模型. *科技展望*, 2015, 25(23): 223–224
- [92] 孙敏. 珠海近岸海域生态系统健康评价及胁迫因子分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012
- [93] 郑耀辉, 王树功, 陈桂珠. 滨海红树林湿地生态系统健康的诊断方法和评价指标. *生态学杂志*, 2010, 29(1): 111–116