

我国滨海滩涂湿地现状及研究进展

李晶, 雷茵茹, 崔丽娟, 潘旭, 张骁栋, 张曼胤, 李伟

(1. 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091; 2. 湿地生态功能与恢复北京市重点实验室, 北京 100091; 3. 北京汉石桥湿地生态定位研究站, 北京 101399)

摘要:滨海滩涂湿地是我国东部城市化地区重要的生态屏障, 它为我国城镇居民提供了生物多样性维持、净化、碳汇、资源供给及旅游文化等必不可少的生态系统服务。随着人类活动影响的不断加剧, 滨海滩涂湿地正面临着资源约束趋紧、环境污染严重、生态功能退化等重大瓶颈问题。从分析我国滨海滩涂湿地的现状入手, 围绕人类活动对滨海湿地的关键过程和功能的影响, 滨海滩涂湿地生态功能恢复与提升技术和滨海滩涂湿地资源产业化与生态管理三方面来对目前的研究进展进行综述。分析了目前滨海滩涂湿地退化机理研究、恢复与功能提升技术研发及资源利用和产业化方面存在的问题, 并提出了未来的研究方向。

关键词:滨海滩涂湿地; 关键过程和功能; 生态功能恢复与提升技术; 资源产业化; 生态管理

中图分类号:X171 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6622(2018)02-0024-05

DOI:10.13466/j.cnki.lyzyl.2018.02.005

Current Status and Research Progress of Coastal Tidal Flat Wetlands in China

LI Jing, LEI Yinru, CUI Lijuan, PAN Xu, ZHANG Xiaodong, ZHANG Manyin, LI Wei

(1. *The Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*; 2. *Beijing Key Laboratory of Wetland Ecological Function and Restoration, Beijing 100091, China*; 3. *Beijing Hanshiqiao National Wetland Ecosystem Research Station, Beijing 101399, China*)

Abstract: As an essential ecological barrier for the eastern cities, tidal flat wetlands provide a series of ecological services for coastal households, including biodiversity maintenance, water purification, carbon sequestration, resource provision, tourism and culture. However, due to the increasingly intensive human impacts, tidal flat wetlands are exposed to bottleneck problems such as resource constraint, environment pollution, and ecological function degradation. This paper firstly analyzes the current status of tidal flat wetlands in China, and then reviews the relative research progress from the following aspects: (1) the impacts of human activities on the key processes and functions of coastal tidal flat wetlands; (2) the technologies of ecological function restoration and promotion for coastal tidal flat wetlands; and (3) the resource industrialization and ecological management of coastal tidal flat wetlands. The paper finally identifies the gaps for future research on the degradation mechanism, technology development and resource utilization of coastal wetlands.

Key words: tidal flat wetlands, key processes and functions, technologies of ecological function restoration and promotion, resource industrialization, ecological management

收稿日期: 2018-01-22; 修回日期: 2018-04-08

基金项目: 国家重点研发计划资助(2017YFC0506200); 国家自然科学基金青年基金(41601577)

作者简介: 李晶(1988-), 女, 河南许昌人, 助理研究员, 博士, 主要从事湿地微生物生态学研究。

Email: 15810519839@126.com

0 引言

我国拥有 18 万 km 的漫长大陆海岸线,其北起辽宁省的鸭绿江口,南止广西壮族自治区的北仑河口,以及沿海岛屿^[1]。第二次全国湿地资源调查结果显示,全国湿地总面积 5 360.26 万 hm^2 ,其中滨海湿地面积 579.59 万 hm^2 ,占全国湿地总面积的 10.82%^[2]。滨海滩涂湿地是海陆交界的生态过渡带,兼具海、陆双重特征,因而具有特殊的水文、植被、土壤特征^[2],具体包括潮间带泥滩、沙滩和海岸其它咸水沼泽。由于滨海滩涂湿地位于海陆交错地区,受到了陆地和海洋环境的双重影响和制约,因此它也是最为脆弱的湿地生态系统类型之一。其提供了多种生态系统服务功能,诸如碳汇、维持生物多样性、控制污染、调节气候等,并在调节区域资源平衡、改善环境质量及维持滨海地区生态安全等方面发挥了重要作用^[3-4]。

滨海滩涂湿地是我国东部城市化地区重要的生态屏障,全国 50% 以上的大城市、60% 的国内生产总值(GDP)分布在沿海地区^[5]。虽然我国滨海湿地面积广阔,但是人为开垦与改造、污染物排放、泥沙淤积和水资源不合理利用等人类活动日趋频繁,在城市化进程加快、社会经济高速发展的大背景下,滨海湿地也同样面临着严重的退化和损失,其生态系统服务功能面临诸多挑战^[6]。据不完全统计,自 20 世纪 50 年代以来,全国滨海湿地丧失约 200 多万公顷,相当于滨海湿地总面积的 50%^[5]。

滨海滩涂湿地的科学保护和利用需要坚实的科学理论基础和丰富的实践经验技术支持,国内外针对滨海湿地均开展了一定的研究。美国、澳大利亚、英国等都经历了滨海湿地生态系统退化到恢复保护的发展历程。强调以自然恢复为主、人工恢复为辅的技术手段,以管理为抓手,辅以规章制度硬约束,以期减缓滨海滩涂湿地生态系统服务功能退化,进而提升相应的生态服务功能,维持生物多样性,拓展生态服务产业。《湿地公约》提出了滨海湿地综合管理、生物多样性快速评价,以及滨海区域战略计划等一系列指南和文件^[7]。许多国际湿地组织把滨海湿地作为关键领域,开展了滨海湿地保护、恢复及三角洲综合管理等研究与实践。20 世纪 80 年代,美国环保署、交通部提出了针对不同退化状况的湿地保护和恢复方法,开展了普吉特海湾景观及滨海栖息地研究,并实施了密西西比河营养物质去除工程、切萨皮克湾恢复工程和佛罗里达大沼

泽保护工程等^[8-9]。英国威尔特郡自然环境研究委员会针对滨海及河口湿地生态系统变化特征,提出滨海湿地洪水风险管理模式,为英国应对气候变化战略目标的制定提供技术依据。加拿大麦吉尔大学长期研究滨海湿地碳循环过程、固碳机制,建立和发展了 McGill 湿地模型,在滨海湿地的碳储量、固碳速率与机制方面开展了较为系统的研究^[10],并使 McGill 湿地模型得到了广泛的验证和应用^[11]。我国在滨海滩涂湿地领域已经开展了滨海湿地生态系统服务功能评估及湿地生态系统监测,建立了多个滨海湿地生态系统定位观测研究站。初步开展了滨海湿地生态恢复目标判别、外来入侵物种的影响研究;探索了某些外来入侵物种的入侵路径、机理与防控技术;针对个别滨海地区污染问题,开展了污染物识别筛选研究,探索了污染物分析、管控及去除技术。中国林业科学研究院湿地研究所开展了典型滨海湿地生态系统服务功能价值评价研究^[12-16],提出了评价滨海湿地生态系统服务功能的指标体系,也为滨海滩涂湿地的保护提供了一定的理论指导。本文将从以下三方面对我国滨海滩涂湿地现状及相关研究进展进行概述。

1 人类活动对滨海滩涂湿地关键过程和功能的影响

长期人类干扰会降低滨海湿地的稳定性,从而改变滨海湿地生态系统的关键生态过程,以及由此导致生态系统的变化成为滨海湿地研究的焦点。滨海滩涂湿地的关键生态过程包括物质生产、营养元素循环、能量流动及水文过程等,也包含这些过程的相互关系和与湿地功能的关系^[14]。近几十年以来,海岸带地区经济发展和人口增长对土地资源的需求使大量天然滨海滩涂湿地被人工建设的堤坝围垦。围垦将天然潮滩转换为人工海岸,使潮滩失去了对潮能的存储与耗散作用,导致剩余潮汐能的重分布,可能使人们面临更加严峻的海岸灾害^[18]。围垦后土壤的养分(N,P)含量逐渐升高,而土壤盐分则迅速下降^[19],同时也会带来土壤污染物富集(重金属、有机污染物)和近海海洋生态系统的富营养化问题^[20-21]。围垦后,湿地土壤向干旱化方向演替,这就导致围垦早期(10 年左右)旱生耐盐植物群落比如碱菀扩张迅速,而以芦苇为代表的的湿生植物群落则迅速收缩^[22],这在黄河三角洲的研究中得到进一步的印证^[23]。

由于土地利用变化、石油开采、过度养殖、捕捞

和污染的影响,滨海滩涂湿地的水文过程,碳、氮、磷等主要营养元素循环及与外界的交换、有机物降解与分解等过程都发生了变化。滨海湿地退化的水文特征通常表现为水文周期和水位的变化。当前在气候变化和人类活动的影响下,大部分退化湿地都存在地表水与地下水位下降的问题^[24]。黄河三角洲湿地其近岸海域富营养化较为明显,陆源输入的无机氮是造成富营养化的主要原因,表层沉积物受到氮污染及轻微的磷污染。重金属污染总体属于中度水平,汞(Hg)和镉(Cd)是潜在污染风险源^[25],有机污染物石油烃和多聚联苯(PCBs)存在点源污染威胁^[26],湿地渔业资源生物受到铅(Pb)和铬(Cr)的污染,污染超标率均为100%。杭州湾湿地是中国南北沿海湿地的分界线,同时也是中国重要的滩涂湿地。浙江省海洋污染基线调查的结果显示,杭州湾总氮及磷酸盐的污染指数在全省海域中最高,达到了劣四类或四类标准,外来种互花米草的入侵和人为围垦活动已成为影响该地区湿地土壤磷素分布的主要原因^[27]。研究表明湿地植物可以改变磷的地球化学形态并进而影响磷元素的地球化学循环,植被演替显著改变沉积物中磷的形态特征,植被生长显著促进沉积物中有机磷积累,植物枯落物对0~5cm沉积物中有机磷含量影响较大^[28]。

人类活动对滨海滩涂湿地生物多样性有显著影响。主要是通过改变原生滨海滩涂湿地植物种间关系^[29]、导致外来种入侵^[30]、减少动物和土壤微生物种类和数量^[31]、改变生态系统营养结构^[32]等方式影响滨海滩涂湿地生物多样性,进而导致滨海滩涂湿地的退化。在滨海滩涂湿地生态系统,入侵植物互花米草能够分泌他感物质影响其它植物生长,从而改变群落结构、功能,导致湿地退化^[33]。湿地退化的生态学机理研究主要包括生物群落结构的演替、种群存活率、物种多样性、生态位等内容,其中物种生态位是核心研究内容。生物地球化学过程主要通过影响营养元素的吸收、循环、累积,进而影响植物群落和土壤理化性质,改变湿地对营养元素的吸收和净化作用,导致湿地功能下降^[34]。开展湿地生物地球化学过程的量化研究对揭示湿地退化机理具有重要意义。

2 滨海滩涂湿地生态功能恢复与提升技术

针对滨海滩涂湿地的退化现状,通过技术减缓

和改善滨海滩涂湿地生态系统服务功能退化现状是该领域的研究重点,尤其强调以自然恢复为主配合人工修复的技术手段。国内外就滨海滩涂湿地不同种类生态系统服务功能的恢复和提升技术做了一定的探索,滨海湿地恢复的理论基础主要包括岛屿生物地理学理论、生态位理论、种群理论和营养级理论^[35]。在退化湿地的恢复过程中,还可应用演替理论、入侵理论、河流理论、洪水脉冲理论、边缘效应理论和中度干扰假说等理论作指导^[36]。

目前的恢复技术主要针对滨海滩涂湿地的三要素,即植被、土壤和水文来进行。水文过程决定了植物、动物区系和土壤特征^[37],是湿地恢复的关键。在水文恢复过程中,通常需要根据湿地退化程度及原因,采用外来水源补给等手段适当地恢复湿地水位,合理控制水文周期。目前,湿地水文过程恢复主要是通过筑坝(抬高水位)、修建引水渠等水利工程措施来实现,具体包括湿地水文连通技术、蓄水防渗技术和生态补水技术等,其核心是通过筑坝、修建引水渠、改造地形、抬高水位来养护沼泽,改善湿地水鸟栖息地,增加河床深度和宽度^[37]。例如:黄河三角洲湿地的恢复主要是通过筑坝修堤,在雨季和黄河丰水期蓄积淡水,旱季则引水补充,增加湿地水量以洗碱脱盐(简称引水压盐恢复技术)^[38];微地形营造结合水位控制的生态修复模式具有更好的效果,可以兼顾景观效果、植被覆盖效果和鸟类栖息地生态功能的恢复^[39];进一步运用生物和工程技术净化水质,去除或固定污染物,使之适合植物生长,以保持湿地水质^[29,40]。

退化湿地恢复的最主要任务之一是植被恢复,植被的恢复对于防止水土流失、防洪固沙有很大的作用,而植被恢复的植物物种选择很重要。对小兴安岭地区退化沼泽湿地的恢复研究发现,由于火烧导致沼泽湿地内乔木大部分死亡,因此蒸腾作用减少,所以地下水位与未火烧时相比显著升高^[41]。对于湿地来说,选择湿地退化前原有的本地树种作为植被恢复的树种较好^[31]。采取湿地封育技术有效控制人为活动对湿地植被的干扰,促进退化湿地植被恢复;同时辅助人工种草和栽植湿地植物进行湿地植被恢复^[42]。针对华南沿海地区的红树林退化湿地,专家提出了基于红树林恢复和降低陆源污染为目的的“红树林种植—养殖耦合系统”。筛选对恒定水位生境适应能力强的红树植物(比如桐花树),对于该系统能否稳定有效地运行发挥重要

作用^[43]。

退化湿地土壤恢复技术主要是通过生物、生态手段达到控制湿地土壤污染、恢复土壤功能的目的。滨海滩涂湿地的土壤多为盐渍土,研究表明土壤盐碱改良剂修复效果良好。改良剂主要包括石膏和磷石膏、沸石以及其他化学制剂^[38]。以土壤改良为重点的上农下渔、条台田整地改良、深松土壤、化学改良与种植耐盐牧草相结合的植被恢复技术也取得了良好效果^[38]。近些年来利用生物手段修复污染土壤较受重视,包括高等植物清除营养盐技术,以及微生物降解石油烃类有机物^[44]和重金属污染物技术^[45]等。

3 滨海滩涂湿地资源产业化与生态管理

滨海滩涂湿地不仅具有非常重要的生态价值,还拥有丰富多样的可利用资源,包括水资源、土地资源、生物资源和旅游资源等^[18]。如何科学合理、高效持续地利用滨海滩涂湿地资源,提高滨海滩涂湿地生态与经济综合效益是该研究领域的难点和重点。我国浅海滩涂分布广、面积大,是有效的潜在土地资源。由于滩涂不断淤长扩大,潮上带的土地资源可直接开发利用,潮间带可通过围垦因地制宜综合利用,中低潮滩可用以发展水产养殖^[46]。滩涂资源的适度围垦开发,已经成为实现耕地总量动态平衡的重要途径。入海江河携带的泥沙和营养盐既给滩涂提供了广阔的土地资源,又为沿海水产生物资源创造了多种繁殖和生长的环境,使我国浅海滩涂地带蕴含丰富的鱼、虾、贝、藻类资源。除可直接利用的动物资源外,潮滩上的植物资源对于岸滩稳定、净化环境等有着不容忽视的作用^[47]。目前,对滨海滩涂湿地资源的主要利用方式还处于较为初级的直接利用阶段,包括发展大农业、浅海滩涂湿地自然保护区、盐田海水制盐、港口和城镇社区建设、旅游业等,进一步的合理开发利用亟待研究。就目前的开发利用情况而言,已开发的滩涂面积约为总面积的10%,仍有较大的开发潜力^[18]。如何实现滨海滩涂湿地资源可持续利用,开发环境友好型产品,处理好保护和合理利用的关系,仍然是该领域未来的发展趋势。

滩涂资源产业化开发是资源利用的高级阶段,它既是市场经济发展的必然要求,也是转变经济增长方式的需要,更是滩涂资源开发实践的必然抉择。目前,滩涂开发利用良性演替的产业结构模式

主要有4种:1)经济欠发达条件下自然和人工相结合的产业选择和结构模式。例如苇鱼养殖^[48]。2)休养生息的“二水一早”快速改土培肥模式结构。例如种植水稻和棉花。3)近远结合、有序演替的盐土农业。包含牧草型盐土农业、林果型盐土农业、蔬菜型盐土农业和农作物型盐土农业。4)资源保护增殖、再生,积聚发展后劲的高潮带人工草地模式结构。如种植芦苇和互花米草等。但是目前滩涂资源产业化开发缺乏总体战略布局,“围垦-种(养)植(殖)-出售原料”的传统开发模式资源利用效率低,产品增值率低,抵御风险能力也差。滨海滩涂湿地旅游资源丰富,目前通过对滨海湿地资源类型与景观格局进行分析,并对旅游资源进行评价,初步提出了一些开发模式。但是由于对滨海湿地旅游研究仍有很大不足,目前旅游资源的开发水平参差不齐,开发过程中对滨海湿地破坏严重,因此亟待加强对滨海湿地旅游的研究,探索“生态服务-生态产业”一体化的专业化生产和集约式开发,对我国滩涂未来产业化发展具有重要意义。

4 结论与展望

明确人类活动对滨海滩涂湿地关键生态过程的影响机制是阐明滨海滩涂湿地退化机理的先决条件,但是目前对于这方面的研究并不系统。我国在诸如草地生态系统碳氮循环、泥炭沼泽碳循环、小流域水文过程等陆地生态系统关键生态过程方面均开展了较为深入的研究,探讨了不同人类干扰频率、干扰强度以及不同空间尺度的干扰所产生的影响,并得出多个陆地生态系统过程均表现出明显的脉冲式变化特征的结论。但由于滨海湿地生态系统的复杂性,相关的机理研究仍需深入探索。因此,未来的研究应重点解决如下科学问题:1)滨海滩涂湿地生态水文过程;2)滨海滩涂湿地功能稳态机制与生物多样性维持;3)滨海滩涂湿地退化的主要人类活动影响机制,并进一步发展生态保护和恢复理论。

滩涂湿地生态恢复和功能提升技术在局部区域有所发展,但仍处于尝试和探索阶段,因此也存在诸多问题。比如:植物多样性恢复技术中的植物配置方案单一,配置合理性差,缺乏对滨海滩涂湿地植物群落构建及种间关系的认识;部分区域通过引入外来物种互花米草达到保滩护岸的目的,但却破坏了滨海滩涂湿地的自然景观,降低了生物多样性

性;由于对水鸟等滨海滩涂湿地生物特征及习性缺乏足够认识,没有掌握其对生境的实际需求,使得生境恢复技术效果不理想且很难维持;微生物制剂等技术恢复效果稳定性差,且易受外界环境的影响等。此外,一些滨海滩涂湿地重要生态系统服务功能的恢复和提升技术研究还存在盲点,如缺乏对碳汇机理研究、技术研发和模型预测三者之间的有效整合,急需研发综合恢复和提升滨海滩涂湿地碳汇功能的技术方法。针对目前滩涂湿地的恢复技术和功能提升技术的缺陷,拟通过分析植物种间关系和水鸟生境特征、诊断水环境质量、研制生态制剂和材料及构建生态单元等手段进一步完善。

现阶段滨海滩涂湿地资源的合理利用方式和产业化模式仍不明晰,可持续发展的管理模式尚缺乏示范,且滨海滩涂湿地智能决策系统研究匮乏,难以为其生态功能修复和生物多样性保护提供及时准确的决策支持。近年来,国内外学者已从关键生态过程的定性研究转向以模拟模型为工具的定量研究,较多关注于滨海湿地碳循环以及水文过程模拟。未来的研究将结合滨海湿地的物质生产资源流动和相关物质循环过程展开,有望通过大数据管理和生态情景模拟构建生态智能管理和决策系统。

参考文献:

- [1] 牟晓杰,刘兴土,阎百兴,等. 中国滨海湿地分类系统[J]. 湿地科学. 2015,13(1):19~26.
- [2] 李伟,崔丽娟,赵欣胜,等. 中国滨海湿地及其生态系统服务功能研究概述[J]. 林业调查规划. 2014,39(4):24~30.
- [3] Liu Jin'e, Zhou Hongxia, Qin Pei, et al. Comparisons of ecosystem services among three conversion systems in Yancheng National Nature Reserve. *Ecological Engineering*, 2009, 35(5): 609-629.
- [4] Beaumont N J, Jones L, Garbutt A, et al. The value of carbon sequestration and storage in coastal habitats[J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2014, 137(1): 32-40.
- [5] 张晓龙,李培英,李萍,等. 中国滨海湿地研究现状与展望[J]. 海洋科学进展. 2005, 23(1): 87-95.
- [6] 徐东霞,章光新. 人类活动对中国滨海湿地的影响及其保护对策[J]. 湿地科学. 2007, 5(3): 282-288.
- [7] Davis T J. The Ramsar Convention manual: a guide to the convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat[Z]. Gland (Switzerland) Ramsar Convention Bureau, 1994.
- [8] Lowry G V, Espinasse B P, Badireddy A R, et al. Long-term transformation and fate of manufactured Ag nanoparticles in a simulated large scale freshwater emergent wetland[J]. *Environmental Science and Technology*, 2012, 46(13): 7027-7036.
- [9] Winton RS, Richardson CJ. Top-down control of methane emission and nitrogen cycling by waterfowl [J]. *Ecology*, 2017, 98: 265-277.
- [10] Stihlaire F, Wu J, Roulet N T, et al. McGill wetland model: evaluation of a peatland carbon simulator developed for global assessments[J]. *Biogeosciences*, 2010, 7: 3517-3530.
- [11] Wu J, Roulet N T, Sagerfors J, et al. Simulation of six years of carbon fluxes for a sedge-dominated oligotrophic minerogenic peatland in Northern Sweden using the McGill Wetland Model (MWM) [J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2013, 118(2): 795-807.
- [12] 李凯,崔丽娟,李伟,等. 辽宁双台河口湿地能值评价[J]. 湿地科学与管理. 2015, 11(4): 9-12.
- [13] 赵欣胜,崔丽娟,康晓明,等. 基于能值分析的辽宁双台河口湿地产品供给价值评价研究[J]. 湿地科学与管理, 2015, 11(4): 13-15.
- [14] 潘旭,岳兴亮,崔丽娟,等. 辽宁双台河口湿地营养物质循环功能价值评价[J]. 湿地科学与管理. 2015, 11(4): 20-22.
- [15] 康晓明,崔丽娟,岳兴亮,等. 黄河三角洲芦苇湿地大气调节价值评价研究[J]. 湿地科学与管理. 2015, 11(4): 23-25.
- [16] 康晓明,崔丽娟,赵欣胜,等. 辽宁双台河口芦苇湿地固碳价值评价研究[J]. 湿地科学与管理, 2016, 12(2): 15-18.
- [17] 韩大勇,杨永兴,杨杨,等. 湿地退化研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1293-1307.
- [18] 张长宽,陈欣迪. 海岸带滩涂资源的开发利用与保护研究进展[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2016(1): 25-33.
- [19] Li Jianguo, Pu Lijie, Zhu Ming, et al. Evolution of soil properties following reclamation in coastal areas: A review [J]. *Geoderma*, 2014, 226/227: 130-139.
- [20] Fang S B, Jia X B, Yang X Y, et al. A method of identifying priority spatial patterns for the management of potential ecological risks posed by heavy metals [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, 237/238: 290-298.
- [21] Oleszczuk P, Baran S. Leaching of individual PAHs in soil varies with the amounts of sewage sludge applied and total organic carbon content [J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2005, 14(4): 491-500.
- [22] 巩晋楠,王开运,张超,等. 围垦滩涂湿地旱生耐盐植物的入侵和影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1): 33-39.
- [23] 黄翀,刘高焕,张海龙,等. 黄河河口湿地景观变化影响丹顶鹤生境的评价分析 [J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(4): 491-497.
- [24] Brooks RT. Potential impacts of global climate change on the hydrology and ecology of ephemeral freshwater systems of the forests of the northeastern United States [J]. *Climatic Change*, 2009, 95(3/4): 469-483.
- [25] 刘志杰,李培英,张晓龙,等. 黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价[J]. 环境科学. 2012, 33(4): 1182-1188.
- [26] 于君宝,阚兴艳,王雪宏,等. 黄河三角洲石油污染对湿地芦苇和碱蓬幼苗生长影响的模拟研究 [J]. 地理科学, 2012, 32(10): 1254-1261.

(下转第 137 页)

性必不可少的。经过项目组成员近几年的观察,梵净山石斛开花较多,然而极少结果,尤其是人工种植条件下。目前,在铁皮石斛种植上,通过授粉得到种子进而进行繁殖的方法也亦比较成熟。同样可以借鉴该方法进行梵净山石斛种子繁殖的探索。

4.3 合理开发利用 做到产业的差异发展

目前,石斛种植经济已经成形,尤其是温州市的乐清、永嘉等地区。九龙山国家级自然保护区周边的林业资源、劳动力资源等非常丰富。在梵净山石斛繁育技术研究成熟后,可鼓励山区、半山区群众利用林下资源,开展梵净山石斛的仿野生种植。虽然梵净山石斛的茎较铁皮石斛细,在产量上也许不占优势,但物以稀为贵,且梵净山石斛的花呈黄褐色或橙黄色,较铁皮石斛的花好看,是优良的观

赏植物,可结合观赏盆栽进行销售,在产业上与铁皮石斛做到差异发展。

参考文献:

- [1] 李振坚, 繆昆. 濒危石斛兰野生原种的迁地保护与引种驯化[J]. 中国野生植物资源, 2009, 28(6): 67-69.
- [2] 金效华, 张玉武, 肖丽萍. 中国石斛属一新种[J]. 植物分类学报, 2001, 39(3): 269-271.
- [3] 孙济平, 何顺志. 贵州特有药用植物的种类及分布[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(10): 735-738.
- [4] 徐文芬, 黄敏, 何顺志. 贵州兰科药用植物新资源调查[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(8): 18-21.
- [5] 叶喜阳, 吴棣飞, 李根友, 等. 浙江2种种子植物新记录[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(3): 478-479.
- [6] 林建丽. 福建省野生石斛属植物分布及生境调查研究[J]. 林业勘察设计, 2009(2): 13-16.
- [7] 郭岳, 徐清馨, 佟守正, 等. 黄河三角洲滨海湿地退化原因分析及生态修复[J]. 吉林林业科技, 2017, 46(5): 40-44.
- [8] 任葳. 基于微地形营造的黄河三角洲退化滨海湿地修复模式研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017.
- [9] Mitsch W J, Li Z, Fink D F, et al. Ecological engineering of floodplains[J]. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 2008, 8(2): 139-147.
- [10] 于丽丽, 牟长城, 顾韩, 等. 火干扰对小兴安岭落叶松-苔草沼泽温室气体排放的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5180-5191.
- [11] 张宏斌, 孟好军, 刘贤德, 等. 甘肃省张掖市黑河流域中游典型退化湿地植被特征及生态恢复技术[J]. 湿地科学, 2012, 10(2): 194-199.
- [12] 徐华林, 彭逸生, 葛仙梅, 等. 基于红树林种植的滨海湿地恢复效果研究[J]. 湿地科学与管理, 2012, 8(3): 36-39.
- [13] Tam N F Y, Guo C L, Yau W Y, et al. Preliminary study on biodegradation of phenanthrene by bacteria isolated from mangrove sediments in Hong Kong[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 45(1): 316-324.
- [14] Fediuc E, Erdei L. Physiological and biochemical aspects of cadmium toxicity and protective mechanisms induced in *Phragmites australis* and *Typha latifolia*[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2002, 159(3): 265-271.
- [15] 陈才俊. 围垦对滩涂动物资源环境的影响[J]. 海洋科学, 1990, 14(6): 48-50.
- [16] 宋达泉. 我国海岸带土地、生物资源的开发利用[J]. 自然资源学报, 1988, 3(2): 114-120.
- [17] 陈金干, 韩迪生. 产业化是滩涂资源深度开发的必由之路——大丰市苇鱼养殖场推进产业化的实践和思考[J]. 盐城师范学院学报: 人文社会科学版, 1998(2): 127-129.
- [18] 李文华, 邵学新, 吴明, 等. 杭州湾潮滩湿地土壤碱性磷酸酶活性分布及其与磷形态的关系[J]. 环境科学学报, 2013, 33(12): 3341-3349.
- [19] 梁威, 邵学新, 吴明, 等. 杭州湾滨海湿地不同植被类型沉积物磷形态变化特征[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5025-5033.
- [20] Fink D F, Mitsch W J. Hydrology and nutrient biogeochemistry in a created river diversion oxbow wetland[J]. *Ecological Engineering*, 2007, 30(2): 93-102.
- [21] 李俊生, 赵彩云. “主要入侵生物生态危害评估与防治修复技术示范研究”项目介绍[J]. 生物多样性, 2016, 24(10): 1200-1200.
- [22] 张国宝, 蔡体久, 徐飞. 小兴安岭退化沼泽湿地植被恢复技术[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(6): 112-118.
- [23] Cherry J A, Gough L. Trade-offs in plant responses to herbivory influence trophic routes of production in a freshwater wetland[J]. *Oecologia*, 2009, 161(3): 549-557.
- [24] 赵彩云, 柳晓燕, 白加德, 等. 广西北海西村港互花米草对红树林湿地大型底栖动物群落的影响[J]. 生物多样性, 2014, 22(5): 630-639.
- [25] Megonigal J P, Neubauer S C. Biogeochemistry of tidal freshwater wetlands. *Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach*[M]. Elsevier, Amsterdam, 2009: 535-562.
- [26] Zedler J B. Progress in wetland restoration ecology[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, 15(10): 402-407.
- [27] 彭少麟, 任海, 张倩媚. 退化湿地生态系统恢复的一些理论问题[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2026-2030.
- [28] 崔丽娟, 张岩, 张曼胤, 等. 湿地水文过程效应及其调控技术[J]. 世界林业研究, 2011, 24(2): 10-14.