

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因素	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园地磷素状况的影响	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-04



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大,红树的呼吸根就长得越高越粗大。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201109201382

黄华梅, 高杨, 王银霞, 娄全胜, 谢健. 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.

Huang H M, Gao Y, Wang Y X, Lou Q S, Xie J. Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2571-2580.

疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力

黄华梅, 高 杨, 王银霞, 娄全胜, 谢 健*

(国家海洋局南海海洋工程勘察与环境研究院, 广州 510300)

摘要:疏浚泥传统的海上倾倒方式现已成为海洋的主要污染来源, 而将疏浚泥应用到滨海湿地生态工程具有重要的价值和意义。疏浚泥应用于滨海湿地生态工程在国外的系统研究超过 40a, 工程运用已有上百年的历史。综述了海洋疏浚泥运用于滨海湿地生态工程的研究前沿和工程运用现状, 同时分析其典型的生态工程案例, 以期为我国的技术推广提供参考。

疏浚泥用于生态工程用途主要有: (1) 生态保育下沉和侵蚀性海岸湿地: 人为补给疏浚泥可以补偿因高程降低或者海岸侵蚀带来的负面影响, 国际上通常采用疏浚泥薄层覆盖法。 (2) 生态修复受损的滨海湿地: 疏浚泥作为基质恢复和重建其潮间带生境, 修复因围垦等人类活动严重受损的湿地, 从而恢复湿地植被群落; (3) 建造人工生态岛: 将疏浚泥堆置于便利处, 形成自然疏浚泥岛, 按照不同的设计高程创造出不同的生境, 随着自然的演替, 岛屿演替成为生物多样性高和生境丰富的岛屿。

以国际上的疏浚泥生态工程运用为借鉴, 结合目前我国海洋经济发展的现状和滨海湿地面临的一系列挑战, 分析疏浚泥在我国滨海湿地生态重建和生态修复等工程方面的应用前景, 为缓解我国海洋产业经济发展和滨海湿地生态环境保护之间的矛盾提供技术借鉴。

关键词: 海洋疏浚泥; 滨海湿地; 生态工程; 海洋产业经济

Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China

HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, LOU Quansheng, XIE Jian*

South China Sea Marine Engineering and Environment Institute, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China

Abstract: Dredged marine sediments, which are traditionally discarded by open sea disposal, have historically been one of the main marine pollution sources. It is therefore of great value to investigate the beneficial use of these sediments for coastal ecological engineering applications. Recognizing the importance of this beneficial utilization, some countries have been conducting research in this field for up to 40 years. Linked with this, the practice of ecological engineering has a history of more than 100 years worldwide, with demonstration projects distributed along the Atlantic and Pacific coastal zones, and in estuary wetlands. This paper reviews the current research trends and synthesizes engineering application cases worldwide, aiming to provide guidance for dissemination of this technology in China.

The main functions of ecological engineering with placement of dredged marine sediments are summarized as follows: (1) Stabilize and nourish subsiding and eroding coastal wetlands. Coastal wetlands in many areas are deteriorating due, in part, to sediment depletion, subsidence and sea level rise. The ecological engineering efforts using dredged marine sediments provide a potential alternative to ameliorate these effects, and to help restore and nourish coastal ecosystems. (2) Restore the deteriorated wetlands. Dredged materials can be used as a substantial substrate to restore the coastal wetlands in

基金项目: 国家海洋局海洋公益性项目(201105024); 人力资源和社会保障部“留学回国人员科技活动择优资助项目”

收稿日期: 2011-09-20; **修订日期:** 2012-03-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: scsmeei@163.com

formerly diked lands drained for agriculture and other purposes. The potential use of dredged materials includes enhancing the sediment budget at low elevations, reintroduction of tidal effects, and improving the geomorphology of the marsh plant forms. (3) Create artificial ecological islands. Artificial islands may be created with dredged marine materials, and different types of habitats are developed with various elevations to provide nesting and refuge habitats for birds and other wildlife. Historically, many dredged material islands originally created based simply as a convenient placement option have developed naturally into productive and valuable wildlife habitat, supporting abundant biodiversity and various habitats.

Based on the accumulated information, which includes the most environmentally sound and technically feasible options for dredged material placement in modern ports and harbors, and taking into account the oceanic industry and the environmental challenges of China, this study discusses the potential applications of dredged marine sediments for coastal engineering. The summarized information from these global experiences provides potential opportunities to combine dredged marine materials treatment with coastal ecological engineering, guaranteeing the sustainable development of the marine industry. The main purpose of this study is to provide an alternative solution to the contradiction between the oceanic economic development and coastal wetlands ecological and environmental protection.

Key Words: dredged marine sediments; coastal wetlands; ecological engineering; marine industrial economy

海洋疏浚泥是港口航道在开挖和维护过程中所产生的疏浚废弃物,其传统处理方式是在海洋倾废区进行海上倾倒。然而随着海洋经济的快速发展,港口、航道等海洋和海岸工程的建设及维护工程的迅速增多,近年来向海洋倾倒的疏浚泥不断增加,疏浚泥倾倒与海洋环境保护之间的矛盾日益突出,现已成为海洋的主要污染源^[1-3]。由于意识到疏浚泥海洋倾倒对海洋生态系统的危害,很多国家逐渐取消和限制了一些海洋抛泥。美国 1992 年推行出了新的疏浚泥检测标准,根据新的标准,大多数港口航道的疏浚泥已不再适合海洋倾倒^[4-5]。一些国际公约组织如巴黎公约和伦敦公约正要求其签约成员采取步骤,防止并消除疏浚物污染,保护海域环境。另一方面,疏浚泥也是一种资源,如何综合利用疏浚泥,使其不危害环境的同时,发挥其自身的价值和效益,目前该方面的研究已成为热点问题之一^[2,6-8]。

滨海湿地是全球生态系统的重要组成部分,蕴藏着丰富的动植物资源,具有强大的生态功能,也是人类最重要的生存环境之一。然而,随着海洋经济的快速发展,我国滨海滩涂湿地正面临面积减少,湿地质量下降等一系列问题。而以滨海湿地为生境的鸟类和其它湿地野生生物的种类和数量也面临着威胁^[9-10]。滨海湿地生态工程主要应用生态系统自组织和自调节能力对环境或生态系统本身进行修复、重建或者保育,主要辅以人工措施以加快生态系统恢复的步伐^[11-12],其主要目标是生态系统功能的恢复。在生态工程中,生产者植被生长的底质的修复是重要的基础^[12]。

疏浚泥作为滨海湿地生态工程的物质基础,用于滨海湿地生态工程,在国外的系统研究已有 40 多年的历史,工程运用已有上百年的历史^[13-20]。在过去的 100a 间,美国陆军工程兵团为处理航道及港口维护性疏浚的大量疏浚弃土,其实施的生态工程遍布整个美国东西海岸带和河口地区^[11-16],最主要的生态工程主要包括海岸和河口海湾湿地的生态修复和生境建设,人工生态岛建设等,其中代表性的生态工程包括美国旧金山湾的索诺玛海湾(Sonoma Bayland)和德克萨斯州加尔维斯顿湾(Galveston Bay)潮间带湿地的生态修复,切萨皮克湾贝伊汉哲岛(Poplar Island)、密西西比湾鹿岛(Deer Island)等人工生态岛的建设^[21]。归纳起来,国际上海洋疏浚泥用于海岸带滨海湿地生态建设的研究和工程运用主要为 3 个方面,下沉和侵蚀海岸带的生态保育、受损滨海湿地生态修复和建造人工生态岛。

国内关于疏浚泥的研究主要集中在快速固化,作为填海材料或建筑材料等用途上^[6-8],而将疏浚泥用于滨海湿地建设和生态修复工程,从而发挥疏浚泥的资源环境价值方面的研究较少,目前也未见成功的工程实践。

本文在综述海洋疏浚泥运用于滨海湿地生态工程的国际研究前沿和工程运用现状的基础上,结合我国海

洋经济发展的现状和河口海岸湿地面临的一系列挑战,探讨海洋疏浚泥综合用于滨海湿地生态工程的应用前景,以期缓解我国海洋经济发展和滨海湿地生态环境保护之间的矛盾提供技术参考。

1 下沉和侵蚀性海岸带的生态保育

1.1 工程运用综述

海岸带滩涂植被种类的分布和丰富度主要取决于沉积物、高程和水位三方面的因素^[22]。当水中泥沙含量减少或者海平面上升时,随着潮侵时间的延长,原有的湿地植被开始退化。因此,人为补给沉积物可以补偿因高程降低或者海岸侵蚀带来的负面影响,保育下沉和侵蚀性海岸滩涂湿地植被。生产者植被生长的底质的修复是重要的基础^[12]。疏浚泥内含有丰富的次生矿物,富含腐殖质胶体,能使土壤形成团粒结构,是下沉和侵蚀性海岸湿地生态工程中潜在的物质基础。将疏浚泥用于此类滨海湿地生态保育的理念主要来源于海岸植被能适应自然的过程,如台风等自然过程带来的泥沙覆盖于滩涂植被之上,而植物往往能自我恢复,很好的适应这一自然过程^[23]。

下沉和侵蚀性湿地生态保育的工程措施通常采用疏浚泥薄层覆盖法,主要利用高压喷射法将泥浆水抽至海岸湿地中,泥浆沉降后形成疏浚泥覆盖层。利用疏浚泥生态保育下沉和侵蚀性海岸的关键是疏浚泥覆盖层的厚度。20 世纪 90 年代早期,美国成立的专项课题“疏浚项目的环境效益”^[24-26]。相关的科研机构 and 科学家也做了大量的野外试验^[27-29],解决下沉和侵蚀性湿地的工程覆盖层厚度和滩涂植被健康生长的关系。Wilber^[26]通过几组典型的样地试验,给出指导性的相关疏浚泥覆盖厚度,为海岸湿地的生态保育提供基础数据。Reimold 等^[30]和 Ford 等^[31]的实验表明,许多盐沼植被对于覆盖于其上的疏浚泥有良好的适应能力。互花米草(*Spartina alterniflora*)能穿透不超过 23 cm 的疏浚泥覆盖层,经过两个生长季节,能完全恢复其生长态势。DeLaune 等^[29]进一步的研究表明,薄层覆盖的疏浚泥更有利于滩涂植被的生长发育,能显著提高互花米草等植被的地上生物量和萌芽力等。

1.2 典型案例分析

疏浚泥用于海岸湿地生态保育的典型案例来源于美国马里兰州的切萨匹克湾(Chesapeake Bay)的黑水国家野生生物庇护所生态工程^[32-34]。该区域位于黑水河河口,包含了马里兰州近三分之一的湿地面积,是列入拉姆萨湿地公约的重要湿地,为众多鸟类和其它野生生物提供重要的生境。但是,自 20 世纪 30 年代以来,由于海平面上升、海岸侵蚀、盐水入侵的综合影响,以及从南美洲引入海狸鼠后,湿地植被遭到毁灭性破坏从而导致海岸侵蚀,加上海狸鼠在滩涂的凿洞进一步加重了侵蚀的过程,该区域的湿地面积丧失了近 3238 hm²。

利用疏浚泥恢复湿地生境是湿地生态修复的内容之一。目前该生态工程已分别于 20 世纪 80 年代和 2003 年完成了两个样地的示范工程。项目由巴尔的摩政府美国渔业和野生动物机构联合完成,利用高压泵将疏浚泥泥浆抽取至切萨匹克湾的黑水野生生物庇护所地势低洼处,创造出更多的适合植被生长的生境,从而促进盐沼植被的恢复和生长发育。

2003 年的示范工程在总结前一次工程的基础上,根据当地水文水动力和高程条件,设计不同的目标高程,以满足不同植被类型的生境要求,创造多样化生境。工程的实施主要包括 3 部分:(1)工程预先采用草杆或者木桩定植于需修复的区域(图 1A),以利于减缓水速,促进泥沙的沉降;(2)利用高压泵定向将疏浚泥泥浆抽取至目标地,直接覆盖于滩涂植被、光滩或者浅滩之上(图 1B 和 C),覆盖的厚度根据实际为 10—60 cm;(3)待潮间带湿地高程修复至目标高程后,根据需要种植植被,以本地种互花米草(*Spartina alterniflora*)和盐沼纸莎草(*Schoenoplectus robustus*)为主(图 1D)。根据随后的监测资料^[34],原盐沼植被经过 1—2 个生长季节,大多能穿透疏浚泥层,恢复其优势种的态势;而原来光滩或者浅滩的高程修复后,其种植的植被也生长发育良好。此外,利用疏浚泥修复的滩涂湿地养分充足,在植被种植时完全不需要施肥。

此次样地的生态工程共成功修复了 3.2 hm² 的潮间带生态湿地,随后其滩涂植被群落和底栖生物多样性比生态修复前显著提高,目前成为鸟类重要的栖息地^[32]。通过样地试验,证明利用疏浚泥修复保育下沉式或



图1 黑水国家野生生物庇护所湿地生态工程

Fig. 1 The Ecological Engineering in Blackwater National Wildlife Refuge

A. 草杆或木桩以减弱水流;B. 浅滩中的高压喷射;C. 沼泽中的高压喷射;D. 滩涂高程修复后的植被种植

者侵蚀性湿地在技术上可行,同时能充分利用资源。该方法是有效避免湿地生境丧失,保育湿地的有效手段。目前,马里兰州政府和美国陆军建设兵团正考虑将整个黑水野生生物庇护所作为巴尔的摩港口和航道的疏浚泥的接收地之一,在前两个示范项目的基础上,全面推广疏浚泥用于滨海湿地的生态保育工程,以作为《巴尔的摩港口航道疏浚泥管理计划》的组成部分,相关的环境影响评价正在征求公众意见^[34]。

2 受损滨海湿地生态修复

2.1 工程运用综述

近百年来的人类活动,尤其是筑坝之后,滩涂变为盐田或者农田,湿地质量已严重受损退化。湿地退化其中重要的原因是:筑坝之后,潮汐作用中断导致沼泽泥沙来源缺失;加上重型机械的碾压,地表下沉;此外,由于长期暴露于空气中氧化作用,堤内的底质理化性质改变,即使在退堤之后不能满足盐沼湿地植被的生长^[16,18]。目前,受损湿地的生态修复已成为世界各沿海国家重要的生态工程项目。美国国家科研委员会(National Research Council, NRC)已确定海岸湿地的恢复是全国的生态保护项目的重点^[35-37]。

疏浚泥用于湿地生态修复项目的研究目前已比较深入,主要方向包括修复湿地水文水动力条件、湿地植被选择和种群恢复、潮间带生物恢复以及疏浚泥用于生态工程对生态系统造成的损害等^[13,16]。美国政府从1950s开始先后在特拉华湾(Delaware Bay)、墨西哥湾(Gulf of Mexico)、旧金山湾(San Francisco Bay)等典型的河口海湾地区成立专项课题,同时建立了相应的示范样地。英国政府已1990s开始资助疏浚泥的综合研究项目,2003年之后则开始资助HR Wallingford和CEFAS两个大型生态工程项目,同时开展示范区的工程和建立长期监测系统。目前,样地示范区的奥威尔河口(Orwell Estuary)和克劳奇河口(Crouch Estuary)生态修复项目已完成,目前已进入监测阶段,英国政府正酝酿将该湿地生态修复经验在其它河口区推广^[38]。

2.2 典型案例分析

利用疏浚泥修复滨海湿地的典型案例来源于美国旧金山的索诺玛海湾(Sonoma Bay)潮间带湿地的修

复^[39-41]。旧金山湾是加利福尼亚太平洋海岸最大的河口区,历史上有着大面积生境多样化的潮间带湿地。这些湿地在近 150a 来逐渐被围垦,如今,潮间带海岸湿地仅为历史上的 10%,湿地生境丧失严重。项目于 1993 年由美国总统亲自签署,利用疏浚泥修复该地区退化的湿地作为奥克兰港口疏浚项目的一部分来实施。1996 年,该生态修复实施完成,利用了 $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的疏浚泥修复了 138 hm^2 的潮间带滨海湿地,成为当时该地区独一无二的湿地生态修复示范工程,也是美国第一个成功将疏浚泥用于潮间带湿地生态修复的工程。

疏浚泥用于生态修复的关键是潮间带的工程设计以及高程的控制,生态修复项目的主要目标是将废弃的围垦区恢复成滨海湿地。工程设计的基本原则是遵循自然规律,充分利用自然的过程,修复后的湿地尽量要求最少的维护。工程的目标是为野生生物创造多样化的生境,如低潮滩的狐米草(*Spartina foliosa*)生境将为加利福尼亚州秧鸡(*Rallus longirostris obsoletus*)提供筑巢地,海蓬子(*Salicornia pacifica*)将为盐沼的禾鼠提供生境,而潮间带的光滩则将为迁徙的禽类提供觅食场所。生境的设计,包括多级潮沟系统,将模拟自然的潮间带湿地。所有的这些复杂多样化的生境设计的目标就是为野生生物提供最大的生态价值。与此同时,在滩涂高程的设计时也充分考虑潮间带滩涂自然演变的过程,即随着滩涂的淤积,光滩将演变成为低潮滩,低滩沼泽则会向中高滩沼泽演替进化,而中高滩湿地将会向潮上带演变。除湿地系统外,修复样地的主要防护工程还包括防洪堤、碎波半岛、预留潮汐通道等(图 2)。

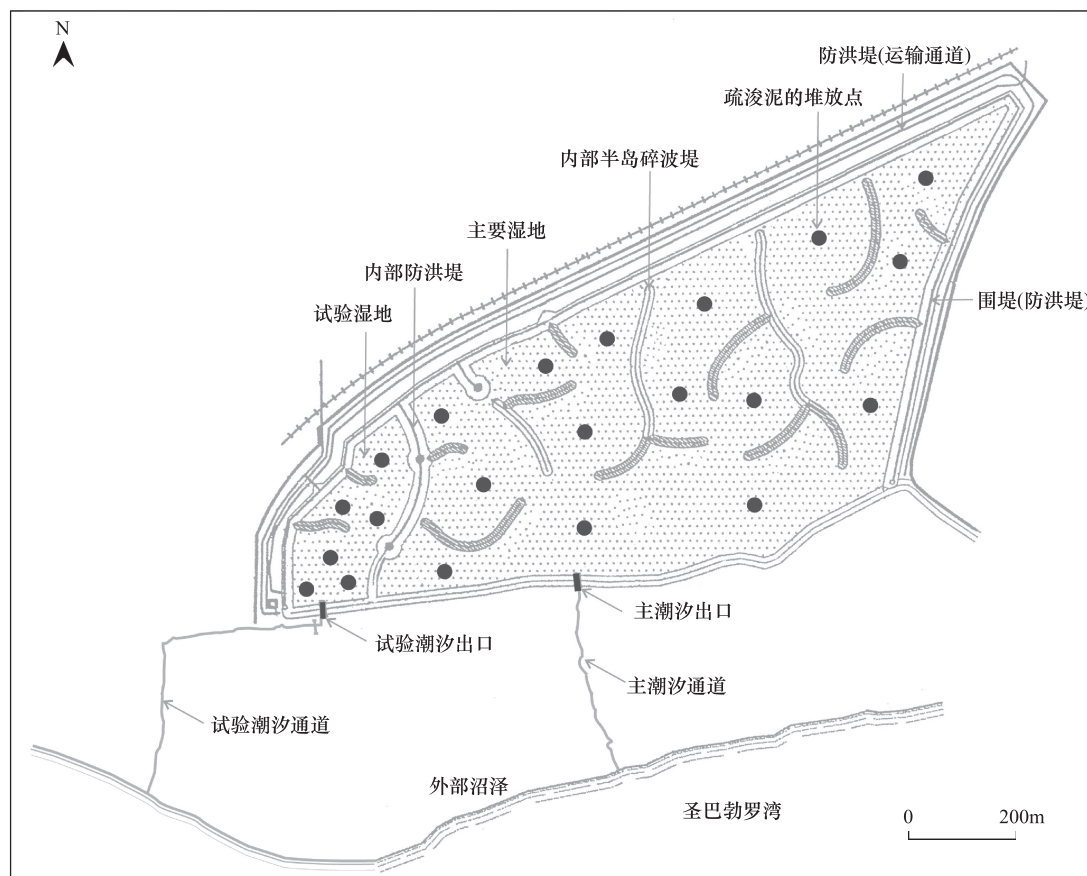


图 2 索诺玛人工湿地修复的工程结构图

Fig. 2 Design for Sonoma Baylands tidal wetland restoration

1994 年 7 月,该项目的防波堤和碎波半岛开始建设,历时 2 个月。1995 年 5 月,奥克兰港口的疏浚泥运往该地。所有探测高程的电阻探头都工作正常,从湿地内排出的回水满足排水的水质标准。1996 年 10 月,湿地与外界海水连通,湿地内的潮流系统被修复。项目生物和物理方面的监测在潮流系统修复前两周开始,将会进行长达 20a 的监测。监测的指标主要包括:湿地纳潮口的侵蚀情况,湿地内潮沟的发育水平,潮沟的发

育形态,盐沼植被的发育情况,湿地内鸟类和底栖动物^[41-42]。根据 2010 年的监测报告,样地内潮流生态系统恢复后水文水动力条件发育稳定,潮沟逐渐形成,湿地逐渐有植被的定居和生长发育^[41]。

3 建造人工生态岛

3.1 工程运用综述

疏浚泥建造生态岛有较长的历史,港口航道疏浚泥历史上的传统处理方式是就近堆置于便利处,自然形成疏浚泥岛。经过一段时间的演替,随着植被的定居,这些岛屿演替成为生物多样性高和生境丰富的岛屿。在美国的大西洋和墨西哥沿岸及河口地区,已有 2000 多个疏浚泥形成的生物岛。这些生态岛以单独或者组团式出现,如今正发挥着提供多样化生境等重要的生态环境功能,成为鸟类和其它野生生物重要的栖息地,同时有些生态岛已成为人类垂钓和观鸟等休闲娱乐岛^[43-45]。此外,在世界范围内的河口地区,也有大量的由疏浚泥堆积形成的人工岛,如今大多是河口区重要的生境^[18]。

美国陆军建设兵团疏浚泥研究项目中的鸟类和野生生物岛的建设,已作为区域生境建设的重要部分,成为全国战略性的环境保护策略之一。关于生态岛建设技术、植被的定居和种群的形成、鸟类和野生生物利用已有文献做了相应的阐述^[43]。美国陆军建设兵团对于疏浚泥建造人工生态岛已作了相当多的研究,并在多个州以及太平洋西北沿岸、密西西比河的上游地区和五大湖地区开展了相关的试验,重要的成果包括地形地貌、植被、海岛稳定的结构、人工生态岛对周边水生和陆生生态系统的效应、岛上鸟类和其它野生生物的定居情况^[44]。这些研究和试验成果为人工岛屿结构以及岛屿的野生生物群落的定居演替提供了重要的技术参考。人工生态岛的目标是提供最大的异质生境,包括土丘、低洼湿地、泥潭和沙滩,以利于鸟类和野生生物栖息。

3.2 典型案例分析

疏浚泥用于建造人工生态岛的典型案例为贝伊汉哲岛(Poplar Island)的生态工程^[45-47]。该群岛位于美国马里兰州切萨皮克湾中部,在历史上为有居民海岛,20 世纪初岛上还分布有农场和其它的基础设施。由于自然的侵蚀,该海岛退化严重,至 20 世纪 90 年代初期,该岛就只剩下 4 处出露水面。在巴尔的摩港口公司、美国陆军建设兵团和马里兰州环保部门的共同努力下,90 年代初期启动利用疏浚泥重建贝伊汉哲岛的工程,主要接受来自巴尔的摩港口(Baltimore Harbor)航道的疏浚泥。该项目工程建设于 1998 年开始,计划于 2020 年结束。目前,已形成了 461.7 hm² 的人工生态岛,至项目完成时,另外的 230.85 hm² 也将形成,预计共接纳疏浚泥 32.11×10⁶ m³。全岛总分为 6 个大的疏浚物堆放单元,包括 4 个潮间带湿地单元(Cell 1,3,4,5)和 2 个潮上带生境单元(Cell 2 和 Cell 6),见图 3 所示。潮间带湿地单元包括 80% 的低滩湿地和 20% 高滩湿地,通过其内部的堤坝又分为不同的亚单元,本示范项目在湿地 3d 亚单元(Cell 3d)中进行,该亚单元面积为 12.95 hm²。

项目的实施共分为 4 个不同的阶段,第一阶段为疏浚泥浆进水,其关键是让疏浚泥迅速固化,并达到要求的高程;第二阶段是为缓坡和潮沟建设,按设计要求用挖土机挖出相应的潮沟,开挖潮沟的泥按坡度设计平推至周边区域进行回填;第三阶段为内部结构设施的建

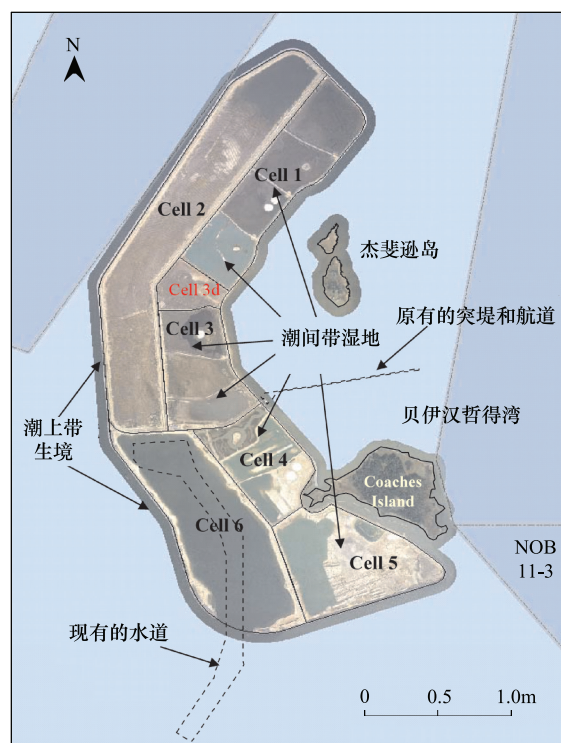


图 3 贝伊汉哲岛疏浚泥堆放的单元结构

Fig. 3 Location of cells for the placement of dredged marine sediments on Poplar Island

设,即在单元近海湾的防波堤下埋埋管道,让湿地和外界的海湾相通,使湿地受到潮汐作用,恢复湿地内的水文水动力;第四阶段为植物种植阶段。湿地植被的主要物种为互花米草和狐米草,种植方式以播种、容器苗、扦插和植物根茎移植为主。

整个人工生态岛的重建工程目前已完成该示范样地的建设。目前人工生态岛包括潮间带湿地和潮上带灌丛,其中潮间带包括潮沟、光滩和盐沼等多样化生境,海岛生态环境已基本恢复至破坏前的状态,很多消失的鸟类又来此栖息。

根据随后几年的实地监测情况,该工程项目得出的主要结论如下^[45,47]:

(1)在湿地生态工程中,疏浚泥中富含氮氮和磷等营养元素,不需要施肥;

(2)扦插是建立人工湿地成活率最高的种植方式;种子繁殖成本低,为提高发芽率,应对种子进行相应的前期处理;

(3)当氮素富集在植物体内时,植株易吸引虫子和真菌,从而引起植株的病菌感染;

(4)疏浚泥作为生长底质中的氮素将会逐渐被湿地植物所吸收,湿地植被也因此将呈现出不同的生长特征(图4)。



图4 3d 亚单元的植被种植示意图^[45]

Fig. 4 Planting zones for cell 3d^[45]

4 海洋疏浚泥在我国滨海湿地生态工程的应用潜力分析

4.1 疏浚泥处理与海岸生态工程结合,保障港口经济的健康发展

随着我国海洋经济的快速发展,交通运输业在海洋产业中的重要性也愈加明显,港口航道疏浚所产生的海洋疏浚泥数量近年呈现上升的趋势^[1]。目前向海倾倒的疏浚泥给海域环境造成了巨大的负面影响,使我国港口经济发展面临的重大挑战^[2]。

国际上资源化利用疏浚泥进行生态工程的经验为我国处理港口航道疏浚泥提供了良好的借鉴,可以充分参考美国美国陆军建设兵团综合再利用疏浚泥的经验,将海洋疏浚泥运用于滨海湿地生态重建和生态修复工程中。这样是保护近岸的海洋环境和生物多样性,保障港口经济的健康和可持续发展的有效手段。

4.2 疏浚泥用于河口湿地的生态保育,稳定侵蚀性的海岸

近年来由于河流上游和海岸地区人类活动的加剧,河口区的泥沙含量发生变化,直接影响河口地区的冲淤环境,从而导致河口湿地面积的减少和功能的退化^[48]。同时,也随着近岸工程尤其是大规模的围填海项目的实施,很多滨海湿地直接被围垦,自然岸线不断减少,滨海湿地退化,海岸环境承载力下降。此外,围填海等重大改变海岸自然属性的项目造成近岸水动力条件的改变,有些局部岸段演变成侵蚀岸段,原有的滨海湿地进一步退化。

对于典型退化的河口地带和侵蚀岸段的滨海湿地,国际上利用疏浚泥保育下沉式和侵蚀性海岸湿地为我们提供了参考。将海洋疏浚泥用于此类滨海湿地的生态修复和生态重建工程,可以有效加固海岸。滨海湿地生态系统形成后,湿地中的植被根系能有效稳固泥沙,同时创造多样化的生境,提升海岸和近海海域生态环境质量。

4.3 疏浚泥用于人工生态岛建设,作为海洋经济发展的后备土地资源

通过围填海向海洋要发展空间已成为缓解沿海地区发展的土地资源“瓶颈”、推动经济社会发展的重要途径之一。根据国家海洋局《关于改进围填海造地工程平面设计的若干意见》的相关精神,为了保护原始岸

线,离岸式的人工岛式填海是今后填海造地的主要方式。目前,我国很多填海多采取封闭的围堰吹填方式,填海形成的陆地直接用于工程建设,功能上与海洋生态系统完全隔绝。

我国今后在人工岛式填海方式上可充分借鉴国际上的人工生态岛的建设经验,填海的前期工程可与生境的营造有机结合起来,充分利用疏浚泥营造人工生态岛,发挥其湿地生态功能,形成稳定的海岛湿地生态系统。后期则可作为自然生态岛,为野生生物提供栖息地和觅食场所。在将来充分论证的基础上和开发条件成熟的条件下,也可在生态岛上建设宜居型的海上城市或建设新型绿色产业园区,为今后的经济建设提供良好的备用空间。

4.4 疏浚泥用于退化海岸生态修复,提高滨海湿地生态环境质量

《全国湿地保护工程规划》(2004—2030 年)指出,人类对滨海湿地的过度利用是滨海湿地面临的主要威胁之一^[48]。在我国,人类活动对南、北滨海湿地的影响也有一定的差异,北方主要是油田的开发破坏及污染;南方主要是对红树林的破坏^[9,49]。

根据我国近年来海洋经济的发展和海洋产业结构调整的趋势,传统养殖区已不适合养殖,很多南方海岸已出现了养殖塘废弃的现象,而这些废弃的养殖塘大多是历史上围垦红树林湿地而来的。对于此类退化的海岸,可充分借鉴本文所分析的潮间带生态修复的经验,充分利用附近港口航道的疏浚泥,根据当地的水文水动力条件,恢复潮间带的潮沟系统,创造适宜的红树林生境,从而逐步恢复红树林生态系统的结构和功能,修复退化的海岸湿地。

5 结论和建议

疏浚泥作为一种基质资源,运用于海岸带生态修复和人工岛生态重建在世界范围内已有相当多成功的案例,其生态工程技术和综合风险评价系统已相当成熟。而我国疏浚泥资源化利用的研究才刚起步,其应用于滨海湿地生态工程的研究几乎空白,目前国内还未见成功的工程案例。

我国是海洋大国,随着海洋经济在国民经济中所占比重的增大,海岸和近岸海域也面临一系列的生态环境问题。大量的自然岸线被人工岸线所代替,滨海湿地面积大大减少,湿地生境丧失,生物多样性降低。此外,由于海岸工程的建设,改变了原有的水动力环境,致使某些岸段的稳定性降低甚至出现侵蚀,也导致滨海湿地生态系统的退化。所有的这些生态环境问题必将会影响海洋经济的健康可持续发展。因此,亟需对海岸和近岸海域的自然生态环境进行保育和修复。

疏浚泥用于海岸生态工程,可有效解决港口航道疏浚泥海洋污染问题,保障港口经济的健康发展。对于侵蚀性的岸段,我国可参照国际上生态保育的经验,运用疏浚泥对受损的湿地实施生态工程,确保岸段的稳定性。针对目前我国大量的围填海项目,可参照国外人工岛的建设经验,将人工岛填海工程与生态建设结合,实施人工岛生态工程,可作为今后宜居城市的建设基地,也可作为关键物种的保育区。我国北方海岸主要以修复和重建典型的盐沼湿地为主,如黄河三角洲地区芦苇湿地的修复^[50];长三角地区可利用疏浚泥有效治理外来物种的生物入侵,如生态修复工程可与治理外来种互花米草工程有机结合,保育典型的芦苇和海三棱藨草盐沼湿地;而我国南方地区滨海湿地的修复则主要以修复红树林生态系统为主^[49]。

依据国家海洋局、科技部联合发布的《全国科技兴海规划纲要(2008—2015)》,我国把“加快海洋公益技术应用,推进海洋经济发展方式转变”作为重要任务之一,其中“海洋生态保护、修复技术集成与应用”作为此项任务的主要工作内容。此外,《规划纲要》也将“实施重大示范工程,带动科技兴海全面发展”作为科技兴海工作的重要任务,规划将建立 3—5 个生态示范工程,重点包括建立滩涂生态系统修复示范区,集成示范、推广耐盐植物修复技术;建立滨海湿地、红树林和珊瑚礁生态系统修复工程,实施退化区原位修复和异地修复技术开发和综合示范。因此可见,国家已将滨海湿地生态修复提高到战略的高度。将海洋疏浚泥变废为宝,充分发挥其生态环境价值,修复退化的滨海湿地的研究和技术应用面临较好的发展机会。

References:

- [1] Zhang H Q, Xie J, Zhu W, Huang Y Z, Shi P. Present situation of dredged materials dumping and the study of transforming dredged mud into

- regenerative resources; difficulties of refuses dumping in China Seas and Countermeasures to deal with these problems. *Marine Science Bulletin*, 2004, 23(6): 54-60.
- [2] He G F, Yuan G M, Xie J, Shi P, Tian H T, Wang L. Countermeasure on promotion the beneficial utilization of ocean dredged material. *Natural Resource Economice of China*, 2009, 22(8): 18-19.
- [3] Jiang Z C, Liu W Q, Zheng X L. Impact of the temporary dumping Ground on the sea area and its surroundings. *Acta Scientiarum Naturallium Universitatis Sunyatseni*, 2006, 45(2): 88-91.
- [4] USACE, USEPA. Guidance for performing tests on dredged material proposed for ocean disposal. New York; US Environmental Protection Agency, 1992.
- [5] USEPA. Quality assurance guidance for conducting brown fields site assesments. Washington, DC; US Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1998.
- [6] Zhu W, Zhang C L, Liu H L, Gao Y F. Review for the beneficial reuse of dredged marine mud. *Environmental Science and Technology*, 2002, 25(4): 39-41.
- [7] He G F, Xie J, Tian H T, Shi P, Wang L. Potential industrialization for beneficial utilization of dredged marine sediments in China. *Ocean Development and Management*, 2008, 25(9): 60-62.
- [8] USEPA, USACE. Identifying, Planning, and financing beneficial use projects using dredged material; beneficial use planning manual. Washington DC; USEPA, USACE, 2007.
- [9] Xu D X, Zhang G X. Impact of human activities on coastal wetlands in China. *Wetland Science*, 2007, 5(3): 282-288.
- [10] Chen Z Q, Jin J, Chen Y. The status and significance of seashore wetland protection in China. *Environmental Pollution and Control*, 2006, 28(12): 930-933.
- [11] Perrow M R, Davy A J. Handbook of ecological restoration, Volume 1: principles of restoration. Cambridge, UK; Cambridge University Press, 2002: 257-278.
- [12] Klotzi F, Gootjans A P. Restoration of natural and semi-natural wetland systems in Central Europe: progress and predictability of developments. *Restoration Ecology*, 2001, 9(2): 209-219.
- [13] Earhart G, Clarke D, Shipley J. Beneficial uses of dredged material in shallow coastal; Chesapeake Bay demonstrations. Vicksburg, MS; US Army Engineer Waterways Experiment Station, 1988.
- [14] Garbisch E J, Woller P B, McCallum R J. Salt marsh establishment and development, technical memorandum 52. Fort Belvoir, VA; US Army Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center, 1975.
- [15] Landin M C. Habitat development at eight corps of engineers sites; feasibility and assessment. Vicksburg, MS; Army Engineer Waterways Experiment Station, 1982.
- [16] Weinstein M P, Weishar L L. Beneficial use of dredged material to enhance the restoration trajectories of formerly diked lands. *Ecological Engineering*, 2002, 19: 187-201.
- [17] Allen H H, Shirley S O. Wetlands created for dredged material stabilization and wildlife habitat in moderate to high wave-energy environments, environmental effects of dredging technical notes. Vicksburg, MS; US Army Engineer Waterways Experiment Station, 1988.
- [18] Yozzo D J, Willber P, Will R J. Beneficial use of dredged material for habitat creation, enhancement, and restoration in New York-New Jersey Harbor. *Journal of Environmental Management*, 2004, 73: 39-52.
- [19] USACE, USEPA. Beneficial uses of dredged material. [2011-02-15]. <http://www.wes.army.mil/el/dots/budm/index.html>.
- [20] Coata-Pierce B A, Weinstein M P. Use of dredge materials for coastal restoration. *Ecological Engineering*, 2002, 19: 181-186.
- [21] Craig Vort Inc. Beneficially using dredged materials to create, restore habitat and restore brownfields, and team collaborative efforts that have achieved success examples, case studies. [2011-12-27]. http://www.google.com.hk/url?sa=t&rct=j&q=Beneficially+using+dredged+materials+to+create%2C+restore+habitat+and+restore+brownfields&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.glc.org%2Fdredging%2Fpdf%2FFinal-report-Beneficial-use-of-dredged-material-and-collaboration.pdf&ei=K9gPT977Ne2hiAeylP0l&usg=AFQjCNFEeD8Lncf3FTvc8rlzbesKxLsp_g.
- [22] Mitsch, W J, Gosselink J. G. Wetlands. 3d ed. New York; John Wiley and Sons, 2000.
- [23] Ray G L. Thin layer Placement of Dredged Material on Coastal Wetlands; A Review of the Technical and Scientific Literature. ERDC/EL Technical Notes Collection (ERDC/EL TN-07-1), Vicksburg, MS; U. S. Army Engineer Research and Development Center, 2007.
- [24] Wilber P. Thin-layer disposal; concepts and terminology. Environmental Effects of Dredging Information Exchange Bulletin D-92-1. Vicksburg, MS; U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1992.
- [25] Wilber P. Case studies of the thin-layer disposal of dredged material; Gull Rock, North Carolina. Environmental Effects of Dredging Technical Bulletin D-92-3. Vicksburg, MS; U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1992.
- [26] Wilber D H, Clarke D G. Biological effects of suspended sediments; A review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries. *North American Journal of Fisheries Management*, 2001, 21: 855-875,.
- [27] Cahoon, D R, Cowan J H. Spray disposal of dredged material in coastal Louisiana; Habitat impacts and regulatory policy implications. Louisiana Sea Grant College Program. Baton Rouge, LA; Center for Wetlands Resources, Louisiana State University, 1987.
- [28] Cahoon, D R, Cowan J H. Environmental impacts and regulatory policy implications spray disposal of dredged material in Louisiana wetlands.

- Coastal Management, 1988, 16:341-362, .
- [29] DeLaune R D, Pezeshki S R, Pardue J H, Whitcomb J H, Patrick W H. Some influences of sediment addition to a deteriorating salt marsh in the Mississippi River Deltaic Plain: A pilot study. *Journal of Coastal Research*, 1990, 6:181-188.
- [30] Reimold R J, Hardisky M A, Adams P C. The effects of smothering a *Spartina alterniflora* salt marsh with dredged material. Dredged Material Research Program Technical Report D-78-38. Vicksburg, MS: U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1978.
- [31] Ford M A, Cahoon D R, Lynch J C. Restoring marsh elevation in a rapidly subsiding salt marsh by thin-layer deposition of dredged material. *Ecological Engineering*, 1999, 12: 189-205.
- [32] Nemerson D. Summary of monitoring data from 2003 wetland restorations at Blackwater National Wildlife Refuge. Baltimore, MD: National Aquarium, 2007.
- [33] Birch D, Packett R. Beneficial use of clean dredged material to restore wetlands at Blackwater National Wildlife Refuge. [2011-12-27]. <http://www.fws.gov/blackwater/restore.html>.
- [34] US Fish & Wildlife Service. Blackwater National Wildlife Refuge, marsh loss and restoration. [2011-12-27]. <http://www.fws.gov/blackwater/restore.html>.
- [35] NRC (National Research Council). Restoration of Aquatic Ecosystems, Science, Technology, and Public Policy. National Academy Press, Washington, DC, 1992.
- [36] NRC (National Research Council). Restoring and Protecting Marine Habitat: The Role of Engineering and Technology. National Academy Press, Washington, DC, 1994.
- [37] NRC (National Research Council). Priorities for Coastal Ecosystem Science. National Academy Press, Washington, DC, 1994.
- [38] French J R, Burningham H. Restoration of an eroded estuarine foreshore using cohesive dredge material, Orwell Estuary. UK. *Journal of Coastal Research*, 2009, 56: 1444-1448.
- [39] Marcus L. Restoring tidal wetlands at Sonoma Baylands, San Francisco Bay, California. *Ecological Engineering*, 2000, 15: 373-383.
- [40] The Wetlands Regional Monitoring Program (WRMP). Sonoma Baylands. [2011-12-11]. <http://www.wrmp.org/design/B2%20Metadata%20-%20Sonoma%20Baylands.pdf>.
- [41] Coastal Conservancy Staff. Sonoma Baylands Restoration Project Monitoring Plan Sonoma County, California. [2011-2-10]. http://sec.ca.gov/webmaster/ftp/pdf/scabb/1010bb/20101021Board17_Sonoma_Baylands_Monitoring.pdf/.
- [42] San Francisco Bay Area Wetlands Restoration Program Wetlands Monitoring Group. Sonoma Baylands Restoration Project Monitoring Plan Sonoma County, California. (2005-08-10) [2011-12-27]. http://www.sfwetlands.ca.gov/SonomaBaylands_FINAL.pdf, .
- [43] Soots R F, Landin M C. Development and management of avian habitat on dredged material islands, Technical Report D-78-18, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1978.
- [44] Landin M C. The history, practice, and studies of construction, nourishment, protection, monitoring, and management of more than 2000 dredged material islands in US waterways//Landin M, eds. Proceedings, International Workshop on Dredged Material Beneficial Uses, Baltimore, MD, 1997: 82-85.
- [45] US Army Corps of Engineers. Restoration ecology at Poplar Island. Talbot County: Maryland: Maryland Department of the Environment, 2006.
- [46] Civil Works Review Board. Poplar Island environmental restoration project. Talbot County, Maryland: U. S. Fish and Wildlife Service, 2005.
- [47] USEPA, USACE. Beneficial uses of dredged materials, case study: Poplar Island, Chesapeake Bay. (2009-02-27) [2011-07-11]. http://water.epa.gov/type/oceb/oceandumping/dregedmaterial/upload/2009_02_27_oceans_ndt_publications_2007_cs_poplar_island.pdf.
- [48] Zhang X L, Li P Y, Li P, Xu X Y. Present conditions and prospects of study on coastal wetland in China. *Advances in Marine Science*, 2005, 23 (1): 87-95.
- [49] Peng Y S, Zhou Y W, Chen G Z. The restoration of mangrove wetland: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 786-797.
- [50] Tang N, Cui B S, Zhao Y S. The restoration of reed (*Phragmites australis*) wetland in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (8): 2616-2624.

参考文献:

- [1] 张和庆, 谢健, 朱伟, 黄亦真, 石萍. 疏浚物倾倒现状与转化为再生资源的研究——中国海洋倾废面临的困难和对策. *海洋通报*, 2004, 23(6): 54-60.
- [2] 何桂芳, 袁国明, 谢健, 石萍, 田海涛, 王亮. 推进海洋疏浚泥资源化综合利用的对策. *中国国土资源经济*, 2009, 22(8): 18-19.
- [3] 姜重臣, 刘蔚秋, 郑西来. 临时海洋倾倒区对所在海域及其周边环境的影响. *中山大学学报(自然科学版)*, 2006, 45(2): 88-91.
- [6] 朱伟, 张春雷, 刘汉龙, 高玉峰. 疏浚泥处理再生资源技术的现状. *环境科学与技术*, 2002, 25(4): 39-41.
- [7] 何桂芳, 谢健, 田海涛, 石萍, 王亮. 海洋疏浚泥综合利用产业化道路的探索. *海洋开发与管理*, 2008, 25(9): 60-62.
- [9] 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. *湿地科学*, 2007, 5(3): 282-288.
- [10] 陈增奇, 金均, 陈奕. 中国滨海湿地现状及其保护意义. *环境污染与防治*, 2006, 28(12): 930-933.
- [48] 张晓龙, 李培英, 李萍, 徐兴永. 中国滨海湿地研究现状与展望. *海洋科学进展*, 2005, 23(1): 87-95.
- [49] 彭逸生, 周炎武, 陈桂珠. 红树林湿地恢复研究进展. *生态学报*, 2008, 28(2): 786-797.
- [50] 唐娜, 崔保山, 赵欣胜. 黄河三角洲芦苇湿地的恢复. *生态学报*, 2006, 26(8): 2616-2624.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元