

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第1期 Vol.34 No.1 **2014**

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 34 卷 第 1 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目次

卷首语: 复杂与永续..... (I)

前沿理论与学科综述

城市复合生态及生态空间管理 王如松, 李 锋, 韩宝龙, 等 (1)

海洋生态系统固碳能力估算方法研究进展 石洪华, 王晓丽, 郑 伟, 等 (12)

城市生态系统灵敏度模型评述 姚 亮, 王如松, 尹 科, 等 (23)

城市生活垃圾代谢的研究进展..... 周传斌, 徐琬莹, 曹爱新 (33)

个体与基础生态

胶州湾生物-物理耦合模型参数灵敏度分析 石洪华, 沈程程, 李 芬, 等 (41)

渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性 周 然, 覃雪波, 彭士涛, 等 (50)

生物扰动对沉积物中污染物环境行为的影响研究进展 覃雪波, 孙红文, 彭士涛, 等 (59)

种群、群落和生态系统

密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系 ... 王大尚, 李屹峰, 郑 华, 等 (70)

长岛自然保护区生态系统维护的条件价值评估 郑 伟, 沈程程, 乔明阳, 等 (82)

海岛陆地生态系统固碳估算方法 王晓丽, 王 媛, 石洪华, 等 (88)

景观、区域和全球生态

区域生态文明建设水平综合评估指标 刘某承, 苏 宁, 伦 飞, 等 (97)

基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等 (105)

1985 年以来黄河三角洲孤东海岸演变与生态损益分析 刘大海, 陈小英, 徐 伟, 等 (115)

基于复合生态系统理论的海洋生态监控区区划指标框架研究 徐惠民, 丁德文, 石洪华, 等 (122)

我国环境功能评价与区划方案 王金南, 许开鹏, 迟妍妍, 等 (129)

资源与产业生态

生态产业园的复合生态效率及评价指标体系 刘晶茹, 吕 彬, 张 娜, 等 (136)

我国农业生态效率的时空差异..... 程翠云, 任景明, 王如松 (142)

内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态修复耦合机理与产业模式 陈玉碧, 黄锦楼, 徐华清, 等 (149)

基于物质流分析方法的生态海岛建设研究——以长海县为例 陈东景, 郑 伟, 郭惠丽, 等 (154)

再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用 陈卫平, 吕斯丹, 张炜铃, 等 (163)

基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算——以莱州湾为例..... 麻德明, 石洪华, 丰爱平 (173)

集约用海对海洋生态环境影响的评价方法 罗先香,朱永贵,张龙军,等 (182)

城乡与社会生态

基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望..... 李 锋,王如松,赵 丹 (190)

北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性 郭 振,胡 聃,李元征,等 (201)

基于复合生态功能的城市土地共轭生态管理 尹 科,王如松,姚 亮,等 (210)

重庆市森林生态系统服务功能价值评估 肖 强,肖 洋,欧阳志云,等 (216)

渤海湾港口生态风险评估 彭士涛,覃雪波,周 然,等 (224)

达标污水离岸排海末端处置技术研究综述 彭士涛,王心海 (231)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 238 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 28 * 2014-01



封面图说: 北京奥林匹克公园——在高楼林立的大城市中,办公楼、居民区、学校、路网系统、公园以及各种水泥、沥青硬路面和树木、绿草地、土面、水面等等组成了复杂多样的城市生态景观,居住着密集的人口并由于人们不断的、强烈的干预,使这个城市生态系统显得尤其复杂而又多变。因此,系统复杂性及灵敏度是困扰城市生态系统研究和管理的重要因素,建立灵敏度模型是致力于解决城市规划管理中的复杂性问题的有效方法,网状思维与生物控制论观是其核心,也是灵敏度模型的思想基础。图为北京中轴线北端被高楼簇拥着的奥林匹克公园的仰山和龙型水系。

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

DOI: 10.5846/stxb201304280857

王晓丽, 王媛, 石洪华, 郑伟, 周然. 海岛陆地生态系统固碳估算方法. 生态学报, 2014, 34(1): 88-96.

Wang X L, Wang A, Shi H H, Zheng W, Zhou R. Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 88-96.

海岛陆地生态系统固碳估算方法

王晓丽¹, 王媛¹, 石洪华^{2,*}, 郑伟², 周然³

(1. 天津理工大学环境科学与安全工程学院, 天津 300384;

2. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061; 3. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456)

摘要: 陆地生态系统在调节全球碳平衡和减缓全球气候变化中起着重要作用。海岛作为一种特殊的生态系统, 生物群落和环境与大陆基本相似。虽然海岛生态结构相对简单, 物种的丰富程度比大陆低, 但对全球碳循环也有一定的影响。在海岛陆地生态系统中, 森林和灌草的种属相对较少, 且不同纬度的海岛森林植被种属差异明显, 可采用典型样地清查和生物量模型估算相结合的方法估算乔木层和灌草层的碳储量。采用模型估算固碳潜力时, 根据海岛生态环境的特殊性, 综合考虑岛陆面积、季节、风向、坡度、坡向、海拔、平均温度、降雨量、土壤理化性质等参数对其碳储量估算的影响。海岛植被生物多样性影响其土壤碳储存的生态服务功能, 利用多元统计分析方法, 建立岛陆植物物种丰度与土壤碳储量的空间回归模型, 明确植物多样性的改变对岛陆土壤固碳能力的影响。此外, 从土壤固碳的角度而言, 海岛土壤-植物-微生物间相互作用是其重要的研究方向。利用现代分子生物学技术, 研究海岛陆地生态系统的土壤-植物-微生物相互作用关系, 有利于海岛土壤固碳潜力估算精度的提高。

关键词: 碳循环; 碳汇估算; 海岛; 陆地生态

Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems

WANG Xiaoli¹, WANG Ai¹, SHI Honghua^{2,*}, ZHENG Wei², ZHOU Ran³

1 College of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China

2 The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

3 Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China

Abstract: Terrestrial ecosystems play an important role in regulating the carbon balance and mitigating global climate change. Island is a special terrestrial ecosystem, on which the communities and environmental conditions are similar to that of the mainland, but its ecological structure is relatively simple, and the species richness is lower than that of the mainland. Island ecosystems still has strong ability of carbon storage, carbon fixation and plays an important role in the global carbon cycle. This work discusses carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems.

Island regions are especially vulnerable to projected changes in eustatic sea level, storm impacts, and habitat suitability due to low-lying land and limited migration potential. The island area in the global is about 1/15 of the whole mainland, so the ecosystem of forest, shrub, and grass on islands has had an impact on the global carbon sequestration. Although the species of forest, shrub, and grass on islands is relative fewer, there is significant difference of biodiversity on the islands at different latitudes.

The combining methodology of the estimate model of biomass and the inventory of sampling investigation can be selected to estimate the carbon storage of forests, shrub, and grass on islands. The estimate model of biomass is a specific

基金项目: 国家科技基础性工作专项资助项目(2012FY112500); 海洋公益性行业科研专项经费资助项目(201305009); 国家海洋局第一海洋研究所中央级科研院所基本科研业务经费资助项目(GY0213G13, GY0213G30)

收稿日期: 2013-04-28; 修订日期: 2013-10-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shihonghua@fio.org.cn

type of modeling that seeks to mechanistically represent cycles of carbon at islands regional ecosystem through an integrated into account of biology and geochemistry. Using models to estimate carbon sequestration on the island, factors influencing the carbon storage assessment are considered to be identified. The factors covers the land area of the island, season, wind, slope, aspect, elevation, average temperature, rainfall, soil properties, and so on. Biodiversity also enhances the ability of ecosystems to maintain multiple functions, such as carbon storage, productivity, and the buildup of nutrient pools. If the maintenance of biodiversity is to be justified as a strategy for enhancing ecosystem services, it is essential to understand how biodiversity affects ecosystem multifunctionality. Nevertheless, the relationship between biodiversity and ecosystem multifunctionality, especially carbon storage, has seldom been studied in islands. It is focused on how the richness of perennial vascular plants (hereafter “species richness”) and a range of key abiotic factors (climate, slope, elevation, and soil texture) influence carbon storage in different typical islands ecosystems. The direct relationship between species richness and carbon storage on island can be evaluated using both ordinary least-squares (OLS) and spatial regression models. And these results will suggest that the correlation between species richness and carbon cycle may be a general pattern in nature that reflects a cause-and-effect linkage. Furthermore, a large proportion of photosynthetic fixed carbon is directed belowground to roots and associated microorganisms, potentially affecting carbon sequestration either positively or negatively. A better mechanistic understanding of how the belowground allocation of carbon affects long-term sequestration rates is crucial for predictions of how the currently large carbon stock in island soils may respond to altered climate change, elevated CO₂ levels, and other environmental shifts. Fungi play important roles in island soil ecosystems, as the decomposers of organic matter and the root-associated mediators of belowground carbon transport and respiration. It will be profiled the relative abundance of major functional groups of fungi through the depth profile of island soil by use of modern gene technology. And the results will elucidate the mechanisms underpinning carbon sequestration in island soil and highlight the importance of root-associated fungi for ecosystem carbon balance.

Key Words: carbon cycle; carbon sequestration estimates; island; terrestrial ecosystems

陆地生态系统碳循环及其固碳能力的评估等前沿科学问题, 已经成为国际地圈生物圈计划 (IGBP)、世界气候研究计划 (WCRP) 和全球环境变化国际人文因素计划 (IHDP) 等重大科学计划的主题。过去几十年, 生态学家们在全球范围内针对气候变化、土地利用对碳循环时空动态的影响开展了大量的研究, 认为陆地生态系统在调节全球碳平衡和减缓全球气候变化中起着重要作用^[1]。目前, 我国已建立了不同区域的森林、土壤、草地、湿地等陆地生态系统的固碳评估方法, 确定影响其固碳评估的关键参数, 并通过对陆地生态系统变化的长期观测和模型测算等方法不断提高该系统固碳能力评估的精确性^[2-3]。

海岛陆地生态系统 (以下简称为岛陆生态系统) 是指海岛生态系统中高潮线以上的陆地部分, 其长期暴露于海水之上, 具有陆地生态系统特点^[4-5]。但是, 与陆地相比, 岛陆面积一般较小, 因此, 其生态系统的结构和功能比大陆简单, 物种的丰富程度比大

陆低^[6-8]。此外, 海岛地理位置特殊, 岛陆生态系统更容易遭受热带气旋、风暴潮、干旱等自然灾害的干扰与破坏, 呈现较为脆弱的特征, 不容易自我恢复^[9-12]。全球岛陆面积约占全球陆地面积的 1/15, 海岛陆地生态系统包括森林、灌草、土壤等, 对全球碳循环有一定的影响^[13], 但目前对岛陆这一特殊陆地生态系统的固碳能力研究相对较少。

本文重点综述了海岛陆地生态系统与传统陆地生态系统的差异, 结合陆地生态系统中森林、草地、土壤等固碳能力研究进展, 分析了岛陆生态系统的固碳能力估算及其存在的问题, 以此为基础, 探讨岛陆生态系统的固碳估算方法。

1 海岛陆地生态系统与传统陆地生态系统的辨析

岛陆部分是海岛陆地生态系统的主体, 具有陆地生态系统特征, 其除了生态结构相对简单之外, 生物群落和环境与大陆基本相似^[6-7]。通常情况下, 人类活动影响较少的海岛往往有较高的植被覆盖, 这

些植被群落在长期演变进化过程中通常会形成一些特殊的生态环境缀块,在这些缀块之中,生长着一定数量的陆生生物,它们与岛陆环境一起构成了一个相对完整的岛陆生态系统^[9,11,14]。岛陆的四周被海水包围,面积狭小,生态因子受海岛地形地貌、海洋水文、气候等因素的影响较大^[15-18],岛陆气候呈现明显的海洋特征。因此,岛陆生态系统具有海、陆二相性。

1.1 岛陆生态系统的独立完整性

海岛生态系统与海岛外界物种之间的交流由于其四周环水、远离大陆的特征受到极大的限制,加上其区域范围通常狭小,地域结构较为简单,森林与土地资源都比较有限,自身的自然容水量小,淡水资源较为匮乏^[5,7,12]。这些客观条件都造成了海岛生物系统物种类型有限,生物多样性程度低^[10,13-14]。但是,海岛生态系统结构的简单并没有影响其结构和功能的独立性与完整性。海岛与其周围的近海构成了一个独立的生态环境小单元,形成了完整的生态系统^[17,19]。

1.2 岛陆生态系统的独特多样性

海岛地理位置特殊,形成成因多种多样,以致与大陆相比,海岛地貌、地质构造具有一定的独特性^[15,18,20]。比如火山岛,它是火山喷发后熔岩冷凝形成的产物,这种海岛的地质、地貌构造就和大陆陆地地质与地貌构造完全不一样,具有自身独特的特征^[20]。海岛由于与大陆交流的不方便,在其独立的生境内,往往保存着特殊的生物群落,具有一批独特的珍稀物种^[6,13-14];这些物种,无论是维持海岛景观生态系统,还是人类进行科学研究,均具有极高的价值。岛陆生态系统拥有陆地、湿地与水域 3 种生态景观类别^[10,21],具有海域、海陆过渡带与陆域 3 种地貌特征类型,涵盖了全球多种生态类型和多元化的生物资源,出现了物种种群分布的多样性,形成了由陆到海结构完整、不可分割的整体,是全球各类生态环境类型的缩影,因此,跟其它地理单元相比,海岛生态系统具有典型的独特多样性特征^[22]。

1.3 岛陆生态系统的脆弱变化性

由于与陆地的隔离、风沙的影响及海岛本身土壤的贫瘠等原因,岛陆生态系统稳定性差,生态特征十分脆弱,极易在遭到干扰后产生严重的生态环境问题。引发这些问题的最大干扰主要是来自外部

的因素^[6,8,10]。首先,海岛与大陆相比受到的自然灾害相对强度大、次数多,台风、风暴潮、海冰、干旱等频发性的自然灾害和海啸、地震等突发性的灾害都会使岛陆生态系统的稳定性受到严重的威胁,也使海岛抵御自然灾害的能力受到严重地削弱^[9-12]。其次,近年来,随着海岛旅游活动的活跃和其他经济活动的繁荣,海岛陆源污染逐渐加重、岛陆原生植被大量减少、潮间带侵蚀退化厉害、近海湿地功能退化明显等生态问题日益严重^[14,20,23],极大地影响和干扰了岛陆原有生态系统的稳定性,给原本就脆弱的岛陆生态系统带来了新的威胁,从而影响了岛陆生态系统的各种生态服务功能。

2 岛陆生态系统固碳方法

2.1 岛陆森林生态系统固碳估算方法

森林生态系统是陆地生态系统中最大的储碳库,其碳储量占陆地生态系统碳库的 50%^[24]。根据研究对象的时空尺度和研究手段,大体将森林生态系统的碳储量评估方法分为三类^[25]:样地清查法、模型模拟法和遥感估算法。样地清查法是最基本、最可靠的方法,但只能应用于小尺度的研究;要解决大尺度上森林固碳评估的问题,必须借助模型模拟法和遥感估测法。

样地清查法是通过典型样地研究植被、枯落物或土壤等碳库的碳储量和碳通量^[26-27]。设立典型样地,通过收获法精确测定森林生态系统中生物量、枯落物和土壤等碳库的碳储量,在连续测定的基础上可以分析森林生态系统各部分碳库之间的交换通量,如输入系统的净生态系统生产能力 (NEP) 和离开系统的枯落物与土壤的碳排放速率。

模型模拟法是通过数学模型估算森林生态系统的生产力和碳储量,模型是研究大尺度森林生态系统碳循环的必要手段。Thornthwaite Memorial 模型^[28]和 Miami 模型^[29]等经验模型较早地用于利用环境变量进行估算全球净初级生产力的数学模型。Miami 模型是 1971 年 Lieth 在 Miami 提出该估算模型,为计算净第一性生产力 (NPP) 提供了新的思路方法,但该经验模型仅考虑了温度和降水量对植被产量的影响,实际上植被的净第一性生产力除受温度和降水量影响外,还要受其他气候因子的影响。因而用 Miami 模型计算的结果,其可靠性只有

60%—75%^[29]。BIOME-BGC (BGC) 模型^[30]是研究模拟陆地生态系统植被、土壤中的能量、碳等生物地球化学循环模型。它是由模拟森林林地碳水循环过程的模型 Forest-BGC 演变而来的。以气候、土壤和植被参数作为输入变量,所有的植被参数是通过常规生态生理方法测得,大量观测数据的基础上,模拟生态系统的光合、呼吸作用,计算植物、土壤、大气之间碳的通量。CENTURY 模型^[31]起初用于模拟草地生态系统的碳元素的长期演变过程,后加以改进,将其应用扩展到模拟森林生态系统地上和地下部分生物量的动态。该模型的参数变量主要包括月平均最高与最低气温、月降水量、植物木质素的含量、土壤质地等。CASA 模型^[32]是一个充分考虑环境条件和植被本身特征的光能利用率模型,该模型通过植被吸收的光合有效辐射 (APAR) 和光能利用率 (ϵ) 来计算植被的净第一性生产力。CASA 模型将环境变量和遥感数据、植被生理参量联系起来,实现了植被 NPP 的时空动态模拟^[33]。Holdridge 和 Chikugo 等半经验半机制模型^[34]是通过植物的生理生态学和统计法得到的模型,考虑了许多气候因子的影响。此类模型包含了植物生长的生理生态学机理,具有一定的理论基础,是估算自然植被净第一性生产力的一种较为合理的方法,对 NPP 的估算效果较好。但是所需的气候因子变量较多,不适合全球的森林生态系统的净第一性生产力变化的估计与预测。近年来,利用相关模式模拟在大尺度碳循环问题的研究中得到广泛应用,模拟方法开始由原来的静态统计模型向生态系统机制性模型转变^[35-36]。基于生态系统的生态过程和机制,机制性模型综合模拟植被的光合作用和呼吸作用以及它们与环境的相互关系,并估算森林生态系统的净初级生产力和碳储量^[37-38]。

模型模拟法特别适于估算一个地区在理想条件下的碳储量和碳通量,但在估算土地利用和土地覆盖变化对碳储量的影响时存在很大困难。近些年来,遥感及相关技术 (GIS、GPS 等) 的发展和应用为解决这一问题提供了有效方法。利用遥感手段获得各种植被状态参数,结合地面调查,完成植被的空间分类和时间序列分析,随后可分析森林生态系统碳的时空分布及动态,并且能够估算大面积森林生态系统的碳储量以及土地利用变化对碳储量的

影响^[39-40]。

岛陆森林生态系统的结构简单,树种种类相对较少,特别是对于小型海岛,其主要树种只有 2—3 种,如山东省南长山岛的森林主要为黑松和刺槐林^[41]。对于岛陆森林固碳估算,可采用样地清查和模型估算相结合的方法。根据岛陆的地形、地貌、土地利用现状和岛陆面积,设置具有代表性的典型样地,对每一样地的乔木、灌木、草本、土壤、坡度、坡向、海拔等资料进行现场调查,并采集相应的植物和土壤样品。通过样品实验室分析,结合生物量估算模型,估算出岛陆森林生态系统的碳储量。与大陆相比,海岛受到台风、风暴潮、海冰、干旱等频发性自然灾害的强度大、频次高,对岛陆森林生态系统的稳定性影响较为明显^[9-12],可采用 BIOME-BGC 模型^[30]估算岛陆森林生态系统碳通量。该模型以岛陆的气候条件、土壤和植被参数作为输入变量,模拟岛陆生态系统的光合、呼吸作用,计算出岛陆的植物、土壤、大气之间碳的通量。

2.2 岛陆草地生态系统固碳估算方法

草地是地球上广泛分布的陆地生态系统类型之一,在全球碳循环中起着重要作用^[1]。准确评估草地生态系统碳库及其动态变化,将有助于预测全球气候变化与草地生态系统之间的反馈关系以及草地资源的可持续利用^[42-43]。近年来,在草地碳循环方面的研究主要通过定位监测^[44-45]、样带观测^[46-47]及国家尺度上进行分析^[48-49]。

为了评估草地生态系统碳库及其动态变化,需要对草地生物量进行评估和测算。然而不同研究给出的估算值存在很大差异。以中国草地为例,草地生态系统的生物量碳库的估算范围在 0.56—4.67 PgC 之间 ($1 \text{ Pg} = 1 \times 10^{15} \text{ g}$),相差约 8 倍生物量;碳密度平均值范围也存在较大差异 (215.8—1148.2 gC/m²),相差约 5 倍^[50]。导致草地生物量估算差异的原因之一是采用估算方法的不同。Fan 等人^[46]采用平均生物量碳密度乘以草地面积的方法,利用 20 世纪 80 年代中国草地资源调查数据和 2003—2004 年野外调查补充数据估算的中国草地生物量碳库为 3.3 PgC,平均生物量密度为 1002 gC/m²,远高于 Fang 等人^[50]和朴世龙等人^[51]基于草地资源清查数据和遥感信息的估算值 (分别为 346 和 315 gC/m²)。尽管野外调查获得实测的生物量数据比较可靠,但

很难在整个研究区内进行大范围比较均匀地实地调查取样。由于草地生物量分布的空间异质性较大,如果简单地利用有限的实地调查所获得的平均生物量数据来推算整个区域的生物量则可能产生较大误差。

此外,草地植被的根冠比(R:S)是估算草地地下生物量的最常见方法之一^[35]。然而由于草地根冠比数据十分缺乏,基于有限的根冠比数据估算的地下生物量可能会产生较大误差。Fan 等人^[46]报道的中国北方草地的根冠比范围在 2.4—52.3,平均为 24.6;而方精云等人^[49]根据文献得到的根冠比范围在 5.3—10.1,平均为 7.7,二者估算的地下生物量相差 3 倍以上。显然,使用不同研究得出的根冠比,会产生显著不同的地下生物量估算值,由此影响了草地生态系统的固碳能力的评估^[52]。

海岛地形地貌相对简单,土壤贫瘠,植被多样性低,结构单一,缺乏乔灌木复层结构,以致海岛植被生态系统本身脆弱性明显^[18,20],特别在海岛迎风坡,风蚀严重,植物生长困难,植被稀疏;在海岛阳坡,光照足,蒸发量大,土壤水分少,不利植物生长^[12,15,18]。草地类型划分系统将直接导致草地面积的不同以及单位面积碳密度的不同,从而影响草地生物量估值的准确性^[50]。因此,对于海岛的草地生态系统的碳库评估,首先利用定位观测和样带观测方法,完善不同类型海岛的草地分类系统,根据草地类型和草地面积,结合 CENTURY 模型^[31],估算岛陆的草地生态系统碳储量。其次,在地下生物量估算中,由于岛陆的特殊生态环境,不同草种的个体水平和群落水平之间差异巨大,需要通过小尺度实验来进一步阐明其机理,建立不同草地类型的根冠比范围。此外,遥感数据的应用在很大程度上可以弥补地面调查取样的不足^[32],特别是结合地面实测数据和遥感信息所建立的遥感统计模型可以解决无人岛的草地生物量估算,从而提高岛陆草地生态区域生物量的估算。

2.3 岛陆土壤生态系统固碳估算方法

土壤是陆地生态系统最大的碳库,土壤碳储存与释放的平衡发生微小变化即会对温室气体产生很大影响。世界的土壤储备的碳(1500 PgC)多于植物生物量(560 PgC)和大气储备的碳(760 PgC)的总和^[53]。土壤固碳主要受几大主要碳过程变化的控制,如凋落物输入,凋落物分解,细根周转和土壤呼

吸^[54]。土壤碳储量和其动态变化的科学估算的准确性受限于土壤呼吸过程的理解程度和土壤与全球二氧化碳变化之间相互作用关系。因此,研究者需要清楚掌握控制土壤有机碳化学性质、形成过程和稳定固持的关键机制,并且包括增加土壤固碳潜力和持续固碳能力的技术和方法^[55]。

当前土壤固碳的计量方法主要有长期定位实验结果外推法、历史观测数据比较法、土地利用方式对比法和土壤有机碳(SOC)周转模型法等 4 种方法,其中长期定位实验结果外推法是土壤固碳评估研究中应用最多的方法^[56]。国外由于对土壤碳保护及土壤碳循环等科学问题的研究历史较长,积累了大量较系统的历史资料,Simth^[57]利用欧洲国家已有的长期实验结果建立了混合效应模型,并进行土壤固碳潜力评估,推测到 2030 年全球农业减排的自然总潜力高达 5500—6000MtCO₂/a,其中 93% 来自固定土壤碳。Lal^[58]对不同利用类型土壤的固碳能力进行定量划分,结果表明土壤固碳潜力较高的生态系统是农田生态系统,其次分别是草地生态系统、退化生态系统和灌溉土壤生态系统。在森林土壤固碳潜力方面,许多研究表明森林土壤是一个具有相当大潜力的碳汇。Liski^[59]等利用模型模拟的结果表明,欧洲森林土壤碳吸存量为 26 TgC/a,相当于生物固碳的 30%—50%。Piao 等^[1]利用土壤有机碳与植被碳及气候因子的多元回归方程,估计 1982—1999 年中国森林土壤有机碳库年均增加(4.0±4.1) Tg。而 Xie^[48]采用欧洲森林土壤固碳速率估计中国森林土壤有机碳库年均增加 11.7 Tg。郭然^[60]以国内长期定位试验的数据为基础,估算我国退化草地完全恢复的土壤固碳潜力。在内蒙古、西藏和新疆等地区通过减少畜牧承载量,使过度放牧的退化草地得以恢复,可以增加土壤有机碳储存 4561.6 Tg;人工种草、退耕还草和围栏封育的固碳潜力分别是 25.6、1.5 和 12.0 Tg/a,总计达到 39.1 Tg/a。Díaz^[61]评估了地中海半干旱地区土壤固碳能力,在该地区深度为 2 m 以内土壤的总固碳能力为 141.3 kg C/m²,而表层土壤的长期定位试验结果为 36.1 kgC/m²,由于采样深度不同全球土壤的固碳能力评估偏差较大。

根据海岛土地利用不同,岛陆土壤生态系统包括森林土壤、草地土壤、荒漠土壤、农田土壤和园林土壤^[19]。岛陆的土壤本身比较贫瘠,大多是低产的

氧化土;且土壤水土流失严重,使一些肥沃的土地表层被侵蚀,受海风侵蚀和人工干扰远比陆域土地严重得多^[62]。因此,岛陆土壤生态系统的固碳能力估算可采用定位实验结果外推和土地利用方式对比等方法估算岛陆土壤碳储量,结合岛陆的海拔、坡度、坡向、温度、湿度、岛陆面积、生物多样性、土地利用类型等相关参数,建立岛陆土壤碳储量潜力估算模型。

3 问题与展望

与大陆相比,岛陆面积相对较小,地域结构简单,生态系统构成较为单一,生物多样性较低、稳定性差,是一个相对独立、相对脆弱的地理区域。而海岛的开发和利用、自然灾害(热带风暴、台风等)、有害物种入侵等干扰对其固碳的生态服务功能产生严重影响。

岛陆森林植被种属相对较少,且不同纬度的海岛森林植被明显差异,可采用典型样地清查和生物量模型估算相结合的方法估算岛陆森林碳储量。采用模型估算岛陆森林生态系统固碳潜力时,根据海岛环境的特殊性,综合考虑岛陆面积、季节、风向、坡度、坡向、海拔、平均温度、降雨量、土壤理化性质等参数对其碳储量估算的影响。

岛陆草地生态系统包括林下灌草和草地(包括人工草地)。岛陆草地生态系统碳储量估算涉及草本植物的种属、盖度、多度、根冠比以及不同种属间草本生物量等参数;而对于林下草地碳储量估算,考虑森林郁闭度对草本植物生长的影响。在岛陆草本植物根冠比研究中,可以根据海岛的坡度、坡向、海拔等因素选择典型样地,参考陆地草本植物根冠比测算方法,建立不同海岛类型的草本植物根冠比区间,提高岛陆草本生态系统碳储量估算准确度。

海岛为海洋性气候,四季降雨分布不均^[18];海岛土壤多为砂质土壤、土层薄、砂砾多,土壤持水力差^[20,41]。干旱地区植物物种丰富度与生态服务功能相关性研究表明,生物多样性对土壤碳储存、生产力和积累养分库有重要影响,与物种丰富度显著相关^[63]。但岛陆植物生物多样性与土壤固碳功能的关系从未被评估。可利用普通最小二乘法和多元统计分析方法,建立岛陆植物物种丰度与土壤碳储量的空间回归模型,分析岛陆植被多样性与土壤固碳

功能间相关性,明确植物多样性的改变对岛陆土壤固碳能力的影响。

陆地植物根系表面有大量共生菌的存在,植物根系的生长及根系分泌物增加了土壤碳的输入,但土壤微生物和植物根系间相互作用引发的激发效应对碳的排放有重要影响,因为根部输入碳的同时也可能导致土壤有机质的加速分解,并且分解的量有可能大于新形成量而导致土壤碳的净损失^[64]。Clemmensen 研究表明,寒带岛屿森林中土壤碳储量的 50%—70% 与森林根系及其真菌系统有关^[65]。从土壤固碳的角度而言,土壤-植物-微生物的相互作用是其重要的研究方向^[66]。利用现代分子生物学技术,研究岛陆生态系统的土壤-植物-微生物相互作用关系,修正岛陆土壤固碳潜力评估模型,提高岛陆土壤固碳估算的准确性。

References:

- [1] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, Peylin P, Huang Y, Sitch S, Wang T. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 2009, 458(7241): 1009-1013.
- [2] Houghton R A. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2007, 35(1): 313-347.
- [3] Piao S L, Fang J Y, Huang Y. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *China Basic Science*, 2010, (2): 20-22.
- [4] Santamarta-Cerezal J C, Guzman J, Neris J, Arraiza M P, Ioras F. Forest hydrology, soil conservation and green barriers in Canary Islands. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2012, 40(2): 9-13.
- [5] Sarkinen T, Pennington R T, Lavin M, Simon M F, Hughes C E. Evolutionary islands in the Andes: persistence and isolation explain high endemism in Andean dry tropical forests. *Journal of Biogeography*, 2012, 39(5): 884-900.
- [6] Lagerström A, Nilsson M C, Wardle D A. Decoupled responses of tree and shrub leaf and litter trait values to ecosystem retrogression across an island area gradient. *Plant and Soil*, 2013, 367(1/2): 183-197.
- [7] Nogué S, Nascimento D L, Fernández-Palacios J M, Whittaker R J, Willis K J. The ancient forests of La Gomera, Canary Islands, and their sensitivity to environmental change. *Journal of Ecology*, 2013, 101(2): 368-377.
- [8] Lomba A, Vaz A S, Moreira F, Honrado J P. Hierarchic species-area relationships and the management of forest habitat islands in intensive farmland. *Forest Ecology and Management*, 2013, 291: 190-198.
- [9] Bustamante-Sánchez M A, Arnesto J J, Landis D. Seed limitation during early forest succession in a rural landscape on Chiloé

- Island, Chile: implications for temperate forest restoration. *Journal of Applied Ecology*, 2012, 49(5): 1103-1112.
- [10] Katovai E, Burley A L, Mayfield M M. Understory plant species and functional diversity in the degraded wet tropical forests of Kolombangara Island, Solomon Islands. *Biological Conservation*, 2012, 145(1): 214-224.
- [11] Qie L, Lee T M, Sodhi N S, Lim S L H. Dung beetle assemblages on tropical land-bridge islands: small island effect and vulnerable species. *Journal of Biogeography*, 2011, 38(4): 792-804.
- [12] Inagaki Y, Kuramoto S, Fukata H. Effects of typhoons on leaf fall in hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher) plantations in Shikoku Island. *Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute*, 2010, 9(3): 103-112.
- [13] Paulay G. Biodiversity on oceanic islands: its origin and extinction. *American Zoology*, 1994, 34(1): 134-144.
- [14] Shimizu Y. A vegetation change during a 20-year period following two continuous disturbances (mass-dieback of pine trees and typhoon damage) in the Pinus-Schima secondary forest on Chichijima in the Ogasawara (Bonin) Islands: which won, advanced saplings or new seedlings? *Ecological Research*, 2005, 20(6): 708-725.
- [15] Steinbauer M J, Irl S D H, Beierkuhnlein C. Elevation-driven ecological isolation promotes diversification on Mediterranean islands. *Acta Oecologica*, 2013, 47: 52-56.
- [16] Halas D, Zamparo D, Brooks D R. A historical biogeographical protocol for studying biotic diversification by taxon pulses. *Journal of Biogeography*, 2005, 32(2): 249-260.
- [17] Steinbauer M J, Beierkuhnlein C. Characteristic pattern of species diversity on the Canary islands. *Erdkunde*, 2010, 64(1): 57-71.
- [18] Laurance W F, Uuseche D C, Shoo L P, Herzog S K, Kessler M, Escobar F, Brehm G, Axmacher J C, Chen I C, Gámez L A, Hietz P, Fiedler K, Pyrcz T, Wolf J, Merkord C L, Cardelus C, Marshall A R, Ah-Peng C, Aplet G H, del Coro Arizmendi M, Baker W J, Barone J, Brühl C A, Bussmann R W, Cicuzza D, Eiluy G, Favila M E, Hemp A, Hemp C, Homeiera J, Hurtadoa J, Jankowskia J, Kattóna G, Kluge J, Krömera T, Lees D C, Lehnerta M, Longinoa J T, Lovett J, Martina P H, Pattersona B D, Pearson R G, Peha K S H, Richardsons B, Richardsons M, Samwaysa M J, Senbetaan F, Smitha T B, Utteridge T M A, Watkins J E, Wilsona R, Williams S E, Thomasi C D. Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota. *Biological Conservation*, 2011, 144(1): 548-557.
- [19] Donato D C, Kauffman J B, Mackenzie R A, Ainsworth A, Pfleeger A Z. Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of Environmental Management*, 2012, 97: 89-96.
- [20] Neris J, Jiménez C, Fuentes J, Morillas G, Tejedor M. Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). *Catena*, 2012, 98: 55-62.
- [21] Laurance S G W, Baider C, Vincent F F B, Ramrekha S, Sevathian J C, Hammond D S. Drivers of wetland disturbance and biodiversity impacts on a tropical oceanic island. *Biological Conservation*, 2012, 149(1): 136-142.
- [22] Yang B Y, Madden M, Jordan T R, Cordell H K. Geospatial approach for demarcating Jekyll Island State Park; Georgia barrier island. *Ocean & Coastal Management*, 2012, 55: 42-51.
- [23] Aretano R, Petrosillo I, Zaccarelli N, Semeraro T, Zurlini G. People perception of landscape change effects on ecosystem services in small Mediterranean islands: A combination of subjective and objective assessments. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 112: 63-73.
- [24] Lorenz K, Lal R. Carbon Sequestration in Forest Ecosystems. New York: Springer, 2010: 1-21.
- [25] Yang H G, Wu B, Zhang J T, Lin D R, Chang S L. Progress of research into carbon fixation and storage of forest ecosystems. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2005, 41(2): 172-177.
- [26] Zhang L, Wang L M, Wang R B. Estimation of forest carbon storage and sequestration of shelterbelt in upper and middle reaches of the Yangtze River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(2): 111-115.
- [27] Nogueira E M, Fearnside P M, Nelson B W, Barbosa R I, Keizer E W H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(11): 1853-1867.
- [28] Zhao M, Zhou G S. A new methodology for estimating forest NPP based on forest inventory data—a case study of Chinese pine forest. *Journal of Forestry Research*, 2004, 15(2): 93-100.
- [29] Evrendilek F, Berberoglu S, Gulbeyaz O, Ertekin C. Modeling potential distribution and carbon dynamics of natural terrestrial ecosystems: A case study of Turkey. *Sensors*, 2007, 7(10): 2273-2296.
- [30] Prentice I C, Cramer W, Harrison S P, Leemans R, Monserud R A, Solomon A M. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate I. Colin prentice, wolfgang. *Journal of Biogeography*, 1992, 19(2): 117-134.
- [31] Parton W J, Scurlock J M O, Ojima D S, Gilmanov T G, Scholes R J, Schimel D S, Kirchner T, Menaut J C, Seastedt T, Moya E G, Apinan K, Kinyamario J I. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4): 785-809.
- [32] DeFries R S, Field C B, Fung I, Collatz G J, Bounoua L. Combining satellite data and biogeochemical models to estimate global effects of human-induced land cover change on carbon emissions and primary productivity. *Global Biogeochemical*

- Cycles, 1999, 13(3): 803-815.
- [33] Li S H, Niu Z, Li B C. Study on remote sensing process model of vegetation NPP. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(3): 126-128.
- [34] Yates D N, Kittel T G F, Cannon R F. Comparing the correlative holdridge model to mechanistic biogeographical models for assessing vegetation distribution response to climatic change. Climatic Change, 2000, 44(1/2): 59-87.
- [35] Wang Z, Granta R F, Arain M A, Chen B N, Coops N, Hemmer R, Kurz D W A, Price D T, Stinson G, Trofymow J A, Yeluripati J, Chen Z. Evaluating weather effects on interannual variation in net ecosystem productivity of a coastal temperate forest landscape: A model intercomparison. Ecological Modelling, 2011, 222(17): 3236-3249.
- [36] Huang C Y, Asner G P, Barger N N. Modeling regional variation in net primary production of pinyon-juniper ecosystems. Ecological Modelling, 2012, 227: 82-92.
- [37] Donmez C, Berberoglu S, Curran P J. Modelling the current and future spatial distribution of NPP in a Mediterranean watershed. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011, 13(3): 336-345.
- [38] Wang S Q, Zhou L, Chen J M, Ju W M, Feng X F, Wu W X. Relationships between net primary productivity and stand age for several forest types and their influence on China's carbon balance. Journal of Environmental Management, 2011, 92(6): 1651-1662.
- [39] Wijaya A, Liesenberg V, Gloaguen R. Retrieval of forest attributes in complex successional forests of Central Indonesia: Modeling and estimation of bitemporal data. Forest Ecology and Management, 2010, 259(12): 2315-2326.
- [40] Härkönen S, Lehtonen A, Eerikäinen K, Peltoniemi M, Mäkelä A. Estimating forest carbon fluxes for large regions based on process-based modelling, NFI data and Landsat satellite images. Forest Ecology and Management, 2011, 262(12): 2364-2377.
- [41] Wang X L, Wang A, Shi H H, Peng S T, Gong L P, Qin X B. Carbon storage of *Pinus thunbergii* and *Robinia pseudoacacia* plantations on Nanchangshan Island, Changdao County of Shandong Province, China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1263-1268.
- [42] Kang L, Han X G, Zhang Z B, Sun J X. Grassland ecosystems in China: review of current knowledge and research advancement. Philosophy Transaction of Royal Society: Biological Science, 2007, 362(1482): 997-1008.
- [43] Yang Y H, Fang J Y, Tang Y H, Ji C J, Zheng C Y, He J S, Zhu B. Storage, patterns and controls of soil organic carbon in the Tibetan grasslands. Global Change Biology, 2008, 14(7): 1592-1599.
- [44] Bai Y F, Han X G, Wu J G, Chen Z Z, Li L H. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. Nature, 2004, 431(7005): 181-184.
- [45] Qiao C L, Li J M, Wang J H, Ge S D, Zhao L, Xu S X. Research progress of carbon dioxide fluxes of alpine meadow ecosystems on the Tibetan Plateau. Journal of Mountain Science, 2012, 30(2): 248-255.
- [46] Fan J W, Zhong H P, Harris W, Yu G R, Wang S Q, Hu Z M, Yue Y E. Carbon storage in the grasslands of China based on field measurements of above- and below-ground biomass. Climatic Change, 2008, 86(3/4): 375-396.
- [47] Yang Y H, Fang J Y, Peter S, Tang Y H, Chen A P, Ji C J, Hui H F, Rao S, Tan K, He J S. Changes in topsoil carbon stock in the Tibetan grasslands between the 1980s and 2004. Global Change Biology, 2009, 15(11): 2723-2729.
- [48] Xie Z B, Zhu J G, Liu G, Cadish G, Hasegawa T, Chen C M, Sun H F, Tang H Y, Zeng Q. Soil organic carbon stocks in China and changes from 1980s to 2000s. Global Change Biology, 2007, 13(9): 1989-2007.
- [49] Mohammad A, Yang Y H, Guo Z D, Fang J Y. Grassland aboveground biomass in Xinjiang. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(4): 521-526.
- [50] Fang J Y, Yang Y H, Ma W H, Mohammad A, Shen H H. Study on carbon stock & its variation of grassland ecosystem in China. Science China Life Science, 2010, 53: 757-765.
- [51] Piao S L, Fang J Y, He J S, Xiao Y. Spatial distribution of grassland biomass in China. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(4): 491-498.
- [52] Ma S X, Churkina G, Wieland R, Gessler A. Optimization and evaluation of the ANTHRO-BGC model for winter crops in Europe. Ecological Modelling, 2011, 222(20/22): 3662-3679.
- [53] Jobbágy E G, Robert B J. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Applications, 2000, 10(2): 423-436.
- [54] Marschner P, Rengel Z. Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems. Berlin: Springer-Verlag, 2007: 13-18.
- [55] Smith P. An overview of the permanence of soil organic carbon stocks: influence of direct human-induced, indirect and natural effects. European Journal of Soil Science, 2005, 56(5): 673-680.
- [56] Sun W J, Huang Y, Zhang W, Yu Y Q. Key Issues on soil carbon sequestration potential in agricultural soils. Advances in Earth Science, 2008, 23(9): 996-1004.
- [57] Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan G, Romanenko V, Schneider U, Towprayoon S, Wattenbach M, Smith J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences, 2008, 363(1492): 789-813.
- [58] Lal R. Offsetting China's CO₂ emissions by soil carbon sequestration. Climate Change, 2004, 65(3): 263-275.

- [59] Liski J, Perruchoud D, Karjalainen T. Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management*, 2002, 169(1/2): 159-175.
- [60] Guo R, Wang X K, Lu F, Duan X N, Ouyang Z Y. Soil carbon sequestration and its potential by grassland ecosystems in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 862-867.
- [61] Díaz-Hernández J L. Is soil carbon storage underestimated? *Chemosphere*, 2010, 80(3): 346-349.
- [62] De R R C. Slope control on the frequency distribution of shallow landslides and associated soil properties, North Island, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2013, 38(4): 356-371.
- [63] Maestre F T, Quero J L, Gotelli N J, Escudero A, Ochoa V, Delgado-Baquerizo M, García-Gómez M, Bowker M A, Soliveres S, Escolar C, García-Palacios P, Berdugo M, Valencia E, Gozalo B, Gallardo A, Aguilera L, Arredondo T, Blones J, Boeken B, Bran D, Conceicao A A, Cabrera O, Chaieb M, Derak M, Eldridge D J, Espinosa C I, Florentino A, Gaitan J, Gatica M G, Ghiloufi W, Gomez-Gonzalez S, Gutierrez J R, Hernandez R M, Huang X, Huber-Sannwald E, Jankju M, Miriti M, Moneris J, Mau R L, Morici E, Naseri K, Ospina A, Polo V, Prina A, Pucheta E, Ramirez-Collantes D A, Romao R, Tighe M, Torres-Diaz C, Val J, Veiga J P, Wang D, Zaady E. Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 2012, 335(6065): 214-217.
- [64] Dijkstra F A, Cheng W X. Interactions between soil and tree roots accelerate long-term soil carbon decomposition. *Ecology Letters*, 2007, 10(11): 1046-1053.
- [65] Clemmensen K E, Bahr A, Ovaskainen O, Dahlberg A, Ekblad A, Wallander H, Stenlid J, Finlay D, Wardle D A, Lindahl B D. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Science*, 2013, 339(6127): 1615-1618.
- [66] Kathleen K T, Sandra R H. Fungal carbon sequestration. *Science*, 2013, 339(6127): 1528-1529.

参考文献:

- [3] 朴世龙, 方精云, 黄耀. 中国陆地生态系统碳收支. *中国基础科学*, 2010, (2): 20-22.
- [25] 杨洪晓, 吴波, 张金屯, 林德荣, 常顺利. 森林生态系统的固碳功能和碳储量研究进展. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2005, 41(2): 172-177.
- [26] 张林, 王礼茂, 王睿博. 长江中上游防护林体系森林植被碳贮量及固碳潜力估算. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(2): 111-115.
- [33] 李世华, 牛铮, 李壁成. 植被净第一性生产力遥感过程模型研究. *水土保持研*, 2005, 12(3): 126-128.
- [41] 王晓丽, 王媛, 石洪华, 彭士涛, 宫立鹏, 覃雪波. 山东省长岛县南长山岛黑松和刺槐人工林的碳储量. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1263-1268.
- [45] 乔春连, 李婧梅, 王基恒, 葛世栋, 赵亮, 徐世晓. 青藏高原高寒草甸生态系统 CO₂ 通量研究进展. *山地学报*, 2012, 30(2): 248-255.
- [49] 安尼瓦尔·买买提, 杨元合, 郭兆迪, 方精云. 新疆草地植被的地上生物量. *北京大学学报: 自然科学版*, 2006, 42(4): 521-526.
- [50] 方精云, 杨元合, 马文红, 安尼瓦尔·买买提, 沈海花. 中国草地生态系统碳库及其变化. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40(7): 566-576.
- [51] 朴世龙, 方精云, 贺金生, 肖玉. 中国草地植被生物量及其空间分布格局. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 491-498.
- [56] 孙文娟, 黄耀, 张稳, 于永强. 农田土壤固碳潜力研究的关键科学问题. *地球科学进展*, 2008, 23(9): 996-1004.
- [60] 郭然, 王效科, 逯非, 段晓男, 欧阳志云. 中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力. *生态学报*, 2008, 28(2): 862-867.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.1 Jan., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Foreword: Complexity and Sustainability	(I)
Frontiers and Comprehensive Review	
Urban eco-complex and eco-space management	WANG Rusong, LI Feng, HAN Baolong, et al (1)
Review of carbon sequestration assessment method in the marine ecosystem	SHI Honghua, WANG Xiaoli, ZHENG Wei, et al (12)
A review of sensitivity model for urban ecosystems	YAO Liang, WANG Rusong, YIN Ke, et al (23)
Urban ecological metabolism of municipal solid waste: a review	ZHOU Chuanbin, XU Wanying, CAO Aixin (33)
Autecology & Fundamentals	
Parameter sensitivity analysis of a coupled biological-physical model in Jiaozhou Bay	SHI Honghua, SHEN Chengcheng, LI Fen, et al (41)
Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay	ZHOU Ran, QIN Xuebo, PENG Shitao, et al (50)
Review of the impacts of bioturbation on the environmental behavior of contaminant in sediment	QIN Xuebo, SUN Hongwen, PENG Shitao, et al (59)
Population, Community and Ecosystem	
Ecosystem services' spatial characteristics and their relationships with residents' well-being in Miyun Reservoir watershed	WANG Dashang, LI Yifeng, ZHENG Hua, et al (70)
Contingent valuation of preserving ecosystem of Changdao Island Nature Reserve	ZHENG Wei, SHEN Chengcheng, QIAO Mingyang, et al (82)
Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems	WANG Xiaoli, WANG Ai, SHI Honghua, et al (88)
Landscape, Regional and Global Ecology	
An integrated indicator on regional ecological civilization construction	LIU Moucheng, SU Ning, LUN Fei, et al (97)
The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay	YANG Jianqiang, ZHU Yonggui, SONG Wenpeng, et al (105)
Analysis of the evolution and value of coastal ecosystem services at Gudong Coast in the Yellow River Delta since 1985	LIU Dahai, CHEN Xiaoying, XU Wei, et al (115)
Research of index system framework in marine ecology monitoring & regulation areas division based on complex ecosystem of nature-human-society	XU Huimin, DING Dewen, SHI Honghua, et al (122)
The environmental function assessment and zoning scheme in China	WANG Jinnan, XU Kaipeng, CHI Yanyan, et al (129)
Resource and Industrial Ecology	
Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency	LIU Jingru, LÜ Bin, ZHANG Na, et al (136)
Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China	CHENG Cuiyun, REN Jingming, WANG Rusong (142)
The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia	CHEN Yubi, HUANG Jinlou, XU Huaqing, et al (149)
Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis: a case study of Changhai County	CHEN Dongjing, ZHENG Wei, GUO Huili, et al (154)
Ecological risks and sustainable utilization of reclaimed water and wastewater irrigation	CHEN Weiping, LÜ Sidan, ZHANG Weiling, et al (163)

Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay	
.....	MA Deming, SHI Honghua, FENG Aiping (173)
The evaluation method in the impact of intensive sea use on the marine ecological environment	
.....	LUO Xianxiang, ZHU Yonggui, ZHANG Longjun, et al (182)
Urban, Rural and Social Ecology	
Urban ecological infrastructure based on ecosystem services;status,problems and perspectives	
.....	LI Feng, WANG Rusong, ZHAO Dan (190)
Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI	
.....	GUO Zhen,HU Dan,LI Yuanzheng,et al (201)
The conjugate ecological management model for urban land administration based on the land complex ecological function	
.....	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (210)
Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing	
.....	XIAO Qiang, XIAO Yang,OUYANG Zhiyun, et al (216)
Ecological risk evaluation of port in Bohai Bay	PENG Shitao, QIN Xuebo, ZHOU Ran, et al (224)
Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall	PENG Shitao,WANG Xinhai (231)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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 34 卷 第 1 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 1 (January, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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 90.00 元