

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 20 期 Vol.33 No.20 **2013**

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 33 卷 第 20 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 中小尺度下西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变异..... 杨铭霞,陈新军,冯永玖,等 (6427)
- 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响..... 王丹,吕瑜良,徐丽,等 (6436)
- 荒漠啮齿动物群落对开垦干扰的响应及其种群生态对策..... 袁帅,付和平,武晓东,等 (6444)
- 转 Bt 基因棉花对烟粉虱天敌昆虫龟纹瓢虫的影响..... 周福才,顾爱祥,杨益众,等 (6455)
- 微地形改造的生态环境效应研究进展..... 卫伟,余韵,贾福岩,等 (6462)

个体与基础生态

- 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例..... 吴庆明,邹红菲,金洪阳,等 (6470)
- 新疆石河子南山地区表土花粉研究..... 张卉,张芸,杨振京,等 (6478)
- 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征..... 郑艳明,尧波,吴琴,等 (6488)
- 基于高分辨率遥感影像的森林地上生物量估算..... 黄金龙,居为民,郑光,等 (6497)
- 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益..... 陶应时,洪胜春,廖咏梅,等 (6509)
- 湘潭锰矿废弃地栎树人工林微量元素生物循环..... 罗赵慧,田大伦,田红灯,等 (6517)
- 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响..... 陈展,王琳,尚鹤 (6526)
- 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响..... 陈心想,何绪生,耿增超,等 (6534)
- 延河流域植物功能性状变异来源分析..... 张莉,温仲明,苗连朋 (6543)
- 榆紫叶甲赤眼蜂基础生物学特性及其实验种群生命表..... 王秀梅,臧连生,林宝庆,等 (6553)
- 几种生态因子对拟目乌贼胚胎发育的影响..... 彭瑞冰,蒋霞敏,于曙光,等 (6560)

种群、群落和生态系统

- 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律..... 周威,龙成,杨小波,等 (6569)
- 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析..... 赵志平,吴晓蕾,李果,等 (6577)
- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物基质质量的影响..... 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (6587)
- 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究..... 蓝文陆,黎明民,李天深 (6595)
- 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价..... 李修鹏,杨晓东,余树全,等 (6604)
- 北京西山地区大山雀与其它鸟类种群间联结分析..... 董大颖,范宗骥,李扎西姐,等 (6614)
- 被动式电子标签用于花鼠种群动态研究的可行性..... 杨慧,马建章,戎可 (6634)

景观、区域和全球生态

- 华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析..... 刘勤,梅旭荣,严昌荣,等 (6643)
- 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价..... 胡林林,贾俊松,毛端谦,等 (6652)
- 河漫滩湿地生态阈值——以二卡自然保护区为例..... 胡春明,刘平,张利田,等 (6662)
- 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响..... 刘雷,安韶山,黄华伟 (6670)
- 不同人为干扰下纳帕海湖滨湿地植被及土壤退化特征..... 唐明艳,杨永兴 (6681)

资源与产业生态

近 10 年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应 李晓萌,孙永华,孟 丹,等 (6694)

三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析 李 斌,徐丹丹,王志坚,等 (6704)

研究简报

北京奥林匹克森林公园绿地碳交换动态及其环境控制因子..... 陈文婧,李春义,何桂梅,等 (6712)

植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响 王 鹏,李贤伟,赵安玖,等 (6721)

高盐下条斑紫菜光合特性和 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因表达的变化 ... 周向红,易乐飞,徐军田,等 (6730)

学术信息与动态

生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评 房学宁,赵文武 (6736)

生态系统服务评估——2013 年第 6 届生态系统服务伙伴国际学术年会述评 巩 杰,岳天祥 (6741)

回顾过去,引领未来——2013 年第 5 届国际生态恢复学会大会 (SER 2013) 简介..... 彭少麟,陈宝明,周 婷 (6744)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-10



封面图说: 荒漠旱獭——旱獭属啮齿目、松鼠科、旱獭属,是松鼠科中体型最大的一种。旱獭多栖息于平原、山地和荒漠草原地带,集群穴居,挖掘能力甚强,洞道深而复杂,多挖在岩石坡和沟谷灌丛下,从洞中推出的大量沙石堆在洞口附近,形成旱獭丘。荒漠啮齿动物是荒漠生态系统的重要成分,农业开垦对功能相对脆弱的荒漠生态系统的干扰极大,往往导致栖息地破碎化,对动植物种产生强烈影响,啮齿动物受到开垦干扰后对环境的响应及其群落的生态对策,是荒漠生态系统生物多样性及其功能维持稳定的重要基础。

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/stxb201212271886

卫伟, 余韵, 贾福岩, 杨磊, 陈利顶. 微地形改造的生态环境效应研究进展. 生态学报, 2013, 33(20): 6462-6469.

Wei W, Yu Y, Jia F Y, Yang L, Chen L D. Research progress in the ecological effects of micro-landform modification. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20): 6462-6469.

微地形改造的生态环境效应研究进展

卫 伟, 余 韵, 贾福岩, 杨 磊, 陈利顶*

(中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 干旱缺水 and 生境不良使世界上许多地区的植被恢复和生态改善面临困难。为了提高植被成活率、遏制土壤侵蚀和土地退化态势, 国内外许多重点地区都开展了多种微地形改造与下垫面整地措施, 使得地表生境和植被状况得到一定改善。但微地形改造对生态环境影响的基础研究仍严重滞后于实践的客观需求, 许多关键效应和科学机理不明。系统梳理和总结了国内外学者在不同生态系统类型区和自然地理单元上开展的相关研究。认为微地形改造对土壤属性和微生境、降雨入渗和水蚀过程、植被恢复的效果及其生态服务功能发挥等多个方面都有重要影响, 并综述了相关研究进展。同时指出当前微地形改造研究中存在的突出问题。包括科学分类标准有待系统化、实地量化技术相对滞后、微地形改造的水文效应有待强化、影响植被恢复的机理不明等若干重要局限。建议应进一步加强微地形改造的分类体系研发、发展微地形改造方式的定量刻画技术; 设立野外定位站, 跟踪监测其长期效应, 并加强不同微地形改造措施的生态环境效应对比, 为科学筛选和优化下垫面改造技术、服务区域生态改善和应对气候变化提供科学依据。

关键词: 微地形改造; 植被恢复; 生态建设; 水文过程; 下垫面

Research progress in the ecological effects of micro-landform modification

WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, YANG Lei, CHEN Liding*

State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Severe drought and poor habitat condition cause the great difficulty of vegetation restoration and ecological amelioration in many regions of the world. In order to boost plant survival rate, limit soil erosion and prevent land degradation, many kinds of micro-topography re-establishment measures and land surface preparation methods were conducted in key areas around the globe. Through such ways, surface properties of micro-habitats and vegetation growing conditions were improved to some extent. However, basic research regarding the effects of micro-landform modification on ecosystem and environment still severely lagged behind the huge demands in practice. Many key ecological and environmental consequences and scientific mechanisms remain unclear. Therefore, the international and domestic researches on different ecological zones and geographical regions were summarized and analyzed systematically in this study. On the basis of such analysis, progresses on the effects of micro-landform reconstruction on soil features and micro-habitat conditions, surface hydrological process and water balance, vegetation restoration and provided ecosystem services were all reviewed. It was considered that micro-topography modification plays key role in all these effects. Meanwhile, major problems and limitations regarding the recent research were also highlighted, which include that more systematic classification criterion of micro-topography should be enhanced, delayed methods of field measurements and quantitative analysis still remain, and the hydrological effects of micro-topography modification need more concern, and the mechanism of micro-landform modification on vegetation restoration still remain unclear. Consequently, the following aspects should be

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371123); 国家杰出青年基金项目(40925003)

收稿日期: 2012-12-27; **修订日期:** 2013-07-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liding@rcees.ac.cn

enhanced in the next steps. First, more attention should be paid to establish the classification system of micro-topography, and take valid measures to make the definition more scientific. At the same time, long term monitoring station should be established for studying the relations between micro-topography, vegetation and eco-hydrological processes across various scales. Furthermore, the ecological and environmental effects of different micro-landform modification measures should be compared and analyzed, which is used for proper selection and optimization of micro-topography modification technologies, and providing scientific basis for enhancing ecosystem services, environmental rehabilitation effectiveness and climate adaptation.

Key Words: micro-landform modification; vegetation restoration; ecological rehabilitation; hydrological process; earth surface

在全球范围内的很多地区,特别是一些关键的生态脆弱区和半干旱区,恶劣的生态环境本底与贫瘠的下垫面严重阻碍了植被自然更新和人工修复进程,致使区域植被恢复效果不佳、生态环境改善进度缓慢^[1-3]。尤其在当前全球气候变化和人类活动加剧的大背景下,气温、降水、蒸发散等特征指标发生异常的概率趋于增多,暖干化的长期趋势以及极端事件的不断涌现,在不少地区已成不争事实^[4-5]。这种情形将有可能进一步恶化地表生境,使得下垫面条件更加不适于植被恢复和生态演替。科学研究更为有效的立地改良技术和下垫面管理措施,遏制环境和土地退化势头、促使生态系统朝着有利于充分发挥其服务功能的方向发展,已经成为一个重大而紧迫的科学命题,亟待解决和完善。

在这些关键地区,历史上曾开展多次大规模植被恢复和流域综合治理^[1-3,6]。在具体恢复和治理过程中,为了有效提高植被成活率和覆盖度,采用了形式多样的下垫面改造和整地措施,塑造了形态各异的微地形和集水区,从而对不同立地条件下的微景观、土壤水文和植被恢复进程产生重要影响^[1,7]。尽管国际上有关微地形改造影响生态环境的研究已经取得一定进展^[8],但由于缺乏更为系统深入的实验设计,许多和微地形改造有关的关键过程和作用机理不明,导致无法研判不同改造措施的长期生态环境效果和后续效应,难以实现改造技术的优化和改良。而这一状况与我国大规模植被恢复的历史背景严重脱节,致使现有研究成果难以满足和支撑国家脆弱区生态恢复的理论需求。同时,从机理研究的角度,忽视微地形改造在生态恢复以及各种地表过程中的作用,可能会导致研究结论出现偏差并导致模拟失实^[8-9]。深入探讨微地形改造措施对生态环境效应的影响,对于深入理解其作用机理、促进生境改良、人地关系和谐发展都具有重要意义。

鉴于此,本文通过文献综述和系统总结,深入剖析了当前微地形改造在生态水文效应方面的重要研究进展、存在的不足和突出问题。以期能引起更多学者对微地形改造措施及其生态环境效应研究的持续关注和思考,籍以推动微地形改造相关研究的深入发展,为脆弱生态区植被恢复、生态系统管理和水土资源保持提供科学依据。

1 国内外研究进展

微地形改造是指人类根据科学研究或改造自然的实际需求,有目的对地表下垫面原有形态结构进行的二次改造和整理,从而形成大小不等、形状各异的微地形和集水单元,能有效增加景观异质性、改变水文循环和物质迁移路径,其空间尺度一般在 0—1 m 范围内波动^[10]。而无论采取什么形式的微地形改造措施,其主观意愿和基本目标都是为了改善立地条件、遏制土地退化、提高土壤质量和促进生态系统恢复。鉴于微地形改造的重要科学意义和实践价值,国内外学者立足于不同的生态系统类型与功能区,从各自专业背景和科学视野出发,围绕土壤属性及其质量、小气候和微生境、地表水蚀和降雨入渗、植被恢复及其生态服务等多个方面开展了微地形改造对生态环境效应的影响研究。

(1) 微地形改造对土壤属性及其质量有重要影响

大量研究表明,不同微地形改造措施及其空间组合模式能够创造出许多不同的斑块镶嵌体,使之显著区别于周围环境的微地貌结构和生物地球化学过程^[11]。而微地形改造的这种影响在不同自然地理单元和生态

系统类型区均发挥重要作用。譬如,在美国乔治亚洲一片被洪水淹没的森林区,在自然驱动力和人为因子的主导和干预下,不同微地形改造方式及时空变异有效调整和改变了土壤中铝铁氧化物,进而显著影响生物地球化学过程^[12]。在得克萨斯州的半干旱生境区,人工改造成凹陷洼地的微地形,其有机质含量远远高于改造前的自然地面^[13]。在腾格尔干旱沙漠区,微地形改造对地表生物化学过程的影响迥异,沙丘丘顶、背风坡、迎风坡和沙凹槽的土壤养分积累显著不同^[14]。马尾松林地的实验表明,不同微地形改造和整地措施改善土壤肥力的效果有较大差异^[11]。近年来,研究发现微地形改造能创造厌氧和需氧环境下不同的土壤氮固定与转化机制,进而加速 N 循环过程^[15]。还有学者从微观视野出发,通过跟踪监测和精细实验,发现凸状微地形含氧量明显高于凹槽,从而使土壤表层通过硝化作用将更多的 NH_4^+ 氧化成 NO_3^- ,最终影响土壤属性及其质量^[10]。在半干旱黄土丘陵区,有学者发现不同微地形改造措施对土壤养分和生产力的影响存在较大差异^[16]。

(2) 微地形改造对周边小气候及其微生境有重要影响

通过实施不同的微地形改造技术,地表微高程、粗糙度、起伏度和覆盖方式都会发生某种程度变化,从而对热辐射接收、能量吸附、水热迁移和转化过程产生关键影响^[3, 12, 15-17]。相应地,近地面温度、湿润度、风速、风向以及对太阳光的吸收和散射程度等都可能随之发生改变。而这些改变无疑会对地表凋落物的储存分解、微生物种群活性、土壤动物群落繁衍、种子萌发等诸多细微过程产生重要影响^[18-20]。正缘于此,有学者认为微地形改造能够创造出许多不同的地表微生境和局地小气候,进而显著增加坡面微景观的异质性。而微环境的异质性会对生物群落的结构和功能产生重大影响^[21, 22]。因此,为了改善生态系统的微环境,国际上不少地区利用手工、挖掘机、车辙、圆盘式耙地等方法对下垫面进行改造,从而形成各式各样的微地形结构^[23]。另外,不同微地形改造措施及其对周边小气候的影响特征在空间上具有高度异质性。如有学者发现低海拔处微地形的水分散失率和温度变异明显低于中高海拔地区^[24]。这些研究对于现实中进行微地形改造和评估其生态影响具有重要的参考价值。

(3) 微地形改造对降雨入渗和水蚀过程有重要影响

研究表明,微地形改造最直接有效的作用是增加了地表起伏度、降低坡面漫流的连通性,从而显著提升降雨在坡面土壤中的保持能力^[3, 11, 25]。在不同的降雨条件下,通过实施科学合理的微地形改造和整地措施,能够使 20% 到潜在的 200% 不等的降雨量就地入渗^[9]。相对于平滑地面,微地形改造能够有效降低土壤颗粒物、水分含量和有机质的流出比例,并延长其汇流时间^[7]。在云南干热河谷区,微地形改造后,雨后土壤水的消退过程明显减缓,水分在土壤中滞留的时间延长,从而更有利于植物吸收利用^[26]。还有研究表明,不同微地形改造和整地措施如水平沟、鱼鳞坑和自然坡地之间的土壤水分变化过程迥异,并呈现出明显的季节分异特征^[27]。受降雨波动胁迫和影响,水平台、台间坡面和自然坡面之间的土壤水分存在较大差异,雨季时不同坡位土壤水分均为台间坡面>水平台>自然坡面,而雨季时则为水平台>台间坡面>自然坡面;表明水平台改造不仅能够改善水分状况,更有利于抵御极端干旱,从而降低对气候波动的依赖^[28]。陕北黄土高原连续 9 a 的观测表明,修建有鱼鳞坑的林地,能够将 58%—90% 的地表径流量就地拦蓄,水平沟等微地形改造方式则可以分别减少 25.7%—40.5% 的径流量和 33.7%—56.1% 的侵蚀量,而这种雨水拦蓄能力的浮动范围主要取决于降雨强度及其历时^[29]。在山东泰安丘陵山地,内倾角为 5 度和 10 度的反坡台,能分别降低 57.9% 和 89.8% 的土壤流失,以及 89.3% 和 95.9% 的养分流失量^[30]。因此,微地形改造对于有效促进地表径流向入渗转化、保障植被充分吸收利用水资源以及地貌、水文和生态系统的协同进化都发挥了重要影响,而这将为半干旱脆弱区生态系统管理和植被恢复提供宝贵启示^[8]。

(4) 微地形改造影响植被恢复效果及其生态服务功能

科学合理的微地形改造措施对于提高植被生产力、积累生物量和促进生态系统正向演替发挥着重要作用,这主要和实施改造措施后能有效降低水土养分的流失比率、改善地表微环境密切相关^[13, 31]。譬如,有学者发现,植被地上生物量与下垫面微地形结构及其坡面分布格局显著相关($R^2 = 91\%$),昭示着通过科学合理

的微地形改造和整地,有目的塑造出各种微地形和集水区,进而促进植被恢复效果的充分发挥^[10,23,32]。在黄土高原,坡改梯田会使生物量积累提高 27%—53%^[33]。在亚热带丘陵山地,与对照相比,合理的坡面整地措施可以将树高、胸径和蓄积量分别提高 124%、130% 和 226%^[34]。而良好的植被覆盖和正向演替则可以逐步改善土壤水肥条件、提高遏制水土流失的能力^[35]。进一步的研究显示,坡面植被恢复状况与对应的生态功能、水文特性、生物多样性和碳沉降过程都有非常紧密的联系^[9,36]。因此,有目的地开展微地形改造和整地措施,人为创造更为适宜的微生境,对于改善植被生长状况、遏制重点区域水土流失和土地退化态势、提高生态系统服务功能都有重要现实意义。

2 尚存在的突出问题

尽管微地形改造的生态环境效应研究已经取得重要进展,但总体而言,目前尚存在不少难点和困境亟待解决突破。这里面既涉及微地形本身的特点和改造方式、其空间尺度界定标准及量化技术等基础理论和技术问题,也有微地形改造影响生态环境效应的关键驱动和时空作用机制等重要科学问题。一方面,探讨微地形改造本身的科学界定标准和量化技术,有利于促进和深化机理研究及实践改良;另一方面,微地形改造的生态环境效应也需要在优化改造措施及其空间格局基础上更好地体现和发挥,而生态环境效应优劣又是评判和检验微地形改造措施是否科学合理的客观标准,以便于在具体恢复过程中给予维护或适时调整。

2.1 微地形改造的科学界定方法与分类标准有待系统化

科学合理的微地形改造界定方法,是开展进一步生态环境效应研究的基础和前提。截至目前,学术界尚未形成一套微地形改造的系统方法和理论体系。根据国内外文献记载,目前主要涉及两种划分方法和界定标准。(1)根据立地尺度上微地貌特征和土壤粗糙度的变异程度,结合实践中的具体目的而划分的一类微地形改造标准,其空间尺度一般远远小于 1 m。这类微地形改造和整地措施以平原区的精耕农业为典型代表,已有的国内外研究还涵盖幼林栽培地、自然草地、各种湿地以及矿物开发恢复地等其他生态系统类型^[9,12-13,15,23,37]; (2)直接以野外人工整地方式命名并开展的系统研究。其空间尺度灵活多变,主要受限或取决于微地形改造的实际需要并兼顾其多样性。类似的微地形改造措施很多,如黄土高原、云南干热河谷、西班牙地中海及其他类似地区修建的鱼鳞坑、反坡台、水平阶、水平沟、水平槽、各类梯田,以及沟道内的谷坊和淤地坝建设等,都属于大小不一和形状各异的微地形改造措施^[2,16,26-28]。一般来讲,坡面上这些微地形改造和整地措施,其空间尺度大多在 1 m 范围内,但谷坊和沟谷淤地坝建设则会较大。通过这些措施的实施,有效起到了遏制侵蚀、改善生境和促进植被恢复的作用^[1,38]。而造成微地形改造界定标准差异的原因较多。其中,微地形改造及其时空镶嵌结构本身的多样性及其复杂性是重要原因之一。研究者的知识背景、研究目标和研究侧重点的不同也可能成为重要原因。此外,不同生态系统类型对于微地形改造的实际要求以及不同地理单元和自然区域之间微地形的实际差异也是重要因素。譬如,对于湿地、农田、草地和森林等不同生态系统,其要求微地形改造所要达到的形状结构和发挥的服务功能存在较大差别^[15,23,39],而不同区域(如平原区、土石山区、高寒山地和丘陵沟壑区等)自然地貌和关键生态环境问题也存在显著差别。但毫无疑问,尽管目前微地形改造的界定方法在某种程度上有其研究的便利性和多样性,但这种多元分类手段,由于缺乏系统的理论体系和更为科学的标准,容易导致认识上的模糊和误区,从长远看并不利于有关研究的深化。

2.2 微地形改造实地量化技术有待进一步完善

定量刻画和量测微地形改造的时空特点及其分布格局,并将其与具体的生物地球化学过程有机耦合,对于揭示不同微地形改造措施的生态环境效应至关重要。由于微地形包括垂直方向的微高程和水平方向的地表粗糙度,同时又具有显著的时空异质性,致使其野外测算难度很大^[6]。当前国内外研究中,主要存在现状调查、机械测定、光学成像以及三维激光扫描等 4 种典型实地勘测技术和数据采集量化方法^[40-41]。其中,现状调查法属于最传统的方法,主要基于野外踏查和肉眼勾绘等基本方法,试图通过定性描述和半定量记录的方式勾勒、分析微地形的结构及其形状学特征。这种方法在过去技术设备不完备的条件下应用普遍,但对专业人员的地貌制图能力和经验判断要求很高,由于费时费力,已经难以满足大范围、高精度的采样要求。接触

式机械测定法主要包括测针法、方格法、杆尺法和链条法等^[42],在早期的地形和微地貌量测中也有较多应用,主要通过测定地表糙度来反映微地貌特征。由于在具体测算过程中直接接触地表,对微地形结构有较大破坏,不利于后期生态环境效应的跟踪监测。光学成像法虽然成功克服了机械测定法对地表的破坏性,在快速取样方面也较为便捷,但由于固有的平面成像缺陷,难以实现立体式的微地形刻画模式,因而很难满足全面准确的微地形格局分析。激光扫描技术是目前正在发展的一项高新科技,也是测绘学领域的一次革命,是一种非接触式高速激光测量方式^[43]。相对于其他方法,该方法具有精度高(可以毫米计)、分辨率强的明显优势,是较为理想的微地形量测和分析方法。早在 90 年代中期,就有学者发明了用于室内测定侵蚀和微地形的扫描系统,并认为在合适的照明条件下也可以适用于野外自然环境^[41]。该项技术由于成本较高,目前尚未得到普及,但应用前景十分广阔。同时,如何将三维激光扫描技术应用于野外大尺度的实地监测和量化分析,并将其与具体的生态过程有机耦合,也是当前需要重点解决的关键问题。目前微地形定量刻画主要采用数字高程建模、分形理论和神经智能网络等基本方法^[43-44]。

2.3 微地形改造的地表水文效应研究有待加强

微地形改造普遍存在于不同生态系统类型区,种类多样且复杂多变。但系统梳理国内外文献,发现除了在计算地表粗糙系数时将微地形作为参数外,直接将微地形改造和水文效应有机联系的定量研究并不多见^[8,19]。加之不同尺度植被特征对水文过程存在显著影响,使得这一问题更趋复杂^[45-46]。正因为此,国内外有关微地形改造影响水文过程的结论并不一致。譬如,在西班牙,自然陡坡改造成水平梯田后,由于没有实施合适的地埂措施,年均土壤流失量不仅没有减少,反而增加了 26.5%,土壤水分也有不同程度下降^[47]。当水平平台的台间坡地超过一定坡度时,受雨水冲刷而发生坍塌损毁的风险剧增,平均径流系数将增加 6%—31%,而其值主要取决于雨强及其侵蚀力^[48]。同样的问题存在于中国的黄土高原。在陕北延安,陡峭的水平阶间坡面容易崩毁,从而诱发更为严重的水土流失^[49]。而现实中,由于缺乏精细设计和技术指导,却又不受任何环境立法的制约,导致微地形改造和陡坡地水平化的处理极为随意,其直接后果是构建了大范围并不稳定的人工系统,并被忧虑会进一步加剧土壤侵蚀和环境退化^[50]。具体来看,不同微地形改造方式(如形状结构、坡面曲率、汇水面积及其分布等)在土壤水分衰减、降水入渗、植被蒸发散、地表径流、壤中流及侵蚀过程中发挥何种作用,其作用有何异同;微地形改造后的时空镶嵌结构和分布格局如何影响地表水文过程,反过来,这些过程又会对微地形改造及其镶嵌体变化产生什么样的影响?在植被以及其他人工干预措施的综合影响下,微地形对水文过程的贡献率究竟如何?类似问题都需要通过强化基础研究给予解答。

2.4 微地形改造影响植被恢复的机理不明

截至目前,微地形改造对植被群落动态与分布格局的影响研究较少,植被恢复对不同时空尺度微地形改造方式和累积效应的响应机制不明。尽管国内外有限的研究已经表明微地形改造所创造的生境异质性对植被生长发育起着重要作用,但很难精确回答到底发挥多大程度的影响,尤其是在有其他自然因子和人为干扰介入的条件下。同时,有关人工创造的微地形如何影响引种植被的种群分布、群落动态和格局建成尚不清楚^[10,20]。以我国黄土高原为例,尽管大规模植被建设和整地方式创造了复杂多样的微地形和小生境,但目前研究多集中在微地形改造对土壤质量的影响上,微地形改造影响植被生长动态及其分布格局的机理研究亟需补充和加强^[2,16,28]。其次,微地形改造在诸多生物地球化学循环过程的作用研究有待强化和深入。譬如,不同微地形改造措施到底在土壤属性改良过程中发挥何种作用,这种作用在不同时空尺度上和不同区域有何变化?另外,土壤种子库和种子雨过程对于植被恢复和格局分布有较大影响,微地形改造在这些种子储存和运动变化过程中发挥什么样的作用,目前仍是一个科学谜团^[51-52]。从较长的时间尺度出发,微地形改造在植被恢复过程的不同时期(前期、中期和后期)的作用有何异同?类似问题对于植被恢复的成效至关重要,应该在以后的研究中给予重点关注^[53]。由于区域差异性和影响因素的多样性,定量对比不同微地形改造措施的生态环境效应难度加大,导致理论和实践中不清楚如何从空间上优化微地形改造措施的空间组合及其配置结构,以提高生态服务的供给能力^[53-54]。同时,从区域尺度看,大范围复杂多样的微地形改造措施所带来的累

积效应不明,而目前尚没有科学可行的推算方法和定量评估手段。此外,全球气候变化背景下,在不少干旱和半干旱区,暖干化趋势呈进一步加重态势,极端气候和水文事件对地表生境与植被恢复的危害日渐增加而不容忽视,而微地形改造在减缓立地条件恶化、降低灾害对植被恢复的影响方面能发挥多大作用,这种作用随不同时空尺度的推演是否存在一定的增减规律?凡此种种,许多重要科学问题和相关研究都亟待加强与深化。

3 结语

本文综述了微地形改造的生态环境效应相关研究进展,并指出了当前存在的突出问题 and 研究难点。总体而言,微地形改造及其效应研究是一个古老而崭新的科学命题。说其古老,是因为长期以来,在很多生态系统类型区的历史实践中,微地形改造技术已经广泛存在,用于有目的改善立地条件和生态环境质量。说其崭新,是因为截至目前,很多涉及微地形改造及其生态环境效应的研究仍然很不系统、很不深入,相关基础研究依旧严重滞后于实际需求。进一步发展和优化微地形改造技术,则是当前生态恢复和水土资源保持领域亟待解决的科学问题。鉴于此,建议今后重点围绕以下关键点,寻求突破,促进相关学科深入发展。

(1) 加强微地形改造的分类体系和野外测定技术研发,发展基于微地形改造的结构特征和功能分异量化方法。同时,科学设计实验方案,开展野外长期定位监测研究,依托先进设备和手段,跟踪监测其动态特征,以深入探讨不同尺度微地形改造与生态系统间的内在关系,特别是要搞清楚生态恢复前、中、后等不同时期微地形改造作用的异同。在此基础上,制定出适用于不同地区和治理目标的微地形改造技术导则,完善野外微地形数据采集和室内刻画分析等一整套的技术方法,为科学评估、筛选和优化微地形改造技术提供依据。

(2) 鉴于微地形改造对土壤、植被和地表水文过程有复杂影响,而且这种影响还具有显著的尺度效应。因此,要强化不同时空尺度微地形改造的生态水文效应研究。重点关注微地形改造措施对土壤属性和微生境、对水平方向上的水土流失和养分迁移、以及对垂直方向上的降雨入渗-土壤水分-植被拦蓄过程的综合影响。基于长期监测数据和水量平衡原理,构建微地形改造措施-土壤属性-植被恢复水文效应之间的定量关系表达,以揭示微地形改造的作用机理,服务重点区域水土保持、生境改良和植被恢复的客观需求。

(3) 鉴于当前全球变化对区域生态环境的影响趋于增强,需要密切关注气候变化背景下,不同尺度微地形改造方式在降低下垫面对气候和环境因子变化敏感性、遏制土壤退化和水土流失、保障生境健康适宜及促进植被恢复中的重要作用。重点关注微地形改造措施在抵御极端干旱、暴雨、高温、寒害及病虫害等不良事件对生态系统影响方面的能力,筛选和研发适应气候变化的下垫面关键改造技术,为最终实现生态环境良性运转提供科技支撑。

References:

- [1] Chen L D, Wei W, Fu B J, Lü Y H. Soil and water conservation on the Loess Plateau in China: Review and Prospective. *Progress in Physical Geography*, 2007, 31 (4): 389-403.
- [2] Cao B, Jing Q H, Li Z P, Zhai R H, Yang Y T. Designing of site preparation of slope areas in soil and water loss region in north Ningxia Hui Autonomous region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2005, 25(2): 54-59.
- [3] Bergkamp G A. hierarchical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and microtopography in semiarid shrublands. *Catena*, 1998, 33: 201-220.
- [4] Weltzin J F, Loik M E, Schwinning S. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. *Bioscience*, 2003, 53 (10): 941-952.
- [5] Richard A K. Global warming is changing the world. *Science*, 2007, 316: 188-190.
- [6] Anderson K, Bennie J, Wetherelt A. Laser scanning of fine scale pattern along a hydrological gradient in a peatland ecosystem. *Landscape Ecology*, 2010, 25: 477-492.
- [7] Stavi I, Ungat E D, Lavee H, Sarah P. Surface microtopography and soil penetration resistance associated with shrub patches in a semiarid rangeland. *Geomorphology*, 2008, 94: 69-78.
- [8] Thompson S E, Katul G G, Porporato A. Role of microtopography in rainfall-runoff partitioning: an analysis using idealized geometry. *Water Resources Research*, 2010, 46, W07520, doi:10.1029/2009WR008835.
- [9] Courtwright J and Findlay S G. Effects of microtopography on hydrology, physicochemistry, and vegetation in a Tidal Swamp of the Hudson River. *Wetlands*, 2011, 31: 239-249.

- [10] Bruland G L, Richardson C J. Hydrologic, Edaphic, and Vegetative Responses to Microtopographic Reestablishment in a Restored Wetland. *Restoration Ecology*, 2005, 13(3): 515-523.
- [11] Appels W M, Bogaart P W, van der Zee S. Influence of spatial variations of microtopography and infiltration on surface runoff and field scale hydrological connectivity. *Advances in Water Resources*, 2011, 34: 303-313.
- [12] Diefenderfer H, Coleman A, Borde AB, Sinks I A. Hydraulic geometry and microtopography of tidal freshwater forested wetlands and implications for restoration, Columbia River, U.S.A. *Ecology and Hydrobiology*, 2008, 8: 339-361.
- [13] Moser K A C, Noe G. The influence of microtopography on soil nutrients in created mitigation wetlands. *Restoration Ecology*, 2009, 17: 641-651.
- [14] Li X R, He M Z, Zerbe S, Li X J, Liu L C. Micro-geomorphology determines community structure of biological soil crusts at small scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2010, 35: 932-940.
- [15] Wolf K L, Ahn C, Noe G B. Micro-topography enhances nitrogen cycling and removal in created mitigation wetlands. *Ecological Engineering*, 2011, 37: 1398-1406.
- [16] Hammad A H A, Børresen T, Haugen L E. Effects of rain characteristics and terracing on runoff and erosion under the Mediterranean. *Soil & Tillage Research*, 2006, 87: 39-47.
- [17] Antoine M, Javaux M, Bièdres C. What indicators can capture runoff-relevant connectivity properties of the micro-topography at the plot scale?. *Advances in Water Resources*, 2009, 32: 1297-1310.
- [18] Antoine M, Javaux M, Bièdres C. What indicators can capture runoff-relevant connectivity properties of the micro-topography at the plot scale?. *Advances in Water Resources*, 2009, 32: 1297-1310.
- [19] Loos M, Elsenbeer H. Topographic controls on overland flow generation in a forest—An ensemble tree approach. *Journal of Hydrology*, 2011, 409: 94-103.
- [20] Rune H Ø, Knut R, Tonje Ø. Species richness in boreal swamp forest of SE Norway: The role of surface microtopography. *Journal of Vegetation Science*, 2008, 19: 67-74.
- [21] Vivian-Smith G. Microtopographic heterogeneity and floristic diversity in experimental wetland communities. *Journal of Ecology*, 1997, 85: 71-82.
- [22] El-Bana M I, Nijs I, Kockelbergh F. Microenvironmental and vegetational heterogeneity induced by phytogenic nekhas in an arid coastal ecosystem. *Plant and Soil*, 2002, 247: 283-293.
- [23] Moser K, Ahn C, Noe G. Characterization of microtopography and its influence on vegetation patterns in created wetlands. *Wetlands*, 2007, 27(4): 1081-1097.
- [24] Nagamatsu D, Hirabuki Y, Mochida Y. Influence of micro-landforms on forest structure, tree death and recruitment in a Japanese temperate mixed forest. *Ecological Research*, 2003, 18: 533-547.
- [25] Mayor Á G, Bautista S, Small E E, Dixon M, Bellot J. Measurement of the connectivity of runoff source areas as determined by vegetation pattern and topography: A tool for assessing potential water and soil losses in drylands. *Water Resources Research*, 2008, 44: 1-13.
- [26] Li Y M, Wang K Q, Liu Z Q, Wang J Y. Effects of reconstructed micro-slope on soil moisture dynamics in Yunnan dry-hot river valley. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2005, 22(3): 259-265.
- [27] Luo Y, Chen J Z, Lin L R, Wang S. Spatial and temporal variability of soil moisture in hilly red soil region based on land use and microtopography. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(2): 36-41.
- [28] Li Y M, Wang K Q, Liu Z Q, Wang J Y, Zhou X. Effect of different sloping land preparation measures on soil water content in the Dry-Hot river valley of Yunnan province. *Journal of soil and water conservation*, 2006, 20(1): 15-19.
- [29] Zhao S W, Liu N N, Su J, Yang Y H, Yang Q K, Guo S L. Effect of soil and water conservation measures on eroded soil development in the Loess Plateau. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(6): 5-12.
- [30] Lü H S, Zhu Y H, Skaggs T H, Yu Z B. Comparison of measured and simulated water storage in dryland terraces of the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 2009, 96: 299-306.
- [31] Bruland G L, Richardson C J. Hydrologic, Edaphic, and Vegetative Responses to Microtopographic Reestablishment in a Restored Wetland. *Restoration Ecology*, 2005, 13(3): 515-523.
- [32] Hara M, Hirata K, Fujihara M, Oono K. Vegetation structure in relation to micro-landform in an evergreen broad-leaved forest on Amami Ohshima island, south-west Japan. *Ecological Research*, 1996, 11: 325-337.
- [33] Liu X H, He B L, Li Z X, Zhang J L, Wang L, Wang Z. Influence of land terracing on agricultural and ecological environment in the Loess Plateau regions of China. *Environmental Earth Sciences*, 2010, DOI 10.1007/s12665-010-0567-6.
- [34] Yang Z J, Xu D P, Zhang N N. Effects of site preparation on the growth performance and economic benefit of *Eucalyptus* ABL W5 plantation. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2004, 24: 215-218.
- [35] Shi Z H, Chen L D, Cai C F, Li Z X, Liu G H. Effects of long-term fertilization and mulch on soil fertility in contour hedgerow systems: A case study on steeplands from the Three Gorges Area, China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 84: 39-48.
- [36] Yang Y C, Da L J, You W H. Vegetation structure in relation to micro-landform in Tiantong national forest park, Zhejiang, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2830-2840.

- [37] Morzaria-Luna H, Callaway J C, Sullivan G, Zedler J B. Relationship between topographic heterogeneity and vegetation patterns in a Californian salt marsh. *Journal of Vegetation Science*, 2004, 14: 523-530.
- [38] Moreno R G, Álvarez M C D, Alonso A T, Barrington S, Requejo A S. Tillage and soil type effects on soil surface roughness at semiarid climatic conditions. *Soil & Tillage Research*, 2008, 98: 35-44.
- [39] Lin D G. The effect of different site preparing modes on the growth of pinus taeda L. Juvenile stand and diversity of undergrowth. *Journal of Northeast Forestry University*, 2000, 28(6): 1-3.
- [40] Martinez-Turanas G A, Coffin D P, Burke I C. Development of microtopography in a semiarid grassland; Effect of disturbance size and soil texture. *Plant and Soil*, 1997, 191: 163-171.
- [41] Haubrock S N, Kuhnert M, Chabrilat S, Güntner A, Kaufmann H. Spatiotemporal variations of soil surface roughness from in-situ laser scanning. *Catena*, 2009, 79: 128-139.
- [42] Flanagan D, Huang C, Norton L, Parker S. Laser scanner for erosion plot measurements. *Transactions of the ASAE*, 1995, 38(3): 703-710.
- [43] Ma L G. Classification and application of terrestrial laser scanners. *Geospatial Information*, 2005, 3(3): 60-62.
- [44] Huo Y Y, Wu S F, Feng H, Yuan L F. Dynamic process of slope rill erosion based on three-dimensional laser scanner. *Science of Soil and Water Conservation*, 2011, 9(2): 32-37.
- [45] Deng Z C, Wu F Q, He S Q, Lai L. Change in surface micro-relief during the course of sheet erosion and interrill erosion. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(5): 931-937.
- [46] Shi Z H, Yue B J, Wang L, Fang N F, Wang D, Wu F Z. Effects of mulch cover rate on interrill erosion processes and the size selectivity of eroded sediment on steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 2013, 77: 257-267.
- [47] Jime'nez-Delgado M, Martínez-Casasnovas J A, Ramos M C. Land transformation, land use changes and soil erosion in vineyard areas of NE Spain//Kerte'sz, A, Kova'cs A, Csuta'k M, Jakab G, Madara'sz B, eds. *Proceedings Volume of the 4th International Congress of the ESSC*. Hungarian Academy of Sciences, Geographical Research Institute, Budapest, Hungary, 2004, 192-195.
- [48] Zuazo V D, Ruiz J A, Raya A M, Tarifa D F. Impact of erosion in the taluse of subtropical orchard terraces. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 107: 199-210.
- [49] Cao S X, Chen L, Feng Q, Liu Z D. Soft-riser bench terrace design for the hilly loess region of Shaanxi Province, China. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 80: 184-191.
- [50] Ramos M C, Cots-Folch R, Martínez-Casasnovas J A. Effects of land terracing on soil properties in the Priorat region in Northeastern Spain: A multivariate analysis. *Geoderma*, 2007, 142: 251-261.
- [51] Francis I, Alain B. Soil microtopographies shaped by plants and cattle facilitate seed bank formation on alpine ski trails. *Ecological Engineering*, 2007, 30: 278-285.
- [52] Leyer I, Pross S. Do seed and germination traits determine plant distribution patterns in riparian landscapes?. *Basic and Applied Ecology*, 2009, 10: 113-121.
- [53] Wei W, Chen L D, Yang L, Fred, Sun G. Micro-topography recreation benefits ecosystem restoration. *Environmental Science and Technology*, 2012, 46: 10875-10876.
- [54] Zhang Z Q, Wang S P, Sun G, Xie B Y. Runoff and sediment yield response to vegetation change at multiple scales: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 7: 2356-2364.

参考文献:

- [2] 曹兵,景清华,李真朴,翟汝伟,杨郁挺. 宁夏南部水土流失区坡面造林整地工程设计. *水土保持通报*, 2005, 25(2): 54-59.
- [26] 李艳梅,王克勤,刘芝芹,王建英. 云南干热河谷微地形改造对土壤水分动态的影响. *浙江林学院学报*, 2005, 22(3): 259-265.
- [27] 罗勇,陈家宙,林丽蓉,王双. 基于土地利用和微地形的红壤丘岗区土壤水分时空变异性. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 36-41.
- [28] 李艳梅,王克勤,刘芝芹,王建英,周祥. 云南干热河谷不同坡面整地方式对土壤水分环境的影响. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 15-19.
- [29] 赵世伟,刘娜娜,苏静,杨永辉,杨勤科,郭胜利. 黄土高原水土保持措施对侵蚀土壤发育的效应. *中国水土保持科学*, 2006, 4: 5-12.
- [34] 杨曾奖,徐大平,张宁南. 整地方式对桉树生长及经济效益的影响. *福建林学院学报*, 2004, 24: 215-218.
- [39] 林德根. 不同整地方式对火炬松幼林生长及林下植物多样性的影响. *东北林业大学学报*, 2000, 28(6): 1-3.
- [43] 马立广. 地面三维激光扫描仪的分类与应用. *地理空间信息*, 2005, 3(3): 60-62.
- [44] 霍云云,吴淑芳,冯浩,原立峰. 基于三维激光扫描仪的坡面细沟侵蚀动态过程研究. *中国水土保持科学*, 2011, 9(2): 32-37.
- [45] 郑子成,吴发启,何淑勤,赖腊. 片蚀与细沟间侵蚀过程中地表微地形的变化. *土壤学报*, 2011, 48(5): 931-937.
- [54] 张志强,王盛萍,孙阁,谢宝元. 流域径流泥沙对多尺度植被变化响应研究进展. *生态学报*, 2006, 26(6): 2356-2364.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.20 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatial variability of small and medium scales' resource abundance of *Ommastrephes bartramii* in Northwest Pacific YANG Mingxia, CHEN Xinjun, FENG Yongjiu, et al (6427)
- The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China WANG Dan, LV Yuliang, XU Li, et al (6436)
- Response and population bionomic strategies of desert rodent communities towards disturbance of cultivation YUAN Shuai, FU Heping, WU Xiaodong, et al (6444)
- Effects of Bt-cotton on *Propylea japonica*, an Enemy Insect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) ZHOU Fucui, GU Aixiang, YANG Yizhong, et al (6455)
- Research progress in the ecological effects of micro-landform modification WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, et al (6462)

Autecology & Fundamentals

- A multi-scale feeding habitat selection of Red-crowned crane during spring migration at the Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province, China WU Qingming, ZOU Hongfei, JIN Hongyang, et al (6470)
- Surface pollen research of Nanshan region, Shihezi City in Xinjiang ZHANG Hui, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al (6478)
- Dynamics of leaf carbon, nitrogen and phosphorus of two dominant species in a Poyang Lake wetland ZHENG Yanming, YAO Bo, WU Qin, et al (6488)
- Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery HUANG Jinlong, JU Weimin, ZHENG Guang, et al (6497)
- Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition TAO Yingshi, HONG Shengchun, LIAO Yongmei, et al (6509)
- Biological cycling of *Koeleria paniculata* plantation microelements in Xiangtan Manganese Mine wasteland LUO Zhaohui, TIAN Dalun, TIAN Hongdeng, et al (6517)
- Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain CHEN Zhan, WANG Lin, SHANG He (6526)
- Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield CHEN Xinxiang, HE Xusheng, GENG Zengchao, et al (6534)
- Source of variation of plant functional traits in the Yanhe river watershed: the influence of environment and phylogenetic background ZHANG Li, WEN Zhongming, MIAO Lianpeng (6543)
- The general biology and experimental population life table about *Asynacta ambrostomae* WANG Xiumei, ZANG Liansheng, LIN Baoqing, et al (6553)
- Effect of several ecological factors on embryonic development of *Sepia lycidas* PENG Ruibing, JIANG Xiamin, YU Shuguang, et al (6560)

Population, Community and Ecosystem

- The thinning regular of the the shrubbery at Tongguling National Nature Reserve on Hainan Island, China ZHOU Wei, LONG Cheng, YANG Xiaobo, et al (6569)
- The cause of grassland degradation in Golog Tibetan Autonomous Prefecture in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai Province ZHAO Zhiping, WU Xiaopu, LI Guo, et al (6577)
- Effects of simulated nitrogen deposition on substrate quality of litterfall in a *Pleiblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (6587)
- Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period LAN Wenlu, LI Mingmin, LI Tianshen (6595)
- Functional trait-based evaluation of plant fireproofing capability for subtropical evergreen broad-leaved woody plants LI Xiupeng, YANG Xiaodong, YU Shuquan, et al (6604)
- Interspecific associations between *Parus major* and other bird communities in Beijing Xishan region DONG Daying, FAN Zhongji, LI Zhaxijie, et al (6614)

Feasibility analysis of passive integrated transponders in population ecology studies of Siberian chipmunk	YANG Hui, MA Jianzhang, RONG Ke (6634)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China	LIU Qin, MEI Xurong, YAN Changrong, et al (6643)
Study on the levels' evaluation of provincial low-carbon development in China based on the FAHP-TOPSIS method	HU Linlin, JIA Junsong, MAO Duanqian, et al (6652)
An investigation of the safety threshold of a floodplain wetland: a case study of the Er-Ka Nature Reserve, China	HU Chunming, LIU Ping, ZHANG Litian, et al (6662)
Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetaion on the loess plateau	LIU Lei, AN Shaoshan, Huang Huawei (6670)
Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai	TANG Mingyan, YANG Yongxing (6681)
Resource and Industrial Ecology	
Changes of land surface temperature and its response to urbanization under the extreme high-temperature background in recent ten years of Beijing	LI Xiaomeng, SUN Yonghua, MENG Dan, et al (6694)
Stable isotope (^{13}C and ^{15}N) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir	LI Bin, XU Dandan, WANG Zhijian, et al (6704)
Research Notes	
Dynamics of CO_2 exchange and its environmental controls in an urban green-land ecosystem in Beijing Olympic Forest Park	CHEN Wenjing, LI Chunyi, HE Guimei, et al (6712)
Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years	WANG Peng, LI Xianwei, ZHAO Anjiu, et al (6721)
Photosynthetic characteristics and SAMS gene expression in the red alga <i>Porphyra yezoensis</i> Ueda under high salinity	ZHOU Xianghong, YI Lefei, XU Juntian, et al (6730)

《生态学报》2013 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,300 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

本期责任副主编 宋金明

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 33 卷 第 20 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 20 (October, 2013)

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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元