

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

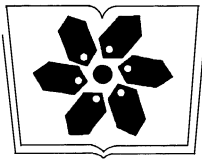
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第13期 Vol.33 No.13 **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 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪 宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚 婧,李 颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘 露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘 波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张 健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张 明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟 希,张 淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李 兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈 林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊 伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨 磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘 帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳 林,王 信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余 杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄 蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张 义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭 建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

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/stxb201205140711

缪宁, 刘世荣, 史作民, 马姜明, 王晖. 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述. 生态学报, 2013, 33(13): 3889-3897.

Miao N, Liu S R, Shi Z M, Ma J M, Wang H. A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 3889-3897.

强度干扰后退化森林生态系统中保留木的 生态效应研究综述

缪 宁¹, 刘世荣^{2,*}, 史作民², 马姜明³, 王 晖²

(1. 四川大学生命科学学院, 生物资源与生态环境教育部重点实验室, 成都 610065;

2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

3. 广西师范大学生命科学学院, 桂林 541004)

摘要: 保留木是指森林生态系统受到强度干扰后所存留的树木, 保留木对退化森林生态系统结构与功能的维持和恢复具有多方面的生态效应。在生态系统的尺度上总结了退化森林生态系统中保留木的各种生态效应, 主要包括保留木对非生物因子和生物因子(附生生物多样性、动物活动和动物多样性、树木更新、空间结构)的影响。森林生态系统经营中, “绿树保留”的经营方式是基于保留木生态效益的实践应用, 它可有效减少采伐对生态系统结构和功能所造成的损失。并将有助于深入理解受到强度干扰后森林生态系统中保留木的多种生态效应, 可为退化森林生态系统的恢复与重建提供理论依据。

关键词: 保留木; 退化森林; 生态效应; 干扰; 森林生态系统; 恢复

A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances

MIAO Ning¹, LIU Shirong^{2,*}, SHI Zuomin², MA Jiangming³, WANG Hui²

1 Key Laboratory of Bioresource and Eco-environment of Ministry of Education, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China

2 Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3 College of Life Sciences, Guangxi Normal University, China, Guilin 541004, China

Abstract: Remnant trees, which remain as a biological legacy in degraded forest ecosystems after severe disturbances, have been found to have had many positive ecological effects on the maintenance and recovery of ecosystem structure and functions. Remnant trees serve to reduce the impacts of human disturbances such as logging and habitat transformation on elements of biodiversity. This paper presents an overview on the main ecological effects of remnant trees on abiotic and biotic factors in degraded forest ecosystems based on relevant studies. With regard to abiotic factors, usually, remnant trees serve to regulate local micro-climate and site conditions and improve soil microbial activities and soil nutrient cycle through input of litter from leaves, branches, fruits, etc. However, the effects of remnant trees on the preservation of non-biological environments and improvement of micro-habitat conditions vary significantly in different forest ecosystems. With regard to impact on biotic factors, first, remnant trees in fields may facilitate natural regeneration by attracting seed dispersers and creating favorable site conditions for re-establishment of woody vegetation. Remnant trees serve as seed dispersal foci and thus as starting points of a spatial pattern process initiating forest regeneration. These forest regeneration foci of remnant

基金项目: 国家自然科学基金项目(31200477); 国家“十一五”和“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD22B01, 2006BAD03A04)资助

收稿日期: 2012-05-14; **修订日期:** 2013-04-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Liusr@caf.ac.cn

trees enhance the recruitment of trees and further influence the spatial pattern and structure of forest regeneration of these ecosystems and consequently increase the complexity of community structure. In addition, remnant trees also provide favorable microhabitats for the establishment of seedlings of late-successional tree species. Therefore, remnant trees, by the establishment of focal points of forest regeneration, facilitate a more rapid forest restoration and the conservation of nutrients in the accumulation of woody plant biomass. Second, remnant trees may have positive effects on the re-establishment of forest birds and mammals by providing suitable habitats, which have largely been lost in most seriously degraded forest ecosystems. As measured by increases in animal species richness and diversity, remnant trees appear to add significant habitat value to degraded forest lands. The degree of influence on animal activities and species diversity by remnant trees depends on the species, volume and density. Third, remnant trees often retain some of plant species which originally lived on or under those trees, which also can contribute further to the recovery of forest plant diversity. Especially, the canopies of remnant trees have remained potential refuges for some forest mosses, epiphytes and lichens, which are also remnants from the original intact forest ecosystems. Epiphytic plants may often have interactive relationships with the host remnant trees. Fourth, the deliberate retention of remnant trees can be incorporated in practical forest management, *i. e.*, the application of ‘green-tree retention’ in forest harvesting in order to reduce the damages to ecosystem services and functions caused by extensive tree removal management. While leaving remnant trees may appear to reduce short-term commercial profits, the application of ‘green-tree retention’ serves to enhance wildlife habitat, biodiversity, and ecosystem function, including soil protection and nutrient retention and, ultimately, promote the natural regeneration of the forest ecosystem. Therefore, we suggest that remnant trees play a significant role in providing suitable substrate and starting engine for the restoration of degraded forests induced by severe disturbances. There are a variety of forest ecosystems under frequent and different disturbance regimes (logging, fire, hurricane, etc.) in China. However, remnant trees are only used as a concept but actually no practical application in forest management, and their ecological effects have still draw little attentions so far in China. Therefore, a high research priority should be given to ecological effects of remnant trees in various forest ecosystems in order to provide useful knowledge for guiding degraded forests ecosystem restoration and rehabilitation.

Key Words: remnant trees; degraded forests; ecological effects; disturbances; forest ecosystems; restoration

干扰是自然生态系统的固有属性,生态系统在不同时空尺度上均受到外界干扰^[1]。一般来说,生态系统受到强度干扰后,其结构和功能都会发生显著的退化,但或多或少会留下一些“生物遗产”,即对于生态系统恢复有促进作用的生物有机体及其环境,它们始终伴随着生态系统的恢复过程^[2]。保留木是森林在受到强度干扰(如飓风、林火、火山、采伐、地震等)后明显区别于周围生境的残留树木,是全球范围破碎化景观中的一种常见现象^[3]。这种生态学现象在不同的研究中有着不同的表述形式,如孤立木^[4]、中美洲和南美洲毁林牧场中残存的牧场树^[5-6]、澳大利亚的围场树^[7]、遗产树^[8]、散生树^[3]、保留木^[9-10]、绿树保留树、鸟类栖木^[11]、森林采伐后的保留木^[12]和残留木^[13]等。其中,以“保留木”这种表达应用最为广泛,为了统一和便于理解,本文采用了这一表述方式。

对保留木生态学效应的关注始于1986年Guevara等^[10]对墨西哥热带雨林进行的研究:在弃耕地和废弃牧场的次生演替过程中,他们发现保留木作为栖息木吸引了多种鸟类,增加了树木种子的传播几率,促进了树木的重新定居。而此前一些研究者虽然注意到了森林受到强度干扰后的保留木现象^[14-15],但并未涉及到保留木的生态学效应^[10]。此后,这种保留木的生态效应逐渐引起了其他研究者的关注和重视,开展了深入的观察和各方面的研究,这些研究初步阐明了保留木作为恢复过程中种子扩散中心的作用^[16-17],以及保留木林冠层对一些地衣^[18]和附生植物^[19]的庇护作用。

随着全球森林生态系统所受干扰的频度和强度不断加剧,以及恢复生态学过程和机理的深入研究,保留木生态效应逐渐吸引了更多的关注。保留木对森林生态系统恢复的综合生态效应已逐渐受到重视,研究主要

涉及保留木对强度干扰后生态系统中各种生物和非生物因子的有利作用和影响,比如,保留木对森林生态系统结构和功能的恢复具有深远影响^[20],保留木促进了受干扰生态系统的恢复^[9,21],增加了生态系统的复杂性^[22-23]。此外,在景观的水平上,保留木作为退化景观初始格局的组分,提高了破碎化景观的连通性^[3,24]。但是,目前对于保留木生态效应的研究仍处于发展阶段,概念不尽统一和完善,保留木生态效应的作用过程和调控机理尚不清楚。本文综述了保留木对受到强度干扰后退化森林生态系统中生物和非生物因子的各种作用和影响,对保留木的研究现状和未来研究展望进行了评述,旨在为深入研究保留木的生态效应奠定基础,亦为退化森林生态系统的恢复与重建提供理论参考。

1.1 保留木对退化森林生态系统中非生物环境因子的影响

保留木对退化森林生态系统中非生物环境因子的恢复有着积极影响,为退化森林生态系统中的昆虫、鸟类、兽类等,以及树木重新定居提供了适宜的生境^[25-26],这主要是由于保留木可保持并缓和退化森林生态系统中局部的微气候条件(温度、光照、水分等)^[27],相比保留木树冠范围和无保留木的区域,保留木树冠范围的生境条件更为优越^[26,28]。

研究者们通过对比有保留木和无保留木生境中非生物环境因子差异的方法,证实了保留木对退化森林生态系统中非生物环境因子的作用。如 Rhoades 等^[6]在厄瓜多尔低山森林采伐后人工营造的牧场中发现,牧场中分散的牧场树,即保留木,改善了牧场中的局部空气温度和光照强度,保留木的周围微气候环境指标甚至接近附近未受干扰的天然林。Galicia 和 Garca-Oliva^[29]在墨西哥西部热带雨林采伐后所形成的季节性牧场中发现,两种保留木的凋落物对于土壤动物的活动有显著的促进作用,保留木通过对土壤输入有机物,提高了土壤微生物的数量和活力,促进了林下土壤的养分循环。Peck 和 McCune^[18]对比了美国俄勒冈州西部有保留木的次生林(火烧干扰)和无保留木的次生林(皆伐干扰),发现在有保留木次生林中的地衣和凋落物生物量数值远大于无保留木次生林中的该数值,地衣的地表凋落物重量与保留木密度呈显著的正相关关系。

保留木树种对非生物环境以及对其生境条件的改善影响较大^[6,29-30]。比如,Galicia 和 García-Oliva^[30]在墨西哥西部热带落叶林采伐后的牧场中,对保留木林冠下土壤微生物碳和氮的季节性变化进行了研究,发现受树种固氮能力和凋落物性质的影响,不同树种林冠下土壤微生物碳和土壤微生物氮的含量存在显著差异。

1.2 保留木对退化森林生态系统中生物因子的影响

1.2.1 保留木对退化森林生态系统中附生生物多样性的影响

当森林生态系统受到强度干扰后,保留木保存了退化森林生态系统中的乔木树种及其附生生物(如地衣、苔藓、附生植物等),保留木的树冠为其提供了应对强度干扰的“避难场所”^[28]。保留木减少了森林生态系统干扰后由于生境退化所导致的物种多样性损失,并为物种多样性的恢复提供了基本条件^[25,31]。

(1) 保留木保存了附生的苔藓和地衣多样性

Rosenvald 和 Lohmus^[32]研究了一种特殊采伐方式——“绿树保留”下保留木对植物物种多样性的保存效应,发现相比苔藓和维管植物,保留木对菌根和附生地衣的保存效果更为明显。同样,Sillett 和 Goslin^[33]发现在加拿大花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)林受到火烧干扰后,一些地衣种类与特定种类保留木的关系非常密切,距离保留木越近,其生物量就越高,并且小片集中的保留木上的附生地衣生物量显著多于单株保留木边缘的生物量。

(2) 保留木保存了附生维管束植物的多样性

Hietz-Seifert 等^[19]对墨西哥低地雨林采伐后附着在保留木上的附生植物及其多样性进行了研究,发现附生植物的数量与生物量与保留木的大小(胸径)呈显著的正相关关系,而与保留木的距离呈负相关关系。另外,由于保留木树种对作为种子传播者的鸟类和蝙蝠种类有吸引作用,从而使得某些依靠动物传播种子的植物种类在保留木周围频繁出现。再如,在南美洲厄瓜多尔西部的低地雨林和安第斯云雾林中,Köster 等^[34]对比研究了毁林放牧和造田对附生植物多样性的影响,发现在邻近的原始林、树岛、分散保留木和皆伐起源的次生林中,原始林中的附生植物多样性最高,而在分散保留木和皆伐起源次生林中的附生植物多样性最小;在皆

伐起源的次生林中,寄主树木的大小与附生植物的数量之间存在正相关关系,而在原始林和保留木形成的树岛中则无明显的关系。对保留木而言,宿主树木与附生植物种类之间的相互选择性可解释 61% 的附生植物多样性变异。

保留木保存了强度干扰后退化森林生态系统中附生生物的多样性,然而,干扰停止后保留木上附生生物多样性的动态变化却较为复杂。Werner^[35]在厄瓜多尔南部的山地森林中,探索了附生维管束植物在强度干扰后的多样性变化动态,发现相比未受干扰的森林,在皆伐后的 3a 内保留木上的附生植物死亡率逐渐增大,这说明保留木尽管短期内保存了部分附生维管束植物,但由于强度干扰后环境的退化导致了其死亡率逐渐增大;另外,还发现保留木上附生植物的存活率与其最大叶长呈显著的负相关关系,而附生植物叶片数量的年增长量往往取决于保留木的树种特征。

(3) 保留木树种特性影响着附生生物多样性的变化,保留木树种与其依附物种间存在相互的选择性

比如,Löhmus 等^[36]研究了爱沙尼亚南部森林采伐后保留木对附生植物的保存效应,发现采伐后存留的欧洲杨(*Populus tremula*)树上的苔藓和地衣种类显著高于桦木(*Betula* spp.)树上的苔藓和地衣种类。除了受保留木树种的影响,保留木的树形和朝向亦会影响着附生物种的分布。比如,Hedenäs 和 Hedström^[37]发现在瑞典北部针叶林皆伐后的欧洲杨对一些附生地衣种类有特殊的吸引和传播效应,特别是某些地衣种类只分布于欧洲山杨树干的北面。

1.2.2 保留木对退化森林生态系统中动物活动和物种多样性的影响

类似于对植物物种多样性的影响,保留木保存了退化生态系统中动物的物种丰富度和多样性,凸显出了显著的栖息地生境价值^[29]。许多研究^[10, 17, 38]都证实了退化生态系统中的保留木可为一些食果动物和鸟类提供食物和栖息场所。一些研究亦表明保留木可作为迁徙鸟和留鸟的巢穴和自然栖木^[39],其存在增加了种子传播和定居的几率,促进了退化生态系统的恢复^[11]。目前,已经有较多的研究揭示了保留木有利于种子扩散的生态学效应。Herrera 和 García^[20]比较了在西班牙北部毁林后营造的牧场中种子雨在保留木林冠下和无保留木空旷地的差异,发现保留木作为种子扩散中心促进了次生演替过程中两个优势种的种子扩散;在森林中果实的歉收年,灵长目食果动物被迫取食森林以外区域中保留木上零散的果实,这时保留木的作用甚至相当于原生森林中的树木。

保留木自身的特性(种类、大小、密度等)对动物活动及其物种多样性有着显著的影响。Stuart-Smith 等^[40]研究了加拿大落基山火灾后森林中保留木的生态效应,发现鸣鸟群落、物种丰富度和密度都显著受到了保留木密度和种类的影响,依据这种关系,森林经营者可以通过控制采伐时保留木的密度和种类来影响某些物种的丰富度。Zahawi 和 Augspurger^[41]发现,在中美洲洪都拉斯热带雨林退化后形成的牧场中鸟类趋向于在保留木所形成的树岛中活动,比如,一天内 Zahawi 和 Augspurger 在树岛上记录了 160 次的鸟类活动,而在非树岛范围仅有 1 次记录;相比小的树岛,灵长目食果动物在大树岛上的活动更频繁,活动时间更长。Sillett 和 Goslin^[33]发现,在加拿大的花旗松林火灾干扰后保留木的基面积大小与鸟类活动频度有着密切关系,但受树种的影响,一些鸟类随保留木基面积增大而活动趋于频繁,而一些鸟类则与此相反。

1.2.3 保留木对退化森林生态系统中树木更新格局的影响

保留木对退化森林生态系统中树木的更新格局具有显著影响,一方面,保留木提供了种源和保持了原有的稳定生境条件,另一方面,保留木的种类及其分布亦影响着树木的更新格局。

(1) 在次生演替过程中保留木促进了种子的扩散,保留木所形成的种子雨有利于次生群落的更新^[20]。保留木提供了的次生林正向演替所需的种源,因而保留木成为了种子的扩散中心^[10, 42]。Zahawi 和 Augspurger^[41]对中美洲洪都拉斯热带雨林退化后形成牧场中的保留木进行了研究,发现树岛增加了依靠动物传播种子树木的种子雨,树岛下的种子密度和物种丰富度显著大于非树岛范围,树岛越大,种子密度越高,对恢复就越有利,这说明保留木可为树木种子提供适宜的萌发条件,可避免退化生境中强光和高温所导致种子的存活力下降。另如,Harvey^[24]在哥斯达黎加研究防护林中的保留木效应时发现,有保留木农田防风林中的

树木幼苗密度显著大于无保留木农田防风林中的树木幼苗密度。

(2) 保留木不仅保存了退化森林生态系统中的土壤种子库^[41],还保存了林冠附生生物分解所形成的林冠土壤种子库,而林冠土壤种子库可作为储备种子库为退化森林恢复提供必要的种源^[26, 43]。Nadkarni 和 Haber^[26]研究了哥斯达黎加毁林后所形成牧场中的保留木生态学效应,发现在原始林林下的土壤种子库密度显著大于保留木林冠和原始林林冠中的种子库密度,但后两者差异不显著,这说明在原始森林遭受破坏后,牧场中残留保留木的林冠土壤种子库起到了决定性的作用,而其中的种子正是林木重新定居的必要条件。

(3) 保留木的种类对其林冠覆盖范围树木的更新存在一定影响。Huffman 等^[44]研究了美国明尼苏达州南部森林采伐后保留木林冠对速生杨(*Populus tremuloides*)生长的影响,发现速生杨的幼苗密度主要受保留木林冠层盖度的影响,其次受林分年龄的影响;保留木林冠层盖度是影响森林中不同树木更新的重要因子,对不同年龄的幼苗密度影响各异,比如,7年生和8年生幼苗密度随林冠层盖度增大而显著减小,而保留木林冠层盖度与9年生幼苗的密度则无明显的关系。

(4) 保留木的疏密程度关系到更新所需的微环境条件(光照和湿度),并且保留木的林冠在各方面影响着退化生态系统中的生物和非生物因子,从而对树木的更新起了决定性作用^[27]。Pastur 等^[27]在阿根廷老龄矮假山毛榉(*Nothofagus pumilio*)林中采取了两种采伐方式来保存保留木(聚集和分散方式),以此探讨保留木疏密程度对更新的影响,发现在聚集方式的保留木林冠下,更新幼龄个体的密度、高度和生长量显著地受其与保留木的方位、方向和距离的影响;而在分散方式的保留木林冠下,更新幼龄个体距离保留木越近,则其更新质量就越差。

1.2.4 保留木对退化森林生态系统空间结构的影响

一方面,保留木作为退化生态系统中种子扩散中心和空间格局的初始点,始终与干扰后定居的树木产生竞争或相互作用的关系^[45]。尤其是在次生演替初期,除了密度和大小,保留木分布和空间位置会对树木更新的种类和空间分布产生较大的影响^[45],从而决定了退化森林生态系统的空间结构动态^[20, 46]。比如,在美国华盛顿州南部花旗松林火烧后所形成的次生林中,Keeton 和 Franklin^[21]发现离老龄保留木越近,花旗松幼苗的密度就越大;在保留木存在的林分,耐荫针叶树种更新定居的速度要快于先锋阳性树种,这说明火灾后存留的老龄耐荫针叶树种保留木可以提供顶极针叶树种的种源,加快了火灾干扰后退化森林向原生顶极群落正向演替。此外,在非洲喀麦隆西南部雨林采伐后所形成的次生林中,Carrière 等^[47]发现覆盖保留木与无保留木覆盖的林分更新状况截然不同,相比非保留木林分,保留木下的更新树木在物种数和株数上所占比例更大;然而,在无保留木覆盖的林分,其草本植物的种类和多度所占比例较之保留木覆盖林分的更大。在我国川西亚高山暗针叶林强度采伐后所形成的天然次生林中,缪宁^[48]发现天然次生林中的保留木对恢复过程中出现树木的空间分布格局具有显著影响,这表现为保留木在不同距离对不同大小和种类的树木产生了相应的吸引或排斥关系:大径级保留木在促进演替后期优势树种岷江冷杉的更新和生长的同时,制约了先锋优势树种红桦的更新和生长。

另一方面,保留木可增加生态系统的结构(水平和垂直结构)复杂性^[22-23]。比如,在美国俄勒冈州,在商业性“绿树保留”方式采伐花旗松林后所形成的次生林中,Zenner^[23]发现保留木密度对群落的结构复杂性既有有利影响,亦有不利的影 响:基于树木高度变异的结构性复杂性指数与保留木密度呈负相关,说明保留木降低了次生林的垂直结构复杂性;而基于树木直径变异的结构性复杂性指数与保留木正相关,说明保留木增加了次生林水平结构的复杂性。在日本南部,日本柳杉(*Cryptomeria japonica*)林采伐后种植 18—19a 的日本柳杉人工林中,保留木抑制了部分日本柳杉的高生长,距离保留木的远近和方向是影响其高生长的重要因素^[49]。

1.3 保留木效应在退化森林生态系统恢复和经营中的应用

相比自然干扰所带来的破坏,人为干扰(尤其是大面积皆伐)所留下的生物遗产多样性质量更低且数量更少,人为的强度干扰方式使得退化生态系统的物种组成、结构和功能多样性难于恢复^[2]。在世界范围内,采伐是对森林生态系统破坏程度最大、最普遍的一种人为干扰方式。采伐不仅直接导致森林的面积锐减和生

物多样性丧失,同时,加剧了采伐后森林生态系统结构和功能的持续退化。采伐方式中,皆伐一度在世界范围内占主导地位^[40],然而,随着人们更加注重森林生态系统的服务功能,逐渐转变了传统的皆伐作业方式,转而采取其他采伐方式。“绿树保留”^[25, 33]就是一种探索性的非皆伐方式,这种方式利用保留木能为先锋树种创建适宜生境并影响了次生群落演替速度和方向的原理,采伐时保留部分树木并对其进行抚育和经营。当森林经营同时兼顾经济效益和生态效益时,基于“绿树保留”理念的采伐方式可为次生林的恢复提供更多的枯立木、倒木和保留木,相比皆伐这种方式,它减少了一定的经济效益,但却可提供了更多的生态效益(野生动物栖息地、生物多样性、生态系统功能等)^[22]。由于“绿树保留”方式可以维持森林生态系统结构的多样性,所以现代森林生态系统管理中,这种经营方式逐渐受到重视^[37]。

退化森林生态系统中所存留下来的保留木,可显著影响次生林树木的生长量和林分的蓄积量,这使得保留木的抚育成为退化森林生态系统恢复和经营中的关键问题。比如,在爱沙尼亚,Rosenvald 等^[50]研究森林采伐后保留木存活的预适应和空间效应时发现,由于保留木的存在,增加了恢复过程中耐荫树木的多度。另外,美国俄勒冈州的花旗松林经历了“绿树保留”方式的采伐后,保留的保留木基面积越大,新生长树木的基面积、体积和年平均生长量越小^[51]。然而,对于火烧干扰后美国俄勒冈喀斯喀特山脉花旗松林中,Zenner 等^[52]发现了同“绿树保留”干扰方式下类似的结论,即,保留木密度和下层树木的密度及其数量呈负相关,即保留木密度越大,下层树木的密度和基面积越小;未经疏伐的保留木会降低新定居树木的生长量,而新定居树木的生长量主要受保留木密度制约。

2 总结与展望

尽管影响退化森林生态系统恢复的因素有很多,比如残留的土壤种子库、与周边未干扰森林(种源)的距离、土壤和地形等,这些作为“生物遗产”的各种因子经过复杂的相互作用形成了恢复的动力,但是保留木无疑是其中的一种重要恢复驱动力。在大尺度上,保留木及其生态效应印证了生态记忆^[53]的客观存在,这种生态记忆源于动植物的相互作用、动态联系(在退化生境传播种子的鸟类)和生物遗产(在破碎化景观中提供种质资源的保留木和小片森林斑块)^[54]。究其本质,保留木的生态效应仍属于原有森林生态系统的功能,而在次生演替的初期和干扰后的退化森林生态系统中这种原有功能得以凸显。一方面,在退化森林生态系统中,保留木的生态效应往往凸显于森林生态系统演替的初期阶段,而在演替后期,随着森林生态系统的结构和功能逐渐恢复,保留木失去了演替初期作为种子扩散中心和保存原有生态系统功能的作用。另一方面,保留木作为“生物遗产”的生态效应只有在强度干扰后才能充分发挥,而在轻度干扰的条件下,其生态效应可能会与原生森林的其他生态系统功能重叠,不易显现。

在群落尺度上,本文从生态系统结构与功能的角度总结了保留木的生态效应,针对保留木对非生物因子和生物因子(附生生物、动物活动和动物多样性、更新、空间结构)的各方面影响进行了评述。实际上,保留木的各种生态效应间是相互联系和影响的,而彼此间并不孤立。比如,在强度干扰后的次生林中,保留木保存了部分附生生物的多样性和局部非生物环境,保留木在为鸟类和兽类提供栖息场所和食物的同时,鸟类和兽类的活动亦增加了种子传播的几率以及改善了局部的微环境,从而为树木的更新和定居提供了有利条件。综合来看,保留木是退化森林生态系统恢复和重建的重要驱动力,可对演替过程中生态系统的结构和功能产生深远的影响^[9, 21, 55]。由于保留木对生物多样性和生态系统功能可产生多方面的生态效应,所以它们被认为是强度干扰后森林生态系统经营的关键因素^[2, 56]。此外,在种群和个体的尺度上,保留木同样具备显著的生态效应,比如保留木可保存原有生态系统的遗传多样性^[57]和促进了退化生态系统中的花粉传播^[58],这些方面的生态效应亦受到研究者的关注。目前,对于保留木生态效应的研究多集中于群落或生态系统水平,而在景观水平上,某些保留木树种在何种程度上影响着景观的连通度(种子扩散)和稳定性尚不明确^[25]。为深入揭示保留木对退化生态系统恢复过程和机理的影响,需要开展生态系统中保留木生态效应的动态变化与其功能尺度效应的研究,可利用受干扰森林的初始调查数据与次生林的现状调查数据进行对比分析^[25]。

我国的森林生态系统类型多样而丰富,森林所受的泥石流、火灾、飓风、采伐等自然和人为干扰方式多样

并且频繁。然而,“保留木”这个概念主要应用于森林采伐活动^[12-13],其综合生态效应尚未得到充分的重视,因此关于保留木生态效应的相关研究和实际应用都比较少。因此,深入开展保留木在退化生态系统的作用及其生态效应研究,对我国生物多样性保护、生态系统服务功能维持和生态系统经营均具有借鉴意义,可为促进我国退化森林生态系统的恢复与重建提供科学依据和技术手段。

References:

- [1] Turner M G, Barker W L, Peterson C J, Peet R K. Factors influencing succession: Lessons from large, infrequent natural disturbances. *Ecosystems*, 1998, 1(6): 511-523.
- [2] Franklin J F, Lindenmayer D, MacMahon J A, McKee A, Magnuson J, Perry D A, Waide R, Foster D. Threads of continuity. *Conservation in Practice*, 2000, 1(1): 8-17.
- [3] Manning A D, Fischer J, Lindenmayer D B. Scattered trees are keystone structures-implications for conservation. *Biological Conservation*, 2006, 132(3): 311-321.
- [4] Toh I, Gillespie M, Lamb D. The role of isolated trees in facilitating tree seedling recruitment at a degraded sub-tropical rainforest site. *Restoration Ecology*, 1999, 7(3): 288-297.
- [5] Harvey C A, Villanueva C, Esquivel H, Gómez R, Ibrahim M, Lopez M, Martinez J, Muñoz D, Restrepo C, Saénz J C, Villacís J, Sinclair F L. Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(10): 1664-1674.
- [6] Rhoades C C, Eckert G E, Coleman D C. Effect of pasture trees on soil nitrogen and organic matter: Implications for tropical montane forest restoration. *Restoration Ecology*, 1998, 6(3): 262-270.
- [7] Cunningham R B, Lindenmayer D B, Mason C, Michael D, MacGregor C, Montague-Drake R, Fischer J. The combined effects of remnant vegetation and tree planting on farmland birds. *Conservation Biology*, 2008, 22(3): 742-752.
- [8] Mazurek M J, Zielinski W J. Individual legacy trees influence vertebrate wildlife diversity in commercial forests. *Forest Ecology and Management*, 2004, 193(3): 321-334.
- [9] Elmqvist T, Wall M, Berggren A L, Blix L, Fritioff A, Rinman U. Tropical forest reorganization after cyclone and fire disturbance in samoa: Remnant trees as biological legacies. *Conservation Ecology*, 2002, 5(2): 10-10.
- [10] Guevara S, Purata S E, van der Maarel E. The role of remnant forest trees in tropical secondary succession. *Vegetatio*, 1986, 66(2): 77-84.
- [11] Li X H. Ecological significance of bird perches on the restoration of forest vegetation. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4448-4454.
- [12] Shi j Y. Discussion and practice of ecologically harvesting in China. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998, 34(2): 90-98.
- [13] Jiang Z H, Jin G Z. Effects of selection cutting on diameter growth and vertical growth among major tree species in the mixed broadleaved-korean pine forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5843-5852.
- [14] Budowski G. The distinction between old secondary and climax species in tropical central american lowlands. *Tropical Ecology*, 1970, 11(1): 44-48.
- [15] Hall J B, Swaine M D. Distribution and ecology of vascular plants in a tropical rain forest: Forest vegetation in ghana. *Hague: Junk*, 1981: 383.
- [16] Guevara S, Meave J, Moreno-Casasola P, Laborde J. Floristic composition and structure of vegetation under isolated trees in neotropical pastures. *Journal of Vegetation Science*, 1992, 3(5): 655-655.
- [17] Wunderle J M Jr. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, 1997, 99(1/2): 223-235.
- [18] Peck J E, McCune B. Remnant trees and canopy lichen communities in western oregon: A retrospective approach. *Ecological Applications*, 1997, 7(4): 1181-1187.
- [19] Hietz-Seifert U, Hietz P, Guevara S. Epiphyte vegetation and diversity on remnant trees after forest clearance in southern veracruz, mexico. *Biological Conservation*, 1996, 75(2): 103-111.
- [20] Herrera J M, García D. The role of remnant trees in seed dispersal through the matrix: Being alone is not always so sad. *Biological Conservation*, 2009, 142(1): 149-158.
- [21] Keeton W S, Franklin J F. Do remnant old-growth trees accelerate rates of succession in mature douglas-fir forest? *Ecological Monographs*, 2005, 75(1): 103-118.
- [22] Franklin J F, Spies T A, Pelt R V, Carey A B, Thornburgh D A, Berg D R, Lindenmayer D B, Harmon M E, Keeton W S, Shaw D C, Bible K, Chen J. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management*, 2002, 155(1/3): 399-423.
- [23] Zenner E K. Do residual trees increase structural complexity in pacific northwest coniferous forests? *Ecological Applications*, 2000, 10(3):

- 800-810.
- [24] Harvey C A. Colonization of agricultural windbreaks by forest trees: Effects of connectivity and remnant trees. *Ecological Applications*, 2000, 10 (6): 1762-1773.
- [25] Keeton W S, Franklin J F. Fire-related landform associations of remnant old-growth trees in the southern Washington cascade range. *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, 34(11): 2371-2381.
- [26] Nadkarni N M, Haber W A. Canopy seed banks as time capsules of biodiversity in pasture-remnant tree crowns. *Conservation Biology*, 2009, 23 (5): 1117-1126.
- [27] Pastur G J M, Cellini J M, Lencinas M V, Barrera M, Peri P L. Environmental variables influencing regeneration of *Nothofagus pumilio* in a system with combined aggregated and dispersed retention. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(1): 178-186.
- [28] Fenton N J, Frego K A. Bryophyte (moss and liverwort) conservation under remnant canopy in managed forests. *Biological Conservation*, 2005, 122(3): 417-430.
- [29] Galicia L, Garca-Oliva F. Litter quality of two remnant tree species affects soil microbial activity in tropical seasonal pastures in western mexico. *Arid Land Research and Management*, 2011, 25(1): 75-86.
- [30] Galicia L, García-Oliva F. Remnant tree effects on soil microbial carbon and nitrogen in tropical seasonal pasture in western mexico. *European Journal of Soil Biology*, 2008, 44(3): 290-297.
- [31] Chan-McLeod A C A, Moy A. Evaluating residual tree patches as stepping stones and short-term refugia for red-legged frogs. *The Journal of Wildlife Management*, 2007, 71(6): 1836-1844.
- [32] Rosenvald R, Lohmus A. For what, when, and where is green-tree retention better than clear-cutting? A review of the biodiversity aspects. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(1): 1-15.
- [33] Sillett S C, Goslin M N. Distribution of epiphytic macrolichens in relation to remnant trees in a multiple-age douglas-fir forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, 29(8): 1204-1215.
- [34] Köster N, Nieder J, Barthlott W. Effect of host tree traits on epiphyte diversity in natural and anthropogenic habitats in ecuador. *Biotropica*, 2011, 43(6): 685-694.
- [35] Werner F A. Reduced growth and survival of vascular epiphytes on isolated remnant trees in a recent tropical montane forest clear-cut. *Basic and Applied Ecology*, 2011, 12(2): 172-181.
- [36] Lohmus P, Rosenvald R, Lohmus A. Effectiveness of solitary retention trees for conserving epiphytes: Differential short-term responses of bryophytes and lichens. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006, 36(5): 1319-1330.
- [37] Hedenäs H, Hedström P. Conservation of epiphytic lichens: Significance of remnant aspen (*populus tremula*) trees in clear-cuts. *Biological Conservation*, 2007, 135(3): 388-395.
- [38] Hunter J E, Bond M L. Residual trees: Wildlife associations and recommendations. *Wildlife Society Bulletin*, 2001, 29(3): 995-999.
- [39] Holl K D. Do bird perching structures elevate seed rain and seedling establishment in abandoned tropical pasture?. *Restoration Ecology*, 1998, 6 (3): 253-261.
- [40] Stuart-Smith A K, Hayes J P, Schieck J. The influence of wildfire, logging and residual tree density on bird communities in the northern rocky mountains. *Forest Ecology and Management*, 2006, 231(1/3): 1-17.
- [41] Zahawi R A, Augspurger C K. Tropical forest restoration: Tree islands as recruitment foci in degraded lands of honduras. *Ecological Applications*, 2006, 16(2): 464-478.
- [42] Carrière S M, André M, Letourmy P, Isabelle O, Doyle B M. Seed rain beneath remnant trees in a slash-and-burn agricultural system in southern cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, 2002, 18(3): 353-374.
- [43] Larson A J, Franklin J F. Patterns of conifer tree regeneration following an autumn wildfire event in the western oregon cascade range, USA. *Forest Ecology and Management*, 2005, 218(1): 25-36.
- [44] Huffman R D, Fajvan M A, Wood P B. Effects of residual overstory on aspen development in minnesota. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, 29(2): 284-289.
- [45] Palik B, Mitchell R J, Pecot S, Battaglia M, Pu M. Spatial distribution of overstory retention influences resources and growth of longleaf pine seedlings. *Ecological Applications*, 2003, 13(3): 674-686.
- [46] Finegan B. Pattern and process in neotropical secondary rain forests: The first 100 years of succession. *Trends in Ecology and Evolution*, 1996, 11 (3): 119-124.
- [47] Carrière S M, André M, Letourmy P. Effects of remnant trees in fallows on diversity and structure of forest regrowth in a slash-and-burn agricultural system in southern cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, 2002, 18(3): 375-396.
- [48] Miao N. Spatial Pattern Analysis in A Natural Secondary *Betula-Abies* Forest at Sub-Alpine Area of Western Sichuan, China [D]. Beijing: Chinese

Academy of Forestry, 2009.

- [49] Yamashita K, Mizoue N, Ito S, Inoue A, Kaga H. Effects of residual trees on tree height of 18- and 19-year-old *Cryptomeria Japonica* planted in group selection openings. *Journal of Forest Research*, 2006, 11(4): 227-234.
- [50] Rosenvald R, Lõhmus A, Kiviste A. Preadaptation and spatial effects on retention-tree survival in cut areas in estonia. *Canadian Journal of Forest Research*, 2008, 38(10): 2616-2625.
- [51] Acker S A, Zenner E K, Emmingham W H. Structure and yield of two-aged stands on the willamette national forest, oregon: Implications for green tree retention. *Canadian Journal of Forest Research*, 1998, 28(5): 749-758.
- [52] Zenner E K, Acker S A, Emmingham W H. Growth reduction in harvest-age, coniferous forests with residual trees in the western central cascade range of oregon. *Forest Ecology and Management*, 1998, 102(1): 75-88.
- [53] Sun Z Y, Ren H. Ecological memory and its potential applications in ecology: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(3): 549-555.
- [54] García D, Martínez D, Herrera J M, Morales J M. Functional heterogeneity in a plant-frugivore assemblage enhances seed dispersal resilience to habitat loss. *Ecography*, 2012, 35: 1-12.
- [55] Méndez M, García D, Maestre F T, Escudero A. More ecology is needed to restore mediterranean ecosystems: A reply to valladares and gianoli. *Restoration Ecology*, 2008, 16(2): 210-216.
- [56] Babweteera F, Brown N. Can remnant frugivore species effectively disperse tree seeds in secondary tropical rain forests?. *Biodiversity and Conservation*, 2009, 18(6): 1611-1627.
- [57] Millar M A, Byrne M, Nuberg I K, Sedgley M. High levels of genetic contamination in remnant populations of *Acacia saligna* from a genetically divergent planted stand. *Restoration Ecology*, 2012, 20(2): 260-267.
- [58] Fuchs E, Hamrick J. Mating system and pollen flow between remnant populations of the endangered tropical tree, *Guaiacum sanctum* (zygophyllaceae). *Conservation Genetics*, 2011, 12(1): 175-185.

参考文献:

- [11] 李新华. 鸟类栖木在森林植被恢复中的生态意义. *生态学报*, 2009, 29(8): 4448-4454.
- [12] 史济彦. 我国在生态性采伐实践中的论述与作法. *林业科学*, 1998, 34(2): 90-98.
- [13] 蒋子涵, 金光泽. 择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响. *生态学报*, 2010, 30(21): 5843-5852.
- [48] 缪宁. 川西亚高山红桦-岷江冷杉天然次生林的空间格局研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [53] 孙中宇, 任海. 生态记忆及其在生态学中的潜在应用. *应用生态学报*, 2011, 22(3): 549-555.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jian et al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《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 彭少麟

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 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元