

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

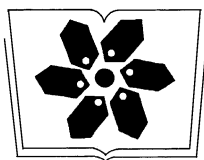
中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

中国生态学会
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 31 卷 第 19 期

2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对旱稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流、 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

刘世荣, 王晖, 栾军伟. 中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展. 生态学报, 2011, 31(19): 5437-5448.

Liu S R, Wang H, Luan J W. A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5437-5448.

中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展

刘世荣^{1,*}, 王 晖¹, 栾军伟²

(1. 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;

2. 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091)

摘要:森林是陆地生态系统的主体,是陆地上最大的碳储库和碳吸收汇。国内外研究表明,土壤亚系统在调节森林生态系统碳循环和减缓全球气候变化中起着重要作用。但是,由于森林类型的多样性、结构的复杂性以及森林对干扰和变化环境响应的时空动态变化,至今对森林土壤碳储量和变率的科学估算,以及土壤关键碳过程及其稳定性维持机制的认识还十分有限。综述了近十几年来我国森林土壤碳储量和土壤碳过程的研究工作,主要包括不同森林类型土壤碳储量、土壤碳化学稳定性、土壤呼吸及其组分、土壤呼吸影响机制、气候变化与土地利用对土壤碳过程的影响等;评述了土壤碳过程相关科学问题的研究进展,讨论了尚未解决的主要问题,并分析了未来土壤碳研究的发展趋势,以期为促进我国森林土壤碳循环研究,科学评价森林土壤碳固持潜力及其稳定性维持机制和有效实施森林生态系统管理提供科学参考。

关键词:森林;土壤;碳储量;土壤呼吸;土壤碳化学稳定性

A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China

LIU Shirong^{1,*}, WANG Hui¹, LUAN Junwei²

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

2 Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: Forests, as a principal component of terrestrial ecosystems, are the largest carbon (C) pool and C sink. The extensive studies over the past decade indicate soil subsystem plays an important role in regulating forest ecosystem C cycling and mitigating global climate change. However, the scientific estimations of forest soil C stock and variability are inadequate, and the understanding of the key C processes and mechanism underlying soil C stability is still limited, due to the diversity of forest types, the complexity of forest structure and the temporal and spatial dynamic variations of responses of forests to disturbances and environmental changes. In this paper, we synthesize findings from published studies in recent ten years on forest soil C stock and soil C process in China, including soil C stocks in different forests, soil C chemical stability, soil respiration and its portioning components in association with underlying mechanisms, and impacts of climate changes and land use change on soil C processes, etc. The research progress of key scientific issues related to soil C processes and the principal unresolved issues are explored. We also discuss the future development of forest soil C research in China in view of the global perspective. The review is expect to provide scientific contributions for understanding forest soil C sequestration potential and for developing adaptation measures in forest management based on the current forest soil C research progress in China.

基金项目:林业公益性行业科研重大专项(200804001, 201104006); 科技部国际合作重点项目(2008DFA32070)

收稿日期:2011-07-12; **修订日期:**2011-09-18

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

Key Words: forest; soil; carbon stock; soil respiration; soil carbon chemical stability

森林是陆地生态系统的主体,是陆地上最大的碳储库和碳吸收汇。森林生物量碳贮量达 282.7 GtC,约占全球植被的 77%,森林土壤的碳贮量约占全球土壤的 39%^[1]。平均每公顷森林的生物量碳贮量 71.5 tC,如果加上土壤、粗木质残体和枯落物中的碳,每公顷森林碳贮量达 161.1 tC^[2]。近十几年来,国内外生态学家和土壤学家对森林土壤碳储量及碳过程极为关注,在全球范围内针对不同地区不同森林类型的土壤碳储量、土壤呼吸、土壤碳的稳定性,以及气候变化和土地利用与土地覆盖变化对土壤碳过程时空动态的影响开展了大量研究,认为土壤亚系统在调节森林生态系统碳循环和减缓全球气候变化中起着重要作用^[3]。但是,由于森林类型的多样性、结构的复杂性以及森林对干扰和变化环境响应的时空动态变化,至今对森林生态系统碳固持潜力、关键碳过程及其稳定性维持机制的认识还十分有限,导致对森林土壤碳储量和变率的估算存在较大的不确定性^[4]。因此,迫切需要深入开展森林生态系统碳循环机制、土壤碳关键过程及其稳定性维持机制的深入研究,藉以增强对全球气候变化和生态系统管理对森林固碳潜力及其不确定性的科学认识。

本文通过全面综述了近十几年来我国森林土壤碳储量和土壤碳过程的研究工作,主要包括不同森林类型土壤碳储量、土壤碳化学稳定性、土壤呼吸及其组分、土壤呼吸影响机制、气候变化与土地利用对土壤碳过程的影响等;评述了土壤碳过程相关科学问题的研究进展,讨论了尚未解决的主要问题,并分析了未来土壤碳研究的发展趋势,以期为促进我国森林土壤碳循环和碳过程研究,科学评价森林土壤碳固持潜力及其稳定性维持机制和有效实施森林生态系统管理提供科学参考。

1 森林土壤碳储量与土壤有机碳稳定性

1.1 不同森林类型土壤碳储量

近 10a 来,我国开展的森林碳储量和碳含量研究涉及了我国主要气候带(热带、亚热带和温带)的主要森林类型(天然林、次生林和人工林)(图 1 和图 2)^[5-30],通过野外样地实测获得了大量的不同森林类型的土壤碳的基础数据。

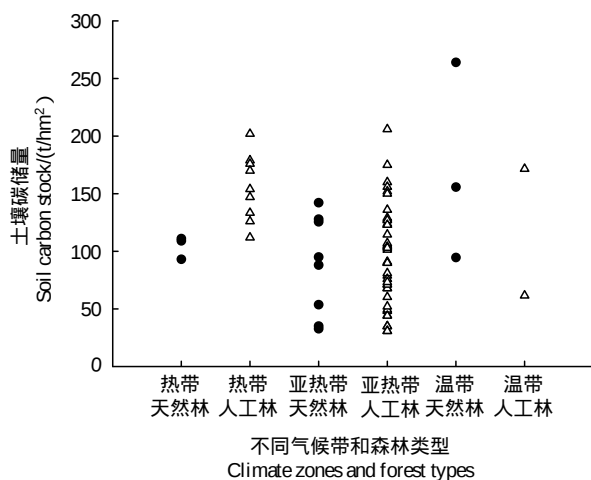


图 1 我国主要森林类型的土壤碳储量

Fig. 1 Soil carbon stocks of the main forest types in China

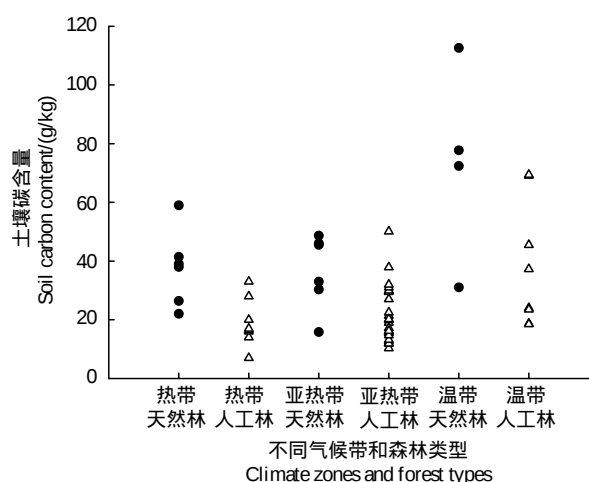


图 2 我国主要森林类型的表层土壤碳含量

Fig. 2 Soil carbon contents in the upper layer of the main forest types in China

从图 1 可见,我国各森林类型的土壤碳储量的变化范围在 44—264 t/hm²,平均为 107.8 t/hm²。其中,天然林平均土壤碳储量 109.1 t/hm²,人工林平均土壤碳储量 107.1 t/hm²。不同气候带的天然林土壤碳储量的空间变化规律是,从热带至温带森林土壤碳储量总体上呈增加的趋势,其中热带与亚热带地区相近似,略低于温带地区土壤碳储量。但是,不同气候带人工林土壤碳储量之间和天然林与人工林土壤碳储量之间的差异并不十分明显。有些研究报道,天然林土壤碳储量一般高于天然次生林和人工林^[13-14,29,23]。

从图 2 可见,森林土壤碳含量的变化规律是温带地区天然林和人工林表层土壤碳含量均相对高于热带、亚热带地区。不同森林类型之间土壤碳储量、碳含量的差异主要表现在土壤表层。研究表明:伴随着林龄的增加,森林土壤碳含量和碳储量呈现增加的趋势^[6,25];随着海拔的增加,不同森林类型的土壤有机碳含量和碳储量也表现为增加的趋势^[18,32,12]。

不同人工林类型土壤有机碳同样存在明显差异。例如,对我国亚热带 4 种主要人工林类型的研究表明:红锥、火力楠和米老排 3 种阔叶人工林的表层土壤有机碳储量比马尾松人工林高出了 11%—19%。不同人工林之间的土壤有机碳储量的差异主要归因于细根的输出而不是凋落物叶的输出^[8]。人工针阔混交林的土壤有机碳储量显著高于人工针叶纯林^[9]。

目前,土壤碳储量研究多关注的是数量特征,对土壤碳固持速率和固碳潜力相关的关键科学问题研究十分有限,例如,森林土壤碳积累的自然过程与维持机制。这些科学问题既是土壤新兴学科“碳截获土壤科学”研究的关键问题,也是未来我国制定增加碳截获和减缓气候变化决策的重要基础。通过在不同自然地理区的森林生态站开展长期定位监测,可以定量分析森林土壤碳积累与转化的动态变化规律,确定反映土壤固碳功能的关键参数和土壤最大碳固持量。例如,在我国华南地区的鼎湖山森林生态站,通过分析 25a(1979—2003 年)的长期土壤观测数据,发现我国亚热带成熟的天然老林龄仍然具有固碳能力,土壤有机质浓度平均每年增加 0.035%,土壤有机质储量增加 $0.61\text{t}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[34]。

1.2 土壤有机碳化学结构及其稳定性

土壤有机碳是由复杂多变的有机分子单体和化合物组成,土壤不同组分间化学结构的差异表现为土壤有机碳稳定性的差别^[35-37]。土壤中的糖类物质(氧烷基碳)多为不稳定、易分解的碳组分,而富含脂肪类物质(烷基碳)或木质素(芳香族碳)的土壤有机碳由于内在的分子特性而表现为相对稳定且不易分解^[38,36]。因此,土壤碳是否能够稳定的固持,更取决于土壤碳的化学组成和结构^[36,8]。随着近年来激光分解波谱、固态¹³C核磁共振波谱、红外光谱和热解质谱测量等土壤原位和非破坏性分析技术和手段等应用,可以在分子水平上更深入地阐明土壤碳固持的状态和过程^[39-40,35]。

采用可见/红外光谱和傅立叶变换红外光谱研究土壤有机质的光谱学特性发现,西双版纳次生林转变为橡胶园后,胡敏酸中羧基和酚基结构比例降低,而脂肪族、芳香族和多聚糖比例增加^[27]。利用¹³C核磁共振波谱分析方法研究土壤有机质的化学结构发现,与马尾松人工林比较,亚热带 3 种阔叶人工林的土壤表层具有较低的烷基碳、较高的氧烷基碳和较低的烷基碳/氧烷基碳比值,说明了马尾松人工林土壤比 3 种阔叶人工林土壤具有较高的化学稳定性^[8]。这一研究结果表明,在该地区实施人工针叶纯林近自然化改造过程中需要综合考虑树种对土壤碳储量与土壤碳化学稳定性的影响,应该在景观上合理配置不同的人工针叶林与乡土人工阔叶林。

1.3 气候变化和森林管理对土壤碳储量的影响

土壤有机碳具有不同的更新和周转速率,其碳转移方向与强度在不同时间尺度上决定着大气 CO₂ 的浓度^[41]。因此,研究全球变化影响下森林土壤碳库的动态变化规律,已成为当前土壤碳的源汇效应演化与全球变化关系的重大基础科学问题。国际上正在兴起尝试采用红外、地缆等加温设备模拟研究温度升高或降水变化对森林土壤碳储量及碳过程的影响^[42-43]。近年来,在我国西双版纳热带雨林、哀牢山亚热带森林、东灵山温带森林、河南宝天曼暖温带天然次生林和广西亚热带人工林陆续开展了土壤增温与降水控制的长期定位实验,以期深入揭示区域气候变暖情景下(包括干旱胁迫)森林土壤有机质的动态响应及其调控机理。

在影响森林土壤碳库变化的诸多要素中,氮元素逐渐引起广泛关注。大气氮沉降的变化直接或间接影响土壤碳的输入、输出过程,对森林土壤碳库产生影响^[44]。自 2003 年起,模拟氮沉降对森林生态系统影响的野外控制实验在我国温带、亚热带和热带森林也逐渐开展^[45]。研究表明,氮沉降增加显著增加氮饱和森林土壤可浸提有机碳的含量,表明氮沉降增加可能会提高森林土壤有机碳的固持能力^[46]。土壤碳氮耦合的研究成果表明氮沉降很有可能是影响森林土壤碳储量的主要因素之一,这是将是未来国内外森林土壤碳汇与固持机

制研究的重要方向^[47-49]。

上述已开展的实验模拟气候变化和氮沉降对不同森林土壤碳储量、碳氮过程和固碳潜力影响,为模型模拟预测提供关键技术参数。但是,上述研究尚处于起步阶段,并且土壤碳的截获与沉积是相对较为长期的过程,受多种生物和非生物多因子的控制,驱动机制及调控机理较为复杂。因此,还需进一步的长期深入研究。

森林抚育、恢复、造林等经营措施可以直接影响森林碳库,并且能够通过改变凋落物数量及其化学性质和土壤有机质分解影响森林土壤碳库。森林经营方式的转变,即将天然林转变为次生林或人工林后,土壤有机碳储量显著降低,土壤轻组有机碳降低尤为明显^[29,51]。造成森林土壤有机碳降低的主要原因是森林凋落物归还数量及其质量改变,以及水土流失和经营措施对土壤的扰动引起土壤有机质加速分解或流失等^[29,50,5]。不同采伐措施对土壤碳储量和活性有机碳含量也有影响。一般采伐会减少土壤储存的有机碳,特别是强度采伐迹地裸露增大,雨水冲刷严重,加之土温升高,加速土壤有机碳的释放和流失;强度择伐短期内可增加土壤活性有机碳含量,而皆伐后造林土壤活性有机碳出现下降趋势^[22,51]。

综上所述,维持森林的高生产力带来的碳输入,并且避免由于土壤干扰等造成的碳释放是提高土壤碳储量和土壤持续固碳的有效森林经营措施。如何通过合理的森林经营模式,包括造林树种的选择、森林抚育和采伐措施等,提高人工林的生态、经济和社会效益并且获得最大化的固碳潜力成为国内外关注的焦点。

2 森林土壤呼吸过程及其调控机制

土壤呼吸是大气 CO₂ 的重要来源之一。土壤呼吸往往占森林生态系统呼吸总量的 40%—80%^[52]。鉴于土壤有机碳库研究的复杂性和困难,人们企图通过建立土壤表面 CO₂ 通量与环境因素间的联系,借助于模型模拟等手段从而更快的了解土壤碳库变化过程。因此,科学认识土壤呼吸的时空变异规律及其调控机理十分重要。然而,由于土壤呼吸过程是一个复杂的生物、物理、化学过程的综合体,迄今,人们对土壤呼吸过程本质的了解还十分有限。

2.1 土壤呼吸时空变异及其影响因子

目前,森林土壤呼吸主要集中研究时空变异规律,即日、季节动态,及其与日季节动态相关的温度、水分等环境因子间的关系^[53-54]。土壤呼吸的季节变化主要受非生物因子温度和水分变化的调控,而昼夜变化则可能主要受植物生理活动周期性等生物因素的影响^[55]。在我国北亚热带-南暖温带过渡区,当土壤温度低于 15℃ 时,天然林土壤呼吸速率主要受控于土壤温度;当土壤温度高于 15℃,而含水量低于 0.20 kg/kg 时,含水量对呼吸速率有明显的抑制作用;当土壤温湿度分别高于 15℃ 与 0.20 kg/kg,呼吸速率同时受到土壤温湿度的影响^[56]。而在热带地区,影响橡胶林土壤呼吸的主导因子在雨季为湿度,雾凉季是温度,干热季土壤呼吸受到温、湿度因子的双重制约;在雨季,凋落物对土壤呼吸影响显著,而在干热季和雾凉季影响不显著^[57]。近年来,非生长季森林土壤呼吸及其年际动态和极端气候现象的影响受到特别关注^[58-62]。陈光水等^[63]通过收集全国 62 个森林样地已发表土壤呼吸及相关因子数据,发现森林土壤呼吸年通量与年均气温、年均降水量、年凋落物量和年地上净生产力均呈显著的线性正相关关系。

目前,由于土壤呼吸温度敏感性(Q_{10} 值)在区域碳循环模拟估计中的重要性,受到国内外研究的广泛关注,其中土壤呼吸温度敏感性与土壤质量的关系成为争论的焦点。Xu 等^[12]研究发现,土壤分解温度敏感性随土壤有机碳惰性程度增加而增加,支持了近来有关土壤有机质分解温度敏感性与土壤有机质质量呈正相关的观点^[64-65]。Luan 等在暖温带锐齿栎林和华山松人工林的研究也发现,土壤呼吸 Q_{10} 值的空间异质性与底物可用性在空间上的分布有关,但与土壤有机质质量间的关系决定于驻留时间。在我国川西亚高山暗针叶林中, Q_{10} 值表现出强烈的季节和年变异;土壤温度是影响 Q_{10} 变化的主要因子,而土壤湿度则是 Q_{10} 变化的潜在影响因素^[66]。Peng 等^[67]综合了近来已发表的 161 个野外观测数据,发现土壤呼吸温度敏感性受土壤温度测量深度影响较大,随土壤温度测量点深度增加而显著增加。 Q_{10} 值具有明显的空间异质性, Q_{10} 值的空间分布与降水及土壤有机碳含量的关系密切^[68]。

2.2 土壤呼吸组分分离及其调控机制

森林土壤呼吸组分分离并确定不同组分时空变异的调控因子,是估测区域森林碳平衡的关键问题。土壤呼吸组分分离技术包括:成分综合法、离体根法、排除根法、树干环剥法、人工同位素标记法和天然同位素丰度法等^[69]。国内学者近年来采用壕沟断根法(根排除法)对不同地区、类型森林土壤呼吸组分分离开展了大量研究^[26,56,70-71]。对这些研究结果进行综合分析发现,森林土壤异养呼吸和枯枝落叶层呼吸与年凋落物量呈显著正相关;森林土壤异养呼吸与自养呼吸间呈显著的线性正相关^[63]。中国温带地区 6 种森林土壤呼吸组分分离研究发现,根际呼吸与细根生物量间存在较强的相关关系,而异养呼吸与 A 层土壤有机碳含量关系微弱^[33]。我国暖温带锐齿栎林演替序列的研究表明,不同年龄阶段总呼吸差异是缘于微生物呼吸和根际呼吸不同的贡献率。老龄林土壤总呼吸高于其它林龄土壤呼吸主要是由于土壤微生物呼吸明显大于其它森林所致,而高的微生物呼吸则主要是由于老龄林土壤中储存了大量的有机碳,尤其是活性有机碳库造成。随林龄增加,栎类林根际呼吸则在成熟林(80 年生)时期达到最大,老龄林则降低^[6,31]。

2.3 全球变化对森林土壤呼吸的影响

全球变化,涉及氮沉降、酸雨胁迫、气候变化和土地利用与土地覆盖变化对土壤呼吸的影响,国内近些年来开展了大量的研究工作,见表 1。

表 1 干扰方式对中国森林土壤呼吸及温度敏感性的影响
Table 1 Impacts of disturbance types on forest soil respiration and Q_{10} in China

干扰 Disturbance	处理方式 Treatment	地点 Sites	森林类型 Forest types	土壤呼吸 Soil respiration	Q_{10}	参考文献 References
皆伐 Clear cut	对照	福建农林大学西 芹教学林场	杉木人工林 <i>Cunninghamia lanceolata</i>		2.42	[28]
	皆伐地				1.42	
皆伐火烧 Clear up & burning	对照	福建三明	27 年生杉木 人工林	86.1—367.9 mg m ⁻² h ⁻¹	2.1	[72]
	皆伐			62.2—211.7 mg m ⁻² h ⁻¹	1.3	
	火烧			42.6—150 mg m ⁻² h ⁻¹	1.1	
凋落物处理 Litter management	对照	长沙天际岭国家 森林公园	杉木人工林	180.9 mg m ⁻² h ⁻¹	2.26	[71]
	去除凋落物			159.2 mg m ⁻² h ⁻¹	2.39	
	加倍凋落物			216.8 mg m ⁻² h ⁻¹	2.43	
凋落物处理 Litter management	对照	长沙天际岭国家 森林公园	马尾松人工林 <i>Pinus massonian</i>	234.97 mg m ⁻² h ⁻¹	2.1	[73]
	去除凋落物			175.18 mg m ⁻² h ⁻¹	2.16	
	添加凋落物			310.36 mg m ⁻² h ⁻¹	2.56	
凋落物处理 Litter management	对照	东北林业大学帽 儿山	落叶松(<i>Larix gmelinii</i>)人工林	2.20 μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	2.33	[74]
	林床清理			1.18 μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	2.22	
施肥 Fertilizer	对照	东北林业大学帽 儿山	水曲柳 <i>Fraxinus mandshuric</i>		2.45	[75]
	施肥			降低	2.47	
	对照		落叶松 <i>Larix gmelinii</i>		3.05	
	施肥			降低	3.02	
氮沉降 Nitrogen deposition	对照	华西雨屏区	苦竹人工林 <i>Pleioblastus amarus</i>	(5.85±0.43) t C·hm ⁻² ·a ⁻¹		[76]
	低氮 5			(6.48±0.71) t C·hm ⁻² ·a ⁻¹		

续表

干扰 Disturbance	处理方式 Treatment	地点 Sites	森林类型 Forest types	土壤呼吸 Soil respiration	Q_{10}	参考文献 References
氮沉降 Nitrogen deposition	中氮 15	华西雨屏区	光皮桦 <i>Betula luminifera</i>	$(6.84 \pm 0.57) \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	3.94	[77]
	高氮 30			$(7.62 \pm 0.55) \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$		
	对照					
	低氮 5			比对照低 27.60%		
	中氮 15			比对照低 35.90%		
氮沉降 Nitrogen deposition	高氮 30	龙王山	亚热带落叶阔叶林	比对照低 47.7%	2.53	[78]
	对照			$(339.50 \pm 16.85) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
	低氮 5			$(310.62 \pm 43.96) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
	中氮 10			$(306.43 \pm 15.33) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
	高氮 15			$(301.35 \pm 18.17) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
氮沉降 Nitrogen deposition	对照	广东	热带常绿阔叶林 mature tropical forest	$(69 \pm 3) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$	2.6	[47]
	低氮 5			$(72 \pm 3) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
	中氮 15			$(63 \pm 1) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
	高氮 30			$(58 \pm 3) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
	对照	川西南	常绿阔叶林	$(612.21 \pm 77.82) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$	2.2	[79]
氮沉降 Nitrogen deposition	低氮 5			$(638.19 \pm 116.70) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
	中氮 10			$(587.08 \pm 125.90) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
	高氮 15			$(570.85 \pm 111.45) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		
	对照	华南植物园	南亚热带人工森林生态系统	$3308.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	[80]	
多种处理 Multiple treatment	大气 CO_2 浓度倍增			$4241.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$		
	高氮沉降			$3400.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$		
	高降雨			$3432.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$		
	对照	米亚罗	川西亚高山人工云杉林	$1.93\text{—}3.37 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	3.66	[81]
增温 Warming	增温 1 年			$2.03\text{—}3.72 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
	对照			$2.85\text{—}4.49 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
	增温 2 年			$2.95\text{—}4.33 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
	对照	岷江上游	华山松林 <i>Pinus armandii</i>	$0.51 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	3.15	[82]
增温 Warming in winter(冬季)	增温			$0.67 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		

模拟氮沉降单位 Manipulated nitrogen deposition; $\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$

Mo 等^[47]通过对氮饱和状态的热带森林进行模拟氮沉降实验发现, N 增加会降低氮饱和热带森林的土壤呼吸速率和 Q_{10} 值。同时发现, 土壤呼吸降低发生在热、湿的生长季, 与微生物活性及细根生物量等的降低有关。同样, 华西雨屏区光皮桦 (*Betula luminifera*) 林和龙王山北亚热带落叶阔叶林模拟氮沉降试验发现, 氮沉降对土壤呼吸产生抑制效应^[77]。但是, 川西南常绿阔叶林和华西雨屏区苦竹林, 氮沉降明显促进了土壤呼吸, 氮沉降使细根生物量和代谢强度增加, 并增加微生物活性促进根际土壤呼吸是造成土壤呼吸增加的主要原因。模拟氮沉降还使得土壤呼吸 Q_{10} 值增大, 表明氮沉降可能增强了土壤呼吸的温度敏感性^[76]。

目前, 许多森林土壤模拟增温试验研究发现, 增温后土壤呼吸速率显著提高^[81]。土壤增温导致土壤呼吸速率增加的主要原因解释为, (1) 土壤蔗糖酶和多酚氧化酶活性均显著增强; (2) 显著促进了微生物的生长, 土壤微生物生物量碳、氮增加; (3) 显著提高了土壤的可溶性无机氮含量, 即增加了土壤的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$

浓度。但是,模拟 CO_2 浓度升高对森林土壤呼吸作用的影响尚未确定,在红松和长白松林中土壤呼吸速率明显降低,土壤表面 CO_2 浓度升高导致 CO_2 扩散受阻可能是土壤呼吸受到抑制的主要原因^[83],而在南亚热带人工林大气 CO_2 浓度倍增和高氮沉降使土壤呼吸速率显著提高^[80]。不同海拔高度上土壤呼吸的空间变化与土壤温度呈显著的相关性,证明土壤温度是调控土壤呼吸在海拔高度上变化的主导因子^[84]。

土地利用变化通过改变土壤 C 排放过程造成土壤有机碳损失,Sheng 等^[85]发现,天然林转变为坡耕地后,土壤呼吸温度敏感性显著提高,而转变为柑橘果园后则显著降低。相反,天然林转变为次生林后年土壤呼吸降低了 32%,转变为人工林则降低 46%—48%,转变为柑橘果园和坡耕地则分别降低了 63% 和 50%,土壤呼吸降低可能是由于地表有机碳及轻组有机碳库以及与植物生产力相关的活细根生物量、年凋落物输入量等的降低引起的。而 Shi 等^[7]发现,将次生栎类林改种人工针叶林后,土壤呼吸明显增加,而土壤呼吸温度敏感性则显著降低。对亚热带格氏栲天然林和 33 年生格氏栲及杉木人工林的土壤呼吸进行为期 2a 的研究发现,杉木林土壤呼吸对气候变化敏感性高于格氏栲天然林和人工林。格氏栲人工林和杉木人工林土壤呼吸年通量均低于格氏栲天然林,森林转换对土壤呼吸通量的影响可能与枯落物数量和质量、根系呼吸、土壤有机质数量和质量的变化有关^[28]。

3 森林土壤碳储量与土壤碳过程的研究展望

我国森林类型跨越热带至寒温带、湿润至干旱和半干旱气候区,植被和土壤类型多样。这种空间上环境和生物要素方面的异质性,导致土壤有机碳积累过程和固持潜力呈现区域差异。因此,需要通过开展大型野外控制实验,研究特定环境中土壤固碳关键过程与多因子驱动机制及其相应贡献。

土壤生态系统的碳氮循环相互作用较为复杂,目前对碳氮过程的耦合机制的认识十分有限。因此,今后应加强土壤碳氮循环的相互作用机制研究,特别是土壤活性组分和稳定性组分之间的流动速率与分配、森林植物与土壤之间的反馈作用、碳氮分配的非固定性以及其它因子(植被类型、气象因子及其它养分)等亟待研究的重要科学问题。

气候变化,包括 CO_2 浓度升高、气温增加和降水变化对森林土壤碳储量及其持续固碳潜力的影响还存在较大的不确定性。土壤碳库是生态系统长期演化过程中形成的,其对当前大气 CO_2 的汇效应以及响应大气 CO_2 升高的库变化尚不清楚。人类活动导致的温度/降水时空格局改变、大气氮沉降增加,将严重影响森林土壤碳储量及碳过程以及各种碳组分间平衡关系和陆地生态系统碳源/汇强度。因此,土壤碳循环关键过程对气候变化(如温度升高、降水格局变化等)和各种扰动(如氮沉降的增加等)的响应和适应将是今后全球变化生态学研究的核心问题。

区域森林碳汇功能的评估及其对环境响应和适应性分析最有效的途径是以生态系统模型为基础的综合模拟系统。因此,构建整合新一代多尺度、多过程的生态过程机理模型-遥感模型-观测数据融合系统是模拟和评估区域森林碳循环时空格局特征的迫切需要。以不同森林类型土壤碳库演变动态为检验基准,重建动态植被模型的土壤碳模块,可预测气候变化驱动和多目标生态系统管理下土壤固碳能力与潜力变化强度与趋势。

综上所述,森林土壤碳循环研究的发展趋势是,综合生态研究网络的长期监测、人工影响模拟实验和建模与预测分析等研究方法,并且采用生态学、地球化学和化学等多学科、交叉学科领域的理论与方法,阐明森林土壤的固碳功能与可持续固持机制,以减少森林土壤碳储量和变率科学估算的不确定性,发展适应全球变化的基于土壤固碳功能的可持续土地管理体系。

References:

- [1] IPCC. Land Use, Land Use Change and Forestry. Special Report, Inter-Governmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [2] FAO. Global Forest Resources Assessment 2005. Rome: FAO, 2006.
- [3] Xu X F, Tian H Q, Wan S Q. Climate warming impacts on carbon cycling in terrestrial ecosystems. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(2):

175-188.

- [4] Fang J Y, Wang W. Soil respiration as a key belowground process: issues and perspectives. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 345-347.
- [5] Luan J W, Xiang C H, Liu S R, Luo Z S, Gong Y B, Zhu X L. Assessments of the impacts of Chinese fir plantation and natural regenerated forest on soil organic matter quality at Longmen Mountain, Sichuan, China. *Geoderma*, 2010, 156(3/4): 228-236.
- [6] Luan J W, Liu S R, Zhu X L, Wang J X. Soil carbon stocks and fluxes in a warm-temperate oak chronosequence in China. *Plant and Soil*, 2011. In press.
- [7] Shi Z, Li Y Q, Wang S J, Wang G B, Ruan H H, He R, Tang Y F, Zhang Z X. Accelerated soil CO₂ efflux after conversion from secondary oak forest to pine plantation in southeastern China. *Ecological Research*, 2009, 24(6): 1257-1265.
- [8] Wang H, Liu S R, Mo J M, Wang J X, Makeschin F, Wolff M. Soil organic carbon stock and chemical composition in four plantations of indigenous tree species in subtropical China. *Ecological Research*, 2010, 25(6): 1071-1079.
- [9] Wang Q K, Wang S L. Soil organic matter under different forest types in Southern China. *Geoderma*, 2007, 142(3/4): 349-356.
- [10] Wang Q K, Wang S L, Zhang J W. Assessing the effects of vegetation types on carbon storage fifteen years after reforestation on a Chinese fir site. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(7): 1437-1441.
- [11] Wang S Q, Li J Y, Yu G R, Pan Y Y, Chen Q M, Li K R, Li J Y. Effects of land use change on the storage of soil organic carbon: a case study of the Qianyanzhou forest experimental station in China. *Climatic Change*, 2004, 67(2/3): 247-255.
- [12] Xu X, Zhou Y, Ruan H H, Lou Y Q, Wang J S. Temperature sensitivity increases with soil organic carbon recalcitrance along an elevational gradient in the Wuyi Mountains, China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42(10): 1811-1815.
- [13] Yang Y S, Guo J F, Chen G H, Yin Y F, Gao R, Lin C F. Effects of forest conversion on soil labile organic carbon fractions and aggregate stability in subtropical China. *Plant and Soil*, 2009, 323(1/2): 153-162.
- [14] Yang Y S, Xie J S, Sheng H, Chen G S, Li X, Yang Z J. The impact of land use/cover change on storage and quality of soil organic carbon in mid-subtropical mountainous area of southern China. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(1): 49-57.
- [15] Chen L Z, Xie B Y, Xiao W F, Huang Z L. Organic carbon storage in soil under the major forest vegetation types in the three gorges reservoir area. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(5): 640-643.
- [16] Deng R J, Yang W Q, Zhang J, Hu J L, Feng R F, Jian Y, Lin J. Carbon, nitrogen and phosphorus storage in soil organic layer of the subalpine forests in western Sichuan. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2007, 13(4): 492-496.
- [17] Fang Y T, Mo J M, Brown S, Zhou G Y, Zhang Q M, Li D J. Storage and distribution of soil organic carbon in Dinghushan Biosphere Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 135-142.
- [18] Huang C D, Zhang J, Yang W Q, Zhang G Q, Wang Y J. Spatial distribution characteristics of forest soil organic carbon stock in Sichuan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1217-1225.
- [19] Li Q, Ma M D, Chen M C. Soil organic carbon density and storage in different forest types in mid-subtropical zone. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2007, 27(4): 8-12.
- [20] Zhang M. Chemical Composition and Degradation of Soil Organic Carbon as Influenced by Rubber Planting in Tropical Southwest China. Beijing: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2008.
- [21] Yu G B. Effects of Earthworm on Soil Microbial Growth Activity in Tropical Forests in Xishuangbanna, Yunnan, SW China. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2007.
- [22] Luo T S, Chen B F, Chen Y F, Yang Y C, Yang X B, Li D J. Variation of the soil carbon and nitrogen for initial stage after the felling in tropical montane rainforest of Bawangling, Hainan Island. *Forest Research*, 2000, 13(2): 123-128.
- [23] Sun W Y, Guo S L. Effects of secondary and manmade forests on soil organic C and N in subsurface soil in hilly region of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(10): 2611-2620.
- [24] Wang S P, Zhou G S, Lü Y C, Zou J J. Distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus along northeast china transect (NECT) and their relationships with climatic factors. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(5): 513-517.
- [25] Wu J G, Zhang X Q, Xu D Y. Changes in soil labile organic carbon under different land use in the liupan mountain forest zone. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 657-664.
- [26] Yang J Y, Wang C K. Partitioning soil respiration of temperate forest ecosystems in Northeastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 26(6): 1640-1647.
- [27] Yang J C, Huang J H, Pan Q M, Han X G. Spectroscopic characteristics of soil organic matter in different tropical ecosystems in Xishuangbanna, southwest China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 623-629.
- [28] Yang Y S, Chen G S, Wang X G, Xie J S, Gao R, Li Z, Jin Z. Response of soil CO₂ efflux to forest conversion in subtropical zone of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1684-1690.

- [29] Yang Y S, Xie J S, Sheng H, Chen G S, Li X. The impact of land use/cover change on soil organic carbon stocks and quality in mid-subtropical mountainous area of southern China. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11): 1123-1131.
- [30] Zhong X F, Yang Y S, Gao R, Xie J S, Yang Z J, Liu L Z. Carbon storage and allocation in old-growth *Cunninghamia lanceolata* plantation in subtropical China. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2008, 3(2): 11-18.
- [31] Luan J W, Liu S R, Wang J X, Gong Y B. Rhizospheric and heterotrophic respiration of a warm-temperate oak chronosequence in China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(3): 503-512.
- [32] Xiang C H, Luan J W, Luo Z S, Gong Y B. Labile soil organic carbon distribution on influenced by vegetation types along an elevation gradient in west Sichuan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 1025-1034.
- [33] Wang C K, Yang J Y. Rhizospheric and heterotrophic components of soil respiration in six Chinese temperate forests. *Global Change Biology*, 2007, 13(1): 123-131.
- [34] Zhou G Y, Liu S G, Li Z, Zhang D Q, Tang X L, Zhou C Y, Yan J H, Mo J M. Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science*, 2006, 314(5804): 1417-1417.
- [35] Solomon D, Lehmann J, Kinyangi J, Amelung W, Lobe I, Pell A, Riha S, Ngoze S, Verchot L, Mbugua D, Skjemstad J, Schäfer T. Long-term impacts of anthropogenic perturbations on dynamics and speciation of organic carbon in tropical forest and subtropical grassland ecosystems. *Global Change Biology*, 2007, 13(2): 511-530.
- [36] Shrestha B M, Certini G, Forte C, Singh B R. Soil organic matter quality under different land uses in a mountain watershed of Nepal. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(6): 1563-1569.
- [37] Crow S E, Lajtha K, Filley T R, Swanston C W, Bowden R D, Caldwell B A. Sources of plant-derived carbon and stability of organic matter in soil: implications for global change. *Global Change Biology*, 2009, 15(8): 2003-2019.
- [38] Lorenz K, Lal R, Preston C M, Nierop G J. Strengthening the soil organic carbon pool by increasing contributions from recalcitrant aliphatic bio (macro) molecules. *Geoderma*, 2007, 142(1/2): 1-10.
- [39] Kögel-Knabner I. Analytical approaches for characterizing soil organic matter. *Organic Geochemistry*, 2000, 31(7/8): 609-625.
- [40] Fontaine S, Barot S, Barre P, Bdioui N, Mary B, Rumpel C. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature*, 2007, 450(7167): 227-281.
- [41] Pan X L, Cao J H, Zhou Y C. Soil carbon and its significance in carbon cycling of earth surface system. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(4): 325-334.
- [42] Schindlbacher A, Rodler A, Kuffner M, Kitzler B, Sessitsch A, Zechmeister-Boltenstern S. Experimental warming effects on the microbial community of a temperate mountain forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(7): 1417-1425.
- [43] Yuste J C, Peñuelas J, Estiarte M, Garcia-Mas J, Mattana S, Ogaya R, Pujol M, Sardans J. Drought-resistant fungi control soil organic matter decomposition and its response to temperature. *Global Change Biology*, 2011, 17(3): 1475-1486.
- [44] Deng X W, Han S J. Impact of nitrogen deposition on forest soil carbon pool. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(10): 1622-1627.
- [45] Liu X J, Duan L, Mo J M, Du E Z, Shen J L, Lu X K, Zhang Y, Zhou X B, He C N, Zhang F S. Nitrogen deposition and its ecological impact in China: an overview. *Environmental Pollution*, 2011, 159(10): 2251-2264.
- [46] Wang H, Mo J M, Lu X K, Xue J H, Li J, Fang Y T. Effects of elevated nitrogen deposition on soil microbial biomass carbon in the main subtropical forests of southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 470-478.
- [47] Mo J M, Zhang W, Zhu W X, Gundersen P, Fang Y T, Li D J, Wang H. Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in Southern China. *Global Change Biology*, 2008, 14(2): 403-412.
- [48] Fang H, Mo J M, Li Z A, Wang H. Cumulative effects of nitrogen additions on litter decomposition in three tropical forests in southern China. *Plant and Soil*, 2007, 297(1/2): 233-242.
- [49] Zhang W, Mo J M, Yu G R, Fang Y T, Li D J, Lu X K, Wang H. Emissions of nitrous oxide from three tropical forests in southern China in response to simulated nitrogen deposition. *Plant and Soil*, 2008, 306(1/2): 221-236.
- [50] Zhang X Q, Kirschbaum M U F, Hou Z H, Guo Z H. Carbon stock changes in successive rotations of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook) plantations. *Forest Ecology and Management*, 2004, 202(1/3): 131-147.
- [51] Li Y H, Zhang Y D, Sun H L. Effect of harvest disturbance on soil carbon mineralization and soil labile organic carbon in the temperate second growth of Northeast China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, (6): 139-143.
- [52] Law B E, Ryan M G, Anthoni P M. Seasonal and annual respiration of a ponderosa pine ecosystem. *Global Change Biology*, 1999, 5(2): 169-182.
- [53] Liu J J, Wang D X, Lei R D, Wu Q X. Soil respiration and release of carbon dioxide from natural forest of *pinus tabulaeformis* and *quercus aliena* var. *acuteserrata* in Qinling Mountains. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(2): 8-13.

- [54] Jiang Y L, Zhou G S, Zhao M, Wang X, Cao M C. Soil respiration in broad-leaved and Korean pine forest ecosystems, Changbai Mountain, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 311-314.
- [55] Feng W T, Zou Z M, Sha L Q, Chen J H, Feng J H, Li J D. Comparisons between seasonal and diurnal patterns of soil respiration in a montane evergreen broad-leaved forest of Ailao Mountains, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(1): 31-39.
- [56] Chang J G, Liu S R, Shi Z M, Chen B Y, Zhu X L. Soil respiration and its components partitioning in the typical forest ecosystems at the transitional area from the northern subtropics to warm temperate, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1791-1802.
- [57] Zhou W J, Sha L Q, Shen S G, Zheng Z. Seasonal change of soil respiration and its influence factors in rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation in Xishuangbanna, SW China. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(3): 317-325.
- [58] Hou L, Lei R D, Liu J J, Shang J B. Soil respiration in *Pinus tabulaeformis* forest during dormant period at Huoditang forest zone in the Qinling Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4070-4077.
- [59] Zhou F F, Lin B, Liu Q. Characteristics of soil respiration in artificial restoration process of subalpine coniferous forest in eastern Qinghai-Tibet plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(8): 1783-1790.
- [60] Yan J X, Qin Z D, Li H J, Zhang Y H. Soil respiration characters in a caragana plantation in loess plateau region. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(3): 1-8.
- [61] Yan J X, Qin Z D, Zhang Y H, Li H J. Effect of soil temperature and moisture on soil CO₂ efflux in a *Pinus tabulaeformis* forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6366-6376.
- [62] Liu S, Ding J M, Xu H M, Wang J S, Xu Z K, Ruan H H. The influence of snow storm on soil respiration and soil microbial biomass carbon of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* forest. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2010, 34(3): 126-130.
- [63] Chen G S, Yang Y S, Lü P P, Zhang Y P, Qian X L. Regional patterns of soil respiration in China's forests. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1748-1761.
- [64] Conant R T, Drijber R A, Haddix M L, Parton W J, Paul E A, Plante A F, Six J, Steinweg J M. Sensitivity of organic matter decomposition to warming varies with its quality. *Global Change Biology*, 2008, 14(4): 1-10.
- [65] Hartley I P, Heinemeyer A, Evans S P, Ineson P. The effect of soil warming on bulk soil vs. rhizosphere respiration. *Global Change Biology*, 2007, 13(12): 2654-2667.
- [66] Chen B Y, Liu S R, Ge J P, Chu J X. Annual and seasonal variations of Q_{10} soil respiration in the sub-alpine forests of the Eastern Qinghai-Tibet Plateau, China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42(10): 1735-1742.
- [67] Peng S S, Piao S L, Wang T, Sun J Y, Shen Z H. Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 1008-1014.
- [68] Zhou T, Shi P J, Hui D F, Luo Y Q. Spatial patterns in temperature sensitivity of soil respiration in China: Estimation with inverse modeling. *Science in China Series C: Life Sciences*, 2009, 39(3): 315-322.
- [69] Luan J W, Xiang C H, Luo Z S, Gong Y B. Research advances in forest soil respiration. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(12): 2451-2456.
- [70] Chu J X, Zhang X Q. Dynamic and fractionalization of soil respiration under three different land use/covers in the subalpine region of western Sichuan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1693-1700.
- [71] Wang G J, Tian D L, Yan W D, Zhu F, Xiang W H, Liang X Y. Effects of aboveground litter exclusion and addition on soil respiration in a *Cunninghamia lanceolata* plantation in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009a, 33(4): 739-747.
- [72] Liu L Z, Yang Y S, Guo J F, Yuan Y D. Soil respiration of Chinese fir plantation subjected to clear-cutting and burning in the midsubtropical zone, China. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2008, 3(1): 8-14.
- [73] Wang G J, Tian D L, Yan W D, Zhu F, Li Z S. Response of soil respirations to litterfall exclusion and addition in *Pinus massoniana* plantation in Hunan, China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009b, (1): 27-30.
- [74] Wang W J, Liu W, Sun W, Zu Y G, Cui S. Influences of forest floor cleaning on the soil respiration and soil physical property of a larch plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4750-4756.
- [75] Jia S X, Wang Z Q, Mei L, Sun Y, Quan X K, Shi J W, Yu S Q, Sun H L, Gu J C. Effect of nitrogen fertilization on soil respiration in *Larix gmelinii* and *Fraxinus mandshurica* plantations in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 372-379.
- [76] Tu L H, Hu T X, Huang L H, Li R H, Dai H Z, Luo S H, Xiang Y B. Response of soil respiration to simulated nitrogen deposition in *Pleioblastus amarus* forest, rainy area of west China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(4): 728-738.
- [77] Luo S H, Hu T X, Zhang J. Responses of soil respiration to nitrogen fertilization in *Betula luminifera* forest, rainy area of west China. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(9): 1834-1839.
- [78] Hu H Z, Li H M, Yang Y P. Effects of simulated nitrogen deposition on soil respiration in northern subtropical deciduous broad-leaved forest.

Environmental Science, 2010, 31(8): 1726-1731.

- [79] Song X G, hu T X, Xian J R, Xiao C L, Liu W T. Soil respiration and its response to simulated nitrogen deposition in evergreen broad-leaved forest, southwest Sichuan. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(4): 168-192.
- [80] Deng Q, Zhang D Q, Zhou G Y, Liu S Z, Duan H L, Chen X M, Zhang D Q. Effects of CO₂ enrichment, high nitrogen deposition and high precipitation on a model forest ecosystem in southern China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(6): 1023-1033.
- [81] Pan X L, Lin B, Liu Q. Effects of elevated temperature on soil organic carbon and soil respiration under subalpine coniferous forest in western Sichuan Province, China. Chinese Journal Of Applied Ecology, 2008, 19(08): 1637-1643.
- [82] Xiong P, Xu Z F, Lin B, Liu Q. Short-term response of winter soil respiration to simulated warming in a *Pinus armandii* plantation in the upper reaches of the Minjiang River, China. Acta Phytocologica Sinica, 2010, 34(12): 1369-1376.
- [83] Zhou Y M, Han S J, Xin L H. Soil respiration of *Pinus koraiensis* and *P. sylvestris* trees growing at elevated CO₂ concentration. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(9): 1757-1760.
- [84] Shi Z, Wang J S, He R, Fang Y H, Xu Z K, Quan W, Zhang Z X, Ruan H H. Soil respiration and its regulating factor along an elevation gradient in Wuyi Mountain of Southeast China. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(4): 563-568.
- [85] Sheng H, Yang Y S, Yang Z J, Chen G S, Xie J S, Guo J F, Zou S Q. The dynamic response of soil respiration to land-use changes in subtropical China. Global Change Biology, 2009, 16(3): 1107-1121.

参考文献:

- [3] 徐小锋, 田汉勤, 万师强. 气候变暖对陆地生态系统碳循环的影响. 植物生态学报, 2007, 31(2): 175-188.
- [4] 方精云, 王妮. 作为地下过程的土壤呼吸: 我们理解了多少? 植物生态学报, 2007, 31(3): 345-347.
- [15] 陈亮中, 谢宝元, 肖文发, 黄志霖. 三峡库区主要森林植被类型土壤有机碳贮量研究. 长江流域资源与环境, 2007, 16(5): 640-643.
- [16] 邓仁菊, 杨万勤, 张健, 胡建利, 冯瑞芳, 简毅, 林静. 川西亚高山森林土壤有机层碳、氮、磷储量特征. 应用与环境生物学报, 2007, 13(4): 492-496.
- [17] 方运霆, 莫江明, Brown S, 周国逸, 张倩媚, 李德军. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳贮量和分配特征. 生态学报, 2004, 24(1): 135-142.
- [18] 黄从德, 张健, 杨万勤, 张国庆, 王永军. 四川森林土壤有机碳储量的空间分布特征. 生态学报, 2009, 29(3): 1217-1225.
- [19] 李强, 马明东, 陈暮初. 中亚热带 4 种森林类型土壤碳密度和碳贮量研究. 浙江林业科技, 2007, 27(4): 8-12.
- [20] 张敏. 热带橡胶林种植对土壤有机碳组成和降解的影响机制. 北京: 中国科学院研究生院, 2008.
- [21] 余广彬. 西双版纳热带森林蚯蚓对土壤微生物生长活性的影响. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.
- [22] 骆土寿, 陈步峰, 陈永富, 杨彦臣, 杨秀森, 李大江. 海南岛霸王岭热带山地雨林采伐经营初期土壤碳氮储量. 林业科学研究, 2000, 13(2): 123-128.
- [23] 孙文义, 郭胜利. 天然次生林与人工林对黄土丘陵沟壑区深层土壤有机碳氮的影响. 生态学报, 2010, 30(10): 2611-2620.
- [24] 王淑平, 周广胜, 吕育财, 邹建军. 中国东北样带 (NECT) 土壤碳、氮、磷的梯度分布及其与气候因子的关系. 植物生态学报, 2002, 26(5): 513-517.
- [25] 吴建国, 张小全, 徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式下土壤活性有机碳的比较. 植物生态学报, 2004, 28(5): 657-664.
- [26] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤呼吸组分的分离量化. 生态学报, 2005, 26(6): 1640-1647.
- [27] 杨景成, 黄建辉, 潘庆民, 韩兴国. 西双版纳不同热带生态系统土壤有机质的光谱学特性. 植物生态学报, 2004, 28(5): 623-629.
- [28] 杨玉盛, 陈光水, 王小国, 谢锦升, 高人, 李震, 金钊. 中国亚热带森林转换对土壤呼吸动态及通量的影响. 生态学报, 2005, 25(7): 1684-1690.
- [29] 杨玉盛, 谢锦升, 盛浩, 陈光水, 李旭. 中亚热带山区土地利用变化对土壤有机碳储量和质量的影响. 地理学报, 2007, 62(11): 1123-1131.
- [30] 钟羨芳, 杨玉盛, 高人, 谢锦升, 杨智杰, 刘乐中. 老龄杉木人工林生态系统碳库及分配. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(2): 11-18.
- [32] 向成华, 栾军伟, 骆宗诗, 宫渊波. 川西沿海海拔梯度典型植被类型土壤活性有机碳分布. 生态学报, 2010, 30(4): 1025-1034.
- [41] 潘根兴, 曹建华, 周运超. 土壤碳及其在地球表层系统碳循环中的意义. 第四纪研究, 2000, 20(4): 325-334.
- [44] 邓小文, 韩士杰. 氮沉降对森林生态系统土壤碳库的影响. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1622-1627.
- [46] 王晖, 莫江明, 鲁显楷, 薛瑞花, 李炯, 方运霆. 亚热带森林土壤微生物量碳对氮沉降的响应. 生态学报, 2008, 28(2): 470-478.
- [51] 李云红, 张彦东, 孙海龙. 采伐干扰对东北温带次生林土壤碳矿化和活性有机碳的影响. 水土保持学报, 2009, (6): 139-143.
- [53] 刘建军, 王得祥, 雷瑞德, 吴钦孝. 秦岭天然油松、锐齿栎林地土壤呼吸与 CO₂ 释放. 林业科学, 2003, 39(2): 8-13.
- [54] 蒋延玲, 周广胜, 赵敏, 王旭, 曹铭昌. 长白山阔叶红松林生态系统土壤呼吸作用研究. 植物生态学报, 2005, 29(3): 311-314.
- [55] 冯文婷, 邹晓明, 沙丽清, 陈建会, 冯志立, 李检舟. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤呼吸季节和昼夜变化特征及影响因子比较. 植物

- 生态学报, 2008, 32(1): 31-39.
- [56] 常建国, 刘世荣, 史作民, 陈宝玉, 朱学凌. 北亚热带-南暖温带过渡区典型森林生态系统土壤呼吸及其组分分离. 生态学报, 2007, 27(5): 1791-1802.
- [57] 周文君, 沙丽清, 沈守艮, 郑征. 西双版纳橡胶林土壤呼吸季节变化及其影响因子. 山地学报, 2008, 26(3): 317-325.
- [58] 侯琳, 雷瑞德, 刘建军, 尚廉斌. 秦岭火地塘林区油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林休眠期的土壤呼吸. 生态学报, 2008, 28(9): 4070-4077.
- [59] 周非飞, 林波, 刘庆. 青藏高原东缘亚高山针叶林人工恢复过程中的土壤呼吸特征. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1783-1790.
- [60] 严俊霞, 秦作栋, 李洪建, 张义辉. 黄土高原地区柠条人工林土壤呼吸. 林业科学, 2010, 46(3): 1-8.
- [61] 严俊霞, 秦作栋, 张义辉, 李洪建. 土壤温度和水分对油松林土壤呼吸的影响. 生态学报, 2009, 29(12): 6366-6376.
- [62] 刘胜, 丁九敏, 徐涵涓, 汪家社, 徐自坤, 阮宏华. 雪灾对毛竹林土壤呼吸与微生物生物量碳的影响. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(3): 126-130.
- [63] 陈光水, 杨玉盛, 吕萍萍, 张亿萍, 钱小兰. 中国森林土壤呼吸模式. 生态学报, 2008, 28(4): 1748-1761.
- [64] 周涛, 史培军, 惠大丰, 骆亦其. 中国土壤呼吸温度敏感性空间格局的反演. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2009, 39(3): 315-322.
- [65] 栾军伟, 向成华, 骆宗诗, 宫渊波. 森林土壤呼吸研究进展. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2451-2456.
- [66] 褚金翔, 张小全. 川西亚高山林区三种土地利用方式下土壤呼吸动态及组分区分. 生态学报, 2006, 26(6): 1693-1700.
- [67] 王光军, 田大伦, 闫文德, 朱凡, 项文化, 梁小翠. 改变凋落物输入对杉木人工林土壤呼吸的短期影响. 植物生态学报, 2009a, 33(4): 739-747.
- [68] 刘乐中, 杨玉盛, 郭剑芬, 袁一丁. 杉木人工林皆伐火烧后土壤呼吸研究. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(1): 8-14.
- [69] 王光军, 田大伦, 闫文德, 朱凡, 李树战. 马尾松林土壤呼吸对去除和添加凋落物处理的响应. 林业科学 2009b, (1): 27-30.
- [70] 王文杰, 刘玮, 孙伟, 祖元刚, 崔崧. 林床清理对落叶松 (*Larix gmelinii*) 人工林土壤呼吸和物理性质的影响. 生态学报, 2008, 28(10): 4750-4756.
- [71] 贾淑霞, 王政权, 梅莉, 孙玥, 全先奎, 史建伟, 于水强, 孙海龙, 谷加存. 施肥对落叶松和水曲柳人工林土壤呼吸的影响. 植物生态学报, 2007, 31(3): 372-379.
- [72] 涂利华, 胡庭兴, 黄立华, 李仁洪, 戴洪忠, 雒守华, 向元彬. 华西雨屏区苦竹林土壤呼吸对模拟氮沉降的响应. 植物生态学报, 2009, 33(4): 728-738.
- [73] 雒守华, 胡庭兴, 张健. 华西雨屏区光皮桦林土壤呼吸对模拟氮沉降的响应. 农业环境科学学报, 2010, 29(9): 1834-1839.
- [74] 胡正华, 李涵茂, 杨燕萍. 模拟氮沉降对北亚热带落叶阔叶林土壤呼吸的影响. 环境科学, 2010, 31(8): 1726-1731.
- [75] 宋学贵, 胡庭兴, 鲜骏仁, 肖春莲, 刘文婷. 川西南常绿阔叶林土壤呼吸及其对氮沉降的响应. 水土保持学报, 2007, 21(4): 168-192.
- [76] 邓琦, 张德强, 周国逸, 刘世忠, 段洪浪, 陈小梅, 张德强. CO₂ 浓度倍增、高氮沉降和高降雨对南亚热带人工模拟森林生态系统土壤呼吸的影响. 植物生态学报, 2009, 33(6): 1023-1033.
- [77] 潘新丽, 林波, 刘庆. 模拟增温对川西亚高山人工林土壤有机碳含量和土壤呼吸的影响. 应用生态学报, 2008, 19(08): 1637-1643.
- [78] 熊沛, 徐振锋, 林波, 刘庆. 岷江上游华山松林冬季土壤呼吸对模拟增温的短期响应. 植物生态学报, 2010, 34(12): 1369-1376.
- [79] 周玉梅, 韩士杰, 辛丽花. CO₂ 浓度升高对红松和长白松土壤呼吸作用的影响. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1757-1760.
- [80] 施政, 汪家社, 何容, 方燕鸿, 徐自坤, 权伟, 张增信, 阮宏华. 武夷山不同海拔土壤呼吸及其主要调控因子. 生态学杂志, 2008, 27(4): 563-568.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yongnan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platykladus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow ϕ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 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 70.00 元