

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **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 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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/stxb201205150719

王健健,王永吉,来利明,赵学春,王飞,申国珍,赖江山,鲁洪斌,赵春强,郑元润. 我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系. 生态学报, 2013, 33(15): 4818-4825.

Wang J J, Wang Y J, Lai L M, Zhao X C, Wang F, Shen G Z, Lai J S, Lu H B, Zhao C Q, Zheng Y R. Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4818-4825.

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系

王健健^{1,2}, 王永吉¹, 来利明¹, 赵学春¹, 王 飞³, 申国珍¹, 赖江山¹,
鲁洪斌⁴, 赵春强⁴, 郑元润^{1,*}

(1. 中国科学院植物研究所, 北京 100093; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 华西亚高山植物园, 成都 611830; 4. 青城山-都江堰旅游景区管理局, 成都 611843)

摘要: 在大尺度气候梯度上研究森林凋落物生产分解与气候因子的关系, 对于了解森林生态系统碳循环有着重要的作用。在寒温带的黑龙江呼中、温带的吉林长白山、暖温带的北京东灵山、北亚热带的湖北神农架、中亚热带的四川都江堰和浙江古田山, 选择典型地带性成熟林, 设置 72 个样地。观测和研究各地点森林凋落物的产量、凋落动态和分解速率, 分析三者与环境因子之间的关系, 结果表明: 不同气候带森林生态系统凋落物年产量为亚热带森林>暖温带森林>温带森林>寒温带森林。随纬度的增加, 凋落物产量逐渐减少, 凋落物产量与森林类型极显著相关, 与年均温显著相关, 而与年均降水关系不显著。凋落物生产动态表现为亚热带地区 3 个类型森林生态系统为双峰型, 暖温带、温带、寒温带 3 个类型森林生态系统为单峰型。凋落物分解速率 k 表现出了与凋落物产量相似的变化趋势, 即随着纬度的增加, 分解速率 k 值逐渐降低, 分解速率与年均温极显著相关, 与年均降水显著相关。

关键词: 凋落物产量; 凋落物动态; 气候因子; 凋落物分解

Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China

WANG Jianjian^{1,2}, WANG Yongji¹, LAI Liming¹, ZHAO Xuechun¹, WANG Fei³, SHEN Guozhen¹, LAI Jiangshan¹, LU Hongbing⁴, ZHAO Chunqiang⁴, ZHENG Yuanrun^{1,*}

1 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 West China Subalpine Botanical Garden, Chendu 611830, China

4 Qingcheng Mountain-Dujiangyan Scenic Spots Authority, Chendu 611843, China

Abstract: Production and decomposition of plant litter is one of the most important processes in terrestrial ecosystems. This process could be affected by climate, which elucidates that the spatial patterns and environmental regimes, which regulate the process, are essential to understand the mechanism of ecosystem functioning in both local and broad scales. However, the pattern of the process in large scales along environmental gradients in mid- and eastern China was poorly understood.

基金项目: 植被与环境变化国家重点实验室资助课题

收稿日期: 2012-05-15; **修订日期:** 2013-02-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhengyr@ibcas.ac.cn

The aim of the present work was to quantify litter production and its decomposition rate in forest ecosystems from subtropical to temperate zones with a view to gaining further insights into the recycling of above-ground organic matter. Data from 72 plots in six major forest types in China was used to clarify litter production and decomposition in six forest ecosystems and their relations with environmental factors in different climatic zones including Huzhong in Heilongjiang province, Mt. Changbai in Jilin province, Mt. Dongling in Beijing municipality, Mt. Gutian in Zhejiang province, Shennongjia in Hubei province, and Dujiangyan in Sichuan province. The storage of litter fall was in the sequence of: Shennongjia>Dujiangyan>Mt. gutian>Mt. Dongling>Mt. Changbai>Huzhong. The annual litter production for Shennongjia, Dujiangyan, Mt. gutian, Mt. Dongling, Mt. Changbai, Huzhong were averaged at 910.98, 830.18, 574.06, 396.19, 374.64, and 249.29 $\text{gm}^{-2}\text{a}^{-1}$, respectively. Annual litter fall production was highly significant in relation to forest type and positively related to mean annual temperature, but was not significantly related to mean annual precipitation. There were two litter fall peaks in the subtropical forests in a year, one in spring (from April to May) and the other in autumn (October and November), while there was just one peak in the cold temperate, temperate and warm temperate forests, which occurred in autumn (from September to October). The litter decomposition rate (k) was consistent with litter fall production, and the k value decreased with increasing latitude. The annual litter decomposition rate (k) for Shennongjia, Dujiangyan, Mt. gutian, Mt. Dongling, Mt. Changbai, Huzhong were averaged at 0.13, 0.26, 0.36, 0.79, 0.92, and 0.8, respectively. A simple regression model was capable of explaining the majority of climatic effects on litter production and the decomposition rates of various litter types tested in different environments over geographical regions. In conclusion, mean annual temperature is the most important environment variable affecting litter decomposition rate, followed by mean annual precipitation.

Key Words: litter production; the dynamic of litter fall; climatic factors; litter decomposition

森林凋落物是森林生态系统内各种植物落到地表的叶、枝条、茎、花、果实以及树皮的总称^[1],其生产和分解过程是森林生态系统物质循环和能量流动的重要环节之一。森林凋落物不仅具有涵养水源,保持水土,为树木生长提供矿物质营养的功能,而且其分解产生的大量二氧化碳等温室气体又对全球变化背景下森林生态系统碳循环具有重要影响^[2],同时凋落物分解产生的有机质又是土壤有机碳补充的重要来源^[3],因而开展凋落物生产量及分解的研究,不仅有助于阐明森林生态系统物质循环和能量流动的规律,亦有助于更加准确地评估森林生态系统碳循环对气候变化的响应^[4]。

20 世纪,发达国家的一些学者已经在经度、纬度或海拔等形成的气候梯度上模拟研究了水热驱动因子对森林生态系统凋落物产生和分解的长期影响,如著名的瑞典气候样带研究,加拿大站点间凋落物分解试验,美国站点间凋落物分解长期观测试验等,这些研究对于评估凋落物生产和分解对全球气候变化的响应发挥了重要作用^[5]。与此同时,我国学者也开展了大量有关凋落物的研究工作,但主要集中在同一研究地点不同森林类型或同一森林类型下不同树种的凋落物产量、分解速率及养分归还等方面的研究。如张德强等^[6]对鼎湖山演替系列季风常绿阔叶林凋落物的研究、孔维静等^[7]对四川省茂县四种人工林凋落物的研究、春敏莉等^[8]对神农架巴山冷杉林凋落量的研究、张新平等^[4]对中国东北长白山、帽儿山、凉水、根河主要森林类型凋落物的研究等,但对于跨区域、大尺度的凋落物产量和分解过程及其与环境因子关系的研究还较少^[9]。森林生态系统凋落物的分解和产生主要受气候、环境及森林生态系统组成的影响^[2-3],因而要探讨森林生态系统凋落物产生和分解规律,进行大尺度、区域性研究非常必要。本项研究以位于寒温带的呼中、温带的长白山、暖温带的北京东灵山、北亚热带的神农架、中亚热带的四川都江堰和浙江古田山等位于不同气候带的森林生态系统为研究对象,上述 6 类生态系统可以代表我国由北至南的部分热量梯度及由东至西的水分梯度。通过观测森林生态系统凋落物的产生与分解,阐明跨区域森林生态系统凋落物产生和分解的基本过程,探讨在不同水热因子驱动下不同森林生态系统凋落物产生和分解的规律,为全球变化条件下我国森林生态系统凋落物及碳循环研究提供科学依据^[10]。

1 研究地点与方法

1.1 研究地点和样地设置

研究地点设置在位于不同区域的 6 个森林生态系统内,所有实验均在隶属于中国科学院的 6 个野外生态站和植物园内开展,包括:黑龙江呼中北方森林生态系统定位研究站(呼中站)、吉林长白山森林生态系统定位研究站(长白山站)、北京东灵山森林生态系统定位研究站(北京站)、浙江古田山森林生物多样性与气候变化定位研究站(古田山站)、湖北神农架生物多样性定位研究站(神农架站)、中国科学院植物研究所四川省都江堰市华西亚高山植物园(华西植物园),各研究地点概况见表 1。在这 6 个站(园)内,选择生长情况基本一致的地带性成熟森林群落设立固定观测样地各 3 个,每个样地面积为 600 m^2 ($20\text{ m}\times 30\text{ m}$)。

表 1 研究地点的地理位置、气候和植被情况

Table 1 General information of locations, climate, and vegetation types for the study sites

地点 Site	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude /m	年均温 MAT /℃	年均降水 MAP /mm	群落类型 Community type
呼中	51°30'N	123°18'E	822	-5	458	寒温带针叶林(兴安落叶松林) <i>Larix gmelinii</i> forest
长白山	42°24'N	128°2'E	751	3.5	709	温带针阔混交林(红松针阔叶混交林) <i>Pinus koraiensis</i> and broad-leaved mixed forest
东灵山	39°58'N	115°26'E	1458	4.8	611	暖温带落叶阔叶林(辽东栎林) <i>Quercus wutaishanica</i> forest
古田山	29°16'N	118°17'E	715	15.3	1963.7	亚热带常绿阔叶林(甜槠林) <i>Castanopsis eyrei</i> forest
神农架	31°19'N	110°29'E	1670	15.2	1200	亚热带常绿阔叶林混交林(米心水青冈-曼青冈林) <i>Fagus engleriana</i> - <i>Cyclobalanopsis oxyodon</i> forest
都江堰	30°44'N	103°27'E	826	15.3	1243	亚热带常绿阔叶林(栲树-青冈栎林) <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Cyclobalanopsis oxyodon</i> forest

2.1 凋落物收集

凋落物的收集均采用直接收集法。在每个研究区的每个样地内按照一定距离随机设置 4 个面积为 1 m^2 ($1\text{ m}\times 1\text{ m}\times 0.25\text{ m}$) 的收集器,收集框口距地表 50 cm,每月收集 1 次。在 65°C 下烘干至恒重后称重,每个森林生态系统内 3 个样地的收集器凋落物质量的平均值为该森林生态系统该月凋落物产量,每月凋落物产量累加即为该森林生态系统全年凋落物产量。

2.2 凋落物分解

用网袋法进行分解实验,网袋大小为 $15\text{ cm}\times 20\text{ cm}$,网孔为 $1\text{ mm}\times 1\text{ mm}$,每个分解袋内装入 10 g 风干样品,凋落物分解实验均在相应的森林生态系统内进行。分解袋贴近地表放置,在每个森林生态系统每个样地内放置 12 个分解袋,每隔 2 个月的月末收回 1 次,3 个样地每次共收回 6 个分解袋。凋落物分解袋取回后首先稍作烘干,后用柔软的毛刷仔细剔除泥土等杂质后在 65°C 下烘干并称重。

2.3 数据统计分析

凋落物的分解速率常数 k 按 Olson^[11] 提出的公式计算:

$$x_t/x = e^{-kt}$$

式中, x_t 为凋落物的残留量(g), x 为凋落物的起始质量(g), t 为凋落物的分解时间(a)。

数据处理在 SPSS16.0 系统下完成,采用 sigmaplot 10.0 软件作图。

3 结果与讨论

3.1 凋落物产量及其影响因素

3.1.1 凋落物产量

由表 2 可见,2008 年 11 月—2009 年 10 月呼中兴安落叶松林凋落物产量为 $(249.29\pm 29.71)\text{ g m}^{-2}\text{ a}^{-1}$,介于赵鹏武等^[12]大兴安岭地区兴安落叶松 $188.64\text{ g m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 和 $322.26\text{ g m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 凋落物量的观察结果之间;长白山红松针阔叶混交林凋落物产量为 $(374.64\pm 28.69)\text{ g m}^{-2}\text{ a}^{-1}$,略低于李雪峰等^[8]长白山凋落物产量 $402.6\text{ g m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 。

$\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 的研究结果;北京东灵山辽东栎林凋落物产量为 $(396.19 \pm 57.45) \text{ g m}^{-2} \text{a}^{-1}$, 介于凌华等^[14] 暖温带落叶阔叶林凋落物产量 $162\text{—}756 \text{ g m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 的结果;古田山甜槠林凋落物产量为 $(574.06 \pm 55.43) \text{ g m}^{-2} \text{a}^{-1}$;略高于张磊等^[14] 古田山的研究结果 $(532.05 \text{ g m}^{-2} \text{a}^{-1})$;神农架米心水青冈-曼青冈林凋落物产量为 $(910.98 \pm 73.94) \text{ g m}^{-2} \text{a}^{-1}$;都江堰栲树-青冈栎林凋落物产量为 $(830.18 \pm 56.81) \text{ g m}^{-2} \text{a}^{-1}$;以上 3 个区域的研究结果均介于亚热带森林生态系统凋落物产量的范围内 $(300\text{—}1100 \text{ g m}^{-2} \text{a}^{-1})$ ^[15]。方差分析表明,六个森林生态系统凋落物产量之间存在显著差异,不同气候区森林生态系统凋落物产量的总体趋势是亚热带(古田山、神农架和都江堰)>暖温带(北京东灵山)>温带(长白山)>寒温带(呼中),即随着纬度的增加,凋落物产量逐渐减少^[16-17]。

表 2 六个地点各森林生态系统凋落物年产量

Table 2 Litter production for six forests in China

地点 Sites	结果 Results		文献报道 Results from literatures		
	凋落量 $\pm$ SD (g/m^2) Litter production $\pm$ SD	时间/a Time	凋落量/ (g/m^2) Litter production	时间/a Time	参考文献 References
呼中	249.29 ± 29.71^A	2009	188.64	2006—2007	[12]
长白山	374.64 ± 28.69^B	2009	402.6	2001—2003	[9]
东灵山	396.19 ± 57.45^C	2009	162—756	2009	[13]
古田山	574.06 ± 55.43^D	2007	532.05	2007	[14]
神农架	910.98 ± 73.94^E	2009	300—1100	2002	[15]
都江堰	830.18 ± 56.81^F	2009	300—1100	2002	[15]

3.1.2 凋落物产量的影响因素

对凋落物产量与森林类型、气候和地理因子间关系的分析表明,总凋落物量与森林类型和年均温呈正相关,与纬度呈负相关,但与年均降水无显著相关性(表 3),这与张德强等^[6]、凌华等^[14] 的研究结果基本一致。张新平等^[4] 在东北地区的研究表明不同森林类型凋落物产量与年均温正相关,与纬度负相关,与森林类型为不显著相关关系。这可能是由于本项研究覆盖了从亚热带到寒带 6 个研究区域,尺度更大,森林生态系统类型差异更为明显,因而,森林生态系统类型对凋落物产量的影响最大,其次是年均温与纬度,进一步验证了在不同尺度上影响凋落物产量的主导因子不同的结论^[4]。

本文同处亚热带的古田山、神农架和都江堰,纬度和年均温度基本相同,但古田山凋落量产量却明显低于神农架和都江堰,表明可能存在其他因素影响凋落物的产生,这也与前面有关森林生态系统类型是影响凋落物产量主要因素的分析相一致。

由于不同地带性森林生态系统类型数量化较为困难,本文仅对凋落物产量与年均温、年降水、经度、纬度、海拔等因子进行逐步回归分析,得到如下回归方程:

$$Y = 27.967X + 327.026 \quad (r = 0.968, P = 0.018)$$

式中, Y 为年凋落物产量, X 为年均温。

逐步回归分析表明,年凋落物产量与年均温之间存在显著线性关系。凌华等^[13] 在总结国内发表文献的基础上认为:中国森林凋落物产量与年均降水无显著相关性, Liu 等^[18] 认为欧亚大陆大部分地区温度比降水对森林凋落物产量的影响更大。本文的相关和回归分析表明,年均降水量并不是我国亚热带到寒温带森林生态系统凋落物生产的主要影响因子。林波等^[19]、郑征等^[20] 认为纬度、海拔等地理因子是通过光、温、水等

表 3 凋落物产量和森林类型、气候因子的相关系数

Table 3 Correlation between litter production and climate, community structure

	凋落物总量 Litter production	P
森林类型 Forest type	0.95 **	0.003
年均温 MAT	0.88 *	0.02
年降水量 MAP	0.58	0.23
纬度 Longitude	-0.84 *	0.046

MAT: Mean annual temperature, MAP: Mean annual precipitation

生态因子的影响而对凋落物生产产生影响,且主导因子是年均温。本文的研究结果表明我国亚热带到寒温带森林凋落物产量主要受森林类型和温度的影响。根据 IPCC^[21] 报告预估,未来气温将以每 10a 大约升高 0.2° C 的速率变暖,而温度的上升,必然会带来气候带的移动,影响植物的生长和演替,从而改变森林类型^[22,5],进而增加森林凋落物的生产^[23],这将会对我国以及全球碳收支的评估带来更多的不确定性。

3.2 凋落物生产的季节动态及其影响因素

凋落物生产的季节动态主要受森林组成树种的生物学特性、气候条件、以及地理因素等环境条件的影响,森林生态系统凋落物产量具有明显的季节变化规律,其季节动态模式有单峰型、双峰型或不规则类型^[6, 17]。本文 6 个研究区域有 3 个处于亚热带、其它 3 个分别处于暖温带、温带、寒温带,由于地跨多个区域,因而表现出了不同的季节变化特点(图 1)。

由图 1 可见,处于亚热带的 3 个地点凋落节律均呈现双峰型。古田山凋落高峰发生在雨季的 4 月份和旱季的 11 月份;都江堰凋落高峰发生在雨季的 5 月份和旱季的 10 月份;神农架凋落高峰发生在雨季的 5 月份和旱季的 10 月份。张德强^[6]认为在热带亚热带地区出现双峰型凋落节律,主要是由于雨季时,林分刚刚郁闭,林冠下的树叶,由于接受不到充足的阳光,导致在雨季出现叶片凋落峰值,而第 2 个凋落高峰的出现,是由于秋季温度降低,为降低养分和水分的消耗,导致大量生理性落叶,这可能是树种对低温环境长期适应的结果^[24]。

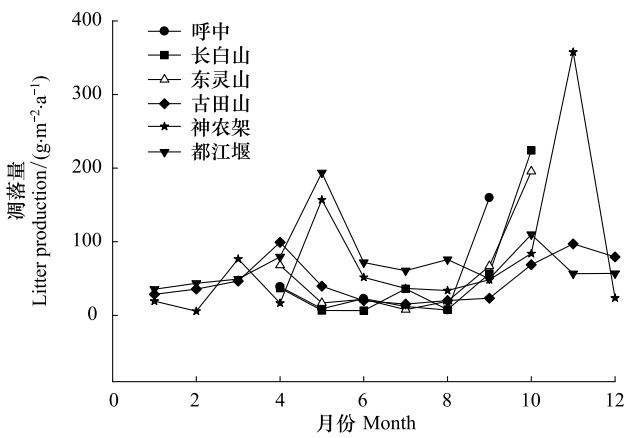


图 1 我国不同区域 6 种森林生态系统凋落物产量月动态
Fig. 1 Seasonal pattern of litter production for six forest types in mid and eastern China

由图 1 可见,位于暖温带、温带、寒温带地区的 3 个研究地点的森林生态系统表现为单峰型凋落规律。其中北京东灵山凋落高峰发生在 10 月份,主要由于秋季温度降低,生长季结束,树叶树枝等器官大规模脱落。长白山凋落高峰发生在 10 月份,但由图 1 可见 7 月凋落物产量明显高于春季,可能是由于夏季森林生长旺盛,郁闭度高,底层树叶得不到充足阳光,光合作用受阻,养分不足而死,导致出现小的凋落高峰。10 月的凋落高峰是由于秋季温度降低,生长季结束,各器官开始凋落所致。这与王斌等^[17]的研究结果基本一致。呼中凋落高峰出现在 9 月,10 月凋落物产量已开始下降,主要是由于纬度较高,温度下降较快,凋落物产生时间较其它地点为早。由本文研究结果可见,位于亚热带地区的 3 个森林生态系统凋落节律基本一致;而地处暖温带、温带、寒温带地区的森林凋落节律虽然都呈单峰型,但却表现出各自的变化特点。

3.3 凋落物分解速率及其与气候因子的关系者们越来越重视环境因子对洲 近

凋落物的分解过程实际上是包括生物、化学以及物理变化的一系列复杂过程^[25],凋落物的分解一般以分解速率指数 k 表示, k 值越大,表明凋落物分解速率越快^[26]。本文采用 Olson 指数方程,以年为时间单位,模拟计算凋落物分解速率 k (表 3)。以往研究表明,影响凋落物分解速率的气候因子主要是温度和湿度^[27]。本文对 k 值与年均温、年均降水进行相关分析,相关系数见表 4。

表 4 不同区域 6 种森林生态系统凋落物分解系数 k
Table 4 The decomposition coefficient for six regions in China

地区 Zone	呼中	长白山	东灵山	古田山	神农架	都江堰
分解系数 Decomposition rate/ k	0.13±0.05A	0.26±0.08A	0.36±0.1A	0.79±0.15B	0.92±0.2B	0.8±0.2B

不同字母表示差异显著

位于亚热带的古田山、神农架、都江堰凋落物分解速率 k 分别为 0.79、0.92、0.8(表 4)。李荣华等^[28]认

为在不同实验时间条件下,亚热带森林生态系统凋落物分解速率 k 值的变化范围为 0.78—1.3。本文研究结果位于这一范围内。北京东灵山凋落物分解速率为 0.36,接近黄建辉^[29]北京东灵山辽东栎森林生态系统凋落物分解速率(0.325)的报道。长白山凋落物分解速率为 0.26,与郭忠玲等^[30]在长白山测定的红松阔叶林枝条的分解速率(0.24)差别不大。呼中凋落物分解速率为 0.13,与赵鹏武等^[12]在内蒙古大兴安岭兴安落叶松林区测定的凋落叶片分解速率(0.0548)差别较大,本文的测定在在黑龙江呼中原始林区进行,凋落物分解速率的差异可能是由于地理位置、林龄及气候的不同造成的。

凋落物分解速率 k 表现出随纬度增加而降低的趋势,6 个地带性森林生态系统所处气候带分解速率大小顺序为亚热带>暖温带>温带>寒温带。方差分析表明亚热带森林生态系统凋落物分解速率与其它 3 个地带森林生态系统凋落物分解速率差异显著,可能是因为亚热带年均温度较高。气候在大尺度上对凋落物分解的影响十分明显,各气候带中凋落物的分解速率顺序为热带>亚热带>温带>寒温带^[16]。宋新章等^[5]认为除暖温带外,不同树种的凋落物分解速率在我国东部表现出随纬度的增加而降低,这与本文研究结果基本一致。

对 6 种森林生态系统凋落物分解速率与气候因子的相关分析表明凋落物分解速率与年均温极显著相关,与年均降水显著相关(表 5),也即随温度的升高和降水的增加,凋落物分解速率升高。这与 Moore 等^[26]、彭少麟等^[31]的研究结果基本一致。

通过对分解速率 k 与年均温、年降水、经度、纬度和海拔等因子的逐步回归分析,建立如下回归方程:

$$Y=0.038X+0.232 \quad (r=0.97, P=0.002)$$

式中, Y 为凋落物分解速率, X 为年均温。

逐步回归分析表明,凋落物分解速率受温度的影响更大,表明影响我国中东部森林生态系统凋落物分解速率的主导因子是年均温,其次是年降水。

凋落物分解速率并不仅仅由气候因素决定,还与生物因素(土壤动物、微生物的活动等)、基质条件(凋落物本身的元素构成、土壤理化性质等)等多方面因素有关。凋落物分解也是一个复杂的过程,包括碎裂、异化和淋溶三个过程的综合,其中,凋落物被分解为颗粒状的碎屑过程,称为碎裂;有机物质在酶的作用下,从聚合物变成单体,称为异化;淋溶是指可溶性物质被水所淋洗出来^[32]。可见凋落物分解是一系列生物与非生物相互作用的结果,气候因素只是其中一个重要的非生物因素,气候因素往往通过影响生物因素和基质条件而间接影响凋落物的分解速率。如温度升高,会导致土壤微生物、动物酶活性的改变,进而影响凋落物的分解速率,因此有必要在将来的研究中加强综合因素影响的实验研究。

4 结论

位于不同气候带的 6 个森林生态系统年凋落物产量趋势为亚热带>暖温带>温带>寒温带,凋落物产量与森林类型呈极显著相关关系,与年均温呈显著相关关系,与年降水关系不明显。亚热带地区 3 个森林生态系统月凋落节律均为双峰型,而暖温带、寒温带和寒温带均为单峰型。

6 个森林生态系统凋落物分解速率,随温度和降水的增加而增大,表现为亚热带>暖温带>寒温带>寒带,凋落物分解速率表现出明显的气候地带性,与温度、降水条件关系密切相关,其中温度的影响更大。

References:

- [1] Armson K A. Forest, Soils, Properties and Processes. Toronto, Buffalo: University of Toronto Press, 1977.
- [2] Liski J, Nissinen A, Erhard M, Taskinen O. Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest. *Global Change Biology*, 2003, 9(4): 575-584.
- [3] Schlesinger W H. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. New York: Academic Press, 1991.
- [4] Zhang X P, Wang X P, Zhu B, Zong Z J, Peng C H, Fang J Y. Litter fall production in relation to environmental factors in northeast China's

表 5 不同区域 6 种森林生态系统凋落物分解速率与气候因子的相关系数

Table 5 Correlation between the rates of decomposition and climatic factors

气候 Climate	分解系数 Decomposition rate	P
年均温 MAT	0.96 **	0.002
年均降水量 MAP	0.82 *	0.048

MAT: Mean annual temperature; MAP: Mean annual precipitation

* 差异显著; ** 差异极显著

- forests. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(5): 1031-1040.
- [5] Song X Z, Jiang H, Ma Y D, Yu S Q, Zhou G M, Peng S L, Dou R P, Guo P P. Litter decomposition across climate zone in Eastern China: the integrated influence of climate and litter quality. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5219-5226.
- [6] Zhang D Q, Ye W H, Yu Q F, Kong G H, Zhang Y C. The litterfall of representative forests of successional series in Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6): 938-944.
- [7] Kong W J, Zheng Z. Litter fall of four man-made forests in Mao Xian, Sichuan. *Journal of Central South Forestry University*, 2004, 24(4): 27-31.
- [8] Chun M L, Xie Z Q, Zhao C M, Fan D Y, Xu X W, Ping L. Litter production and nutrient characteristics of *Abies fargesii* natural forest in Shennongjia nature reserve, Hubei, China. *Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(3): 492-498.
- [9] Li X F, Han S J, Li Y W, Hou B Z, Li X L. Litterfall in main forest ecosystems of Northeast China. *Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(5): 783-788.
- [10] Gholz H L, Wedin D A, Smitherman S M, Harmon M E, Parton W J. Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition. *Global Change Biology*, 2000, 6(7): 751-765.
- [11] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 1963, 44(2): 322-331.
- [12] Zhao P W. Studies on Litterfall Dynamics and Nutrient Release Regularity of *Larix gmelinii* in Greet Xingan Mountains [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University. 2009.
- [13] Ling H, Chen G H, Chen Z Q. Controlling factors of litterfall in China's forests. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2009, 4(4): 66-71.
- [14] Zhang L, Wang X H, Mi X C, Chen J H, Yu M J. Temporal dynamics of and effects of an ice storm on litter production in an evergreen broad-leaved forest in Gutianshan National Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 2011, 19(2): 206-214.
- [15] Chen Y X. Study on the Characteristic of Litterfall in *Fokienia hodginsii* Plantation [D]. Fujian: Fujian Agriculture Forestry University, 2002.
- [16] Guo J F, Yang Y S, Chen G S, Lin P, Xie J S. A review on litter decomposition in forest ecosystem. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(14): 93-100.
- [17] Wang B, Yang X S. Comparison of litterfall about four typical zonal vegetations in different climatic zones. *World Forestry Research*, 2009, 1(22): 44-48.
- [18] Liu C J, Westman C J, Berg B, Kutsch W, Wang G Z, Man R Z, Ilvesniemi H. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, 13(2): 105-114.
- [19] Lin B, Liu Q, Wu Y, He H. Advances in the studies of forest litter. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 60-64.
- [20] Zheng Z, Li Y R, Liu H M, Feng Z L, Gan J M, Kong W J. Litterfall of tropical rain forests at different altitudes, Xishuangbanna, Southwest China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(6): 884-893.
- [21] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC working group I: summary for policy makers. 2007, <http://www.unep.ch/ipcc/ipcc2007.html>
- [22] Mooney H, Larigauderie A, Cesario M, Elmquist T, Hoegh-Guldberg O, Lavorel S, Mace G M, Palmer M, Scholes R, Yahara T. Biodiversity, climate change and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2009, 1(1): 46-54.
- [23] 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.
- [24] Yuan Z Q, Li B H, Bai X J, Lin F, Shi S, Ye J, Wang X G, Hao Z Q. Composition and seasonal dynamics of litter falls in a broadleaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest in Changbai Mountains, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(9): 2171-2178.
- [25] Berg B, McClaugherty C. Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration. Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.
- [26] Moore T R, Trofymow J A, Taylor B, Prescott C, Camiré C, Duschene L, Fyles J, Kozak L, Kranabetter M, Morrison I, Siltanen M, Smith S, Titus B, Visser S, Wein R, Zoltai S. Litter decomposition rates in Canadian forests. *Global Change Biology*, 1999, 5(1): 75-82.
- [27] Wang X E, Xue L, Xie T F. Research on litter decomposition. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(6): 1473-1478.
- [28] Li R H, Deng Q, Zhou G Y, Zhang D Q. Effect of incubation starting time on litter decomposition rate in a subtropical forest in China. *Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(7): 699-706.
- [29] Wang J, Huang J H. Comparison of major nutrient release patterns in leaf litter decomposition in warm temperate zone of China. *Journal of Plant Ecology*, 2001, 25(3): 375-380.
- [30] Guo Z L, Zheng J P, Ma Y D, Li Y G, Yu G R, Han S J, Fan C N, Liu W D. Researches on litterfall decomposition rates and model simulating of main species in various forest vegetations of Changbai mountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1037-1046.
- [31] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1534-1544.

- [32] Aerts R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 1997, 79(3): 439-449.

参考文献:

- [4] 张新平, 王襄平, 朱彪, 宗占江, 彭长辉, 方精云. 我国东北主要森林类型的凋落物产量及其影响因素. *植物生态学报*, 2008, 32(5): 1031-1040.
- [5] 宋新章, 江洪, 马元丹, 余树全, 周国模, 彭少麟, 窦荣鹏, 郭培培. 中国东部气候带凋落物分解特征——气候和基质质量的综合影响. *生态学报*, 2009, 29(10): 5219-5226.
- [6] 张德强, 叶万辉, 余清发, 孔国辉, 张佑倡. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究. *生态学报*, 2000, 20(6): 938-944.
- [7] 孔维静, 郑征. 四川省茂县四种人工林凋落物研究. *中南林学院学报*, 2004, 24(4): 27-31.
- [8] 春敏莉, 谢宗强, 赵常明, 樊大勇, 徐新武, 平亮. 神农架巴山冷杉天然林凋落量及养分特征. *植物生态学报*, 2009, 33(3): 492-498.
- [9] 李雪峰, 韩士杰, 李玉文, 侯炳柱, 李雪莲. 东北地区主要森林生态系统凋落量的比较. *应用生态学报*, 2005, 16(5): 783-788.
- [12] 赵鹏武. 大兴安岭兴安落叶松林凋落物动态与养分释放规律研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- [13] 凌华, 陈光水, 陈志勤. 中国森林凋落量的影响因素. *亚热带资源与环境学报*, 2009, 4(4): 66-71.
- [14] 张磊, 王晓荷, 米湘成, 陈建华, 于明坚. 古田山常绿阔叶林凋落量时间动态及冰雪灾害的影响. *生物多样性*, 2011, 19(2): 206-214.
- [15] 陈银秀. 福建柏人工林凋落物特性的研究 [D]. 福建: 福建农林大学, 2002.
- [16] 郭建芬, 杨玉盛, 陈光水, 林鹏, 谢锦升. 森林凋落物分解研究进展. *林业科学*, 2006, 42(14): 93-100.
- [17] 王斌, 杨校生. 不同气候区4种典型地带性植被凋落物比较研究 // 长江流域生态建设与区域科学发展研讨会优秀论文集. 北京: 中国林业学会, 2009, 1(22): 44-48.
- [19] 林波, 刘庆, 吴彦, 何海. 森林凋落物研究进展. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 60-64.
- [20] 郑征, 李佑荣, 刘宏茂, 冯志立, 甘建民, 孔维静. 西双版纳不同海拔热带雨林凋落量变化研究. *植物生态学报*, 2005, 29(6): 884-893.
- [23] 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.
- [24] 原作强, 李步杭, 白雪娇, 蔺菲, 师帅, 叶吉, 王绪高, 郝占庆. 长白山阔叶红松林凋落物组成及其季节动态. *应用生态学报*, 2010, 21(9): 2171-2178.
- [27] 王相娥, 薛立, 谢腾芳. 凋落物分解研究综述. *土壤通报*, 2009, 40(6): 1473-1478.
- [28] 李荣华, 邓琦, 周国逸, 张德强. 起始时间对亚热带森林凋落物分解速率的影响. *植物生态学报*, 2011, 35(7): 699-706.
- [29] 王瑾, 黄建辉. 暖温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 375-380.
- [30] 郭忠玲, 郑金萍, 马元丹, 李庆康, 于贵瑞, 韩士杰, 范春楠, 刘万德. 长白山各植被带主要树种凋落物分解速率及模型模拟的试验研究. *生态学报*, 2006, 26(4): 1037-1046.
- [31] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应. *生态学报*, 2002, 22(9): 1534-1544.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《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 赵景柱

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 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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