

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **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 9 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 郅军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝华, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 杞金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

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/stxb201202080162

纪金华, 章永江, 张一平, 刘玉洪, 鲁志云, 武传胜, 温韩东. 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响. 生态学报, 2013, 33(9): 2877-2885.

Qi J H, Zhang Y J, Zhang Y P, Liu Y H, Lu Z Y, Wu C S, Wen H D. The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2877-2885.

西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及 叶面积指数的影响

纪金华^{1,2}, 章永江^{1,3,*}, 张一平^{1,2}, 刘玉洪^{1,2}, 鲁志云^{1,2}, 武传胜^{1,2}, 温韩东^{1,2}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 勐仑 666303; 2. 中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站, 景东 676200;

3. 迈阿密大学生物系, 美国迈阿密 33124)

摘要:为探讨 2010 年初西南干旱对这一地区原生植被林冠和凋落物量的影响, 以及这一地区凋落物量和气候条件之间的关系, 对比研究了哀牢山亚热带常绿阔叶林 2010 年和一般年份的凋落物特征以及各层的叶面积指数, 并分析了凋落物量和气候因子之间的关系。2010 年凋落物总量和往年相比无显著差异, 但是叶凋落总量、旱季凋落物总量、旱季叶凋落量为历年来最高, 其中旱季叶凋落物量比一般年份平均高 35.2% ($0.81\text{t}/\text{hm}^2$)。而 2010 年附生苔藓年凋落量为历年来最低。2010 年最早月的乔木层和灌木层叶面积指数和 2005 年同期相比无显著差异, 但是草本层叶面积指数却显著低于 2005 年同期。因此, 2010 年初西南干旱尽管使哀牢山常绿阔叶林旱季落叶增加, 但还没有到显著影响冠层叶面积指数的程度。而草本层和附生苔藓的生长则受到了干旱事件的显著影响。此外, 哀牢山常绿阔叶林年总凋落量和年降水量显著正相关, 而和年均温却不相关, 表明该亚热带森林凋落物量主要由降水而非温度决定。

关键词:西南特大干旱; 凋落物量; 叶面积指数; 降水量

The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain

QI Jinhua^{1,2}, ZHANG Yongjiang^{1,3,*}, ZHANG Yiping^{1,2}, LIU Yuhong^{1,2}, LU Zhiyun^{1,2}, WU Chuansheng^{1,2}, WEN Handong^{1,2}

1 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China

2 Ailaoshan Station for Subtropical Forest Ecosystem Studies, Chinese Academy of Sciences, Jingdong 676200, China

3 Department of Biology, University of Miami, Miami, FL33124, USA

Abstract: Drought is a major disturbance that greatly influences the structure, composition, dynamics and primary production of a forest. Since drought frequency and strength are predicted to increase in the future, understanding the response of natural forests to drought is crucial for predicting the performance of forests under global climate change. In late 2009 and early 2010, a severe drought (rainfall anomaly) occurred in Southwest (SW) China. This severe drought event had a large impact on the regional agriculture and economy of this region, and attracted great attentions of scientists and the public. It has also been recognized as the most severe drought of a century. However, the impacts of this severe rainfall anomaly on natural ecosystems were not well assessed. The objectives of our study were (1) to evaluate the impacts of this rainfall anomaly on forest canopy and litterfall of natural forests in this region, and (2) to establish the relationship between

基金项目:中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站研究基金

收稿日期:2012-02-08; **修订日期:**2012-07-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangyj@xtbg.ac.cn

climatic factors and litterfall for natural forests in this region. In the present study, we compared the litterfall and its different components, as well as the leaf area index of different forest layers of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain between the 2010 unusual drought and the previous year drought with normal rainfall amounts. We also analyzed the relationship between litterfall and climatic factors, including annual mean temperature, annual rainfall, and annual number of rainy days. No significant difference was found in annual litterfall between 2010 and the previous years. However, annual leaf fall, dry season litterfall, and dry season leaf fall in 2010, were higher than those in any previous year. Dry season leaf fall in 2010 was 35.2% (0.81 t/hm^2) higher than the average during normal years. Notably, the annual fall of epiphytic mosses in 2010 was a historical minimum. No difference was found in leaf area index of the overstorey and understorey layers between 2010 dry season and 2005 dry season (a year with a normal rainfall amount). However, leaf area index of the herbaceous layer in 2010 dry season was significantly lower than that of the 2005 dry season. Therefore, although the regional rainfall anomaly in early 2010 increased leaf fall in the dry season, it did not significantly influence the canopy leaf area index. The growth of the herbaceous layer and the epiphytic mosses, however, were significantly affected. A significant positive relationship between annual litterfall and annual rainfall, as well as a negative relationship between dry season litterfall and dry season rainfall were found. There was no relationship between annual litterfall (or its components: leaf, stem, epiphytic mosses) and mean annual temperature. Therefore, the primary production and litterfall of this subtropical forest is determined by rainfall rather than by temperature. This pattern is different from the result from a previous study in Northeast China, showing that forest litterfall is mainly determined by mean annual temperature. This could be because subtropical forests are relatively warmer than the temperate forests in Northeast China, and temperature is not a major limiting factor on the forest primary production and litterfall of subtropical forests. This relationship could be further tested in other subtropical forests to reveal more general patterns.

Key Words: Southwest China drought; litterfall; leaf area index; precipitation

水分是影响森林生态系统初级生产力和功能的主要环境因子之一^[1-3],而干旱则是影响生态系统结构、组成和动态,以及农业生产最主要的环境干扰之一^[4-5]。我国西南5省市(云、贵、川、桂、渝)在2009年底至2010年初遭受了百年一遇的特大干旱,农业生产、畜牧业和人民的的生活用水都受到了极大的威胁^[6-8],而这次干旱事件对该地区森林生态系统的影响尚未得到很好评估。因为极端干旱事件在未来将增多^[9-12],研究该地区森林生态系统对这次干旱事件的响应,并分析水分条件和森林生态系统过程之间的关系,将有助于预测该地区森林在全球气候变化下的表现,并有助于合理森林管理政策的制定。

凋落物是指在生态系统内由地上植物组分产生并归还到地表,作为分解者的物质和能量来源,借以维持生态系统功能的所有有机质的总称^[13]。森林凋落物的研究主要集中在凋落量和分解速率两个方面^[14]。凋落物量是森林生态系统生物量的组成部分,是森林生态系统功能的体现^[15]。森林凋落量的变化主要受纬度和海拔两个因子的影响,而纬度和海拔通过光、温、水等生态因子影响凋落量^[14]。虽然对森林凋落物的研究较多^[16-18],但极端干旱对森林凋落量影响的研究却较少。研究干旱事件对森林凋落量的影响并分析水分和森林凋落量之间的关系,将有助于人们预测凋落量和相关的一系列生态系统过程在未来干旱频度增加情况下的表现。

哀牢山是云岭山脉向南分支的余脉,约北纬 $23^{\circ}35'$ — $24^{\circ}44'$ 之间,在云南它不仅是地貌上的重要分界线,也是云南省东、西两半的气候分界线。中山湿性常绿阔叶林(以下简称常绿阔叶林)是哀牢山分布最广、面积最大的植被类型,是该山东西两侧江河的重要水源林,有重要的研究价值^[19]。哀牢山常绿阔叶林在2010年旱季的水分状况虽然为有记录以来最差,但尚未使主要树种遭遇干旱胁迫^[20]。因为生长于潮湿生境中的树木可能对水分亏缺比较敏感,而树木可能会通过更多落叶减少蒸腾来避免水分胁迫,2010年初的降雨严重缺乏事件可能会影响常绿阔叶林乔木层、灌木层和草本层的叶面积指数和凋落物量。本文以哀牢山中山湿性常

绿阔叶林为研究对象,对比了 2010 年和一般年份的凋落物量和叶面积指数,分析了年凋落物量和年均温、年降水和降水日数之间的关系,目的在于:1)评估 2010 年西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物量及叶面积指数的影响;2)探讨气候因子和亚热带常绿阔叶林凋落物量的关系。

1 研究方法与样地

1.1 研究地概况

本研究在云南哀牢山国家级自然保护区境内的徐家坝地区开展,所选样地地理位置为 $24^{\circ}32'N$, $101^{\circ}01'E$,海拔 2490 m,本区旱季(11 月—4 月)、雨季(5—10 月)分明,属于西南季风气候,全年温凉潮湿。年平均气温 $11.3^{\circ}C$,年平均相对湿度 83%,年降水量 1931.1 mm,年日照时数 1239 h,其主要的气候特征是长冬(5 个月)无夏,春秋(7 个月)相连,水湿资源丰富。林地土壤为山地黄棕壤^[19]。

原生的常绿阔叶林是徐家坝地区面积最大(约 $29.22 km^2$)、分布最广(占全区总面积的 77.94%),且连接成片的植被类型。该植被类型的乔木主要由壳斗科(Fagaceae)、茶科(Theaceae)、樟科(Lauraceae)和木兰科(Magnoliaceae)组成。壳斗科的优势树种有木果柯(*Lithocarpus xylocarpus*)、硬斗柯(*L. jingdongensis*)、变色锥(*Castanopsis wattii*)等组成;茶科的优势树种有南洋木荷(*Schima noronhae*)、舟柄茶(*Hartia sinensis*)和小花山茶(*Camellia forrestii*)等组成;樟科的优势树种有黄心树(*Machilus bombycina*)、滇润楠(*Machilus yunnanensis*)和鸭公树(*Neolitsea chuii*)等组成;木兰科的主要优势树种有红花木莲(*Manglietia insignis*)、多花含笑(*Michelia floribunda*)等组成。该植被的垂直分布为乔木层、灌木层和草本层,乔木层树高 25—30 m,平均盖度达 90% 以上。灌木层以箭竹(*Sinarundinaria nitida*)为优势种,盖度达 75% 左右;草本层优势种有细梗苔草(*Carex teinogyna*)、粗齿冷水花(*Pilea sinofasciata*)、金凤仙(*Impatiens cyathiflora*)、滇西瘤足蕨(*Plagiogyria communis*)、平卧蓼(*Polygonum strindbergii*)、球序蓼(*Polygonum wallichii*)和紫花沿阶草(*Ophiopogon wallichianus*)等组成,盖度约 40% 左右^[21]。

1.2 研究方法

1.2.1 凋落物

本研究的凋落物数据(2005 年 1 月至 2010 年 12 月)来自哀牢山亚热带森林生态系统研究站的常规监测。样地是该研究站的永久监测样地,面积为 $1 hm^2$,该样地设为 $10 m \times 10 m$ 的 II 级样方 100 个,在其中的 25 个 $10 m \times 10 m$ 样方内各水平放置一个 $1 m \times 1 m$ 的凋落物收集框,凋落物框的位置离地面 1 m。采用直接收集法^[22],每个月月末用网孔直径为 0.5 mm 的塑料网袋收集框内的凋落物,带回实验室进行叶、枝、花果、皮、附生苔藓和杂物的各组分分拣,然后在烘箱内以 $80^{\circ}C$ 恒温烘烤 24 h,用 BL610 电子天平(Sartorius Inc., Germany)称其干重。

1.2.2 叶面积指数

叶面积指数测定中,乔木、灌木和草本层以高度划分:高度小于 0.5 m 为草本层,高度在 1—3 m 之间的为灌木层,高度在 3 m 以上的为乔木层^[21]。叶面积指数由 LAI-2000 植物冠层分析仪(Licor Inc., USA)测定。在与地面水平高度 3.5 m 的地方水平放置冠层仪,所测出的值为乔木层叶面积指数值,高度在 3 m 以下测出的为灌木层以上的叶面积指数(即灌木层叶面积指数+乔木层的叶面积指数),两种叶面积指数值之差为灌木层叶面积指数值,高度在 0.5 m 以下测出的值为草本层以上的叶面积指数值(即草本层叶面积指数+灌木层叶面积指数+乔木层叶面积指数),该叶面积指数值与在 3 m 以下测出的值的差为草本层叶面积指数值。LAI-2000 植物冠层分析仪测定须在直射光充足具有散射光的条件下进行^[23-24],而该植被乔木层盖度较高(90% 以上),林下光线相对较弱,为了提高测量准确性,选择晴天日照较强的 12:00、16:00 和相对较弱的 08:00 各测 1 次,求平均以代表该样方的叶面积指数^[25]。测定在 2005 年和 2010 年最早月(4 月)进行。在 $1 hm^2$ 样地内共选择 8 个 II 级样方定点监测。

1.2.3 降雨、相对湿度和土壤含水量

降雨、相对湿度和土壤含水量(2005 年 1 月至 2010 年 12 月)也为哀牢山亚热带森林生态系统研究站的

常规监测。相对湿度由每天(08:00、14:00、20:00)观测到的干、湿球温度表读数和本站气压读数计算得到;采用口径为 20cm 的雨量筒在雨天的 08:00、14:00 和 20:00 各观测 1 次降水量。在样地内的 3 个固定土壤剖面采样点上每月采样(每个采样剖面由地表至深度 150cm),土样立刻带回实验室用 BL610 电子天平称重,再在烘箱内以 105℃ 的恒温烘烤 24 h 后称其干重,土壤采样及质量含水量计算参照文献^[20]。

1.3 数据处理

本研究采用单因素方差分析判定常绿阔叶林年凋落物量、凋落物旱季总量、叶面积指数、降水量、相对湿度、土壤质量含水量自 2005—2010 年各年份之间的差异是否显著。运用 Person's correlation 分析凋落物量和气候因子(年降水、年均温、年降水日数)之间的相关性,使用线性回归分析确定凋落物旱季总量和旱季降水量以及凋落物的年总凋落量和年降水量之间的关系。所有统计分析均在 SPSS 18.0 软件中进行。

2 结果与分析

2.1 2005—2010 年降水量、平均相对湿度和土壤平均质量含水量的月动态特征

2010 年旱季是有观测以来降水量最少的,且低降水量的时间持续最长,2010 年 2 月相对湿度也达有观测以来最低值,土壤平均质量含水量则在 3 到 5 月达到有观测以来的最低点(图 1)。

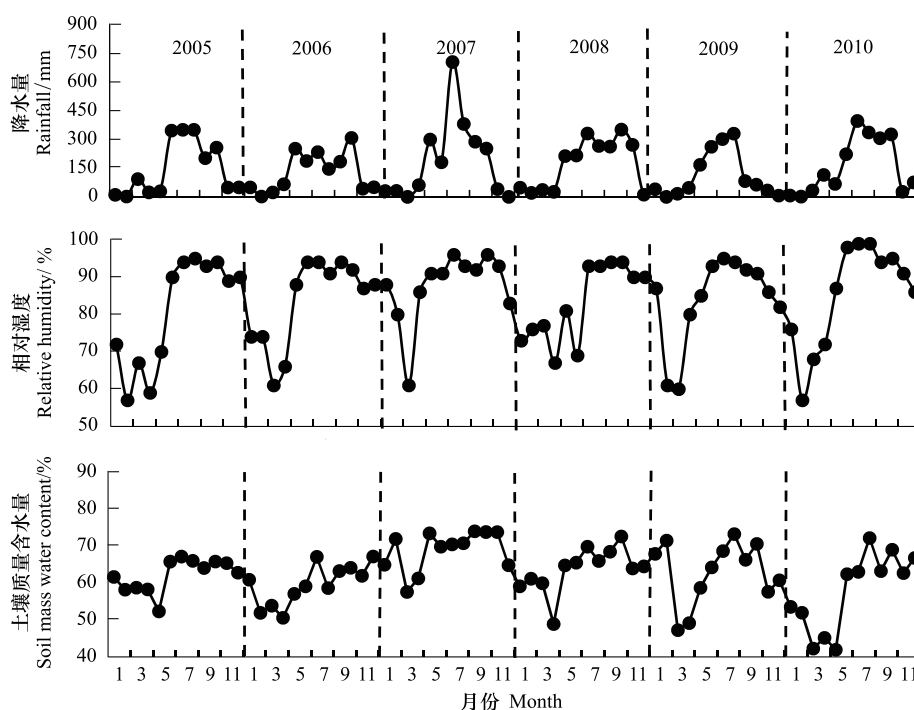


图 1 降水量、相对湿度和土壤平均质量含水量的月动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of rainfall, relative humidity and soil mass water content

2.1 凋落物总凋落量、叶枝凋落量和附生苔藓凋落量动态特征

年总凋落物量从 2005 至 2010 年间无显著差异($P>0.05$)。2010 年的叶凋落量为有观测以来最高,但与其它年份差异并不显著。各年间枝凋落量也无显著差异($P>0.05$)。2010 年的附生苔藓凋落量为历年来最低,2009 年和 2010 年附生苔藓与 2005 年相比年凋落量显著降低(图 2)。

2009—2010 年旱季凋落物总量为有观测以来最高,但各年间的差异并不显著($P>0.05$)。各年间旱季枝的凋落量无显著差异,而叶的凋落量 2005—2006 年和 2009—2010 年旱季与其它各年间差异显著($P<0.05$),即 2005—2006 年和 2009—2010 年旱季叶的凋落量较大(落叶较多)。2009—2010 旱季的叶凋落量为历年来最高(3.11 t/hm^2),且比一般年份平均(2.30 t/hm^2 ;不包含 2005—2006 旱季)高 35.2% (0.81 t/hm^2)。旱季附生苔藓凋落量 2004—2005 年与 2008—2009 年和 2009—2010 年、2006—2007 年和 2008—2009 年均显著

差异 ($P < 0.05$), 即 2004—2005 年与 2008—2009 年和 2009—2010 年相比, 前者附生苔藓凋落量较大; 2007 年与 2009 年相比, 也是前者的附生苔藓凋落量大于后者 (图 2)。

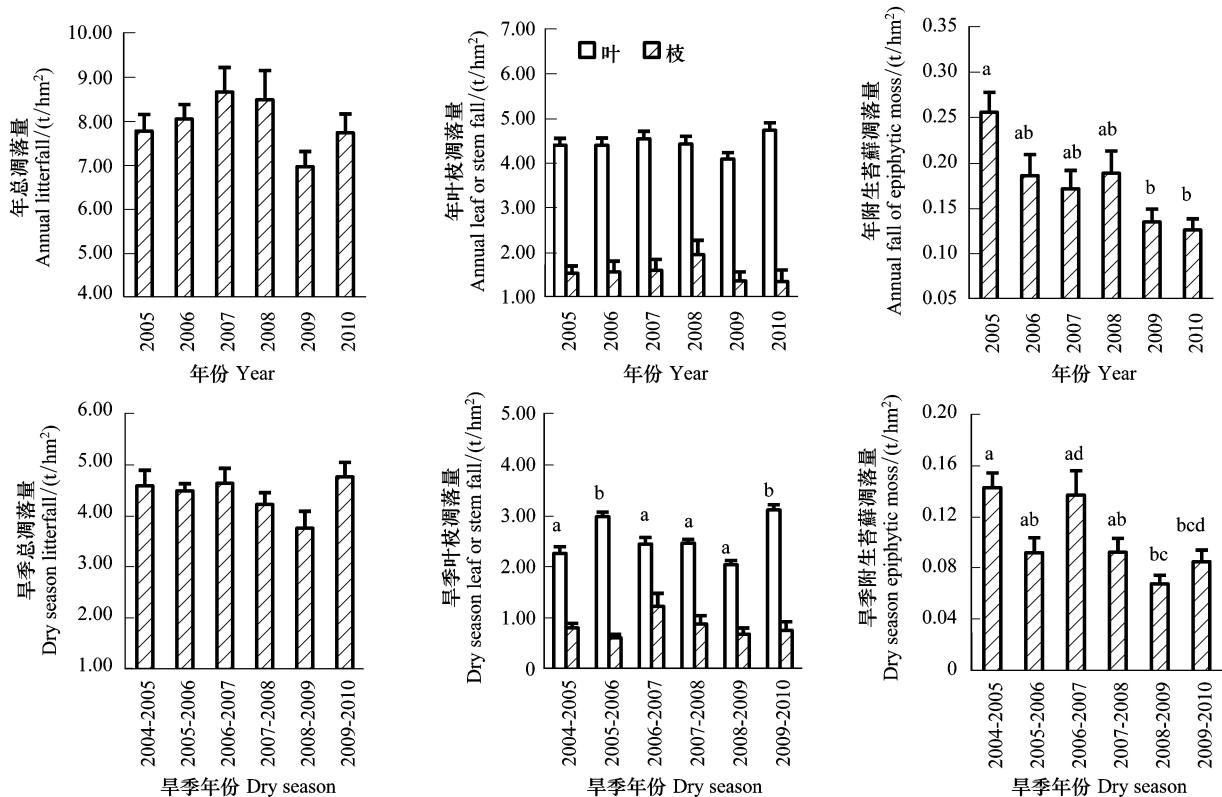


图 2 年和旱季凋落物总量、枝叶凋落量和附生苔藓凋落量的年际动态

Fig. 2 Annual and dry season litterfall and different components of litterfall (leaf, stem and epiphytic moss)

平均值+标准误, 同一图中含有相同小写字母的, 表示差异不显著 ($P > 0.05$); 不含有相同小写字母的, 表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 2005 年和 2010 年乔木层、灌木层和草本层旱季叶面积指数

2010 年旱季 (最早月 4 月) 乔木层和灌木层叶面积指数同 2005 年同期 (4 月) 相比无显著差异 (图 3)。而 2010 年旱季草本层叶面积指数则极显著地低于 2005 年同期 ($P < 0.01$)。

2.4 凋落物量和气候因子之间的相关性

年际间, 年凋落物总产量与年均温无显著相关关系, 与年降水量有显著相关性 (表 1, 图 4)。哀牢山常绿阔叶林年凋落量介于 6.50—9.00 t/hm² 之间, 并随着年降水量的增大呈增加趋势。凋落物各组分 (叶、枝、花果和附生苔藓) 的年凋落量与年均温、年降水量及年降水天数无显著相关性。附生苔藓凋落量和年降水天数最相关, 但关系仅为边缘性显著 ($P = 0.07$)。此外, 旱季总凋落量与旱季降水量有线性负相关关系, 即旱季降水量越少, 则旱季凋落量越多 (图 4)。

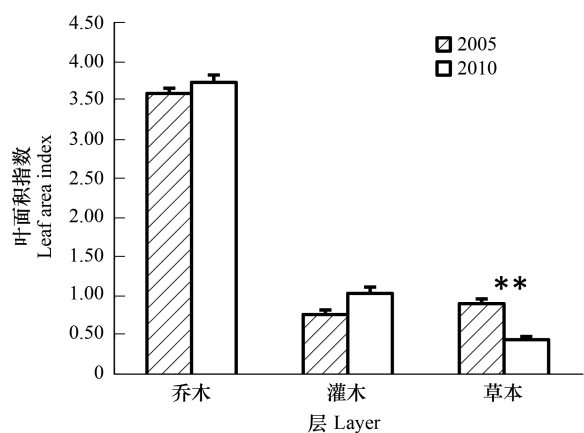


图 3 2005 年和 2010 年最早月 (4 月) 乔木层、灌木层和草本层的叶面积指数

Fig. 3 Leaf area index of overstorey, understorey and herbaceous layers in April 2005, and April 2010

平均值+标准误, 星号代表差异显著 (* * $P < 0.01$)

表 1 凋落物总量及各组分和气候特征之间的相关系数

	Table 1 Correlation between litter production and climatic characters				
	凋落物总量 Litterfall	组分 Components			
		叶 Leaf	枝 Stem	花果 Flower & fruits	附生苔藓 Epiphytic moss
年均温 MAT	-0.57	-0.05	-0.47	-0.26	0.46
年降水 AR	0.85 *	0.70	0.49	0.30	0.06
年降水日数 ARD	0.50	0.45	0.51	0.58	0.77

* $P < 0.05$; MAT: mean annual temperature; AR: Annual rainfall; ARD: Annual rain days

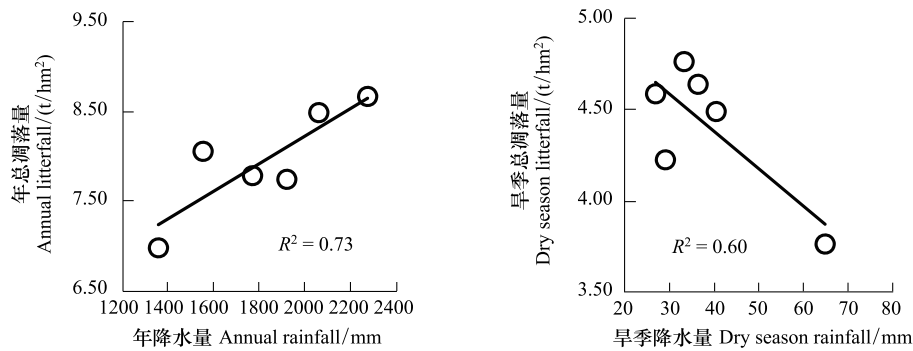


图 4 年凋落物总量与年降水量、旱季总凋落量与旱季降水量的线性相关关系

Fig. 4 The relationship between annual litter production and annual rainfall, and between dry season litter production and dry season rainfall

3 讨论与结论

2010 年初旱季哀牢山中山湿性常绿阔叶林的空气和土壤水分状况为有观测以来最差,而我们之前的研究表明哀牢山常绿阔叶林主要树种却并未遭遇干旱胁迫^[20]。尽管未达到干旱胁迫的程度,比往年更差的水分状况还是使其林冠和凋落物量受到了一定影响。2009—2010 旱季总凋落物量和旱季叶凋落量都是有观测以来最高。其中,2009—2010 旱季和 2005—2006 旱季的叶凋落量比一般年份平均都高出不少。水分亏缺是影响植物生长和产生生理生化响应的主要因子和限制植物生长的关键因素^[15],相对较差的土壤和空气水分状况使得 2010 年初旱季的叶凋落量较高,即落叶较多。落叶较多同时可能也是树木减少蒸腾面积和保水的一种机制。而 2005—2006 旱季较高的叶凋落量是因为 2006 年 1 月哀牢山常绿阔叶林遭受了一场强降雪。旱季降水量相对稀少,土壤含水量和空气相对湿度较低,而在 2010 年旱季,相对湿度和土壤平均质量含水量及降水量都达到历史新低,树木水分状态和往年相比较差而导致落叶较多。哀牢山常绿阔叶林旱季凋落物总量与旱季降水量具有线性负相关关系,说明在旱季相对较多的降水可使枝叶维持较好水分状况,并使旱季凋落物量减少。

尽管 2009—2010 旱季哀牢山常绿阔叶林叶凋落物量为有观测以来最高,但是 2010 年旱季的乔灌木层叶面积指数和一般年份相比并无显著差异。这就表明尽管旱季树木落叶同往年旱季相比有所增加,但是增加的幅度有限,并且不足以显著影响乔木层和灌木层的叶面积。此外,虽然 2010 年初的降雨缺乏事件并没有使哀牢山常绿阔叶林乔灌木层的叶面积指数受到负面影响,2010 年初旱季林下草本层叶面积指数却显著低于一般年份(2005 年)。叶面积指数是一个能定量描述冠层结构及其动态的重要植被属性^[26-27]。在旱季,降水量稀少,由于林地蒸散和树木蒸腾,使土壤表层含水量下降较多。而草本层植物的根系较浅,比树木更有可能遭遇缺水并导致枯萎和死亡,草本层叶面积指数也因此降低。同草本层一样,乔灌木幼苗的根系也较浅,因而幼苗的死亡率和更新也可能会受到这次干旱事件的影响,当然这方面还有待进一步分析研究。另一方面,乔木层和灌木层植物由于根系相对较深,可以从更深的土壤层得到所需水分,因而 2010 年初西南干旱^[6-8]对此两层植物的影响较小。

哀牢山常绿阔叶林附生苔藓植物凋落量在 2010 年达有记录以来最低,这与西南干旱事件^[6-8]中长达半年多时间几乎无降雨有关。附生苔藓的水分供应来自雨水和空气中的水分,因而对小气候变化很敏感^[28-29],其分布也受森林结构内部的光、温湿度等小尺度环境因子的很大影响^[30-31]。空气相对湿度降低和降水量的减少会影响附生苔藓植物的生长,使其生长代谢减弱甚至停滞,凋落量减少。2009—2010 旱季,在长达半年多的时间里几乎没有降雨发生,使高度依赖于雨水和空气中水分的附生苔藓植物生长极度受限,并导致生物量和凋落量降低。

森林凋落物是森林植物在其生长发育过程中的新陈代谢产物,是森林生态系统物质循环和能量流动的重要方面^[32-33],森林凋落物量的变化受光、温、水等生态因子再分配的影响^[13],而水分因子对不同物种的影响各异^[14]。本文结果表明,哀牢山常绿阔叶林凋落物总产量与温度不相关,而与年降雨量显著正相关,这与张新平等人在中国东北的研究结果^[34]不一致。东北地区寒冷湿润,凋落物产量主要和年均温有关,与年降水无显著关系^[34]。在欧亚大陆的大部分地区(尤其是常绿阔叶林地区),温度对凋落量的影响比降水大,但在干旱区则是降水起主导作用^[35]。而哀牢山地处南方亚热带地区,温度相对较高,可能不是凋落物产量的主要决定因子。凋落物量反映了生态系统的净初级生产力^[36-37]。尽管该区水资源丰富^[19],但干湿季分明(旱、湿季各 6 个月),旱季降水量稀少,土壤水分和空气相对湿度相对较低,因而水分可能是影响凋落物产量的主导因素。虽然哀牢山常绿阔叶林中的树木在旱季不会遭受干旱胁迫^[20],但是旱季如果有相对更好的水分状况还是可以使该年枝叶生长较多,凋落物量也越多。

综上所述,2009 年底至 2010 年初西南特大干旱使哀牢山常绿阔叶林森林凋落物组分叶的旱季凋落量增大,但是这还不足以影响乔灌木层的叶面积指数。附生苔藓对环境变化反应比较灵敏,2009—2010 年旱季自有观测以来最低的空气相对湿度和降水使得附生苔藓的生长和凋落量也为有观测以来最低。尽管林冠所受影响较小,但是表层土壤较低的含水量使林下草本层叶面积指数在旱季大大低于往年。此外,哀牢山常绿阔叶林年凋落物总量和年均温不相关,而和年降雨有显著正相关。这和东北温带森林凋落物量主要受温度影响不一致,可能是因为亚热带森林的生长和凋落物产量更多地受到降雨量而非温度的影响。当然这个规律还有待于在更多的亚热带森林生态系统中得到验证。

致谢:中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站提供 6 年的生物、气象和水分监测数据,在野外监测和数据积累中得到了李达文、罗鑫和罗成昌的大力协助,特此致谢。

References:

- [1] Krishnan P, Black T A, Grant N J, Barr A G, Hogg E T H, Jassal R S, Morgenstern K. Impact of changing soil moisture distribution on net ecosystem productivity of a boreal aspen forest during and following drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 139(3/4): 208-223.
- [2] Granier A, Reichstein M, Bréda N, Janssens I A, Falge E, Ciais P, Grünwald T, Aubinet M, Berbigier P, Bernhofer C, Buchmann N, Facini O, Grassi G, Heinesch B, Ilvesniemi H, Keronen P, Knohl A, Köstner O B, Lagergren F, Lindroth A, Longdoz B, Loustau D, Mateus J, Montagnani L, Nys C, Moors E, Papale D, Peiffer M, Pilegaard K, Pita G, Pumpanen J, Rambal S, Rebmann C, Rodrigues A, Seufert G, Tenhunen J, Vesala T, Wang Q. Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 143(1/2): 123-145.
- [3] Hao Y B, Wang Y F, Cui X Y. Drought stress reduces the carbon accumulation of the *Leymus chinensis* steppe in Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(8): 898-906.
- [4] Tao F, Hayashi Y, Zhang Z, Sakamoto T, Yokozawa M. Global warming, rice production, and water use in China: developing a probabilistic assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(1): 94-110.
- [5] Lu L P, Cheng C L, Liu W D, Qin Z H. Effect of the agricultural meteorological disasters on agricultural production and its spatial distribution characteristics during the last 30 years in China. *Ecology and Environment*, 2009, 18(4): 1573-1578.
- [6] Wang X J. System thinking for drought management in Southwest China. *China Water Resources*, 2010, (7): 11-13.
- [7] Qiu J. China drought highlights future climate threats. *Nature*, 2010, 465(7295): 142-143.
- [8] Stone R. Severe drought puts spotlight on Chinese dams. *Science*, 2010, 327(5971): 1311-1311.
- [9] Trenberth K E. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change*, 1999, 42(1):

- 327-339.
- [10] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, Noguer M, van der Linden P J, Dai X, Maskell K, Johnson C A. Climate change 2001: the scientific basis// Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [11] Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, Changnon S A, Karl T R, Mearns L O. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. Science, 2000, 289(5487): 2068-2074.
- [12] IPCC. Fourth Assessment Report of Working Group III: Summary for Policymakers. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [13] Wang F Y. Review on the study of forest litterfall. Advances in Ecology, 1989, 6(2): 82-89.
- [14] Lin B, Liu Q, Wu Y, He H. Advances in the studies of forest litter. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(1): 60-65.
- [15] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(9): 1534-1543.
- [16] Ebermayer E. Die gesamte Lehre der Waldstreue mit Rücksicht auf die chemische Statik des Waldbaues. Berlin: Julius Springer, 1876.
- [17] Guo L B, Sims R E H. Litter production and nutrient return in New Zealand eucalypt short rotation forests: implications for land management. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1999, 73(1): 93-100.
- [18] Wei L M, Yu D L, Chen Z R. Study on the dynamic variation of litter falls in Maolan Karst forest. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2009, 33(3): 31-34.
- [19] Qiu X Z, Xie S C. Studies on the Forest Ecosystem in Ailao Mountains, Yunnan, China. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1998.
- [20] Qi J H, Zhang Y J, Zhang Y P, Liu Y H, Yang Q Y, Song L, Gong H D, Lu Z Y. Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1692-1702.
- [21] Qian H Q. The analysis of structure of evergreen broad-leaf forest in Xujiaba region in Ailao mountains// Wu Z Y, Qu Z X, Jiang H Q. Studies on the Forest Ecosystem in Ailao Mountains Yunnan, China. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1983.
- [22] CERN Science Commission. Protocols for Standard Biological Observation and Measurement in Terrestrial Ecosystems. Beijing: China Environmental Science Press, 2007.
- [23] Zhou Y Y, Tang S H, Zhu Q J, Liu J T, Sun R, Liu S H. Measurement of LAI in Changbai mountains nature reserve and its result. Resources Science, 2003, 25(6): 38-42.
- [24] Yang G J, Huang W J, Wang J H, Xing Z R. Inversion of forest leaf area index calculated from multi-source and multi-angle remote sensing data. Chinese Bulletin of Botany, 2010, 45(5): 566-578.
- [25] Gong H D, Yang G P, Zhang Y P, Liu Y H, Zheng Z, Gan J M. Comparison of leaf area index of four types of plant communities in Ailao Mountain. Journal of Northeast Forestry University, 2007, 35(3): 34-36.
- [26] Lee K S, Cohen W B, Kennedy R E, Maersperger T K, Gower S T. Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different biomes. Remote Sensing Environment, 2004, 91(3/4): 508-520.
- [27] Wu W B, Hong T S, Wang X P, Peng W X, Li Z, Zhang W Z. Advance in ground-based LAI measurement methods. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(2): 270-275.
- [28] Cameron A J, Nickless G. Use of mosses as collectors of airborne heavy metals near a smelting complex. Water, Air and Soil Pollution, 1977, 7(1): 117-125.
- [29] Trynoski S E, Glime J M. Direction and height of bryophytes on four species of Northern Trees. The Bryologist, 1982, 85(4): 281-300.
- [30] Guo S L, Cao T. Studies on community distribution patterns of epiphytic bryophytes in forest ecosystems in Changbai Mountain. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(4): 442-450.
- [31] Guo S L, Cao T. Studies on relationships of epiphytic bryophytes and environmental factors in forest ecosystems in Changbai Mountain forest. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(6): 922-931.
- [32] Martin W. Microbial populations of leaf litter in relation to environmental conditions and decomposition. Ecology, 1963, 44(2): 370-377.
- [33] Maguire D A. Branch mortality and potential litter fall from Douglas-fir trees in stands of varying density. Forest Ecology and Management, 1994, 70(1/3): 41-53.
- [34] 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 forests. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(5): 1031-1040.
- [35] Liu C J, Carl J W, Bjorn B, Werner K, Gary Z W, Rongzhou M, Hannu I. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. Global Ecology and Biogeography, 2004, 13(2): 105-114.
- [36] Bray J R. Litter production in forests of the world. Advances in Ecological Research, 1964, 2: 101-157.
- [37] Clark D A, Brown S, Kichlighter W K, Chambers J Q, Thomlinson J R, Ni J, Holland E A. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. Ecological Applications, 2001, 11(2): 371-384.

参考文献:

- [3] 郝彦宾,王艳芬,崔骁勇. 干旱胁迫降低了内蒙古羊草草原的碳累积. 植物生态学报, 2010, 34(8): 898-906.
- [5] 卢丽萍,程丛兰,刘伟东,覃志豪. 30 年来我国农业气象灾害对农业生产的影响及其空间分布特征. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1573-1578.
- [6] 王小军. 应对西南干旱的思考. 中国水利, 2010, (7): 11-13.
- [13] 王凤友. 森林凋落量研究综述. 生态学进展, 1989, 6(2): 82-89.
- [14] 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.
- [15] 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): 1534-1543.
- [18] 魏鲁明,余登利,陈正仁. 茂兰喀斯特森林凋落物量的动态研究. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(3): 31-34.
- [19] 邱学忠,谢寿昌. 哀牢山森林生态系统研究. 昆明: 云南科技出版社, 1998.
- [20] 纪金华,章永江,张一平,刘玉洪,杨秋云,宋亮,巩合德,鲁志云. 哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用. 生态学报, 2012, 32(6): 1692-1702.
- [21] 钱洪强. 哀牢山徐家坝地区常绿阔叶林结构分析//吴征镒,曲仲湘,姜汉侨. 云南哀牢山森林生态系统研究. 昆明: 云南科技出版社, 1983.
- [22] 中国生态系统研究网络科学委员会. 陆地生态系统生物观测规范. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [23] 周宇宇,唐世浩,朱启疆,李江涛,孙睿,刘素红. 长白山自然保护区叶面积指数测量及结果. 资源科学, 2003, 25(6): 38-42.
- [24] 杨贵军,黄文江,王纪华,邢著荣. 多源多角度遥感数据反演森林叶面积指数方法. 植物学报, 2010, 45(5): 566-578.
- [25] 巩合德,杨国平,张一平,刘玉洪,郑征,甘建民. 哀牢山 4 类植物群落叶面积指数比较. 东北林业大学学报, 2007, 35(3): 34-36.
- [27] 吴伟斌,洪添胜,王锡平,彭万喜,李震,张文昭. 叶面积指数地面测量方法的研究进展. 华中农业大学学报, 2007, 26(2): 270-275.
- [30] 郭水良,曹同. 长白山地区森林生态系统树附生苔藓植物群落分布格局研究. 植物生态学报, 2000, 24(4): 442-450.
- [31] 郭水良,曹同. 长白山森林生态系统树附生苔藓植物分布与环境关系研究. 生态学报, 2000, 20(6): 922-931.
- [34] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain ... QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《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,探索自然奥秘,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 欧阳志云

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 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 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