

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

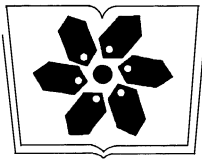
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **2012**

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 32 卷 第 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)



封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108241239

邓云, 唐炎林^{1,*}, 曹敏, 张一平, 刘文杰, 邓晓保, 李玉武, 张文富. 西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征. 生态学报, 2012, 32(24): 7836-7843.

Deng Y., Tang Y. L.¹, Cao M., Zhang Y. P., Liu W. J., Deng X. B., Li Y. W., Zhang W. F. Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7836-7843.

西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征

邓 云^{1,*}, 唐炎林¹, 曹 敏¹, 张一平¹, 刘文杰¹, 邓晓保¹, 李玉武^{1,2}, 张文富¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 勐腊 666303; 2. 中国科学院北京研究生院, 北京 100049)

摘要:通过与本地典型的橡胶林和季节雨林进行对比,研究了在橡胶林基础上抚育、恢复而来的人工雨林群落结构及林下降雨侵蚀力特征。通过 16a 的抚育管理,人工雨林 Shannon-Wiener 多样性指数达到 3.652,接近当地季节雨林的一般情况。对 6a 的降雨侵蚀力计算发现,人工雨林 7 月林内降雨侵蚀力达 962.2 MJ mm hm⁻² h⁻¹ a⁻¹,对旷地降雨侵蚀力的削减量是橡胶林的 2.08 倍。人工雨林初步重现了类似热带自然雨林的群落结构和叶面积指数特征,能够有效对削减降雨侵蚀力,这有利于林内水土保持和进一步的植被恢复。因此,人工雨林的抚育、恢复模式是热带退化山地地区植被恢复与重建的一条较为可行的途径。

关键词:人工雨林; 群落结构; 降雨侵蚀力; 植被恢复

Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna

DENG Yun^{1,*}, TANG Yanlin¹, CAO Min¹, ZHANG Yiping¹, LIU Wenjie¹, DENG Xiaobao¹, LI Yuwu^{1,2}, ZHANG Wenfu¹

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

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

Abstract: Community structure and throughfall erosivity of artificial rainforest were compared with rubber forest and seasonal rainforest in this study. After 16 years grown without any management, the Shannon-Wiener index of artificial rainforest has increased to 3.652, which was much closer to local seasonal rainforest. A calculation of throughfall erosivity based on 6 years' data shown that the throughfall erosivity of artificial rainforest in July was 962.2 MJ mm hm⁻² h⁻¹ a⁻¹, and the amount of rainfall erosivity reduction to clear surface was 2.08 times higher than rubber forest. Artificial rainforest has similar community structure and leaf area index (LAI) to tropical seasonal rainforest, and decreasing throughfall erosivity efficiently, which were very useful for soil conservation and vegetation restoration. Artificial rainforest is a feasible restoration type for degraded ecosystem in tropical area.

Key Words: Artificial rainforest, community structure, throughfall erosivity, vegetation restoration

自 20 世纪 60 年代开始,出于对橡胶资源的迫切需要,我国在西双版纳地区进行了大规模的橡胶种植工作。1976—2007 年间,西双版纳地区土地利用/覆盖变化剧烈,有林地面积大幅减少,覆盖率从 69.0% 减少到

基金项目:中国科学院野外台站基金项目

收稿日期:2011-08-24; 修订日期:2012-11-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dy@xtbg.org.cn

43.6%;橡胶园覆盖率则从1.3%增加到11.8%^[1],森林覆盖率和森林结构变化已成为导致本地气候变化的主要原因^[2],由于森林结构变化,森林对气候、土壤的调控作用也随之改变。

降雨是引起土壤侵蚀的最主要动力因子,作为定量预测土壤流失的重要环节,降水侵蚀力计算能够对区域气候对土壤侵蚀的潜在影响作出评价^[3]。对森林群落而言,由于存在复杂的林冠结构,因此只有受到林冠截留作用后的林内有效雨量才能参与径流的形成,并直接影响林地土壤水分的消长变化^[4]。由于此过程中的穿透雨量占林内有效雨量的90%以上^[5],因此评价林内穿透雨的降水侵蚀力成为衡量生态系统功能恢复的重要指标之一。中国科学院西双版纳热带森林生态系统研究站自20世纪60年代开始即开始开展在橡胶林基础上恢复热带雨林结构与功能的人工雨林的模拟实验,试图对热带森林生态系统的恢复与重建方法进行一些尝试和探索^[6],并在该群落的林内小气候特征^[7]、土壤温度变化^[8]及生物量和净第一生产力^[9]等研究方面取得一些进展。本文从人工雨林群落组成与垂直结构出发,通过对人工雨林与本地代表性人工植被单排单层橡胶林和典型地带性植被热带季节雨林进行对比,以期了解人工雨林物种和结构的恢复现状,并结合降雨侵蚀力计算,评价人工雨林结构重建过程中伴随的生态系统服务功能变化,为热带退化生态系统结构与功能的恢复与重建研究提供参考依据。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究区概况

本研究所选各样地均位于云南省勐腊县勐仑镇。该区终年受西南季风控制,属热带季风气候。年内85%的降水集中在雨季,旱雨两季分明。年平均气温21.5℃,≥10℃积温7860℃,平均最低气温7.5℃,年日照时数1828 h,年降水量1557 mm,年相对湿度86%。

为尽量避免由于海拔、地形因素导致的降水差异对试验结果造成影响,本试验选择人工雨林附近1 km范围内的单行橡胶林及建群阶段后期季节雨林作为对照群落(表1)。

人工雨林 该样地位于中国科学院西双版纳热带植物园内,群落与作为对照的季节雨林相邻,调查样地距离两种群落的林缘相交处约100 m。该群落1960年确定,种下第一层乔木树种橡胶树,1962年开始在橡胶树行间种植第二层乔木木奶果和萝芙木,1965年在上层树种形成一定遮蔽后开始种植下层草本。20世纪70—90年代,陆续引入本地或外引有明确经济价值植物共计84科、176属、216种。1992年至今停止全部人工管理,任其自然发育。根据2008年样地调查结果,该样地共有胸径2 cm以上乔木层物种40种,其中优势种2种,乔木层最大高度25.4 m;无高度50 cm以上灌木层;草本层物种8种,其中优势种1种,平均盖度47.7%。

季节雨林 样地中心距离人工雨林约700 m,是人工雨林恢复的目标群落。该样地20世纪60年代末期群落中有部分大树被择伐,80年代中期以后,西双版纳热带植物园将其作为滇南濒危植物迁地保护区进行保护与管理,现植被恢复良好,属建群阶段后期。根据2008年样地调查结果,该样地有胸径2 cm以上乔木层物种120种,其中优势种10种,乔木层最大高度31.5 m;高度50 cm以上灌木层物种33种,其中优势种5种,平均盖度20.8%;草本层物种40种,其中优势种2种,平均盖度65.2%。

表1 样地基本信息

Table 1 General situation of sample plots

	中心坐标 Location	海拔 Elevation/m	样地大小 Area/m×m	坡度 Gradient/(°)		坡向 Aspect	坡位 Position	土壤类型 Soil type
				最低	最高			
季节雨林 SRF Seasonal rain forest	N 21°55'7.9" E101°16'22.8"	566	50×100	30	35	SE	坡中下	砖红壤
人工雨林 AF Artificial forest	N21°55'24.2" E101°16'5"	521	30×30	0	5	NW	中下	砖红壤
橡胶林 RF Rubber forest	N21°54'37.7" E101°16'27.1"	592	30×30	15	15	SW	中	砖红壤

橡胶林 为 1981 年栽种的单行橡胶林。该样地除日常割胶外,还进行人工抚育管理,如施肥、除去橡胶窄行间的杂草等。根据 2008 年调查结果,该样地乔木层物种仅有橡胶树 1 种,乔木层最大高度 24 m。由于人工除草关系,该样地无灌木层和草本层。

1.2 研究方法

1.2.1 降雨及穿透雨量

林外降雨量 使用距样地直线距离约 500 m 处综合气象观测场降水观测资料,为 20 cm 口径雨量器定时观测当日 8:00 到次日 8:00 记录。

穿透雨量 于每个样地内不同位置放置 4 个(橡胶林内为 2 个)30 cm × 200 cm 的穿透雨槽对穿透雨进行收集,通过较大的集水面积弥补林冠不均一性。穿透雨槽放置高度为 1.0—1.5 m,每个雨日后以称重法进行观测。本研究中所用降雨、穿透雨资料为 2003—2008 年间整理数据的平均值。

1.2.2 群落组成与结构调查

由于所用穿透雨资料至 2008 年截止,因此选用 2008 年生物调查数据对群落组成和结构进行描述。对所选样地内胸径 ≥ 2 cm 乔木进行每木调查,记录植物种名,以测树围尺测量胸径,以目测法对树高进行估计。

本文通过以下公式计算群落物种多样性分析:

$$\text{Simpson 多样性指数} \quad D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (1)$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (2)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} \quad E = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i / \ln S \quad (3)$$

式中, p_i 为第 i 个物种在群落中的相对多度, S 为群落树种总数。

1.2.3 叶面积指数测定

使用美国 LI-COR 公司产 LI-2000 冠层分析仪,于每月月底进行对各群落的叶面积指数(LAI)进行测定。仪器测量高度为 1.5m,每个观测点上重复测量 3 次。季节雨林设立 10 个固定观测点,人工雨林和橡胶林中设立 5 个固定观测点。测量完成后通过 FV2000 软件求算各点的 LAI。本文所用数据为 2005—2008 年实测数据月平均值。

1.2.4 降水侵蚀力计算

由于热带雨林中往往林冠不齐且层次较多,各层分界不明显,冠层高度、冠层厚度等重要特征难以进行定量化的准确描述,理论模型使用受到限制,因此本文主要通过经验模型对降雨侵蚀力进行估算。Yu 等^[10-12]通过对澳大利亚南部、新南威尔士州及热带地区的降雨侵蚀力研究,得出了能够反映降雨侵蚀力时间和季节分布变化的模式:

$$E_i = \alpha [1 + \eta \cos(2\pi f_i + \omega)] \sum_{k=1}^N R_k^\beta \quad (R_k > R_0) \quad (4)$$

式中, E_i 为 i 月份降雨侵蚀力的估计值, R_k 为第 k 日的降雨量, R_0 为临界降雨量, N 为 i 月降雨中超过临界降雨量的天数, $\alpha, \beta, \eta, \omega$ 为模型参数。现有研究^[13-14]表明,该公式能够良好描述中国西南地区降水侵蚀力状况。模型参数选择参考张一平等^[14]对本地森林的相关研究。

1.2.5 数据处理

使用 Excel 2003 对数据进行处理和分析。

2 研究结果

2.1 群落结构

2.1.1 物种组成

相对自然群落,人工雨林由于所有物种均为人工引种,因此个体数、丰富度、Simpson 多样性指数及

Shannon-Wiener 多样性指数均相对天然林偏低,但仍明显高于单层单种的橡胶林(表 2)。同时由于人工雨林系人工林改造而来,物种分布相对较为均匀,群落均匀度(0.794)相对季节雨林(0.763)更高。

表 2 群落组成特征

Table 2 The characteristics of tree species in different community sample plots

	季节雨林 SRF	人工雨林 AF	橡胶林 RF
科 Family/(个/hm ²)	36	24	1
属 Genera/(个/hm ²)	74	36	1
丰富度 Species richness	120	40	1
个体数 Number/(个/hm ²)	2822	1822	511
Simpson 多样性指数 Simpson index	0.955	0.909	—
shannon-wiener 多样性指数 shannon-wiener's index	3.652	2.927	—
Pielou 均匀度 Pielou's index	0.763	0.794	—

2.1.2 胸径与树高结构

胸径是反映群落个体大小的最简单最直观的指标。由于本研究中所选季节雨林已为演替建群阶段中后期,其群落胸径级分布呈典型的异龄林的近似双曲线形式的反 J 型曲线;与此相对,由于人工雨林是在人工林基础上构建而成,虽经过 16a 封闭管理,但仍具有一定的群状同龄林特征,林分直径分布呈波纹状的反 J 型曲线(图 1)。

由于林冠是降雨进入森林的第一水文效应层,因此树高结构对穿透雨量关系密切。研究发现,随群落高度增加,中后期次生林中个体数量呈下降趋势,而人工雨林由于系人工有选择的引入物种,尚处人工林向天然林的过渡过程中,因此 5—10 m 高度具有最多的个体数量(45.12%);与此相对,橡胶人工林内个体集中分布于 10—15 m(95.65%),呈正态分布,是人工纯林的典型特征。

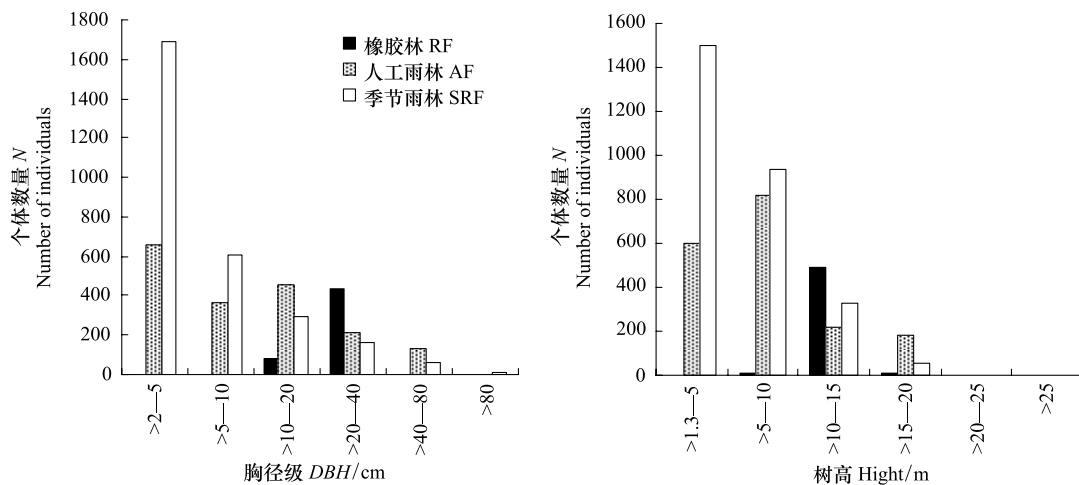


图 1 不同径级和树高等级个体数量比较

Fig.1 The total number of individuals in different DBH and tree height classes

2.1.3 叶面积指数

在 3 个研究群落中,群落叶面积指数高低依次为季节雨林>人工雨林>橡胶林(图 2)。其中,受群落上层部分乔木树种旱季落叶的影响,季节雨林 LAI 最低值出现在旱季末期的 4 月,当 5 月雨季到来之后又有所回升。

本地橡胶树同样存在季节性落叶,林内 LAI 最低值出现于 1—2 月。3 月之后由于橡胶树新叶展出而有所增加,而 4、5 月份由于受雨季初期常见的强对流天气所伴随的大风影响,橡胶树常有大枝被风吹断形成林窗,因此 LAI 会有降低并直至 7 月前后方才恢复。

与以上两种典型群落相比,人工雨林 LAI 季节变化兼具二者特征。由于具有较橡胶林更多的物种和个体数,人工雨林全年 LAI 高于橡胶林,但由于该群落内最顶层仍为早期种植的橡胶树,因此 1—2 月时也有类似橡胶林的 LAI 降低;当 3 月橡胶树新叶展出时其林内郁闭度会有一段时间增加,但因此时已是旱季末期,其他植物又开始落叶,叶面积指数 4 月时又再次降低。进入 5 月雨季来临之后,各物种均开始生长,此时 LAI 呈近似季节雨林的 growth 变化。

2.2 降雨侵蚀力

2.2.1 穿透雨与林内降雨侵蚀力

对群落结构特征的了解,最终是为对群落的功能特征进行评价。比较各林型下穿透雨量和降雨侵蚀力逐月变化情况发现,本地各类森林中穿透雨量最低值出现于 12 月—翌年 2 月,在 5 月之后开始逐渐增加,7—8 月时达到最大值。与此相对,降雨侵蚀力的最低值和最高值也分别出现于 12 月—翌年 2 月和每年 7 月份(图 3)。

由于旱季(10 月—翌年 4 月)降雨较少,降雨强度较低,此时季节雨林、橡胶林和人工雨林中降雨侵蚀力强度均相对较小,3 种林型下差异不大;但进入雨季之后,随着降雨量增加,不同群落降雨侵蚀力差异逐渐增大,7 月时橡胶林中表现出最大的降雨侵蚀力($1103.6 \text{ MJ mm hm}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ a}^{-1}$),而此时人工雨林位于橡胶林和季节雨林之间($962.2 \text{ MJ mm hm}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ a}^{-1}$),季节雨林为 $849.6 \text{ MJ mm hm}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ a}^{-1}$),呈现出介于两种林型之间的过渡特征。

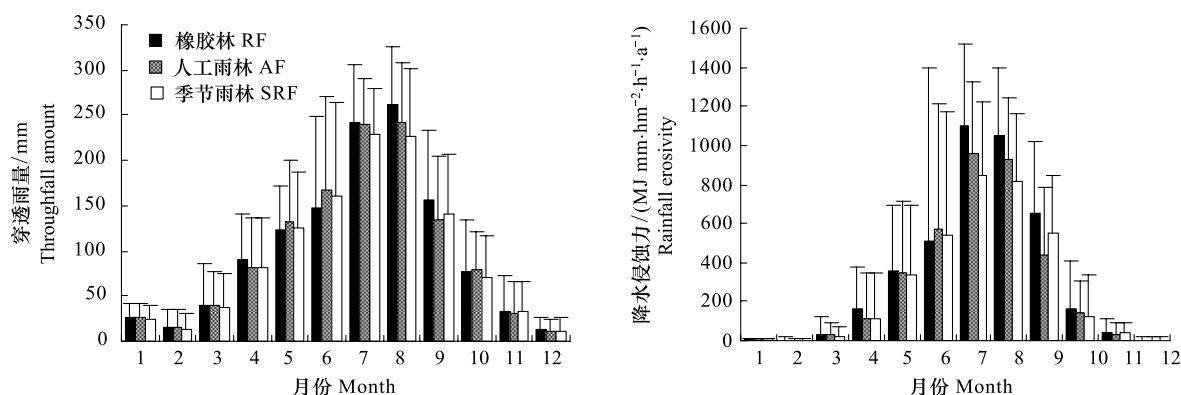


图 3 不同群落穿透雨量与降雨侵蚀力月变化

Fig. 3 Monthly variation of throughfall amount and rainfall erosivity under different community type

2.2.2 不同林型下降雨侵蚀力削减量比较

相对旷地降雨而言,多层多种的人工雨林表现出类似季节雨林的降雨侵蚀力的削减作用,在 4—7 月间,这种削减作用甚至要略高于季节雨林。单行橡胶林由于结构单一,对降雨侵蚀力的削减量明显低于其他两种林型,在降雨侵蚀力最高的 7 月份,橡胶林较旷地的降雨侵蚀力削减量仅相当于人工雨林的 48.03% (图 4)。

旱季橡胶林和次生林下降雨侵蚀力相对接近,而雨季时则存在较大差值(7 月平均值相差可达 $254.04 \text{ MJ mm hm}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ a}^{-1}$)。人工雨林由于在人工林基础上一定程度的恢复了天然林内的群落结构,因此对降水侵蚀力的削减要优于未改造过的橡胶林(7 月时降雨侵蚀力最大时相对橡胶林平均值减少 $141.44 \text{ MJ mm hm}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ a}^{-1}$)。

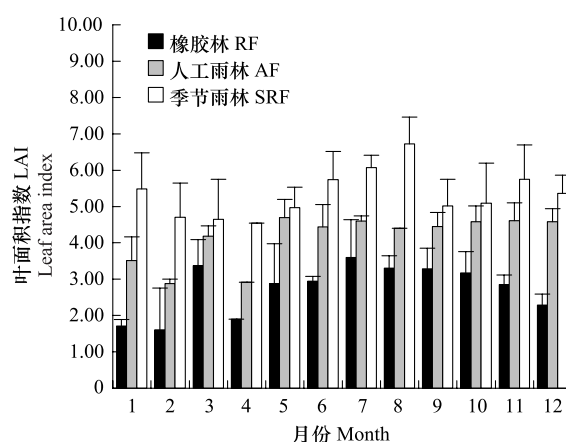


图 2 叶面积指数月变化比较

Fig. 2 Monthly variation of leaf area index

3 讨论

3.1 人工雨林的物种多样性

对本地森林的研究结果表明,本区热带季节雨林中 Shannon-Wiener 多样性指数一般可达 3.888^[15] 和 4.07—4.54^[16]。本研究中处于建群阶段中后期的季节雨林 Shannon-Wiener 多样性指数为 3.652,接近本地顶极群落典型值域范围,而人工雨林下 Shannon-Wiener 多样性指数为 2.927,低于季节雨林,但已接近本地季风常绿阔叶林^[17] 和低海拔下山地雨林或热带季节雨林的次生林^[18-20] 的一般水平,人工雨林很好的重构和再现本地自然群落的物种多样性。

另一方面,虽然人工雨林较好的模拟了天然林内的物种组成,但由于系人工林基础上构建,因此虽经 16a

的封闭管理,但在群落级结构和树高分布上仍然呈现出具有类似类似群状同龄林特征的波纹状反 J 型曲线,树高结构则介于人工纯林的正态分布和天然异龄林近似双曲线形式的反 J 型曲线两种类型之间^[21],具体表现为 5 m 以下幼树个体数量相对较少。由于人工雨林群落上层植被主要为人工引种的乔木同龄种群,受母树成熟周期和幼苗生长年限限制,更新的幼苗/幼树尚不能够完全进入乔木层,从而导致该层个体数量相对较少。

3.2 人工雨林对降雨侵蚀力的削减作用

叶面积指数被认为与林冠截留能力线性相关^[22-23]。张一平等^[14] 的研究结果表明,旱季季节雨林和橡胶林与旷地的降雨侵蚀力相差不大,而雨季时两种群落内降雨侵蚀力均低于旷地,其中橡胶林内降雨侵蚀力大于季节雨林,这与本研究结果一致。人工雨林穿透雨量和降水侵蚀力均介于次生林和橡胶林之间,与人工雨林的 LAI 特征相符。而就对旷地降雨侵蚀力的削减量而言,人工雨林在雨季前期(5—7 月)和旱季初期(10 月)甚至略高于次生林。这可能系此时人工雨林的郁闭度已足够阻挡该时期相对较少的降雨,而且低于天然林的 LAI 更有利于空气流动和太阳辐射进入冠层,在降雨较少时期使林冠具有更高的干燥度,增加林冠截留率并减少穿透雨的形成^[24-26],减弱降雨的侵蚀力强度;而橡胶林由于郁闭度过低,始终无法对降雨形成有效阻挡,因此对降雨侵蚀力的削减效果始终处于较低的水平。

3.3 人工雨林空间结构改善对削减降雨侵蚀力的贡献

一般认为,林内降雨侵蚀力大小除与降雨量大小有关外,可能还受林冠高度影响,因为这有可能增加雨滴动能。当林冠高超过 7 m,降水量超过 5 mm 的情况下,林冠层将不能有效降低降水动能,当降水继续增大时林内降水动能还将继续增大,并超过同期林外雨的动能^[27];而对于超过 20 mm 的单次降水而言,冠层厚度可能是唯一仍然对穿透雨特征有显著影响的环境因子^[28]。本研究表明,由于热带雨林本身的多层多种,林内不存在明显分层,丰富的物种组成也暗示了林内多样化的树冠形态,这些都有利于对林内的穿透雨滴形成层层阻挡,削弱降雨动能^[29]。而对于橡胶林而言,由于其林下缺乏其他物种进行截留,穿透雨滴产生之后直落地面,有可能进一步增加对地表的侵蚀。

人工雨林由于在橡胶林中引入了其他物种,初步重现了类似季节雨林的林内垂直结构,通过在最高层的橡胶树下填充大量其他物种个体,明显减少了各层间的相对距离,这有利于避免雨滴直接冲击土壤,减缓和削弱穿透雨动能。本文经验模型的计算结果也表明,人工雨林林下降雨侵蚀力明显优于单层单种的典型橡胶林,这充分体现了人工雨林垂直结构重建所带来的森林生态功能的改善。

已有研究表明,热带季节雨林的水分循环利用和涵养水源功效远高于人工橡胶林^[30]。调查数据证实,1976—2007 年间,西双版纳有林地覆盖率从 69.0% 减少到 43.6%,橡胶园覆盖率则从 1.3% 增加为

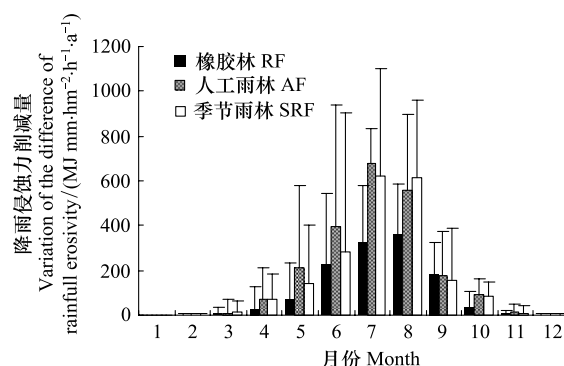


图 4 3 种类型森林较旷地降雨侵蚀力削减量月变化

Fig. 4 Difference of rainfall erosivity between clear surface and three type forest

11.8%^[31],橡胶园的扩张被认为主要来源于对热带季节雨林的砍伐,这是该区山地雨林面积减少的主要原因^[32]。由于橡胶林会引起径流中短期事件降水所占比例增加^[33],大面积的橡胶园将导致区域涵养水源能力的下降,进而可能引起局地气候的变化^[31]。在目前市场的高需求和投资的高回报背景下,西双版纳橡胶园的扩张可能仍会在未来持续一段时间^[34],因此,单纯通过对现有天然林进行保护,可能并不足以改善已被破坏的当地生态系统功能。人工雨林作为一种在经济林基础上改造的恢复模式,一方面不与现有橡胶园的扩张需求发生冲突,另一方面又能够对当地土著物种进行保护,并通过优化林内结构达到改善橡胶林水文生态功能的目的,不失为协调地方经济发展与生态环境保护二者间矛盾的一种可行的解决办法。

4 结论

经过 16a 的封闭管理,人工雨林已初步呈现出类似天然林的物种多样性,并且随着物种和空间结构上的恢复,人工雨林穿透雨量已经介于季节雨林和橡胶林之间,对降雨侵蚀力的削减作用在雨季前期和旱季初期甚至略优于季节雨林,初步具备了类似天然林的水文功能特征。人工雨林是人工橡胶林向本地典型森林恢复的一种可行模式,在橡胶林种植面积日益扩大的今天,人工雨林将是未来在退化橡胶林基础上恢复典型森林结构与功能的一种重要模式,也是将类似热带退化山地地区植被恢复与重建的一条较为可行的途径。

致谢:本文主要工作在中国科学院西双版纳热带植物园西双版纳热带雨林生态系统研究站完成,李绍安、段文平、刘梦楠、马玖、陈德富、余江、邓云超等为本文的数据获取提供了协助,在此一并致谢。

References:

- [1] Li Z Z, Ma Y X, Li H M, Peng M Q, Liu W J. Relation of land use and cover change to topography in xishuangbanna, southwest china. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(5): 1091-1103.
- [2] Zhang K Y, Zhang Y P. The influence of deforestation of tropical rainforest on local climate // Forestry meteorology symposium. Beijing: China Meteorological Press, 1984: 14-23.
- [3] Wischmeier, W H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society Proceedings*, 1959, 23(3): 246-249.
- [4] Fan S X, Jiang D M, Alamusu, Li X H, Liu Z M. Studies on throughfall model in forest area. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(7): 1403-1407.
- [5] Nakano H. Forest Hydrology. Li Y S Trans. Beijing: Chinese forestry Press. 1983.
- [6] Feng Y Z. Artificial community. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2007.
- [7] Liu W J, Duan W P. Analysis of microclimatic effect of tropical artificial rainforest. *Journal of Yunnan Tropical Crops Science&Technology*, 1997, 20(3): 7-11.
- [8] Liu W J, Li H M. Laws of temperature variation of artificial rainforest soil in Xishuangbanna. *Journal of Yunnan Tropical Crops Science&Technology*, 1997, 20(1): 16-20.
- [9] Tang J W, Zhang J H, Song Q S, Huang Z Y, Li Z N, Wang L F, Zeng R. Biomass and net primary productivity of artificial tropical rainforest in Xishuangbanna. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 1-6.
- [10] Yu B, Hashim G M, Eusof Z. Estimating the R-factor with limited rainfall data: A case study from peninsular Malaysia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 56(2): 101-105.
- [11] Yu B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales. *Australian Journal of Soil Research* 1996, 34(1): 139-152.
- [12] Yu, B. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics. *Australian Journal of Soil Research*, 1998, 36: 143-165.
- [13] Ning L D, Shi H. Estimating R-factor in southwest China with data of daily rainfall amount. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(4): 183-186.
- [14] Zhang Y P, He Y L, Yang G C. Release effects of tropical seasonal rain forest and rubber forest on rainfall erosivity in South Yunnan. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(7): 731-737.
- [15] Cao M, Zhang J H. Tree species diversity of tropical forest vegetation in Xishuangbanna, SW China. *Biodiversity and Conservation*, 1997, 6: 995-1006.
- [16] Lü X T, Tang J W, Structure and composition of the understory treelets in a non-dipterocarp forest of tropical Asia. *Forest Ecology and Management*, 2010, 260: 565-572.
- [17] Li D, Tang J W, Luo C Q, Li J S, Liu Z A. Analysis on the coenological Characteristics of monsoonal Evergreen broad-leaved forest communities in Xishuangbanna. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(3): 257-267.
- [18] Zhu H. A discussion on plant diversity of tropical montane rain forests in xishuangbanna, yunnan. *Journal of Plant Ecology*. 2006. 30(1): 184-186.
- [19] Tang J W. Discussion on the issue in the paper "A discussion on plant diversity of tropical montane rain forests in xishuangbanna, yunnan".

- Journal of Plant Ecology, 2006, 30(1): 187-189.
- [20] Li Z S, Tang J W, Zheng Z, Li Q J, Luo C Q, Liu Z A, Li Z N, Duan W Y, Guo X M. A study on plant diversity of tropical montane rain forests in xishuangbanna, yunnan. Journal of Plant Ecology. 2004, 28(6): 833-843.
- [21] Meng X Y. Forest mensuration. 2ED. Beijing: Chinese forestry Press, 1996
- [22] Dijk A I J M, Bruijnzeel L A. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 2. Model validation for a tropical upland mixed cropping system. Journal of Hydrology, 2001, 247(3/4): 239-262.
- [23] Zhang Y P, Wang X, Liu W J. Research review on the partitioning of gross rainfall into stemflow, throughfall and interception of canopies in the tropical forests. Journal of Fujian College of Forestry, 2004, 24(3): 274-282.
- [24] Liu, S. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. Ecological Modelling, 1997, 99(2/3): 151-159.
- [25] Liu J G. The process of rainfall interception in forest canopy. Journal of Beijing Forestry University, 1987, 9(2): 140-144.
- [26] Liu, J. G. . A theoretical model of the process of rainfall interception in forest canopy. Ecological Modelling, 1988. 42(2): 111-123.
- [27] Zhou X F, Zhao H X, Sun H Z. Proper assessment for forest hydrological effect. Journal of Natrual Resources, 2001, 16(5): 420-426.
- [28] Parka A, Cameron J L. The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation Forest Ecology and Management, 2008, 255(5/6): 1915-1925.
- [29] Zhou G Y. Eco-hydrological functions of tropical forest, China. Chinese Journal of Ecology, 1997, 16(5): 47-50.
- [30] Liu W J, Zhang Y P, Liu Y H, Li H M, Duan W P. Comparison of fog in terception at a tropical seasonal rainforest and a rubber plantation in Xishuangbanna, Southwest Ch ina. Acta Ecolog ica Sinica, 2003, 23(11): 2379-2386.
- [31] Li Z J, Ma Y X, Li H M, Peng M C, Liu W J. Relation of land use and cover change to topoguary in Xishuangbanna, Southwest China. Journal of PlantEcology, 2008, 32(5): 1091-1103.
- [32] Li H M, Ma Y X, Guo Z F, Liu W J. Land use/land cover dynamic change in Xishuangbanna based on RS and GIS technology. Journal of Mountain Science, 2007, 25(3): 280-289.
- [33] Liu W J, Liu W Y, Lu H J, Duan W P, Li H M, Runoff generation in small catchments under a native rain forest and a rubber plantation in Xishuangbanna, southwestern China. Water and Environment Journal, 2011, 25(1): 138-147.
- [34] Li H M, Ma Y X, Aide T M, Liu W J Past, present and future land-use in Xishuangbanna, China and the implications for carbon dynamics. Forest Ecology and Management, 2011, 20(1): 16-24.

参考文献:

- [1] 李增加, 马友鑫, 李红梅, 彭明春, 刘文俊. 西双版纳土地利用/覆盖变化与地形的关系. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1091-1103.
- [2] 张克映, 张一平. 西双版纳森林开伐对地方气候的影响 // 林业气象论文集. 北京: 气象出版社, 1984: 14-23.
- [4] 范世香, 蒋德明, 阿拉木萨, 李雪华, 刘志民. 林内穿透雨量模型研究. 生态学报, 2003. 23(7): 1403-1407.
- [5] 中野秀章(日)著. 李云森译. 森林水文学. 北京: 中国林业出版社, 1983
- [6] 冯耀宗. 人工群落. 昆明: 云南科技出版社, 2007
- [7] 刘文杰, 段文平. 热带人工雨林小气候效应分析. 云南热作科技, 1997, 20(3): 7-11.
- [8] 刘文杰, 李红梅. 西双版纳人工雨林土壤温度变化规律. 云南热作科技, 1997, 20(1): 16-20.
- [9] 唐建维, 张建候, 宋启示, 黄自云, 李自能, 王利繁, 曾荣. 西双版纳热带人工雨林生物量及净第一性生产力的研究. 应用生态学报, 2003, 14(1): 1-6.
- [13] 宁丽丹, 石辉. 利用日降雨量资料估算西南地区的降雨侵蚀力. 水土保持研究, 2003, 10(4): 183-186.
- [14] 张一平, 何云玲, 杨根灿. 滇南热带季节雨林和橡胶林对降雨侵蚀力的减缓效应. 生态学杂志, 2006, 25(7): 731-737.
- [17] 李冬, 唐建维, 罗成坤, 李俊松, 刘正安. 西双版纳季风常绿阔叶林的群落学特征. 山地学报, 2006. 24(3): 257-267.
- [18] 朱华. “西双版纳热带山地雨林的植物多样性研究”的一些问题讨论. 植物生态学报, 2006. 30(1): 184-186.
- [19] 唐建维. 关于对朱华先生“西双版纳热带山地雨林的植物多样性研究的一些问题讨论”一文中有关问题的说明. 植物生态学报, 2006, 30(1): 187-189.
- [20] 李宗善, 唐建维, 郑征, 李庆军, 罗成昆, 刘正安, 李自能, 段文勇, 郭贤明. 西双版纳热带山地雨林的植物多样性研究. 植物生态学报, 2004, 28(6): 833-843.
- [21] 孟宪宇, 测树学. 第二版. 北京: 中国林业出版社, 1996
- [23] 张一平, 王馨, 刘文杰. 热带森林林冠对降水再分配作用的研究综述. 福建林学院学报, 2004, 24(3): 274-282.
- [25] 刘家冈. 林冠对降雨的截留过程. 北京林业大学学报, 1987, 9(2): 140-144.
- [27] 周晓峰, 赵惠勋, 孙慧珍. 正确评价森林水文效应. 自然资源学报, 2001, 16(5): 420-426.
- [29] 周光益. 中国热带森林水文生态功能. 生态学杂志, 1997, 16(5): 47-50.
- [30] 刘文杰, 张一平, 刘玉洪, 李红梅, 段文平. 热带季节雨林和人工橡胶林林冠截留雾水的比较研究. 生态学报, 2003, 23(11): 2379-2386.
- [31] 李增加, 马友鑫, 李红梅, 彭明春, 刘文俊. 西双版纳土地利用/覆盖变化与地形的关系. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1091-1103.
- [32] 李红梅, 马友鑫, 郭宗峰, 刘文俊. 基于 RS 和 GIS 的西双版纳土地覆被动态变化. 山地学报, 2007, 25(3): 280-289.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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

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 32 卷 第 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 2012)

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