

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第2期 Vol.33 No.2 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 2 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 岩溶山区水分时空异质性及植物适应机理研究进展..... 陈洪松, 聂云鹏, 王克林 (317)
- 红树林植被对大型底栖动物群落的影响 陈光程, 余 丹, 叶 勇, 等 (327)
- 淡水湖泊生态系统中砷的赋存与转化行为研究进展..... 张 楠, 韦朝阳, 杨林生 (337)
- 纳米二次离子质谱技术(NanoSIMS)在微生物生态学研究中的应用 胡行伟, 张丽梅, 贺纪正 (348)
- 城市系统碳循环: 特征、机理与理论框架 赵荣钦, 黄贤金 (358)
- 城市温室气体排放清单编制研究进展..... 李 晴, 唐立娜, 石龙宇 (367)

个体与基础生态

- 科尔沁沙地家榆林的种子散布及幼苗更新..... 杨允菲, 白云鹏, 李建东 (374)
- 环境因子对木棉种子萌发的影响 郑艳玲, 马焕成, Scheller Robert, 等 (382)
- 五花米草与短叶荳蔻落物分解过程中碳氮磷化学计量学特征 欧阳林梅, 王 纯, 王维奇, 等 (389)
- 性别、季节和体型大小对吐鲁番沙虎巢域的影响 李文蓉, 宋玉成, 时 磊 (395)
- 遮蔽行为对海刺猬摄食、生长和性腺性状的影响..... 罗世滨, 常亚青, 赵 冲, 等 (402)
- 水稻和玉米苗上饲养的稻纵卷叶螟对温度的反应 廖怀建, 黄建荣, 方源松, 等 (409)

种群、群落和生态系统

- 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性 商素云, 姜培坤, 宋照亮, 等 (416)
- 禁牧条件下不同类型草地群落结构特征 张鹏莉 陈 俊 崔树娟, 等 (425)
- 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系 任 珩, 赵成章 (435)
- 小兴安岭 4 种典型阔叶红松林土壤有机碳分解特性 宋 媛, 赵溪竹, 毛子军, 等 (443)
- 新疆富蕴地震断裂带植被恢复对土壤古菌群落的影响 林 青, 曾 军, 张 涛, 等 (454)
- 长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响 朱新玉, 董志新, 况福虹, 等 (464)
- 潮虫消耗木本植物凋落物的可选择性试验 刘 燕, 廖允成 (475)
- 象山港网箱养殖对近海沉积物细菌群落的影响 裘琼芬, 张德民, 叶仙森, 等 (483)
- 2005 年夏季东太平洋中国多金属结核区小型底栖生物研究 王小谷, 周亚东, 张东声, 等 (492)
- 川西亚高山典型森林生态系统截留水文效应 孙向阳, 王根绪, 吴 勇, 等 (501)

景观、区域和全球生态

- 中国水稻生产对历史气候变化的敏感性和脆弱性 熊 伟, 杨 婕, 吴文斌, 等 (509)
- 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势 贺 伟, 布仁仓, 熊在平, 等 (519)
- 地表太阳辐射减弱和臭氧浓度增加对冬小麦生长和产量的影响 郑有飞, 胡会芳, 吴荣军, 等 (532)

资源与产业生态

- 基于环境卫星数据的黄河湿地植被生物量反演研究 高明亮, 赵文吉, 官兆宁, 等 (542)
- 黄土高原南麓县域耕地土壤速效养分时空变异 陈 涛, 常庆瑞, 刘 京, 等 (554)

不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响..... 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等 (565)

施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响 吕 鹏,张吉旺,刘 伟,等 (576)

城乡与社会生态

城市景观组分影响水质退化的阈值研究 刘珍环,李正国,杨 鹏,等 (586)

长株潭地区生态可持续性 戴亚南,贺新光 (595)

外源 NO 对镉胁迫下水稻幼苗抗氧化系统和微量元素积累的影响 朱涵毅,陈益军,劳佳丽,等 (603)

达里诺尔湖沉积物中无机碳的形态组成 孙园园,何 江,吕昌伟,等 (610)

绿洲土 Cd、Pb、Zn、Ni 复合污染下重金属的形态特征和生物有效性 武文飞,南忠仁,王胜利,等 (619)

柠檬酸和 EDTA 对铜污染土壤环境中吊兰生长的影响 汪楠楠,胡 珊,吴 丹,等 (631)

研究简报

海州湾生态系统服务价值评估 张秀英,钟太洋,黄贤金,等 (640)

内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系 谭丽萍,周广胜 (650)

氮磷供给比例对长白落叶松苗木磷素吸收和利用效率的影响 魏红旭,徐程扬,马履一,等 (659)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 38 * 2013-01



封面图说: 科尔沁沙地榆树——榆树疏林草原属温带典型草原地带,适应半干旱半湿润气候的隐域性沙地顶级植物群落,具有极强的适应性、稳定性,生物产量较高。在我国仅见于科尔沁沙地和浑善达克沙地。是防风固沙、保护沙区生态环境和周边土地资源的一种重要的植物群落类型,是耐旱沙生植物的重要物种基因库和荒漠野生动物的重要避难所和栖息地。这些年来,由于人类毁林开荒、过度放牧、甚至片面地建立人工林群落等的干扰,不同程度地破坏了榆树疏林的生态环境,影响了其特有的生态作用。

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

DOI: 10.5846/stxb201111301828

孙向阳, 王根绪, 吴勇, 柳林安, 刘光生. 川西亚高山典型森林生态系统截留水文效应. 生态学报, 2013, 33(2): 0501-0508.

Sun X Y, Wang G X, Wu Y, Liu L A, Liu G S. Hydrologic regime of interception for typical forest ecosystem at subalpine of Western Sichuan, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 0501-0508.

川西亚高山典型森林生态系统截留水文效应

孙向阳^{1,2}, 王根绪^{1,*}, 吴 勇³, 柳林安^{1,2}, 刘光生^{1,2}

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所山地表生过程与生态调控重点实验室, 成都 610041;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

摘要: 截留是水文循环的一个重要过程, 水文功能是森林生态系统功能的重要方面, 林冠和枯落物截留实现对大气降水的二次分配过程。为深入认识生态系统截留的水文效应, 采用野外观测和人工降雨模拟试验相结合的方法, 研究了 2008 年和 2009 年 5—10 月贡嘎山亚高山峨眉冷杉中龄林、峨眉冷杉成熟林和针阔混交林的冠层枯落物截留能力。结果表明, 峨眉冷杉中龄林 2008 年林冠截留率为 20.9%, 针阔混交林 2008 年和 2009 年林冠截留率分别为 23.0% 和 23.6%, 林冠截留率的年际间变化不大, 林冠截留主要受到降雨特征影响。3 种林型枯落物饱和持水能力分别为 5.1、5.1 和 5.7 mm, 显著高于林冠的饱和持水能力, 但由于冠层的截留蒸发速率较高, 林冠截留蒸发仍是生态系统截留蒸发的主要组成部分。

关键词: 贡嘎山; 林冠截留; 枯落物截留; 水文效应

Hydrologic regime of interception for typical forest ecosystem at subalpine of Western Sichuan, China

SUN Xiangyang^{1,2}, WANG Genxu^{1,*}, WU Yong³, LIU Lin'an^{1,2}, LIU Guangsheng^{1,2}

1 Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

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

3 National Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: Interception loss is a key process for hydrological cycle. Hydrological function is one of the most important aspects of forest ecosystem function. Canopy and forest litter can enforce rainfall to be re-distributed spatially. Canopy interception is that proportion of rainfall stored and later evaporated from canopy during and after rainfall. Forest litter interception is the rainfall or throughfall stored and evaporated from forest litter directly. Canopy interception can account for 25%—50% of total precipitation in coniferous forests and 10%—35% in broadleaved forests respectively. It is influenced by canopy characteristics, forest age and climatic conditions and so on. Throughfall does not transfer to soil water or runoff completely because of forest litter interception, which can account for 20% of throughfall. The rainfall intercepted is useless for plant growth. However, rainfall is re-distributed by canopy and forest litter, which is significantly important for the balance of soil water.

To obtain a thorough understanding of canopy and forest litter interception and their hydrological effects, in-situ experiment for canopy interception and rainfall simulation experiment for litter interception were conducted from May to October during 2008 and 2009. Middle-aged *Abies fabri*, mature *Abies fabri*, coniferous and broadleaf mixed forest were chosen for our study, which consist of the main forest types in subalpine Mountain Gongga. Large troughs, which were 305×

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40730634); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-309)

收稿日期: 2011-11-30; **修订日期:** 2012-05-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanggx@imde.ac.cn

24 cm in size, were used to collect throughfall. Many researches indicated that large troughs can reduce observation errors. Forest litter interception was obtained by method of artificially simulated rainfall. The rainfall intensity was 0.35 mm/h. Forest litter interception was calculated as the difference between rainfall and water outflowed.

The result showed that canopy interception was 20.9% for middle-aged *Abies fabri* during 2008, 23.0% and 23.6% for mixed forest in 2008 and 2009, respectively. Canopy interception was almost invariable between years. Canopy interception was controlled mainly by rainfall characteristic, especially rainfall density and rainfall amount. Wind speed seemed to have no effect on rainfall intercepted by canopy, because of the low wind speed and hard twigs in our study area. Forest litter had a larger water holding capacity than did canopy. The saturated litter interception was 5.1, 5.1 and 5.7 mm for middle-aged *Abies fabri*, mature *Abies fabri*, coniferous and broadleaf mixed forest respectively, while the corresponding saturated canopy interception was about 1.21, 3.15 and 1.23 mm. The fully decomposed forest litter had the largest water holding capacity. To reduce the lag time effect, the experimental scale for artificially simulated forest litter interception should be larger than 4 m². Although forest litter had a larger water holding capacity than did canopy, evaporation rate was significantly higher in the canopy than on forest floor. This was because the wind speed was low under the canopy, and forest ground received less radiation energy due to high canopy coverage. These two factors resulted in a weaker driving force of evaporation on forest floor. Therefore, the main component of the evaporation due to interception was from the canopy.

Key Words: Mountain Gongga; canopy interception; forest litter interception; hydrological effect

林冠截留指大气降水储存在冠层和从冠层截留中蒸发的水量^[1]。森林地表截留是指储存在森林地表,并在降雨期间和降雨停止后蒸发入大气中的水量,包括土壤、灌丛、草地和枯落物等的截留^[2]。林冠截留受森林特征^[3]、林龄^[4]和气候条件^[5-7]等多种因素影响。林冠截留占降水比例针叶林可达 25%—50%^[8-9],阔叶林可达 10%—35%^[10-11]。穿过林冠的降水受到地表枯落物截留的影响较大^[12],并不能完全转化为土壤水和径流,同样以蒸发的形式返回到大气中^[13],这部分截留水量在模型中往往被忽略不计,然而这部分水量可以占林下降水量的 20%^[13],林下地表枯落物截留能力与枯落物的厚度呈线性关系^[12]。截留和蒸发的水量并没有重新补给土壤,因此对植物的生长没有作用,但是,截留作用在空间上对降水进行了重新分配,因此对林地土壤水分平衡具有重要意义。

峨眉冷杉广泛分布于我国川西地区,是四川的特有树种,其主要分布范围在海拔 2800—3700 m。据程根伟^[14]的研究,贡嘎山亚高山植被群落演替过程为峨眉冷杉与冬瓜杨组成的混交林演替为峨眉冷杉纯林。本研究所选的 3 种林型,针阔混交林、峨眉冷杉中龄林和峨眉冷杉成熟林即包含了植被演替的各个阶段,又是贡嘎山亚高山森林的主要组成林型。通过分析其林冠截留与枯落物截留特征,阐明贡嘎山亚高山区生态系统截留的水文效应,进而为贡嘎山亚高山区森林生态系统水分评价和森林生态效应评价提供理论指导和科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

贡嘎山位于青藏高原的东南缘,大雪山脉的中南段。在行政区划上处于四川甘孜藏族自治州的泸定、康定、九龙和雅安地区的石棉 4 县交接区。在地理位置上介于北纬 29°20′—30°20′和东经 101°30′—102°15′之间,面积约 1 万 km²,主峰海拔 7556 m。贡嘎山地处我国东部亚热带温暖湿润季风区与青藏高原东部高原温带半湿润区的过渡带上。研究区位于贡嘎山亚高山海拔 3000 m 的暗针叶林带(E101°59′55″,N29°34′35″),据历年气象观测资料,年均降水量为 1938 mm,贡嘎山降水的季节变化非常明显,具有显著的干湿季之分。一般说来,每年 11 月至翌年的 4 月为干季,5 月—10 月为湿季。湿季降水量占年降水量的 80%—90%,年平均气温 4℃,年平均风速约 0.5 m/s,低风速使得林内蒸发很少,空气湿度超过 90%。贡嘎山森林生态系统植被演

替层次分明:峨眉冷杉 (*Abies fabri*) 过熟林、以峨眉冷杉为优势树种的成熟林、峨眉冷杉-冬瓜杨 (*Populus purdomii*) 为主的中幼林和冬瓜杨-杜鹃 (*Rhododendron* sp.) 群落^[1],各试验样地详细特征如表 1 所示。活地被物层有山羽藓 (*Abietinella abietina*),锦丝藓 (*Actinohuidium hookeri*) 等。

表 1 试验场各样地特征
Table 1 Characteristic of the experimental plots

样地种类 Forest	样地名称 Plot name	面积/ m^2 Area	海拔/m Elevation	土壤类型 Soil type	树木类型 Forest type	平均胸径/m Mean breast diameter	平均株高/m Mean height	株数 Number	林龄/a Stand age
针阔混交 Mixed	辅助林观测场	1200	3000	泥石流堆积	峨眉冷杉与冬瓜杨	0.15	11.5	124	30
中龄林 Middle-aged	干河坝观测场	1200	3100	泥石流堆积	峨眉冷杉	0.17	16	193	70—80
成熟林 Mature	成熟林观测场	5000	3000	新冰期冰碛物	峨眉冷杉	0.42	27	47	120

1.2 研究方法

(1) 林外降水

针叶林观测点林外降水根据采用气象场内观测数据,气象场处无高大树木,大气降水直接被雨量筒收集并记录,降水的观测步长为 1 h。

(2) 林下降水

林下降水观测时间为 2008 年和 2009 年的 5—10 月。林下降水观测点分别为辅助林观测场(针阔混交林),干河坝观测场(峨眉冷杉中龄林),林下降水观测采用自制的林下降水收集器,规格为 305 cm×24 cm 的长条形收集装置,该林下降水收集器可以有效减小随机误差的产生,为便于收集降水,每个收集器安装的倾斜角度为 5°,每个降水收集装置连接一个双翻斗雨量计进行记录,观测步长为 1 h。其中,辅助林观测场安装 4 个林下降水收集器,干河坝观测场安装 3 个林下降水收集器,分别观测不同林型下的林下降水。各观测点处的林下降水收集器随机安装。

(3) 树干径流

树干径流观测与林下降水同步进行。采用 3 cm 宽的薄铁皮按 30°的倾斜角度缠绕于树干周围 1.5 圈左右,缠绕高度为树干基部 1.5 m 左右,铁皮与树皮的结合处用胶水封口,防止树干径流损失,用胶皮管将收集到的树干径流导入雨量筒,采用单翻斗式传感器记录采集到得雨水,观测步长为 1 h。其中辅助林观测场选择 6 株代表性树木,干河坝观测场选择 3 株代表性树木,根据优势木原理选择。

(4) 枯落物截留

枯落物截留观测采用人工模拟降雨试验方法,该方法可以获得枯枝落叶层自然条件下的最大持水量,并且可以反映降雨过程中枯枝落叶层截留对降水的滞后作用。试验设计为分层试验和不分层试验两部分,分别模拟观测辅助林观测场、干河坝观测场和成熟林观测场枯落物在不同分解条件下及未分层条件下的截留特征。分层试验设计容器大小为 0.2 m^2 ;不分层试验设计容器大小为 1 m^2 ,每个容器又平均分为四个小容器,四个大容器组合在一起,形成大小为 4 m^2 的容器。设计降水强度为 0.35 mm/h。统计分析表明贡嘎山亚高山主要以小于 1 mm/h 的降雨为主^[7]。试验中凋落物厚度根据野外调查结果确定。

2 研究结果

2.1 林冠截留

林冠是大气降水进入森林生态系统的第一个作用层,对降水起到第一次的分配作用。观测发现,辅助林观测场 2008 年与 2009 年,林下降水率分别为 76.4% 和 77.0%,干河坝观测场 2008 年林下降水率为 77.3%,其林下降水率较为相近。林下降水量与大气降水具有很好的线性关系(图 1),线性回归方程的 R^2 值均高于 0.97 ($P < 0.01$)。2009 年贡嘎山 5—10 月降水量较多年平均值低 25.1%^[7],但是研究结果表明,降水量减少

并没有显著影响穿透雨的变化。

根据同期树干径流的观测结果,辅助林观测场树干径流占大气降水的比重不足 0.4%,在计算林冠截留率时不考虑树干径流对林冠截留率的影响。然而干河坝观测场树干径流可以占大气降水 1.82%,与以往的研究结果差别较大^[1],此处的树干径流并不能忽略。据此,确定不同的林冠截留量结算公式:

$$I = P - T_f - S_f \quad (1)$$

式中, I 为林冠截留量, P 为大气降水, T_f 为穿透雨量, S_f 为树干径流量。辅助林观测场树干径流量较少,在实际计算中不考虑 S_f 项的影响。

由公式(1)计算可得,辅助林观测场 2008 年 54 次降水的林冠截留量为 126.2 mm,占降水总量的 23.6%,2009 年 75 次降水的林冠截留量为 150.1 mm,占降水总量的 23.0%;干河坝观测场 2008 年 36 次降水的林冠截留量为 69.9 mm,占降水量的 20.9%。林冠截留量与降水量具有较好的幂函数关系(图 2)。大气次降水总量小于 2 mm 时,随着降水量增加,林冠截留量增加较快,大气次降水总量超过 2 mm 时,林冠截留量增加趋势变缓,尤其是干河坝观测场,其趋势变化更加明显,分析原因一方面可能是干河坝观测场峨眉冷杉中龄林树干径流量较大所致,另一方面可能与冠层本身的截留能力有关。

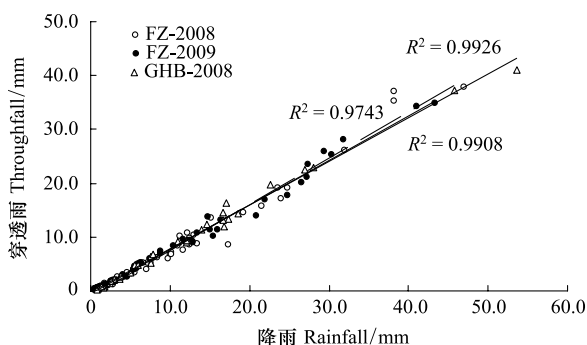


图 1 辅助林观测场与干河坝观测场大气降水与穿透雨关系图

Fig. 1 The relationship between gross rainfall and throughfall at Fuzhu and Ganheba plot

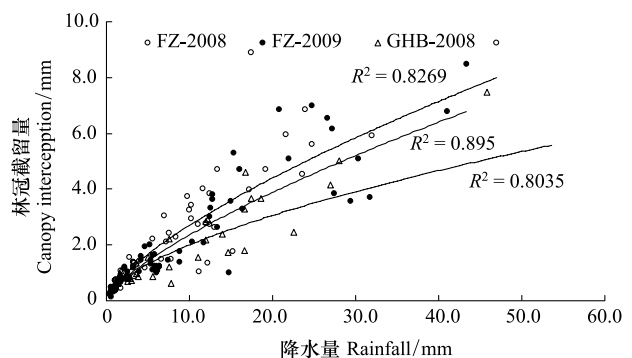


图 2 辅助林观测场与干河坝观测场大气降水与林冠截留量关系

Fig. 2 The relationship between canopy interception and throughfall at Fuzhu and Ganheba plot

由于观测仪器故障,峨眉冷杉成熟林观测未能取得结果,根据谢春华等的研究结果,成熟林林冠截留率为 28%,林冠截留量与大气降雨量之间具有较好的幂函数关系($I = 1.8046P^{0.3184}$, $n = 14$, $r = 0.9027$)。根据该幂函数关系分析得出,当大气降水量小于 2 mm 时,林冠截留量随着降水量增加而显著增加,当大气降水量超过该阈值时,林冠截留量增加趋势相对缓慢。

树冠的饱和截留量描述的树冠截留降水的能力。树冠饱和截留量计算可采用 Preira^[15] 介绍的计算方法,公式表述如下:

$$S = - \frac{b}{(\bar{E}_c/\bar{R} - 1)} \frac{\bar{E}_c}{\bar{R}} \frac{1}{\ln(1 - \bar{E}_c/\bar{R})} \quad (2)$$

式中, $\bar{E}_c$ 为饱和林冠的平均蒸发速率; $\bar{R}$ 为平均降水强度; b 值根据穿透雨与大气降水的线性回归方程得出。经计算,辅助林观测场 2008 年与 2009 年林冠饱和截留量分别为 1.22 和 1.24 mm,干河坝观测场林冠饱和截留量为 1.21 mm。根据谢春华成熟林林下降水与大气降水线性回归方程得 b 值为 3.025,则饱和林冠截留量为 3.15 mm。比较发现,成熟林由于其枝叶茂盛,因此具有较高的饱和截留量。

2.2 枯落物截留

林下降水降落到地表,同时还受到森林枯落物层截留的影响。枯落物层可以减缓雨滴对地表的侵蚀和冲刷,同时还可以阻滞地表径流的发生。研究结果表明,枯落物不同分解程度的截留降水作用具有显著差异

(图 3),全分解层对降水的截留效果最显著,而未分解层的截留效果最小,分析原因可能是因为全分解层的孔隙度较大,能够吸持更多的降水,而未分解层只是由枯死的枝叶等组成,其蓄持降水的能力较弱,并且其持水面积也相对较小。不同林型不同分解状态下枯落物的蓄持水能力也不尽相同,由峨眉冷杉与冬瓜杨组成的针阔混交林的蓄持水能力较强,未成熟针叶林与成熟针叶林的蓄持水能力相对较低。

根据不分层试验结果,针阔混交林的蓄持水能力仍是最大的,同时验证了分层试验结果的正确性(图 4)。据野外实地调查确定枯落物层得试验厚度分别为未分解层、半分解层和全分解层的厚度分别为 5、3、3 cm,不分层试验枯落物厚度为 11 cm。将体积截留量转化为截留深分别为 5.1、5.1 和 5.7 mm,枯落物层具有比林冠更大的饱和截留量。

3 讨论

3.1 林冠截留的影响因素

理论上,风速越大,林冠截留量越小^[16]。然而在林冠郁闭度较高的热带雨林地区,林冠截留量随风速增大而增加^[17],在北方森林和热带森林同样有相似的研究结果^[6]。在本研究中,分析了不同降雨量级条件下风速对林冠截留率的影响,结果发现,只有大气次降水总量在 1—3 mm 和 10—20 mm 区间内,林冠截留率随着风速的增加而增加,其他降水量级条件下林冠截留率与风速变化无关(图 5)。分析原因可能是贡嘎山亚高山区由于森林茂密,以及高山的阻挡作用,导致该区的风速值较低,据气象场风速资料结果统计,全年平均风速仅为 0.5 m/s,最大风速也不超过 4 m/s,较低的风速并不足以对林冠截留造成影响,因此认为,虽然风速可以对林冠截留率有一定的作用,但是主要发生在风速值较高地区,而对于贡嘎山地区,风速变化不会对截留率造成较大的影响,分析林冠截留的变化,主要应该考虑降雨特征及林冠特征的影响。

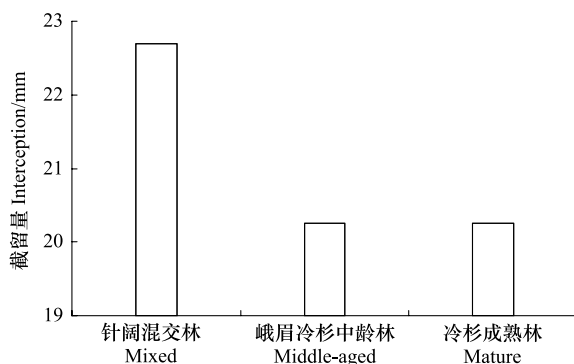


图 4 不分层试验条件下的枯落物截留量

Fig. 4 Forest litter interception for different forest type

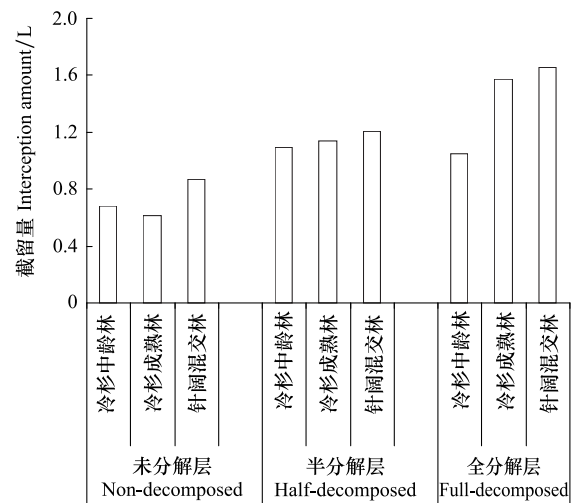


图 3 不同分解条件下的枯落物截留量

Fig. 3 Forest litter interception under different decomposed condition

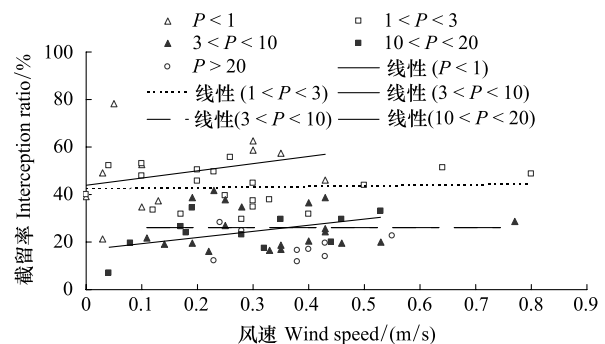


图 5 风速对林冠截留影响

Fig. 5 The influence of wind speed on canopy interception

当次降水量增加时,林冠截留率逐渐减少(图 6 a),但是在统计中发现,降水量级在 30—40 mm 时,林冠截留率最小,原因可能是该次降水过程受到前期降水的影响,林冠层没有完全干燥,仍然有部分的降水滞留在冠层之中。同时,分别分析了降雨历时、降水强度和降水量对林冠截留的影响,结果表明,林冠截留率皆表现为当该 3 个值较小时,随着降水历时、降水强度和降水量增加而迅速减小,当该 3 个值较大时,林冠截留率变

化较小,甚至趋于稳定的现象(图 6 b, c, d)。Toba 等的研究结果也表明,林冠截留率随着降水量、降雨历时和降雨强度的增加而显著降低。Tsukamoto 等的研究结果同样发现降雨强度小于 7.0 mm/h 时,截留率随降雨强度的增加成比例的减少^[18]。当降雨量较低时,林冠截留率变化的离散程度较大,Llorens 等对针叶林的研究^[5]和 Carlyle-Moses 对阔叶林的研究^[19]同样得到了相似的结论。

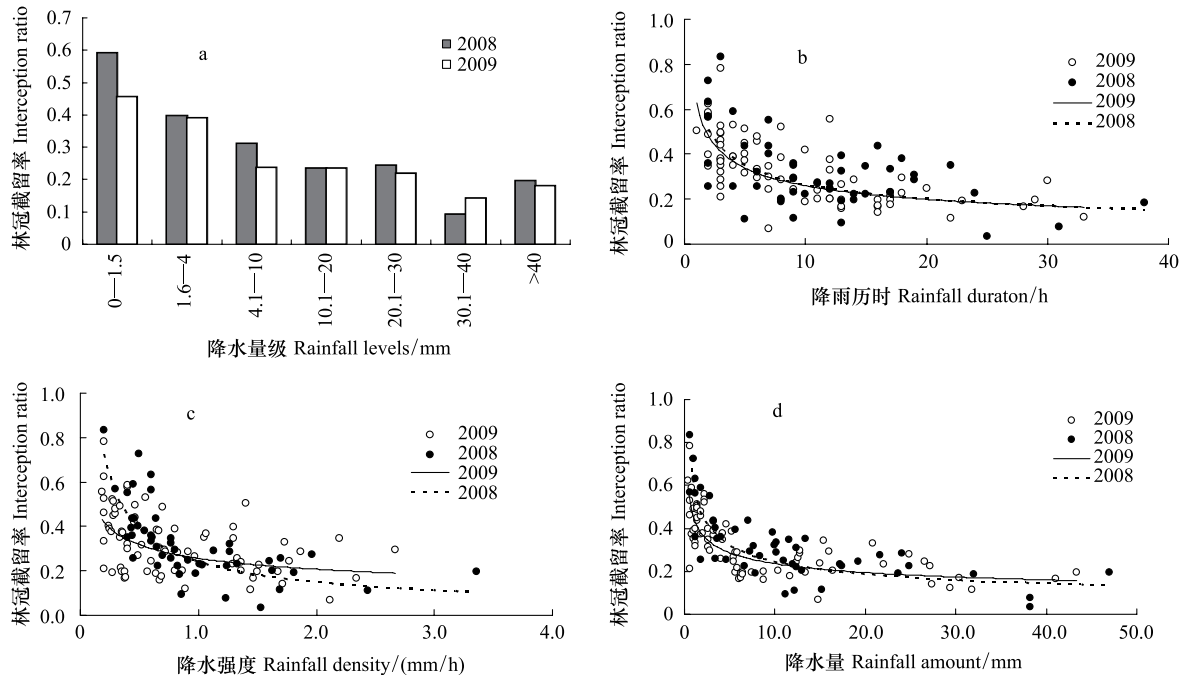


图 6 辅助林观测场降雨特征对林冠截留影响

Fig. 6 The influence of rainfall characteristics on canopy interception at FUZHU plot

3.2 枯落物截留试验的尺度效应

枯落物截留试验大多采用的是模拟试验,一种是将枯落物层进行浸泡得到其截留量^[20];另一种利用人工降雨方式喷洒使其枯落物达到饱和,根据人工降水量和水分渗出量的差值计算枯落物的饱和持水量^[12,21]。相比于浸泡法,第二种方法能够更真实的反应枯落物的实际饱和持水量,而第一种方法浸泡后枯落物的最大持水量并不等于枯落物对降水的实际截留量,它只能反应枯落物持水能力的大小。人工模拟降水试验虽能更真实的反映枯落物截留量,但是试验容器尺度的大小对模拟结果也有一定的影响(图 7)。

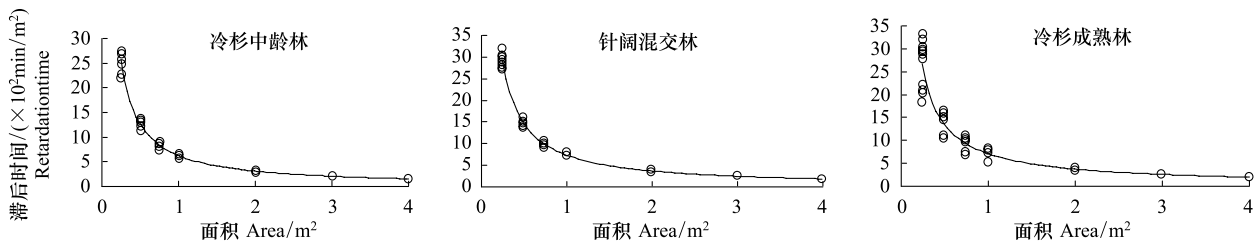


图 7 不同研究尺度对枯落物滞后截留时间的影响

Fig. 7 Different experimental scale effect on lag-time of forest litter interception

随着试验尺度的增加,枯落物截留的滞后时间逐渐缩短,试验尺度在 2—4 m² 时,滞后时间逐渐趋于稳定,本实验未分层试验结果来自 4 m² 的组合试验,因此认为人工模拟试验结果稳定可靠。

3.3 林冠与枯落物截留作用

截留是认识和理解水文循环的一个重要方面,截留降水以蒸发形式返回到大气中,构成大气水汽的重要

组成部分,进而重新以降水形式降落到地表。人们认识到除林冠截留过程^[6-7, 16],森林地表枯落物等对林下降水的二次截留作用同样很重要^[13]。Gerrits 采用一种称重式的试验装置,测定了山毛榉森林地表的截留作用,结果表明地表截留占穿透雨量的 20%,林冠与地表截留量总和冬季和夏季分别占大气降水量的 24% 和 40%。时忠杰等根据浸泡法得出桉树人工林凋落物层的饱和持水量为 4.27 mm。李振新对四川岷江上游岷江冷杉针叶林和川滇高山栎灌丛的研究发现,针叶林林冠截留率为 33.33%,灌丛林冠截留率为 24.95%,其地被物在单次降水过程中最大蓄积潜力分别可达 1.746 mm 和 0.941 mm^[22]。本研究也发现,枯落物层的饱和持水量显著高于冠层,其中针阔混交林和峨眉冷杉中龄林凋落物层的饱和持水量为冠层的 4 倍多。

尽管枯落物饱和持水量显著高于冠层的饱和持水量,但枯落物截留的蒸发速率要低于冠层的蒸发速率。根据 Lin Y 等在贡嘎山的研究结果^[23],林冠截留蒸发占总蒸发的比重最大,林冠截留蒸发占总蒸发比重可达 75%,而地表蒸发量仅占总蒸发比重的 7%,原因可能是因为林冠上方的空气对流比较强烈,有效的促进了水汽扩散运动;而地表风速较小,且受到冠层的遮挡作用,阳光并不能完全照射到林下,蒸发动力不足;另外一个原因可能是因为贡嘎山降水量较大,尤其是 5—10 月份年均降水量可以达到 1500 mm,林冠截留阻滞了森林蒸腾作用的水分损失^[24]。在降水量较小的地区,地表截留蒸发与林冠截留蒸发的差别并没有这么显著^[24]。因此,虽然在贡嘎山亚高山区枯落物层具有较大的饱和持水能力,但是林冠截留蒸发仍然是截留的主要组成部分。

4 结论

(1) 贡嘎山亚高山地区峨眉冷杉成熟林具有最大的林冠降水截留率,针阔混交林次之,峨眉冷杉中龄林林冠截留率最低;林冠截留量与降水量之间表现为幂函数关系;该区林冠截留主要受降雨特征的影响;

(2) 不同分解条件下枯落物截留能力不同,全分解层枯落物截留能力最强;不分层试验条件下,针阔混交林的截留能力最强;枯落物层具有较林冠层更强的截留降水能力,但是由于热力学和空气动力学条件的限制,林冠截留蒸发仍是截留蒸发的主要组成部分。

References:

- [1] Xie C H, Guan W B, Wu J A, Cheng G W, Luo J. Interception capability of dark coniferous of dark coniferous forest ecosystem in Gongga Mountain. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(4): 68-71.
- [2] Pidwirny M. 2006 Evaporation and Transpiration: Fundamentals of Physical Geography. 2nd ed. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8i.html>
- [3] Gerrits A M J, Savenije H H G, Hoffmann L, Pfister L. New technique to measure forest floor interception-an application in a beech forest in Luxembourg. *Hydrology and Earth System Science*, 2007, 11: 695-701.
- [4] Andrew Park 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.
- [5] Llorens P, Poch R, Latron J, Gallart F. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology*, 1997, 199(3/4): 331-345.
- [6] Toba T, Ohta T. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. *Journal of Hydrology*, 2005, 313(3/4): 208-220.
- [7] Sun X Y, Wang G G X, Li W, Liu G S, Lin Y. Measurements and modeling of canopy interception in the Gongga Mountain subalpine succession forest. *Advances in Water Science*, 2011, 22(1): 23-29.
- [8] Gash J H C, Wright I R, Lloyd C R. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. *Journal of Hydrology*, 1980, 48(1/2): 89-105.
- [9] Johnson R C. The interception, throughfall and stemflow in a forest highland in Scotland and the comparison with other upland forests in the U. K. *Journal of Hydrology*, 1990, 118(1/4): 281-287.
- [10] Rowe L K. Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 1983, 66(1/4): 143-158.
- [11] Cao Y, Huang Z G, Zheng H, Ouyang Z Y. Variation characteristics of throughfall in citrus orchard. *Advances in Water Science*, 2007, 18(6): 853-857.
- [12] Putuhen W M, Cordery I. Estimation of interception capacity of the forest floor. *Journal of Hydrology*, 1996, 180(1/4): 283-299.

- [13] Gerrits A M J, Pfister L, Savenije H H G. Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. *Hydrological Processes*, 2010, 24(21): 3011-3025.
- [14] Cheng G W, Luo J. Successional features and dynamic simulation of sub-alpine forest in the Gongga Mountain, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1049-1056.
- [15] Pereira F L, Gash J H C, David J S, Monteiro P R, Valente F. Modelling interception loss from evergreen oak Mediterranean savannas: application of a tree-based modeling approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(3/4): 680-688.
- [16] Höermann G, Branding A, Clemen T, Herbst M, Hinrichs A, Thamm F. Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of a beech forest in Northern Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 79(3): 131-148.
- [17] Stanley R, Herwitz S R, Slye R E. Three-dimensional modeling of canopy tree interception of wind-driven rainfall. *Journal of Hydrology*, 1995, 168(1/4): 205-226.
- [18] Tsukamoto Y, Tange I, Minemura T. Interception loss from forest canopies. *Rolling Land Research*, 1988, 6(60): 60-82.
- [19] Carlyle-Moses D E, Flores-Laureano J S, Price A G. Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*, 2004, 297(1/4): 124-135.
- [20] Shi Z J, Zhang N N, He C Q, Qiu Z J, Xu D P, Gao J X, Hu Z S. Eco-hydrological effect of the canopy, litter and soil of a eucalyptus plantation in South China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1932-1939.
- [21] Wang C H, Wu Y, Li X B. Preliminary study on influence of different vegetation on precipitation physics in Mt. Gongga Areas. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2009, 22(6): 1741-1744.
- [22] Li Z X, Ouyang Z Y, Zheng H, Liu X L, Su Y M. Comparison of rainfall redistribution in two ecosystems in Minjiang upper catchments, China. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(5): 723-731.
- [23] Lin Y, Wang G X, Guo J Y, Sun X Y. Quantifying evapotranspiration and its components in a coniferous subalpine forest in Southwest China. *Hydrological Processes*, 2011. doi: 10.1002/hyp.8321.
- [24] Grelle A, Lundberg A, Lindroth A, Morén A S, Cienciala E. Evaporation components of a boreal forest: variations during the growing season. *Journal of Hydrology*, 1997, 197(1/4): 70-87.

参考文献:

- [1] 谢春华, 关文彬, 吴建安, 程根伟, 罗辑. 贡嘎山暗针叶林生态系统林冠截留特征研究. *北京林业大学学报*, 2002, 24(4): 68-71.
- [7] 孙向阳, 王根绪, 李伟, 刘光生, 林云. 贡嘎山亚高山演替林林冠截留特征与模拟. *水科学进展*, 2011, 22(1): 23-29.
- [11] 曹云, 黄志刚, 郑华, 欧阳志云. 柑桔园林下穿透雨的分布特征. *水科学进展*, 2007, 18(6): 853-857.
- [14] 程根伟, 罗辑. 贡嘎山亚高山森林自然演替特征与模拟. *生态学报*, 2002, 22(7): 1049-1056.
- [20] 时忠杰, 张宁南, 何常清, 邱志军, 徐大平, 高吉喜, 胡哲森. 桉树人工林冠层、凋落物及土壤水文生态效应. *生态学报*, 2010, 30(7): 1932-1939.
- [21] 王春红, 吴勇, 李秀博. 贡嘎山地区不同植被枯落物对降水影响的初步研究. *西南农业学报*, 2009, 22(6): 1741-1744.
- [22] 李振新, 欧阳志云, 郑华, 刘兴良, 宿以明. 岷江上游两种生态系统降雨分配的比较. *植物生态学报*, 2006, 30(5): 723-731.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.2 January ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatio-temporal heterogeneity of water and plant adaptation mechanisms in karst regions; a review CHEN Hongsong, NIE Yunpeng, WANG Kelin (317)
- Impacts of mangrove vegetation on macro-benthic faunal communities CHEN Guangcheng, YU Dan, YE Yong, et al (327)
- Advance in research on the occurrence and transformation of arsenic in the freshwater lake ecosystem ZHANG Nan, WEI Chaoyang, YANG Linsheng (337)
- Application of nano-scale secondary ion mass spectrometry to microbial ecology study HU Hangwei, ZHANG Limei, HE Jizheng (348)
- Carbon cycle of urban system; characteristics, mechanism and theoretical framework ZHAO Rongqin, HUANG Xianjin (358)
- Research and compilation of urban greenhouse gas emission inventory LI Qing, TANG Lina, SHI Longyu (367)

Autecology & Fundamentals

- Seed dispersal and seedling recruitment of *Ulmus pumila* woodland in the Keerqin Sandy Land, China YANG Yunfei, BAI Yunpeng, LI Jiandong (374)
- Influence of environmental factors on seed germination of *Bombax malabaricum* DC. ZHENG Yanling, MA Huancheng, Scheller Robert, et al (382)
- Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometric characteristics during the decomposition of *Spartina alterniflora* and *Cyperus malaccensis* var. *brevifolius* litters OUYANG Linmei, WANG Chun, WANG Weiqi, et al (389)
- Home range of *Teratoscincus roborowskii* (Gekkonidae): influence of sex, season, and body size LI Wenrong, SONG Yucheng, SHI Lei (395)
- Effects of the covering behavior on food consumption, growth and gonad traits of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis* LUO Shibin, CHANG Yaqing, ZHAO Chong, et al (402)
- Biological response of the rice leafhopper *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) reared on rice and maize seedling to temperature LIAO Huaijian, HUANG Jianrong, FANG Yuansong, et al (409)

Population, Community and Ecosystem

- Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China SHANG Suyun, JIANG Peikun, SONG Zhaoliang, et al (416)
- The community characteristics of different types of grassland under grazing prohibition condition ZHANG Pengli, CHEN Jun, CUI Shujuan, et al (425)
- Spatial pattern and competition relationship of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population in degraded alpine grassland REN Heng, ZHAO Chengzhang (435)
- SOC decomposition of four typical broad-leaved Korean pine communities in Xiaoxing' an Mountain SONG Yuan, ZHAO Xizhu, MAO Zijun, et al (443)
- The influence of vegetation restoration on soil archaeal communities in Fuyun earthquake fault zone of Xinjiang LIN Qing, ZENG Jun, ZHANG Tao, et al (454)
- Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China ZHU Xinyu, DONG Zhixin, KUANG Fuhong, et al (464)
- Woody plant leaf litter consumption by the woodlouse *Porcellio scaber* with a choice test LIU Yan, LIAO Yuncheng (475)
- The bacterial community of coastal sediments influenced by cage culture in Xiangshan Bay, Zhejiang, China QIU Qiongfeng, ZHANG Demin, YE Xiansen, et al (483)
- A study of meiofauna in the COMRA's contracted area during the summer of 2005 WANG Xiaogu, ZHOU Yadong, ZHANG Dongsheng, et al (492)
- Hydrologic regime of interception for typical forest ecosystem at subalpine of Western Sichuan, China SUN Xiangyang, WANG Genxu, WU Yong, et al (501)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Sensitivity and vulnerability of China's rice production to observed climate change XIONG Wei, YANG Jie, WU Wenbin, et al (509)

- Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005 HE Wei, BU Rencang, XIONG Zaiping, et al (519)
- Combined effects of elevated O₃ and reduced solar irradiance on growth and yield of field-grown winter wheat ZHENG Youfei, HU Huifang, WU Rongjun, et al (532)
- Resource and Industrial Ecology**
- The study of vegetation biomass inversion based on the HJ satellite data in Yellow River wetland GAO Mingliang, ZHAO Wenji, GONG Zhaoning, et al (542)
- Temporal and spatial variability of soil available nutrients in arable Lands of Heyang County in South Loess Plateau CHEN Tao, CHANG Qingrui, LIU Jing, et al (554)
- Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation WU Ji, GUO Xisheng, LU Jianwei, et al (565)
- Effects of nitrogen application stages on photosynthetic characteristics of summer maize in high yield conditions LÜ Peng, ZHANG Jiwang, LIU Wei, et al (576)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The degradation threshold of water quality associated with urban landscape component LIU Zhenhuan, LI Zhengguo, YANG Peng, et al (586)
- Ecological sustainability in Chang-Zhu-Tan region; a prediction study DAI Yanan, HE Xinguang (595)
- The effect of exogenous nitric oxide on activities of antioxidant enzymes and microelements accumulation of two rice genotypes seedlings under cadmium stress ZHU Hanyi, CHEN Yijun, LAO Jiali, et al (603)
- Forms composition of inorganic carbon in sediments from Dali Lake SUN Yuanyuan, HE Jiang, LÜ Changwei, et al (610)
- Fractionation character and bioavailability of Cd, Pb, Zn and Ni combined pollution in oasis soil WU Wenfei, NAN Zhongren, WANG Shengli, et al (619)
- Effects of CA and EDTA on growth of *Chlorophytum comosum* in copper-contaminated soil WANG Nannan, HU Shan, WU Dan, et al (631)
- Research Notes**
- Values of marine ecosystem services in Haizhou Bay ZHANG Xiuying, ZHONG Taiyang, HUANG Xianjin, et al (640)
- Variations of *Leymus chinensis* community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors TAN Liping, ZHOU Guangsheng (650)
- The effect of N:P supply ratio on P uptake and utilization efficiencies in *Larix olgensis* Henry. seedlings WEI Hongxu, XU Chengyang, MA Lüyi, et al (659)

《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 33 卷 第 2 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 2 (January, 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