

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第5期 2013年3月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制 王晶苑, 张心昱, 温学发, 等 (1337)
工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展 梁淑敏, 许艳萍, 陈 裕, 等 (1347)
最佳管理措施评估方法研究进展 孟凡德, 耿润哲, 欧 洋, 等 (1357)
灌木年轮学研究进展 芦晓明, 梁尔源 (1367)

个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局 王艳兵, 德永军, 熊 伟, 等 (1375)
土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响 裴 斌, 张光灿, 张淑勇, 等 (1386)
湖北石首麋鹿昼间活动时间分配 杨道德, 李竹云, 李鹏飞, 等 (1397)
三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响 杨 桦, 杨 伟, 杨春平, 等 (1405)

种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征 徐佳奕, 徐兆礼 (1413)
滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解 郭绪虎, 肖德荣, 田 昆, 等 (1425)
安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 杨文斌, 刘 坤, 周守标 (1433)
湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 熊 薇, 郭逍宇, 赵 霖 (1443)
三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子 王兆国, 王传宽 (1456)
不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应 周 洁, 张志强, 孙 阁, 等 (1465)
不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 薛苹苹, 高玉葆, 何兴东 (1475)
藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 薛会英, 胡 锋, 罗大庆 (1482)
铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征 朱永恒, 沈 非, 余 健, 等 (1495)
环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 马 驿, 彭金菊, 王 芸, 等 (1506)
基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 孙才志, 高 翳, 朱正如 (1513)

景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 等 (1524)
不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 李建兴, 何丙辉, 谌 芸 (1535)
京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究 孟 舟, 王明玉, 李小娟, 等 (1545)
窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素 雷泳南, 张晓萍, 张建军, 等 (1559)
模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局 李明月, 王 健, 王振兴, 等 (1569)
铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 王维奇, 李鹏飞, 曾从盛, 等 (1578)

资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响 闫 宁, 王晓清, 王志丹, 等 (1584)

- 佛手低温胁迫相关基因的差异表达 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)
美洲棘薺马对不同蔬菜寄主的偏好性 朱亮,石宝才,官亚军,等 (1607)
茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)
造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响 王烨,席本野,崔向东,等 (1626)
基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率 赵晨,王远,谷学明,等 (1636)

研究简报

- 太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征 周彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)
基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 贾宝全 (1654)
薇甘菊萎焉病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

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/stxb201206060818

周彬, 韩海荣, 康峰峰, 程小琴, 宋娅丽, 刘可, 李勇. 太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征. 生态学报, 2013, 33(5): 1645-1653.
Zhou B, Han H R, Kang F F, Cheng X Q, Song Y L, Liu K, Li Y. Characteristics of precipitation distribution in *Pinus tabulaeformis* plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1645-1653.

太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征

周彬*, 韩海荣, 康峰峰, 程小琴, 宋娅丽, 刘可, 李勇

(北京林业大学林学院, 北京 100083)

摘要:利用2011年5—9月生长季观测的30场降雨数据,分析了山西太岳山不同郁闭度下油松人工林林冠截留、穿透雨以及树干茎流与降雨量的关系,以及林冠截留过程的特点。结果表明:(1)实验观测期间,该地区降雨总量为634.79mm,单次平均降雨量为21.16mm,单次最大降雨量为58.15mm,单次最小降雨量为0.54mm。其中,8月份的降雨总量最大,为190.77mm,6月份的降雨总量最小,为41.81mm。(2)郁闭度为0.8的油松人工林林冠截留量与降雨量呈一元线性关系,郁闭度为0.7、0.6和0.5均呈幂函数关系;对于各郁闭度的油松人工林,其林冠截留率与降雨量均呈对数函数关系;穿透雨量、树干茎流量与降雨量均呈明显的一元线性关系,穿透雨量和树干茎流量都随着降雨量的增加而增加。(3)不同郁闭度油松人工林之间林冠截留、穿透雨和树干茎流不同,总的趋势为随着郁闭度的减小,林冠截留量减小,穿透雨量增大,树干茎流量增大。林冠截留量与郁闭度表现出正相关关系,而穿透雨量、树干茎流量都与郁闭度表现出负相关关系。(4)各郁闭度林冠截留量、穿透雨量和树干茎流量的月动态变化与总降水量的月变化基本一致。

关键词:油松人工林; 郁闭度; 林冠截留; 穿透雨; 树干茎流

Characteristics of precipitation distribution in *Pinus tabulaeformis* plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain

ZHOU Bin*, HAN Hairong, KANG Fengfeng, CHENG Xiaoqin, SONG Yali, LIU Ke, LI Yong

Forestry College, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: A study was conducted on *Pinus tabulaeformis* plantations in the Taiyue Mountain of Shanxi Province to analyze the relationship between canopy interception, throughfall, stemflow and rainfall using data from 30 rainfall events observed from May to September, 2011. The results were as follows: (1) During the research period, the total precipitation was 634.79mm. Average rainfall was 21.16mm, the maximum rainfall was 58.15mm, and the minimum rainfall was 0.54mm. The largest monthly rainfall occurred in August, was 190.77 mm, the minimum monthly rainfall happened in June, was 41.81 mm. (2) The correlation between canopy interception with 0.8 canopy coverage and rainfall was fitted by linear function, while canopy coverage of 0.7, 0.6 and 0.5 were all be fitted by power function. The correlation between canopy interception rate for all canopy coverage and rainfall was fitted by power function. The correlation of all canopy coverage between canopy throughfall, stemflow and rainfall was fitted by linear function. Both of canopy throughfall and stemflow increased with increasing rainfall. (3) Different canopy coverage of *Pinus tabulaeformis* produces different canopy interception, throughfall and stemflow. In general, with the decrease of the canopy coverage, the canopy interception decreased, throughfall increased, and the trunk stemflow increased. Canopy interception showed a positive correlation between canopy coverage, while throughfall, stemflow and canopy coverage showed a negative correlation. (4) The monthly dynamic changes of canopy interception throughfall and stemflow was consistent with that of rainfall.

收稿日期:200-00-00; 修订日期:200-00-00

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: 304440911@qq.com

Key Words: *Pinus tabulaeformis*; canopy coverage; canopy interception; throughfall; stemflow

森林降水分林冠截留、穿透雨和树干茎流三部分^[1]。其中,林冠截留能够削弱雨滴对地表的打击力,减轻地表侵蚀危险,同时,也截蓄了一部分降雨量,减少了地表产流量,起到了削减洪峰流量和涵养水源的生态功效,是评价森林保持水土效益的关键指标之一。因此,林冠截留一直是森林水文和水土保持研究的重点^[2-3]。

影响林冠截留的因素很多,主要受林分本身特点(林木种类、林冠结构、林分年龄、郁闭度等)和环境因素(降雨特征、风速、温度等)等的共同影响^[4]。而在这些因素中,对于相同环境下起源相同、林龄相同的同一植被型组的林分而言,林冠截留主要由林分郁闭度和降雨特征决定。

油松是华北地区的主要造林树种。关于油松人工林的森林水文特性和水量平衡,已有学者作过研究,但多是对一种郁闭度、一种林龄林分的研究或者不同林龄之间的差异性进行探讨^[5-8],而不同郁闭度油松人工林林冠对降水的分配规律及差异性研究尚少。本文以暖温带山西太岳山油松人工林为研究对象,分析了不同郁闭度条件下林冠对降水的分配规律和差异性,以及林冠截留过程的特点,用以评价该地区油松人工林的水文生态作用,为水源涵养林体系建设提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于山西省太岳山林区中部、沁源县东部的马泉林场($36^{\circ}31'—36^{\circ}44'N$, $112^{\circ}15'—112^{\circ}33'E$)。该区气候属暖温带半干旱大陆性季风气候。年平均气温为 $8.6^{\circ}C$ 。该林区四季分明,年平均降水量 $662mm$,雨量集中在7、8、9三个月,占全年降雨量的60%以上。土壤主要是棕壤、褐土。

马泉林场现有森林面积 $3719.4hm^2$,其中有林地 $2774.6hm^2$,未成林造林地 $33.1hm^2$ 。有林地覆盖率为74.6%。全场森林总蓄积 12.79万 m^3 ,油松人工林占森林面积得95.2%,以中、幼龄林为主。优势树种为油松(*Pinus tabulaeformis*),灌木主要有酸枣(*Ziziphus jujuba*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、杠柳(*Periploca sepium*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、黄刺梅(*Rosa xanthina*)等,草本层的主要代表植物有苔草(*Carex tristachya*)、羊胡子草(*Carex rigescens*)、小红菊(*Dendranthema chonetii*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置

在对试验区全面踏查的基础上,依据林分郁闭度、林龄、坡度等主要因子,共选择具有代表性的油松人工林标准样地4块,每块的面积均为 $20m \times 30m$,样地概况见表1。

表1 样地概况
Table 1 General situation of plots

编号 No.	郁闭度 Canopy coverage	林龄 Age /a	密度 Density /(株/ hm^2)	坡度 Grade /(°)	坡向 Aspect	坡位 Slope position	海拔 Elevation /m	平均胸径 Mean diameter at breast height/cm	平均树高 Average height /m
1	0.8	22	6024	28	正东	中下	1222	5.99	5.87
2	0.7	20	4850	21	正东	下	1176	6.36	6.15
3	0.6	20	4238	22	正东	中下	1215	5.88	5.93
4	0.5	20	3800	25	正东	下	1208	5.95	6.42

2.2 总降雨量测定

在林外约 $50m$ 的空旷地上放置CR2型翻斗式自记数字雨量仪,用以测定大气总降水量,并记录降雨时间和降雨历时。

2.3 林内穿透雨量测定

在各标准地内,随机布设3个自制雨量槽(尺寸为 $200cm \times 10cm \times 20cm$),每个雨量槽一端开口连接一个

10L塑料桶,在每次雨后用1L的标准量筒测定塑料桶内雨量,以3个雨量槽的雨量平均数作为林内穿透雨体积(ml),最后根据雨量槽承雨面积再换算成本次降雨的林内穿透雨量(mm)。

2.4 树干茎流量测定

在各标准地内,分别根据胸径的径级分布(每隔2cm为1径级),选择5株标准木(胸径在3—5cm、7—9cm各1株,5—7cm3株),将直径为3cm大小的聚乙烯塑料管沿中缝剪开,取其一段呈螺旋状从树干1.2m处开始缠绕(用小钉固定在刮过粗皮的树干上)1.5周左右,聚乙烯塑料管与树干间空隙接缝处用油漆封严以防漏水,环绕树干的聚乙烯管与水平面间有30°左右的倾角,使树干茎流能沿聚乙烯塑料管流下,管的下端接10L的塑料桶(加盖),每次降雨后利用树冠投影面积公式(1)^[9]计算树干茎流量:

$$S = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{K_i M_i} \quad (1)$$

式中,S为树干茎流量(mm),M为单位面积上的树木株数,S_i为每个径级树干茎流量,M_i为每个径级的树木株数,K_i为各径级的树冠平均投影面积,n总各径级数。

2.5 林冠截留的计算

通过实测得到的林外降雨、穿透雨和树干茎流,根据水量平衡原理^[10-11],林冠截留量计算公式(2)如下:

$$I = P - T - S \quad (2)$$

式中,I指林冠截留量(mm),P、T、S分别指林外总降雨量(mm)、穿透雨量(mm)、树干茎流量(mm)。

林冠截留率计算公式(3)如下:

$$I_0 = [I/P] \times 100\% \quad (3)$$

式中,I₀指林冠截留率(%)。

3 结果与分析

3.1 降雨特征

试验期间(2011年5月—9月),共观测到30次降雨事件,降雨总量为634.79mm,单次平均降雨量为21.16mm,单次最大降雨量为58.15mm,单次最小降雨量为0.54mm。如图1所示,在整个生长季期间,8月份的降雨总量最大,为190.77mm,6月份的降雨总量最小,为41.81mm。

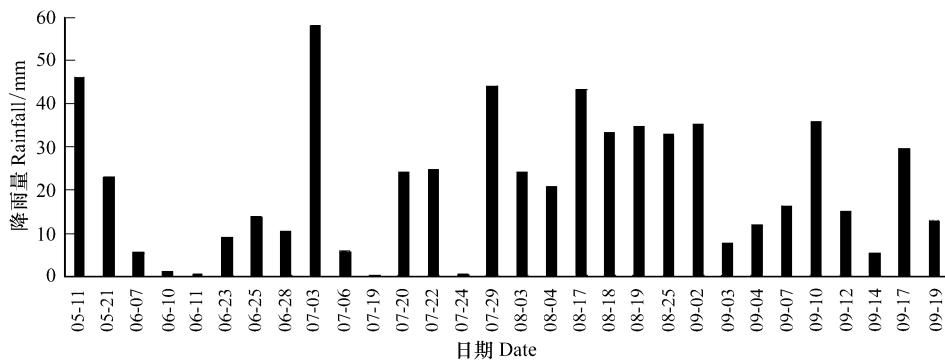


图1 观测期间太岳山林外降雨事件

Fig. 1 Rainfall events outside the forest during observation period in Taiyue Mountain

根据我国气象部门一般采用的降雨强度标准可知,试验期间小雨、中雨、大雨、暴雨的累积降雨量分别为8.37、79.96、180.19、365.24mm(图2),降雨发生频率分别为20%、23.33%、23.33%、33.34%。

3.2 降雨量对林冠截留的影响

3.2.1 降雨量大小与林冠截留的关系

在观测期间,郁闭度为0.8、0.7、0.6、0.5的油松人工林林冠截留总量分别为188.81、125.20、113.76、

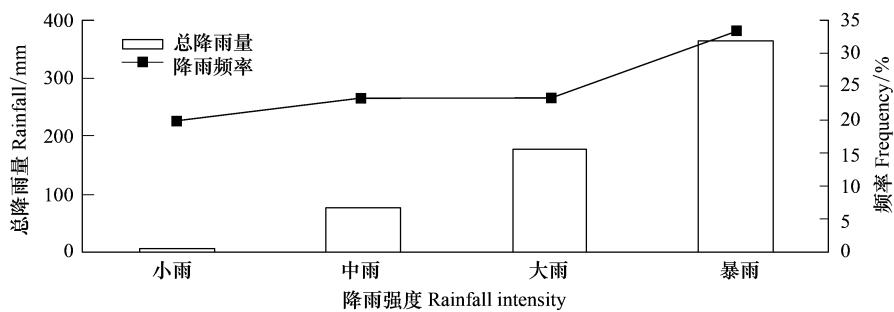


图2 降雨强度分布图

Fig. 2 Distribution of precipitation in rainfall intensity

93.58mm, 截留率分别为 29.74%、19.60%、17.71%、14.50%。

图3为降雨量和对应林冠截留量的散点图。从图3看出,郁闭度为0.8油松人工林林冠截留量随降雨量的增加一直增加,而其他郁闭度林分截留量开始随着降雨量的增加而增加,增加到一定程度之后达到饱和,截留量增加很小或不再增加。对林冠截留量和总降雨量进行回归分析,根据最大R²值选择最佳的拟合模型。结果表明,郁闭度为0.8林冠截留量(I)与总降雨量(P)呈一元线性关系,0.7、0.6、0.5林分林冠截留量(I)与总降雨量(P)呈幂函数关系。

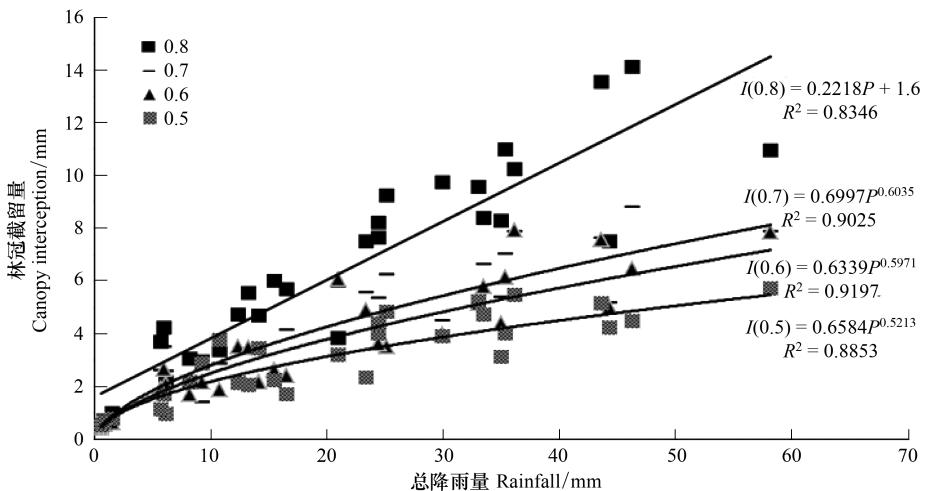


图3 不同郁闭度油松人工林林冠截留量与总降雨量关系

Fig. 3 Relationship between canopy interception and total rainfall under different canopy coverage in *Pinus tabulaeformis* plantations

将降雨量和对应林冠截留率绘成散点图(图4),从图4看出,当降雨量小于2 mm时,林冠截留效果十分显著,各郁闭度截留率均在70%以上,降雨全部或大部分被截留。当降雨量小于10 mm时,截留率随降水量的增加而下降的幅度较大,林冠对降水截留的效果最为明显,之后随着降水量增加,截留率缓慢下降。对林冠截留率和总降雨量进行回归分析,根据最大R²值选择最佳的拟合模型。结果表明,郁闭度为0.8、0.7、0.6、0.5林分林冠截留率(I₀)与总降雨量(P)呈对数函数关系。

3.2.2 降雨特征与林冠截留关系

林冠截留不仅与降雨量大小有关,还受降雨特征影响^[12]。同样降雨量,因降雨强度和降雨历时不同,林冠截留量表现差异明显,特别是降雨强度,对林冠截留量的影响尤为明显。随着降雨强度的增加,林冠截留率逐渐降低,一般来说降雨强度越大,对枝叶的冲击较大,截留的雨水滴落下来转化成穿透雨的可能性越大,因而林冠截留较小。

表2为郁闭度为0.8林分因降雨强度不同林冠截留的变化。在累积6次小雨事件中,林冠截留量很小,

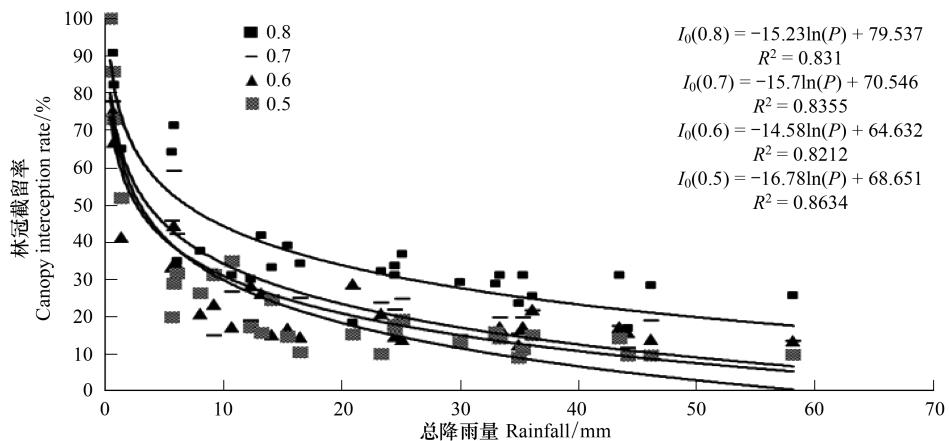


图 4 不同郁闭度油松人工林林冠截留率与总降雨量关系

Fig. 4 Relationship between canopy interception rate and total rainfall under different canopy coverage in *Pinus tabulaeformis* plantations

仅为 5.59 mm,但截留率很大,为 66.78%。随着降雨强度增加,林冠截留量逐渐增加,但截留率反而减小。当降雨强度为暴雨时,截留率到达最小,为 25.63%。可见,林冠对降雨的截留作用在雨强较小时十分显著,但随着降雨强度的增加,林冠截留率减小。

表 2 油松人工林林冠截留与降雨强度关系

Table 2 Relationship between canopy interception of *Pinus tabulaeformis* and rainfall intensity

降雨强度 Rainfall intensity	降水次数 Times	总降雨量 Total rainfall/mm	截留量 Interception/mm	截留率 Interception rate/%
I	6	8.37	5.59	66.78
II	7	79.96	30.68	38.37
III	7	180.19	57.88	32.12
IV	10	365.24	93.64	25.63

I—IV 表示雨强由小到大

3.3 冠层的干湿状况对林冠截留的影响

林冠截留降水过程可以看作是枝、叶的湿润到饱和的连续过程。截留量由两部分构成:一部分是降雨过程中湿润树木枝叶表面所需的雨量;另一部分是降雨过程中林冠拦蓄雨水的蒸发量^[13-14]。因此,当冠层干燥时就可多截留雨水,而冠层比较湿润,截留作用就会减小。

图 5 为郁闭度为 0.8 林分单次降雨中林外降雨量以及降雨强度相近时林冠截留率对比。如图所示,7月 29 日、8 月 19 日林分林冠截留率明显小于降雨量相近的 8 月 17 日、8 月 25 日。结合图 1 可知,这 4 次降雨事件发生的前一次降雨分别在 7 月 24 日、8 月 4 日、8 月 18 日、8 月 19 日,时间间隔分别为 5、13、1、6d,一般一次超过 30mm 的降雨事件之后,在无风的状态下林冠需要 7d 才能完全干燥。同时,图中 4 场降雨事件的历时分别为 8、7、14、15h。因此,在 8 月份最高温度 25℃,最低温度 15℃,温度变化不大,风力同为微风≤3 级的气

候条件下,7 月 29 日和 8 月 19 日发生降雨时林冠冠层与其他两个日期降雨事件相比比较湿润,降雨过程中湿润树木枝叶表面所需的雨量小,林冠截留作用小,因此林冠截留率小。

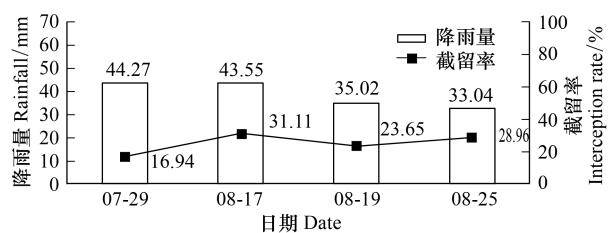


图 5 降雨强度和降雨量相近事件的林冠截留率对比

Fig. 5 The Comparison of canopy interception rate of similar rainfall intensity and rainfall events

3.4 郁闭度对降水分配的影响

3.4.1 不同郁闭度林冠截留能力分析

为了深刻认识郁闭度作为林分自身的主要因素对林冠截留的影响,综合比较了各郁闭度林冠截留能力,采用单因素方差分析法对林冠截留量进行了分析。

从表3、表4可以看出,不同郁闭度油松人工林林冠截留量、穿透雨量和树干茎流量不同。总的的趋势是随着郁闭度的减小,林冠截留量和林冠截留率逐渐减小,穿透雨量和树干茎流量逐渐增大。林冠截留量与郁闭度表现出正相关关系($P<0.05$; $r=0.388$; $n=30$),穿透雨量与郁闭度表现出负相关关系($P<0.05$; $r=-0.08$; $n=30$),树干茎流量与郁闭度亦表现出负相关关系($P<0.05$; $r=-0.443$; $n=30$) (表5)。

表3 不同郁闭度油松人工林林冠截留能力

Table 3 Capacity of canopy interception of different canopy coverage in *Pinus tabulaeformis* plantations

编号 No.	郁闭度 Canopy coverage	穿透雨量 Throughfall/mm	树干茎流量 Stemflow/mm	截留量 Interception/mm	截留率 Interception rate/%
1	0.8	442.19	3.78	188.81	29.74
2	0.7	495.71	12.88	124.03	19.60
3	0.6	503.23	17.31	112.07	17.71
4	0.5	521.11	19.75	91.76	14.50

表4 不同郁闭度油松人工林林冠截留量平均值

Table 4 Average of canopy interception of different canopy coverage in *Pinus tabulaeformis* plantations

郁闭度 Canopy coverage	0.8	0.7	0.6	0.5
截留量 Interception/mm	6.29 ± 3.78 a	4.19 ± 2.41 b	3.79 ± 2.27 b	3.12 ± 1.62 b

a,b 表示不同郁闭度之间的显著性差异($P<0.05$)

表5 不同郁闭度油松人工林树干茎流量平均值

Table 5 Average of stemflow of different canopy coverage in *Pinus tabulaeformis* plantations

郁闭度 Canopy coverage	0.8	0.7	0.6	0.5
树干茎量 Stemflow/mm	0.12 ± 0.10 a	0.43 ± 0.35 ab	0.58 ± 0.48 bc	0.66 ± 0.52 d

a,b,c,d 表示不同郁闭度之间的显著性差异($P<0.05$)

3.4.2 不同郁闭度穿透雨与总降雨量关系

根据30次实测降雨数据得出,郁闭度为0.8、0.7、0.6、0.5的油松人工林穿透雨总量分别为442.19、495.71、503.23、521.11mm,分别占降雨总量的69.66%、78.09%、79.02%、82.14%,穿透雨是林冠对降雨再分配后占比例最大的部分。

对穿透雨量和总降雨量数据进行回归分析,根据最大 R^2 值选择最佳的拟合模型,发现各郁闭度林分穿透雨量(T)与总降雨量(P)之间的关系可以用一元线性回归模型表示(图6),穿透雨量随林外总降雨量的增加而增加。

单因素方差分析表明,在0.05的显著性水平下,各郁闭度林分的穿透雨量之间无显著性差异。

3.4.3 不同郁闭度树干茎流与总降雨量关系

从图7可以看出,总降雨量5mm以下时,各郁闭度林分树干茎流很少,基本不足0.05mm,故认为林外雨量小于5mm时,树干径流为0。郁闭度为0.8、0.7、0.6、0.5的油松人工林树干茎流总量分别为3.78、12.88、17.31、19.75mm,分别占总降雨量的0.59%、2.03%、2.72%、3.11%。树干茎流量占总降雨量的比例很小^[15-16],很多研究中经常被忽略,然而树干茎流对森林水文的作用不容忽视^[17]。

对树干茎流量和总降雨量进行回归分析,根据最大 R^2 值选择最佳的拟合模型,发现树干茎流量(S)和降雨量(P)之间的关系可以用一元线性回归模型表示(图7),树干茎流量随林外总降雨量的增加而增加。

3.5 林冠截留、穿透雨和树干茎流月份动态变化规律

表6反映的是观测期内郁闭度为0.8林分林冠截留量、穿透雨量和树干茎流量月份动态变化。从表中可

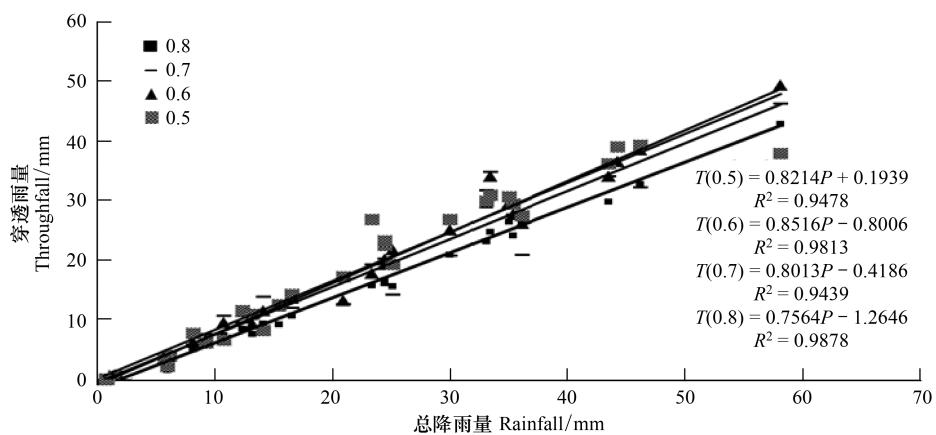


图6 不同郁闭度油松人工林穿透雨量与总降雨量关系

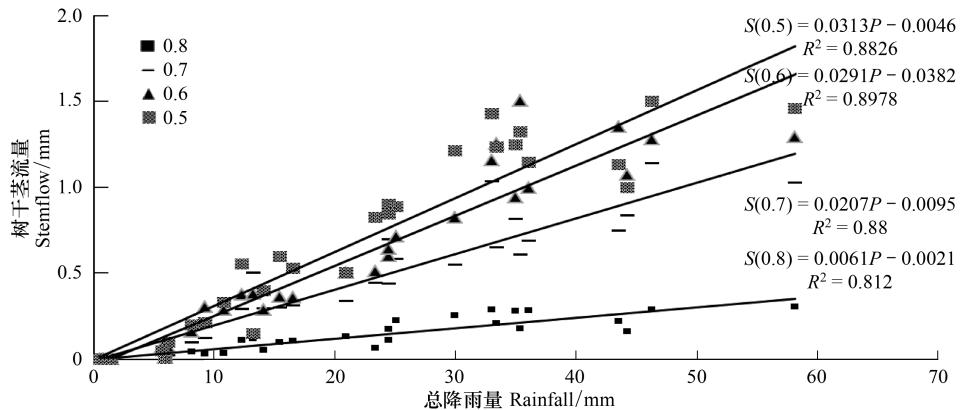
Fig. 6 Relationship between throughfall and total rainfall under different canopy coverage in *Pinus tabulaeformis* plantations

图7 不同郁闭度太岳山油松人工林树干茎流量与总降雨量关系

Fig. 7 Relationship between stemflow and total rainfall under different canopy coverage in *Pinus tabulaeformis* plantations

以看出,7、8、9月份降雨量分别为161.24、190.77mm和172.48mm,明显高于5、6月份的67.62 mm和42.66 mm,说明降雨主要集中在7、8、9月份。林冠截留量、穿透雨量和树干茎流量月份动态变化与总降水量的月变化基本一致,丰水季大于枯水季。而林冠截留率却与此相反,枯水季大于丰水季,这是因为枯水季降雨量小,雨强小,多被林冠截持;丰水季降雨量大,多以大雨和暴雨形式出现,雨强大,历时短,故截持较少。

表6 林冠截留、穿透雨和树干茎流月份动态变化

Table 6 Monthly dynamic among canopy interception, throughfall and stemflow

月份 Month	降雨量 Rainfall /mm	降雨 次数 Times	截留量 Interception /mm	截留率 Interception rate/%	穿透雨量 Throughfall /mm	透流率 Throughfall rate/%	树干茎量 Stemflow /mm	干流率 Stemflow rate/%
5	67.62	2	21.63	31.98	45.77	67.68	0.22	0.34
6	42.66	4	14.80	34.69	27.74	65.02	0.12	0.29
7	161.24	7	47.43	29.41	112.81	69.96	0.98	0.63
8	190.77	8	54.58	28.61	135.05	70.79	1.13	0.6
9	172.48	9	50.37	29.20	120.81	70.03	1.3	0.77

4 结论与讨论

(1) 观测期间,试验区总降雨为634.79mm,降雨事件中大部分为大雨、暴雨,分别占总降雨次数的23.33%和30.34%。郁闭度为0.8,0.7,0.6,0.5的太岳山油松人工林林冠截留量分别为188.81、125.20、

113.76、93.58mm,截留率分别为29.74%、19.60%、17.71%、14.50%;穿透雨总量分别为442.19、495.71、503.23、521.11mm,透流率分别为69.66%、78.09%、79.02%、82.14%;树干茎流总量分别为3.78、12.88、17.31、19.75mm,干流率分别为0.59%、2.03%、2.72%、3.11%。

(2)不同郁闭度之间林冠截留、穿透雨和树干茎流差异性表现在:郁闭度为0.8和0.7、0.6、0.5之间的林冠截留量差异性显著($P < 0.05$),0.7、0.6和0.5三者之间均无显著性差异;各郁闭度之间的穿透雨量均无显著性差异;而树干茎流则不同,郁闭度为0.8和0.7、0.6、0.5之间的树干茎流量差异性显著($P < 0.05$),0.7、0.6和0.5三者相邻郁闭度之间均无显著性差异,0.7和0.5之间的树干茎流量差异性显著($P < 0.05$)。

(3)与已有的华北地区油松人工林水生态效应研究成果比较,赵焕胤等、莎仁图雅等、肖洋等研究的林冠截留率为31.67%—33.04%^[5-7],高于本文研究的郁闭度为0.8的22年生油松林人工林冠平均截留率(29.74%),主要原因可能在于,内蒙古东部地区22年生油松人工林外降雨以小雨、中雨为主,大雨、暴雨发生频率小于本试验区的23.33%和33.34%,使得林冠层能够充分截持雨量。此外,本研究油松林为幼龄林,而大青山区和北京密云水库分别为30年生以及33年生中龄林。曾杰所研究的郁闭度为0.9的34年生油松人工林冠截留率为15.9%,郁闭度为0.6的为13.6%^[8],分别小于本实验所研究的郁闭度为0.8油松人工林的29.74%和0.6油松人工林的17.71%。主要原因可能在于,他所研究的郁闭度为0.9的油松林密度为1035株/ hm^2 ,郁闭度为0.6的密度为739株/ hm^2 ,远小于本研究油松林的6024株/ hm^2 和4238株/ hm^2 。综上可知,影响林冠截留分配效应的主导因素是降水特征(包括降水量、降水过程以及降水形态等)与林分状况(包括林分郁闭度、林龄、林木密度等)。

References:

- [1] Yu X X, Zhang Z Q, Chen H L. Forest ecological hydrology. Beijing: China Forest Press, 2004.
- [2] Zhang Z Z, Yu Y Y. Forest hydrological research situation and main achievements in China. Journal of Beijing Forestry University, 1988, 10(2): 79-87.
- [3] Zhang Z Q, Wang L X, Wang S P. Forest hydrology research in China. Science of Soil and Water Conservation, 2004, 2(2): 68-73.
- [4] MA X H. Forest hydrology. Beijing: China Forest Press, 1993; 11-39.
- [5] Sha R T Y, Tian Y L, Guo L S. Study on characteristics of distribution of rainfall in *Pinus tabulaeformis* plantation in Daqing-Mountains. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(6): 157-160.
- [6] Zhao H Y, Zhu J W, Wang W H. Analysis of *Pinus tabulaeformis* rainfall interception in Semiarid area. Journal of Northeast Forestry University, 1997, 25(6): 66-70.
- [7] Xiao Y, Chen L H, Yu X X, Yang X B, Sun Q Y. Influence on precipitation distribution of *Pinus tabulaeformis* forest in Miyun Reservoir. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(3): 154-157.
- [8] Zeng J, Guo J T. Study on the first distribution of precipitation by *Pinus tabulaeformis* plantation in the Taiyue forest region. Journal of Beijing Forestry University, 1997, 19(3): 21-27.
- [9] Guo J T, Liu S G. Study on the Effect of Branch Characteristic Function of *Pinus tabulaeformis* Plantation for Stemflow in Northern China. Journal of Beijing Forestry University, 1988, 10(4): 11-16.
- [10] Huber A, Iroum  A. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. Journal of Hydrology, 2001, 248: 78-92.
- [11] Huang C B, Wen Y G, Li X X. Study on mixed evergreen and deciduous broadleaved forest climate and hydrological effect of Laoshan Mountain in Tianlin County. Journal of Guangxi Agricultural College, 1991, 10(4): 52-63.
- [12] Liu W X. The relationship between rainfall and interception by canopy of *Picea crassifolia* forest. Journal of Gansu Agricultural University, 2004, 39(03): 341-344.
- [13] WANG Y M. Research Review on canopy precipitation distribution in china(I). Journal of Northwest Forestry University, 2000, 15(3): 1-7.
- [14] Xie C H, Guan W B, Wu J A, Cheng G W, Luo J. Interception capability of dark coniferous forest ecosystem in Gongga Mountain. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(4): 68-71.
- [15] W R Stogsdill J R, R F Wittwer, T C Hennessey. Relationship between through-fall and stand density in a *Pinus taeda* plantation. Forest Ecology and Management, 1989, 29: 105-113.
- [16] Hiromi Masukata, Makio Ando, Husato Ogawa, Throughfall, stemflow and interception of rainwater in an evergreen broadleaved forest, Ecological

- research,1990,5: 303-316.
- [17] Llorens P, Gallart F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. Journal of Hydrology, 2000, 240: 131-144.
- [18] Rutter A J, Kershaw K A, Robins P C, Morton A J. A predictive model of rainfall interception in forest I. Derivation of the model from Observation in a plantation of Corsican pine. Agricultural Meteorology, 1971, 9: 367-384.
- [19] Teklehaimanot Z, Jarvis P G, Ledger D C. Rainfall interception and boundary conductance in relation to tree spacing. Journal of Hydrology, 1991, 3 (123): 261-278.
- [20] Liu S R, Wen Y G, Wang B, Zhou G Y. Hydrological function of forest ecosystems of China. Beijing: China Forest Press, 1996.
- [21] Gianluigi Mazza, Emilio Amorini, Andrea Cutini, Maria Chiara Manetti. The influence of thinning on rainfall interception by *Pinus pinea L.* in Mediterranean coastal stands (Castel Fusano—Rome). Annals of Forest Science(2011) 68:1323-1332.
- [22] Qingfu Xiao, E Gregory McPherson. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. Urban Ecosyst(2011) 14:755-769.
- [23] Wei Z X, Li S H. Study on different forest canopy interception characteristics. Soil and Water Conservation In China, 1997(5): 19-21.
- [24] Zhao H Y, Wu Q X. Intercepting Dynamic Processes of Artificial *Pinus tabulaeformis* Forest Canopy on Loess Plateau. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(6): 20-23.
- [25] Zhang K, Zhang H J, Cheng J H, Zhang J W, Wang X, Song N. Effect of Canopy Interception of Warm Needle-leaved Forest in Simian Mountain of Chongqing and Its Influencing Factors. Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39(10): 32-35.
- [26] Dong S R, Guo J T, MAN R Z. Throughfall, stemflow and canopy interception in *Pinus tabulaeformis* plantation of north china. Journal of Beijing Forestry University, 1987, 9(1): 58-67.

参考文献:

- [1] 余新晓,张志强,陈华丽.森林生态水文.北京:中国林业出版社,2004.
- [2] 张增哲,余新晓.中国森林水文研究现状和主要成果.北京林业大学学报,1988,10(2):79-87.
- [3] 张志强,王礼先,王盛萍.中国森林水文学研究进展.中国水土保持科学,2004,2(2):68-73.
- [4] 马雪华.森林水文学.北京:中国林业出版社,1993:62-89.
- [5] 莎仁图雅,田有亮,郭连生.大青山区油松人工林降雨分配特征研究.干旱区资源与环境,2009,23(6):157-160.
- [6] 赵焕胤,朱劲伟.半干旱地区油松人工林带降水截留作用分析.东北林业大学学报,1997,25(6):66-70
- [7] 肖洋,陈丽华,余新晓,杨新兵,孙庆艳.北京密云水库油松人工林对降水分配的影响.水土保持学报,2007,21(3):154-157.
- [8] 曾杰,郭景唐.太岳山油松人工林生态系统降雨的第一次分配.北京林业大学学报,1997,19(3):21-27
- [9] 郭景唐,刘曙光.华北油松人工林树枝特征函数对干流量影响的研究.北京林业大学学报,1988,10(4):11-16.
- [11] 黄承标,温远光,李信贤.田林老山常绿落叶阔叶混交林气候及水文效应的研究.广西农业生物科学,1991,(4):52-63.
- [12] 刘曼霞.青海云杉林林冠截留与大气降水的关系.甘肃农业大学学报,2004,39(3):341-344.
- [13] 王佑民.我国林冠降水再分配研究综述(I).西北林学院学报,2000,15(3):1-7.
- [14] 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.
- [20] 刘世荣,温远光,王兵,周光益.中国森林生态系统水文生态功能规律.北京:中国林业出版社,1996.
- [23] 卫生新,李树怀.不同林地林冠截留降雨特征的研究.山西水土保持科技,1991,(1):29-31.
- [24] 赵鸿雁,吴钦孝.黄土高原人工油松林林冠截留动态过程研究.生态学杂志,2002,21(6): 20-23.
- [25] 张焜,张洪江,程金花,张静雯,王贤,宋楠.重庆四面山暖性针叶林林冠截留及其影响因素.东北林业大学学报,2011,39(10):32-35.
- [26] 董世仁,郭景唐,满荣洲.华北油松人工林的透流、干流和树冠截留.北京林业大学学报,1987,9(1):58-68.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 5 March, 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)
Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)
A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)
Progresses in dendrochronology of shrubs LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

Autecology & Fundamentals

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)
Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)
Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)
Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethyidae) YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)
Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)
The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)
Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)
Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)
Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)
An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)
Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)
Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)
Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)
Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)
Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

- The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade ...
..... MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
- Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment
..... LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
- Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution of *Schima superba* seedlings in response to simulated
nitrogen deposition LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
- Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields
..... WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)
- Resource and Industrial Ecology**
- Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of *Zizania latifolia* Turcz. plants are affected by *Ustilago esculenta* infection
..... YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
- Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron (*Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle)
..... CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
- Hosts preference of *Echinothrips americanus* Morgan for different vegetables ... ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
- Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants
..... YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
- Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of *Populus tomentosa* seedlings
..... WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
- Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach
..... ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)
- Research Notes**
- Characteristics of precipitation distribution in *Pinus tabulaeformis* plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain
..... ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
- Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing JIA Baoqun (1654)
- Effects of *Mikania micrantha* wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in *Mikania micrantha* H. B. K.
..... WANG Rui long, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

《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研工作者,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研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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第5期 (2013年3月)

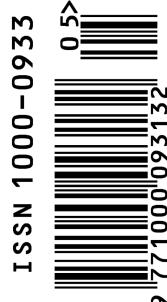
ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 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
主 编	王如松
主 管	中国科学技术协会
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
出 版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印 刷	北京北林印刷厂
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
订 购	全国各地邮局
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
广 告 经 营	京海工商广字第8013号
许 可 证	

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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