

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 13 期 Vol.33 No.13 **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 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚婧,李颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟希,张淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳林,王信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

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/stxb201210301509

史宇, 余新晓, 张佳音. 北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应. 生态学报, 2013, 33(13): 4199-4204.

Shi Y, Yu X X, Zhang J Y. Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4199-4204.

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应

史 宇¹, 余新晓^{2,*}, 张佳音³

(1. 中国环境监测总站, 北京 100012; 2. 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;
3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 林内降雨通常在开始和结束的時刻上都要迟于林外降雨, 这种作用可称之为林内降雨的时滞效应, 目前对该方面的研究尚处于探索阶段。研究地点设在北京妙峰山林场, 利用侧柏林样地林内和林外的两台全自动激光雨滴谱仪在 2010 年雨季自动观测获取的数据, 研究了典型场降雨的林内降雨时滞效应特征以及主要影响因素。研究结果表明, 在观测的 18 场完整降雨中林内降雨在开始时间上均晚于林外降雨, 平均延滞时间为 21 min; 而降雨结束的时间绝大部分也出现了明显的延滞现象, 平均延滞时间为 46 min。通过回归分析得出, 林内降雨延滞开始时间随延滞期的雨强增大呈对数曲线递减, 延滞结束时间随场降雨量增大而呈对数曲线递增。林冠层对林内降雨的延滞作用可有效的削减洪峰流量和延长汇流时间, 对减少山洪、泥石流和滑坡等地质灾害产生具有积极的生态意义。

关键词: 时滞效应; 林冠截留; 侧柏; 北京山区

Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China

SHI Yu¹, YU Xinxiao^{2,*}, ZHANG Jiayin³

1 China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China

2 College of Soil and Water Conservation Beijing Forestry University & Key Laboratory of Soil and Water Conservation Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing 100083, China

3 Chinese Research Academy of Environmental Sciences 100012, China

Abstract: Rainfall interception by the forest canopy not only consumes a portion of rainfall but also changes the timing of rainfall inside a forest. Rainfall inside a forest always starts and ends later than it does outside a forest, an effect called the time lag effect. This time lag effect can influence the ecological and hydrological functioning of forest ecosystems, but the study of this relationship is only in its infancy. This study, performed at the Miaofeng Mountain forest farm in Beijing, used two laser raindrop spectrometers to synchronously monitor precipitation both inside and outside a *Platycladus orientalis* plantation. Based on these monitoring data, this paper analyzed the characteristics and major factors influencing the lag effect of rainfall inside a forest for 18 complete rainfall events. The results show all the start times of rainfall inside the forest were later than those outside the forest, with lag times ranging between 2 and 88 minutes (average 21 minutes). Most of the ending times of rainfall inside the forest were also later than those outside the forest except two light rainfalls of less than 0.1 mm; the lag time averaged 46 minutes and was as long as 158 minutes. Additionally, using a size-based analysis of large, medium and small typical rainfall events both inside and outside the forest, we found that the forest canopy delayed the peak rainfall intensity inside the forest, and rainfall intensity inside the forest was occasionally greater than outside the

基金项目: 林业公益性行业科研项目(201104005)

收稿日期: 2012-10-30; 修订日期: 2013-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuxinxiao111@126.com

forest at same time during a rainfall event. Based on regression analysis, the delays of both the beginning and ending of rainfall occurring inside the forest decreased as rainfall intensity increased, which could be plotted as logarithm curves. This time lag effect of rainfall inside a forest may reduce flood peaks and effectively prolong conflux time, and it has positive ecological significance for land managers attempting to control flash floods, debris flows, landslides and other geologically related disasters.

Key Words: time lag effect; canopy interception; *Platycladus orientalis*; Beijing mountain area

森林生态系统一般从上到下可分为 3 个层次,即林冠层、枯落物层和土壤层,各个层次在生态水文过程中发挥了不同的作用,体现了重要的水文生态效益^[1]。林冠层是森林生态系统对水分传输有着重要作用的第一个层次,是调节降雨的水量和动能的重要过程,使林内的降雨量、降雨强度、降雨分布等发生显著变化,直接影响水分在森林生态系统中的整个循环过程^[2-4]。

时滞是时间滞后的简称,林冠层对降雨的拦截不仅能分配一部分水量,同时也改变了林内降雨的时间。通过观察发现,林内降雨大部分在开始时刻和结束时刻上都要迟于林外降雨,这种作用可以称之为林内降雨的时滞效应。林内降雨的时滞效应是森林的生态水文功能的一个环节,对森林的涵养水源、保持水土、调节径流等生态功能具有一定的影响作用^[5]。当前国内外对林内降雨时滞效应的专题研究十分匮乏,仅有李佳和陈丽华等对北京山区油松林降雨中的林内降雨延滞时间做了统计,陈书军等对秦岭天然次生油松林穿透降雨和树干茎流与林外降雨的时间差做了较为详细的统计分析^[6-8]。

本文利用林外气象站和侧柏林样地内的两台全自动激光雨滴谱仪长期同步自动观测获取的数据,研究了典型场降雨的林内降雨时滞效应特征以及主要影响因素。本研究是对森林生态系统的生态水文功能研究必要的补充,有助于更加深入地了解林内降雨时滞效应的规律和形成机理,也为水源涵养林和水土保持林的保护经营与管理提供基础理论依据。

1 研究区概况

本文研究数据出自位于北京妙峰山林场的国家林业局首都圈森林生态系统定位观测研究站,该研究站地处北京市西北郊太行山北部,燕山东端,北纬 39°54′,东经 116°28′。妙峰山林场地属华北大陆型季风气候,春季干旱多风,夏季凉爽多雨,冬季干燥寒冷。年平均气温 12.2 ℃,最高气温 39.7 ℃,最低气温 19.6 ℃,无霜期 180 d,年降水量近 700 mm,多集中在 7、8 月份。

观测样地海拔 170 m,坡向为南偏东 68°,坡度 15°,土层瘠薄,A+B 层厚度为 20 cm 左右。样地为侧柏林,林分密度为 1531 株/hm²,平均年龄 53a,郁闭度 0.7,林分树高和胸径特征如表 1 所示。林下灌木层盖度 40%,主要有构树(*Broussonetia papyrifera*)、酸枣(*Zizyphus jujuba* Mill)、小叶鼠李(*Rhamnus parvifolia*)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、孩儿拳头(*Grewia biloba*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)等。草本层盖度 20%,主要有鸭跖草(*Commelina communis*)、羊胡子草(*Eriophorum vaginatum*)、菅草(*Themeda japonica*)、中华卷柏(*Selaginella sinensis*)等。观测样地林分为北京山区典型的侧柏人工中龄林的结构特征。

表 1 侧柏样地乔木胸径、树高特征

Table 1 Tree's diameter and height characteristics of *Platycladus orientalis*

	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum
胸径 DBH/cm	14.6	4.0	10.0	24.6
树高 Height/m	8.6	1.0	7.0	10.0
树冠长 Canopy depth/m	3.9	1.6	0.7	6.7
树冠面积 Canopy area/m ²	5.7	2.8	1.8	10.2

2 研究方法

2010 年 6 月至 10 月,在北京妙峰山侧柏林观测样地林下和距样地 50 m 外的空旷地处布设两台 LPN 激光雨谱仪(Laser Precipitation Monitor,德国,thiesclima 公司)同步进行林内和林外降雨监测。该仪器应用激光原理对高速运动物体进行测定,探测面积为 45.6 cm²,测定对象最小直径达到 0.16 mm,测定时间间隔为 1 s,可实时测定运动物体的总量,大小,强度,和运动速度,可体现现场降雨的整个变化过程。同时利用激光雨谱仪配套的自动气象站监测空气温度(℃)、空气相对湿度(%),风速(m/s)和风向等。通过激光雨谱仪记录每场降雨林内及林外的实时降雨过程,确定每次林内和林外降雨的开始及结束时间,并对比每次林内和林外降雨在时间维度上的分布过程。同时对林内降雨延滞时间和降雨量、雨强等因子进行回归分析,以探求其相关性。

3 结果与分析

3.1 典型场降雨林冠延滞降雨情况

选取从 2010 年 6 月至 2010 年 10 月间有完整数据且降水过程较为典型的 18 场降雨作为研究对象,其延滞降雨特征值如表 2 所示。从表中可以看出,林内降雨在开始时间上都要晚于林外降雨,延滞的时间在 2 min 到 88 min 之间,平均延滞时间为 21 min;而降雨结束的时间除了两次总降水量小于 0.1 mm 的小雨外也都出现了明显的延滞现象,延滞时间最多能达到 158 min,平均为 46 min。

表 2 试验期间侧柏林冠层延滞降雨情况
Table 2 Rainfall retardation characteristics of *Platycladus orientalis*'s canopy during experimental period

日期 Date	降雨量 Precipitation /mm	降雨开始 Beginning of rainfall			降雨结束 Ending of rainfall		
		林外时刻 Time outside the forest	林内时刻 Time inside the forest	延迟时间 Delay time /min	林外时刻 Time outside the forest	林内时刻 Time inside the forest	延迟时间 Delay time /min
06-30	0.1	8:00	8:05	5	10:17	9:48	-29
07-01	2.46	7:54	8:51	57	15:02	15:03	1
07-15	3.23	11:06	11:20	14	15:29	16:48	79
07-16	1.54	8:09	8:14	5	10:25	10:29	4
07-17	1.65	7:47	7:49	2	11:25	11:48	23
08-07	7.85	19:51	19:58	7	0:41	3:19	158
08-17	0.01	11:48	13:10	88	16:51	15:15	-24
08-18	11.86	9:53	11:17	84	14:40	17:01	141
08-21	52.13	3:38	3:54	16	6:51	6:51	130
08-26	1.7	18:56	19:01	5	19:40	19:47	7
09-01	1.59	2:46	2:48	2	10:14	10:19	5
09-03	3.41	5:52	6:00	8	10:53	10:54	1
09-07	8.16	5:19	5:24	5	9:10	10:33	83
09-08	0.09	5:35	5:56	21	6:33	6:33	0
09-16	36.24	14:44	14:57	13	11:48	12:02	114
09-18	27.16	0:10	0:21	11	10:59	12:08	69
10-23	1.16	2:12	2:20	8	6:49	7:31	42
10-24	12.28	0:31	0:49	18	12:45	13:00	15

选取了 9 月 7 日(8.16 mm)、9 月 18 日(27.16 mm)以及 8 月 21 日(52.13 mm)3 场典型降雨分别代表小雨、中雨和大雨,对其林内与林外降雨过程进行对比(图 1)。可以看出 3 场典型降雨都存在明显的林内降雨开始和结束时刻晚于林外的现象,但延滞的时间在 3 种不同降雨级别下没有体现出明显规律性。我们还发现,林冠层对林内降雨的雨强峰值出现时间也有明显的延后作用,几乎所有林内的雨强峰值时刻均与林外错开,且在降雨过程中多次出现同一时刻林内雨强高于林外的现象。在 8 月 21 日的大雨中还出现了场降雨的林内最大雨强高于林外最大雨强的情况,这是可能是林冠层积蓄了多次高强度脉冲式降雨后在某一临界时间

点时冠层多处截留积水集中降下造成的。

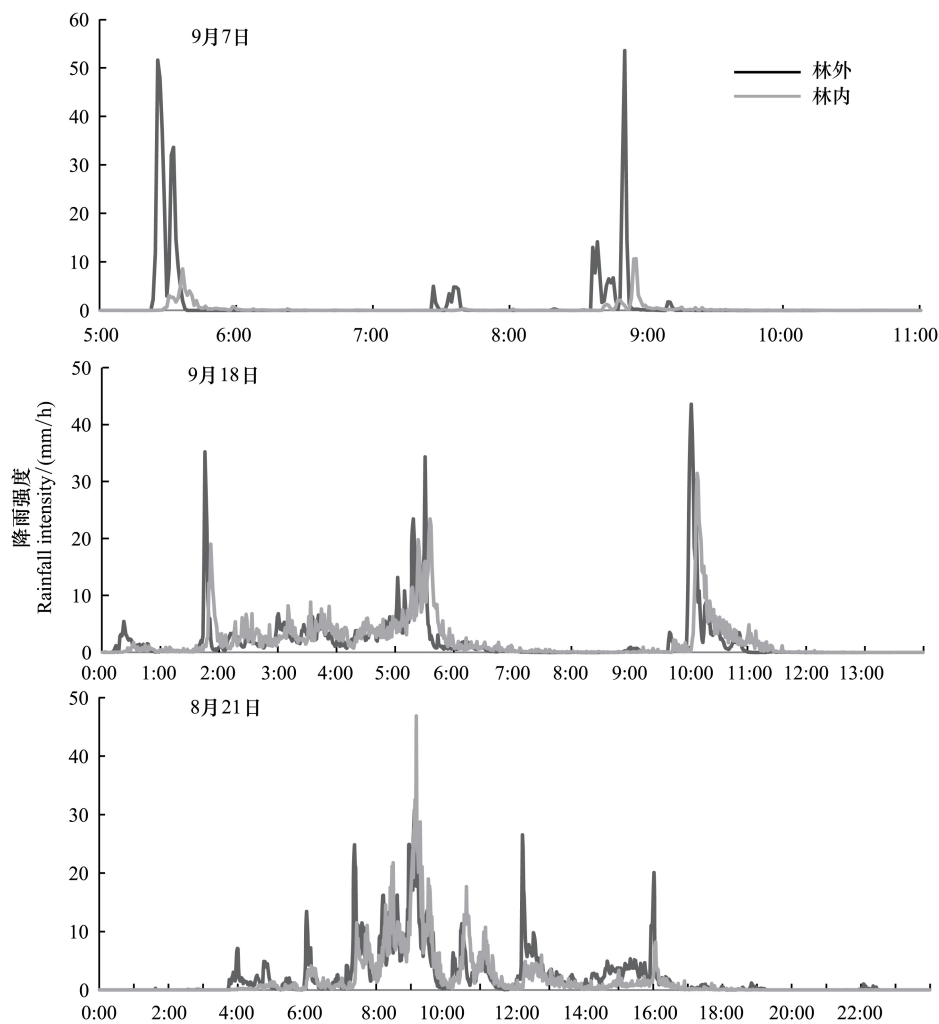


图1 典型场降雨林内外降水过程

Fig. 1 Forest internal and external rainfall process for typical period of rainfall

3.2 林冠延滞降雨时间与降水特征关系

林冠层延滞降雨是一个较为微观的过程,在植被条件不变的情况下,延滞降雨开始时间和延滞降雨结束时间都与降雨特征有着一定的相关性。延滞降雨开始过程是林冠层对降雨的吸收和缓冲作用的一种体现,这表明延滞时间长短主要与延滞时间内雨量和雨强特征有关。通过相关分析,发现延滞开始时间与延滞期雨强的相关性更强。将各场降雨的延滞时间和延滞期雨强绘制成散点图(图2),用逆函数、幂函数、对数函数等曲线形式模拟后发现对数函数的拟合效果最好,所得到的方程为:

$$T = 3.568 - 8.74 \ln(I), \quad R^2 = 0.421, \quad P = 0.004, \quad n = 18$$

式中, T 为延滞开始时间(min), I 为延滞期雨强(mm/h)。方程的复相关指数 R^2 为0.421,统计量 F 的相伴概率值 P 为0.004,说明散点分布情况较为接近对数曲线递减形式。从图中可以看出在延滞期雨强较小时,延滞开始时间较长,随着延滞期雨强的增加,延滞期时间开始急剧减小直至接近于0。

延滞降雨结束过程是指林外降雨结束后,林冠层截留的降雨继续滴落形成了一段时间的林内降雨,这主要与林冠截持降雨量有关。国内外众多研究说明,林冠截留量与林外场降雨量有显著相关性^[9-10]。因此将降雨延迟结束时间与场降雨量绘制成散点图,用指数函数、幂函数、对数函数、S函数等形式作曲线拟合,发现对数函数拟合效果最优(图3),得到的拟合方程为:

$$T = 28.29 + 19.30 \ln(P), \quad R^2 = 0.522, \quad P = 0.001, \quad n = 18$$

式中, T 为延滞结束时间, P 为场降雨量。方程的负相关指数 R^2 为 0.522, 统计量 F 的相伴概率值 P 为 0.001, 说明实际数据存在着较为显著的对数曲线递增关系。从图中可以看出, 林内降雨延滞结束时间在林外场降雨量微小时通常为负值, 表示林内降雨提前于林外降雨结束; 在降雨达到一定规模后林内降雨延滞结束时间变为正值, 并随着场降雨量的增加延滞结束时间不断延长。

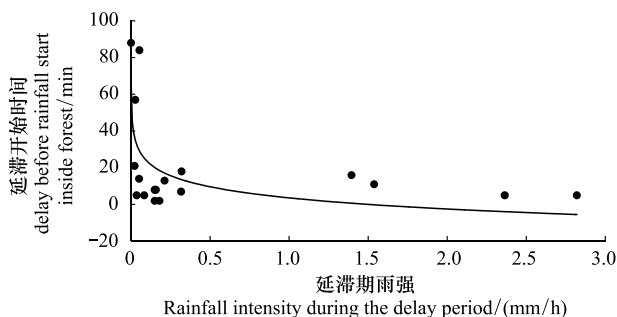


图2 侧柏林延滞降雨开始时间与延滞期雨强关系

Fig. 2 Relation between the delay before rainfall start inside forest and rainfall intensity during the delay period for *Platycladus orientalis* forest

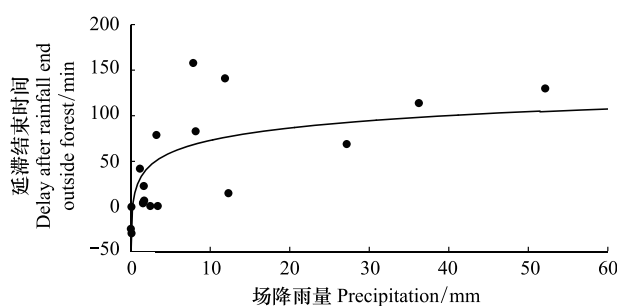


图3 侧柏林延滞降雨结束时间与场降雨量的关系

Fig. 3 Relation between the delay after rainfall end outside forest and precipitation for *Platycladus orientalis* forest

4 结论与讨论

本研究通过在 2010 年雨季对试验地侧柏林林内外降雨的高精度定点观测, 进一步探讨了林内降雨的时滞效应规律。在 18 场完整降雨中, 林内降雨在开始时间上都要晚于林外降雨, 平均延滞时间为 21 min; 而降雨结束的时间绝大部分也出现了明显的延滞现象, 平均延滞时间为 46 min。通过本文的研究结果, 可以对林内降雨的时滞效应做以下解释。在理想状态下林分的林冠层截留量具有极限值即最大截留量, 在林冠累积降水量达到最大截留量的过程中消耗的时间就是林内降雨延滞开始的时间。但是实际情况中不存在绝对郁闭的林分, 现实中林内降雨产生时林冠层截留降雨也并未达到最大截留量, 但林冠层对降雨的延滞作用是普遍存在的。林外降雨结束后的一段时间里, 停留在叶片和枝干上的水滴仍具有一定的动能和重力势能, 在重力和风力等多种因素作用下, 一部分水滴仍会继续滴落至地面, 从而造成了林内降雨结束时间较林外有所延滞。但在降雨量很小的情况下, 由于林冠截留作用显著, 也会出现林内降雨早于林外结束的现象。

在此前关于林内降雨时滞效应影响因素的研究中, 陈书军等得出了随着降雨量级的增大, 林内降雨开始时间提早而结束时间延后的结论, 与本文中的研究结果有一定相似性和差异性^[8]。本文研究认为, 林内降雨延滞开始时间并不受整场降雨规模的影响, 而是取决于延滞开始时间段内的水文过程变化, 通过回归分析得出了其与延滞期的雨强呈近似对数曲线的递减关系。而延滞结束时间取决于林外降雨结束时刻林冠层截持雨量的多少, 与整场降雨量关系较为密切, 通过分析得出了二者呈近似对数曲线的递增关系。除此之外, 降雨期间的风力能够为滞留树木枝叶上雨滴提供动能, 减少雨滴滞留时间, 理论上会对林内降雨时滞效应起到削减作用。但本研究由于仪器问题造成相关数据缺失严重, 无法从现有数据中分析出风力对降雨时滞效应明确的影响规律。林内降雨的时滞效应也会受树种和林分结构的影响, 参照林冠截留能力来讲森林的郁闭度大、叶面积指数高、林分结构好林内降雨的时滞效应就强^[11], 但在本文研究中不能体现其差异性。

由于林内降雨的时滞效应的存在, 使得林内降雨对林外降雨有了一段响应时间, 有效的延缓了土壤水分入渗和地表径流的产生。林冠层对降雨的延滞作用结合林内枯落物层对地表径流的阻滞作用^[12], 能够使林内地表径流在产生时间和峰值时间上都与林外地表径流错开, 从而有效的削减洪峰流量和延长汇流时间^[13], 对减少山洪、泥石流和滑坡等地质灾害产生具有积极的生态意义^[11, 14]。但目前对于林内降雨的时滞效应的关注程度不够, 有限的研究尚处于以数据统计为主的初级阶段。今后的对林内降雨时滞效应的研究可在多尺

度、多角度上进行扩展,例如研究不同树种、不同林分结构条件下的林内降雨时滞效应差异,建立林外降雨—林内降雨—地表径流的时间维度模型等。

References:

- [1] Wang L X, Zhang Z Q. Advances in the study of ecohydrological effects from vegetation changes. *World Forestry Research*, 1998, 11(6): 14-23.
- [2] Yu X X, Zhang Z Q, Chen L H, Xie B Y, Wang L X. *Forest Ecological Hydrology*. Beijing: China Forestry Press, 2004.
- [3] Wang J Y, Yu P T, Wang Y H. *Forest Ecological Hydrological Process Research*. Beijing: Science Press, 2008.
- [4] Jetten V G. Interception of tropical rain forest: Performance of a canopy water balance model. *Hydrological Processes*, 1996, 10(5): 671-685.
- [5] Wei X H, Liu S G, Zhou G Y, Wang C. Hydrological processes in major types of Chinese forest. *Hydrological Processes*, 2005, 19(1): 63-75.
- [6] Li J. Research on the Rainfall Distribution of Different Forests in Beijing Miyun Reservoir Area [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012.
- [7] Chen L H, Yang X B, Lu S W, Sun Q Y, Xiao Y, Wang Y. Distribution of water consumption of *Pinus tabulaeformis* plantation in rocky mountain areas in northern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(S2): 182-187.
- [8] Chen S J, Chen C G, Zou B C, Zhang S X, Wang D X, Hou L. Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary *Pinus tabulaeformis* on precipitation in the Qinling Mountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(4): 1142-1150.
- [9] 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.
- [10] Wen Y G, Liu S R. Quantitative analysis of the characteristics of rainfall interception of main forest ecosystems in China. *Scientia Silvae Sinicae*, 1995, 3(4): 289-298.
- [11] Chen J F, Li X B. The impact of forest change on watershed hydrology-discussing some controversies on forest hydrology. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 474-480.
- [12] Zhang Z M, Yu X X, Niu J Z, Lu S W, Song W F, Liu X P, Zhang Y. Ecohydrological functions of litter on different forest stands. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(3): 139-143.
- [13] Chen X Q, Cui P, Wei F Q. Study of control debris flow in high-covered vegetation region. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(3): 333-339.
- [14] Wu J S, Tian L Q, Kang Z C, Zhang F Y, Liu J. *Debris Flow and Its Comprehensive Control*. Beijing: Science Press, 1993.

参考文献:

- [1] 王礼先, 张志强. 森林植被变化的水文生态效应研究进展. *世界林业研究*, 1998, 11(6): 14-23.
- [2] 余新晓, 张志强, 陈丽华, 谢宝元, 王礼先. *森林生态水文*. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [3] 王金叶, 于澎涛, 王彦辉. *森林生态水文过程研究*. 北京: 科学出版社, 2008.
- [6] 李佳. 北京密云库区水源涵养林不同林分对降雨分配过程研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [7] 陈丽华, 杨新兵, 鲁绍伟, 孙庆艳, 肖洋, 王宇. 华北土石山区油松人工林耗水分配规律. *北京林业大学学报*, 2008, 30(增刊2): 182-187.
- [8] 陈书军, 陈存根, 邹伯才, 张硕新, 王得祥, 侯琳. 秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应. *生态学报*, 2012, 32(4): 1142-1150.
- [9] 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.
- [10] 温远光, 刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析. *林业科学*, 1995, 3(4): 289-298.
- [11] 陈军锋, 李秀彬. 森林植被变化对流域水文影响的争论. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 474-480.
- [12] 张振明, 余新晓, 牛健植, 鲁绍伟, 宋维峰, 刘秀萍, 张颖. 不同林分枯落物层的水文生态功能. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 139-143.
- [13] 陈晓清, 崔鹏, 韦方强. 良好植被区泥石流防治初探. *山地学报*, 2006, 24(3): 333-339.
- [14] 吴积善, 田连权, 康志成, 张富有, 刘江. *泥石流及其综合治理*. 北京: 科学出版社, 1993.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jianet al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 彭少麟

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 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 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