

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第4期 Vol.32 No.4 **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 4 期 2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

固垦对南汇东滩湿地大型底栖动物的影响·····	马长安,徐霖林,田伟,等	(1007)
基于 ArcView-WOE 的下辽河平原地下水生态系统健康评价·····	孙才志,杨磊	(1016)
京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征·····	侯勇,高志岭,马文奇,等	(1028)
不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟·····	高照全,冯社章,张显川,等	(1037)
藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应·····	宋春桥,游松财,柯灵红,等	(1045)
祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应·····	唐振兴,何志斌,刘鹄	(1056)
祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素·····	田凤霞,赵传燕,冯兆东,等	(1066)
呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应·····	尚建勋,时忠杰,高吉喜,等	(1077)
结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程·····	马井会,顾松强,陈敏,等	(1085)
福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系·····	田丰歌,徐兆礼	(1097)
香港巨牡蛎和长牡蛎幼虫及稚贝的表型性状·····	张跃环,王昭萍,闫喜武,等	(1105)
东海原甲藻与中肋骨条藻的种间竞争特征·····	李慧,王江涛	(1115)
起始生物量比对 3 种海洋微藻种间竞争的影响·····	魏杰,赵文,杨为东,等	(1124)
不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅·····	文世勇,宋琍琍,龙华,等	(1133)
秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应·····	陈书军,陈存根,邹伯才,等	(1142)
伊犁河谷北坡垂直分布格局及其与环境的关系——一种特殊的双峰分布格局·····	田中平,庄丽,李建贵	(1151)
濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较·····	石松利,王迎春,周红兵,等	(1163)
干旱胁迫下黄土高原 4 种乡土禾草抗氧化特性·····	单长卷,韩蕊莲,梁宗锁	(1174)
施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响·····	肖逸,王兴祥,王宏伟,等	(1185)
内蒙古典型草原区芨芨草群落适生境·····	张翼飞,王炜,梁存柱,等	(1193)
盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系·····	管孝艳,王少丽,高占义,等	(1202)
黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性·····	刘春利,胡伟,贾宏福,等	(1211)
松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局·····	张春华,王宗明,居为民,等	(1220)
小麦冬性强弱评价体系的建立·····	王鹏,张春庆,陈化榜,等	(1230)
唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较·····	黎运喜,张泽钧,孙宜然,等	(1241)
西花蓟马在 6 种蔬菜寄主上的实验种群生命表·····	曹宇,鄧军锐,孔译贤	(1249)
同位素富集-稀释法研究食性转变对鱼类不同组织 N 同位素转化率的影响·····	曾庆飞,谷孝鸿,毛志刚,等	(1257)
基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别·····	许文雯,孙翔,朱晓东,等	(1264)
珠三角城市绿地 CO ₂ 通量的季节特征·····	孙春健,王春林,申双和,等	(1273)
污染场地地下水渗流场模拟与评价——以柘城县为例·····	吴以中,朱沁园,刘宁,等	(1283)
专论与综述		
湿地退化研究进展·····	韩大勇,杨永兴,杨杨,等	(1293)
绿洲农田氮素积累与淋溶研究述评·····	杨荣,苏永中,王雪峰	(1308)
问题讨论		
抗辐射菌 <i>Deinococcus radiodurans</i> 的多样性·····	屠振力,方俐晶,王家刚	(1318)
平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响·····	杨永胜,卜崇峰,高国雄	(1327)
研究简报		
祁连山典型灌丛降雨截留特征·····	刘章文,陈仁升,宋耀选,等	(1337)
野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法·····	喻梅,周守标,吴晓艳,等	(1347)



封面图说: 遗鸥群飞来——遗鸥意即“遗落之鸥”(几乎是最后才被发现的新的鸥种,因此得名)。1931年,瑞典动物学家隆伯格撰文记述在中国额济纳采到了标本。1987年,中国的鸟类学家在鄂尔多斯的桃力庙获得了一对遗鸥的标本。1990年春夏之交,发现了湖心各岛上大量的遗鸥种群。近年来的每年夏季,大约全球 90% 以上的遗鸥都会到陕西省神木县境内的沙漠淡水湖-红碱淖上聚集。遗鸥——国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201012271854

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.
Chen S J, Chen C G, Zou B C (Chris B. Zou), 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.

秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应

陈书军^{1,2}, 陈存根^{1,*}, 邹伯才³, 张硕新^{1,2}, 王得祥¹, 侯琳^{1,2}

(1. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100; 2. 陕西秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站, 宁陕 711600;

3. Department of Natural Resource Ecology and Management, Oklahoma State University, Stillwater, OK 74078, USA)

摘要: 为了研究秦岭典型地带性植物油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应, 选择陕西宁陕县秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站 55 龄天然次生油松林, 从 2006—2008 年(5—10 月份) 对林外降水、穿透降雨和树干茎流进行定位观测。利用其中 100 次实测数据进行分析研究, 结果表明: 总降雨量为 1576.4 mm, 穿透降雨量为 982.9 mm, 树干茎流量为 69.5 mm, 冠层截留量为 524.0 mm, 分别占总降雨量的 62.4%、4.4% 和 33.2%。降雨分配与降雨量级密切相关, 降雨量级增大, 穿透降雨率和茎流率呈增大趋势, 截留率呈降低趋势, 变化幅度分别为 46.6%—68.9%、0.8%—9.2%、53.4%—22.0%。穿透降雨量、树干茎流量和林冠截留量与林外降雨量之间的关系分别为: $TF=0.6548P-0.4937, R^2=0.9596$; $SF=-0.2796+0.0452P+0.0005P^2, R^2=0.8179$; $I=0.5958P^{0.8175}, R^2=0.8064$ 。降雨事件发生后, 穿透降雨和树干茎流出现的时间与降雨发生的时间并不同步, 均表现出一定的延滞性, 随着降雨量级增大, 滞后时间表现出逐渐缩短的趋势((78.5±8.8)—(16.0±0.0) min, (111.0±33.0)—(41.2±0.0) min)。降雨终止时, 特别是当降雨量>10.0 mm, 穿透降雨终止时间也存在一定的延滞性((3.2±2.6)—(12.0±0.0) min)。但树干茎流终止时间先于降雨终止时间, 降雨量级越小, 树干茎流终止时间愈早((-58.3±21.5)—(-9.8±0.0) min)。

关键词: 秦岭; 油松林; 穿透降雨; 树干茎流; 林冠截留

Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary *Pinus tabulaeformis* on precipitation in the Qinling Mountains, China

CHEN Shujun^{1,2}, CHEN Cungen^{1,*}, ZOU Bocai³, ZHANG Shuoxin^{1,2}, WANG Dexiang¹, HOU Lin^{1,2}

1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2 Qinling National Forest Ecosystem Research Station, Ningshan 711600, China

3 Department of Natural Resource Ecology and Management, Oklahoma State University, Stillwater, OK 74078, USA

Abstract: The interception of precipitation by vegetation and subsequent evaporation during and after rain events is an important component of the hydrological budget of forest ecosystems, particularly for forests in ecologically and hydrologically sensitive regions such as Qinling National Forest. This forest was incorporated into the State Natural Forest Protection Project and is managed solely for soil and water conservation. The Qinling Mountains are a major mountain range in China and are the major headwater source for one of the three routes of the South-to-North Water Transfer Project. The evergreen *Pinus tabulaeformis* is the dominant canopy species at elevations from 1400 to 1700 m. Extensive studies have been conducted to examine the canopy interception, throughfall and stemflow in *P. tabulaeformis* forest ecosystems across China, mostly in juvenile (≤ 30 years) or middle-aged (31—50 years) plantations. However, information on rainfall

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金新教师基金资助项目(20070712026); 国家林业局林业公益性行业科研专项项目(201004036); 西北农林科技大学科研专项(QN2011161, 07ZR015); 陕西秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站资助项目(2006-2010)

收稿日期: 2010-12-27; **修订日期:** 2011-07-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: csfuchen@yahoo.com.cn

partitioning in natural forests, especially near-mature stands (51—60 years), is lacking, which impedes our understanding of the hydrological ecosystem services in this region. The objective of this study was to understand rainfall partitioning characteristics and lag effects in the Qinling natural secondary *P. tabulaeformis* forest. Fifty-five-year-old stands of *P. tabulaeformis* in Ningshan, Shaanxi, were chosen and the precipitation, canopy interception, throughfall and stemflow were measured from 2006 to 2008 (recorded in 5—10 months of each year). One-hundred times complete measurement data were analyzed. Total precipitation was 1576.4 mm. Rainfall was partitioned as follows: 62.4% throughfall, 4.4% stemflow and 33.2% interception by the tree canopy. The redistribution of precipitation by the canopy was more closely related to the rainfall classes. In a single rainfall event, the higher the rainfall class, the greater the stemflow and throughfall rate and the lower the interception rate. The relationships between throughfall (*TF*), stemflow (*SF*), crown interception (*I*) and total rainfall (*P*) were described significantly by linear, quadratic and power functions, respectively ($TF = 0.6548P - 0.4937$, $R^2 = 0.9596$; $SF = -0.2796 + 0.0452P + 0.0005P^2$, $R^2 = 0.8179$; $I = 0.5958P^{0.8175}$, $R^2 = 0.8064$). Under similar rainfall conditions, the higher the rainfall intensity, the shorter the time to saturate the canopy. The timing of throughfall, stemflow and rainfall events after precipitation were not synchronous, and lag periods ranged from (78.5±8.8) min to (16.0±0.0) min and from (111.0±33.0) min to (41.2±0.0) min following precipitation for throughfall and stemflow, respectively. The time lag shortened gradually as rainfall class increased. After precipitation had ceased, especially, when the rainfall is greater than 10.0 mm, the termination of throughfall also lagged from (3.2±2.6) min to (12.0±0.0) min. However, with regard to stemflow prior to termination of rainfall, the smaller the rainfall class, the earlier termination occurred from (-58.3±21.5) min to (-9.8±0.0) min.

Key Words: Qinling; *Pinus tabulaeformis* forest; throughfall; stemflow; interception loss

随着人类对淡水需求量的不断增加,关键生态区域的重点水源涵养林保护和功能研究已成为各国政府、科学家和民众十分关注的焦点问题。森林具有净化水质、涵养水源、调节径流、保持水土,减免自然灾害等众多的生态功能。秦岭横贯我国中部,其南北分属北亚热带和暖温带,是我国南北气候区的天然分界线,长江、黄河两大水系的自然分水岭。秦岭林区总面积 484.9 万 hm^2 ,林分面积 252.4 万 hm^2 ,天然林面积达 218.8 万 hm^2 ,占林分总面积的 86.7%^[1],秦岭是“南水北调中线工程”重要的水源涵养区,同时也是我国中部地区的重要生态屏障。

油松(*Pinus tabulaeformis*)是我国温性针叶林中分布最广的森林群落,也是我国北方广大地区最主要的造林树种之一^[2-3]。其生态水文功能已有众多学者进行研究,从 19 世纪 80 年代至今,分别在河北隆化^[4]、陕西秦岭^[5]、山西太岳山^[6]、内蒙古黄土沟壑区^[7]、黄土丘陵区^[8]、黄土高原区^[9-10]、岷江上游^[11]、辽西低山丘陵区^[12]、华北土石山区^[13-14]、内蒙古半干旱石质山区^[15]、华北石质山区^[16]等不同地域,不同林龄油松林冠降水截留分配规律进行了相关研究,为深入了解油松林生态系统的生态水文功能和作用提供了大量可靠的数据。但研究林分多为林场营造的人工林,营林地比较干旱瘠薄,林龄普遍偏小,而且分布面积不大。油松在秦岭林区分布较广,是秦岭山地的顶级群落之一,为典型的地带性群落^[17]。国家自 1998 年实施封山育林政策以来,森林覆盖率逐步提高,油松群落得到较好的恢复。通过对天然次生油松林的林冠截留、穿透降雨、树干茎流量和局地小气候因子的长期定位观测,探讨在经过自然更新和恢复,生长旺盛,结构良好,处于近成熟林阶段(51—60 龄)下^[3],油松林林冠层对不同降雨事件再分配的作用规律和延滞效应。更加深入地了解油松林的水文过程和作用机制,对当前秦岭水源涵养林的保护、经营与管理提供基础理论依据。

1 研究区概况

研究地设在陕西省宁陕县境内的秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站火地沟 2 号集水区天然次生油松林综合观测场内。位于秦岭南坡中山地带中部,地处北亚热带北缘(33°18'N,108°20'E),海拔 1550—1700 m,年均气温 8—10 °C,年降水量 900—1200 mm,年蒸发量 800—950 mm,降雨多集中于 5—10 月,其降

雨量占全年降水 85% 以上。土壤为花岗岩和变质花岗岩母质的山地棕壤。坡向为西南向,坡形多变,坡度范围 20°—30°。现有森林为原生植被在 20 世纪 50、60 年代主伐后恢复起来的天然次生林,郁闭度 0.85。主要伴生树种有锐齿栎 (*Quercus aliena* var *acuteserrata*)、华山松 (*Pinus armandi*)、红桦 (*Betula albosinensis*)、漆树 (*Toxicodendron vernicifluum*)、青榨槭 (*Acer davidii*) 等。常见草本有野青茅 (*Deyeuxia sylvatica*)、青苔 (*Carex leucochlora*)、东亚唐松草 (*Thalictrum minus*) 等,镶嵌分布于林隙。油松林综合观测场面积 5000 m²,大多数油松林龄在 51—60 a 之间,具体林分特征见表 1。

表 1 秦岭油松林林分特征

Table 1 Some characteristics of *P. tabulaeformis* forest in Qinling

树龄/a Age	树高/m Mean height	平均胸径/cm DBH	冠层厚度/m Crown thickness	冠幅 (东西向)/m Crown of east-west	冠幅 (南北向)/m Crown of north-south	叶面积 指数 LAI	天空 可见度 DIFN	坡度/(°) Slope degree	坡向 Slope aspect
41—50	17.3±3.5	16.4±2.3	6.2±2.3	3.8±1.4	3.9±1.1				
51—60	23.4±3.0	23.6±1.9	8.5±3.4	3.6±1.9	4.1±1.8	2.07±0.31	0.21±0.04	20—30	SW
61—70	26.5±3.5	32.3±1.8	11.7±2.4	3.6±1.8	4.1±1.4				

由陕西秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站提供

2 研究方法

2.1 林外降雨(*P*)测定

在距油松林样地 500 m 的林外,安装自动气象站(UT30 Weather Station,美国),通过 CR1000 数据采集器测定和记录林外降雨量和降雨过程。

2.2 穿透降雨(*TF*)测定

在林分内选择郁闭度适中的位置 5 处,距树干 0.5 m 起沿等高线向外安置直径 20 cm,长 4 m 的 U 型收集器,收集器距地面 1m 高。相当于以树干为中心,沿同心圆布设多个雨量筒,有利于收集林冠下不同位置处的穿透降雨。雨水收集器再与翻斗式流量计(6506H,澳大利亚)和 HOBO 事件记录器相连,自动记录穿透降雨量和具体产生过程。

穿透降雨量根据下列公式计算:

$$TF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TF_i / FA_i \quad (1)$$

式中,*TF* 为研究地单位面积平均穿透降雨量(mm),*n* 为林内 U 型收集器重复数(*n*=5),*TF_i* 为每次降雨第 *i* 个林内收集器穿透降雨量(mm³),*FA_i* 为第 *i* 个收集器面积(mm²)。

2.3 树干茎流(*SF*)测定

选择林分分布均匀,林冠枝叶结构能代表平均林冠的样木 12 株,每株用直径 2 cm 聚乙烯塑料管从胸径处,由上往下蛇形缠绕于树干上,用玻璃胶粘牢,沿管内侧削 4 cm 长,0.8 cm 宽的剖面,每圈 2—4 处,使茎流可顺剖面导入管内,管基部连接集水器收集茎流,再与翻斗式流量计(6506G,澳大利亚)和 HOBO 事件记录器相连,自动记录树干茎流量和具体产生过程。

树干茎流量根据下列公式计算:

$$SF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SF_i / FA_i \quad (2)$$

式中,*SF* 为研究地单位面积平均树干茎流量(mm),*n* 为观测林木的个数(*n*=12),*SF_i* 为每次降雨第 *i* 棵树的树干茎流量(mm³),*FA_i* 为第 *i* 棵树林冠投影面积(mm²)。

2.4 林冠截留量(*I*)

$$I = P - (TF + SF) \quad (3)$$

式中,*I* 为林冠截留量(mm),*P* 为林外降雨量(mm),*TF* 为穿透降雨量(mm),*SF* 为树干茎流量(mm),忽略降

雨过程中的蒸发量。

3 结果与分析

3.1 林冠层对降雨的再分配

本观测期年均降雨量(933.5±196.8) mm,其中5—10月降雨量占全年降雨88%以上。选择(2006—2008年,5—10月份)其中100次有效的完整降雨事件进行分析。由表2可知,降雨总量为1576.4 mm,通过林冠层后降雨被重新分配,其中穿透降雨量982.9 mm,树干茎流量69.5 mm,冠层截留量524.0 mm,分别占总降雨量的62.4%、4.4%和33.2%。根据降雨量大小将100场降雨过程划分为6个降雨级别,发生频率最高的降雨量级是<5 mm,达31次,但占总降雨量比重最低,仅为5.6%。降雨量级为25—50 mm的降雨事件发生14次,但此降雨量级的降雨量、穿透降雨量和截留量占总降雨量、总穿透降雨和总截留量比重最高,分别为29.9%、30.7%和27.8%。

3.1.1 穿透降雨与林外降雨关系

降雨量级对林冠穿透降雨量会产生直接的影响,降雨量级不同,降雨的透过率也随之发生相应的变化。基本趋势为降雨透过率随降雨量级的增大而增大。从降雨量级<5 mm时的46.6%,上升到降雨量级≥100 mm时的68.9%,几乎增长了近1.5倍(表2)。根据实测数据分析表明,穿透降雨和林外降雨关系呈LINEAR函数关系(图1),拟合方程为:

$$TF = 0.6548P - 0.4937 \quad (n = 100, R^2 = 0.9596) \quad (4)$$

式中,TF为穿透降雨量(mm),P为降雨量(mm)。

表2 秦岭油松天然次生林不同降雨量级降雨再分配

Table 2 Redistribution of different class of precipitation in *P. tabulaeformis* forest

降雨量级 Rainfall class /mm	次数 Times	林外降雨 R Rainfall /mm	穿透降雨 TF Throughfall		树干茎流 SF Stemflow		截留 I Interception	
			/mm	/%	/mm	/%	/mm	/%
<5	31	88.8	41.4	46.6	0.0	0.0	47.4	53.4
5—10	25	182.5	105.8	57.9	1.5	0.8	75.2	41.2
10—25	23	355.4	226.2	63.6	7.7	2.2	121.5	34.2
25—50	14	471.1	301.3	64.0	24.4	5.2	145.5	30.9
50—100	6	374	236.3	63.2	26.3	7.0	111.4	29.8
≥100	1	104.6	72.1	68.9	9.6	9.2	23.0	22.0
合计 Total	100	1576.4	982.9	62.4	69.5	4.4	524.0	33.2

3.1.2 树干茎流与林外降雨关系

树干茎流观测表明(表2),在降雨量级为5—10时,开始出现茎流,此后茎流率随着降雨量级增大而增大,变化幅度为0.8%—9.2%。在100次降雨事件中产生树干茎流的事件为45次,树干茎流与次降雨的关系通过曲线拟合,进行分析和比较,树干茎流量与林外降雨量的关系呈QUADRATIC函数关系(图2),拟合方程为:

$$SF = 0.2796 + 0.0452P + 0.0005P^2 \quad (n = 45, R^2 = 0.8179) \quad (5)$$

式中,SF为林内穿透水量(mm),P为林外降雨量(mm)。

3.1.3 林冠截留与林外降雨关系

大气降雨通过冠层后,部分降水会被林冠层截留。林冠总截留率为33.2%,在不同的降雨量级中,林冠截留率变化幅度为53.4%—22.0%,林冠截留率随降雨量级的增大而减小,减缓的幅度也随降雨量级的增大而逐渐降低(表2)。林冠截留与次降雨的关系通过曲线拟合的比较,POWER函数模拟林冠截留量和林外降雨量之间的关系效果最佳(图3),拟合方程为:

$$I = 0.5958P^{0.8175} \quad (n = 100, R^2 = 0.8064) \quad (6)$$

式中, I 为林冠截留量(mm), P 为林外降雨量(mm)。

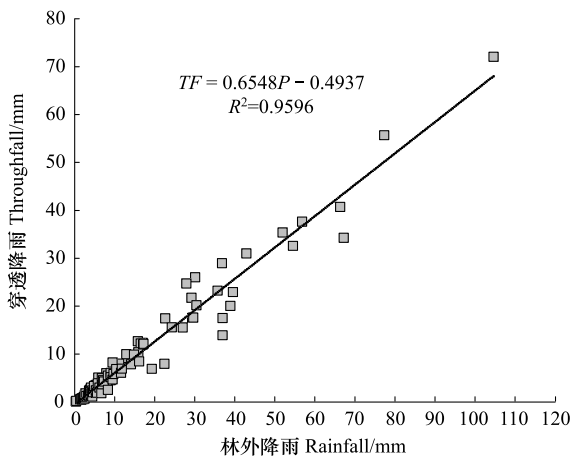


图1 油松林穿透降雨与林外降雨的关系

Fig. 1 The relationship between throughfall and rainfall

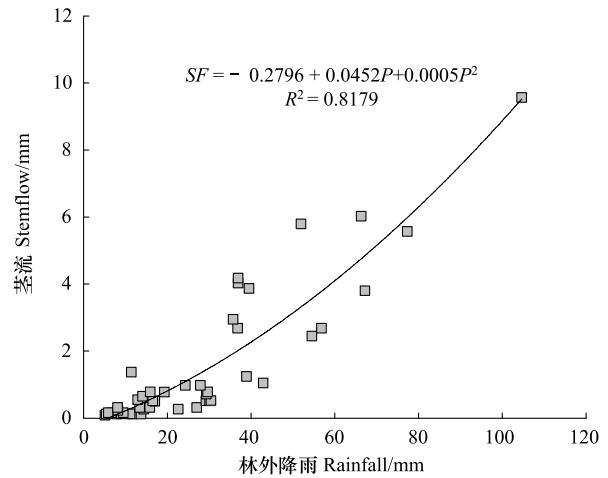


图2 油松林树干茎流与林外降雨的关系

Fig. 2 The relationship between stemflow and rainfall

3.2 林冠层对降雨输入的延滞效应

当单次降雨事件发生后,穿透降雨和树干茎流出现的时间与降雨产生的时间并不同步。如表3所示,降雨量级为 <5 mm时,穿透降雨在降雨事件发生(78.5 ± 8.8) min后才被观测到,降雨量级 ≥ 100 mm,仅需(16.0 ± 0.0) min,两者相差近5倍,但都表现出一定的延滞性。而且随着降雨量级增大,滞后时间表现出逐渐缩短的趋势。降雨停止时,穿透降雨终止时间也表现出一定的延滞性。降雨量 <10.0 mm时,穿透降雨终止先于降雨终止的时间;降雨量 >10.0 mm时,逐渐出现延滞性,特别是降雨量级较大时,这种效应会更明显,从(3.2 ± 2.6) min(降雨量级10—25 mm)到(12.0 ± 0.0) min(降雨量级 ≥ 100 mm)。

只有当大气降雨达到一定量后,才会产生茎流。相对于穿透降雨,茎流出现的时间更滞后,几乎是穿透降雨所需时间的2倍。茎流产生的滞后时间随降雨量级的增大显著缩短,从降雨量级5—10 mm时的(111.0 ± 33.0) min,减小到降雨量级 ≥ 100 mm时的(41.2 ± 0.0) min。茎流终止时间表现为先于大气降雨终止时间,一旦降雨变小,水量不能保证,茎流就会很快终止。如表3所示,当降雨量级为 ≥ 100 mm时,茎流终止时间先于大气降雨终止时间(9.8 ± 0.0) min,降雨量级为5—10 mm时,为(58.3 ± 21.5) min,降雨量级越小,茎流终止时间越早。

4 结论与讨论

林冠对降水的再分配是一个复杂的过程,受林分特性,如树种、林冠结构、树龄、林冠厚度等^[18-21]以及降雨和气象因素,如降雨量、降雨强度、降雨历时、温湿度、风、雨前干燥期和雨前枝叶湿度等的综合影响^[22-25]。可对局地或整个集水区的水分循环产生重要的影响^[26]。

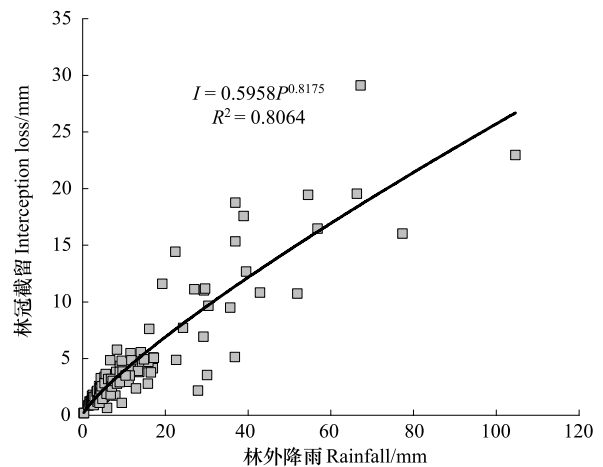


图3 油松林林冠截留与林外降雨的关系

Fig. 3 The relationship between canopy interception loss and rainfall

表 3 油松林在不同降雨量级输入条件下穿透降雨和树干茎流出现和终止的滞后时间

Table 3 Time lag of appearing and termination time of the Throughfall and Stemflow at different rainfall class in *P. tabulaeformis* forest

降雨量级 Rainfall class/mm	穿透降雨出现的滞后时间 Time lag of throughfall/min	降雨与穿透降雨 终止的时间差 Difference/min	树干茎流出现的滞后时间 Time lag of stemflow/min	降雨与树干茎流 终止的时间差 Difference/min
<5	78.5±8.8	-12.9±3.4	0.0±0.0	0.0±0.0
5—10	57.2±9.6	-5.7±3.3	111.0±33.0	-58.3±21.5
10—25	53.4±4.4	3.2±2.6	100.2±13.1	-43.3±16.8
25—50	43.8±4.3	6.9±1.9	74.3±13.9	-21.6±13.2
50—100	32.5±6.1	10.3±1.7	66.5±5.3	-25.7±18.2
≥100	16.0±0.0	12.0±0.0	41.2±0.0	-9.8±0.0

研究期间 100 次有效的完整降雨事件,总降雨量为 1576.4 mm,通过林冠层后降雨被重新分配,其中穿透降雨量 982.9 mm,占总降雨量的 62.4%。不同降雨量级,穿透降雨率的变化幅度为 46.6%—68.9%,基本趋势为降雨透过率随降雨量级的增大而增大。我国不同研究区域油松林穿透降雨率为 54.62%—82.18% (表 4),本研究穿透降雨率与以内蒙古东部地区油松人工林带人工林的基本相当(62.8%)^[7],与以往研究结果比较,相对偏小,显著低于党坤良等^[6]在同一研究区域 1987—1988 年的测定结果(79.77%),表明穿透降雨率随着林龄增长,冠层厚度加深、冠幅增大和叶量增多,穿透降雨率逐渐变小。穿透降雨量与林外降雨量呈明显的线性关系,与陈丽华等^[14]和胡珊珊等^[16]的研究结果一致。

表 4 已发表的不同研究地油松林冠截留率、穿透降雨率和树干茎流率的观测值

Table 4 Review of measured values of the interception loss, throughfall and stemflow for *P. tabulaeformis* from different study sites in China

研究地点 Location	年平均 降水量/mm Annual precipitation	林龄/a Stand age	树高/m Height	穿透 降雨率/% TF%	茎流率/% SF%	截留率/% I%	研究时间 Study time	来源 Sources
秦岭,陕西	933.5±196.8	55	23.6±1.9	62.4	4.4	33.2	2006—2008	本研究
秦岭,陕西	900—1200	31	10	79.77	0.04	20.19	1987—1988	[5]
太岳山,山西	757.8	34	11.94	82.0	2.1	15.9	1992—1993	[6]
赤峰,内蒙古	360	18	4	62.8	4.9	32.3	1989—1993	[7]
宜川,陕西	574.4	34	11	71.6	3.3	25.1	1995—2000	[10]
茂县,四川	945.3	23	6.43	54.62	8.41	36.97	2002—2003	[11]
大凌河流域,辽宁	450—580	28	4.7	73.55	3.37	23.08	2002—2004	[12]
密云,北京	669	33	7.1	67.65	0.68	31.67	2004—2006	[13]
密云县城北山区,北京	669	—	7.1	64.4	0.55	25.4	—	[14]
呼和浩特,内蒙古	400	30	4.59	65.83	1.13	33.04	2006—2006	[15]
易县,河北	641.2	50	5—6	82.18	1.07	16.75	2005—2008	[16]

树干茎流量和出现时间,因植物种类和降雨量而异^[27]。本研究中出现 45 次树干茎流的降雨事件,茎流总量为 69.5 mm,占总降雨量的 4.4%。树干茎流以“点”的形式向林地输入,虽然树干基面积相对于林地面积所占比重较低,与林内穿透降雨相比贡献较小^[28],但茎流中水溶性养分离子浓度高,且直接输入到树干基部附近^[29],并沿着根的生长方向直接进入土壤^[30],对加速植物生长和促进养分循环发挥着重要的作用^[31]。降雨量级是影响茎流量的主导因子,不同降雨量级,茎流率的变化幅度为 0.8%—9.2%,随着降雨量级的增大呈递增趋势,与范世香等^[32]和夏体渊等^[33]的研究结论相似。根据回归方程推断,降水量≥5.9 mm,树干茎流开始为正值,实测数据为降雨量级在 5—10 mm 时,开始出现茎流相仿。植物种类不同,茎流率差别很大,但大多数研究认为,林木的树干茎流量通常较少,占降雨量的比值一般≤5%,很少超过 10%^[34-35]。本研究茎流率为 4.4%,处于此范围之内。树干茎流除受降雨量、降雨强度、降雨历时和冠层特征的影响外,同时还受树

干的粗细、树体表面的粗糙度、干燥度和直立程度等影响^[24]。通过对本研究 and 已往研究结果的分析,发现树干茎流率的变化规律性不明显,与林龄、树高等的相关性不强。

本研究林冠总截留率为 33.2%,不同降雨量级,林冠截留率的变化幅度为 53.4%—22.0%,林冠截留量随着降雨量而增加,两者呈幂函数关系,与岷江上游油松林^[11],中亚热带樟树林^[36]等对降水的截留分配规律相似。针叶林林冠截留率通常在 20%—48% 之间^[35],相同生境条件下,针叶林林冠截留率一般较阔叶林高^[37]。由表 4 可见,我国不同研究区域油松林冠层截留率在 15.9%—36.97% 之间,本研究截留率虽然在 20%—48% 的范围内,但与我国其它区域油松林研究结论相比,截留率相对较高,明显超出同一研究区域党坤良等^[6]报道的 31 龄油松截留率(20.19%)。主要原因可能是,本研究林分为天然次生林,林龄 51—60 龄,已达近成熟林阶段,树高、冠幅和冠层厚度均较其它研究林分大,林木生长旺盛,林分连片生长,着生地地形复杂等原因会部分削弱一些局地气象因素的影响,导致截留率相对较高。仅从森林对降雨截留有效性方面而言,随着林分越来越成熟,林冠截留能力会不断加强。但林冠所截留的降雨最终将被消耗于蒸发,实质会减少林地地表的实际雨量和土壤水分的有效补充,是雨水资源的无益损失。

降雨经林冠向下传递,进入林内,最终落入土壤的整个过程中,从接触到林冠起,林冠就会对降雨产生再分配作用,同时表现出穿透降雨和树干茎流与降雨事件发生和终止时间上的不一致性。通过 3 年的野外实测,发现降雨事件发生时降雨强度的变化总是呈现从小变大再减缓的规律。降雨事件开始发生时,降雨强度相对较小,林冠和枝叶表面比较干燥,雨滴从上向下穿透林冠过程中,如果碰到枝叶,很容易被吸附、阻挡和截持,除部分雨滴直接从林冠间隙穿过,前期大量雨滴将会被林冠阻挡或截持。林外降雨与林内降雨的产生在时间会出现明显的差异,从而产生对降雨输入的延滞效应。陈丽华等^[14]对华北土石山区油松人工林研究也存在相似规律。降雨量级越小,林内雨出现时间越迟,随着降雨量级增大,林冠从干燥到湿润的过程所需时间变短,林内雨出现时间相应变短。如降雨量级 <5 mm 时,穿透降雨在降雨事件发生(78.5±8.8) min 后才被观测到;降雨量级 ≥100 mm 时,仅需(16.0±0.0) min,两者相差近 5 倍。降雨量 >10.0 mm 时,穿透降雨终止时间逐渐表现出延滞性,降雨量级越大越明显,从(3.2±2.6) min(降雨量级 10—25 mm)到(12.0±0.00) min(降雨量级 ≥100 mm)。由于森林对降雨存在延滞效应,可适度迟缓林外大气降雨到达林内的时间,延迟地表径流的产生,从而对削减洪峰,减少水土流失、泥石流和滑坡等地质灾害产生一定的积极作用^[38]。

树干茎流的滞后效应更为明显,几乎是穿透降雨所需时间的 2 倍。主要是由于只有当大气降雨达到一定量后,除林冠枝叶外,树皮本身吸附的水分也达到饱和后,雨水才会沿着树干向下传递,产生茎流。滞后时间随着降雨量级的增大显著缩短,不同降雨量级,滞后时间的变化幅度为(111.0±33.0)—(41.2±0.0) min。Owens 等^[27]研究表明,降雨强度较大时,降雨 1 h 后出现茎流,与本研究结果相似。同时认为降雨终止后,茎流会延迟一个小时,与本研究结论有一定差别。本研究的观测结果为,茎流终止时间表现为先于大气降雨终止时间,如降雨量级 ≥100 mm 时,茎流终止时间先于大气降雨终止时间(9.8±0.0) min,降雨量级 5—10 mm 时,为(58.3±21.5) min,明显的表现出降雨量级越小,茎流终止时间愈早的趋势。可能原因是成年油松树皮较厚,平均厚度 2.5 cm,多孔柔软且开裂,吸水能力较强,从林冠到树干再到树基,有较长的传输距离,在此过程中不仅存在着树皮、树干的吸附,同时还会产生一定量的蒸发^[39-41]。只有水量达到一定程度,雨水才可汇流向,降雨一旦变小,水量不能保证,茎流便相应终止。

References:

- [1] Han F L. The significance of forest resources conservation in Qinling Mountainous area as well as sustained management and utilization. *Shannxi Forest Science and Technology*, 2006, (4): 69-72.
- [2] Wu G, Feng Z W. Study on the social characteristics and biomass of the *Pinus tabulaeformis* forest systems in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(4): 415-422.
- [3] Luo T X, Li W H, Zhao S D. Productivity distribution patterns and modeling of *Pinus tabulaeformis* forest in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(3): 257-261.
- [4] Dong S R, Guo J T, Man R Z. Throughfall, stemflow and canopy interception in a *pinus tabulaeformis* plantation of north China. *Journal of Beijing*

- Forestry University, 1987, 9(1): 58-68.
- [5] Dang K L, Lei R D. Water-source conservation and regulating efficacy of different forests at Huoditang Forest Region in the Qinling Mountains. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1995, 1(1): 79-84.
- [6] 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): 22-26.
- [7] Zhao H Y, Zhu J W, Wang W H. Effects of rainfall interception of *Pinus tabulaeformis* in semi-arid area. *Journal of Northeast Forestry University*, 1997, 25(6): 66-70.
- [8] Wei T X, Yu X X, Zhu J Z. Litter interception of forests in southwestern Shanxi Province. *Journal of Beijing Forestry University*, 1998, 20(6): 1-6.
- [9] 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.
- [10] Zhao H Y, Wu Q X, Liu G B. Studies on hydro-ecological effects of artificial Chinese pine stand in Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 376-379.
- [11] Bao W, Bao W K, He B H, Ding D R. Redistribution effects of tree canopy of the artificial *Pinus tabulaeformis* forest on precipitation in the upper stream of Minjiang River. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 26(5): 10-16.
- [12] Wei J, Wu G. Hydro-ecological effects of artificial *Pinus tabulaeformis* carr. and *Hippophae rhamnoides* stands in low mountainous upland of western Liaoning Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2087-2092.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Sharentuya, 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.
- [16] Hu S S, Yu J J, Hu K, Jin M. Impacts of Chinese Pine (*Pinus Tabulaeformis*) plantations on rainfall redistribution processes; a case study for the mountainous area of North China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1751-1757.
- [17] Jing L, Zhu Z H, Wang X A, Guo H. Community characteristics of a *Pinus tabulaeformis* secondary forest and a planted forest in the Xunyangba Region of the Qinling Mountains. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2008, 25(6): 711-717.
- [18] Asdak C, Jarvis P G, van Gardingen P, Fraser A. Rainfall interception loss in unlogged and logged forest areas of Central Kalimantan, Indonesia. *Journal of Hydrology*, 1998, 206(3/4): 237-244.
- [19] Chappell N A, Bidin K, Tych W. Modelling rainfall and canopy controls on net-precipitation beneath selectively-logged tropical forest. *Plant Ecology*, 2001, 153(1/2): 215-229.
- [20] Loescher H W, Powers J S, Oberbauer S F. Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 2002, 18(3): 397-407.
- [21] Germer S, Elsenbeer H, Moraes J M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). *Hydrology and Earth System Sciences*, 2006, 10(3): 383-393.
- [22] Rutter A J, Morton A J. A predictive model of rainfall interception in forests. III. Sensitivity of model to stand parameters and meteorological variables. *Journal of Applied Ecology*, 1977, 14(2): 567-588.
- [23] Gash J H C. An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1979, 105(443): 43-55.
- [24] Crockford R H, Richardson D P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*, 2000, 14(16/17): 2903-2920.
- [25] Xiao Q F, McPherson E G, Ustin S L, Grismer M E, Simpson J R. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes*, 2000, 14(4): 763-784.
- [26] Savenije H H G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. *Hydrological Processes*, 2004, 18(8): 1507-1511.
- [27] Owens M K, Lyons R K, Alejandro C L. Rainfall partitioning within semiarid juniper communities: effects of event size and canopy cover. *Hydrological Processes*, 2006, 20(15): 3179-3189.
- [28] Manfroi O J, Koichiro K, Nobuaki T, Masakazu S, Nakagawa M, Nakashizuka T, Chong L. The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest. *Hydrological Processes*, 2004, 18(13): 2455-2474.
- [29] Park G G. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research*, 1983, 13: 57-134.
- [30] Martinez M E, Whitford W G. Stemflow, throughfall and channelization of stem-flow by roots in three Chihuahuan desert shrubs. *Journal of Arid Environments*, 1996, 32(3): 271-281.
- [31] Ma X H. Effects of rainfall on the nutrient cycling in man-made forests of *Cunninghamia Lanceolata* and *Pinus Massoniana*. *Acta Ecologica Sinica*, 1989, 9(1): 15-20.

- [32] Fan S X, Pei T F, Jiang D M, Cao C Y, Alamus. Rainfall interception capacity of forest canopy between two different stands. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(5): 671-674.
- [33] Xia T Y, Wu J Y, Duan C Q, Da L J, Duan Z Y. Canopy rainfall redistribution of three forest vegetation types in Mid-Yunnan. *Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition*, 2009, 31(1): 97-102.
- [34] Iida S, Tanaka T, Sugita M. Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. *Journal of Hydrology*, 2005, 315(1/4): 154-166.
- [35] Carlyle-Moses D E. Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid sierra madre oriental matorral community. *Journal of Arid Environments*, 2004, 58(2): 180-201.
- [36] Yan W D, Chen S J, Tian D L, Kang W X. Contribution of *Cinnamomum Camphora* (L.) Presl plantation to precipitation redistribution. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2005, 25(6): 10-13.
- [37] Silva I C, Rodriguez H G. Interception loss, throughfall and stemflow chemistry in pine and oak forests in northeastern Mexico. *Tree Physiology*, 2001, 21(12/13): 1009-1013.
- [38] Wei X, Liu S, Zhou G, Wang C. Hydrological processes in major types of Chinese forest. *Hydrological Processes*, 2005, 19(1): 63-75.
- [39] Herwitz S R, Levia D F Jr. Mid-winter stemflow drainage from bigtooth aspen (*Populus grandidentata* Michx.) in central Massachusetts. *Hydrological Processes*, 1997, 11(2): 69-175.
- [40] Pypker T G, Bond B J, Link T E, Marks D, Unsworth M H. The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 130(1/2): 113-129.
- [41] Xue J H, Hao Q L, Wu Y B, Liu X L. Relationship among canopy interception, throughfall and precipitation in three types of subalpine forest communities. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2008, 32(3): 9-13.

参考文献:

- [1] 韩福利. 秦岭林区森林资源保护的意義和可持續經營利用. *陝西林業科技*, 2006, (4): 69-72.
- [2] 吳剛, 馮宗煒. 中國油松林群落特征及生物量的研究. *生態學報*, 1994, 14(4): 415-422.
- [3] 羅天祥, 李文華, 趙士洞. 中國油松林生產力格局與模擬. *應用生態學報*, 1999, 10(3): 257-261.
- [4] 董世仁, 郭景唐, 滿榮洲. 華北油松人工林的透流、干流和樹冠截留. *北京林業大學學報*, 1987, 9(1): 58-68.
- [5] 黨坤良, 雷瑞德. 秦嶺火地塘林區不同林分水源涵養效能的研究. *土壤侵蝕與水土保持學報*, 1995, 1(1): 79-84.
- [6] 曾杰, 郭景唐. 太岳山油松人工林生態系統降雨的第一次分配. *北京林業大學學報*, 1997, 19(3): 22-26.
- [7] 趙煥胤, 朱勁偉, 王維華. 半干旱地区油松人工林带降水截留作用分析. *东北林業大學學報*, 1997, 25(6): 67-70.
- [8] 魏天興, 余新曉, 朱金兆. 山西西南部黃土區林地枯落物截持降水的研究. *北京林業大學學報*, 1998, 20(6): 1-6.
- [9] 趙鴻雁, 吳欽孝. 黃土高原人工油松林林冠截留動態過程研究. *生態學雜誌*, 2002, 21(6): 20-23.
- [10] 趙鴻雁, 吳欽孝, 劉國彬. 黃土高原人工油松林水文生態效應. *生態學報*, 2003, 23(2): 376-379.
- [11] 鮑文, 包維楷, 何丙輝, 丁德蓉. 岷江上游油松人工林對降水的截留分配效應. *北京林業大學學報*, 2004, 26(5): 10-16.
- [12] 魏晶, 吳鋼. 遼西低山丘陵區人工油松林和沙棘林的水文生態效應. *生態學報*, 2006, 26(7): 2087-2092.
- [13] 肖洋, 陳麗華, 余新曉, 楊新兵, 孫慶艷. 北京密云水庫油松人工林對降水分配的影響. *水土保持學報*, 2007, 21(3): 154-157.
- [14] 陳麗華, 楊新兵, 魯紹偉, 孫慶艷, 肖洋, 王宇. 華北土石山區油松人工林耗水分配規律. *北京林業大學學報*, 2008, 30(增刊2): 182-187.
- [15] 莎仁雅雅, 田有亮, 郭連生. 大青山區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.
- [16] 胡珊珊, 于静洁, 胡堃, 金明. 華北石質山區油松林對降水再分配過程的影響. *生態學報*, 2010, 30(7): 1751-1757.
- [17] 景麗, 朱志紅, 王孝安, 郭華. 秦嶺油松人工林與次生林群落特征比較. *浙江林學院學報*, 2008, 25(6): 711-717.
- [31] 馬雪華. 在杉木林和馬尾松林中雨水的養分淋溶作用. *生態學報*, 1989, 9(1): 15-20.
- [32] 范世香, 裴鐵番, 蔣德明, 曹成有, 阿拉木薩. 兩種不同林分截留能力的比較研究. *應用生態學報*, 2000, 11(5): 671-674.
- [33] 夏體淵, 吳家勇, 段昌群, 達良俊, 段宗顏. 滇中3種林冠層對降雨的再分配作用. *雲南大學學報: 自然科學版*, 2009, 31(1): 97-102.
- [36] 閻文德, 陳書軍, 田大倫, 康文星. 樟樹人工林冠層對大氣降水再分配規律的影響研究. *水土保持通報*, 2005, 25(6): 10-13.
- [41] 薛建輝, 郝奇林, 吳永波, 劉興良. 3種亞高山森林群落林冠截留量及穿透雨量與降雨量的關係. *南京林業大學學報: 自然科學版*, 2008, 32(3): 9-13.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 4 February, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat MA Changan, XU Linlin, TIAN Wei, et al (1007)

Ecological health assessment of groundwater in the lower Liaohe River Plain using an ArcView-WOE technique SUN Caizhi, YANG Lei (1016)

Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing HOU Yong, GAO Zhiling, MA Wenqi, et al (1028)

The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy GAO Zhaoquan, FENG Shezhang, ZHANG Xianchuan, et al (1037)

Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes SONG Chunqiao, YOU Songcai, KE Linghong, et al (1045)

Soil moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to meteorological factors TANG Zhenxing, HE Zhibin, LIU Hu (1056)

Eco-hydrological effects of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) canopy and its influence factors in the Qilian Mountains TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (1066)

Response of tree-ring width of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate change in Hulunbuir sand land, China SHANG Jianxun, SHI Zhongjie, GAO Jixi, et al (1077)

Analysis of a dust case using lidar in Shanghai MA Jinghui, GU Songqiang, CHEN Min, et al (1085)

Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses TIAN Fengge, XU Zhaoli (1097)

Phenotypic traits of both larvae and juvenile *Crasstrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (1105)

Inter-specific competition between *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* LI Hui, WANG Jiangtao (1115)

Effects of initial biomass ratio on the interspecific competition outcome between three marine microalgae species WEI Jie, ZHAO Wen, YANG Weidong, et al (1124)

On the ecological amplitude of nitrate of *Alexandrium tamarense* at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures WEN Shiyong, SONG Lili, LONG Hua, et al (1133)

Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary *Pinus tabulaeformis* on precipitation in the Qinling Mountains, China CHEN Shujun, CHEN Cungen, ZOU Bocai, et al (1142)

The vertical distribution of vegetation patterns and its relationship with environment factors at the northern slope of Ili River Valley: a bimodal distribution pattern TIAN Zhongping, ZHUANG Li, LI Jianguo (1151)

Comparative analysis of water related parameters and photosynthetic characteristics in the endangered plant *Tetraena mongolica* Maxim. and the closely related *Zygophyllum xanthoxylon* (Bunge) Maxim. SHI Songli, WANG Yingchun, ZHOU Hongbing, et al (1163)

Antioxidant properties of four native grasses in Loess Plateau under drought stress SHAN Changjuan, HAN Ruilian, LIANG Zongsuo (1174)

The effects of the addition of *Ceratobasidium stevensii* B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped water-melon (*Citrullus lanatus*) site in China XIAO Yi, WANG Xingxiang, WANG Hongwei, et al (1185)

Suitable habitat for the *Achnatherum splendens* community in typical steppe region of Inner Mongolia ZHANG Yifei, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1193)

Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district GUAN Xiaoyan, WANG Shaoli, GAO Zhanyi, et al (1202)

Spatial heterogeneity of soil saturated hydraulic conductivity on a slope of the wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau LIU Chunli, HU Wei, JIA Hongfu, et al (1211)

Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt ZHANG Chunhua, WANG Zongming, JU Weimin, et al (1220)

The evaluation system of strength of winteriness in wheat WANG Peng, ZHANG Chunqing, CHEN Huabang, et al (1230)

A comparison of summer habitats selected by sympatric *Apodemus chevrieri* and *Apodemus draco* in Tiangjiahe Nature Reserve, China LI Yunxi, ZHANG Zejun, SUN Yiran, et al (1241)

Life tables for experimental populations of *Frankliniella occidentalis* on 6 vegetable host plants CAO Yu, ZHI Junrui, KONG Yixian (1249)

Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment-dilution approach ZENG Qingfei, GU Xiaohong, MAO Zhigang, et al (1257)

Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: A case study of urban district of Nanjing XU Wenwen, SUN Xiang, ZHU Xiaodong, et al (1264)

Seasonal characteristics of CO₂ fluxes above urban green space in the Pearl River Delta, China SUN Chunjian, WANG Chunlin, SHEN Shuanghe, et al (1273)

Simulation and evaluation of groundwater seepage in contaminated sites: case study of TuoCheng County WU Yizhong, ZHU Qinyuan, LIU Ning, LU Genfa, DAI Mingzhoet al (1283)

Review and Monograph

Recent advances in wetland degradation research HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, LI Ke (1293)

A review concerning nitrogen accumulation and leaching in agro-ecosystems of oasis YANG Rong, SU Yongzhong, WANG Xuefeng (1308)

Discussion

The diversity of the radio-resistant bacteria *Deinococcus radiodurans* TU Zhenli, FANG Lijing, WANG Jiagang (1318)

Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of *Caragana korshinskii* YANG Yongsheng, BU Chongfeng, GAO Guoxiong (1327)

Scientific Note

Characteristics of rainfall interception for four typical shrubs in Qilian Mountain LIU Zhangwen, CHEN Rensheng, SONG Yaoxuan, et al (1337)

Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild *Cryptotaenia japonica* YU Mei, ZHOU Shoubiao, WU Xiaoyan, et al (1347)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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)

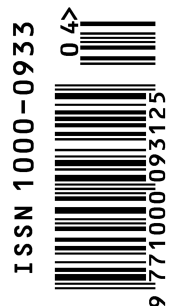
第 32 卷 第 4 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 4 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:100071	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:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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