ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报
Acta Ecologica Sinica

第33卷 第4期 Vol.33 No.4 2013

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 4 期　　2013 年 2 月　（半月刊）

目　　次

前沿理论与学科综述

森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 …… 王晓学，沈会涛，李叙勇，等（1019）

植物叶片水稳定同位素研究进展 …… 罗　伦，余武生，万诗敏，等（1031）

城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 …… 陈利顶，孙然好，刘海莲（1042）

城市生物多样性分布格局研究进展 …… 毛齐正，马克明，邬建国，等（1051）

基于福祉视角的生态补偿研究 …… 李惠梅，张安录（1065）

个体与基础生态

土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 …… 雷　垚，郝志鹏，陈保冬（1071）

干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 …… 叶佳舒，李　涛，胡亚军，等（1080）

转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 … 陈国华，弭宝彬，李　莹，等（1091）

北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 …… 万五星，夏亚军，张红星，等（1098）

茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 …… 周佳宇，贾　永，王宏伟，等（1106）

低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 …… 夏诗洋，孟玲，李保平（1118）

六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 …… 刘金龙，荆小院，杨美红，等（1126）

氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 …… 米　智，阮成龙，李姣蓉，等（1134）

不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 …… 梁俊平，李　健，李吉涛，等（1142）

种群、群落和生态系统

生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 …… 吕一河，马志敏，傅伯杰，等（1153）

不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例 ……
…… 崔天翔，宫兆宁，赵文吉，等（1160）

基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例 ……
…… 林　川，宫兆宁，赵文吉，等（1172）

浮游植物群落对海南小水电建设的响应 …… 林彰文，林　生，顾继光，等（1186）

菹草种群内外水质日变化 …… 王锦旗，郑有飞，王国祥（1195）

南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 …… 王　芸，欧阳志云，郑　华，等（1204）

人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 …… 胡会峰，刘国华（1212）

不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 …… 李晓炜，赵　刚，于秀波，等（1219）

景观、区域和全球生态

快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 …… 杨青生，乔纪纲，艾　彬（1230）

海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例 ……
…… 唐得昊，邹欣庆，刘兴健（1240）

干湿交替频率对不同土壤 CO_2 和 N_2O 释放的影响 …… 欧阳扬，李叙勇（1251）

西部地区低碳竞争力评价…… 金小琴,杜受祜 (1260)
基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 …… 郑　鹏,林　韵,潘文斌,等 (1268)
基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 …… 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)
长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系…… 陈　列,高露双,张　赟,等 (1285)
资源与产业生态
河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 …… 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)
施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响…… 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)
耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响…… 庞　绪,何文清,严昌荣,等 (1308)
基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 …… 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)
学术争鸣
基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 …… 张智光 (1326)
中国生态学学会 2013 年学术年会征稿须知 …… (Ⅰ)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02

封面图说:石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

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/stxb201209241347
柴汝杉,蔡体久,满秀玲, 王贺, 关俊祺. 基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程. 生态学报,2013,33(4):1276-1284.
Chai R S, Cai T J, Man X L; Wang H, Guan J Q. Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model. Acta Ecologica Sinica,2013,33(4):1276-1284.

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程

柴汝杉,蔡体久*,满秀玲, 王 贺, 关俊祺
(东北林业大学林学院,哈尔滨 150040)

摘要:原始红松林是我国小兴安岭地区的顶级植物群落,理解它的降雨截留过程,对区域生态、水文环境具有重要意义。采用定位研究法,于 2010—2011 年 21 场降雨数据对原始红松林的降雨截留和分配效应进行系统研究,并结合当地的气象和林分资料,利用修正的 Gash 模型对小兴安岭原始红松林进行林冠截留模拟。该模型对穿透雨、树干茎流、截留量的模拟值分别为:370.91、16.14、130.07 mm。穿透雨模拟值比实测值低 2.28 mm,相对误差 1.75%,树干茎流模拟值高于实测值 8.12 mm,相对误差 50.3%,林冠截留量模拟值比实测值低 2.35 mm,相对误差为 1.81%。穿透雨和林冠截留量的模拟值和实测值有较好的一致性,树干茎流的模拟值和实测值相差较大。综合结果表明:修正的 Gash 模型对小兴安岭地区原始红松林降雨截留拟合具有很好的适用性。

关键词:原始红松林;修正的 Gash 模型;林冠截留;穿透雨;树干茎流;小兴安岭

Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model

CHAI Rushan, CAI Tijiu*, MAN Xiuling, WANG He, GUAN Junqi
Northeast Forestry University Forestry Institute, Harbin 150040, *China*

Abstract: Primary Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest is climax community of Xiaoxing'an Mountains, in northeast of China. It has significant influence on regional ecology and hydrological environment. In order to investigate the canopy interception and allocation and evaluate forest hydrological function and benefit of virgin Korean pine forest quantitatively, positioning experiments were implemented during two rainy seasons of from 2010 to 2011 in Liangshui national nature reserve. Throughfall, stemflow and precipitation were measured and interception loss was subsequently calculated. On the basis of the observations of 21 rainfall events which collected from local weather station and forest stand respectively, we stimulated canopy interception process of virgin Korean pine forest in the Xiaoxing'an Mountains using the modified Gash model. The mesured values of total preciptation, througfall, stemflow, and canopy interception loss in virgin Korean pine forest of Xiaoxing'an Mountains were 514.1 mm, 373.19 mm, 8.02 mm, and 132.43 mm, respectively, during the study period. Throughfall and stemflow were all significantly positively correlated with precipitation ($P<0.01$). The simulated values of throughfall, stemflow, and interception loss by modified Gash model were 370.91 mm, 16.14 mm, and 130.07 mm respectively. Simulation value of throughfall was 2.28 mm lower than the actual value, with a relative error of 1.75%, while simulation value of stemflow was 8.12 mm higher than the measured value, with a relative error of 50.3%. The simulated value of canopy interception loss was 2.35 mm lower than the actual value, with a relative error of 1.81%. The

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104005);东北林业大学学术名师基金资助
收稿日期:2012-09-24; **修订日期**:2012-12-24
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caitj@263.net

stimulated values of throughfall and canopy interception corresponded well with measured values, while for stemflow, the simulated value was of great difference from measured value. Our findings reveal the Gash analytic model can be well applied to estimation of canopy interception loss of virgin Korean pine forest during rainy seasons in the Xiaoxing′an Mountains.

Key Words: virgin *Pinus koraiensis* forest; Gash model; canopy interception; throughfall; stemflow; Xiaoxing′an Mountains

森林冠层对大气降雨再分配具有显著影响,对森林水文生态系统具有重要的意义。林冠层对雨水的截留和缓冲,会减少林内水量,降低降雨的动能和势能,从而防止土壤侵蚀、减弱洪峰流量、涵养水源等[1]。森林对降水的再分配,包括树干茎流、穿透雨、树冠截留蒸发和树冠饱和后滴落降雨等部分。林冠截留量一般与林外降雨量呈正相关的关系[2],而树干茎流量与枝叶的分枝角度关系密切[3]。目前,国内外学者根据影响林冠截留的因子总结出许多经验、半经验理论模型和理论模型[4-7]。最初的 Horton、Leonard 及 Helvey 等模型对降雨林冠截留影响并没有考虑降雨强度,林分特征等因素,因此不能适用于所有林型[8]。在此之后,Rutter[9]模型考虑到降雨强度和林分特征,可以估算降雨时和降雨后的损失,也减少经验公式附加截留的弊端,但气象数据获取和计算相对繁琐,给实际应用带来不便[10]。Gash[11]模型相对于其他模型适用性更广泛,它在 Rutter 模型基础上更加简化,之后又对 Gash[12]模型进行修正,从林冠截留机理出发,结合雨湿特征、林冠特征及空气动力学特征了解林冠截留各个部分的组成从而获得林冠截留总量[13]。

阔叶红松林是东北亚地区的地带性森林和最具代表性的森林生态系统,原始红松林又是我国小兴安岭地区的顶级群落。经过掠夺式采伐后的今天,我国境内的原始红松林仅存于小兴安岭和长白山区域,并且原始红松林对该区域的生态、水文环境、经济发展有着重要影响。目前,国内已对辽宁东部山区的落叶松人工林[14]、缙云山毛竹林[15]、岷江上游亚高山川栎树林[16]等林型开展了大气降雨林冠截留特征模拟。研究发现,降雨截留受多种因素影响,主要包括林冠郁闭度、持水能力、平均蒸发速率等,且不同林型条件下,降雨截留的主要影响因素存在明显差异。如影响原始红松林树干茎流量的主要因素依次是降雨量、第一活枝高、胸径和冠幅,而次生白桦林树干茎流量还受到树高、郁闭度的影响;两种林型的穿透雨都与降雨量、集水槽与树干的距离和集水槽上方灌木枝叶厚度等密切相关[17]。然而到目前为止,针对小兴安岭地区原始红松林降雨截留的模型拟合研究还鲜见报道。因此,本研究采用定位研究法,对原始红松林降雨截留和分配效应进行系统研究,并采用 Gash 模型模拟原始红松林降雨截留过程,了解该模型对原始红松林的适用性,该地区的森林水文功能和效益提供基础数据和科学参考。

1　研究区概况及研究方法

1.1　研究区概况

研究地设在黑龙江凉水国家级自然保护区东北林业大学凉水实验林场,位于黑龙江省伊春市带岭区的中心(E 128°48′08″—128°55′46″,N 47°07′15″—47°14′38″), 地处小兴安岭南坡达,带岭支脉东坡, 海拔 280—707 m,为典型的低山丘陵地貌。境内分布着大片原始阔叶红松林, 是我国目前保存下来最为典型和较完整的原始阔叶红松混交林分布区之一,森林覆盖率达 96%。保护区内现有原始成熟林面积 4100 hm^2,其中红松林面积占 80%,木材蓄积量达 1.0×10^7 m^3。该地区属温带大陆性季风气候,年平均气温-0.3℃,年平均相对湿度 78%,年平均降水量 676 mm,降水集中在 6—8 月,占全年降水量的 60% 以上。主要保护对象是以红松为主的针阔混交林生态系统。主要树种有红松(*Pinus koraiensis*)、兴安落叶松 (*Larix gmelinii*)、黄菠萝(*Phellodendron amurense*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、榆树(*Ulmus pumila L*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*Betulla platyphylla*)、枫桦(*Betulla costata*)和蒙古栎(*Quercus mongolica*)等。地带性土壤为暗棕壤,非地带性土壤有草甸土、沼泽土和泥炭土及其亚类组成。

1.2 研究方法

2010 年 7—10 月与 2011 年 5—10 月,在研究区内选择原始红松林群落。选取代表性地段,设置 20 mm×20 mm 的标准样地,进行样地基本特征调查,详见表 1。

穿透雨收集:每块样地内高于地面 1 m 随机布设 5 个集水槽,集水槽用直径为 20 cm 的 PVC 管自制而成,按 1.2 m 长度规格截开后对半刨开,用塑钢板及密封胶将半圆形管两端封闭,仅下端留出水口与塑料软管相连,将穿透雨引入地面放置的 25L 塑料桶内。同时,为减小误差,将降雨槽各边打磨成 45°斜坡,防止雨滴外溅,且呈 15°斜坡按放降雨槽使降雨能够快速进入收集桶内,减少蒸发。

树干流收集:对各样地进行每木检尺,求得每个树种标准木,根据样地树种组成按比例在每块样地选择各树种标准木共 5 株。在标准木距地面 1 m 左右的树干上选择树皮光滑处(如果树皮粗糙,用刀具修除粗糙的周皮后),用高密度不透水、厚 2 cm、宽 25 cm 的泡沫板包裹树周,扎成领带状,内插一根直径为 2 cm 的 PVC 管导水。固定后,涂抹密封胶,防止雨水外泄。PVC 导水管下端接一个 25 L 的塑料桶。

表 1 原始红松林样地基本情况

Table 1 Korean original sample to basic situation

森林类型 Forest type	海拔 Altitude /m	坡度 Gradient /(°)	坡向 exposure	坡位 Slope position	乔木层 Tree layer			密度 Density of trees /(株/hm²)	郁闭度 Shade density	林龄 Forest age /a
					树种组成 Tree species composition/%	平均树高 Mean heigh/m	平均胸径 DBH /cm			
原始红松林 Virgin *Pinus koraiensis* forest	452	5	西南	上	4 红松 3 枫桦 2 榆树 1 紫椴	18	37	475	0.81	200—300

1.3 修正的 Gash 模型

Gash 解析模型将林冠对降雨的截留分为 3 个阶段:(1)加湿期,必要条件是林外降雨量(P_G)小于林冠达到饱和所必需的降雨量(P'_G)。(2)饱和期,当 $P_G > P'_G$ 后,林冠达到并维持饱和状态,平均降雨强度(R)大于饱和林冠的平均蒸发速率($\bar{E}$);(3)干燥期,降雨停止后到林冠和树干干燥的阶段。修正的 Gash 模型将林地划分为无植被覆盖区域和有植被覆盖区域两个部分[18]。

林冠达到饱和所必需的降雨量 P'_G :

$$P'_G = -(R/\bar{E}_c)S_c\ln(1-(\bar{E}_c - R)) \tag{1}$$

饱和林冠平均蒸发速率 $\bar{E}$ 根据 Penman-Monteith 公式计算:

$$\lambda E = (\Delta R_n + \rho c_p D/r_a)(\Delta + \gamma)^{-1} \tag{2}$$

空气动力学阻力(r_a)由下式计算[12]:

$$r_a = 1/0.056u \tag{3}$$

树干达到饱和所必需的降雨量 P''_G 根据下式来计算[18]:

$$P''_G = (R/(R-\bar{E}_c))(S_{tc}/p_{tc}) + P'_G \tag{4}$$

公式(1)中,c 为林分郁闭度;R 为平均降雨强度(mm/h);$\overline{E_c}$ 为单位覆盖面积平均林冠蒸发速率(mm/h);$\overline{E_c} = \bar{E}/c$;$\bar{E}$ 为饱和林冠的平均蒸发速率(mm/h);P'_G 为使林冠达到饱和的降雨量(mm);根据公式(4)林分参数主要包括林冠参数和树干参数,其中林冠参数有 S、c,树干参数有 S_t 和 p_t,此模型在每次降雨事件之前要有足够的时间使林冠干燥,以保证每两场降雨之间有至少 8h 没有降雨发生[18]。所以利用修正的 Gash 模型计算林冠截留的量计算公式如下:

$$\sum_{j=1}^{m+n} I_j = c\sum_{j=1}^{m} P_{Gj} + \sum_{j=1}^{n}(c\bar{E}_{cj}/\bar{R}_j)(P_G - P'_G) + c\sum_{j=1}^{n} P'_G + qcS_{tc} + cpt_c\sum_{j=1}^{n-q}(1-(\bar{E}_{cj}/\bar{R}_j))(P_G - P'_G) \tag{5}$$

公式(5)中 n 为林冠达到饱和的降雨次数;m 为林冠未达到饱和降雨次数;j 为总降雨次数。I_j 为林冠截留总

量(mm); P_{Gj} 为总的降雨量; P_G 为单次降雨的降雨量(mm);q 为树干达到饱和产生树干径流的降雨次数;S_t 为树干持水能力(mm); p_t 为树干茎流系数。$c\sum_{j=1}^{m}P_{Gj}$ 为 m 次未能饱和冠层的降雨量($P_G < P'_G$);$\sum_{j=1}^{n}(c\bar{E}_c/\bar{R}_j)(P_G - P'_G)$ 为 n 次降雨过程中的蒸发量; $c\sum_{j=1}^{n}P'_G$ 为 n 次使林冠达到饱和降雨事件的降雨量; qcS_{tc} 为降雨后的蒸发量; $cP_t(1-\bar{E}_c/\bar{R}_i)\sum_{j=1}^{n-q}(P_{Gj}-P'_G)$ 为 $n-q$ 次未能饱和树干的降雨量($P_G < S_t/p_t$)。

根据 Gash 修正模型还可以计算树干茎流量和穿透雨量[19]:

$$\sum_{j=1}^{q}SF_j = cp_{tc}\sum_{j=1}^{q}(1-(\bar{E}_{cj}/\bar{R}_j))(P_G - P'_G) - qcs_{tc} \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^{m+n}TF_j = \sum_{j=1}^{m+n}P_G - \sum_{j=1}^{m+n}I_j - \sum_{j=1}^{q}SF \tag{7}$$

2　结果与分析

2.1　大气降雨量、穿透雨、树干茎流特征

试验周期内(21 场降雨),原始红松林的林外雨的降雨总量 514.1 mm;单场最大降雨量为 58.7 mm,最小降雨量为 3.8 mm,场均降雨量为 24.5 mm(图 1);相应的单场降雨强度 0.5—7.3 mm/h,平均降雨强度为 2.65 mm/h,最大降雨强度为 7.2 mm/h,最小降雨强度为 0.58 mm/h(图 1)。最大降雨量和降雨强度均发生在 7—8 月。林内穿透雨总量为 373.19 mm,占同期降雨总量的 72.5%,穿透雨量随降雨量的增加而增加(图 2),呈显著正相关($P<0.01$)。研究期内单场穿透雨率 37.5%—89.01%,平均穿透雨率为 63.39%。穿透雨小于 10 mm 的次数为 10 次,最小穿透雨量为 1.63 mm,最大穿透雨量为 48.7mm,平均穿透率为 51.3%(图 3)。穿透雨率与林外降雨量之间呈对数关系:$TF=0.1448\ln(P_G)+0.2232$,$R^2=0.5656$,$n=20$(图 3)。

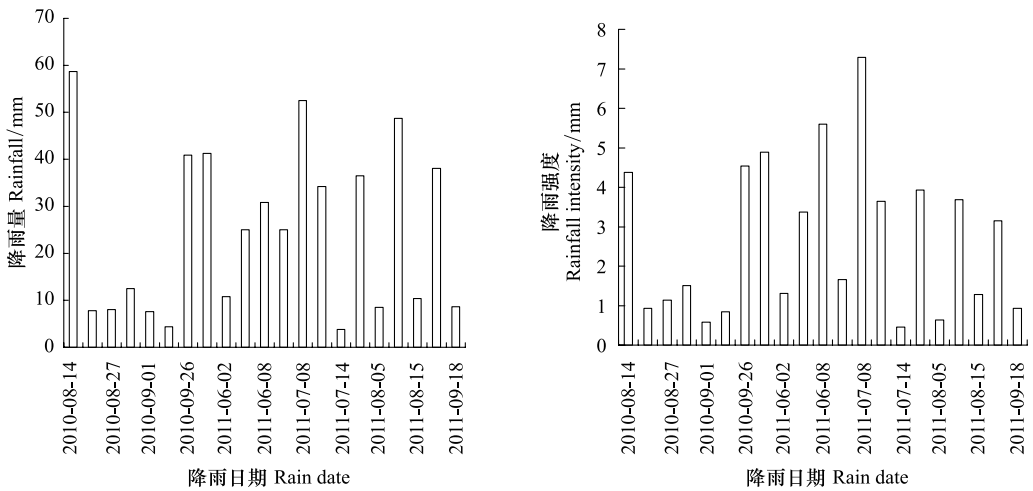

图 1　研究地降雨特征

Fig. 1　Characteristics of rainfall in experiment site

当降雨量大于 10 mm 时,开始有树干茎流产生,随着降雨量的增大,树干茎流量逐渐增加(图4)。研究期内树干茎流总量为 8.02 mm,占同期降雨量的 1.5%(图4)。本实验中原始红松林产生的树干茎流量较小,这可能是由于红松侧枝与树干之间的夹角度数较大,当雨滴流经树干时,降雨不易汇集;此外,红松树皮干燥,表面不光滑,也会导致树干茎流量较少。树干茎流量与降雨量之间呈线性正相关,关系方程为:

$$SF=0.0191P_G-0.0863,R^2=0.928,n=21,(P<0.01) \tag{8}$$

2.2　原始红松林林冠截留分配

由实测数据可知:在 21 场降雨中林冠截留量为 132.43mm。占同期降雨量的 25.7%,由(图 5)可以得出

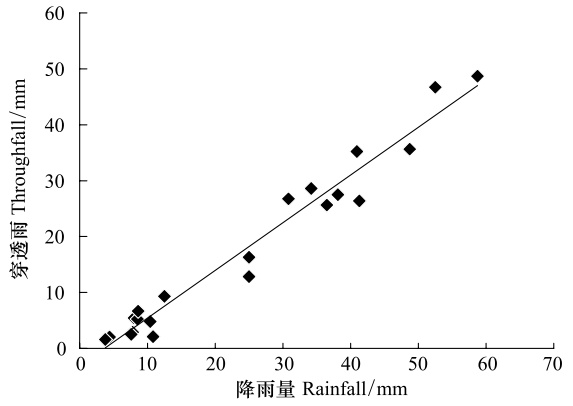

图 2 穿透雨与降雨量的关系

Fig. 2 Relationship between throughfall ratio and rainfall

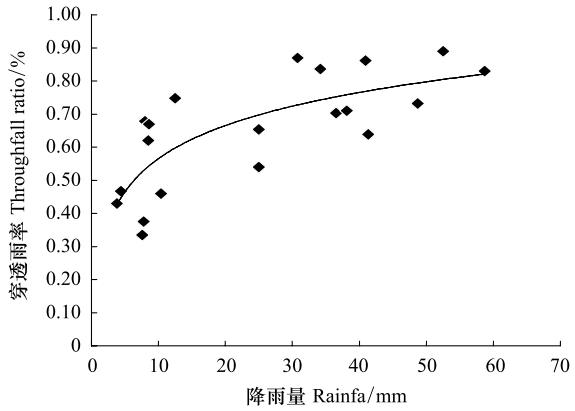

图 3 穿透雨率与降雨量的关系

Fig. 3 Relationship between throughfall and rainfall rainfall

随着降雨量的增加,截留量也随之增加,当降雨量达到58.7mm 时,林冠截留增加缓慢,并且出现下降趋势,林冠截留已达到饱和。在对降雨量和截留量进行拟合时,发现三次多项式拟合效果最佳($P<0.05$)(图 5)截留率随着降雨量的增加而不断的减少,当降雨量为 7.6mm 时,最大截留率为66%,当降雨量为52.5mm 时,最小截留率为 10%。降雨量与截留量呈指数关系(图 6)。

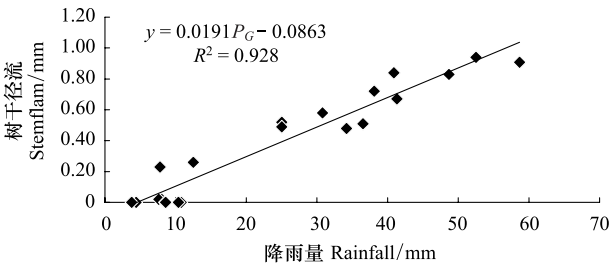

图 4 树干茎流与降雨量的关系

Fig. 4 Relationship between Stemflam and rainfall

2.3 修正的 Gash 模型参数

研究期间林内穿透雨量、树干茎流量和林冠截留量分别为 373.19、8.02 和 132.43mm,分别占总降雨量的72.6%、1.5%和 25.7%。穿透雨量与林外降雨量的回归方程关系式:

$$TF = 0.8448P_G - 3.0291, (R^2 = 0.9631), (P<0.01)$$

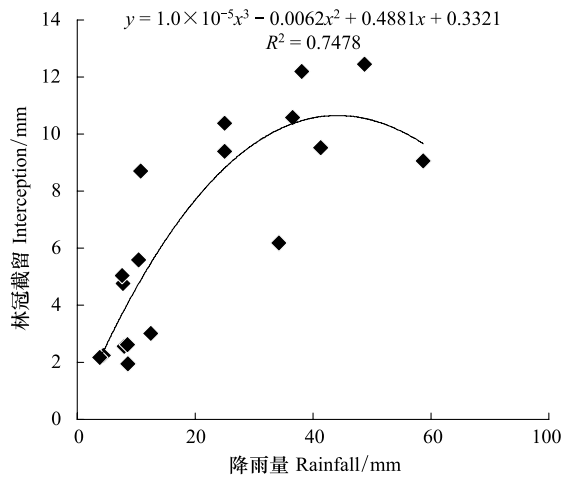

图 5 原始红松林林冠截留量与降雨量之间的关系

Fig. 5 The relationship between canopy interception of Pinus koraiensisforest and rainfall

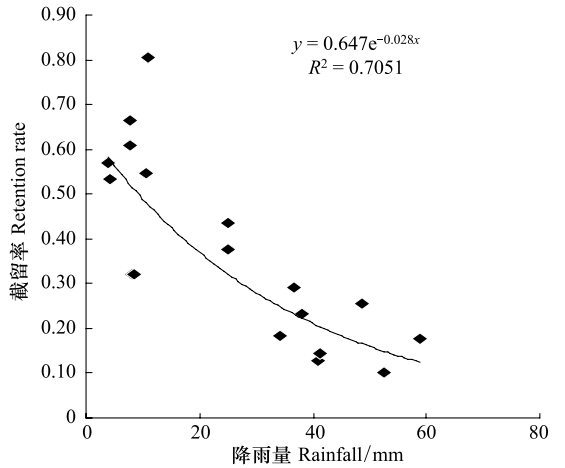

图 6 原始红松林截留率与降雨量之间的关系

Fig. 6 The relationship between retention rate of Pinus koraiensisforest and rainfall

林冠持水能力(S)是林冠截留降水主要因素之一,本研究采用 Leyton 回归法[20]对参数 S 进行确定,先根

据林内穿透雨和林外降雨量关系方程,求得穿透雨的残差,推导出穿透雨残差和林外降雨量的关系,得到方程拐点的降雨量值(图 7);用大于此值且残差大于 0 的降雨量与对应的林内穿透雨做回归方程:$TF=0.8778P_G-1.4415$(图 8)($R^2=0.9957$),则 S 等于方程的截距 1.4415 mm。

单位面积林冠持水能力 $S_c=S/c$,根据林分调查可知,林分平均郁闭度 $c=0.81$,从而得到 $S_c=1.77$。S_t 和 P_t 则根据树干径流量和林外降雨量关系方程确定,其中 S_t 为树干茎流量与降雨量关系方程的截距负值,P_t 为斜率。由方程(8)可知 P_t 为 0.0191,S_t 为 0.0863mm。

由公式(2)计算 $\bar{E}=0.36$ mm/h,则单位面积平均林冠蒸发速率 $\bar{E}_c=0.45$ mm/h。根据降雨特征分析可知研究期间 $\bar{R}$ 为 2.65 mm/h,通过以上参数根据公式(1),即得 $P'_G=3.91$ mm。

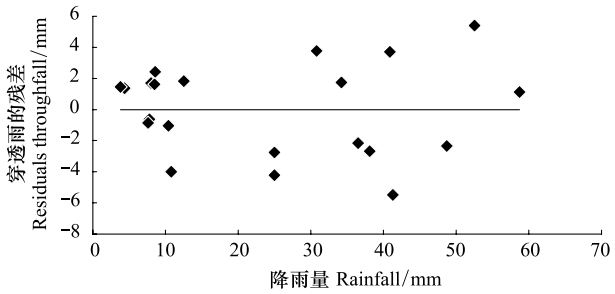

图 7　穿透雨量残差与降雨量的关系

Fig. 7　Relationship between the residuals of throughfall and rainfall in Xiaoxing′an Mountains forest

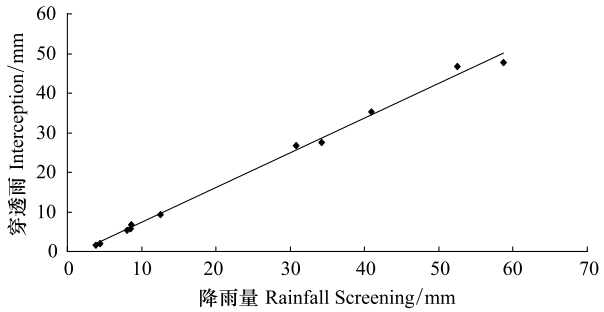

图 8　穿透雨量与降雨量的关系

Fig. 8　Relationship between the throughfall and rainfall in Xiaoxing′an Mountains forest

2.4　林冠截留量实测值和模拟值对比分析

研究周期内,小兴安岭地区原始红松林穿透雨、树干茎流和林冠截留总量的实际观测值分别是 373.19,8.02,132.43 mm;相应地,根据修正的 Gash 模型计算出的模拟值分别为 370.91、16.14、130.07 mm(表 2)。林冠截留量模拟值比实测值低 2.35 mm,相对误差为 1.81%。穿透雨模拟值比实测值低 2.28 mm,相对误差 1.75%。树干茎流的模拟值高于实测值 8.12 mm,相对误差 50.3%。树干茎流模拟值和实测值相差较大,这可能与原始红松林林分特征复杂有关,由于原始红松林的林龄高,胸径粗,红松树皮不易对树干茎流汇集,产生树干茎流量较少[17]。另外,不同径级树木的树干茎流常常是在不同时间产生,单株树木可能在树干蓄水量达到平均树干容量时未产生树干茎流,这可能是造成模拟值大于实测值的原因[8]。结果表明,降雨过程中的蒸发量占模拟林冠截留量的 47%,是构成林冠截留量的主要因素,其次为饱和

表 2　应用修正的 Gash 模型的预测值和实测值比较

Table 2　Observed values and simulated values by the revised Gash model

项目 Item	实测值/mm Observed value	模拟值/mm Simulated value
降雨量 rainfalls $P_G<P'_G$		3.08
林冠达到饱和 $P_G\geqslant P'_G$ Wetting-up the canopy, when		34.7
降雨过程中的蒸发量 Evaporation from saturation until rainfall ceases/mm		61.23
降雨后的蒸发量 Evaporation after rain cases/mm		28.83
树干茎流树 $P_G\geqslant P''_G$ Evaporation from trunks, when		0.58
未能饱和树干降雨量 $P_G<S_t/P_t$ rainfalls, when		1.65
林冠截留总量 Total interception loss/mm	132.43	130.07
树干茎流量 Total stewflow/mm	8.02	16.14
总穿透雨量 Total throughfall/mm	373.19	370.91

$P_G<P'_G$ 对于 m 次未能饱和冠层的降雨量;$P_G\geqslant P'_G$ 林冠达到饱和的 n 次降雨的林冠加湿过程;$P_G\geqslant P''_G$;q 次树干茎流树干蒸发量;$P_G<S_t/P_t$ $n-q$ 次未能饱和树干的降雨量

层降雨量,占林冠截留量模拟值的 26.7%。这可能是该地区平均蒸发速率较高,降雨历时长,降雨强度小有关。在本模型研究中,两场降雨间隔大于 8h, 较长的降雨时间和间隔时间造成降雨停止前的林冠蒸发量最大,未能达到林冠饱和的降雨量仅占模拟值的 2.4%。原始红松林结构复杂、郁闭度较高;当降雨量较小时,原始红松林林冠对降雨起到有效截留作用,而当降雨量较大时,受林冠蒸发强度、郁闭度、树干茎流等因素的影响,林冠截留作用显著下降。

研究期内,单次林冠截留量模拟值和实测值分析表明(图 9),修正的 Gash 模型对研究地原始红松林单场降雨模拟效果较好、适用性很强,且此模型中参数值比较明确。但对个别场次的降雨模型结果较差,模拟值和实测值最大差值为 4.84 mm,最小差值为 0.7 mm。

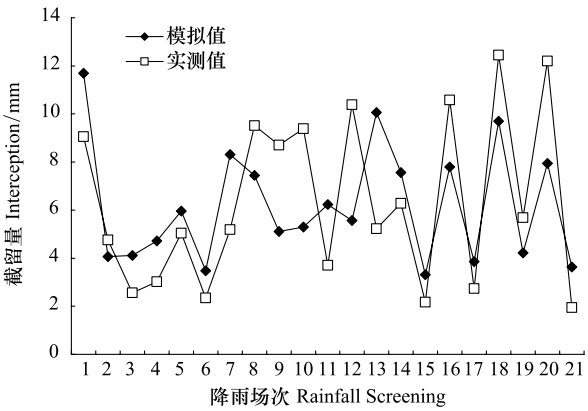

图 9 单场降雨林冠截留量的实测值与模拟值比较

Fig. 9 Comparison of measured and simulated in the canopy interception of one single rainfall event during the study period

3 讨论与结论

本实验测得林冠对降雨截留率为 25.7%,与已报道的其他林型平均截留率范围(11.4%—36.5%)相比,在中上等水平,高于蔡体久等人[17]在 2006 年研究的结果,截留率为 19.16%,这主要是由于不同年份的降雨强度和降雨历时不同,研究期内该地区降雨历时长,降雨强度小,加之原始红松林林内树种繁多,结构复杂,生物量大,林冠截留量相对较大。不同树种对产生穿透雨、树干茎流也不同。当降雨量大于 3.8mm 时,穿透雨才开始产生,而李淑春等人[21]研究落叶松桦木混交林、山杨桦木混交林、油松蒙古栎混交林时降雨量分别达到 2.21、2.72 、1.34 mm 时产生穿透雨[21]。降雨量达到 10 mm 时,树干茎流开始发生。周光益[22]对海南岛研究山地雨林时发现降雨量小于 5mm 时几乎不产生树干茎流[22]。丁宝永等人研究落叶松时,发现降雨量大于 3mm 时有树干径流产生。穿透雨和树干茎流都随着降雨量的增加而增加,这种趋势与其他学者的研究结果一致[14-15,23]。

本实验与蔡体久等人研究的原始红松林林分结构特征相似,样地距离相近,他从不同林分因子对降雨截留分配进行研究,总结出降雨量、第一活枝高、胸径和冠幅等因素对穿透雨和树干茎流的影响[17]。Gash 模型是从林冠蒸发速率和林冠持水能力的角度来模拟原始红松林对降雨截留的影响,因此可以从林分因子和林冠层两方面来了解小兴安岭原始红松林林冠截留过程。修正的 Gash 模型对截留量模拟准确性以正确测出或估算林冠持水能力(S)为基础[18]。而 S 的大小取决于林冠本身的结构特征,同时也受降雨特征和气象因子影响[24-26]。Llorens[27]总结了 1968—2000 年间不同文献中的 S 值,发现不同密度松属针叶林在 0.1—3.1 mm 之间,Deguchi[28]统计了 21 个研究中不同地区不同森林类型的 S 值在 0.25—1.55 mm 之间,本研究 S 值为 1.44 mm,与之吻合。应用修正的 Gash 模型对截留量和穿透雨的模拟较好,拟合值和实测值分别相差 2.25mm 和 2.38 mm,分别占各自总量的 25% 和 72.1%,但是对树干茎流的拟合效果较差,占总量的 3.1%。郭明春等[8]在研究落叶松林树干茎流时也发现这一问题,只是他的模拟值小于实测值。虽然模拟值误差较大,但是树干茎流量较小,仅占降雨量的 1.5%,所以对林冠截留量的影响较小。

修正的 Gash 模型对大部分的单场降雨截留模拟较好,但对个别场次降雨还存在较大差异[14-16],这主要是由于模型假设的条件与自然条件存在较大差异,导致模拟值与实测值相比有的高,有的低[29]。何常清[16],赵洋毅[15]等学者发现 Gash 模型对小雨模拟效果较好,随着降雨量的增大林冠截留量预测的准确性呈下降趋势。在本研究中,对小雨模拟值和实测值相对较好,也有个别大雨模拟值与实测值接近,这与其他学者研究结果有所差异,可能是因为他们研究的人工林结构相对单一,而本研究中原始林结构复杂,树种繁多。总体来看,修正的 Gash 模型能够较好的模拟原始红松林林冠截留过程。

与其他截留模型一样,修正的 Gash 模型未充分考虑到风速对林冠截留的影响,风不仅可以加快冠层蒸发,同时也会引起树枝的摆动,促使雨滴流向林内,从而导致林冠截留量降低。目前,风速对雨滴下落产生影响的定量研究还较少,今后要加强这方面的研究,进一步提高模型的准确性。

References:

[1] Gong H D, Wang K Y. Through fall and stemflow in a Betula platyphylla forest at the subalpine of Western Sichuan. Chinese Journal of Ecology. 2204, 23(4): 17-2.

[2] Zhang T L, Shi X Z, Zhang Q. Soil erosion degradation occurred the cause of the process and mechanism. BeiJin: China Agriculture Press, 1999, 46-76.

[3] Hu X S, Zhou X N, Lan Z R, Wu Z L, Chen H L, Liu B, Xie H L. Study on diameter distribution model of eucalyptus plantations. Journal of Fujian College of Forestry, 2008, 28(4): 314-318.

[4] 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: 154-166.

[5] Dang H Z, Zhou Z F, Zhao Y S. Study on forest Interception of Picea crassifolia. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(4): 60-64.

[6] Dietz J, H Lscher D, Leuschner C, H endrayan to. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Su law esi Indonesia. Forest Ecology and Management, 2006, 237: 170-178.

[7] Liu J. Theoretical model of the process of rainfall interception in forest canopy. Ecological Modeling, 1988, 42: 111-123.

[8] Guo M C, Yu P T, Wang Y H, Shen ZX, Shi Z J, Du A P, He C Q. Rainfall interception model of forest canopy: A preliminary study. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16 (9): 1633-1637.

[9] Rutter A J, Kershaw KA, Robins P C, Morton A J. A predictive model of rainfall interception in forests. Derivation of themodel from observations in forests. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. Agricultural Meteorology, 1971, 9: 367-384.

[10] Diao Y W, Pei T F. Research advances in dynamic mechanism and its simulation of eco-hydrological process in forest catchment. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (12): 2369-2376.

[11] Gash J H C. An analytical model of rainfall interception in forests. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1979, 105: 43-55.

[12] Gash J H C, Lloyd C R, Lachaud G. Estimation sparse forest rainfall interception with an analytical model Journal of Hydrology, 1995, 170: 78-86.

[13] Wang X, Zhang Y P, Liu W J. Modeling canopy rainfall interception of a tropical seasonal rainforest in X is huangbanna, Southwest China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (3): 722-729.

[14] Sheng X J,Wang S G, Guan D X, Jin C J, Wang A Z, Wu J B, Yuan F H. Canopy interception in larch plantations : Measurement and modeling in Eastern Liaoning Mountainous Region. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, (12): 3021-3028

[15] Zhao Y Y, Wang Y J, Wang Y Q, Liu N, Wu Y, Chen L. Simulation of Canopy Rainfall Interception of the Phyllostachys edulis Forest with the Revised Gash Model in the Jinyun Mountains of Chongqing. Sciebtia Silvae Sinicae, 2011, 47(9): 0015-06.

[16] He C Q, Xue J H, Wu Y B, Zhang L Y. Application of a revised Gash analytical model to simulate subalpine Quercus aquifolioides forest canopy interception in the upper reaches of Minjiang River. Acta Ecologica Sinica. 2010, (05): 1125-1132.

[17] Cai T J, Zhu D G, Sheng H C. Rainfall redistribution in virgin Pinus koaiensis forest and secondary Betual platyphylla forest in Northeast China. Science of Soil and Water Conservation, 2006, 4(6): 61-65.

[18] Limousine J M, Rambal S, Ourcival J M, Joffre R. Modeling rainfall interception in a Mediterranean Quercus ilexeco system: Lesson from a throughfall exclusion experiment. Journal of Hydrology, 2008, 357: 57-66.

[19] Carle-Mosesa D E, Priceb A G. An evaluation of a low land coastal rain forest in northem Queensland Austealia, Journal of Hydrology, 2006, 103-110.

[20] Lu X Y, Tang K J. Central Taiwan natural broad-leaved forest of quantity of rainfall interception discussed. Forestry test research report quarterly, 1995, 10(4): 447-457.

[21] Li S C, Zhang W, Yao W X, Jian W H, Yang X B. Precipitation Distribution Laws of Different Forest Stands in North Mountain of Hebei Province. Soil and water conservation research, 2011, 18(5): 0124-04.

[22] Zhou G Y, Zeng Q B, Huang Q, Chen B F, Wu Z M, Li Y D. Influence of Canopy upon Rainfall in a Regenerative Tropical Mountain Rain Forest. Chinese Journal of Plant Ecology, 1995, 19 (3): 201-207.

[23] Jiang H Y, Zhao Y S, Xin X J, Ma W H, Li X P, Sun C K, Guo X W. Precitation Distribution Laws of Different Forest Stand in Daxing, anling. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(6): 197-201.

[24] Link T E, Unworthy M, Marks D. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. Agricultural and Forest Meteorology, 2004, 124: 171-191.

[25] Klaassen W, Bosveld F, de Water E. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. Journal of Hydrology, 1998, 212-213: 36-50.

[26] Fan S X, Pei T F, Jiang D M, Cao Y C, A L M S. Rainfall interception capacity of forest canopy between two different stands; Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(5): 671-674.

[27] Llorens P, Gallart F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. Journal of Hydrology, 2000, 240: 131-144.

[28] Deguchi A, Hattori S, Park HT. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss. A application of the revised Gash model. Journal of Hydrology, 2006, 318: 80-102.

[29] Wang X Y, Bi H X, Gao L B, Zhu Y, Liu L X. Simulation of canopy interception of Robinia pseudoacacia artificial forest on the Loess Plateau of West Shanxi Province. Science of Soil and Water Conservation, 2012, 10(2): 44-49.

参考文献：

[1] 巩合德, 王开运. 川西亚高山白桦林穿透雨和径流特征观测研究. 生态学杂志. 2004, 23(4): 17-2.

[2] 张桃林, 史学正, 张奇. 土壤侵蚀退化发生的成因过程与机制. 中国红壤退化机制与防治. 北京: 中国农业出版社, 1999, 46-76.

[3] 胡喜生, 周新年, 兰樟仁, 巫志龙, 陈洪乐, 刘波, 谢惠兰. 人工林桉树胸径分布模型的研究. 福建林学院学报, 2008, 28(4): 314-318.

[5] 党宏忠, 周泽福,赵雨森. 青海云杉林冠截留特征. 水土保持学报, 2005, 19(4): 60-64.

[8] 郭明春, 于澎涛, 王彦辉,时忠杰, 杜阿朋, 何常清. 林冠截持降雨模型的初步研究. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1633-1637.

[10] 刁一伟,裴铁番. 森林流域生态水文过程动力学机制与模拟研究进展.. 应用生态学报, 2004, 15 (12): 2369-2376.

[13] 王馨, 张一平,刘文杰. Gash 模型在热带季节雨林林冠截留研究中的应用. 生态学报. 2006, 26 (3): 722-729.

[14] 盛雪娇,王曙光,关德新, 金昌杰, 王安志, 吴家兵, 袁凤辉. 辽宁东部山区落叶松人工林林冠降雨截留观测及模拟. 应用生态学报, 2010, (12): 3021-3028.

[15] 赵洋毅, 王玉杰, 王云琦,刘楠, 吴云, 陈林. 基于修正的 Gash 模型模拟缙云山毛竹林降雨截留. 生态学报, 2011, 47(9): 0015-06.

[16] 何常清, 薛建辉, 吴永波, 张雷燕. 应用修正的 Gash 解析模型对岷江上游亚高山川滇高山栎林林冠截留的模拟. 生态学报. 2010, (05): 1125-1132.

[17] 蔡体久, 朱道光, 盛后财. 原始红松林和次生白桦林降雨截留分配效应研究. 中国水土保持科学, 2006, 4(6): 61-65.

[20] 陆象豫, 唐凯军. 台湾中部地区天然阔叶林降雨截留量之探讨. 林业试验所研究报告季刊, 1995, 10(4): 447-457.

[21] 李淑春,张伟,姚卫星,剪文灏, 杨新兵. 冀北山地不同林分类型林冠层降水分配研究. 水土保持研究, 2011, 18(5): 0124-04.

[22] 周光益,曾庆波,黄全, 陈步峰, 吴仲民, 李意德. 杜志鹄. 热带山地雨林林冠对降雨的影响分析. 植物生态学报, 1995, 19(3): 201-207.

[23] 姜海燕, 赵雨森, 信小娟, 马文海, 李晓平, 孙程坤, 郭小伟. 大兴安岭几种典型林分林冠层降水分配研究. 水土保持学报, 2008, 22 (6): 197-201

[26] 范世香,裴铁番, 蒋德明, 曹成有, 阿拉木萨. 两种不同林分截留能力的比较研究. 应用生态学报, 2000, 11(5): 671-674.

[29] 王晓燕, 毕华兴, 高路博, 朱悦, 刘李霞. 晋西黄土区刺槐人工林林冠截留模拟. 中国水土保持科学, 2012, 10(2): 44-49.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales ····· WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)

Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants ····· LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)

Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives ····· CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)

An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity ····· MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)

Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement ····· LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis* ····· LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)

Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses ····· YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)

The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria ····· CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)

The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region ····· WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)

Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea* ····· ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)

Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae) ····· XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)

Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) ····· LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)

Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori* ····· MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)

Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory ····· LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment ····· LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)

Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing ····· CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)

Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing ····· LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)

Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province ····· LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)

Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population ····· WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)

Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China ····· WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)

Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations ····· HU Huifeng, LIU Guohua (1212)

Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China ····· LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City ..... YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)

The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone ..... TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)

Impacts of drying-wetting cycles on CO_2 and N_2O emissions from soils in different ecosystems ..... OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)

Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China ..... JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)

Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ..... ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)

Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model ..... CHAI Rushan, CAI Tijiu, MAN Xiuling, et al (1276)

Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain ..... CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

Nitrogen flows in"crop -edible mushroom"production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area ..... LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)

Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut ..... WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)

Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon ..... PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)

Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis ..... SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ..... ZHANG Zhiguang (1326)

《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
(SHENGTAI　XUEBAO)
(半月刊　1981 年 3 月创刊)
第 33 卷　第 4 期　(2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 33　No. 4 (February, 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

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