

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

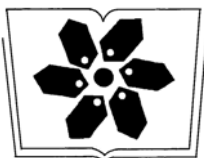
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第11期 Vol.33 No.11 **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 11 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义 徐涵秋, 唐 菲 (3249)
- 两种自然保护区设计方法——数学建模和计算机模拟 王宜成 (3258)
- 家域研究进展 张晋东, Vanessa HULL, 欧阳志云 (3269)
- 浅水湖泊生态系统稳态转换的阈值判定方法 李玉照, 刘 永, 赵 磊, 等 (3280)
- 辐射传输模型多尺度反演植被理化参数研究进展 肖艳芳, 周德民, 赵文吉 (3291)
- 微囊藻毒素对陆生植物的污染途径及累积研究进展 靳红梅, 常志州 (3298)

个体与基础生态

- 年龄、性别及季节因素对千岛湖岛屿社鼠最大活动距离的影响 叶 彬, 沈良良, 鲍毅新, 等 (3311)
- 寄主大小及寄生顺序对蝇蛹佣小蜂寄生策略的影响 詹月平, 周 敏, 贺 张, 等 (3318)
- 两种苹果砧木根系水力结构及其 PV 曲线水分参数对干旱胁迫的响应
..... 张林森, 张海亭, 胡景江, 等 (3324)
- 三种根系分泌脂肪酸对花生生长和土壤酶活性的影响 刘 苹, 赵海军, 仲子文, 等 (3332)

种群、群落和生态系统

- 象山港春季网采浮游植物的分布特征及其影响因素 江志兵, 朱旭宇, 高 瑜, 等 (3340)
- 洞头海域网采浮游植物的月际变化 朱旭宇, 黄 伟, 曾江宁, 等 (3351)
- 狗牙根与牛鞭草在三峡库区消落带水淹结束后的抗氧化酶活力 李兆佳, 熊高明, 邓龙强, 等 (3362)
- 三亚岩相潮间带底栖海藻群落结构及其季节变化 陈自强, 寿 鹿, 廖一波, 等 (3370)
- 长期围封对不同放牧强度下草地植物和 AM 真菌群落恢复的影响 周文萍, 向 丹, 胡亚军, 等 (3383)
- 北京松山自然保护区森林群落物种多样性及其神经网络预测 苏日古嘎, 张金屯, 王永霞 (3394)
- 藏北高寒草地生态补偿机制与方案 刘兴元, 龙瑞军 (3404)
- 辽东山区次生林生态系统不同林型树干茎流的理化性质 徐天乐, 朱教君, 于立忠, 等 (3415)
- 施氮对亚热带樟树林土壤呼吸的影响 郑 威, 闫文德, 王光军, 等 (3425)
- 人工高效经营雷竹林 CO₂ 通量估算及季节变化特征 陈云飞, 江 洪, 周国模, 等 (3434)
- 新疆典型荒漠区单食性天花吉丁虫磷元素含量对环境的响应 王 晶, 吕昭智, 宋 菁 (3445)
- 双斑长跗萤叶甲越冬卵在玉米田的空间分布型 张 聪, 葛 星, 赵 磊, 等 (3452)
- 舟山群岛四个养殖獐种群遗传多样性和遗传结构 林杰君, 鲍毅新, 刘 军, 等 (3460)

景观、区域和全球生态

- 乡镇尺度金塔绿洲时空格局变化 巩 杰, 谢余初, 孙 朋, 等 (3470)
- 合并与不合并: 两个相似性聚类分析方法比较 刘新涛, 刘晓光, 申 琪, 等 (3480)

资源与产业生态

基于投入产出表的中国水足迹走势分析 王艳阳,王会肖,张 昕 (3488)

基于 MRICES 模型的气候融资模拟分析 朱潜挺,吴 静,王 铮 (3499)

黄东海陆架区沉积物中磷的形态分布及生物可利用性..... 张小勇,杨 茜,孙 耀,等 (3509)

鄱阳湖采砂南移扩大影响范围——多源遥感的证据 崔丽娟,翟彦放,邬国锋 (3520)

温度、盐度及其互作效应对吉富罗非鱼血清 IGF-I 与生长的影响 强 俊,杨 弘,王 辉,等 (3526)

城乡与社会生态

福建省城镇-交通系统的景观分隔效应 张天海,罗 涛,邱全毅,等 (3536)

研究简报

青藏高原高寒草原区工程迹地面积对其恢复植物群落特征的影响 毛 亮,周 杰,郭正刚 (3547)

黄土山地苹果树树体不同方位液流速率分析..... 孟秦倩,王 健,张青峰,等 (3555)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 清晨的天山马鹿群——家域是动物行为学和保护生物学的重要概念之一,它在动物对资源环境的适应与选择,种群密度及社会关系等生态学过程研究中有着重要的作用。马鹿属于北方森林草原型动物,在选择生境的各种要素中,隐蔽条件、水源和食物的丰富度是最重要的指标。野生天山马鹿是中国的特产亚种,主要分布在北天山深山海拔1500—3800m 地带的森林草原中,在高山至谷地之间不同高度的坡面上,马鹿按季节、昼夜变化的不同进行采食。

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/stxb201203280430

徐天乐, 朱教君, 于立忠, 王睿照, 张金鑫. 辽东山区次生林生态系统不同林型树干茎流的理化性质. 生态学报, 2013, 33(11): 3415-3424.

Xu T L, Zhu J J, Yu L Z, Wang R Z, Zhang J X. Physical and chemical properties of stemflow in different forest types of a secondary forest ecosystem in montane regions of eastern Liaoning Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11): 3415-3424.

辽东山区次生林生态系统不同林型 树干茎流的理化性质

徐天乐^{2,3}, 朱教君^{1,2,3,*}, 于立忠^{2,3}, 王睿照², 张金鑫²

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所森林与土壤生态国家重点实验室, 沈阳 110016;

2. 中国科学院清原森林生态实验站, 沈阳 110016; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:为明确森林对降水水质的影响,于 2011 年 6—8 月,对辽东山区次生林生态系统 5 种主要林型:落叶松人工林(*Larix olgensis*)(Lo)、花曲柳林(*Fraxinus rhynchophylla*)(Fr)、杂木林(Mb)、红松人工林(*Pinus koraiensis*)(Pk)和蒙古栎林(*Querus mongolica*)(Om)中树干茎流和林外雨理化性质进行了监测。与林外雨相比,5 种林型树干茎流均出现明显酸化($P<0.05$),酸化程度为:Pk>Lo>Fr>Om>Mb;各林型树干茎流的电导率、总溶解固体含量、氯离子浓度、硝酸根离子浓度、铵根离子浓度和总磷浓度显著升高($P<0.05$),溶解氧浓度明显下降($P<0.05$)。林型间相比,Lo 与 Pk 的电导率和总溶解固体含量和 Lo 的氯离子浓度较高;Lo 和 Pk 的硝酸根离子浓度和总磷浓度明显低于其它林型($P<0.05$);Mb 的硝酸根离子浓度和总磷浓度显著高于其它林型($P<0.05$)。各林型树干茎流的硝酸根离子浓度和胸径与树高的乘积呈显著正相关。上述结果主要受降雨因素(降雨前干沉降时间长度等)、林分特征(叶面积指数、树皮特征)、树木枝叶表层积累物质的理化性质等影响。结论:各林型树干茎流水质均明显下降,其中 Mb 树干茎流对雨水化学性质影响较大;Pk 和 Lo 树干茎流水体纯度下降最为显著。

关键词:树干茎流;红松人工林;pH 值;硝酸根离子浓度

Physical and chemical properties of stemflow in different forest types of a secondary forest ecosystem in montane regions of eastern Liaoning Province, China

XU Tianle^{2,3}, ZHU Jiaojun^{1,2,3,*}, YU Lizhong^{2,3}, WANG Ruizhao², ZHANG Jinxin²

1 State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

2 Qingyuan Experimental Station of Forest Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: To make clear the influence of forests on the water quality of rainfall, the physical and chemical properties of bulk precipitation and stemflow were monitored in five different forest types, *i. e.*, *Larix olgensis* stand (Lo), *Fraxinus rhynchophylla* stand (Fr), mixed forest stand (Mb), *Pinus koraiensis* stand (Pk), and *Querus mongolica* stand (Mo) of secondary forest ecosystems in montane regions of eastern Liaoning Province, China. Comparing with bulk precipitation, the stemflow in five forest types was significantly acidified ($P<0.05$), and the acidification degree was in the order of Pk>Lo>Fr>Mo>Mb. The conductivity, total dissolved solids, and the concentrations of Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- and TP of the stemflow increased significantly ($P<0.05$), while the dissolved oxygen concentration of the stemflow lowered significantly ($P<0.05$). Among the five forest types, there were higher conductivity and concentrations of dissolved solids of stemflow in Lo

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大项目(2012ZX07202-008)

收稿日期:2012-03-28; 修订日期:2012-08-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiaojunzhu@iae.ac.cn

and Pk, and stemflow in Lo had higher Cl^- concentration. The concentrations of NO_3^- and TP of stemflow in Lo and Pk were significantly lower than those in other forest types ($P < 0.05$), and the concentrations of NO_3^- and TP of stemflow in Mb were significantly higher than those in other forest types ($P < 0.05$). NO_3^- concentration of stemflow was significantly positively correlated with the product between diameter at breast height and tree height. These results were mainly influenced by the rainfall factors (e.g., the length of the dry period before a rain event), stand characteristics (including leaf area index and characteristics of bark), and physical and chemical properties of substance of foliage and branch of trees etc. It can be concluded that the water quality of stemflow significantly decreased, representative of the fact that stemflow in Mb has the most effects on the chemical properties of the rainfall, and the water purity of stemflow in Pk and Lo was significantly lower than that of bulk precipitation.

Key Words: stemflow; Korean pine plantation; pH; NO_3^-

降雨进入森林生态系统后,主要以穿透雨和树干茎流两种形式输入林地。总降雨中透过树冠直达林地的部分称为穿透雨;沿叶片、枝条、茎干向下运动,直达植物根部的水量称为树干茎流^[1-3]。由于雨水对植物表面粉尘、分泌物等的淋洗和淋溶作用,穿透雨和树干茎流营养元素的含量通常高于林外雨^[3-4]。

近年来,穿透雨和树干茎流的理化性质受到国内外学者的广泛关注^[4-6]。一般认为树干茎流在森林水文循环中所占的比重较小^[3,5],但其在森林生态系统中的作用却不容低估^[7-9]。树干茎流不仅是引起局部地段产生蓄满径流的源,更会对森林生态系统养分、矿质元素的输入产生较大影响^[4,10-11]。关于树干茎流理化性质的研究多集中在 pH 值、金属元素及氮、磷等养分元素含量方面,即,大部分关注其化学性质^[12-14]。因此,缺乏较为全面的树干茎流理化性质的分析,从而影响人们对其水质状况的深入了解。

辽东山区次生林生态系统位于浑河源头区,是辽宁省大伙房水库的重要水源地,对区域水生态安全至关重要^[15]。2008 年 7 月至 9 月,席兴军等对该区落叶松人工林、花曲柳林、红松人工林、杂木林和蒙古栎林穿透雨的理化性质进行了测定^[15],但未对其树干茎流水质状况进行监测,因而无法科学、全面的评价该区次生林生态系统对降雨水质的影响。为此,于 2011 年 6 月至 8 月,在以上 5 个林型内,测定了其树干茎流及林外雨的主要理化指标,包括 pH 值、电导率、溶解氧、总溶解固体含量、总磷浓度等,旨在反映该区森林生态系统不同林型对降雨水质的影响,为制定浑河上游水生生态保护方案提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验样地设在中国科学院清原森林生态实验站(简称:清原站)试验林地内,海拔 456—1116 m。该站位于辽宁省东部山区清原县南部(41°51.102'N,124°54.543'E),为长白山余脉,属温带大陆性气候,年均气温 3.9—5.4 °C,最冷月为 1 月,最热月为 7 月,极端最高气温 36.5 °C,最低气温 -37.6 °C,其中大于 10 °C 年积温 2497.5—2943.0 °C,无霜期 120—139 d,平均日照时数 2433 h,年降水量 700—850 mm,降雨集中在 6—9 月,生长季为 4—9 月^[15]。土壤多为棕色森林土,原生时期的代表植物为红松(*Pinus koraiensis*),长期破坏后逐渐演变为天然次生林,主要乔木树种为蒙古栎(*Querus mongolica*)、花曲柳(*Fraxinus rhynchophylla*)、水曲柳(*F. mandshurica*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、桦树(*Betula* spp.)、杨树(*Populus* spp.)等;同时,在清原站区内存在部分长白落叶松(*Larix olgensis*)和红松人工林。主要灌木有:瘤枝卫矛(*Euonymus pauciflorus*)、刺五加(*Acanthopanax senticosus*)、辽东丁香(*Syringa wolfii*)和东北山梅花(*Philadelphus schrenkii*)等,主要草本种类有:荨麻叶龙头草(*Meehanianthus urticifolia*)、白花碎米荠(*Cardamine leucantha*)、珠芽艾麻(*Laportea bulbifera*)、透茎冷水花(*Pilea pumila*)和球果堇菜(*Viola collina*)等^[16-17]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地及试验设置

2011 年 5 月,在清原站内选取落叶松人工林、花曲柳林、杂木林(主要乔木组成为胡桃楸、桦树和杨树)、

红松人工林和蒙古栎林 5 个林型作为试验样地^[15]。每个林型设置 3 块重复样地,每块重复样地面积 20 m×30 m。在每块重复样地内选择径级大、中、小(>20 cm、15—20 cm、<15 cm)树木各 1 株,采用剖开的胶皮管螺旋形固定在刮平树皮的树干上做成截水槽(开口向上,与树干连接处密封),用导管连通截水槽,将树干茎流引入地面的窄口集水箱。在空旷地设置 3 个直径 16.15 cm、高 17.10 cm 的聚乙烯水桶对林外雨进行收集,水桶上方设有聚乙烯漏斗防止阳光直射和杂物的影响。利用清原站内气象站监测的单次降雨起始时间和结束时间计算降雨历时,同时,记录降雨量。

1.2.2 样地调查

采用高精度 Trimble Juno 3b 手持 GPS 全球定位仪设置标准样地,调查内容包括:林龄、立木密度、林冠开度以及样地内主要的乔木、灌木和草本植物种类。林龄采用生长锥法确定;利用数码相机和鱼镜头在距地面 1.0 m 处拍摄全天空照片,采用 Gap light analyzer 2.0 软件对照片进行处理并计算林冠开度和叶面积指数^[18]。样地基本概况见表 1。

表 1 样地调查
Table 1 The survey of sampling sites

林型 Forest type		落叶松人工林 <i>Larix olgensis</i> stand	花曲柳林 <i>Fraxinus</i> <i>rhynchophylla</i> stand	杂木林 <i>Mixed forest</i> stand	红松人工林 <i>Pinus koraiensis</i> stand	蒙古栎林 <i>Querus mongolica</i> stand
林龄 Forest age/a		23	45	40	30	49
密度	样地 1	2513	907	1131	2083	2623
Density/(株/hm ²)	样地 2	2094	910	1910	2000	2086
	样地 3	2932	1256	1527	1933	1609
坡向 Aspect		北偏西 21°	南偏西 16°	北偏东 30°	北偏东 35°	南偏西 45°
坡度 Slope/(°)		0	30	40	30	35
林冠开度 /%	样地 1	25.33	17.78	20.88	25.71	16.69
Canopy openness	样地 2	25.31	16.43	18.89	25.94	19.51
	样地 3	26.41	19.63	22.18	34.82	17.64
叶面积指数/(m ² /m ²)	样地 1	2.09	1.94	1.85	1.94	1.95
Leaf area index	样地 2	1.95	1.93	1.88	2.03	1.84
	样地 3	2.04	1.96	2.00	1.90	1.90
平均树高	样地 1	14.70±1.56	13.04±3.13	10.88±3.33	10.98±2.83	13.22±3.33
Tree height/m	样地 2	12.64±3.38	14.32±2.63	13.01±3.46	11.33±2.95	12.14±2.88
	样地 3	12.23±2.96	14.76±4.37	13.64±3.39	13.22±3.33	10.77±3.33
胸径/cm	样地 1	14.77±1.56	18.01±1.04	21.60±1.17	15.10±0.91	14.34±1.28
Diameter at breast	样地 2	14.77±1.22	21.33±1.62	13.04±0.97	15.21±1.53	19.47±1.69
tree height	样地 3	15.44±1.53	14.31±1.33	21.04±1.92	14.34±1.28	16.51±1.48
海拔 Altitude/m	样地 1	656	647	674	662	626
	样地 2	653	638	664	664	631
	样地 3	650	630	668	664	637
经纬度	样地 1	N41°50.629′	N41°50.654′	N41°50.509′	N41°50.510′	N41°51.145′
Latitude and longitude		E124°56.846′	E124°56.855′	E124°56.117′	E124°56.115′	E124°56.085′
	样地 2	N41°50.624′	N41°50.651′	N41°50.505′	N41°50.512′	N41°51.147′
		E124°56.855′	E124°56.853′	E124°56.119′	E124°56.115′	E124°56.088′
	样地 3	N41°50.619′	N41°50.644′	N41°50.501′	N41°50.514′	N41°51.142′
		E124°56.847′	E124°56.8561′	E124°56.114′	E124°56.117′	E124°56.082′

1.2.3 雨水和树干茎流理化性质测定

2011 年 6—8 月,在连续降雨超过 10 mm 时,测定收集到的林外雨和树干茎流理化性质,雨后 12 h 内利用 W-23 多参数水质监测系统(HORIBA 公司,日本)现场测定雨水和树干茎流的 pH 值、电导率、浊度、氧化还原电位、总溶解固体含量、溶解氧、氯离子浓度等 7 项理化指标,剩余水样冷冻保存,带回实验室,利用 AA3 流动

分析仪(德国)对硝酸根离子、铵根离子及总磷浓度进行测定。仪器各指标测定范围及精确度见表2。

表2 仪器功能参数
Table 2 The function parameters of instrument

水质指标 Water quality index	pH 值	电导率 Conductivity (COND) /(m/s)	浊度 Turbidity (TURB) /NTU	溶解氧浓度 Dissolved oxygen concentration (DO) /(mg/L)	总溶解 固体含量 Total dissolved solid (TDS) /(mg/L)	氧化还 原电位 Oxidation- reduction (ORP) /mV	氯离子浓度 [Cl ⁻] /(mg/L)	硝酸根 离子浓度 [NO ₃ ⁻] /(mg/L)	铵根离 子浓度 [NH ₄ ⁺] /(mg/L)	总磷浓度 Total phosphorus concentration /(mg/L)
量程 Measuring range	0—14	0—9.9	0—800	0—19.99	0—100	±1999	0—35000	0—10	0—10	0—10
精确度 Precision	0.01	0.1	1	0.1	0.01	1	0.01	0.01	0.01	0.01

由于药品纯度问题,水样总磷浓度可能整体偏高

1.2.4 数据处理

数据分析采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计分析软件完成。每个林型每次树干茎流的理化性质为 3 个重复样地的平均值;按时间顺序依次列出每次降雨各林型树干茎流理化性质;根据各次降雨雨量计算雨水及树干茎流各指标的加权平均值。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同林型树干茎流理化性质的差异。利用 Person 相关分析确定林外雨与树干茎流各理化指标之间以及林分特征与树干茎流理化性质之间的相关关系。利用线性回归分析建立了树高和胸径的乘积与树干茎流硝酸根离子浓度的关系。

2 结果

2.1 降雨概况及林外雨的理化性质

试验期间(6—8月),共采集水样8次,总降雨量463 mm(表3)。雨水的pH值变化范围5.90—7.66,除7月31日外(5.90),符合《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006(pH值6.15—8.15)。雨水浊度变化范围为2—11 NTU,加权均值为5 NTU,超出GB 5749—2006 饮用水标准(<3 NTU)(表4)。8次降雨的溶解氧浓度均符合GB3838—2002(中华人民共和国国家标准)中Ⅰ类水质标准(≥7.15 mg/L),总溶解固体含量变化范围0.01—0.05 g/L,符合GB 5749—2006 中饮用水标准(<1 g/L)(表4)。雨水的氧化还原电位变化范围为167—364 mV(表4)。雨水中氯离子浓度的加权均值为0.48 mg/L,远低于GB 3838—2002 集中式生活饮用水地表水源限值(250 mg/L);硝酸根离子在雨水中的浓度变化范围为0.24—0.44 mg/L,加权均值为0.35 mg/L,低于GB 3838—2002 标准(10 mg/L);雨水中铵根离子浓度变化范围为0.15—0.69 mg/L,加权均值为0.54 mg/L,根据GB 3838—2002 标准,达到Ⅲ类地表水要求;总磷浓度变化范围为0.05—0.43 mg/L,加权均值为0.14 mg/L,依照GB 3838—2002 中地表水环境质量标准基本项目标准限值,属于Ⅲ类地表水范围(表4)。

表3 2011年清原站降雨量统计表
Table 3 The amount of bulk precipitation at Qingyuan Experimental Station of Forest Ecology in 2011

日期 Date	历时 Duration/h	雨量 Rainfall amount/mm	雨强 Rainfall intensity/(mm/h)
6-23	2.5	15	6.0
6-26—27	1.8	11	6.1
7-15	0.6	15	25.0
7-20—21	3.8	70	16.4
7-30—31	3.2	57	17.8
8-09—10	27	115	4.3
8-16—16	22	116	5.3
8-28	3.8	64	16.8

表 4 林外雨的理化性质

Table 4 The physicochemical properties of bulk precipitation

日期 Date	pH	电导率 COND/(mS/m)	浊度 TURB/NTU	溶解氧 DO/(mg/L)	总溶解固体含量 TDS/(g/L)
6-23	6.85±0.05	8±0.1	7±1	9.2±0.1	0.05±0.01
6-27	6.85±0.01	2±0.3	2±1	9.2±0.1	0.02±0.01
7-15	7.66±0.47	5±3.1	4±2	9.0±0.1	0.03±0.01
7-21	6.46±0.38	2±0.1	4±1	9.3±0.1	0.01±0.00
7-31	5.90±0.01	3±0.2	3±1	8.9±0.1	0.02±0.01
8-10	6.57±0.01	1±0.2	2±1	9.3±0.1	0.01±0.00
8-16	6.16±0.08	2±0.5	11±1	—	0.02±0.01
8-28	6.28±0.08	2±0.2	3±1	9.0±0.1	0.01±0.00
加权均值 Mean	6.38±0.14	2.3±0.5	5±1	9.1±0.1	0.02±0.01

日期 Date	氧化还原电位 ORP/mV	氯离子浓度 Cl ⁻ /(mg/L)	铵根离子浓度 NH ₄ ⁺ /(mg/L)	硝酸根离子浓度 NO ₃ ⁻ /(mg/L)	总磷浓度 TP/(mg/L)
6-23	263±11	0.31±0.02	0.48±0.30	0.24±0.02	0.10±0.01
6-27	291±5	0.38±0.07	0.15±0.01	0.42±0.03	0.09±0.04
7-15	167±59	0.53±0.10	0.55±0.51	0.31±0.14	0.05±0.02
7-21	297±8	0.60±0.10	0.39±0.02	0.44±0.17	0.24±0.02
7-31	325±6	0.83±0.01	0.52±0.14	0.30±0.04	—
8-10	344±14	0.25±0.11	0.55±0.12	0.37±0.18	0.19±0.01
8-16	329±4	0.57±0.10	0.69±0.12	0.31±0.07	0.12±0.08
8-28	364±10	0.32±0.11	0.47±0.09	0.40±0.06	—
加权均值 Mean	324±15	0.48±0.17	0.53±0.26	0.35±0.23	0.14±0.05

“—”表示水样缺失或污染

2.3 辽东山区不同林型树干茎流的理化性质

2.2.1 不同林型树干茎流的物理性质

除 6 月 23 日、7 月 15 日和 8 月 28 日,落叶松人工林树干茎流电导率和总溶解固体含量均大于杂木林、花曲柳林和蒙古栎林,7 月 15 日红松人工林树干茎流电导率和总溶解固体含量为试验期间最大值;8 次降雨中,花曲柳林和红松人工林树干茎流浊度分别 3 次、2 次大于其它 4 种林型(图 1)。

经单因素方差分析:红松人工林、落叶松人工林和杂木林树干茎流电导率及总溶解固体含量显著高于蒙古栎林($P<0.05$);红松人工林树干茎流浊度明显高于杂木林和落叶松人工林($P<0.05$);不同林型树干茎流氧化还原电位没有显著差异($P>0.05$)(表 5)。

表 5 不同林型树干茎流电导率、总溶解固体含量、浊度和氧化还原电位比较

Table 5 The conductivity, total dissolved solid, turbidity and oxidation-reduction values comparison of stemflow of five forest types (mean±SE)

林型 Forest type	电导率 COND/(mS/m)	总溶解固体含量 TDS/(g/L)	浊度 TURB/NTU	氧化还原电位 ORP /mV
杂木林 Mixed forest stand	13.7±2.1a*	0.09±0.01a*	8±1a*	299±10a
红松人工林 <i>Pinus koraiensis</i> stand	12.6±2.1ab*	0.08±0.01ab*	13±1b*	330±9a
蒙古栎林 <i>Querus Mongolica</i> stand	6.9±0.7c*	0.05±0.01c*	10±1ab	314±9a
花曲柳林 <i>Fraxinus rhynchophylla</i> stand	8.2±1.1b*	0.06±0.01b*	10±1ab	300±11a
落叶松人工林 <i>Larix olgensis</i> stand	14.7±2.4a*	0.10±0.02a*	9±1a*	307±18a

* $P<0.05$; * * $P<0.01$; 不同小写字母表示不同林型树干茎流相同指标差异显著

2.2.2 不同林型树干茎流化学性质

除 8 月 10 日、8 月 16 日,落叶松人工林树干茎流 pH 值低于其它 4 种林型,除 6 月 26 日、8 月 11 日,红松人工林树干茎流 pH 值低于其它 4 种林型;除 6 月 23 日和 8 月 28 日,蒙古栎林树干茎流溶解氧浓度高于其它 4 种林型;落叶松人工林树干茎流氯离子浓度除在 7 月 15 日略低于红松人工林,其余时间均高于其它 4 种林型;8 次降雨中,杂木林树干茎流硝酸根离子浓度 7 次高于其它 4 种林型,落叶松人工林和红松人工林树干茎

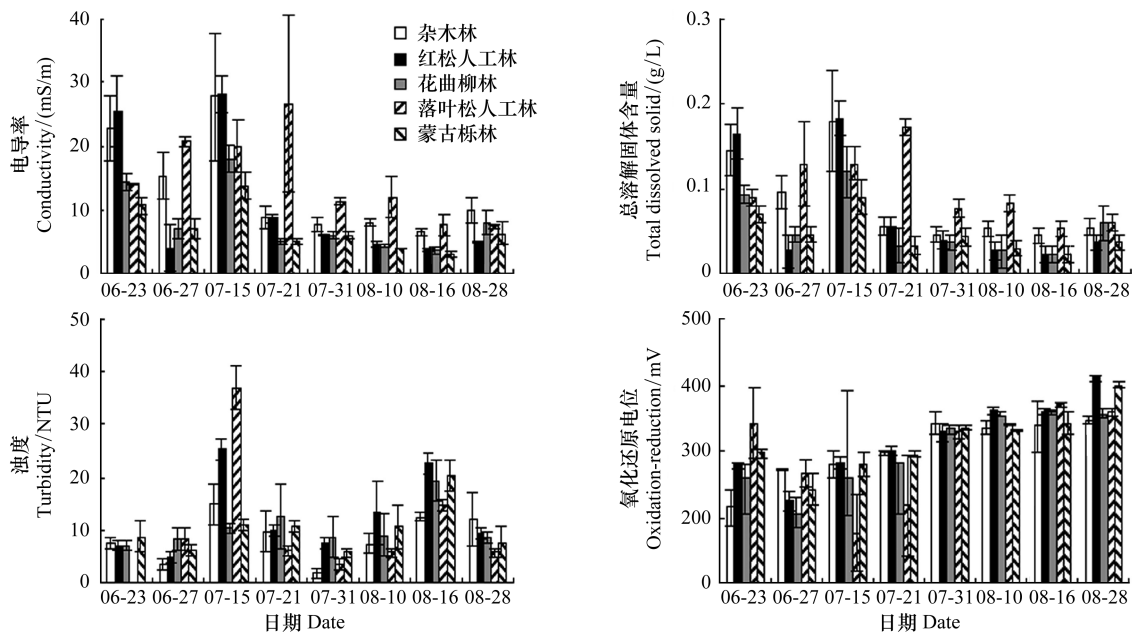


图1 不同林型树干茎流的电导率、总溶解固体含量、浊度和氧化还原电位

Fig.1 The conductivity, total dissolved solid, turbidity and oxidation-reduction values of stemflow of five forest types

流硝酸根离子浓度6次低于其它3种林型;试验期间,杂木林树干茎流总磷浓度始终高于其余4种林型;8次降雨中,落叶松人工林和红松人工林树干茎流总磷浓度始终5次低于其余3种林型(图2)。

经单因素方差分析:红松人工林和落叶松人工林树干茎流pH值显著低于杂木林、蒙古栎林和花曲柳林($P<0.05$);蒙古栎林和落叶松人工林树干茎流溶解氧浓度明显高于杂木林、红松人工林和花曲柳林($P<0.05$);落叶松人工林树干茎流氯离子浓度显著高于其它4种林型($P<0.05$);杂木林树干茎流硝酸根离子和总磷浓度明显高于其它4种林型($P<0.05$);落叶松人工林和红松人工林总磷浓度显著低于其它3种林型($P<0.05$);不同林型树干茎流铵根离子浓度没有显著差异($P>0.05$)(表6)。

表6 不同林型树干茎流pH值和溶解氧、氯离子、硝酸根离子、铵根离子及总磷浓度比较(平均值±标准误)

Table 6 The pH and concentration of dissolved oxygen, NO_3^- , NH_4^+ and total phosphorus comparison of stemflow of five forest types (mean±SE)

林型 Forest type	pH 值	溶解氧 DO/(mg/L)	氯离子浓度 Cl^- /(mg/L)	铵根离子浓度 NH_4^+ /(mg/L)	硝酸根离子浓度 NO_3^- /(mg/L)	总磷浓度 TP/(mg/L)
杂木林 Mixed forest stand	5.95±0.11a*	8.1±0.6a*	0.82±0.07a*	1.39±0.26a	1.46±0.21a*	1.20±0.05a*
红松人工林 <i>Pinus koraiensis</i> stand	5.06±0.12b*	8.0±0.5a*	0.68±0.06a*	1.05±0.17a	0.42±0.06b*	0.25±0.01d*
蒙古栎林 <i>Quercus Mongolica</i> stand	5.79±0.13a*	8.6±0.3b*	0.65±0.06a*	0.99±0.12a	0.69±0.07b*	0.56±0.04b*
花曲柳林 <i>Fraxinus rhynchophylla</i> stand	5.71±0.15a*	8.1±0.8a*	0.70±0.06a*	1.13±0.17a	0.68±0.05b*	0.64±0.05c*
落叶松人工林 <i>Larix olgensis</i> stand	5.14±0.13b*	8.5±0.3b*	1.04±0.07b*	0.99±0.18a	0.42±0.05b*	0.35±0.03d*

* $P<0.05$; * * $P<0.01$

2.3 林外雨与树干茎流理化性质相关分析

相关分析表明,5种林型树干茎流与林外雨的pH值、浊度、电导率、氯离子浓度均呈正相关,其中杂木林树干茎流与林外雨pH值、浊度呈显著正相关($P<0.05$),除蒙古栎林,其余4种林型树干茎流与林外雨的电导率呈显著正相关($P<0.05$);落叶松人工林,花曲柳林和杂木林树干茎流与林外雨总溶解固体含量呈显著正相关($P<0.05$);杂木林树干茎流与林外雨总磷浓度呈显著正相关($P<0.05$);花曲柳林、杂木林、红松人工林和蒙古栎林树干茎流与林外雨铵根离子浓度呈正相关;除花曲柳林,其余4种林型树干茎流与林外雨溶解氧

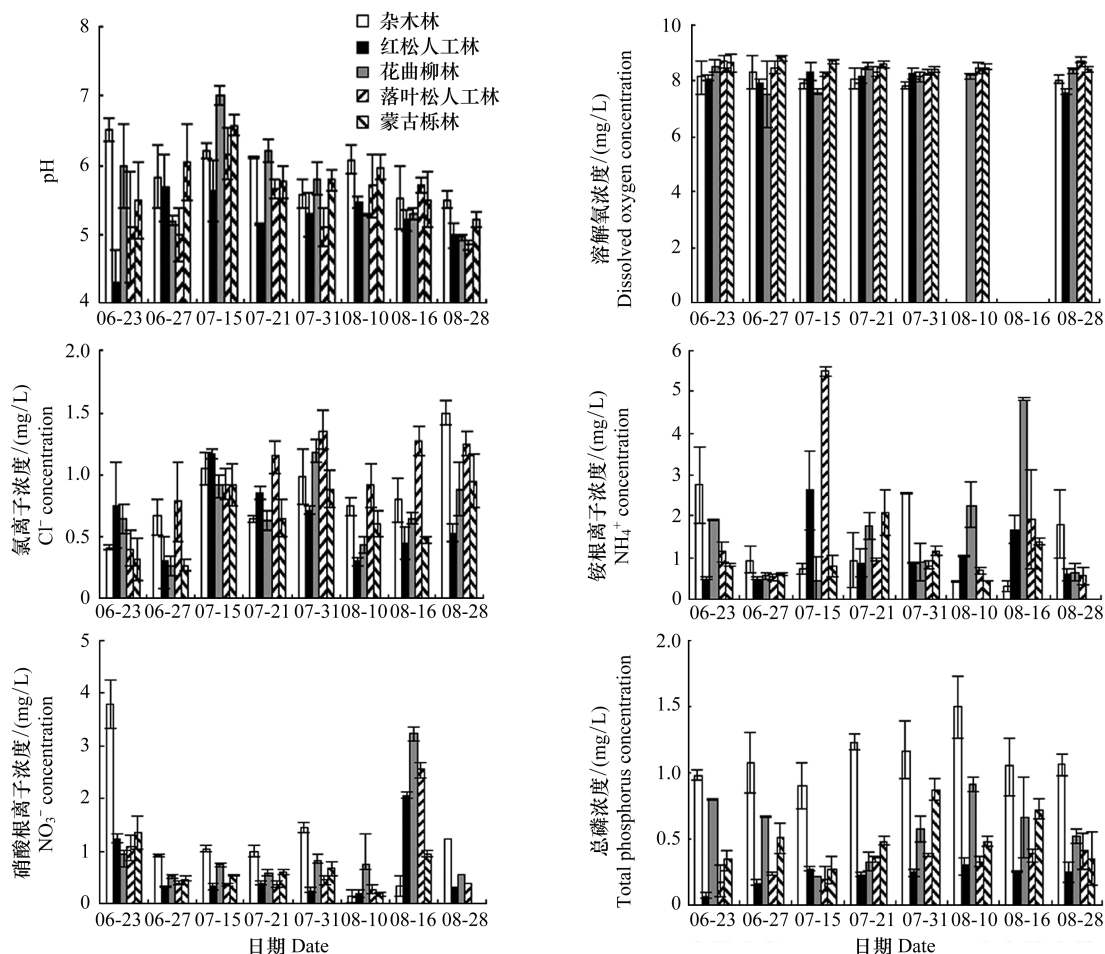


图2 不同林型树干茎流的 pH 值和溶解氧、氯离子、铵根离子、硝酸根离子及总磷浓度

Fig. 2 The pH and concentration of dissolved oxygen, Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- and total phosphorus of stemflow in five forest types

浓度呈正相关、硝酸根离子浓度呈负相关(表 7)。

表 7 林外雨与树干茎流各理化性质指标的相关系数

Table 7 Correlation coefficients of physicochemical parameters between bulk precipitation and stemflow of different forest types

林型 Forest type	pH 值	电导率 COND	浊度 TURB	溶解氧 浓度 DO	总溶解固体 含量 TDS	氯离子 浓度 Cl^-	铵根离子 浓度 NH_4^+	硝酸根 离子浓度 NO_3^-	总磷浓度 TP
落叶松人工林 <i>Larix olgensis</i> stand	0.677	0.774 *	0.444	0.761	0.74 *	0.081	-0.061	-0.446	0.009
花曲柳林 <i>Fraxinus rhynchophylla</i> stand	0.212	0.863 **	0.493	-0.063	0.804 *	0.423	0.219	0.515	0.586
杂木林 Mixed forest stand	0.719 *	0.760 *	0.822 *	0.303	0.714 *	0.371	0.782	-0.162	0.949 *
红松人工林 <i>Pinus koraiensis</i> stand	0.630	0.795 *	0.727 *	0.218	0.688	0.641	0.516	-0.266	0.312
蒙古栎林 <i>Querus Mongolica</i> stand	0.481	0.065	0.295	0.142	-0.067	0.612	0.14	-0.564	0.431

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

2.4 林分特征和树干茎流水质的相关分析

树干茎流 pH 值与平均胸径和林冠开度呈显著正相关($P < 0.05$);硝酸根离子浓度与平均树高、平均胸径和林冠开度呈显著正相关($P < 0.05$);总溶解固体含量与林分密度呈显著正相关($P < 0.05$);铵根离子浓度与

胸径和树高的乘积呈显著正相关($P<0.05$);总磷浓度与平均胸径呈显著正相关、与林分密度、叶面积指数和林冠开度呈显著负相关($P<0.05$)(表8)。回归分析结果表明,树干茎流硝酸根离子浓度与胸径和树高的乘积呈显著线性正相关($P<0.05$)(图3)。

表8 不同林分特征与树干茎流各理化性质指标的相关系数

林分特征 Stand characteristic	pH	电导率 COND	浊度 TURB	溶解氧 DO	总溶解 固体含量 TDS	氯离子 浓度 Cl ⁻	铵根离子 浓度 NH ₄ ⁺	硝酸根离 子浓度 NO ₃ ⁻	总磷浓度 TP
平均树高 Tree height	0.260	-0.101	-0.078	0.473	-0.091	0.248	0.609 *	0.704 *	0.156
平均胸径 Diameter at breast tree height	0.608 *	-0.188	-0.204	-0.225	-0.218	-0.262	0.236	0.634 *	0.375 *
叶面积指数 Leaf area index	-0.392	0.420	-0.098	0.246	0.431	0.352	0.221	-0.258	-0.336 *
林冠开度 Canopy openness	0.589 *	-0.437	-0.271	0.013	-0.433	-0.217	0.247	0.641 **	-0.393 *
胸径和树高乘积 the product between diameter at breast height and tree height	0.554	-0.194	-0.184	0.086	-0.209	-0.077	0.516 *	0.816 **	0.397
林分密度 Density	-0.346	0.506	0.073	0.227	0.535 *	0.372	-0.459	-0.458	-0.445 *

* $P<0.05$; * * $P<0.01$

3 讨论

雨水在形成树干茎流过程中,除与林冠层进行颗粒物、化学元素等的交换,又与树干表面发生作用,水质通常发生变化^[19-21]。本研究发现,同林外雨相比,5种林型树干茎流溶解氧浓度明显降低;浊度、电导率、总溶解固体含量和氯离子、铵根离子、硝酸根离子、总磷浓度明显升高。与穿透雨相比^[15],各林型树干茎流电导率、总溶解固体含量及浊度升高更为明显,这可能是雨水对树干表面微尘、养分元素等的淋洗、淋溶过程所致^[4]。

树干茎流理化性质与环境因素及降水特征密切相关^[1]。6月23日和7月15日各林型树干茎流平均总溶解固体含量、电导率、铵根离子和硝酸根离子浓度较高(表4),两次降雨前干沉降时间均较长(6月23日为试验期间首次降雨)(表3),降雨溶解和冲刷了大量空气中积累的离子和化合物以及植物表面的沉积物,因此,树干茎流可溶性物质浓度较高^[1, 12, 22]。8月28日各林型树干茎流平均电导率和总溶解固体含量最高(表4),这可能与降雨期间的温度、风速等环境状况有关^[23]。

与林外雨相比,5种林型树干茎流均出现明显酸化(图2),这与以往研究结果相似^[1, 24]。在大气污染较轻的区域,树木分泌的有机酸等物质是影响树干茎流水质的主要因素^[24]。结合2008年穿透雨水质监测结果^[15],研究区域红松人工林和落叶松人工林穿透雨与树干茎流酸化程度均较其它林型严重,其原因可能是:与阔叶林相比,针叶林林冠分泌酸性物质较多,同时,其叶面积指数较大(表1),枝叶接触雨水的面积较大^[25-27]。

已有研究表明,树干表皮特征对树干茎流可溶性物质含量有重要影响^[5, 24]。本研究进一步证实了上述结论:由于红松和落叶松的树干表皮比较粗糙,易于阻滞、吸附空气中的尘埃,并有效延长雨水与树干的接触

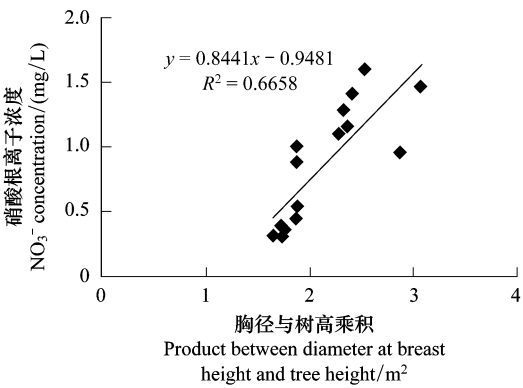


图3 树干茎流硝酸根离子浓度和胸径与树高乘积的关系

Fig.3 Relationship between the concentration of NO₃⁻ of stemflow and the product between diameter at breast height and tree height

时间,其树干茎流水体纯度下降最为显著^[5, 19]。

树木枝叶表层积累物质的化学性质直接影响树干茎流水质^[1, 5]。2008 年穿透雨水水质监测结果表明,研究区内落叶松人工林穿透雨氯离子浓度显著高于其它林型,该林型树干茎流水质表现出相同特征,即再次证明落叶松针叶对氯离子的吸收可能较少^[15]。落叶松人工林和红松人工林树干茎流养分元素浓度明显低于其它林型,而杂木林树干茎流养分元素浓度明显高于其它林型,这与该区不同林型穿透雨理化性质监测结果相似^[15],其原因可能是:杂木林枝叶表层氮、磷等元素含量较高,导致雨水与之发生作用时,淋溶率较高,而落叶松人工林和红松人工林则相反^[5, 14, 28]。本研究还发现,随着胸径与树高乘积值的增大,雨水与树干接触面积增加、时间延长,树干表皮中在生长季易于被雨水淋溶的硝酸根离子大量溶入树干茎流中^[5]。

综上所述,雨水进入辽东山区次生林生态系统形成树干茎流后,水质明显下降,与 2008 年穿透雨水水质监测结果相比^[15],其对雨水的电导率、总溶解固体含量和浊度的影响更为显著。杂木林树干茎流对林外雨化学性质的影响最为显著;红松人工林和落叶松人工林树干茎流对林外雨物理性质的影响最为明显。大量研究表明,森林具有水化学贮滤净化作用,能够有效改善水体质量^[29-31]。因此,将以本研究为基础,通过分析研究区域内森林凋落物、土壤等对水质的影响,对森林的水质改善机理进行深入探讨。

References:

- [1] Levia D F, Frost E E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology*, 2003, 274(1/4): 1-29.
- [2] Li L H, Lin P, He J Y, Jin C S. Review on the study of forest precipitation chemistry. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1994, 8(1): 84-96.
- [3] Llorens P, Domingo F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 2007, 335(1/2): 37-54.
- [4] Bao W, Bao W K, Ding D R, He B H. Effects of forest vegetation on water chemistry of precipitation. *Ecology and Environment*, 2004, 13(1): 112-115.
- [5] André F, Jonard M, Ponette Q. Effects of biological and meteorological factors on stemflow chemistry within a temperate mixed oak-beech stand. *Science of the Total Environment*, 2008, 393(1): 72-83.
- [6] Levia D F, Van Stan J T, Siegert C M, Inamdar S P, Mitchell M J, Mage S M, McHale P J. Atmospheric deposition and corresponding variability of stemflow chemistry across temporal scales in a mid-Atlantic broadleaved deciduous forest. *Atmospheric Environment*, 2011, 45(18): 3046-3054.
- [7] Siles P, Vaast P, Dreyer E, Harmand J M. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss in a coffee (*Coffea arabica* L.) monoculture compared to an agroforestry system with *Inga densiflora*. *Journal of Hydrology*, 2010, 395(1/2): 39-48.
- [8] Van S J T, Siegert C M, Levia D F, Scheick C E. Effects of wind-driven rainfall on stemflow generation between codominant tree species with differing crown characteristics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, 151(9): 1277-1286.
- [9] Nívar J. Stemflow variation in Mexico's northeastern forest communities: its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. *Journal of Hydrology*, 2011, 40(1/2)8: 35-42.
- [10] Yan W D, Tian D L, Chen S J, Xiang J L, Xiang D. Nutrient characteristics of stem-flow in four tree species. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(6): 50-56.
- [11] Nikodem A, Kodešová R, Drábek O, Bubenířková L, Borůvka L, Pavlů L, Tejnecký V. A numerical study of the impact of precipitation redistribution in a beech forest canopy on water and aluminum transport in a podzol. *Vadose Zone Journal*, 2010, 9(2): 238-251.
- [12] Parron L M, Bustamante M M C, Markewitz D. Fluxes of nitrogen and phosphorus in a gallery forest in the Cerrado of central Brazil. *Biogeochemistry*, 2011, 105(1/3): 89-104.
- [13] Małek S. Nutrient Fluxes in Planted Norway Spruce Stands of Different Age in Southern Poland. *Water, Air & Soil Pollution*, 2010, 209(1/4): 45-59.
- [14] Talkner U, Krämer I, Hölscher D, Beese F O. Deposition and canopy exchange processes in central-German beech forests differing in tree species diversity. *Plant and soil*, 2010, 336(1/2): 405-420.
- [15] Xi X J, Yan Q L, Yu L Z, Zhu J J, Zhang C H, Zhang J X, Liu C X. Physical and chemical properties of throughfall in main forest types of secondary forest ecosystem in montane regions of eastern Liaoning Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(9): 2097-2104.
- [16] Zhu J J, Mao Z H, Hu L L, Zhang J X. Plant diversity of secondary forests in response to anthropogenic disturbance levels in montane regions of northeastern China. *Journal of Forest Research*, 2007, 12(6): 403-416.
- [17] Xu T L, Zhu J J, Yu L Z, Sun Y R, Miao J. Impacts of extreme rainfall on soil erosion and tree-falling in secondary forest ecosystems in

- mountainous regions of eastern Liaoning Province, Northeast China. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(8): 1712-1719.
- [18] Zhu J J, Matsuzaki I, Gonda Y. Optical stratification porosity as a measure of vertical canopy structure in a Japanese coastal forest. *Forest Ecology and Management*, 2003, 173(1/3): 89-104.
- [19] Sheng H C, Cai T J, Zhu D G, Li H, Wu X J. Nutrient characteristics of through-fall and stem-flow in virgin forest of *Pinus koraiensis*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(5): 47-51.
- [20] Polkowska Z, Astel A, Walna B, Małek S, Medrzycka K, Górecki T, Siepak J, Namieśnik J. Chemometric analysis of rainwater and throughfall at several sites in Poland. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(5): 837-855.
- [21] Huang L Y, Yan W D, Tian D L. Chemical properties of the precipitation in the urban forest of *pinus ellottii* species in Changsha city. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2007, 27(2): 22-26.
- [22] Xiao Y, Chen L H, Yu X X, Yang X B, Sun Q Y. Influence of *Pinus tanulaefomis* forest on precipitation and its nutrient content in Miyun reservoir of Beijing City. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2007, 27(5): 22-27.
- [23] Levia Jr D F, Herwitz S R. Physical properties of water in relation to stemflow leachate dynamics: implications for nutrient cycling. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, 30(4): 662-666.
- [24] Wang D Z, Nie L S, Li Y J. Effects of forest on chemicals of precipitation and total suspended particles of stem-flow in Jiufeng National Forest Park, Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(1): 88-91.
- [25] Wang W, Cao H F. Response of forest canopy to acidic fog in Hengshan Mountain. *Research of Environmental Science*, 1993, 6(6): 32-37.
- [26] Zhou X P, Xiang F. The ILWAS model for the effect of acid precipitation, soil and vegetation on surface water acidification. *China Environmental Science*, 1993, 13(2): 90-94.
- [27] de Schrijver A, Staelens A, Wuyts K, Staelens J, Wuyts K, Van Hoydonck G, Janssen N, Mertens J, Gielis L, Geudens G, Augusto L, Verheyen K. Effect of vegetation type on throughfall deposition and seepage flux. *Environmental Pollution*, 2008, 153(2): 295-303.
- [28] Talkner U, Jansen M, Beese F O. Soil phosphorus status and turnover in central-European beech forest ecosystems with differing tree species diversity. *European Journal of Soil Science*, 2009, 60(3): 338-346.
- [29] Wang Y Q, Wang Y J. Evolution of study on the forest stream water quality. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(4): 242-246.
- [30] McBroom M W, Beasley R S, Chang M, Ice G G. Water quality effects of clearcut harvesting and forest fertilization with best management practices. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37(1): 114-124.
- [31] Neary D G, Ice G G, Jackson C R. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(10): 2269-2281.

参考文献:

- [2] 李凌浩, 林鹏, 何建源, 金昌善. 森林降水化学研究综述. *水土保持学报*, 1994, 8(1): 84-96.
- [4] 鲍文, 包维楷, 丁德蓉, 何丙辉. 森林植被对降水水化学的影响. *生态环境*, 2004, 13(1): 112-115.
- [10] 闫文德, 田大伦, 陈书军, 向建林, 向东. 4个树种茎流养分特征研究. *林业科学*, 2005, 41(6): 50-56.
- [15] 席兴军, 闫巧玲, 于立忠, 朱教君, 张彩虹, 张金鑫, 刘长霞. 辽东山区次生林生态系统主要林型穿透雨的理化性质. *应用生态学报*, 2009, 20(9): 2097-2104.
- [17] 徐天乐, 朱教君, 于立忠, 孙一荣, 苗杰. 极端降雨对辽东山区次生林土壤侵蚀与树木倒伏的影响. *生态学杂志*, 2011, 30(8): 1712-1719.
- [19] 盛后财, 蔡体久, 朱道光, 李华, 武秀娟. 原始红松林穿透雨和树干茎流养分特征研究. *水土保持学报*, 2008, 22(5): 47-51.
- [21] 黄乐艳, 闫文德, 田大伦. 长沙市城市森林中湿地松的降水化学性质. *中南林业科技大学学报*, 2007, 27(2): 22-26.
- [22] 肖洋, 陈丽华, 余新晓, 杨新兵, 孙庆艳. 北京密云油松人工林对降水及其营养元素含量的影响. *水土保持通报*, 2007, 27(5): 22-27.
- [24] 王登芝, 聂立水, 李吉跃. 森林对鹫峰国家森林公园降水化学及树干茎流悬浮物的影响. *北京林业大学学报*, 2005, 27(1): 88-91.
- [25] 王炜, 曹洪法. 衡山酸性云水对森林冠层的作用. *环境科学研究*, 1993, 6(6): 32-37.
- [26] 周修萍, 向峰. 酸沉降与土壤、植被的相互作用及其对水体酸化影响的模型研究. *中国环境科学*, 1993, 13(2): 90-94.
- [29] 王云琦, 王玉杰. 森林溪流水质的研究进展. *水土保持研究*, 2003, 10(4): 242-246.

《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 朱永官

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 11 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 11 (June, 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