

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **2011**

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 31 卷 第 13 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07	



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

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

王新凯,田大伦,闫文德,宁晓波,梁小翠,李树战.喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环.生态学报,2011,31(13):3691-3699.

Wang X K, Tian D L, Yan W D, Ning X B, Liang X C, Li S Z. Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3691-3699.

喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环

王新凯^{1,2}, 田大伦^{1,4,*}, 闫文德^{1,5}, 宁晓波³, 梁小翠^{1,4}, 李树战^{1,5}

(1. 中南林业科技大学 长沙 410004; 2. 国家林业局 北京 100714; 3. 贵州省林业厅 贵阳 550001;

4. 南方林业生态应用技术国家工程实验室 长沙 410004; 5. 国家野外科学观测研究站 会同 418307)

摘要:对喀斯特城市 25 年生杨树人工林内 Cu、Fe、Zn、Mn、Ni、Pb、Co、Cd 微量元素的含量、积累、空间分配和生物循环进行了研究。结果表明,林地土壤中,微量元素含量 Fe 最高,Mn 次之,Cd 最低,且呈现随土层深度增加而减少的垂直分布规律。在枯枝落叶层的分解过程中,Pb、Ni、Mn、Cd、Cu、Co、Zn 分解速度比 Fe 快。林木各器官微量元素含量为细根>树叶>粗根>树皮>树枝>大根>根桩>干材,Cu 在叶中高于其他器官。林分微量元素的总贮量为 14.086 kg/hm²,微量元素在各器官中贮存量排序为 Mn>Zn>Cu>Fe>Cd>Co>Pb>Ni,树干和树皮的贮存量最多,占总贮存量的 43.4%。林分微量元素的年吸收量为 3.079 kg/hm²,年归还量为 2.663 kg/hm²,年存留量为 0.417 kg/hm²,总利用系数为 0.219,循环系数为 0.865,周转期为 5.29 a,林分对土壤中 Cd 的吸收能力强,微量元素的生物分解率均高于生物迁移率。杨树林分中微量元素具有较大的循环速率和较短的周转期,而且林分对养分的稳定性、自我调节能力和培肥土壤的能力强,有利于林地生产力维持。

关键词:喀斯特;城市森林;杨树人工林;微量元素;生物循环

Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations

WANG Xinkai^{1,2}, TIAN Dalun^{1,4,*}, YAN Wende^{1,5}, NING Xiaobo³, LIANG Xiaocui^{1,4}, LI Shuzhan^{1,5}

1 Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China

2 State Forestry Administration, Beijing 100714, China

3 Forestry Bureau of Guizhou Province, Guiyang 550001, China

4 National Engineering Laboratory for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha 410004, China

5 National Field Station for Scientific Observation and Experiment, Huitong 418307, China

Abstract: Nutrients cycling is one of the fundamental and functional processes that maintain the structure and services produced by forest ecosystems. Many micronutrient elements can be essential to forested ecosystem biomass production. A lack of any of the essential elements can be limiting to biological production and ecological processes. This may be particularly important in karst areas, such as karst regions in southwestern China, where the high permeability of the bedrock and the strong anthropogenic disturbance result in nutrients deficiency and poor soil fertility. In order to understand the effect of urban forest development on microelements cycling in karst areas, we have studied poplar plantations located in Guiyang city, Guizhou Province of China, where the karst area accounts for 85% of the total urban area of the city. The concentration, accumulation, spatial distribution, decomposition and biological cycling of eight micronutrient elements (Cu, Fe, Zn, Mn, Ni, Pb, Co and Cd) in 25-year old poplar (*Populus tremula*) plantations were investigated. The results showed that the concentration of Fe was the highest among the eight microelements, following by Mn and Cd had the lowest concentration in the soils. The concentration of the eight micronutrient elements decreased with increasing of the soil

基金项目:科技部公益性研究项目(201104009,2007415,200904031,200804030,201104005-03);国家野外科学观测研究站项目(20060515,20070822);国家林业局软科学项目(2007R23)项目资助;教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-10-0151);湖南省科技厅项目(2006sk4059,2007sk4030,2010TP4011-3);湖南省教育厅项目(湘财教字[2010]70号);长沙市科技局创新平台项目(K1003009-61)

收稿日期:2011-03-07; 修订日期:2011-05-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:

depth. Microelements of Pb, Ni, Mn, Cd, Cu, Co and Zn had a higher rate of decomposition than Fe element in litter layer on the stand floor. The concentration of microelements in different organs of poplar trees was in an order of fine root > leaf > coarse root > bark > branch > large root > stake > wood. The concentrations of Cu in leaf were higher than those in other organs. The total storage of microelements in the plantations was 14.086 kg/hm², and the content of eight micronutrient elements in different organs of poplar trees was in the order of Mn>Zn>Cu>Fe>Cd>Co>Pb>Ni. The wood and bark had the highest amount of microelements than other organs, and they accounted for 43.4% of the total microelements in poplar trees. The patterns of biological cycle of micronutrient elements showed that annual uptake amount of microelements was 3.079 kg/hm², annual return 2.663 kg/hm², and annual retention 0.417 kg/hm² in the studied plantations. The utilization coefficient (ratio of the annual uptake amount to the total microelement storage in plantations) and cycling coefficient (ratio of annual return amount to annual uptake amount) of micronutrient elements were 0.219 and 0.865, respectively. The turnover period of the microelements (ratio of the total microelement storage in plantations to the annual return amount) was estimated to be 5.29 year. The poplar plantations had strong ability to absorb Cd from the soils, and the biological decomposition rates of all microelements were higher than their migration rates in the studied forests. Our results indicated that there was a relative high cycling rate and a relative short turnover period of the micronutrient elements in the poplar plantations. The study suggested that the urban poplar forests had a strong ability to keep nutrients stability, to make stand self-adjustment and to improve soil fertility, which might be beneficial to the maintenance of forest productivity.

Key Words: Karst; urban forest; poplar plantations; microelements; nutrient cycling

随着我国城市化进程的加快,城镇规模不断扩大,随之而来的生态环境问题也日益突出。森林具有多种生态功能,发挥森林在改善城市生态环境方面的重要作用已经成为现代都市建设的主体之一。生长和分布在城市内和城市郊区的森林都可称作城市森林^[1]。城市森林被称为“城市之肺”,是城市生命系统的主体,是城市可持续发展的保障,在改善城市地域内的生态环境,促进人与自然协调,满足社会持续发展等方面的作用突出,因此对城市森林的研究和城市森林的生态功能也倍受各界科学工作者的关注^[2-4]。

喀斯特是一种自然现象,主要指水对碳酸岩溶蚀的地球化学过程和形成的地貌形态,一般具有石质、无水、无林和地表崎岖的基本特征^[5]。贵州省是喀斯特地貌发育强烈的省份^[6],贵阳市为贵州省省会城市,地处喀斯特中心地带,喀斯特面积占全市总面积的 85.0%^[7],森林覆盖率为 41.78%,是一座森林环绕的秀丽山城,环城林带为贵阳市提供了绿色生态屏障,是国家林业局 2004 年底评为首个国家森林城市。

森林生态系统中的养分循环是其系统功能的主要表现之一,也是维持森林结构和功能稳定的重要因素^[8]。关于森林生态系统养分循环的研究多偏重于大量营养元素,涉及到微量元素尤其 3 种以上微量元素的研究并不多见^[9-13],而有关喀斯特城市森林生态系统微量元素的研究尚未见报道。本文选择贵阳市城市杨树人工林为研究对象,研究了杨树林生态系统中微量元素分配格局和流动动态,探讨了微量元素循环的特异性,从而丰富了喀斯特森林生态学的内容,可为喀斯特石漠化治理和植被恢复及经营管理提供科学依据。

1 试验区自然概况

试验区设在贵州省贵阳市贵州省林业科学研究院研究基地内。其地理位置为 106°27'E, 26°44'N。地处黔中山原丘陵中部,长江与珠江分水岭地带。地貌属以山地、丘陵为主的丘原盆地地区。喀斯特面积占全市面积的 85%^[7]。海拔 880—1659 m。年平均气温 15.3℃,年平均降水量 1129.5 mm,相对湿度为 78%。土壤以酸性黄壤为主,与石灰岩、白云岩、砂岩、页岩等交错分布。地带性植被为中亚热带湿润性常绿阔叶林,城区原生植被已经完全被破坏。自然植被以壳斗科 (Fagaceae)、樟科 (Lauraceae)、山茶科 (Theaceae) 为主的阔叶林,次生植被有杨梅 (*Myrica rubra*)、光皮桦 (*Betula luminifera*)、柏木 (*Cupressus funebris*)、女贞 (*Ligustrum lucidum*)、火棘 (*Pyracantha fortuneana*)、粗叶悬钩子 (*Rubus alceaefolius*) 等。在试验区内选择杨树 (*Populus tremula*) 人工林为研究对象,试验林分特征见表 1。同时在距离杨树林地 500 m 处无林地设置对照样地两块,

面积均为 900 m²。

表 1 杨树人工林的林分特征
Table 1 The features of *Populus tremula* plantations

林龄 Age/a	密度 Density /(株/hm ²)	平均胸径 Average DBH/cm	平均树高 Average height/m	林分生物量 Stand biomass/(t/hm ²)						林分生产力 Productivity /(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)
				干 Stem	皮 Bark	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root	合计 Total	
25	556	24.96	21.78	60.11	12.02	8.24	7.64	17.35	105.36	12.13

2 研究方法

2.1 林分生物量测定和生产力估算

在研究区内,设置 900 m²标准地 2 块,在标准地内按克拉夫特分级法进行每木调查,求算林分平均测树因子。鉴于标准地为城市森林,为减少破坏,只能在林地内按林木生长发育的优势、中等、较差 3 种状态选取标准木各 1 株,共 3 株。将标准木从树干基部伐倒,用分层切割法,按 2 m 区分段,测定各器官鲜重;根系采取全挖法,分层分级(根桩、大根>0.5 cm、粗根 0.2—0.5 cm、细根<0.2 cm)测定鲜重。然后按各器官分别采取小样本 1.0 kg,在 80 ℃烘至干重,求出各器官的干物质重。林木单株生物量由 3 株标准木的平均值求得;林分生物量由林木单株生物量乘以林分株数求得;林分生产力采用年平均生长量估算。

2.2 林地现存枯枝落叶层生物量测定

在样地内随机设置 5 个 1 m×1 m 的小样方,按未分解(L 层)、半分解(F 层)、全分解(H 层)3 个层次全收获测定鲜重,再抽取亚样本 1.0 kg,在 80 ℃恒温烘至干重。

2.3 土壤样品采集

在样地内和距样地 300 m 外空旷地各设置 4 个采样点,在每个采样点按 0—15、15—30、30—45、>45 cm 4 个层次,分别取土样 500 g,共采土样 20 个。去除石砾与杂物,风干后过 20 目和 100 目筛,备用。在取样地场用环刀取各点各层土样,用于测定土壤容重和孔隙度,用小铝盒取土测定土壤含水量。

2.4 化学分析方法

植物和土壤中 Cu、Fe、Zn、Mn、Cd、Ni、Pb、Co 全量采用 Hp3510 原子吸收分光光度计测定。

2.5 数据处理

数据用 SPSS13.0 软件处理。

采用利用系数、循环系数和周转时间等生物循环系数来分析微量元素循环特征,其中利用系数为吸收量与贮存量的比值,表明林木维持其生长所需的元素;循环系数为归还量与吸收量的比值,表明元素的循环强度;周转时间为微量元素经历一个循环周期所需的时间,由微量元素的总贮量除以归还量^[11]。

生物吸收系数=(鲜叶养分含量/表土养分含量)×100;生物迁移系数=(鲜叶养分含量/落叶养分含量)×100;生物分解系数=(鲜叶养分含量/凋落物层养分含量)×100;生物返还系数=(凋落物层养分含量/表土养分含量)×100^[14]。

3 结果与分析

3.1 杨树林分微量元素分布特征

3.1.1 林地土壤中微量元素含量

土壤中微量元素主要来自于成土母质,与成土母质的矿物组成密切相关。

表 2 所示,杨树人工林地土壤中,Fe 的含量最高,Mn 次之,Cd 最低。与马尾松人工林内土壤微量元素含量规律一致^[11]。Cu 和 Zn、Pb、Ni 及 Co 含量之间无数量级差异。各元素含量在土壤层的垂直分布,Cu、Fe、Mn、Pb、Cd 均呈现出随着土壤层深度的增加而减少($P<0.05$),表明这些元素在土壤中被淋溶而向下迁移。Zn、Ni、Co 则表现为在各土层中含量间无显著差异($P>0.05$),表明这 3 种元素被淋溶向下迁移不明显。杨树林地土壤中 Cu、Fe、Zn、Ni、Co、Cd 元素含量与对照地间差异不显著($P>0.05$),表明这些元素在杨树林地和对

照地的含量接近。而 Mn 含量为杨树林地显著低于对照地 ($P<0.05$), Pb 正好相反, 为杨树林地显著高于对照地 ($P<0.05$), 表明杨树林地不吸存 Mn 元素而吸存 Pb 元素, 有利于保护环境。

表 2 林地土壤微量元素含量

Table 2 Microelements concentration in the forest soil

土层深度 Soil depth/cm	Cu /(mg/kg)	Fe /(mg/kg)	Zn /(mg/kg)	Mn /(mg/kg)	Ni /(mg/kg)	Pb /(mg/kg)	Co /(mg/kg)	Cd /(mg/kg)
0—15	34.66a (0.32)	57244.3a (1207.3)	60.10a (0.59)	1024.62a (18.46)	63.10a (5.4)	79.69a (2.73)	25.60a (1.66)	2.87a (0.13)
15—30	28.84b (1.27)	54155.2a (1340.9)	56.24a (2.16)	702.20b (35.71)	53.21a (2.01)	61.20b (2.08)	21.35a (0.48)	2.39ab (0.06)
30—45	27.38c (2.53)	53361.7ab (2118.4)	55.16a (1.75)	630.86bc (24.76)	49.65a (1.03)	58.75b (1.60)	20.94a (0.48)	2.30ab (0.08)
>45	24.51d (2.44)	48686.1b (6055.6)	53.43a (6.23)	451.15c (58.11)	46.64a (0.82)	45.18b (1.92)	18.16a (0.69)	1.64b (0.09)
平均值 Average	28.85A (0.11)	53361.8A (491.5)	56.23A (3.26)	702.21A (50.59)	53.15A (4.75)	61.21A (4.40)	21.51A (2.28)	2.30A (0.23)
对照 CK	35.27A (2.33)	61131.2A (6239.9)	60.81A (3.20)	1043.50B (109.23)	46.17A (5.48)	43.46B (10.76)	24.19A (2.12)	2.28A (0.26)

括号内数据为标准误; 同列相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 同列相同大写字母表示差异不显著 ($P>0.05$)

将贵阳市杨树人工林土壤微量元素含量与长沙市城市樟树人工林土壤微量元素含量^[15]进行比较, 可以看出, Cu、Fe、Zn 含量均低于长沙樟树人工林土壤含量, 而 Mn、Ni、Pb、Co、Cd 则高于长沙樟树土壤含量。

再从表 2 可以看出, 贵阳市杨树人工林土壤 Cd 含量超过我国土壤环境质量规定的一级、二级和三级标准, Ni 含量超过一级, 未超过二级和三级标准, 但 Cu、Zn、Pb 均未超过一级、二级和三级标准, 表明贵阳市森林土壤属于适宜从事农业生产和植物正常生长的土类^[16]。

3.1.2 林地枯枝落叶层微量元素含量动态

表 3 列出了杨树林地枯落物层中不同分解阶段微量元素含量, 可以看出, 杨树林地枯落物在分解过程中, Zn、Mn、Ni、Pb、Co、Cd 元素, 在不同分解阶段的含量呈减少趋势, 尤以 Pb、Ni、Mn 元素明显, 它们从未分解阶段到已分解阶段分别减少 90.5%、87.0%、77.8%; Cu 元素从未分解阶段到半分解阶段, 其含量减少 51.8%, 而在已分解阶段仍保持与半分解阶段不变; Fe 元素含量从未分解到半分解阶段, 减少 40.2%, 但在已分解阶段却比半分解阶段增加 63.7%。可见, 微量元素不同, 枯落物林地分解过程中的含量并不完全相同, 同一元素在不同分解阶段其含量不相同。

表 3 林地枯枝落叶层微量元素含量

Table 3 Microelements concentration in the litter floor

层次 Layer	Cu /(mg/kg)	Fe /(mg/kg)	Zn /(mg/kg)	Mn /(mg/kg)	Ni /(mg/kg)	Pb /(mg/kg)	Co /(mg/kg)	Cd /(mg/kg)
未分解 Litter	67.57 (0.09)	38.20 (0.17)	63.76 (0.05)	256.55 (1.13)	5.79 (0.14)	20.75 (0.56)	5.28 (0.07)	28.15 (0.04)
半分解 Fermentation	32.60 (1.08)	22.86 (0.24)	44.96 (0.93)	134.40 (1.51)	1.54 (0.22)	9.89 (0.30)	3.04 (0.08)	16.03 (0.004)
已分解 Humus	32.13 (0.18)	37.43 (0.94)	39.10 (0.02)	56.84 (1.48)	0.75 (0.14)	1.98 (0.00)	2.57 (0.08)	9.56 (0.001)
平均 Average	44.10 (0.45)	32.83 (0.45)	49.27 (0.30)	149.26 (0.62)	2.70 (0.08)	10.88 (0.09)	3.63 (0.03)	17.91 (0.01)

括号内数据为标准误

3.1.3 林木中微量元素含量的变化规律

从表 4 可以看出, 由于杨树林木各器官的结构和功能不同, 微量元素存在较大差异, 树干材以木质为主, 其生理功能最弱, 大多数养分已被消耗或转移, 因而微量元素含量最低, 为 56.56 mg/kg, 这与王凌晖等对南

宁马占相思林木树干材微量元素含量的研究结果是一致的^[9]。树叶作为同化器官,微量元素含量较高,尤以 Cu 元素含量突出,达 63.62 mg/kg,比一般植物含量(2—20 mg/kg)高 3—32 倍。细根是吸收土层中养分的主要器官,故微量元素含量最高,为 430.24 mg/kg,根桩与干材一样,也以木质为主,起着支撑林木生长的作用,其微量元素含量也较低,为 66.95 mg/kg,比细根中的含量低 6.4 倍。杨树林木各组分微量元素含量表现为细根>树叶>粗根>树皮>树枝>大根>根桩>干材。

表 4 林木各组分中微量元素含量

Table 4 Microelements concentration in different organs of *Populus tremula* trees

组分 Organs	Cu /(mg/kg)	Fe /(mg/kg)	Zn /(mg/kg)	Mn /(mg/kg)	Ni /(mg/kg)	Pb /(mg/kg)	Co /(mg/kg)	Cd /(mg/kg)	合计 Total
干 Stem	12.82 (0.88)	13.81 (0.75)	14.20 (1.40)	8.79 (2.27)	0.64 (0.15)	0.42 (0.12)	1.74 (0.09)	4.14 (0.29)	56.56
枝 Branch	42.58 (4.39)	16.11 (0.52)	50.16 (1.49)	59.17 (11.94)	0.68 (0.10)	5.02 (0.70)	3.02 (0.12)	15.81 (1.85)	192.55
叶 Leaf	63.62 (0.63)	15.98 (0.30)	61.33 (1.06)	155.41 (21.84)	2.67 (0.16)	4.72 (0.25)	4.99 (0.21)	14.41 (0.96)	323.13
皮 Bark	30.88 (1.29)	14.26 (0.12)	61.42 (1.02)	89.93 (18.23)	0.97 (0.06)	6.18 (0.24)	4.38 (0.05)	17.78 (1.43)	225.80
细根 Fine root	49.03 (3.42)	86.23 (1.43)	39.25 (3.53)	222.30 (16.89)	6.05 (0.26)	3.93 (0.39)	7.38 (0.50)	16.07 (2.28)	430.24
粗根 Coarse root	33.35 (2.75)	64.56 (5.65)	38.42 (2.08)	119.15 (10.46)	2.86 (0.37)	0.51 (0.13)	4.40 (0.38)	13.20 (1.72)	276.45
大根 Large root	17.40 (1.14)	33.30 (5.96)	19.86 (3.38)	28.29 (9.64)	0.05 (0.16)	1.10 (0.13)	2.14 (0.25)	6.17 (0.70)	108.31
根桩 Stake	15.13 (1.26)	19.29 (0.65)	16.85 (4.35)	7.92 (4.23)	0.38 (0.16)	0.90 (0.24)	1.18 (0.05)	5.30 (0.90)	66.95
全株平均 Average	33.10 (0.67)	32.94 (1.12)	37.69 (1.51)	86.37 (6.72)	1.53 (0.10)	2.85 (0.09)	3.65 (0.06)	11.61 (0.63)	209.74

括号内数据为标准误

从表 4 中还可以看出,杨树林木中 Cu、Fe、Zn、Mn 元素均是植物必需的营养元素^[17]。而杨树林木中 Ni 元素是目前为止最新发现的一种植物生长的必需营养元素,植物体内一般含量为 1—10 mg/kg,是植物体内脲酶的组成成分^[17]。杨树体内 Ni 元素的平均含量为 1.53 mg/kg,表明 Ni 元素也是杨树生长中必需的营养元素。

植物必需的元素是在目前科技条件下确定为植物所普遍必需的。植物体内还有一些元素,尽管它们严格的必需性还未确定,但适量存在时,能促进植物的生长发育。或者虽然它们不是所有植物所必需的,但对某些特定的植物却是不可少的。这些类型的元素称为“有益元素”^[17]。如 Co 元素,在杨树体内平均含量为 3.65 mg/kg,各器官中的含量均超过一般植物体内的含量 0.02—0.50 mg/kg 水平^[17],但并没有影响杨树的正常生长,表明 Co 元素对杨树而言,也是一种有益元素。

另外,杨树各器官中还含有 Cd 和 Pb 元素,其中 Cd 平均含量为 11.61 mg/kg, Pb 为 2.85 mg/kg,而这两种元素,一般认为是重金属元素,对植物均有毒害作用,但这两种元素对杨树并没有产生危害,而且能够正常生长。这可从表 5 中看出,3 株样木中均含有 Cd、Pb 元素。2 号样木的树干含 Cd 量显著低于 1 号和 3 号样木 ($P<0.05$),叶则为 1 号样木显著高于 2、3 号样木 ($P<0.05$),树皮为 2 号样木显著高于 1、3 号 ($P<0.05$),而大根为 3 号显著低于 1、2 号 ($P<0.05$),枝、细根、粗根和根桩为 3 株样木差异均显著 ($P<0.05$); Pb 在杨树干、枝、粗根、大根和根桩中的含量均呈现出差异不显著 ($P>0.05$),叶为 3 号样木显著高于 1、2 号 ($P<0.05$),树皮则为 2 号样木显著低于 1、3 号 ($P<0.05$),2、3 号样木的细根中含量显著高于 1 号 ($P<0.05$)。可见, Cd 和 Pb 元素在杨树体内含量因林木器官不同而有差异,就是在同一器官中,因元素不同其含量也不相同,如树叶中 Cd 元素含量为 12.642—17.398 mg/kg,而 Pb 元素则为 4.330—5.499 mg/kg。上述表明, Cd、Pb 元素确实

存在于杨树体内,并没有产生非正常现象,而且能维持杨树的生长发育。表明植物必需的营养元素,除了已被确认或已被报导的元素外,还有难以确认的其他可能的必需营养元素,甚至对某种植物而言,至少也是一种有益的元素。随着科技的进步,尤其是纯化学分析测定技术的改进,人们能够确认的必需营养元素的种类还会增加^[17]。

表 5 杨树样本中 Cd、Pb 含量
Table 5 Cd and Pb concentration of *Populus tremula* sample trees

器官 Organs	Cd/(mg/kg)			Pb/(mg/kg)		
	1 号样本	2 号样本	3 号样本	1 号样本	2 号样本	3 号样本
	No 1 sample tree	No 2 sample tree	No 3 sample tree	No 1 sample tree	No 2 sample tree	No 3 sample tree
干 Stem	4.715 ^a (0.398)	3.292 ^b (0.077)	4.404 ^a (0.080)	0.514 ^a (0.293)	0.220 ^a (0.000)	0.514 ^a (0.294)
枝 Branch	21.211 ^a (0.075)	11.219 ^b (0.073)	15.013 ^c (0.397)	5.507 ^a (0.001)	4.918 ^a (0.003)	4.621 ^a (2.640)
叶 Leaf	17.398 ^a (0.224)	12.642 ^b (0.552)	13.185 ^b (0.159)	4.330 ^a (0.003)	4.330 ^a (0.001)	5.499 ^b (0.000)
皮 Bark	20.554 ^a (0.084)	13.331 ^b (0.314)	19.439 ^a (0.718)	6.675 ^a (0.001)	5.494 ^b (0.001)	6.379 ^a (0.291)
细根 Fine root	10.101 ^a (0.890)	22.508 ^b (0.161)	15.611 ^c (0.238)	2.860 ^a (0.299)	4.909 ^b (0.001)	4.026 ^b (0.292)
粗根 Coarse root	18.012 ^a (0.056)	8.663 ^b (0.704)	12.923 ^c (0.235)	0.514 ^a (0.294)	0.220 ^a (0.000)	0.805 ^a (0.000)
大根 Large root	7.891 ^a (0.083)	6.375 ^a (0.626)	4.242 ^b (0.399)	1.395 ^a (0.001)	1.100 ^a (0.294)	0.807 ^a (0.001)
根桩 Stake	7.963 ^a (0.154)	3.132 ^b (0.077)	4.793 ^c (0.148)	1.100 ^a (0.879)	0.806 ^a (0.001)	0.806 ^a (0.002)

同行相同字母表示差异性不显著 ($P>0.05$)

3.2 杨树林微量元素的贮存与分配

林木中微量元素的贮存,与生物量的增加和生物量中各器官的微量元素含量紧密联系。总的贮存量是林木与环境相互作用的结果。从表 6 可以看出,杨树林微量元素总贮量为 14.086 kg/hm²。不同微量元素贮存量中,以 Mn 最高,为 4.954 kg/hm²,Ni 最低,为 0.110 kg/hm²,各微量元素贮存量按高低顺序排序为 Mn>Zn>Cu>Fe>Cd>Co>Pb>Ni。在各器官的分配情况为:树干和树皮的生物量最大,占林分总生物量的 68.45%,贮存的微量元素最多,占林分微量元素总贮存量的 43.40%,与马尾松的规律一致^[11];林冠枝叶的生物量占 15.07%,微量元素贮存量占 29.33%;地下部分根系生物量占 16.48%,微量元素贮存量占 27.27%。

表 6 杨树林微量元素的贮存与分配
Table 6 The storage and distribution of microelements in *Populus tremula* plantation

组分 Organs	生物量 Biomass (t/hm ²)	微量元素贮存量 Storage of microelement/(kg/hm ²)								合计 Total
		Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Pb	Co	Cd	
干 Stem	60.11	0.771	0.830	0.854	0.528	0.038	0.025	0.104	0.249	3.399
枝 Branch	7.64	0.325	0.123	0.383	0.452	0.005	0.038	0.023	0.120	1.469
叶 Leaf	8.24	0.524	0.132	0.505	1.281	0.022	0.039	0.041	0.119	2.663
皮 Bark	12.02	0.371	0.171	0.738	1.081	0.012	0.074	0.053	0.214	2.714
细根 Fine root	1.51	0.074	0.130	0.059	0.336	0.009	0.006	0.011	0.024	0.649
粗根 Coarse root	2.94	0.098	0.190	0.113	0.350	0.008	0.001	0.013	0.039	0.812
大根 Large root	3.25	0.057	0.108	0.065	0.092	0.001	0.004	0.007	0.020	0.354
根桩 Stake	9.66	0.320	0.318	0.364	0.834	0.015	0.028	0.035	0.112	2.026
合计 Total	105.37	2.540	2.002	3.081	4.954	0.110	0.215	0.287	0.897	14.086

3.3 杨树林微量元素生物循环特征

3.3.1 存留量

微量元素年存留量指植物各器官在单位时间(1a)内积累的微量元素总量,依赖于林分生物量的增长量及微量元素含量。表7列出了杨树林微量元素的年存留量。可以看出,杨树林微量元素的年存留量为 $0.417\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,且主要存留于在地上部分的干、枝、叶和皮中,占林分年存留总量的73.86%,地下部分根系只占26.14%。

表7 杨树林微量元素的年净积累量
Table 7 The annual net accumulation of microelements in *Populus tremula* plantations

组分 Organs	林分生产力 Productivity /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	微量元素年净积累量 Annual net accumulation of microelements/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)								
		Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Pb	Co	Cd	合计 Total
干 Stem	2.40	0.031	0.033	0.034	0.021	0.002	0.001	0.004	0.010	0.136
枝 Branch	0.31	0.013	0.005	0.016	0.018	0.001	0.002	0.001	0.005	0.061
皮 Bark	0.48	0.015	0.009	0.029	0.043	0.001	0.003	0.002	0.009	0.111
细根 Fine root	0.06	0.003	0.005	0.002	0.013	0.001	0.001	0.001	0.001	0.027
粗根 Coarse root	0.12	0.004	0.008	0.005	0.014	0.001	0.001	0.001	0.002	0.036
大根 Large root	0.13	0.002	0.004	0.003	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.017
根桩 Stake	0.39	0.006	0.008	0.007	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.029
合计 Total	3.89	0.074	0.072	0.096	0.116	0.008	0.010	0.011	0.030	0.417

3.3.2 生物循环特征

在森林生态系统中,植物根系从土壤中摄取自己需要的微量元素,并将其固定在自身有机体中,从而完成了微量元素的贮存与分配。在新陈代谢过程中,每年同时又有部分器官枯落,经过分解将释放的微量元素归还给土壤,这种生物循环过程,可用吸收量=存留量+归还量进行表达。

从表8可以看出,杨树林微量元素的年吸收量为 $3.079\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,且微量元素不同,林分的吸收量亦不同,表明林分维持其生命所吸收的微量元素量是不同的。

表8 微量元素的生物循环
Table 8 Biological cycling of microelements in *Populus tremula* plantation

项目 Item	Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Pb	Co	Cd	合计 Total
贮存量 Storage/(kg/hm^2)	2.540	2.002	3.081	4.954	0.110	0.215	0.287	0.897	14.086
吸收量 Absorption/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	0.598	0.204	0.600	1.397	0.030	0.049	0.052	0.149	3.079
存留量 Retention/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	0.074	0.072	0.096	0.116	0.008	0.010	0.011	0.030	0.417
归还量 Return/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	0.524	0.132	0.505	1.281	0.022	0.039	0.041	0.119	2.663
利用系数 Utilization coefficient	0.235	0.102	0.195	0.282	0.273	0.228	0.181	0.166	0.219
循环系数 Cycling coefficient	0.876	0.647	0.842	0.917	0.733	0.612	0.788	0.799	0.865
周转时间 Recycling period/a	4.847	15.167	6.101	3.867	5.000	5.513	7.000	7.538	5.290
生物吸收系数 Bioabsorption coefficient	183.55	0.028	102.05	15.17	4.23	5.92	4.64	502.09	
生物迁移系数 Biomigration coefficient	94.15	41.83	96.19	60.58	46.11	22.75	94.51	51.19	
生物分解系数 Biodecomposition coefficient	144.26	48.67	124.48	104.12	98.89	43.38	137.47	80.46	
生物返还系数 Bioreturn coefficient	127.24	0.057	81.98	14.57	4.28	13.65	14.18	624.04	

鉴于杨树为落叶阔叶树种,林木叶所含微量元素,当年形成,当年归还,因此在林分微量元素存留量中不予以计算,而将它们列入归还量中。杨树林叶中贮存的微量元素量即为归还量,为 $2.663\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,其中以

Mn 元素归还量最高,为 $1.281 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, Ni 元素最低,为 $0.022 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,两者竟相差 58 倍。各微量元素归还量的高低顺序为 $\text{Mn} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cd} > \text{Co} > \text{Pb} > \text{Ni}$ 。因本次研究未将降水茎流和林冠流归还量及死根的归还量计入,仅计算了杨树叶的归还量,其结果比实际稍低。

从表 8 还可以看出,杨树林微量元素的利用系数为 0.219,循环系数为 0.865,各微量元素的利用系数和循环系数均以 Mn 元素为最高。

杨树人工林微量元素周转期为 5.29 a,各微量元素的周转期存在一定的差异,其中以 Fe 最大,为 15.167 a, Mn 最小,为 3.867 a。可见,杨树人工林生态系统中,各微量元素中以 Mn 归还量大,周转快,流动性也较大。

杨树对土壤中 8 种微量元素的吸收和积累能力,可用生物吸收系数来表示^[18]。再从表 8 看出,杨树对土壤中 8 种微量元素的吸收能力可分为 3 个层次,第 1 层次是对 Cu、Zn、Cd 的吸收能力最强,生物吸收系数在 100 以上;第 2 层次是对 Mn、Ni、Pb、Co 的生物吸收系数为 1—100;第 3 层次是对 Fe 的吸收能力最弱,生物吸收系数在 1 以下,仅为 0.028。可见,杨树对土壤中 8 种微量元素的吸收能力差异很大。

杨树对 Fe、Ni、Pb、Co、Cd 的生物返还率高于生物吸收率,而对 Cu、Zn、Mn 的生物返还率却低于生物吸收率;对 8 种微量元素的生物分解率均高于生物迁移率。表明杨树对土壤中微量元素具有自我调节能力,这对林地养分保持和稳定是有利的。

4 结论与讨论

喀斯特城市杨树林地土壤中 8 种微量元素含量,以 Fe 最高, Mn 次之, Cd 最低,并随土层深度的增加而减少,与桂中丘陵区马尾松林土壤微量元素含量变化规律一致^[11]。枯枝落叶层中,微量元素不同,在分解过程中含量不同,同一微量元素,因分解阶段不同,其含量也不相同。

与马占相思 (*Acacia mangium*)^[9]、巨尾桉 (*Eucalyptus grandis* E. *arophylla*)^[10]、马尾松 (*Pinus massoniana*)^[11] 等人工林相似,杨树人工林各器官微量元素含量存在较大差异,同一器官也因微量元素不同,其含量也存在一定差异。林木中各器官微量元素含量的差异是随器官的结构和功能而变化,其含量表现为细根>树叶>粗根>树皮>树枝>大根>根桩>干材。

在杨树林木中除 Cu、Fe、Zn、Mn 为必需的微量元素外,还有最新发现的必需微量元素 Ni 和有益元素 Co,这与廖红^[17]报道是一致的。此外,在杨树林木中还含有微量元素 Pb 和 Cd,这与存在于马尾松林木各器官中的研究结果一致^[11]。表明 Pb 和 Cd 元素,对杨树和马尾松林木而言,也应该是一种有益的元素,至少对它们没有产生毒害,而维持了林木的正常生长。

杨树人工林微量元素贮存量为 $14.086 \text{ kg} / \text{hm}^2$,其中 Mn 元素最高, Ni 最低。树干和树皮分布的微量元素量最多,占总贮存量的 43.40%;其次为树冠枝叶占 29.33%;再次为地下部分根系占 27.27%。

杨树人工林微量元素年存留量为 $0.417 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年归还量为 $2.663 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年归还量高于存留量,与 4 年生、7 年生和 11 年生马占相思人工林一样^[9],而与 6 年生巨尾桉人工林恰好相反^[10]。微量元素利用系数为 0.219,低于马占相思人工林(0.312—0.812),而循环系数为 0.865,高于马占相思人工林(0.695—0.709)^[9],周转期为 5.290 a,与 23 年生马尾松(5.078)接近^[11],表明杨树人工林中,微量元素具有较大的循环速率和较短的周转期,加上其为落叶阔叶树种,树叶当年生长当年凋落,养分自我调节能力和培肥土壤能力强,有利于林地生产力维持。

喀斯特城市杨树人工林对 Cd 的吸收能力较强,能抵御 Cd 污染土壤,对 8 种微量元素的生物分解率均高于生物迁移率,这有利于土壤中微量元素的稳定,对林地生产力维持极为有利。

References:

- [1] Zhang J G. Management of urban forest. Journal of Chinese Urban Forestry, 2003, 1(2): 29-33.
- [2] Chen H, Gu L, Li Y Q, Mu C L. Analysis on relations between the pattern of urban forests and heat island effect in Chengdu. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4865-4874.

- [3] Wu Z M, Wu W Y, Gao J, Zhang S J. Analysis of urban forest landscape pattern in Hefei. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2117-2122.
- [4] Nowak D J, Crane D E. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environment Pollution*, 2002, 116(3): 381-389.
- [5] Zhang X, Xue J H, Haibara K, Xu X T, Tian Y, Toda H, Liu Y H. Nutrient dynamics and hydrological process of Karst forests in mountainous area of central Guizhou province, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(5): 757-768.
- [6] Yuan J, Liu Y S, He T B. Analysis of the soil quality deterioration of vulnerable Karst ecological region in Guizhou. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2004, 23(3): 230-233.
- [7] Zhang D F, Wang S J, Zhou D Q, Li R L. Intrinsic driving mechanism of land rocky desertification in Karst Regions of Guizhou Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(4): 1-5.
- [8] Sharma J C, Sharma Y. Nutrient cycling in forest ecosystems — a review. *Agricultural Reviews*, 2004, 25(3): 157-172.
- [9] Wang L H, He B. Microelements distribution and biological cycling of acacia mangium plantation in Nanning, Guangxi. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(5): 27-33.
- [10] Li Y L, Li Z H, Xie Y J. Nutrient cycle in eucalyptus grandis xurophglla plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1734-1740.
- [11] Tian D L, Xiang W H, Kang W X. Study on biological cycling of microelements in *Pinus Massoniana* plantations. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(4): 1-8.
- [12] Liu Y C, Wu M Z, Guo Z M, Jiang Y X, Liu S R. Study on element cycle of *Quercus acutidentata* forest ecosystem in Baotianman Natural Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1488-1497.
- [13] Brunner I, Zimmermann S, Zingg A, Blaser P. Wood-ash recycling affects forest soil and tree fine-root chemistry and reverses soil acidification. *Plant and Soil*, 2004, 267(1/2): 61-71.
- [14] Du Y X, Pan G X, Li L Q, Hu Z L, Wang X Z. Partitioning of vegetation biomass, nutrient storage and cycling of degraded ecosystems from mountainous Karst region, central Guizhou, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6338-6347.
- [15] Gao S C, Tian D L, Yan W D, Fang X, Xiang W H, Liang X C. Characteristics of soil physicochemical property and its carbon storage in urban forest plantation of Changsha City. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2010, 30(9): 16-22.
- [16] Li F Y, Qu X R, Wu L H. *Theory and Technology of Bioremediation on Contaminated Soil*. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 38-39.
- [17] Liao H, Yan X L. *Advanced Plant Nutrition*. Beijing: Science Press, 2003: 197-198.
- [18] Luo W H, Huang S X, Li R T, Tang W X, Zhou T J, Wang Y. Effect of culture substrata on seedlings of rare and endangered plants from Limestone Regions. *Rural Eco-Environment*, 2010, 17(4): 12-16.

参考文献:

- [1] 张建国. 城市森林的经营管理. *中国城市林业*, 2003, 1(2): 29-33.
- [2] 陈辉, 古琳, 黎燕琼, 慕长龙. 成都市城市森林格局与热岛效应的关系. *生态学报*, 2009, 29(9): 4865-4874.
- [3] 吴泽民, 吴文友, 高健, 张少杰. 合肥市市区城市森林景观格局分析. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2117-2122.
- [5] 张喜, 薛建辉, 生原喜久雄, 许笑天, 田野, 户田浩夫, 刘延惠. 黔中山地喀斯特森林的水文学过程和养分动态. *植物生态学报*, 2007, 31(5): 757-768.
- [6] 袁菊, 刘元生, 何腾兵. 贵州喀斯特生态脆弱区土壤质量退化分析. *山地农业生物学报*, 2004, 23(3): 230-233.
- [7] 张殿发, 王世杰, 周德全, 李瑞玲. 贵州省喀斯特地区土地石漠化的内动力作用机制. *水土保持通报*, 2001, 21(4): 1-5.
- [9] 王凌晖, 何斌. 南宁马占相思人工林微量元素分布与生物循环. *林业科学*, 2009, 45(5): 27-33.
- [10] 李跃林, 李志辉, 谢耀坚. 巨尾桉人工林养分循环研究. *生态学报*, 2001, 21(10): 1734-1740.
- [11] 田大伦, 项文化, 康文星. 马尾松人工林微量元素生物循环的研究. *林业科学*, 2003, 39(4): 1-8.
- [12] 刘玉萃, 吴明作, 郭宗民, 蒋有绪, 刘世荣. 宝天曼自然保护区锐齿栎林生态系统营养元素循环. *生态学报*, 2003, 23(8): 1488-1497.
- [14] 杜有新, 潘根兴, 李恋卿, 胡忠良, 王新洲. 黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征. *生态学报*, 2010, 30(23): 6338-6347.
- [15] 高述超, 田大伦, 闫文德, 方晰, 项文化, 梁小翠. 长沙城市森林土壤理化性质及碳贮量特征. *中南林业科技大学学报*, 2010, 30(9): 16-22.
- [16] 李法云, 曲向荣, 吴龙华. *污染土壤生物修复理论基础与技术*. 北京: 化学工业出版社, 2006: 38-39.
- [17] 廖红, 严小龙. *高级植物营养学*. 北京: 科学出版社, 2003: 197-198.
- [18] 骆文华, 黄仕训, 李瑞棠, 唐文秀, 周太久, 王燕. 不同栽培基质对石山珍稀濒危植物苗期生长的影响. *农业生态环境*, 2010, 17(4): 12-16.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG Qihong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 2011

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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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