

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

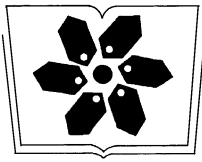
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **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 8 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

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/stxb201209051255

王林, 冯锦霞, 王双霞, 贾长荣, 万贤崇. 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响. 生态学报, 2013, 33(8): 2425-2433.

Wang L, Feng J X, Wang S X, Jia C R, Wan X C. The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis*. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2425-2433.

干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响

王 林¹, 冯锦霞¹, 王双霞², 贾长荣³, 万贤崇^{1,*}

(1. 中国林业科学研究院新技术所, 北京 100091; 2. 河南省济源市气象局, 济源 454650;

3. 济源市国有大沟河林场, 济源 454650)

摘要: 用年轮学方法测定了不同坡向的栓皮栎和侧柏的年轮宽度及相应的年树干面积增长量, 同时测定了旱季碳稳定同位素比值($\delta^{13}\text{C}$)及不同坡向之间的微气象指标差异, 分析了不同坡向两种树木径向生长与旱季降雨量的关系, 目的是探索在华北石质山区季节性干旱条件下坡向对栓皮栎和侧柏生长的影响。结果显示阴坡栓皮栎和侧柏年轮和年增加的截面积显著大于阳坡, 两个树种都表现出阳坡 $\delta^{13}\text{C}$ 值显著 ($P < 0.05$) 大于阴坡, 阳坡栓皮栎 $\delta^{13}\text{C}$ 值比阴坡高 1.17, 而阳坡侧柏的 $\delta^{13}\text{C}$ 值比阴坡高 0.56。白天, 阳坡气温高于阴坡、相对湿度低于阴坡、饱和蒸汽压差高于阴坡。分析显示旱季降雨量和栓皮栎的树干截面积年生长量显著 ($P < 0.05$) 相关, 而旱季的降雨量和侧柏的截面积年生长没有显著关系。结果表明: 相对于侧柏, 干旱条件更严重的影响到栓皮栎生长和叶片水分利用效率, 反映出这两种树木耐旱能力的差异, 以及应对干旱策略的不同。华北石质山区的土壤储水能力低, 阳坡较大的蒸散加剧了干旱对树木生长的不利影响。

关键词: 栓皮栎; 侧柏; 坡向; 年轮宽度; $\delta^{13}\text{C}$ 值

The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis*

WANG Lin¹, FENG Jinxia¹, WANG Shuangxia², JIA Changrong³, WAN Xianchong^{1,*}

1 Chinese Academy of Forestry, Institute of New Forestry Technology, Beijing 100091, China

2 Jiyuan Meteorological Bureau, Henan Jiyuan 454650, China

3 The State Da-Gou-He Forest Station in Jiyuan, Henan Jiyuan 454650, China

Abstract: *Quercus variabilis* Blume (cork oak) and *Platycladus orientalis* (L.) Franco (arbovitae) are widely used as afforestation tree species in the rocky mountains of northern China, and they play important role in ecological restoration in this region where there are a fragile ecological environment with thin soil depth and remarkable precipitation seasonality due to monsoonal influence. However, in recent years, we found the two species differentially performed on the different slope aspects. In this paper, we measured tree-ring width and the corresponding area increment by dendrochronology, and leaf $\delta^{13}\text{C}$ of the two main afforestation tree species growing on different topographic slope aspects in the dry season. Combining with weather records and the soil moisture, we analyzed the effects of water status on tree growth to study variation in growth of the two species on the different slope aspects. The main purpose is to explore effects of seasonal drought on growth and development of *Q. variabilis* and *P. orientalis* forests, and the soil carrying capacity of the forest density. The results showed that the tree-ring width of the two species on shady slopes was significantly greater ($P < 0.05$) than that on sunny slopes. The corresponding basal area increment on shady slopes was also significantly ($P < 0.05$) greater than that on sunny slopes. The $\delta^{13}\text{C}$ values of the two species on sunny slopes were significantly ($P < 0.05$) greater than that on shady slopes,

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (CAFINT2011C11, CAFINT2010K09)

收稿日期: 2012-09-05; 修订日期: 2013-02-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wxc@caf.ac.cn

with cork oak 1.17 greater and arborvitae 0.56 greater. In day time, especially at noon, there were higher air temperature, lower relative humidity, and greater vapor pressure deficit (VPD) on sunny slopes than those on shady slopes. The maximum differences in the air temperature, relative humidity, and vapor pressure deficit all occurred at 14:00, by which the air temperature on sunny slopes was 1.5 °C higher than that on shady slopes, the relative humidity was 1.6% greater than that on shady slopes, and the VPD was 4.1 kPa greater than that on shady slopes. The air temperature on shady slopes in the early morning and evening was slightly higher than that on sunny slopes. The soil moisture on sunny slopes was significantly lower than that on shady slopes in the dry season, however there was no significant difference in the soil moisture between sunny and shady slopes in the wet season. The soil moisture in the dry season was only half of the wet season. Correlation analyses displayed that the precipitation in dry season was significantly ($P < 0.05$) correlated with the annual basal area increment of cork oak, especially on the sunny slope, the correlation coefficient reached 0.7. However, the precipitation in dry season was not significantly correlated to the basal area increment of arborvitae. Those results indicated that drought condition more severely inhibited growth and water use efficiency of cork oak than that of arborvitae, reflecting that there existed variations in tolerance and responsive strategy to drought stress. With shallow soil thickness and low capacity of water storage, the higher evapotranspiration on the sunny slopes exacerbated the adverse effects of drought on tree growth.

Key Words: *Quercus variabilis*; *Platycladus orientalis*; topographic aspect; tree-ring width; $\delta^{13}\text{C}$

有许多地区,虽然从年平均降雨或水分平衡来评价都不属于干旱地区,但雨量的不均也会对植物造成严重的危害^[1],季节性缺少降雨对树木所造成的干旱胁迫程度与当地的蒸散强度和土壤储水能力有很大的关系,然而,这方面的研究尚不多见。不同的地形特征会影响到环境条件、树种组成和森林生产力。坡向是一个重要的地形影响因素^[2],不同坡向由于接受的太阳辐射量不同,在很大程度上影响到温度、空气湿度和土壤水分状况^[3]。阳坡因为太阳辐射量更大,与阴坡相比会表现出林内气温高、空气湿度小、土壤水分含量低。林内微气候条件的差异会影响到地表特性和树木的生长速率。阳坡有充足的光照,在水分充足的条件下,阳坡更适合植物生长,尤其是先锋树种和阳性植物,而在干旱地区或干旱时期,阳坡的蒸散失水更严重,土壤干旱加剧,不利于植物生长。不同坡向导致的这些环境条件的差异会造成不同树木在不同坡向生长的不同^[2,4]。华北石质山区,土壤瘠薄,生态脆弱,研究这一地区降雨和坡向的交互作用对该地区的生态保护和森林培育具有理论意义。对不同坡向植物的生长状况和水分状况进行研究对不同地形条件下造林树种的选择具有重要的指导意义。

树木年轮学被广泛的用来研究树木与环境之间的长期关系^[5-9]。树木年轮宽度和气象条件,尤其是降雨和温度,有着密切的关系^[1-2,10]。叶片碳稳定同位素组成($\delta^{13}\text{C}$ 值)能反映当前时间尺度内气孔导度、叶片内外二氧化碳浓度状况,可以作为水分利用效率(WUE)的指标以及比较不同树木应对干旱的反应^[11-12]。植物在轻度和中度干旱胁迫下,WUE 往往与受到干旱胁迫的程度呈正相关^[13-14]。树木年轮学和碳稳定同位素方法结合能够反映树木生长状况、水分状况,以及它们应对干旱的响应策略^[15-16],是分析水分状态和树木生长关系的有效途径^[17-18]。

栓皮栎(*Quercus variabilis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)是我国的华北石质山区广泛应用的造林树种,这两个树种在我国华北地区都有较强的适应性。但近年人们发现阴坡栓皮栎生长状况明显好于阳坡,反应在树木的大小和森林密度;侧柏也有同样的趋势,但差别没有栓皮栎那么明显。这两个树种有着不同的抗旱策略^[19],这可能是造成差别响应的原因。造成不同坡向生长状况差异的主要原因是水分因素,两种树木在两坡向之间的差别与两种树木的抗旱能力和抗旱策略相关。本研究通过对不同坡向栓皮栎和侧柏的年轮宽度和叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值进行测定,并结合降雨量、林内微气象和土壤水分状况比较分析两个树种对水分条件的差别响应。目的是探索在华北石质山区水分条件对栓皮栎和侧柏生长发育的影响,分析土壤对这两个树种不同森林

密度的承载能力。本研究的假说是:(1)不同坡向不同的蒸散强度造成阳坡和阴坡林内微气象及土壤水分状况的差异,(2)由于土壤水分承载能力的限制,旱季降水量是决定树木生长的主要因子,(3)不同的耐旱能力及应对干旱的策略导致这两个树种在生长上对坡向的差别响应。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于河南省济源市境内的黄河小浪底森林生态系统定位研究站(35°01'N, 112°28'E),地处黄河中游,紧连太行山,属暖温带大陆性季风气候。属低山丘陵区,山体石质,土壤瘠薄。试验地中心区域海拔为410 m左右,土壤类型为棕壤和石灰岩风化母质淋溶性褐土。年平均气温12.4—14.3℃,全年日照时数为2367.7 h,年日照率为54%。年平均降水量641.7 mm,由于受季风气候的影响,雨量分布不均匀。6—9月平均降水量为438.0 mm,占全年的68.3%,冬季及生长季前期常出现严重的季节性干旱^[20-21]。

试验地选用生长在丘陵上的栓皮栎和侧柏纯林,坡度为15—25°,于2011年分别在栓皮栎林和侧柏林阴坡和阳坡设置3个20 m×20 m的样地,样地位于坡中部,土层厚度和森林密度见(表1,表2),栓皮栎年龄在30—35a,侧柏树龄为30a左右,林下有少量扁担木(*Greeia biloba*)荆条(*Vitex negundo*)等灌木。每个样地随机测定8—10棵树的胸径和树高。

表1 土层厚度

Table 1 The thickness of soil/cm

	阳坡 Sunny slopes/cm	阴坡 Shady slopes/cm
栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	22.7±8.8 a	16.7±4.5 b
侧柏 <i>P. orientalis</i>	23.9±3.8 a	20.8±4.2 b

表2 植株密度

Table 2 The plant density of plots

	阳坡 Sunny slopes	阴坡 Shady slopes
栓皮栎 <i>Q. variabilis</i> /(株/hm ²)	1770±152 b	2060±531 a
侧柏 <i>P. orientalis</i> /(株/hm ²)	2150±153 b	2370±208 a

1.3 木芯采集和年轮宽度及其面积测定

在每个样地中选择平均木4株,每株在胸径处(1.3 m)取东西方向和南北方向木芯各1根,用硅胶将木芯固定在木槽中,在实验室中晾干,用不同径级的砂纸按从粗到细的顺序逐级打磨,直到表面光滑平整,年轮间界限清楚,利用LINTAB年轮分析仪测量年轮的宽度(精确到0.01 mm)。将得到的年轮宽度序列用COFECHA软件交叉定年^[22],每个单株4个方向相同年份的年轮宽度取平均值。由于本研究的目的主要是比较两个树种在不同生长环境下的生长状况,所以未对年轮宽度进行标准化处理。

每一个单株的两个木芯共4个方向的年轮宽度取平均值作为当年年轮宽度,自树芯最内一年起至当年的总年轮宽度作为半径计算树干截面积,某年的树干截面积减去前一年树干截面积即为某年的树干面积的年增长量。

1.4 土壤含水量测定

土壤含水量用便携式土壤水分测定仪(TDR, Time-Domain Reflectometry)(TRME-T3, MKO公司,德国)测定,测定时间分别为2011年5月底(旱季)、8月初(雨季)。测量深度为20 cm左右。

1.5 林内微气象观测

在2012年6月上旬晴天在两个林分的阴阳坡用手持式温湿度检测仪检测林分内的温度和湿度,6:00—20:00期间每两个小时监测1次,探头放置高度为1.4 m。用温度和湿度计算饱和蒸汽压亏缺,公式如下:

$$VPD = \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \times 0.611 \times e^{\left(\frac{12.27 \times T_a}{T_a + 273.3}\right)}$$

式中, VPD 为饱和蒸汽压亏缺(kPa); RH 为相对湿度(%), Ta 为空气温度($^{\circ}C$)。

由于 2 个不同林分在相同坡向的林内微气象几乎没有差别, 取 2 个林分相同坡向数据的平均值作为坡向林内微气候数据。

1.6 叶片碳同位素测定

于 2011 年 5 月底(旱季), 采集树冠中上部向阳面、完全展开的叶片用于碳稳定同位素测定。采后叶片立刻带回实验室洗净、烘干, 用粉碎机粉碎, 过 80 目筛。碳稳定同位素测定在中国林业科学院稳定同位素实验室进行, 用 Flash EA1112 元素分析仪-Conflo III-Delta Plus 同位素质谱仪 Isotope Ratio Mass Spectrometer (DELTA V Advantage Thermo Fisher Scientific, Inc., USA), 分析精度 $\pm 0.1\text{‰}$ 。碳稳定同位素组成采用以下公式计算 $\delta^{13}C = ((^{13}C/^{12}C_{\text{sample}})/(^{13}C/^{12}C_{\text{standard}}) - 1) \times 1000$ 。 $^{13}C/^{12}C_{\text{standard}}$ 是国际标准物 (PDB, Pee Dee Belemnite) [23]。

1.7 统计分析

用 Excel 软件进行方差分析、 t -检验和相关分析。以 $P < 0.05$ 作为显著性的标准。

2 结果与分析

2.1 不同坡向两个树种的大小和年轮宽度

阳坡栓皮栎的胸径和树高均显著低于阴坡 ($P < 0.05$), 阳坡栓皮栎胸径是阴坡的 86.2%, 树高是阴坡的 95.8%。侧柏在两种坡向之间也有显著差别, 阳坡侧柏胸径是阴坡的 92.6% ($P = 0.032$), 树高是阴坡的 95.0% ($P = 0.036$) (图 1)。

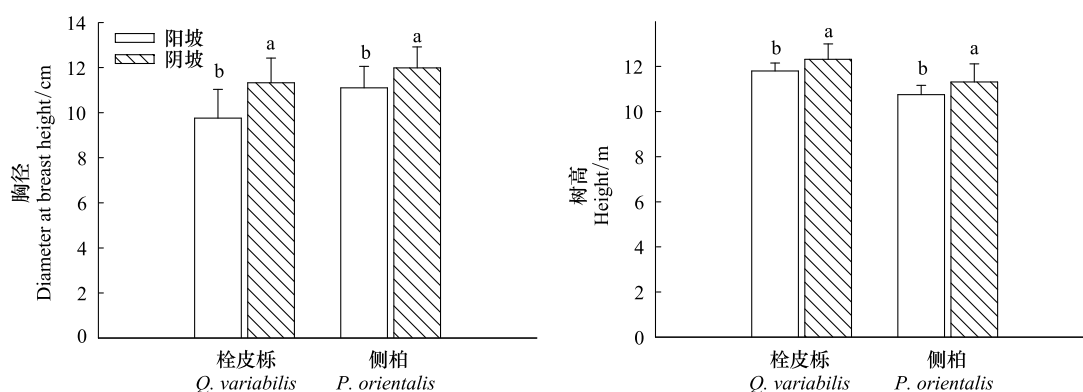


图 1 栓皮栎、侧柏的树高和胸径

Fig. 1 Height and diameter at breast height of *Q. variabilis* and *P. orientalis*

栓皮栎阴坡和阳坡平均年轮宽度分别为 1.41 mm 和 1.16 mm, 阴坡阳坡侧柏的年轮宽度分别为 1.57 mm 和 1.46 mm (图 2)。运用成对双样本 t 检验显示阳坡栓皮栎和侧柏均显著 ($P < 0.05$) 低于阴坡, 阳坡栓皮栎比阴坡低 11.6%, 阳坡侧柏比阴坡低 7.5%。栓皮栎和侧柏年轮宽度都表现出随着树龄的增加年轮宽度减小的趋势, 但变化模式不同 (图 2)。栓皮栎年轮宽度变异幅度很大, 在 1993 年以后年轮宽度急剧减小, 而侧柏年轮宽度随时间的变化相对平缓 (图 2)。每年增加的截面积和年轮宽度变化结构不同 (图 3)。栓皮栎在 1985 年以前年截面积增长量直线上升, 之后一直保持相对平稳的生长趋势, 阴坡上栓皮栎明显高于阳坡, 尤其是最近 8—9a (图 3)。侧柏在 2006 年以前, 一直保持平稳上升的增长趋势, 在有些年份, 阴坡的略高于阳坡 (图 3)。2006 年以后两个树种截面积在所有坡向都出现下降。运用成对双样本 t 检验显示阳坡栓皮栎和侧柏年增加截面积均显著 ($P < 0.05$) 低于阴坡, 分别低 34.4% 和 13.8%。

2.2 叶片碳稳定同位素

栓皮栎和侧柏都表现出阳坡叶片 $\delta^{13}C$ 值显著高于阴坡 ($P < 0.05$)。栓皮栎在两种坡向之间的 $\delta^{13}C$ 值差别为 1.17, 侧柏为 0.56, 栓皮栎两坡向之间的 $\delta^{13}C$ 值差别大于侧柏 (图 4)。

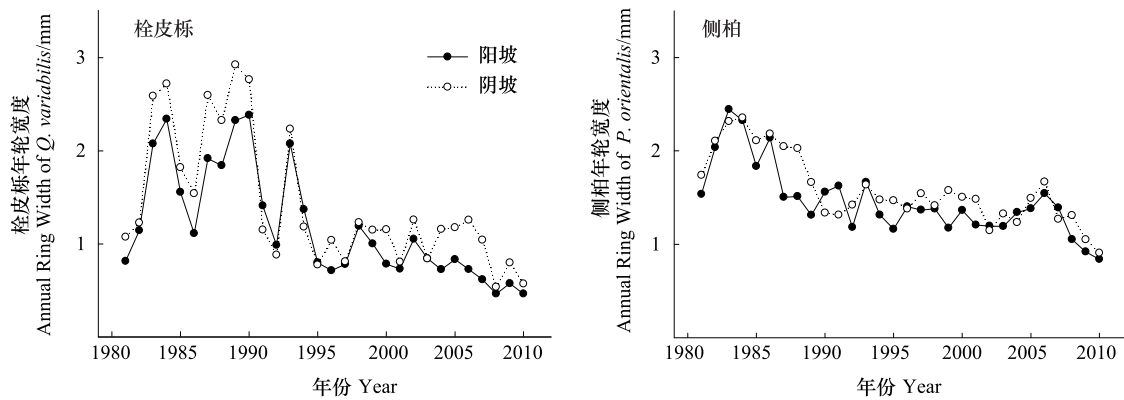


图2 不同坡向栓皮栎与侧柏年轮宽度

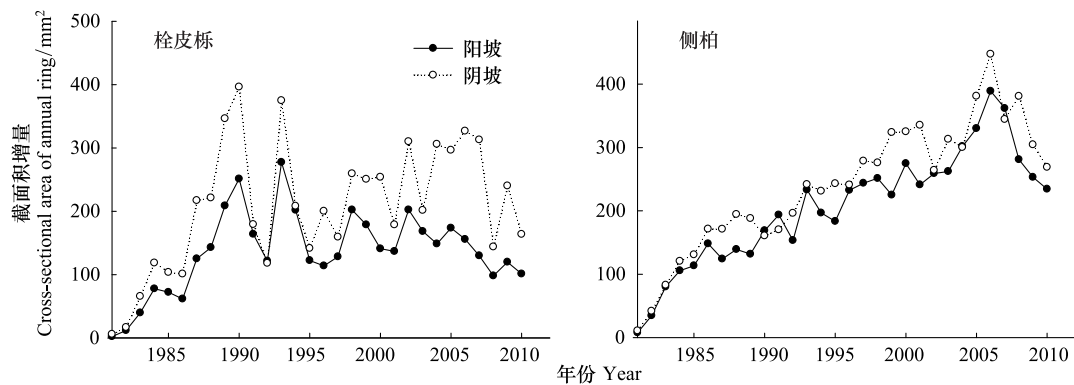
Fig. 2 The annual ring width of *Q. variabilis* and *P. orientalis* on different aspects

图3 不同坡向栓皮栎与侧柏年轮截面积

Fig. 3 The cross-sectional area of annual ring of *Q. variabilis* and *P. orientalis* on different aspects

2.3 气象数据和林内微气象

1980—2010 年温度和降水数据见(图5),观测点距离试验地 20 km 左右。

在 10:00—18:00 期间,阳坡林内气温明显高于阴坡,湿度低于阴坡,饱和蒸汽压亏缺高于阴坡。两坡向之间最大温差、最大空气湿度差和最大饱和蒸汽压亏缺差值都出现在 14:00,此时阳坡温度比阴坡高 1.5℃,相对湿度比阴坡低 1.6%。饱和蒸汽压亏缺比阴坡高 4.1 kPa,阴坡温度在凌晨和傍晚略高于阳坡(图6)。

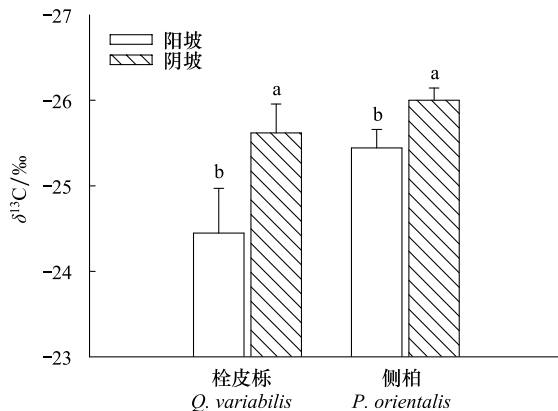
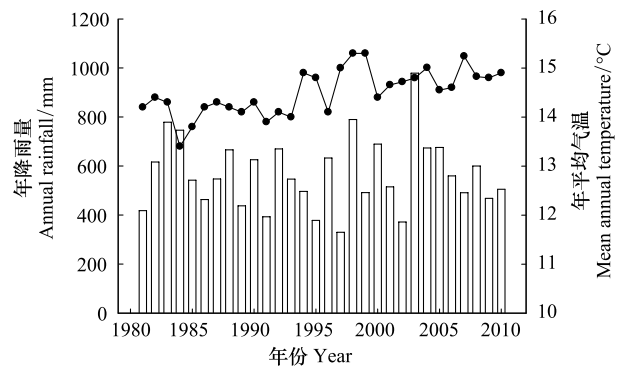
图4 不同坡向的栓皮栎、侧柏叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值Fig. 4 The leaf $\delta^{13}\text{C}$ of *Q. variabilis* and *P. orientalis* on different aspects

图5 1981—2010 年的年降水量和平均气温

Fig. 5 Annual rainfall and mean annual temperature from 1981 to 2010

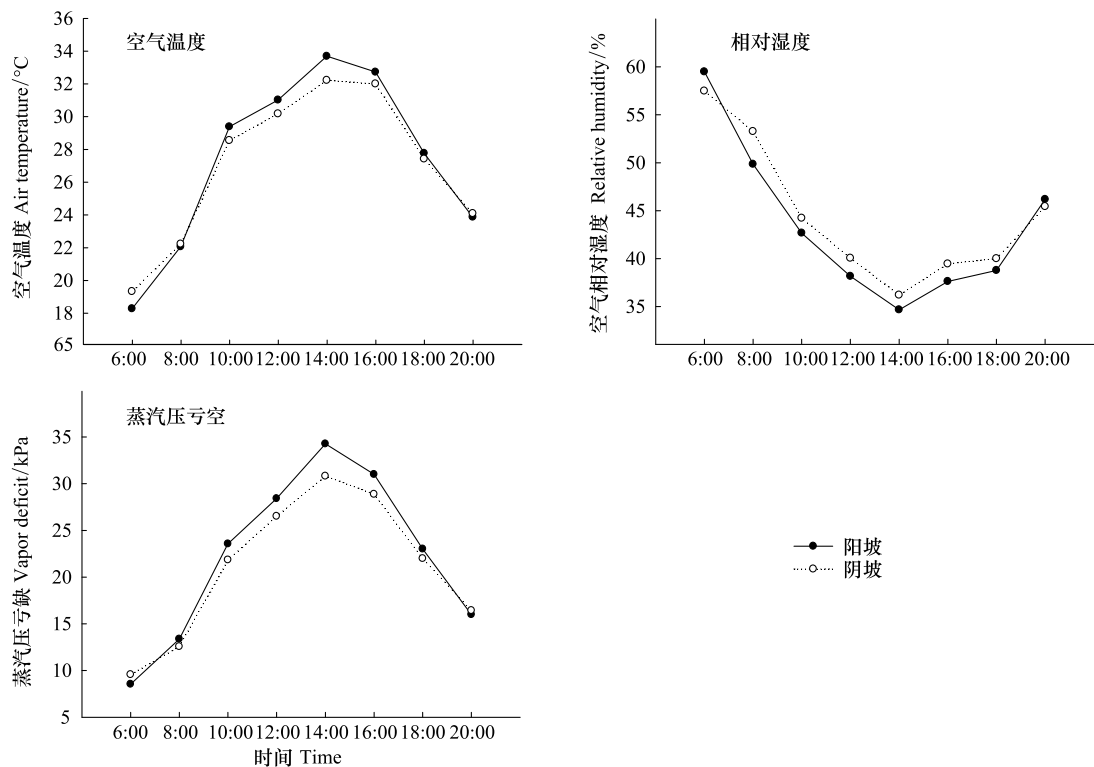


图6 不同坡向林地在6月上旬晴天的空气温度、相对湿度、蒸汽压亏空的日变化

Fig. 6 The diurnal variation of air temperature, relative humidity, and vapor deficit on sunny days in early June

2.4 土壤含水量

两个林分不同坡向雨季土壤水分含量都大约是旱季的2倍。在旱季,阳坡土壤含水量显著($P<0.05$)低于阴坡,在雨季阳坡土壤含水量也略低于阴坡,但差异不显著($P=0.08$)。对两个树种的林地进行比较,在旱季,侧柏林土壤含水量低于栓皮栎林($P<0.05$),而在雨季两者之间没有差别($P=0.3$)(图7)。

2.5 降雨量和生长的关系

本文分别用全年降雨量、雨季降雨量或旱季降雨量和树干截面积年增长量、年轮宽度进行了相关分析,结果显示只有旱季降雨量和年增长面积呈现差异相关性(表3)。栓皮栎的年增长面积和旱季降雨量呈显著正相关,尤其是阳坡的栓皮栎,其相关系数达0.7。而侧柏年增长面积和旱季降雨量没有显著关系,尽管阴坡的年增长面积侧柏与旱季降雨量呈现一定的正相关趋势。无论是全年、雨季还是旱季降雨量和年轮宽度都没有相关性,全年或雨季降雨量和树干截面积年增长也没有显著相关。

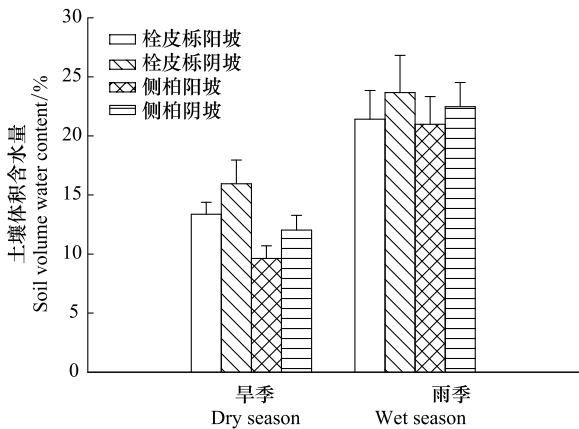


图7 栓皮栎、侧柏林在旱季和雨季土壤含水量

Fig. 7 Soil volume water content of *Q. variabilis* and *P. orientalis* in dry season and wet season

表3 旱季(11月—5月)降雨量与树干截面积年增长量的相关性

Table 3 The correlations between the cross-sectional area of annual ring and precipitation from November to May					
	相关性 (R)	显著性 (p)		相关性 (R)	显著性 (P)
侧柏阳坡 <i>P. orientalis</i> on sunny aspects	0.20	0.35	侧柏阴坡 <i>P. orientalis</i> on shady aspects	0.35	0.09
栓皮栎阳坡 <i>Q. variabilis</i> on sunny aspects	0.70	<0.05	栓皮栎阴坡 <i>Q. variabilis</i> on shady aspects	0.53	<0.05

3 讨论

华北丘陵低山的坡向不足以改变降雨,水分平衡主要可能受蒸散的影响。另外,在季节性干旱的森林生态系统,土壤厚度也是影响森林生长力的重要因素,因为土壤厚度影响根系生长量、土壤蓄水能力^[24-25]。两坡向之间林内微气象的差异主要与阳坡接收太阳辐射量差异有关,阳坡的净太阳辐射明显超过阴坡^[26]。导致阳坡的温度较高,相应的饱和蒸汽压亏缺更大,尤其在气孔张开的白天。这些现象和以前的报道是一致的^[2,27]。饱和蒸汽压亏缺直接影响到蒸腾速率和光合速率^[28],所以坡向所导致的微气候差别会对土壤水分和树木生长造成不同的影响。在干旱季节,阳坡的土壤含水量显著低于阴坡。另外,还注意到,在旱季阳坡侧柏林的土壤含水量低于栓皮栎林。在这个地区,旱季跨过整个冬季,常绿树种在当温度适宜时保持着蒸腾,所以对水分的消耗较落叶林多,后者在发叶之前,蒸腾量很小。另外,侧柏林密度比栓皮栎大,也是加大耗水的一个因素。

$\delta^{13}\text{C}$ 值和植物的水分利用效率成正比。当外界 CO_2 浓度和叶温没有显著差异时,主要取决于胞间 CO_2 浓度,换句话说也就是气孔导度和叶肉导度,以及羧化酶对 ^{12}C 的选择性^[23,29],这些指标都反映了树木受干旱胁迫的程度。另外,适度干旱条件会提高植物的水分利用效率^[30]。这表明阳坡栓皮栎和侧柏生长受抑主要是由于较严重的水分亏欠。值得注意的是,这两个树种的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,即水分利用效率,和生产力没有正的相关关系,亦即和它们的抗干旱能力没有显著的关系,这种现象曾有过报道^[29,31],他们认为在有些情况 $\delta^{13}\text{C}$ 值只反应受干旱胁迫的程度和植物的生产力没有关系。还有,无论从直径生长还是从 $\delta^{13}\text{C}$ 值所反映的受干旱胁迫程度,坡向对栓皮栎的影响都显著大于侧柏。这可能和侧柏与栓皮栎本身的特性相关,先前我们用气体交换仪测定发现在正常供水和干旱条件下栓皮栎的瞬时水分利用效率都高于侧柏^[19]。侧柏有更大的有效根长密度^[32-33],更大的有效根长密度预示着有更强的根系吸水能力。

试验地区土壤脊薄,土壤的储水能力有限,根系接触到地下水的可行性很小,植物的生长主要取决于降水,所以季节性干旱的影响很突出。从相关分析来看,旱季的降雨量对栓皮栎直径生长起到决定性的作用(表3),但侧柏的直径生长不完全取决于旱季的降雨。我们先前的研究发现侧柏的气孔对于干旱胁迫的敏感性较高^[19],通过关闭气孔来减少水分损失、缓解干旱胁迫,但同时也导致了光合速率下降^[34]。可以推测侧柏由于气孔关闭减少了光合积累,导致其在短期的干旱条件下生长缓慢,但通过关闭气孔可以应对严重的干旱。侧柏气孔相对较高的敏感性使其在雨季短暂的缺少降雨的情况下也可能引起气孔关闭,减少光合积累。而在旱季,侧柏具有较强的耐旱能力,其需水较少,在很干旱时仍然可以保持一定水平的光合作用^[19],侧柏的这些特性可以解释为什么旱季的降雨量和它的直径生长没有密切的相关性。另外,植物也可能通过各器官再分配来适应外界环境。与此不同,栓皮栎是落叶树种,冬季的干旱应该对它的影响较小,本文结果可见,旱季中生长季早期的干旱对栓皮栎的增粗生长有很严重的影响,这和增粗生长主要受当年的环境条件调节的学说是一致的^[35]。在华北石质山区,树木的生长主要受干旱的制约。但从全年的降雨量来看,该地区并不属于干旱或半干旱地区。所以全年的降雨量和树干截面积年增长并没有显著相关。另外,雨季的雨量充沛,有时还过剩,所以不是制约生长的因子。

随着树干直径不断增大,同样宽度的年轮增长,意味着更大的树干截面积或生物量的增长,在本试验地区,水肥条件所限栓皮栎和侧柏都不能保持均速生长,我们发现年轮宽度随树龄有下降的趋势,尤其是年龄较大时这种现象更明显。所以年轮宽度和降雨量没有呈现显著相关性。

4 结论

石质山区土壤脊薄,其承载能力主要取决于降雨量和降雨的均匀度。在华北石质丘陵地带,阳坡具有更大蒸散作用,其与旱季交互作用导致土壤干旱,抑制了栓皮栎和侧柏的生长。这两种树种相比较侧柏具有更强的抗旱能力。旱季的降雨量制约了栓皮栎的生长,而侧柏直径生长和旱季降雨量没有直接的关系。

References:

- [1] Villalba R, Grau H R, Boninsegna J A, Jacoby G C, Ripalta A. Tree-ring evidence for long-term precipitation changes in subtropical South

- America. *International Journal of Climatology*, 1998, 18(13): 1463-1478.
- [2] Fekedulegn D, Hicks R R, Colbert J. Influence of topographic aspect, precipitation and drought on radial growth of four major tree species in an Appalachian watershed. *Forest Ecology and Management*, 2003, 177(1/3): 409-425.
- [3] Rosenberg N J, Blad B L, Verma S B. *Microclimate: The Biological Environment*. New York: John Wiley & sons Inc, 1983.
- [4] Abrams M D, Ruffner C M, Morgan T A. Note: tree-ring responses to drought across species and contrasting sites in the ridge and valley of central Pennsylvania. *Forest Science*, 1998, 44(4): 550-558.
- [5] Cullen L E, Palmer J G, Duncan R P, Stewart G H. Climate change and tree-ring relationships of *Nothofagus menziesii* tree-line forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, 31(11): 1981-1991.
- [6] Lo Y H, Blanco J A, Seely B, Welham C, Kimmins J P. Relationships between climate and tree radial growth in interior British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(5): 932-942.
- [7] Peterson D W, Peterson D L. Mountain hemlock growth responds to climatic variability at annual and decadal time scales. *Ecology*, 2001, 82(12): 3330-3345.
- [8] Zhang W T, Jiang Y, Dong M Y, Kang M Y, Yang H C. Relationship between the radial growth of *Picea meyeri* and climate along elevations of the Luyashan Mountain in North-Central China. *Forest Ecology and Management*, 2012, 265: 142-149.
- [9] Zhang Y X, Wilmking M, Gou X H. Changing relationships between tree growth and climate in Northwest China. *Plant Ecology*, 2009, 201(1): 39-50.
- [10] Liang E Y, Shao X M, Kong Z C, Lin J X. The extreme drought in the 1920s and its effect on tree growth deduced from tree ring analysis: a case study in North China. *Annals of Forest Science*, 2003, 60(2): 145-162.
- [11] Pate J S. Carbon isotope discrimination and plant water-use efficiency // Unkovich M, Pate J, eds. *Stable Isotope Techniques in the Study of Biological Processes and Functioning of Ecosystems*. Boston: Kluwer, 2001: 19-36.
- [12] Brien R J W, Wanek W, Hietz P. Stable carbon isotopes in tree rings indicate improved water use efficiency and drought responses of a tropical dry forest tree species. *Trees-Structure and Function*, 2011, 25(1): 103-113.
- [13] Anyia A O, Slaski J J, Nyachiro J M, Archambault D J, Juskiw P. Relationship of carbon isotope discrimination to water use efficiency and productivity of barley under field and greenhouse conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2007, 193(5): 313-323.
- [14] Cui N B, Du T S, Kang S Z, Li F H, Hu X T, Wang M X, Li Z J. Relationship between stable carbon isotope discrimination and water use efficiency under regulated deficit irrigation of pear-jujube tree. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(11): 1615-1622.
- [15] Adams H D, Kolb T E. Drought responses of conifers in ecotone forests of northern Arizona: tree ring growth and leaf $\delta^{13}\text{C}$. *Oecologia*, 2004, 140(2): 217-225.
- [16] Williams A P, Michaelsen J, Leavitt S W, Still C J. Using tree rings to predict the response of tree growth to climate change in the continental United States during the twenty-first century. *Earth Interactions*, 2010, 14(19): 1-20.
- [17] Ferrio J P, Florit A, Vega A, Serrano L, Voltas J. $\delta^{13}\text{C}$ and tree-ring width reflect different drought responses in *Quercus ilex* and *Pinus halepensis*. *Oecologia*, 2003, 137(4): 512-518.
- [18] Vaganov E A, Schulze E D, Skomarkova M V, Knohl A, Brand W A, Roscher C. Intra-annual variability of anatomical structure and $\delta^{13}\text{C}$ values within tree rings of spruce and pine in alpine, temperate and boreal Europe. *Oecologia*, 2009, 161(4): 729-745.
- [19] Jin X, Xu J, Bai K D, Feng J X, Zhang J S, Wan X C. Comparison of drought strategies of three co-existing woody plants by their hydraulic structures. *Journal of Beijing Forestry University*, 2011, 33(6): 136-141.
- [20] Sun S J, Meng P, Zhang J S, Wan X C. Variation in soil water uptake and its effect on plant water status in *Juglans regia* L. during dry and wet seasons. *Tree Physiology*, 2011, 31(12): 1378-1389.
- [21] Zhang J S, Men P, Wang H S, Gao J, Ren Q F, Jia C R, Ren Y F. Soil respiration of Robinia pseudoacacia plantation in the Rocky Mountainous area of North China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(2): 8-14.
- [22] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 1983, 43(1): 69-78.
- [23] Farquhar G D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1989, 40(1): 503-537.
- [24] Poff R J. Effects of silvicultural practices and wildfire on productivity of forest soils // Sierra Nevada Ecosystem Project: Final Report to Congress, vol. II: Assessments and Scientific Basis for Management Options. Davis: University of California, Centers for Water and Wildlands Resources, 1996: 477-495.
- [25] Buttle J M, Dillon P J, Eerkes G R. Hydrologic coupling of slopes, riparian zones and streams: an example from the Canadian Shield. *Journal of Hydrology*, 2004, 287(1/4): 161-177.
- [26] Lee R, Syplot C R. Toward a biophysical evaluation of forest site potential. *Forest Science*, 1974, 20(2): 145-154.

- [27] Liang E Y, Shao X M, Eckstein D, Huang L, Liu X H. Topography- and species-dependent growth responses of *Sabina przewalskii* and *Picea crassifolia* to climate on the northeast Tibetan Plateau. *Forest Ecology and Management*, 2006, 236(2/3): 268-277.
- [28] Kramer P J, Kozlowski T T. *Physiology of Trees*. New York: McGraw-Hill, 1960.
- [29] Monclus R, Dreyer E, Villar M, Delmotte F M, Delay D, Petit J M, Barbaroux C, Le Thiec D, Brechet C, Brignolas F. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides*×*Populus nigra*. *New Phytologist*, 2006, 169(4): 765-777.
- [30] Rouhi V, Samson R, Lemeur R, Van Damme P. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59(2): 117-129.
- [31] Condon A G, Richards R A, Rebetzke G J, Farquhar G D. Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(407): 2447-2460.
- [32] Xiang S Q, Zhao X H. Root systems of main afforestation tree species in Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 1981, (2): 19-32.
- [33] Wang J X, Wang D H, Liu G Q. Distribution characteristics of effective root density in the planted *Robinia pseudoacacia* and *Platycladus orientalis* forest site. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, 24(13): 2208-2214.
- [34] McDowell N G, Pockman W T, Allen C D, Breshears D D, Cobb N, Kolb T, Plaut J, Sperry J, West A, Williams D G, Yezzer E A. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, 2008, 178(4): 719-739.
- [35] Kozlowski T T, Pallardy S G. *Growth Control in Woody Plants*. San Diego: Academic Press, 1997.

参考文献:

- [19] 靳欣, 徐洁, 白坤栋, 冯锦霞, 张劲松, 万贤崇. 从水力结构比较 3 种共存木本植物的抗旱策略. *北京林业大学学报*, 2011, 33(6): 136-141.
- [21] 张劲松, 孟平, 王鹤松, 高峻, 任庆福, 贾长荣, 任迎丰. 华北石质山区刺槐人工林的土壤呼吸. *林业科学*, 2008, 44(2): 8-14.
- [32] 向师庆, 赵相华. 北京主要造林树种的根系研究. *北京林业大学学报*, 1981, (2): 19-32.
- [33] 王进鑫, 王迪海, 刘广全. 刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律研究. *西北植物学报*, 2004, 24(13): 2208-2214.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《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 吕永龙

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 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 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