

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

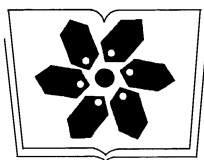
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第7期 Vol.31 No.7 **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 7 期 2011 年 4 月 (半月刊)

目次

川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤氮库与微生物的季节变化·····	龚伟,胡庭兴,王景燕,等 (1763)
IBIS 模拟东北东部森林 <i>NPP</i> 主要影响因子的敏感性·····	刘曦,国庆喜,刘经纬 (1772)
不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子·····	靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等 (1783)
氮、硫互作对克隆植物互花米草繁殖和生物量累积与分配的影响·····	甘琳,赵晖,清华,等 (1794)
海岛棉和陆地棉叶片光合能力的差异及限制因素·····	张亚黎,姚贺盛,罗毅,等 (1803)
遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	王建华,任士福,史宝胜,等 (1811)
3 种木本植物在铅锌和铜矿砂中的生长及对重金属的吸收·····	施翔,陈益泰,王树凤,等 (1818)
施氮水平对小麦籽粒谷蛋白大聚合体粒径分布的调控效应·····	王广昌,王振林,崔志青,等 (1827)
强光下高温与干旱胁迫对花生光系统的伤害机制·····	秦立琴,张悦丽,郭峰,等 (1835)
环境因子和干扰强度对高寒草甸植物多样性空间分异的影响·····	温璐,董世魁,朱磊,等 (1844)
利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力·····	董丹,倪健 (1855)
北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素·····	王华,欧阳志云,任玉芬,等 (1867)
平衡施肥对缺磷红壤性水稻土的生态效应·····	陈建国,张杨珠,曾希柏,等 (1877)
冬小麦种植模式对水分利用效率的影响·····	齐林,陈雨海,周勋波,等 (1888)
黄土高原冬小麦地 N_2O 排放·····	庞军柱,王效科,牟玉静,等 (1896)
花前渍水预处理对花后渍水逆境下扬麦 9 号籽粒产量和品质的影响·····	李诚永,蔡剑,姜东,等 (1904)
低硫氮比酸雨对亚热带典型树种气体交换和质膜的影响·····	冯丽丽,姚芳芳,王希华,等 (1911)
夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响·····	戴灵鹏,罗蔚华,王万贤 (1918)
海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系·····	赵志轩,张彪,金鑫,等 (1925)
中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估·····	王兵,魏江生,胡文 (1936)
城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例·····	王凤珍,周志翔,郑忠明 (1946)
黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释·····	袁秀,马克明,王德 (1955)
基于景观可达性的广州市林地边界动态分析·····	朱耀军,王成,贾宝全,等 (1962)
红脂大小蠹传入中国危害特性的变化·····	潘杰,王涛,温俊宝,等 (1970)
基于线粒体 <i>Cyt b</i> 基因的西藏马鹿种群遗传多样性研究·····	刘艳华,张明海 (1976)
不同干扰下荒漠啮齿动物群落多样性的多尺度分析·····	袁帅,武晓东,付和平,等 (1982)
秦岭鼯鼠的洞穴选择与危害防控·····	鲁庆彬,张阳,周材权 (1993)
京杭运河堤坝区域狗獾的栖息地特征·····	殷宝法,刘宇庆,刘国兴,等 (2002)
专论与综述	
微生物胞外呼吸电子传递机制研究进展·····	马晨,周顺桂,庄莉,等 (2008)
厌氧氨氧化菌脱氮机理及其在污水处理中的应用·····	王惠,刘研萍,陶莹,等 (2019)
问题讨论	
海河流域森林生态系统服务功能评估·····	白杨,欧阳志云,郑华,等 (2029)
研究简报	
体重和盐度对中国蛤蚧耗氧率和排氨率的影响·····	赵文,王雅倩,魏杰,等 (2040)
虾塘养殖中后期微型浮游动物的摄食压力·····	张立通,孙耀,赵从明,等 (2046)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 290 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04	

封面图说:日斜茅荆坝·河北茅荆坝——地处蒙古高原向华北平原过渡地带的暖温带落叶阔叶林,色彩斑斓,正沐浴着晚秋温暖的阳光。

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

北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素

王 华¹, 欧阳志云^{1,*}, 任玉芬¹, 高付元²

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 北京教学植物园, 北京 100061)

摘要: 温带和热带的干旱半干旱地区不断加快的城市绿化, 对水的大量需求给未来水资源的合理利用提出了严峻挑战。了解树木蒸腾特征及环境和生物因子对蒸腾的调控有助于城市绿化树种的选择和养护。利用热消散技术研究不同时间尺度上 15 年生紫玉兰 (*Magnolia liliflora*) 的耗水特征, 并同步监测环境因子。在昼夜尺度上, 春夏季节紫玉兰树干液流密度多呈双峰型曲线, 蒸腾午休现象明显; 秋季树干液流密度呈单峰型曲线; 冬季树干液流密度日变化格局不明显。于年内不同月份, 从 3 月开始上升, 5 月达到峰值, 9 月开始显著降低; 于不同的季节, 春季 > 夏季 > 秋季 > 冬季, 显示紫玉兰属春季耗水型树种; 于物候期, 从发芽到开花展叶阶段, 整树耗水迅速增加, 叶速生期达到最大值, 休眠期整树耗水显著降低。不同时间尺度上紫玉兰整树耗水对环境因子和生物因子的响应不同。昼夜尺度上, 液流密度与总辐射和水汽压亏缺显著相关, 且有显著时滞; 日尺度上, 总效辐射、水汽压亏缺以及大气温度是整树耗水的决定因子, 由于城市中的适时灌溉和研究期间降水充足, 土壤水分对紫玉兰的耗水没有显著影响; 月尺度上, 大气温度是紫玉兰的整树耗水的决定因子; 开花展叶期, 叶面积指数是影响紫玉兰耗水的关键因子, 同期环境因子对整树耗水的解释量只有 25.5%。

关键词: 紫玉兰; 热消散技术; 耗水; 城市环境因子; 叶面积指数

The characteristics of *Magnolia liliflora* transpiration and its impacting factors in Beijing City

WANG Hua¹, OUYANG Zhiyun^{1,*}, REN Yufen¹, GAO Fuyuan²

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Beijing Teaching Botanical Garden, Beijing 100061, China

Abstract: The fast urban greening in the arid and semi-arid lands in temperate and tropical regions increased the consumption of water resource greatly. Identifying the characteristics of tree transpiration, as well as the environmental and biological variables controlling water use in urban environment can help us choose the reasonable tree species and manage them scientifically. *Magnolia liliflora* is a typical urban greening species and distributes widely due to its high ornamental value. However, the water use characteristics of *M. liliflora* in the urban environment are poorly understood. Thermal dissipation method therefore was used to quantify the sap flow variations of *M. liliflora* trees at multi-temporal scales. The environmental factors including total radiation (R_s), vapor pressure deficit (D), air temperature (T_a), air humidity (RH), soil water content at the depth of 10cm, 30cm, 50 cm, 80 cm (SWC_{10} , SWC_{30} , SWC_{50} , SWC_{80}), wind speed (w) and precipitation (P) were also monitored at the same frequency as sap flow measurement. Sapwood cross-sectional area (A_s , cm^2) was estimated from increment borer samples. Sap flux density measurements made in stems were scaled to each individual tree by its A_s . Measurements of whole-tree leaf area index (LAI) were measured using a Plant Canopy Analyzer ($LAI2000$, USA) every two or three days during leaf expansion and defoliation, and once a week in other period under diffuse light conditions on cloudy days or at dusk. The diurnal, daily, monthly and seasonal variations of whole-tree sap

基金项目: 国家自然科学基金重点基金(41030744); “十一五”科技支撑计划课题(2007BAC28B01); 城市与区域生态国家重点实验室科研专项资助

收稿日期: 2010-02-26; **修订日期:** 2010-04-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

flow were analyzed. Diurnal sap flux density (J_s) of *M. liliflora* had the double peak pattern in spring and summer and single peak pattern in autumn. The monthly variation of the whole tree transpiration (E_t) increased gradually from March to May and decreased rapidly after September. The seasonal variation of E_t was the highest in spring and decreased in the sequence of summer, autumn, winter. Changes in plant phenology phase directly related to the change of E_t . E_t rose rapidly from sprouting stage to flowering and leaf expansion stage, reached the maximum value in the fast growing period and the minimum value in the dormant period. Great variations in E_t observed at different temporal scale were due to environmental factor changes. On the diurnal scale, hourly mean J_s with significant time lag was significantly related to R_s and D ($R^2 = 0.87$, $P < 0.001$; $R^2 = 0.66$, $P < 0.001$). On the daily scale, E_t significantly related to R_s , T_a , and D , while there were no obvious relationships between E_t and SWC due to the irrigation and amplitude rainfall during the research period. On the monthly scale, T_a was the most important factor affecting E_t . During the flowering and leaf expansion stage, LAI was the most important factor affecting E_t , while the environmental factors only explained 25.5% variance.

Key Words: *Magnolia liliflora*; heat dissipation method; whole-tree transpiration; urban environmental factors; leaf area index

城市化的加剧导致城市内部与周边郊区在气候、水文、土壤、大气等方面有显著差异^[1-2],依赖于天气条件、城市热物理和几何特征、人类源的湿气和热源在城市与郊区间区别有时很大^[3]。城市树木不但可以改善微气候,而且还能提供悦目的人居环境^[4-5]。北京是世界上严重缺水的大城市之一,2001年人口总量已达1367.78万人,为水资源最大承载人口的5.81倍,已经大大超过了北京市水资源的承载力^[6]。近年来,北京越来越重视绿化树种的选择与配植,然而绿化耗水又是不可避免的,加剧水资源供需矛盾。因此,基于日益增加的灌溉需求和环境效益,城区树木耗水规律和机制的研究十分必要。然而,以往的研究多数集中在绿化植物对某一城市环境效应的响应上,如城市空气污染、城市植物的种植密度、灌溉与施肥、夏季降水等^[7-11]。对城市环境下原位生长的树木实际耗水量及机理少有报道^[12-13];而且,城市植物耗水是对多个环境因子的综合反应,靠单因子实验无法全面认识其规律。

紫玉兰为北京常用园林观赏树种,数量为14588株^[14],具有很高的园林绿化应用价值,有关生长在养护绿地上的紫玉兰耗水的研究尚未见报道,所以了解和掌握其耗水特性将为制定科学合理的绿地灌溉制度、缓解北京市水资源供需矛盾等提供理论依据。热消散技术具有准确性、连续性和无破坏性等优点^[15],采用此法对公园绿地上的紫玉兰进行长期的原位观测,分析其在城市环境中的耗水特征。

1 材料与方法

1.1 样地状况与环境因子的监测

本试验在北京市崇文区南二环北京教学植物园内进行(116°25'37"—116°25'50"E, 39°52'20"—39°52'28"N),该植物园位占地11.65 hm²。试验地所在地区属于温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温11—12℃,年降雨量在500—600 mm,且集中在6—9月,无霜期190—195 d^[16]。

植物园内设有自动气象站,用于实时监测空气温度湿度(Campbell HMP45C, $T_a/^\circ\text{C}$; $RH/\%$)、风速风向(MetOne 034B型, $w/(\text{m/s})$)、光合有效辐射(Kipp & Zonen PAR-LITE 光合有效辐射传感器, $R_s/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、总辐射(CMP-11, Kipp and Zonen, Delft, Netherlands, $R_s/(\text{W/m}^2)$)不同深度(10 cm、30 cm、50 cm、80 cm)土壤温度(Campbell 109, $T/^\circ\text{C}$)和土壤含水量(Sentek EasyAG, $SWC/\%$)、雨量(Campbell TE525MM 翻斗式雨量桶, P/mm)等九要素气象参数,所有传感器均与数据采集仪相连,测量频度与液流测定同步。空气水汽压亏缺(D/kPa)由空气温度和湿度按照以下公式求出:

$$D = a \times \exp\left(\frac{bT_a}{T_a + c}\right) \times (1 - RH) \quad (1)$$

式中, RH 为空气湿度; T_a 是摄氏温度;常数 a 、 b 和 c 分别为0.611 kPa、17.502、240.97℃^[17]。

测定期间大气温度、风速、总辐射、水汽压亏缺、土壤含水量、降雨量的变化见表1。从9月下旬开始,风速剧烈波动,其它环境因子呈逐渐下降的趋势,2月份各环境因子开始上升;表层土的土壤含水量波动较大,深层土的土壤含水量波动较小;降水主要集中在6—8月,土壤含水量通常会随着雨水出现增加。

表1 测定期间环境因子的月变化

Table 1 Characteristics of the monthly environmental factors during the experiment

月份 Month	光合有效辐射 PAR/ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	水汽压亏缺 D /kPa	大气温度 T_a /°C	大气相对湿度 RH /%	10cm 处 土壤含水量 SWC_{10} /%	30cm 处 土壤含水量 SWC_{30} /%	50cm 处 土壤含水量 SWC_{50} /%	80cm 处 土壤含水量 SWC_{80} /%	风速 w / (m/s)	降雨 P / mm
5	352.18	1.31	20.14	52.81	21.95	25.23	18.63	33.90	1.11	1.86
6	310.96	1.06	23.49	67.23	14.11	20.15	18.21	34.12	1.04	4.42
7	339.36	1.31	27.49	68.79	19.36	31.60	23.69	35.20	0.89	6.36
8	256.97	1.09	25.87	71.18	16.79	27.75	21.28	29.15	0.78	8.01
9	230.04	0.88	20.72	68.77	22.06	30.14	21.38	29.57	0.75	2.70
10	182.33	0.77	14.32	58.67	23.64	31.75	22.52	32.42	0.77	0.51
11	128.25	0.61	6.44	43.88	17.39	29.44	20.59	30.59	0.92	0.00
12	91.36	0.41	-0.57	35.59	12.89	28.34	19.40	28.94	1.27	0.00
1	96.38	0.37	-2.15	33.16	9.23	24.73	18.63	27.99	1.17	0.00
2	130.04	0.43	1.72	46.25	15.36	25.87	18.49	27.66	1.08	0.07
3	207.98	0.76	7.56	35.48	17.15	28.86	19.88	28.89	1.39	0.04
4	276.63	1.18	16.08	42.57	15.85	27.23	20.99	30.83	1.27	0.14
5	343.33	1.80	23.05	43.44	14.05	25.65	21.76	31.80	1.21	0.06

PAR: photosynthetically active radiation, D : vapor pressure deficit, T_a : the air temperature, RH : the air humidity, SWC_{10} , SWC_{30} , SWC_{50} , SWC_{80} : soil water content at the depth of 10,30,50,80 cm, w : wind speed, P : precipitation

1.2 样树的边材面积和冠层投影面积

试验材料采用北京市绿化树紫玉兰3株,树龄为15 a,胸径(7.57 ± 0.32)cm,树高(3.57 ± 0.38)m,边材面积(34.56 ± 3.09)cm²(表2)。通过测定东西和南北冠幅,结合椭圆计算公式确定树冠的垂直投影面积。为避免对研究对象的伤害,选取样地中与研究对象大小最接近的紫玉兰(胸径差别在0.5cm以内),以生长锥取木芯,直尺测定边材厚度,得到的边材面积作为测定样树的边材面积。

表2 测定样树的特征

Table 2 Characteristics of the sampled trees for sap flow measurements in the experiments

样树 Sampled trees	胸径 DBH /cm	树高 Height /m	边材面积 Sapwood area/cm ²	传感器方位 Orientation of sensor	传感器数量 Numbers of sensor
紫玉兰1号 <i>M. liliflora</i> 1	7.00	4.30	29.11	北	1
紫玉兰2号 <i>M. liliflora</i> 2	7.60	3.00	34.74	北	1
紫玉兰3号 <i>M. liliflora</i> 3	8.10	3.40	39.83	北	1

1.3 树干液流的监测

2008年5月—2009年5月用Granier热扩散式探针测定树干边材液流密度(Thermal Dissipation Probe, Dynamax, USA)。Granier探针的工作原理、安装、液流密度计算以及整树蒸腾的计算方法参见文献^[18-19]。所选研究对象健康,生长环境一致,胸径差别不大。由于紫玉兰胸径较小,胸径1.3 m处的北向方位统一安装TDP30探针。

1.4 整树耗水量的计算

研究对象紫玉兰是环孔材,胸径小于8cm,其边材厚度在3cm以内,采用TDP30传感器可以得到边材厚度内的平均液流密度,故其整树耗水量的计算公式:

$$E_t = J_s \times A_s \quad (2)$$

式中, $E_t/(g/s)$ 为整树耗水量, $J_s/(g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1})$ 是液流密度, A_s/cm^2 为边材面积。

1.5 物候观测

隆冬和盛夏是物候现象变化较慢的季节时段, 观测的间隔稍长一些; 春季和秋季是物候现象变化较快的季节时段, 隔日进行观测。观测在每天的下午进行, 但开花期在上午进行。观测植株部位为树木顶端和向南的一侧。木本植物观测项目的标准: 在同一观测点选择同一植株若干株时, 则记载目测超过一半以上的植株出现某一物候现象的日期^[20]。根据紫玉兰的物候期观测资料见表 3。

表 3 测定期间紫玉兰物候变化

Table 3 Phenophase of *M. liliflora* during the measurement period

树种 Species	芽膨大与开放 Sprouting	现蕾期 Flower bud occurrence	展叶 Leaf emergence	花期 Flowering	叶速生 Leaf exposure	叶盛期 Leaf fully exposure	叶落期 Leaf shedding	休眠期 Dominant period
玉兰 <i>M. liliflora</i>	03-09—03-19	03-20—03-31	04-04—04-12	04-01—04-09	04-13—04-27	04-28—11-01	11-02—11-09	11-10—03-08

1.6 数据处理

采用 SPSS 11.5 (SPSS Inc., Chicago, USA) 和 Sigmaplot10.0 软件 (Systat Software Inc., San Jose, California) 进行数据处理和统计分析。用 Sigmaplot10.0 软件对紫玉兰树木整树耗水与总辐射、水汽压亏缺、大气温度进行拟合。采用 SPSS 11.5 统计软件中的多元线性回归分析环境因子对紫玉兰耗水的影响以及耗水对环境因子响应的敏感度。

2 结果

2.1 紫玉兰耗水特征

2.1.1 日变化

紫玉兰树干液流密度日变化呈现单峰或者双峰格局, 夜间液流比日间液流小得多 (图 1)。春夏 3 棵紫玉兰树干液流 7:00 时以后逐渐增加, 10:00 时左右达到顶峰, 12:00 时左右下降到低谷, 之后略有上升出现小高峰, 20:00 时以后液流趋于稳定; 秋季树干液流的日变化格局呈单峰, 液流启动时间和达到峰值的时间都推迟, 液流停止时间提前; 休眠季紫玉兰树干液流的日变化格局不明显。

2.1.2 月变化

紫玉兰整树耗水量 3 月份开始迅速上升, 5 月份达到峰值后略有下降, 8 月再次达到峰值后开始下降, 翌年 2 月达最小值后略有上升, 3 月以后迅速上升。测定阶段整树液流的最大值、最小值和平均值分别是 13.42、0.23、3.60 kg/d (图 2)。按季节, 春 (4、5 月)、夏 (6、7、8 月)、秋 (9、10 月)、冬季整树耗水量分别为 7.42、3.98、3.39、1.62 kg/d, 即春季 > 夏季 > 秋季 > 冬季 (表 4)。按物候期, 从发芽到开花阶段, 液流先升高后下降, 芽开放和现蕾期达到此阶段的最大值; 叶速生期和叶盛期整树耗水高, 休眠期耗水最少 (表 5)。

表 4 紫玉兰整树耗水的月变化

Table 4 Monthly patterns of whole-tree transpiration (E_t) in *M. liliflora*

月份 Month	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
E_t	3.77	3.34	4.01	4.59	3.84	2.94	1.23	1.40	2.35	1.51	2.97	5.80	9.05
SE	0.24	0.29	0.28	0.31	0.33	0.25	0.09	0.12	0.23	0.13	0.30	0.59	0.44

表 5 紫玉兰整树耗水随物候期的变化

Table 5 Whole-tree transpiration during different phenophase (E_t) in *M. liliflora*

物候期 Phenophase	芽膨大与开放 Sprouting	现蕾期 Flower bud occurrence	展叶 Leaf emergence	花期 Flowering	叶速生 Leaf exposure	叶盛期 Leaf fully exposure	叶落期 Leaf shedding	休眠期 Dominant period
E_t	2.57	4.07	3.22	3.25	6.88	3.70	1.17	1.65
SE	0.50	0.46	0.24	0.21	0.68	0.12	0.19	0.08

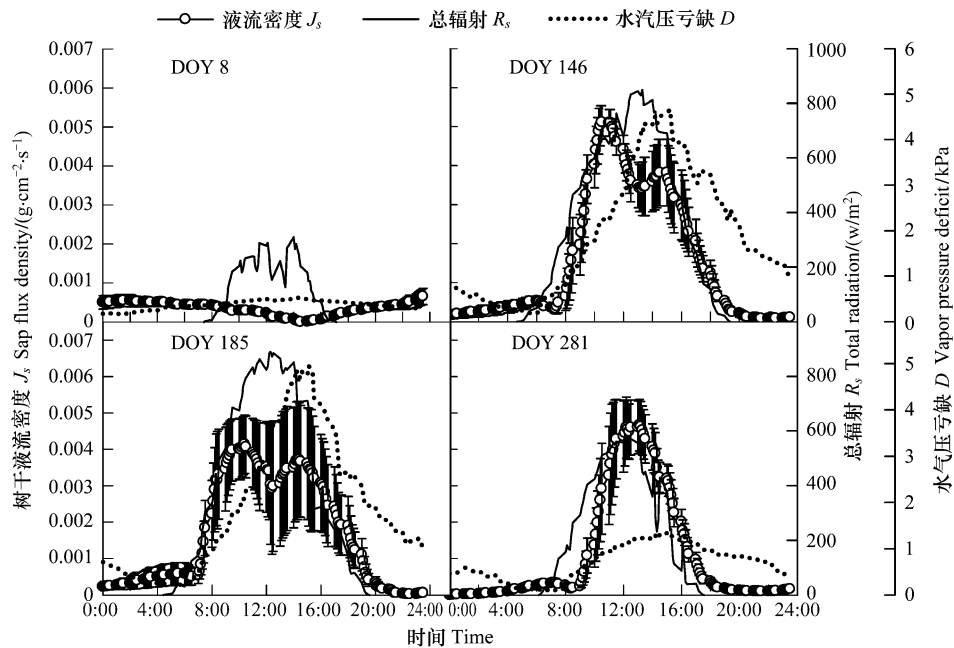


图1 晴朗天气条件下紫玉兰树干液流密度、总辐射、水汽压亏缺的日变化格局

Fig. 1 The diurnal pattern of sap flux density in *M. liliflora*, the total radiation, the vapor deficit under sunny weather were shown
液流值为三株紫玉兰液流密度的平均值

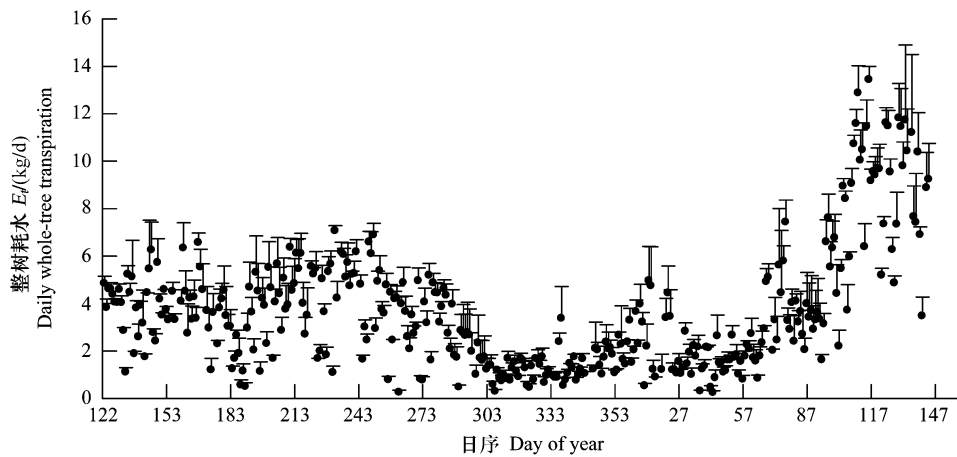


图2 紫玉兰整树耗水的年内变化

Fig. 2 Annual patterns of daily mean whole-tree transpiration (E_t) in *M. liliflora*

2.2 整树耗水与环境因子之间的关系

2.2.1 昼夜尺度

紫玉兰树干液流密度的日变化格局主要是跟随总辐射的变化,且树干液流密度略提前于总辐射的变化,明显滞后于水汽压亏缺的变化(图1)。树干液流对总辐射的时滞的方向是逆时针,对于水汽压亏缺的时滞是顺时针(图3)。

2.2.2 日尺度

日尺度上(图4),整树耗水与总辐射之间呈直线关系;当总辐射大于 $100\text{W}/\text{m}^2$ 时,整树耗水显著增加;总辐射作为单因子可以解释整树耗水变化的 64.64%。整树耗水与水汽压亏缺呈直线关系;水汽压亏缺作为单因子可以解释整树耗水变化的 55.46%。整树耗水与大气温度之间呈直线关系,温度大于 20°C 时很低的冠层

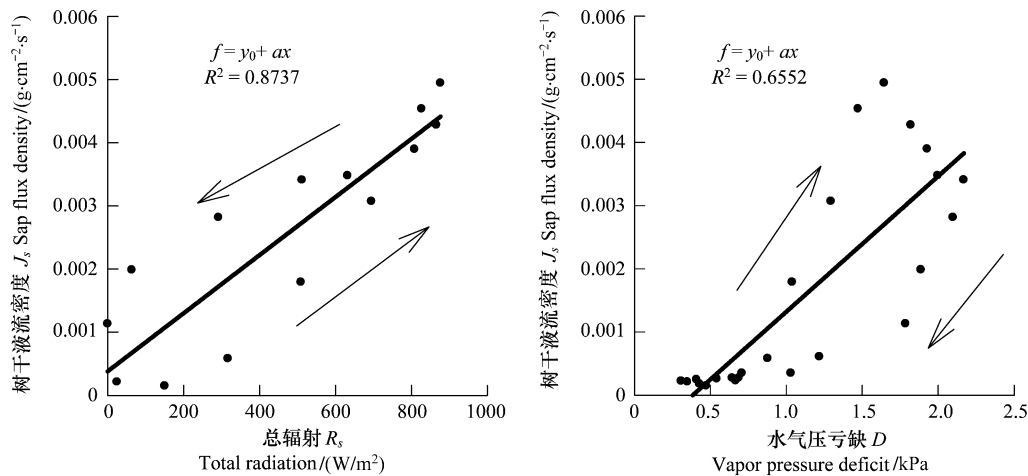


图3 紫玉兰树干液流密度与总辐射、水汽压亏缺之间的关系 (DOY121)

Fig. 3 1-hour mean J_s plotted against R_s , D in spring (DOY121)

箭头指向下次连续观测的时刻

蒸腾发生在降雨天气。土壤含水量对紫玉兰的整树耗水没有影响,同时,不同表层土壤含水量下紫玉兰整树耗水对水汽压亏缺的响应没有显著差异。整树耗水对总辐射、水汽压亏缺和大气温度响应的敏感性依次为水汽压亏缺>大气温度>总辐射。整树耗水与总辐射、水汽压亏缺、大气温度和风速之间的多元线性回归表明总辐射是影响整树耗水的主要因素。若只观察生长季节整树耗水与环境因子的关系,规律一致。

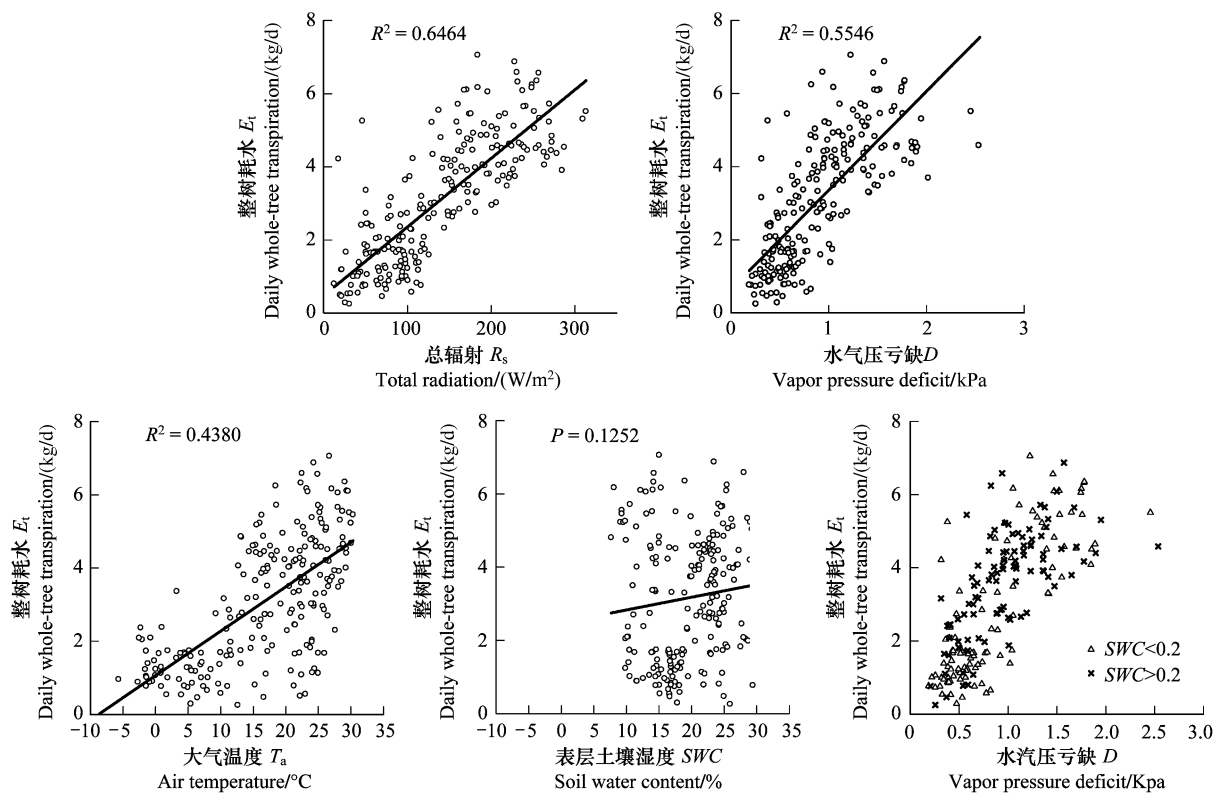


图4 日尺度上紫玉兰整树耗水对单一环境因子的响应

Fig. 4 Relationship between E_t and R_s , D , SWC , T_a on the daily scale

2.2.3 月尺度

月尺度上,整树耗水与总辐射之间呈直线关系;当总辐射大于 100 W/m^2 时,整树耗水显著增加;总辐射作为单因子可以解释整树耗水变化的 73.83%。整树耗水与水汽压亏缺呈直线关系;当水汽压亏缺大于 0.5 kPa 时,整树耗水显著增加;水汽压亏缺作为单因子可以解释整树耗水变化的 71.55%。整树耗水与大气温度之间呈直线关系,大气温度大于 10°C 时整树耗水显著增加;大气温度作为单因子可以解释整树耗水变化的 87.53% (图 5)。整树耗水对总辐射、水汽压亏缺和大气温度响应的敏感性依次为水汽压亏缺>大气温度>总辐射。整树耗水与总辐射、水汽压亏缺、大气温度和风速之间的多元线性回归表明大气温度是影响整树耗水的主要因素。

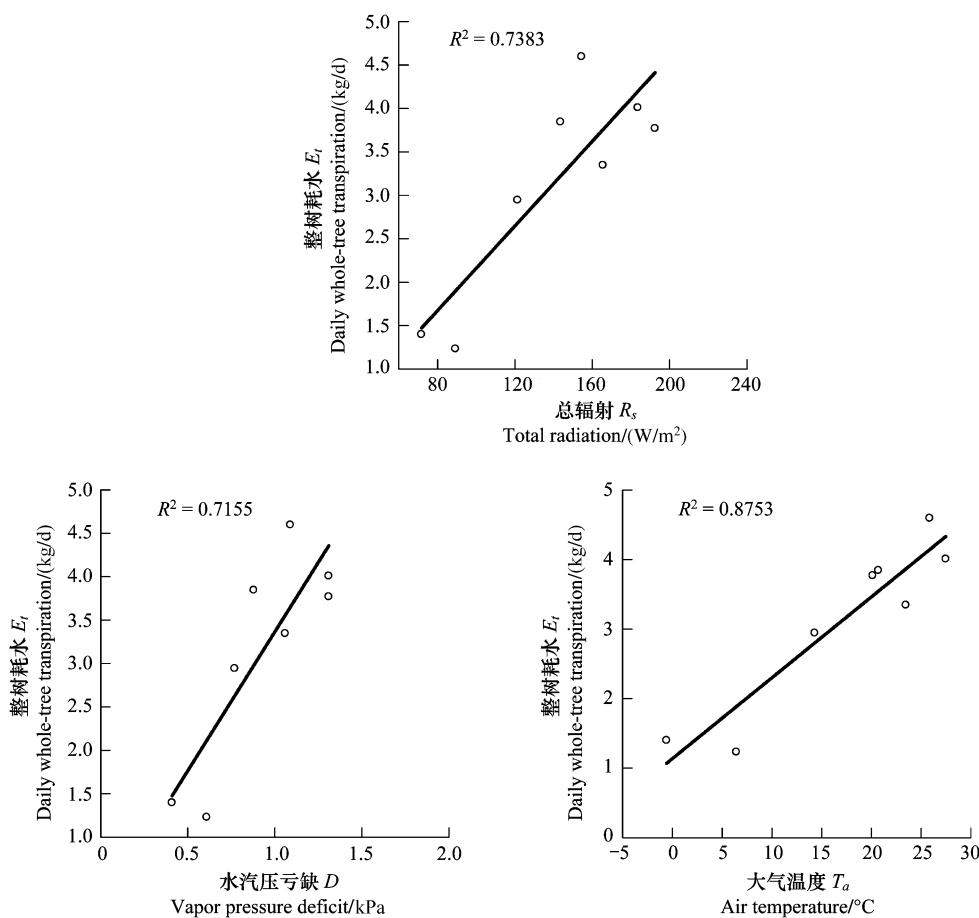


图 5 月尺度上紫玉兰耗水对单一环境因子的响应

Fig. 5 Relationship between E_t and R_s , D , T_a on the monthly scale

2.3 叶面积对紫玉兰耗水的影响

紫玉兰是花叶同期的观赏树种,开花展叶阶段,紫玉兰的整树耗水随着叶面积指数的增加而迅速提高,叶面积指数作为单因子可以解释整树耗水变化的 80.09% (图 6),且此段时期环境因子对整树耗水的解释量只有 25.5%。

3 讨论

3.1 紫玉兰蒸腾特征

春夏季高蒸发需求条件下紫玉兰蒸腾午休现象明显,这是由于午间高强度辐射伴随着气温升高,叶片温度也随之升高,正反馈作用促使气孔关闭,减少水分散失,后随着辐射的减少和水汽压亏缺的增加,气孔继续打开一段时间后持续下降;秋季树干液流呈单峰型曲线,午间液流下降不明显,这是由于午间气孔没有关闭,

蒸腾持续进行(图1)。以往的研究中报道的树木耗水日格局大多是单峰格局^[21-23],蒸腾午休现象少有报道,如车文瑞等人利用 Li-cor6400 便携式光合仪对北京市白玉兰叶片蒸腾的研究中也观察到了明显的蒸腾午休现象^[24]。蒸腾午休现象有效阻止了水分的进一步散失,是绿化树种节水的方式之一。冬季紫玉兰树干液流微弱,日变化格局不明显,原因是冬季温度低,树木生理活动不活跃。

与温带和热带树木耗水的季节性变化相同^[25],紫玉兰整树耗水季节性也很明显,休眠期比生长季节耗水少得多(图2),这是由于休眠期大气温度、辐射、水汽压亏缺、土壤温湿度等环境因子都显著降低。休眠期微弱的液流用于维持细胞基本的生理活动,这与 Ceschiaa 等人发现非生长季节成年山毛榉树干呼吸存在,用于维持

细胞生理活动的研究一致^[26]。与元宝枫、白玉兰相同^[24, 27],紫玉兰也是春季耗水型树种,原因是:首先,北京地区春季空气湿度低降雨少,这形成了高蒸发需求的环境;其次,春季是紫玉兰抽梢、开花和展叶的季节,对水分的需求很大。这启示人们紫玉兰适合与夏季耗水型树种配置在一起,以减少水分竞争。

很少有研究注意到树木耗水随物候期的变化。本研究结合紫玉兰的物候观测资料,发现整树耗水随着玉兰物候期的变化而变化,从发芽到开花阶段,液流先升高后下降,芽开放和现蕾期达到此阶段的最大值;叶速生期和叶盛期整树耗水高,休眠期耗水最少。

3.2 不同时间尺度上环境因子对紫玉兰整树蒸腾的调控

很多研究证实树木的树干液流与气象因子相关。Xia 等人研究发现日尺度上主要气象因子对中国西北干旱沙漠锦鸡儿液流速率的影响顺序为水汽压亏缺>太阳辐射>大气温度>风速^[28]。Granier 等人研究发现小时尺度上热带雨林的林段耗水与水汽压亏缺密切相关,与辐射相关程度较少^[29]。以往林木耗水的研究中小时或者日尺度的研究较多,较少研究比较和分析了不同时间尺度下蒸腾和影响因素之间的关系,如 Wullschlegler 等人的研究表明日尺度和小时尺度上数据有不一致性,原因是研究阶段水汽压亏缺日均值大于 2kPa 的日子只有 6d;但是研究阶段水汽压亏缺小时值大于 2.5kPa 的有 17d,在小时尺度上引起气孔关闭不足以影响日尺度上红枫阔叶林的冠层蒸腾^[30]。

本文研究表明不同时间尺度上紫玉兰整树蒸腾对环境因子的响应不同。昼夜尺度上,总辐射和水汽压亏缺是紫玉兰树干液流的决定因子,同时也发现紫玉兰树干液流与水汽压亏缺之间存在显著时滞而与总辐射之间的时滞很短,因此,在这个时间尺度上辐射对控制树干液流的日变化格局起主导作用(图3),这反映了气孔对光照的敏感性。与此一致的研究有:Phillips 等对 10 个树种和两种藤本植物的研究也显示,液流密度的日变化更依赖于总辐射^[21];木薯(*Manihot esculenta* Crantz)液流与总辐射的相关程度高于其它气候因子,且液流与总辐射之间几乎没有时滞,与水汽压亏缺之间的时滞为 110min^[31]。日尺度上,紫玉兰整树耗水与总辐射、水汽压亏缺、大气温度相关,且耗水对环境因子响应的敏感度依次为水汽压亏缺>大气温度>总辐射。多元线性回归的结果表明总辐射是整树蒸腾的主要驱动因子。另外,紫玉兰整树耗水对总辐射、水汽压亏缺的响应呈直线。相似的研究结果包括红枫阔叶林、巴拿马湿润森林^[21, 30]。月尺度上,大气温度是紫玉兰整树耗水的主要驱动因子,且辐射、水汽压亏缺以及温度作为单因子对紫玉兰整树耗水的解释量明显高于日尺度。

孙鹏森等提出,影响树干液流的 3 类因素中生物学结构决定液流的潜在能力,土壤供水决定液流的总体水平,而气象因素则决定液流的瞬间变动^[32]。很多研究证实了土壤水分亏缺对冠层导度的负作用^[33-34]。也有一些研究直接证实了土壤湿度是影响植物蒸腾的重要因子^[23]。与上述研究不同,研究表明土壤湿度对城

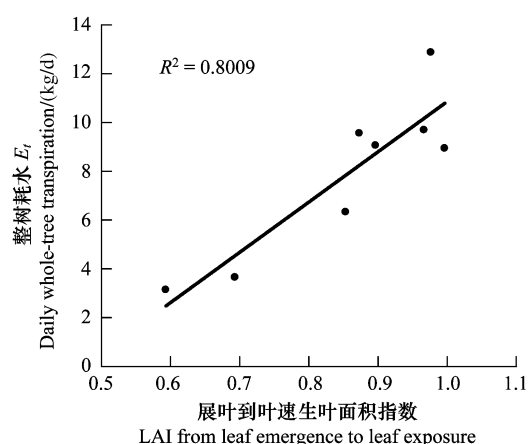


图6 展叶期整树耗水与叶面积指数之间的关系

Fig. 6 Relationship between E_t and LAI during the period from leaf emergence to leaf expansion

市绿化树种紫玉兰的整树耗水没有显著影响 ($P>0.05$), 进而不同土壤湿度下耗水对水汽压亏缺的响应也是一致。这是由于研究阶段充足的降水和城市环境中的适时灌溉, 使得土壤水分供应充足, 较少处于亏缺状态。Martin 和 Stable 的研究表明灌溉的居住地植物的气体交换比不灌溉的沙漠地植物高, 且植物的水分状态更适宜^[35]。

3.3 紫玉兰整树蒸腾的生物调控

Granier 等认为林段蒸腾的时空变异的第一个来源是气候, 第二个主要来源是生物调控, 如叶面积指数和气孔导度^[33]。叶面积指数是分析林段结构最有说服力的参数之一, 高的叶面积指数表明林段所处的土壤肥力高、森林具有较佳的健康水平和生产力^[36]。植物蒸腾与叶面积指数密切相关, 如研究得到大豆和高粱蒸腾量占蒸散量的比例与叶面积指数密切相关, 当叶面积指数为 2 时蒸腾量占蒸散量的 50%, 当叶面积指数为 4 时, 蒸腾量占蒸散量的 95%^[37]; 如春季 35 年生的 *Quercus petraea* 林段蒸腾增加与 LAI 的变化有关^[36]。树干液流技术能探测到发生在展叶时期蒸腾微小的日变化。研究表明在紫玉兰叶片完全膨大以前, 整树耗水随叶面积指数的增加而线性增加, 叶面积指数是影响整树耗水量的关键因子, 其对耗水的解释量超过 80%, 而同期环境因子对其的解释量只有 20%, 这证实了生物因子对紫玉兰耗水的调控。

4 结论

紫玉兰春季耗水量大, 建议与夏季耗水型树种配置; 花期早, 花形花色优美, 观赏价值高; 紫玉兰是蒸腾午休现象和对水汽压亏缺的负反馈作用, 都阻止了高蒸发需求条件下水分的进一步散失, 因此, 紫玉兰是北京城市绿化的适宜树种。基于紫玉兰耗水的季节变化和物候期变化规律, 建议花期适量灌溉、蒸腾高峰期和停滞期勿灌溉, 能够减缓耗水。

致谢: 在野外试验中得到北京城市生态系统研究站和北京市教学植物园的支持, 在此表示感谢。

References:

- [1] Landsberg H E. The Urban Climate. New York: Academic Press, 1981.
- [2] Song Y C, You W H, Wang X R. Urban Ecology. Shanghai: East China Normal University Press, 2000.
- [3] Taha H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. Energy and Buildings, 1997, 25(2): 99-103.
- [4] Georgi N, Zafiriadis K. The impact of park trees on microclimate in urban areas. Urban Ecosystems, 2006, 9(3): 195-209.
- [5] Nowak D J, Dwyer J F. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystem//Kuser J E, ed. Urban and Community Forestry in the Northeast. New York: Springer Science and Business Media, 2007: 25-46.
- [6] Meng F D, Wang X Y. A study on trend and driving forces of carrying capacity change for water resources in Beijing. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2004, 25(3): 100-105.
- [7] Hagishima A, Narita K, Tanimoto J. Field experiment on transpiration from isolated urban plants. Hydrological Processes, 2007, 21(9): 1217-1222.
- [8] Kjellgren R K, Clark J R. Growth and water relations of Liquidambar styraciflua L. in an urban park and plaza. Trees-Structure and Function, 1993, 7(4): 195-201.
- [9] Rajput M, Agrawal M. Biomonitoring of air pollution in a seasonally dry tropical suburban area using wheat transplants. Environmental Monitoring and Assessment, 2005, 101(1/3): 39-53.
- [10] Gregg J W, Jones C G, Dawson T E. Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York City. Nature, 2003, 424(6945): 183-187.
- [11] Burgess S S O. Measuring transpiration responses to summer precipitation in a Mediterranean climate: a simple screening tool for identifying plant water-use strategies. Physiologia Plantarum, 2006, 127(3): 404-412.
- [12] Wang R H, Ma L Y, Xi R C, Li L P, Fan M. Estimates of water consumption of seven kinds of garden plants and typical configuration in Beijing. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(10): 63-68.
- [13] Zhang W J, Zhang Z Q, Li S D, Zhang X F, Dong K Y, Chen L X, Wang G Y. Transpiration of four tree species under an urban environment. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 5942-5952.
- [14] Beijing Gardening and Greening Bureau. Collection of Beijing Urban Gardening and Afforestation Survey, Monograph. Beijing: Beijing Publishing House, 2002.
- [15] Lu P, Urban L, Zhao P. Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice. Acta Botany Sinica, 2004, 46(6): 631-646.
- [16] Sun S J, Gu R Z, Cong R C, Che S C, Gao J P. Change of trunk sap flow of *Ginkgo biloba* and its response to inhibiting transpiration. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(5): 22-28.

- [17] Campbell G S, Norman J M. An Introduction to Environmental Biophysics. New York: Springer-Verlag, 1998.
- [18] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 1987, 3(4): 309-320.
- [19] Zhao P, Rao X Q, Ma L, Cai X A, Zeng X P. Application of Granier's sap flow system in water use of *Acacia mangium* forest. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2005, 13(6): 457-468.
- [20] Xia L X, Niu Y B, Li A P, Wu S L, Wang X L. Discussion on the request and standard of woody plant phenological observation. *Shanxi Meteorological Quarterly*, 2006, (2): 47-48.
- [21] Phillips N, Oren R, Zimmermann R, Wright S J. Temporal patterns of water flux in trees and lianas in a Panamanian moist forest. *Trees-Structure and Function*, 1999, 14(3): 116-123.
- [22] Pataki D E, Oren R. Species differences in stomatal control of water loss at the canopy scale in a mature bottomland deciduous forest. *Advances in Water Resources*, 2003, 26(12): 1267-1278.
- [23] Huang Y Q, Zhao P, Zhang Z F, Li X K, He C X, Zhang R Q. Transpiration of *Cyclobalanopsis glauca* (syn. *Quercus glauca*) stand measured by sap-flow method in a karst rocky terrain during dry season. *Ecological Research*, 2009, 24(4): 791-801.
- [24] Che W R, Ma L Y, Wang R H, Fan M, Duan J. Water consumption and transpiration for seedlings of three ornamental tree species in Beijing. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2008, 25(5): 609-613.
- [25] Zeppel M J B, Yunusa I A M, Eamus D. Daily, seasonal and annual patterns of transpiration from a stand of remnant vegetation dominated by a coniferous *Callitris* species and a broad-leaved *Eucalyptus* species. *Physiologia Plantarum*, 2006, 127(3): 413-422.
- [26] Ceschia É, Damesin C, Lebaube S, Pontailler J Y, Dufrêne É. Spatial and seasonal variations in stem respiration of beech trees (*Fagus sylvatica*). *Annals Forest Science*, 2002, 59(8): 801-812.
- [27] Wang R H, Ma L Y. Comparative research of water consumption from 15 garden tree species in Beijing. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2009, 29(4): 16-20.
- [28] Xia G M, Kang S Z, Li F S, Zhang J H, Zhou Q Y. Diurnal and seasonal variations of sap flow of *Caragana korshinskii* in the arid desert region of north-west China. *Hydrological Processes*, 2008, 22(8): 1197-1205.
- [29] Granier A, Huc R, Barigah S T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 78(1/2): 19-29.
- [30] Wullschlegel S, Wilson K B, Hanson P J. Environmental control of whole-plant transpiration, canopy conductance and estimates of the decoupling coefficient for large red maple trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 104(2): 157-168.
- [31] Oguntunde P G. Whole-plant water use and canopy conductance of cassava under limited available soil water and varying evaporative demand. *Plant and Soil*, 2005, 278(1/2): 371-383.
- [32] Sun P S, Ma L Y, Wang X P, Zhai M P. Temporal and spacial variation of sap flow of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*). *Journal of Beijing Forestry University*, 2000, 22(5): 1-6.
- [33] Granier A, Loustau D, Bréda N. A generic model of forest canopy conductance dependent on climate, soil water availability and leaf area index. *Annals Forest Science*, 2000, 57(8): 755-765.
- [34] Pataki D E, Oren R. Species differences in stomatal control of water loss at the canopy scale in a mature bottomland deciduous forest. *Advances in Water Resources*, 2003, 26(12): 1267-1278.
- [35] Martin C A, Stabler L B. Plant gas exchange and water status in urban desert landscapes. *Journal of Arid Environments*, 2002, 51(2): 235-254.
- [36] Bréda N, Granier A. Intra-and interannual variations of transpiration, leaf area index and radial growth of a sessile oak stand (*Quercus petraea*). *Annales des Sciences Forestières*, 1996, 53(2/3): 521-536.
- [37] Brun L J, Kanemasu E T, Powers W L. Evapotranspiration from soybean and sorghum fields. *Agronomy Journal*, 1972, 64(2): 145-148.

参考文献:

- [2] 宋永昌, 由文辉, 王祥荣. 城市生态学. 上海: 华东师范大学出版社, 2000.
- [6] 孟凡德, 王晓燕. 北京市水资源承载力的现状及驱动力分析. 首都师范大学学报(自然科学版), 2004, 25(3): 100-105.
- [12] 王瑞辉, 马履一, 奚如春, 李丽萍, 樊敏. 北京 7 种园林植物及典型配置绿地用水量测算. 林业科学, 2008, 44(10): 63-68.
- [13] 张文娟, 张志强, 李湛东, 张晓放, 董克宇, 陈立欣, 王国玉. 城市森林建设四种乔木树种蒸腾耗水特征. 生态学报, 2009, 29(11): 5942-5952.
- [14] 北京园林绿化局. 北京市城市园林绿化普查资料汇编. 北京: 北京出版社, 2002.
- [16] 孙守家, 古润泽, 丛日晨, 车少臣, 高俊平. 银杏树干茎流变化及其对抑制蒸腾措施的反应. 林业科学, 2006, 42(5): 22-28.
- [19] 赵平, 饶兴权, 马玲, 蔡锡安, 曾小平. Granier 树干液流测定系统在马占相思的水分利用研究中的应用. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(6): 457-468.
- [20] 夏林喜, 牛永波, 李爱萍, 武书龙, 王喜莲. 浅谈木本植物物候观测要求及各物候期观测标准. 山西气象, 2006, (2): 47-48.
- [24] 车文瑞, 马履一, 王瑞辉, 樊敏, 段劼. 北京 3 个园林观赏树种苗木耗水特性初探. 浙江林学院学报, 2008, 25(5): 609-613.
- [27] 王瑞辉, 马履一. 北京 15 种园林树木耗水性的比较研究. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(4): 16-20.
- [32] 孙鹏森, 马履一, 王小平, 翟明普. 油松树干液流的时空变异性研究. 北京林业大学学报, 2000, 22(5): 1-6.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 7 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Seasonal variation of soil nitrogen pools and microbes under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China	GONG Wei, HU Tingxing, WANG Jingyan, et al (1763)
Sensitivity analysis for main factors influencing <i>NPP</i> of forests simulated by IBIS in the eastern area of Northeast China	LIU Xi, GUO Qingxi, LIU Jingwei (1772)
Diurnal changes of photosynthetic characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> and the relevant environment factors at different slope locations	JIN Tiantian, FU Bojie, LIU Guohua, et al (1783)
Interactive effects of nitrogen and sulfur on the reproduction, biomass accumulation and allocation of the clonal plant <i>Spartina alterniflora</i>	GAN Lin, ZHAO Hui, QING Hua, et al (1794)
Difference in leaf photosynthetic capacity between pima cotton (<i>Gossypium barbadense</i>) and upland cotton (<i>G. hirsutum</i>) and analysis of potential constraints	ZHANG Yali, YAO Hesheng, LUO Yi, et al (1803)
Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Forsythia suspensa</i>	WANG Jianhua, REN Shifu, SHI Baosheng, et al (1811)
Growth and metal uptake of three woody species in lead/zinc and copper mine tailing	SHI Xiang, CHEN Yitai, WANG Shufeng, et al (1818)
GMP particles size distribution in grains of wheat in relation to application of nitrogen fertilizer	WANG Guangchang, WANG Zhenlin, CUI Zhiqing, et al (1827)
Damaging mechanisms of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.) photosystems caused by high-temperature and drought under high irradiance	QIN Liqin, ZHANG Yueli, GUO Feng, et al (1835)
The effect of natural factors and disturbance intensity on spacial heterogeneity of plant diversity in alpine meadow	WEN Lu, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (1844)
Modeling changes of net primary productivity of karst vegetation in southwestern China using the CASA model	DONG Dan, NI Jian (1855)
The characteristics of <i>Magnolia liliflora</i> transpiration and its impacting factors in Beijing City	WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (1867)
Ecological effects of balanced fertilization on red earth paddy soil with P-deficiency	CHEN Jianguo, ZHANG Yangzhu, ZENG Xibai, et al (1877)
Effects of planting patterns on water use efficiency in winter wheat	QI Lin, CHEN Yuhai, ZHOU Xunbo, et al (1888)
Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau	PANG Junzhu, WANG Xiaoke, MU Yujing, et al (1896)
Effects of hardening by pre-anthesis waterlogging on grain yield and quality of post-anthesis waterlogged wheat (<i>Triticum aestivum</i> L. cv Yangmai 9)	LI Chengyong, CAI Jian, JIANG Dong, et al (1904)
Effects of simulated acid rain with lower S/N ratio on gas exchange and membrane of three dominant species in subtropical forests	FENG Lili, YAO Fangfang, WANG Xihua, et al (1911)
Molluscicidal efficacy of <i>Nerium indicum</i> cardiac glycosides on <i>Pomacea canaliculata</i> and its effects on rice seedling	DAI Lingpeng, LUO Weihua, WANG Wanxian (1918)
Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River basin	ZHAO Zhixuan, ZHANG Biao, JIN Xin, et al (1925)
The assessment of forest ecosystem services evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China	WANG Bing, WEI Jiangsheng, HU Wen (1936)
Evaluation on service value of ecosystem of Peri-urban transition zone lake: a case study of Yandong Lake in Wuhan City	WANG Fengzhen, ZHOU Zhixiang, ZHENG Zhongming (1946)
Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta	YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (1955)
Forestland boundary dynamics based on an landscape accessibility analysis in Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (1962)
Changes in invasion characteristics of <i>Dendroctonus valens</i> after introduction into China	PAN Jie, WANG Tao, WEN Junbao, et al (1970)
Population genetic diversity in Tibet red deer (<i>Cervus elaphus wallichi</i>) revealed by mitochondrial <i>Cyt b</i> gene analysis	LIU Yanhua, ZHANG Minghai (1976)
Multi-scales analysis on diversity of desert rodent communities under different disturbances	YUAN Shuai, WU Xiaodong, FU Heping, et al (1982)
Cave-site selection of Qinling zokors with their prevention and control	LU Qingbin, ZHANG Yang, ZHOU Caiquan (1993)
The habitat characteristics of Eurasian badger in Beijing-Hangzhou Grand Canal embankment	YIN Baofa, LIU Yuqing, LIU Guoxing, et al (2002)
Review and Monograph	
Electron transfer mechanism of extracellular respiration: a review	MA Chen, ZHOU Shungui, ZHUANG Li, et al (2008)
The biochemical mechanism and application of anammox in the wastewater treatment process	WANG Hui, LIU Yanping, TAO Ying, et al (2019)
Discussion	
Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China	BAI Yang, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (2029)
Scientific Note	
Effects of body size and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of <i>Macra chinensis</i> Philippi	ZHAO Wen, WANG Yaqian, WEI Jie, et al (2040)
Study on microzooplankton grazing in shrimp pond among middle and late shrimp culture period	ZHANG Litong, SUN Yao, ZHAO Congming, et al (2046)

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 7 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 7 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