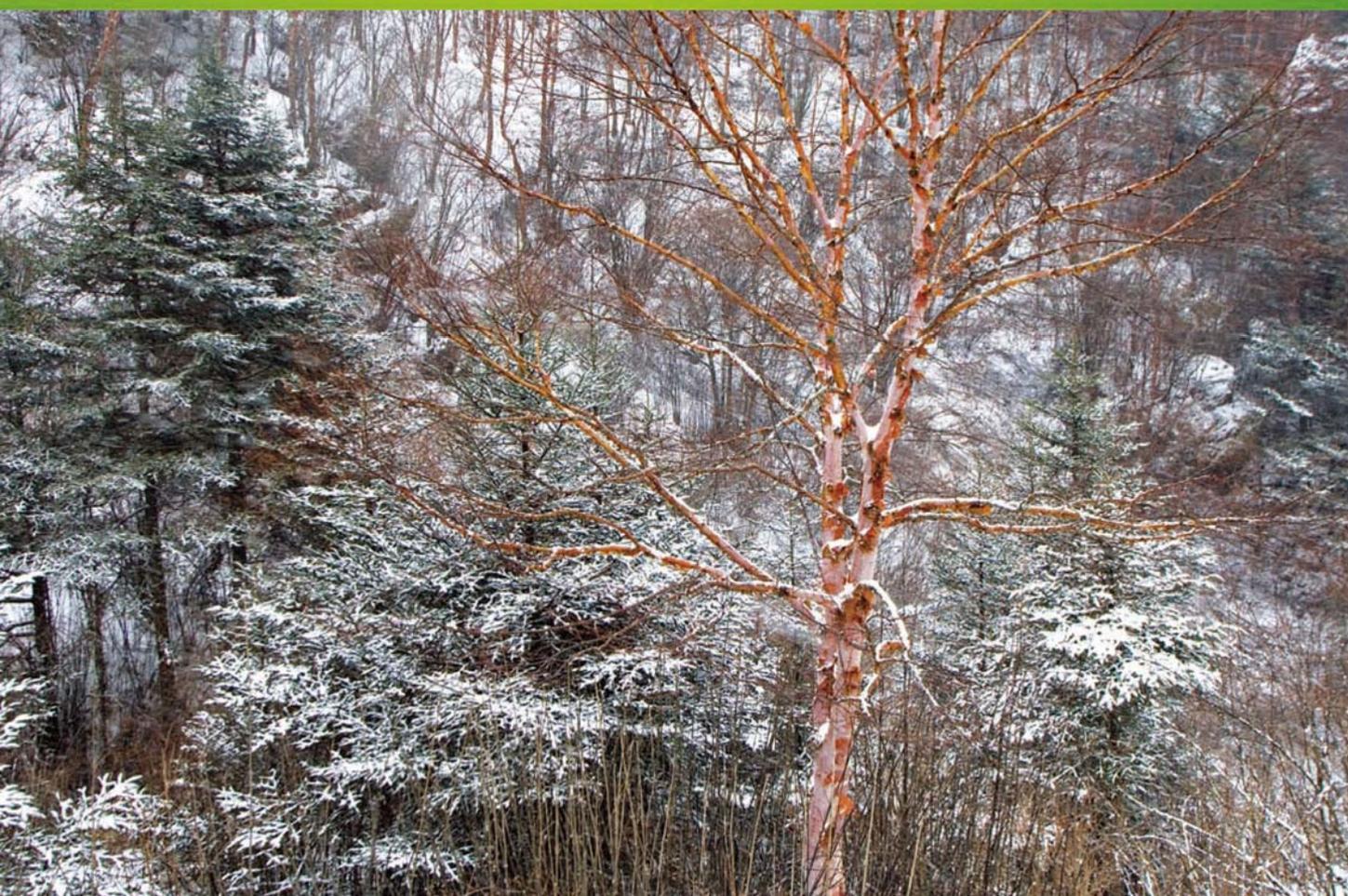


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

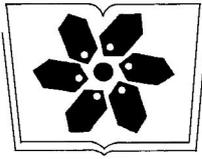
## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第8期 Vol.34 No.8 2014

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 34 卷 第 8 期      2014 年 4 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 海洋浮游纤毛虫生长率研究进展..... 张武昌,李海波,丰美萍,等 (1897)
- 城市森林调控空气颗粒物功能研究进展..... 王晓磊,王 成 (1910)
- 雪地生活跳虫研究进展..... 张 兵,倪 珍,常 亮,等 (1922)

### 个体与基础生态

- 黄河三角洲贝壳堤岛叶底珠叶片光合作用对 CO<sub>2</sub> 浓度及土壤水分的响应.....  
..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (1937)
- 米楮人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征.....  
..... 康根丽,杨玉盛,司友涛,等 (1946)
- 利用不同方法测定红松人工林叶面积指数的季节动态..... 王宝琦,刘志理,戚玉娇,等 (1956)
- 环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响 ..... 平 川,王传宽,全先奎 (1965)
- 黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征 ..... 程立平,刘文兆,李 志 (1975)
- 土壤水分胁迫对拉瑞尔小枝水分参数的影响..... 张香凝,孙向阳,王保平,等 (1984)
- 遮荫处理对臭柏幼苗光合特性的影响..... 赵 顺,黄秋娴,李玉灵,等 (1994)
- 漓江水陆交错带典型立地根系分布与土壤性质的关系..... 李青山,王冬梅,信忠保,等 (2003)
- 梭梭幼苗的存活与地上地下生长的关系..... 田 媛,塔西甫拉提·特依拜,李 彦,等 (2012)
- 模拟酸雨对西洋杜鹃生理生态特性的影响..... 陶巧静,付 涛,项锡娜,等 (2020)
- 岩溶洞穴微生物沉积碳酸钙——以贵州石将军洞为例..... 蒋建建,刘子琦,贺秋芳,等 (2028)
- 桂东北稻区第七代褐飞虱迁飞规律及虫源分析..... 齐会会,张云慧,蒋春先,等 (2039)

### 种群、群落和生态系统

- 鄱阳湖区灰鹤越冬种群数量与分布动态及其影响因素..... 单继红,马建章,李言阔,等 (2050)
- 雪被斑块对川西亚高山两个森林群落冬季土壤氮转化的影响..... 殷 睿,徐振锋,吴福忠,等 (2061)
- 小秦岭森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局 ..... 陈 云,王海亮,韩军旺,等 (2068)
- 2012 年夏季挪威海和格陵兰海浮游植物群落结构的色素表征 ..... 王肖颖,张 芳,李娟英,等 (2076)
- 云南花椒园中昆虫群落特征的海拔间差异分析..... 高 鑫,张立敏,张晓明,等 (2085)
- 人工湿地处理造纸废水后细菌群落结构变化..... 郭建国,赵龙浩,徐 丹,等 (2095)
- 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例 ..... 张 华,张 兰,赵传燕 (2102)

## 景观、区域和全球生态

- 秦岭重点保护植物丰富度空间格局与热点地区…………… 张殷波,郭柳琳,王伟,等 (2109)
- 太阳辐射对黄河小浪底人工混交林净生态系统碳交换的影响…………… 刘佳,同小娟,张劲松,等 (2118)
- 黄土丘陵区油松人工林生态系统碳密度及其分配…………… 杨玉姣,陈云明,曹扬 (2128)
- 湘潭锰矿废弃地不同林龄栎树人工林碳储量变化趋势…………… 田大伦,李雄华,罗赵慧,等 (2137)

## 资源与产业生态

- 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估…………… 吴燕明,吕高明,周航,等 (2146)

## 城乡与社会生态

- 北京市主要建筑保温材料生命周期与环境经济效益评价…………… 朱连滨,孔祥荣,吴宪 (2155)
- 城市地表硬化对银杏生境及生理生态特征的影响…………… 宋英石,李锋,王效科,等 (2164)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 276 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 29 \* 2014-04



**封面图说:** 冷杉红桦混交林雪——冷杉是松科的一属,中国是冷杉属植物最多的国家,约 22 种 3 个变种。冷杉常常在高纬度地区至低纬度的亚高山至高山地带的阴坡、半阴坡及谷地形成纯林,或与性喜冷湿的云杉、落叶松、铁杉和某些松树及阔叶树组成针叶混交林或针阔混交林。冷杉具有较强的耐阴性,适应温凉和寒冷的气候,土壤以山地棕壤、暗棕壤为主。川西、滇北山区的冷杉林往往呈混交状态,冷杉红桦混交林为其中重要的类型。雪被对冷杉林型冬季土壤氮转化影响的研究对揭示高山森林对气候变化的响应及其适应机制提供重要的理论支持。

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/stxb201303280545

宋英石, 李锋, 王效科, 付芝红, 赵丹. 城市地表硬化对银杏生境及生理生态特征的影响. 生态学报, 2014, 34(8): 2164-2171.

Song Y S, Li F, Wang X K, Fu Z H, Zhao D. Effects of urban imperious surface on the habitat and ecophysiology characteristics of *Ginkgo biloba*. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(8): 2164-2171.

## 城市地表硬化对银杏生境及生理生态特征的影响

宋英石<sup>1</sup>, 李 锋<sup>1,\*</sup>, 王效科<sup>1</sup>, 付芝红<sup>2</sup>, 赵 丹<sup>1</sup>

(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. 中国矿业大学(北京), 化学与环境工程学院, 北京 100083)

**摘要:**城市大规模的地表硬化改变了城市环境, 影响了城市中植物的正常生长。利用土壤水分温度仪 ECH<sub>2</sub>O 测定了不同硬化地表下土壤含水率(WCS)和土壤温度(Ts), 利用 LI-6400 光合仪, 并配备荧光叶室, 测定了银杏生长的环境因子和银杏生理生态参数。研究表明, 城市地表硬化对银杏生长环境的影响主要表现为空气温度(Ta)和土壤温度(Ts)升高, 空气相对湿度(RH)和土壤含水率(WCS)下降, 银杏对地表硬化的生理生态响应表现为净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)降低, 叶面饱和水汽压亏缺(VPDL)增大, 叶片含水率(LWC)下降; 最大光化学效率(Fv/Fm)和 PS II 实际光合电子传递量子效率(Φ<sub>PSII</sub>)下降, 硬化程度越高, 银杏受到的胁迫越重; 受城市地表硬化的影响, 银杏吸收的光能用于光化学反应的比例减少, 而用于热耗散和荧光耗散的比例增加, 城市硬化地表上银杏的水分利用效率(WUE)、光能利用效率(LUE)和 CO<sub>2</sub> 利用效率(CUE)明显下降。

**关键词:**城市地表硬化; 银杏; 生理生态

## Effects of urban imperious surface on the habitat and ecophysiology characteristics of *Ginkgo biloba*

SONG Yingshi<sup>1</sup>, LI Feng<sup>1,\*</sup>, WANG Xiaoke<sup>1</sup>, FU Zhihong<sup>2</sup>, ZHAO Dan<sup>1</sup>

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

2 School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

**Abstract:** City is a kind of social-economic-natural complex ecosystem dominated by human activities. With the accelerating of urbanization, the land use is being transformed from natural landscape to imperious surface in urban areas, such as buildings, roads, roof, squares and so on. Urban imperious surface changes the environment factors, hinders energy exchange between air and soil, and influences urban plant growth. In this research we studied the effects of urban imperious surface on habitat of *Ginkgo biloba* and its ecophysiology response to the imperious surface. We designed two different types of imperious surface in urban areas. One is totally imperious cover (TIC) which is a marble square, and the coefficient of permeability is zero. The other is partially imperious cover (PIC) which is covered by bricks, and the coefficient of permeability is 33%. A turf cover (NC) was chosen as the contrast, and the coefficient of permeability is 88%. The *Ginkgo bilobas* growing on the three kinds of land covers were planted in the same time and received the same maintenance. Soil temperature (Ts) and water content of soil (WCS) were measured by ECH<sub>2</sub>O. Gas exchange characteristics such as photosynthesis (Pn), transpiration (Tr), stomata conductance (Gs), saturation vapor pressure deficit of leaf (VPDL) were measured by Portable photosynthesis measuring system Li-6400. chlorophyll fluorescence characteristics such as

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (71273254, 30970507)

收稿日期: 2013-03-28; 修订日期: 2013-11-06

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lifeng@cees.ac.cn

optimal photochemical efficiency ( $Fv/Fm$ ), actual photochemical efficiency  $\Phi_{psII}$ , quantum efficiency of light-dependent thermal dissipation  $\Phi_f.D$ , quantum efficiency of light-independent and fluorescence energy dissipation  $\Phi_{NPQ}$  were measured and calculated with the help of fluorescence chamber (6400-40). Relative water content of leaf was measured by weight method. The results showed that temperature of air ( $T_a$ ) above TIC and PIC were 3.2°C and 2.1 °C higher than NC, and temperature of soil ( $T_s$ ) increased 1.5 °C and 2.2 °C respectively. Relative humidity of air ( $RH$ ) above TIC and PIC were about 5%—6% lower than NC and water content of soil ( $WCS$ ) under TIC and PIC were about 4%—5% lower than NC in urban areas. *Ginkgo biloba*'s ecophysiology response to the imperious surface is that the decrease of photosynthetic rate ( $Pn$ ), transpiration rate ( $Tr$ ), conductance to  $H_2O$  ( $Gs$ ) and leaf water content ( $LWC$ ). The  $Pn$  of *Ginkgo biloba* planted on TIC and PIC were 39.3% and 22.7% lower than those on NC.  $Tr$  and  $Gs$  also had similar decrease trend. Compared to *Ginkgo biloba* planted on NC, the *Ginkgo biloba* planted on impervious surface (include TIC and PIC), the  $Fv/Fm$  and  $\Phi_{psII}$  decreased, but  $VPDL$  and  $\Phi_f.D$  increased, indicating that due to the impact of impervious surface approximately 10% more energy absorbed by leaf was released as heat but 5%—9% less energy was used for photosynthesis. The more urban imperious surface covered, the more severe stress to *Ginkgo biloba* suffered. The water use efficiency ( $WUE$ ), light use efficiency ( $LUE$ ) and  $CO_2$  use efficiency ( $CUE$ ) of *Ginkgo biloba* growing in urban imperious surface are 20%—40% less than that in the turf cover. This study revealed the response of *Ginkgo biloba*'s ecophysiology characteristics and variations characters on different surface covers. It is very important to improve quality of the plant habitat and enhance ecological services of urban green space. It also provides a scientific reference for urban greening and constructing of the ecological land.

**Key Words:** urban imperious surface; *Ginkgo biloba*; ecophysiology

城市是一类以人类活动为中心的社会-经济-自然复合生态系统<sup>[1-2]</sup>。随着城市化进程的加快,大量的生态用地转变成建设用地,自然土壤被封闭在硬化地表之下,地表硬化由此产生。城市地表硬化是指城市中自然土壤被不透水材料,例如水泥、金属、玻璃、塑料等<sup>[3]</sup>所覆盖的现象,主要体现在城市中的道路、广场、楼房等人工建筑<sup>[4-5]</sup>。城市大规模的地表硬化改变了城市环境因子,阻隔了土壤与大气之间水分和气体的交换和流通<sup>[6]</sup>,改变了城市小气候以及水循环、热平衡和养分循环等,影响城市中植物的生长,及其生态服务功能的发挥<sup>[7-8]</sup>。2011年我国的城镇化率达到51%<sup>[9]</sup>,正处在城市化快速发展期,城市地表硬化将是一个严峻的问题。当前对地表硬化的研究多集中在地表硬化的热效应和水文效应,而在地表硬化对植物生理生态影响方面研究较少。本文以银杏(*Ginkgo biloba*)为研究对象,测定了不同地表硬化上银杏的生境与生理生态指标,揭示了城市不同地表硬化上银杏的生理生态响应及其变化特征,对改善城市植物生长环境和提高绿地生态服务具有重要意义,同时为城市绿化与生态用地建设提供参考。

## 1 实验设计与方法

### 1.1 样地设计

本实验样地位于北京海淀区华清嘉园小区。用地的透水率表示地表的硬化程度,完全硬化(TIC)的透水率为几乎0;部分硬化(PIC)的透水率为约33%;自然地表(NC)的透水率约为88%<sup>[10]</sup>。本次试验选择了3种地表覆盖类型,大理石面广场、砖面广场和草坪,分别代表TIC、PIC和NC,实验样地的具体参数如图1所示。3种地表覆盖类型上为同一年栽种的银杏树,树龄为13a,树高5—7m,平均胸径为14.5cm,平均冠幅为4.0m。每棵树的灌溉水量相同,每次实验时选择灌溉后第5天进行实验。

### 1.2 实验方法

#### (1) 生理生态参数的测定与计算

利用Li-6400光合仪(Li-Cor公司,美国),配备荧光叶室(6400-40)测定银杏的光合特性,测定时间为2012年6—10月,为银杏的生长季。每月测定2次,选择晴朗,无风天气,现场测定。每次测量时为8:00—18:00,每2h进行1次。每个硬化类型上选取4棵银杏树,在每棵树上的东、西、南、北4个方向

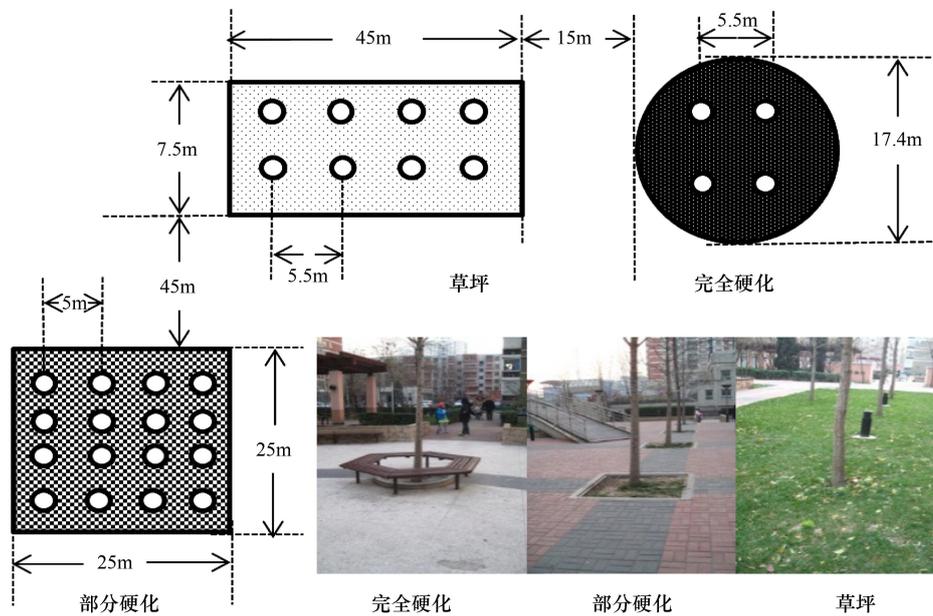


图1 实验样地分布示意图

Fig.1 The distribution of sample sites

上 2.5—3m 处,各选取 1 个大小相似的、生长正常的叶片,每个叶片取 3—6 个瞬时光合特性值。测定叶片的生理生态参数有:净光合速率( $P_n, \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率  $Tr(\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 、气孔导度  $G_s(\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 、胞间  $\text{CO}_2$  浓度  $C_i(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$ 、叶面水气压亏缺( $VPDL, \text{KPa}$ )。叶绿素荧光指标有:最小荧光( $F_o$ )、最大荧光( $F_m$ )、光下最大荧光( $F'm$ )、光下最小荧光( $F'o$ )和稳态荧光( $F_s$ )。计算得到最大光能转化效率( $F_v/F_m$ )、PS II 实际的光化学量子效率( $\Phi_{\text{psII}}$ )。

#### (2) 光能分配的计算方法

根据 Luke Hendrickson 等<sup>[11]</sup>的方法计算光能分配情况。PS II 天线色素吸收光能用于以下 3 个部分:一部分用于光化学反应的能量耗散  $\Phi_{\text{psII}}$ ;一部分用于依赖于光的热耗散  $\Phi_{\text{NPQ}}$ ;还有一部分用于不依赖于光的热能耗散和荧光耗散  $\Phi_{\text{f.D}}$ 。可以看出  $\Phi_{\text{psII}} + \Phi_{\text{NPQ}} + \Phi_{\text{f.D}} = 1$ 。

$$\Phi_{\text{psII}} = 1 - F_s/F'm$$

$$\Phi_{\text{NPQ}} = F_s/F'm - F_s/F_m$$

$$\Phi_{\text{f.D}} = F_s/F_m$$

#### (3) 资源利用效率计算方法

水分利用效率( $WUE$ )用净光合速率  $P_n$  与蒸腾速率  $Tr$  的比值求算;光能利用效率( $LUE$ )用光量子效率法表示,是净光合速率  $P_n$  与光合有效辐射

$PAR$  的比值;二氧化碳利用效率( $CUE$ )是净光合速率  $P_n$  与胞间二氧化碳浓度  $C_i$  的比值<sup>[12-13]</sup>:

$$WUE = P_n/Tr$$

$$LUE = P_n/PAR$$

$$CUE = P_n/C_i$$

式中, $WUE$  为水分利用效率, $LUE$  为光能利用效率, $CUE$  为二氧化碳利用效率; $P_n$  为净光合速率, $Tr$  为蒸腾速率, $PAR$  为光合有效辐射, $C_i$  为胞间二氧化碳浓度

#### (4) 叶片含水率的测定方法

叶片含水率( $LWC$ )的测定用称重法,每次将实验叶片摘下,放入自封袋,带回实验室称鲜重,用烘箱  $105^\circ\text{C}$  杀青  $10 \text{ min}$ ,然后在  $80^\circ\text{C}$  环境下,烘干至恒重,称干重。

$$LWC = (\text{叶片鲜重} - \text{叶片干重}) / \text{叶片鲜重}$$

#### (5) 环境参数的测定

Li-6400 光合仪测定叶片周围环境参数有:光合有效辐射( $PAR, \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、大气  $\text{CO}_2$  浓度( $C_a, \mu\text{mol/mol}$ )、相对空气湿度( $RH, \%$ )、大气温度( $T_a, ^\circ\text{C}$ )等。用土壤水分温度监测仪 EC  $\text{H}_2\text{O}$  (EM50, Decagon 公司,美国)测定土壤温度和体积含水量。

### 1.3 数据处理

每棵银杏树的日平均值代表当天的生理生态值,当月两个典型日的平均值代表该树当月的生理

生态值。

利用 Microsoft Excel 2010、SPSS18.0 统计分析软件进行数据处理与分析。试验处理对各项参数的影响使用单因素方差分析(One-way ANOVA)方法检验,不同地表硬化类型间的比较使用 Duncan 多重检验方法, $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 城市地表硬化对环境因子的影响

在银杏的生长季期间(6—10 月),测定的环境

因子日均值见表 1,从表 1 可以看出地表硬化影响的主要环境因子是空气温度  $T_a$ 、空气相对湿度  $RH$ 、土壤温度  $T_s$  以及土壤含水率  $WCS$ 。通过显著性检验,空气温度  $T_a$  在完全硬化地表 TIC、部分硬化地表 PIC 和草坪 NC 3 个类型之间有显著差异,从高到低依次为: $TIC > PIC > NC$ ; TIC 和 PIC 上的  $RH$  和  $WCS$  均显著低于 NC,土壤温度  $T_s$  显著高于 NC,但两种硬化类型之间差异不显著。由于实验样地处于同一个小区内,光合有效辐射  $PAR$  和大气  $CO_2$  浓度  $Ca$  在 3 种地表覆盖类型之间没有显著性差异。

表 1 城市不同地表覆盖类型环境因子差异性分析(平均值±标准差)

Table 1 The significance test of environment factors in different types of urban imperious surface (mean ±SD)

硬化类型 Types of urban imperious surface	光合有效辐射 $PAR$ /( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	空气温度 $T_a$ /°C	空气相对湿度 $RH/\%$	大气 $CO_2$ 浓度 $Ca$ /( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	土壤温度 $T_s$ /°C	土壤含水率 $WCS/\%$
TIC	1087.24±269.03 a	31.46±6.17 a	39.71±10.74 b	388.79±15.36 a	30.15±5.29 a	15.66±4.78 b
PIC	1011.31±265.59 a	30.31±5.09 b	40.52±8.47 b	390.52±14.42 a	30.89±4.65 a	16.22±3.04 b
NC	1027.86±339.21 a	28.24±4.35 c	45.87±9.01 a	389.88±13.23 a	28.69±5.15 b	20.69±5.43 a

TIC:完全硬化地表 Totally impervious cover, PIC:部分硬化地表 Partially impervious cover, NC:自然地表 Natural cover; 同一列的不同处理间,只要出现一个相同的标注字母就表示差异不显著;标注字母完全不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

### 2.2 城市地表硬化对银杏光合特性的影响

从图 2 可以看出在整个生长季银杏的净光合速率  $P_n$ 、蒸腾速率  $T_r$ 、气孔导度  $G_s$  和叶片含水率  $LWC$  均有:完全硬化(TIC) < 部分硬化(PIC) < 草坪(NC); 银杏的叶面饱和水汽压亏缺  $VPDL$  有: $TIC > PIC > NC$ 。在整个生长季,完全硬化地表(TIC)上的银杏  $P_n$  均显著低于草坪,部分硬化地表(PIC)和草坪(NC)之间银杏的  $P_n$  在 8 月和 10 月份有显著性差异;TIC 上银杏的蒸腾速率  $T_r$  和气孔导度  $G_s$  显著低于 NC 上的银杏,在 9 月份 3 个类型之间银杏的  $G_s$  有显著性差异。TIC 上银杏的叶面饱和水汽压亏缺  $VPDL$  显著高于 PIC 和 NC,叶面饱和水汽压亏缺( $VPDL$ )是指叶片和空气间的饱和水汽压差值, $VPDL$  越大,叶片越容易失水, $VPDL$  与  $G_s$  共同决定叶片的蒸腾速率<sup>[14]</sup>。草坪上银杏的叶片含水率  $LWC$  显著高于完全硬化地表,但两硬化类型间差异不显著;整个生长季,草坪上银杏的  $LWC$  在 70%—80%之间,部分硬化地表上银杏的  $LWC$  已经从 6 月份的 79%下降为 10 月份的 61%,而完全硬化地表从 73%下降为 51%。

### 2.3 城市地表硬化对银杏叶绿素荧光的影响

PS II 最大光能转化效率  $F_v/F_m$  是指经过暗适应的叶片,用于光化学反应的量子占所吸收的量子

的比值<sup>[15]</sup>。常用于度量植物叶片 PS II 原初光能转换效率,在非胁迫条件下, $F_v/F_m$  为 0.8,变化极小,但胁迫条件下该参数明显下降<sup>[16]</sup>。据图 3 可知,草坪上银杏的  $F_v/F_m$  整个生长季在 0.8 左右,只有在 10 月份有所下降,两种硬化地表上,银杏在整个生长季均处于 0.8 以下,甚至在 8 月份完全硬化上银杏的  $F_v/F_m$  降低到 0.73。3 种地表覆盖类型上银杏的最大量子产额  $F_v/F_m$  从大到小依次为: $NC > PIC > TIC$ ,在整个生长季 NC 上银杏的  $F_v/F_m$  显著高于 TIC 和 PIC。 $\Phi_{psII}$  反映了实际的 PSII 反应中心进行光化学反应的效率<sup>[17-19]</sup>,其值越大说明电子传递活性与传递速率越大<sup>[20]</sup>。据图 3 可知,3 种地表类型上银杏的  $\Phi_{psII}$  从大到小依次为: $NC > PIC > TIC$ ;并且在 6、7、9 月份,3 种类型之间有显著性差异。

### 2.4 城市地表硬化对银杏光能分配的影响

不同地表上的银杏整个生长季叶绿素吸收光能分配情况见图 4,NC 上银杏用于光化学反应的能量( $\Phi_{psII}$ )所占比例分别比 TIC 和 PIC 高 9%和 5%,而 TIC 和 PIC 上银杏用于不依赖于光的热能散和荧光耗散( $\Phi_f \cdot D$ )比 NC 高 11%和 10%,草坪上的银杏用于依赖于光的热耗散  $\Phi_{NPQ}$  所占比例有所增加。

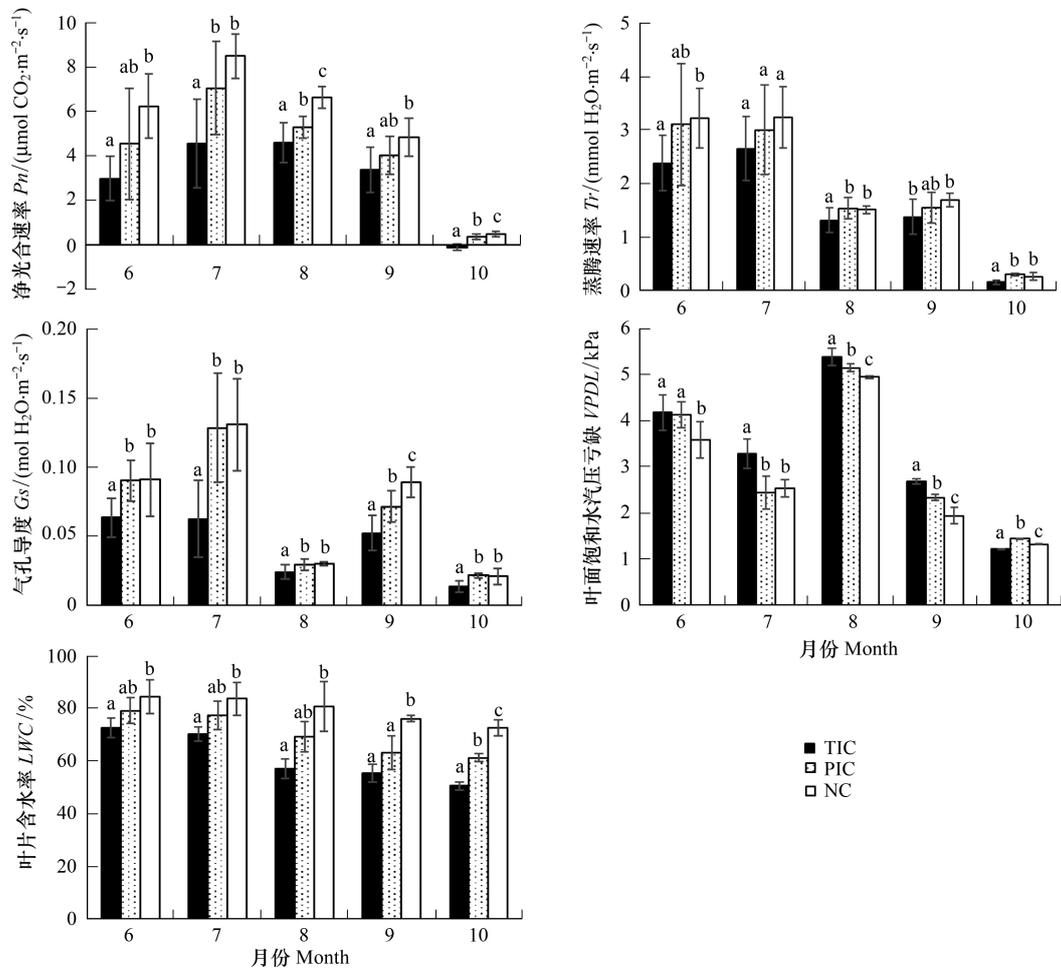


图2 城市不同地表覆盖类型下银杏气体交换参数的差异(平均值±标准差)

Fig.2 The gas exchange characteristics of *Ginkgo biloba* in different types of urban imperious surface (mean ±SD)

TIC:完全硬化地表 Totally impervious cover, PIC:部分硬化地表 Partially impervious cover, NC:自然地表 Natural cover;不同的处理间,只要出现一个相同的标注字母就表示差异不显著;标注字母完全不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

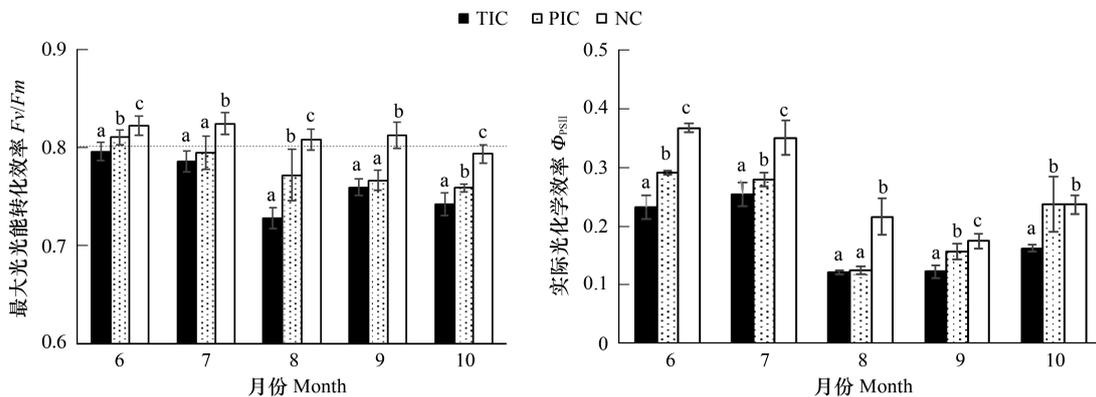


图3 不同地表覆盖类型下银杏叶绿素荧光的差异(平均值±标准差)

Fig.3 The chlorophyll fluorescence of *Ginkgo biloba* in different types of imperious surface (mean ±SD)

TIC:完全硬化地表 Totally impervious cover, PIC:部分硬化地表 Partially impervious cover, NC:自然地表 Natural cover;不同的处理间,只要出现一个相同的标注字母就表示差异不显著;标注字母完全不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

### 2.5 城市地表硬化对银杏资源利用效率的影响

据表2可知,银杏的水分利用效率  $WUE$  有:

$\text{TIC} > \text{PIC} < \text{NC}$ ,并且 TIC 和 PIC 上银杏的  $WUE$  分别比 NC 上的银杏降低了22%和20%,在6、7、8月份NC

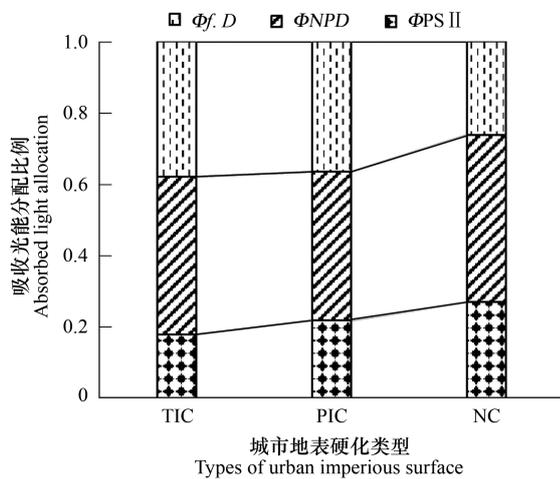


图4 城市不同地表覆盖类型下银杏叶绿素吸收光能分配比例  
**Fig.4 The allocation proportion of energy absorbed by *Ginkgo biloba* in different types of urban impervious surface**  
 TIC:完全硬化地表 Totally impervious cover, PIC:部分硬化地表 Partially impervious cover, NC:自然地表 Natural cover

上银杏的  $WUE$  显著高于 TIC。银杏光能利用效率  $LUE$  有:  $TIC < PIC < NC$ , TIC 和 PIC 上银杏的  $LUE$  分别比 NC 上的银杏降低了 46% 和 21%, NC 上银杏显著高于 TIC, 在 8 月和 10 月 3 种地表类型之间有显著性差异。二氧化碳利用效率  $CUE$ , 以 NC 上的银杏

最高, TIC 最低, TIC 和 PIC 上的银杏分别比 NC 低 46% 和 25%, 在 8 月和 10 月份 3 种类型之间有显著性差异。

### 3 讨论

#### 3.1 城市地表硬化对环境的主要影响

城市以水泥、沥青及砖面等硬质材料构筑的下垫面, 由于硬化地表的粗糙度增大, 反射率减小, 地面长波辐射损失减少<sup>[21]</sup>, 致使在同样天气条件下吸收和储存更多的太阳辐射反射, 导致土壤温度  $T_s$  和空气温度  $T_a$  升高。在本试验中, 大理石地表比砖面地表空气温度高 1.2 °C, 比草坪高 2.1 °C, 这可能与大理石和砖面的反射率和热容量等物理属性有关, 草坪本身的蒸腾作用也会起到降温的作用, 这一结论与范玉芬<sup>[22]</sup> 研究结果一致。硬化地表上  $T_a$  较高, 空气水分蒸发快, 空气相对湿度  $RH$  降低。 $T_s$  和  $T_a$  的增加与  $RH$  下降共同导致叶面饱和水汽压亏缺  $VPDL$  增加, 所以硬化地表上银杏的  $VPDL$  高于草坪, 这一结果与 Kjelgren<sup>[23]</sup> 等人的研究结果一致。

表2 城市不同地表覆盖下银杏资源利用效率差异性分析(平均值±标准差)

**Table 2 The significance test of source utilization efficiency of *Ginkgo biloba* in different types of urban impervious surface (mean±SD)**

月份 Month	硬化类型 Types of urban impervious surface	水分利用效率 $WUE/(mmol/mol)$	光能利用效率 $LUE/(mmol/mol)$	$CO_2$ 利用效率 $CUE/(mmol/mol)$
6	TIC	1.26±0.30 a	2.13±0.71 a	11.06±3.77 a
	PIC	1.34±0.39 a	3.25±1.78 ab	17.77±9.78 a
	NC	1.93±0.16 b	4.46±1.04 b	25.85±5.84 b
7	TIC	1.85±0.90 a	3.26±1.42 a	19.61±9.33 a
	PIC	2.31±0.35 ab	7.27±1.76 b	25.41±7.56 a
	NC	2.65±0.20 b	6.07±0.72 b	34.44±2.56 b
8	TIC	3.50±0.22 a	6.05±1.19 a	16.31±3.74 a
	PIC	3.46±0.16 a	6.98±0.63 b	25.29±2.19 b
	NC	4.40±0.33 b	8.75±0.64 c	35.58±3.64 c
9	TIC	2.52±0.77 a	3.77±1.14 a	13.24±4.82 a
	PIC	2.66±0.52 a	4.50±0.95 a	14.34±3.59 a
	NC	2.88±0.54 a	8.6±2.08 b	15.46±3.12 a
10	TIC	—	—	—
	PIC	1.20±0.34 a	0.37±0.13 b	1.06±0.39b
	NC	1.96±0.36 a	0.51±0.12 a	1.50±0.37a

TIC:完全硬化地表 Totally impervious cover, PIC:部分硬化地表 Partially impervious cover, NC:自然地表 Natural cover; 同一列的不同处理间, 只要出现一个相同的标注字母就表示差异不显著; 标注字母完全不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

### 3.2 城市地表硬化对银杏光合特性的影响

正常情况下,叶片气孔张开,CO<sub>2</sub>进入细胞参与光合作用;当植物受到热胁迫或干旱胁迫时,叶片为减少水分散失,部分气孔关闭,叶片的气孔导度降低,当气孔导度降低到一定水平的时候,就会导致叶片CO<sub>2</sub>供应不足,植物处于碳“饥饿”状态,光合作用随之下降<sup>[24]</sup>,同时,气孔导度下降也会导致叶片的蒸腾速率也会下降。在6—10月间,与草皮覆盖相比,完全硬化和部分硬化上银杏的*Pn*分别降低了39.3%和22.7%,*Tr*和*Gs*也有不同程度的下降。另一方面,银杏的叶片各种酶的最适范围为25—30℃<sup>[25]</sup>,白天硬化地表上空气温度过高,酶的活性降低也是影响银杏生理生态过程的一个重要因子。

### 3.3 城市地表硬化对银杏叶绿素荧光参数的影响

在本试验中,硬化地表上除6月份外,在其余的时间均受到胁迫,并且随着地表硬化程度的增大,其胁迫程度越严重,而在对照的草坪上银杏在整个生长季基本不受胁迫。这可能与完全硬化的高温和干旱以及水分供应不足有关。草坪上银杏的 $\Phi_{PSII}$ 始终高于硬化类型,说明受地表硬化的影响银杏可以通过降低PS II反应中心开放的比例来抑制叶片的电子传递活性和传递速率,该结论与王海珍<sup>[26]</sup>研究的结论一致。

叶绿素分子所吸收的光能以3种形式释放:光化学反应、热量和荧光,3部分此消彼长,互为竞争,硬化地表上银杏的 $\Phi_{FD}$ 显著高于草坪, $\Phi_{PSII}$ 显著低于草坪,说明地表硬化造成的高温干旱的环境,银杏受到胁迫,为避免组织器官受损,银杏将一部分光能以热能和荧光形式释放,因此硬化地表上银杏用于热耗散的能量增多,用于CO<sub>2</sub>同化的光能减少,这也是造成地表硬化上银杏光合速率下降的一个重要原因。

### 3.4 城市地表硬化对植物资源利用效率的影响

随着地表硬化程度的加剧,银杏的资源利用效率有明显的下降。有些实验表明,在一定分水胁迫范围内,叶片的*WUE*会升高<sup>[27-28]</sup>,但本实验没有得到类似的结果,有些研究也表明干旱没有提高水曲柳<sup>[29]</sup>和沙柳<sup>[30]</sup>的水分利用效率,梭梭、柽柳和沙拐枣对于干旱有着不同的响应和适应能力<sup>[13]</sup>。本研究中银杏的光能利用效率有显著降低,这与地表硬化上银杏光能用于光化学反应的能量减少这一结论相

一致。硬化地表上银杏的二氧化碳利用效率显著降低,这可能与硬化地表上银杏消耗多余的能量进行光呼吸有关。

## 4 结论

通过以上实验结果的分析 and 讨论,本研究基本结论如下:

(1)城市地表硬化对环境的主要影响是空气温度和土壤温度升高、空气相对湿度和土壤含水率下降。

(2)城市完全硬化地表上银杏的光合速率、蒸腾速率、气孔导度、叶面饱和和水汽压亏缺以及叶片含水率与自然地表上的银杏有显著性差异,随着硬化程度的加剧,胁迫效应也越严重。

(3)叶绿素荧光方面,受城市地表硬化的影响银杏的光化学效率降低,电子传递活性减弱;用于光化学反应的能量减少,而用于热耗散的能量增加。

(4)城市地表硬化降低了银杏的资源利用效率,特别是光能利用效率和CO<sub>2</sub>的利用效率。

## References:

- [1] Ma S J, Wang R S. Social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1984, 4(1): 1-9.
- [2] Wang R S, Chi J, Ouyang Z Y. Eco-integration approaches formiddle and small sized cities' and towns' sustainalbe development. Beijing: China Meteorological Press, 2001.
- [3] Scalenghe R, Marsan FA. The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and urban planning*, 2009, 90(1): 1-10.
- [4] Xian G, Crane M, Su J. An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85(4): 965-976.
- [5] Elvidge C D, Tuttle B T, Sutton P C, Baugh K E, Howard A T, Milesi C, Bhaduri B, Nemani R. Global distribution and density of constructed impervious surfaces. *Sensors*, 2007, 7(9): 1962-1979.
- [6] Burghardt W. Soil sealing and soil properties related to sealing. Geological Society, London, Special Publications, 2006, 266(1): 117-124.
- [7] Li F, Wang R S. Method and practice for ecological planning of urban green space-Yangzhou city as the case study. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2003, 16: 46-48.
- [8] Zhao D, Li F, Wang R S. Effects of ground surface hardening on plant eco-physiological processes in urban landscapes. *Acta Ecologica Sinica*, 2010.30(14): 3923-3932.
- [9] China Association of Mayors. Report of Chinese cities (2011). Beijing: China city press, 2012.
- [10] Kong Z H, Li S R, Li Y F, Ma J P, Zhang H Q. Effects of Different Hardened Grounds on the Material Recycling of *Platanus acerifolia* willd. *Acta Agriculture Universitatis Henanensis*, 1998, 32(4): 314-319.

- [11] Hendrickson L, Förster B, Furbank R T, Chow W S. Processes contributing to photoprotection of grapevine leaves illuminated at low temperature. *Physiologia plantarum*, 2004, 121(2):272-281.
- [12] He W M, Ma F Y. Effects of water gradient on fluorescence characteristics and gas exchange in *Sabina vulgaris* seedlings. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5):630-634.
- [13] Yan H L, Zhang X M, Xu H, Liu Y. Photosynthetic characteristics responses of three plants to drought stress in Tarin Desert Highway shelterbelt. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(10):2519-2528.
- [14] Lambers H, Chapin FS, Pons TL. *Plant Physiological ecology*. Second editon Springer; 2008; 202.
- [15] Sarijeva G, Knapp M, Lichtenthaler H K. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of *Ginkgo* and *Fagus*. *Journal of Plant Physiology*, 2007, 164(7):950-955.
- [16] Zhang S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4):444-448.
- [17] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of experimental botany*, 2000, 51(345):659-668.
- [18] Li X, Feng W, Zeng X C. Advance in chlorophyll fluorescence analysis and its uses. *Acta Bot. Boreal. Occident. Sin.*, 2006, 26(10):2186-2196.
- [19] Feng J C, Hu X L, Mao X J. Application of chlorophyll fluorescence dynamics to plant physiology in adverse circumstance. *Economic Forest Researches*, 2012, 20(4):14-48.
- [20] Du Y D, Li J L, Wang H, Tang X R, Hu F. Effects of high temperatures stress on the flag leaf photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of rice. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(10):2541-2548.
- [21] Raumann C G, Cablk M E. Change in the forested and developed landscape of the Lake Tahoe basin, California and Nevada, USA, 1940—2002. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(8):3424-3439.
- [22] Fan Y F, Sheng W B, Du L P. Comparison and analysis of temperature on various underlying surface in summer. *Atmospheric science research and application*, 2008, 31(2):43-51.
- [23] Kjellgren R, Montague T. Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. *Atmospheric Environment*, 1998, 32(1):35-41.
- [24] Li C M, Pu X M, Ma S W, et al. Preliminary study on diurnal variations of the photosynthetic efficiency of plastic mulching cultivation on fodder sugar beet (*Beta vulgaris*) in alpine region. *Journal of Northwest University for Nationalities (Natural Science)*, 2005, 26(1):46-48.
- [25] Salvucci M E, Portis A R, Ogren W L. Light and CO<sub>2</sub> response of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activation in *Arabidopsis* leaves. *Plant physiology*, 1986, 80(3):655-659.
- [26] Wang H J, Han L, Xu Y L, Wang L, Jia W S. Response of chlorophyll fluorescence characteristics of *Populus euphratica* heteromorphic leaves to high temperature. *Acta ecologica sinica*, 2011, 31(9):2444-2453.
- [27] Yang J W, Liang Z S, Han R L, Sun Q, Cui L J. Water use efficiency and water consumption characteristics of *poplar* under soil drought conditions. *Acta phytocologica sinica*, 2004, 28(5):630-636.
- [28] Liao J X, Wang G. Effect of drought, CO<sub>2</sub> concentration and temperature increasing on photosynthesis rate, evapotranspiration, and water use efficiency of spring wheat. *Chinese journal of applied ecology*, 2002, 13(5):547-550.
- [29] Cui X Y, Song J F, Zhang Y H. Some photosynthetic characteristics of *fraxinus mandshurica* seedlings grown under different soil water potentials. *Acta phytocologica sinica*, 2004, 28(6):794-802.
- [30] Xiao C W, Zhou G S. Effect of different water supply on gas exchange processes and photochemical efficiency in *salix psammophila* seedlings in the maowusu sandland. *Acta phytocologica sinica*, 2001, 25(4):444-450.

#### 参考文献:

- [1] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, 4(1):1-9.
- [2] 王如松, 生态, 迟计, 欧阳志云. 中小城镇可持续发展的生态整合方法. 北京: 气象出版社, 2001.
- [7] 李锋, 王如松. 城市绿色空间生态规划的方法与实践——以扬州为例. *城市环境与城市生态*, 2006, 19(6):15-17.
- [8] 赵丹, 李锋, 王如松. 城市地表硬化对植物生理生态的影响研究进展. *生态学报*, 2010, 30(14):3923-3932.
- [9] 中国市长协会. 中国城市发展报告(2011). 北京: 中国城市出版社, 2012.
- [10] 孔正红, 李树人, 李有福, 马建平, 张惠琴. 不同硬化地面类型对城市悬铃木物质循环的影响. *河南农业大学学报*, 1998, 32(4):314-319.
- [12] 何维明, 马风云. 水分梯度对沙地柏幼苗荧光特征和气体交换的影响. *植物生态学报*, 2000, 24(5):630-634.
- [13] 闰海龙, 张希明, 许浩, 刘英. 塔里木沙漠公路防护林 3 种植物光合特性对干旱胁迫的响应. *生态学报*, 2010, 30(10):2519-2528.
- [16] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. *植物学通报*, 1999, 16(4):444-448.
- [18] 李晓, 冯伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析及应用进展. *西北植物学报*, 2006, (10):2186-2196.
- [19] 冯建灿, 胡秀丽, 毛训甲. 叶绿素荧光动力学在研究植物逆境生理中的应用. *经济林研究*, 2002, 20(4):14-18.
- [20] 杜尧东, 李键陵, 王华, 唐湘如, 胡飞. 高温胁迫对水稻剑叶光合和叶绿素荧光特征的影响. *生态学杂志*, 2012, 31(10):2541-2548.
- [22] 范玉芬, 盛文斌, 杜俐萍, 冯智. 夏季不同下垫面温度的对比观测及分析. *大气科学研究与应用*, 2008, 31(2):43-51.
- [24] 李春鸣, 蒲小朋, 马姝雯, 谢志云. 高寒地区地膜覆盖栽培饲用甜菜光合日变化初探. *西北民族大学学报: 自然科学版*, 2005, 26(1):46-48.
- [26] 王海珍, 韩路, 徐雅丽, 王琳, 贾文锁. 胡杨异形叶叶绿素荧光特性对高温的响应. *生态学报*, 2011, 31(9):2444-2453.
- [27] 杨建伟, 梁宗锁, 韩蕊莲, 孙群, 崔浪军. 不同干旱土壤条件下杨树的耗水规律及水分利用效率研究. *植物生态学报*, 2004, 28(5):630-636.
- [28] 廖建雄, 王根轩. 干旱, CO<sub>2</sub> 和温度升高对春小麦光合, 蒸发蒸腾及水分利用效率的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(5):547-550.
- [29] 崔晓阳, 宋金凤, 张艳华. 不同土壤水势条件下水曲柳幼苗的光合作用特征. *植物生态学报*, 2004, 28(6):794-802.
- [30] 肖春旺, 周广胜. 不同浇水量对毛乌素沙地沙柳幼苗气体交换过程及其光化学效率的影响. *植物生态学报*, 2001, 25(4):444-450.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.8 Apr., 2014 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- Growth rates of marine planktonic ciliates; a review ..... ZHANG Wuchang, LI Haibo, FENG Meiping, et al (1897)
- Research status and prospects on functions of urban forests in regulating the air particulate matter .....  
..... WANG Xiaolei, WANG Cheng (1910)
- A review of snow-living Collembola ..... ZHANG Bing, NI Zhen, CHANG Liang, et al (1922)

**Autecology & Fundamentals**

- Photosynthetic responses to changes in CO<sub>2</sub> concentration and soil moisture in leaves of *Securinega suffruticosa* from shell ridge  
islands in the Yellow River Delta, China ..... ZHANG Shuyong, XIA Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (1937)
- Quantities and spectral characteristics of DOM released from leaf and litterfall in *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia  
lanceolata* plantation ..... KANG Genli, YANG Yusheng, SI Youtao, et al (1946)
- Seasonal dynamics of leaf area index using different methods in the Korean pine plantation .....  
..... WANG Baoqi, LIU Zhili, QI Yujiao, et al (1956)
- Influence of environmental changes on stoichiometric traits of nitrogen and phosphorus for *Larix gmelinii* trees .....  
..... PING Chuan, WANG Chuankuan, et al (1965)
- Soil water in deep layers under different land use patterns on the Loess Tableland ... CHENG Liping, LIU Wenzhao, LI Zhi (1975)
- Water parameters of the branch of *Larrea tridentata* under different soil drought stress .....  
..... ZHANG Xiangning, SUN Xiangyang, WANG Baoping, et al (1984)
- Effects of shading treatments on photosynthetic characteristics of *Juniperus sabina* Ant. seedlings .....  
..... ZHAO Shun, HUANG Qiuxian, LI Yuling, et al (1994)
- Root distribution in typical sites of Lijiang ecotone and their relationship to soil properties .....  
..... LI Qingshan, WANG Dongmei, XIN Zhongbao, et al (2003)
- The survival and above/below ground growth of *Haloxylon ammodendron* seedling .....  
..... TIAN Yuan, TASHPOLAT · Tiyip, LI Yan, et al (2012)
- Effects of simulated acid rain on the physiological and ecological characteristics of *Rhododendron hybridum* .....  
..... TAO Qiaojing, FU Tao, XIANG Xina, et al (2020)
- Karst cave bacterial calcium carbonate precipitation; the Shijiangjun Cave in Guizhou, China .....  
..... JIANG Jianjian, LIU Ziqi, HE Qiufang, et al (2028)
- Migration of the 7<sup>th</sup> generation of brown planthopper in northeastern Guangxi Zhuang Autonomous Region, and analysis of source  
areas ..... QI Huihui, ZHANG Yunhui, JIANG Chunxian, et al (2039)

**Population, Community and Ecosystem**

- The dynamics and determinants of population size and spatial distribution of Common Cranes wintering in Poyang Lake .....  
..... SHAN Jihong, MA Jianzhang, LI Yankuo, et al (2050)
- Effects of snow pack on wintertime soil nitrogen transformation in two subalpine forests of western Sichuan .....  
..... YIN Rui, XU Zhengfeng, WU Fuzhong, et al (2061)
- Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Xiaoqinling .....  
..... CHEN Yun, WANG Hailiang, HAN Junwang, et al (2068)
- Phytoplankton community structures revealed by pigment signatures in Norwegian and Greenland Seas in summer 2012 .....  
..... WANG Xiaoying, ZHANG Fang, LI Juanying, et al (2076)
- Analysis of differences in insect communities at different altitudes in *Zanthoxylum bungeanum* gardens, Yunnan, China .....  
..... GAO Xin, ZHANG Limin, ZHANG Xiaoming, et al (2085)
- The bacterial community changes after papermaking wastewater treatment with artificial wetland .....  
..... GUO Jianguo, ZHAO Longhao, XU Dan, et al (2095)

Ecological water requirement estimation of the rump lake in an extreme arid region of East Juyanhai .....  
..... ZHANG Hua, ZHANG Lan, ZHAO Chuanyan (2102)

#### **Landscape, Regional and Global Ecology**

Spatial distribution patterns of species richness and hotspots of protected plants in Qinling Mountain .....  
..... ZHANG Yinbo, GUO Liulin, WANG Wei, et al (2109)

Impacts of solar radiation on net ecosystem carbon exchange in a mixed plantation in the Xiaolangdi Area .....  
..... LIU Jia, TONG Xiaojuan, ZHANG Jinsong, et al (2118)

Carbon density and distribution of *Pinus tabulaeformis* plantation ecosystem in Hilly Loess Plateau .....  
..... YANG Yujiao, CHEN Yunming, CAO Yang (2128)

Dynamics of carbon storage at different aged *Koelreuteria paniclata* tree in Xiangtan Mn mining wasteland .....  
..... TIAN Dalun, Li Xionghua, LUO Zhaohui, et al (2137)

#### **Resource and Industrial Ecology**

Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan .....  
..... WU Yanming, LV Gaoming, ZHOU Hang, on storage at different age (2146)

#### **Urban, Rural and Social Ecology**

Life cycle assessment and environmental & economic benefits research of important building external insulation materials in Beijing ...  
..... ZHU Lianbin, KONG Xiangrong, WU Xian (2155)

Effects of urban imperious surface on the habitat and ecophysiology characteristics of *Ginkgo biloba* .....  
..... SONG Yingshi, LI Feng, WANG Xiaoke, et al (2164)

# 《生态学报》2014 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,探索生态学奥秘,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,280 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 杨永兴 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 34 卷 第 8 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 34 No. 8 (April, 2014)

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

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

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

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

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

订 购 全国各地邮局

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

广告经营 京海工商广字第 8013 号  
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

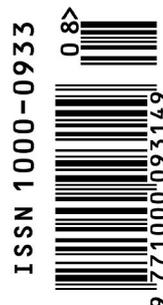
Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

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

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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