

## 城市环境对不同形态大小油松苗木 生长和光合效能的影响

兰 欣<sup>1</sup>, 刘 洋<sup>1</sup>, 张 宇<sup>2</sup>, 魏红旭<sup>3</sup>

(1. 北京市西山试验林场, 北京 100093; 2. 北京市十三陵林场, 北京 102200;  
3. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102)

**摘 要:**城市化的快速发展需要大量苗木满足绿化需求,但是不同育苗处理后的绿化苗木在城市环境中的生长表现仍比较模糊。现以油松(*Pinus tabulaeformis*)实生苗为试材,采用不同光周期培育的方法,研究了光周期处理对苗木移栽城市环境后的生长和光合效能的影响,以期为适合城市环境的苗木培育方法提供参考。结果表明:与郊区环境相比,城市环境促进了苗木地上部分的生长却抑制了根系的伸长;移栽至城市环境中苗木的净光合速率为负值并显著低于郊区,但是气孔导度和蒸腾速率却较高;育苗期间的补光处理并未与苗木移栽位置之间产生任何交互作用,补光处理也未影响苗木的净光合速率和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,却提高了气孔导度和蒸腾速率。该研究表明,城市环境导致新栽苗木处于高消耗状态,育苗期间的补光处理并不能改变苗木在城市环境中的生长状况。

**关键词:**城乡差异;城市森林;光合产物;苗木质量;延长光周期

**中图分类号:**S 728 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)13-0102-06

城市化是社会经济发展的必然要求,正在全球范围内快速推进。预计至 2030 年全球城市土地利用将增加 250%,占地面积将达到 110 万 km<sup>2</sup>[1]。我国是未来全球城市化扩张的热

点国家地区之一[2]。1978 年我国城市化率仅为 17.92%,而到 2011 年已达 51.27%,并且预计到 2020 年将增加至 65%左右。快速的城市化建设需要大量的移栽树木来满足绿化需求,但是目前有关移栽苗木的培育大多以适应自然移栽环境为目标[3-4],难以满足城市绿化的科学要求,许多地区甚至依靠“大树进城”等饮鸩止渴的方法来满足快速城市绿化发展。

快速的城市化导致温室气体(CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O)和空气污染物(O<sub>3</sub> 气体、NO<sub>x</sub> 气体、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)排放量的增加以及热岛效应的增强,这些环境因子不仅驱动着全球气候的变化[5],也改变

**第一作者简介:**兰欣(1983-),男,本科,工程师,研究方向为城市园林绿化。E-mail:86292725@qq.com.

**责任作者:**魏红旭(1983-),男,博士,助理研究员,研究方向为城市森林与苗木生理生态学。E-mail:weihongxu@iga.ac.cn.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31600496);“十三五”国家重点研发计划资助项目(2016YFC0500300)。

**收稿日期:**2017-02-07

lettuce. The results showed that the largest ground fresh weight was A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>, the lowest nitrate content of lettuce was A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>, the highest content of soluble sugar was A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>, soluble protein and vitamin C content in A<sub>2</sub>B<sub>2</sub> treatment were the highest. Comprehensive consideration, A<sub>2</sub>B<sub>3</sub> treatment was the best combination of hydroponic lettuce.

**Keywords:** hydroponic lettuce; light intensity; nutrient solution concentration; yield; quality

了城市绿化苗木的生长状况。研究表明,城市环境能够显著促进城市绿化树种的干物质积累<sup>[6-7]</sup>,但是在形态生长方面存在争议<sup>[8-9]</sup>,在树木光合生理方面多未出现显著响应<sup>[7,10]</sup>。目前研究多关注阔叶树种,有关针叶树种的报道相对较少。由于生长速率较慢,目前生产上大多从远郊地区挖取针叶树木作为绿化树种栽植在城区当中,这样不仅对自然环境形成破坏,也不利于大树的成活。理论上已经证实育苗期间延长光周期可以快速提高慢生针叶苗木的生长速率<sup>[11-12]</sup>,但是后续在城市环境中的移栽表现目前尚不够清楚。

现以油松(*Pinus tabulaeformis*)苗木为试材开展为期 2 年的研究,首年通过不同的光周期处理创造形态体积不同的绿化苗木,翌年将其移栽至北京市的城郊油松林内并检测其生长、光合和气孔导度方面的指标响应,旨在丰富城市绿化针叶苗木的培育技术,探讨城市环境对针叶苗木的生长影响,为快速城市化过程中的绿化技术提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

首年育苗的研究地点位于北京林业大学温室内,翌年移栽试验位于北京市城区二环附近的公园(地坛、日坛和天坛公园)(北纬 39°52′43.79″~39°57′6.06″,东经 116°24′34.71″~116°26′14.13″)和西山试验林场的油松林内(北纬 39°59′20.50″,东经 116°13′4.07″)。北京市属于温带半湿润季风型大陆性季候,年平均气温约 11.5℃,年平均降雨量约 600 mm。北京市的区域发展属于典型的单中心扩展方式,沿环线快速路向四面八方扩张。确定林分后,通过调查检测确认北京市城区油松林内土壤容重( $1.52 \pm 0.01$ )g·cm<sup>-3</sup>、pH 为 7.22±0.04、有机碳含量( $15.62 \pm 1.13$ )g·kg<sup>-1</sup>;郊区的油松林内土壤容重( $1.19 \pm 0.23$ )g·cm<sup>-3</sup>、pH 为 6.41±0.29、有机碳含量( $21.77 \pm 0.48$ )g·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验材料

首年采用容器育苗的方法,容器采用江苏宿迁东藤园艺公司生产的 32 孔苗木专用穴盘,单孔规格为 7 cm×13 cm(上口直径×高)。育苗基质为 3:1(体积比)的泥炭(长春壮苗泥炭科技有限公司)和珍珠岩混合物。植物生长补光灯采用长

春智伦圃道农业科技有限公司提供的 200 W 连续光谱灯具。控释肥采用美国进口奥绿 5 号长效缓释肥(14-13-13),养分释放时间 150 d。供试油松种子由北京市西山试验林场提供,千粒质量 42 g。

### 1.3 试验方法

2014 年 4 月中旬将油松种子消毒后浸泡在温水中 24 h,捞出后播种于穴盘基质当中。播种前向每穴中撒播控释肥,使得每孔穴的施 N 量为 90 mg,施肥后每孔穴撒播 5 粒种子,发芽后间苗并保留每孔穴中 1 株。共播种 16 穴盘的苗木,将其平均分成 2 组,置于温室大棚内的相邻 2 个移动苗床之上,其中一半穴盘接收自然光周期,另外一半穴盘除自然光源外在每天的 18:30—00:30 接收 6 h 的人工补光,使得每天的育苗光周期延长至 18 h。2 个苗床中间以遮光布相隔。5—10 月苗期每天浇水一次,每 7 d 人工除草一次。2014 年 10 月 20 日将所有苗木运至北京市西山试验林场进行室外练苗,30 d 后将苗木假植至沙坑中,每穴盘 32 株苗木一捆,共假植 16 捆。2015 年 4 月 1 日将假植苗木取出,将 2014 年的 2 种光周期处理的苗木穴盘分成 2 组,每组 4 盘,分别栽植在北京西山试验林场和北京市中心的油松林内,移栽密度为 1 m×1 m。2015 年在城、郊选择油松林分时主要考虑如下 3 个方面的因素:油松为优势树种,林地内油松的现存量超过 90%;林分结构相近,林分密度差异不超过 20%;林分年龄相近,油松胸径差异不超过 10%。

采用 2×2 的因子设计开展试验,其中一个因子是 2014 年的 2 种光周期处理,另外一个因子是 2015 年的城市、郊区的移栽位置,每种组合处理重复 4 次,每重复为一个穴盘的 32 株苗木。

### 1.4 项目测定

2015 年 4 月移栽前从每组合处理的重复中随机抽取 4 株苗木测量苗高、地径和根长作为初始形态结果。2015 年 7 月对所有栽植苗木抽样检测光合及气孔导度指标,每组合处理的重复中随机抽取苗木 4 株,在晴朗天气的 09:00—12:00 随机选取苗木顶端的 3~4 根针叶进行光合和气孔导度指标测量,仪器为便携式 LI-6400 光合仪(美国 Li-Cor 公司生产),检测指标包括净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率。于

2015年10月末再次从每处理重复中随机抽取4株苗木测量苗高、地径和根长作为最终指标结果。

### 1.5 数据分析

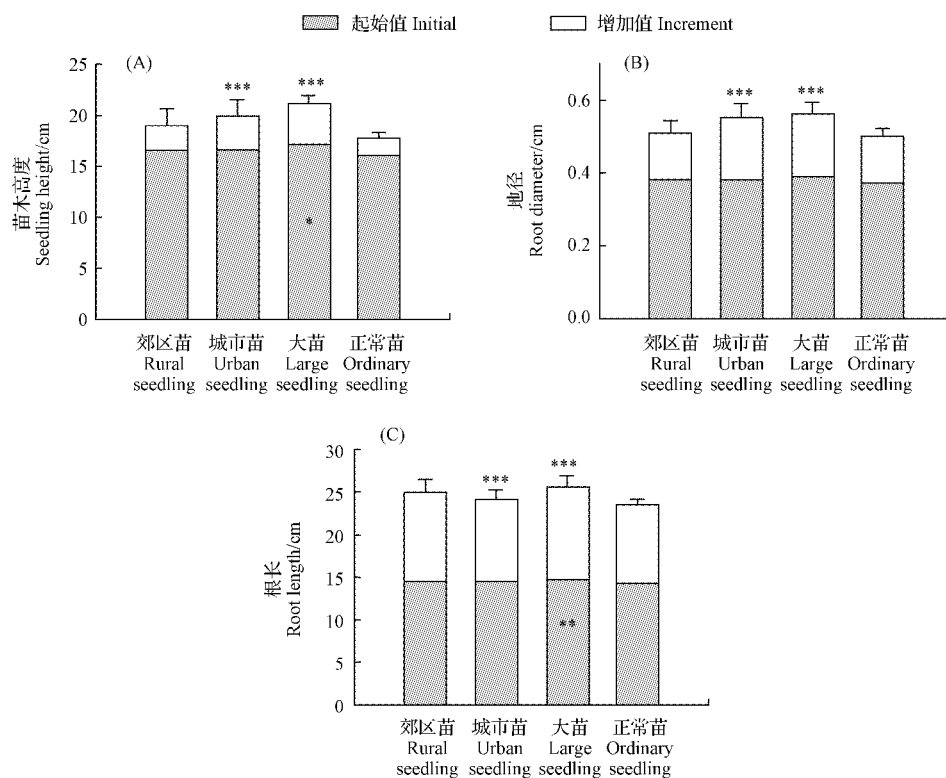
数据记录采用 Excel 2007 软件。方差分析采用 SAS 软件的 GLM 程序,多重比较采用 Turkey 检验( $\alpha=0.05$ )。制图采用美国 Systat 软件公司生产的 SigmaPlot v12.0 版本软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 苗木形态

在 2015 年 4 月初苗木形态中苗高和根长对

首年不同的光周期处理出现显著响应(图 1)。与自然光周期相比,补光处理下初始苗高增加了 6.4%( $P=0.0254$ ),根长增加了 2.5%( $P=0.0042$ )。在 2015 年 10 月调查的苗木形态对城、郊移栽位置和初始苗木形态都存在显著响应,但是 2 个因素间并不对结果产生显著作用(表 1)。与移栽至郊区的苗木相比,移栽至城市中的苗木的苗高和地径分别增加了 4.8%和 8.7%,但是根长下降了 3.4%。与自然光周期下培养的苗木相比,延长光周期下所培养的苗木的苗高、地径和根长分别增加了 19.6%、12.8%和 8.7%。



注:星号表示处理间比较结果差异显著。\*,  $P<0.05$ ; \*\*,  $P<0.01$ ; \*\*\*,  $P<0.001$ 。

Note: Asterisks indicate significant results between treatments. \*,  $P<0.05$ ; \*\*,  $P<0.01$ ; \*\*\*,  $P<0.001$ .

图 1 油松苗木移栽后的形态指标对城郊环境或初始体积的响应

Fig. 1 Morphological response of *Pinus tabulaeformis* seedlings to transplanting locations of urban and rural environments and to initial sizes

### 2.2 光合和气孔导度指标

城、郊移栽位置对所有光合和气孔导度指标都产生了显著影响,初始苗木形态只对气孔导度和蒸腾速率产生显著影响,但是移栽位置和初始形态 2 个因素间并未对任何指标形成显著的交互

作用(表 2)。移栽至城市中的苗木净光合速率为负值,而移栽至郊区的苗木净光合速率为正,二者间相差  $3.62 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。与移栽至郊区的苗木相比,移栽至城区的苗木的气孔导度和蒸腾速率分别增加了 108.70%和 35.48%,而胞

表 1 北京市城-乡环境(U)对不同形态尺寸(S)的油松苗木的形态指标影响的方差分析结果

Table 1 ANOVA analysis of urban-rural environments (U) on morphological parameters in *Pinus tabulaeformis* seedlings with different sizes (S)

变异来源 Source of variation	P 值 P value		
	苗高 Seedling height	地径 Root diameter	主根长 Taproot length
U	0.000 2	<0.000 1	0.049 1
S	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
U×S	0.864 3	0.678 1	0.115 3

表 2 北京市城-乡环境(U)对不同形态尺寸(S)的油松苗木的光合及气孔导度指标影响的方差分析结果

Table 2 ANOVA analysis of urban-rural environments (U) on parameters of photosynthesis and gas exchange in *Pinus tabulaeformis* seedlings with different sizes (S)

变异来源 Source of variation	P 值 P value			
	净光合速率 Net photosynthetic rate	气孔导度 Stomatal conductance	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration	蒸腾速率 Transpiration rate
U	0.002 2	0.000 6	0.000 5	0.004 7
S	0.080 9	0.039 2	0.358 5	0.005 1
U×S	0.709 1	0.335 5	0.635 7	0.455 1

表 3 北京市城-乡环境(U)对油松苗木的光合及气孔导度指标的影响

Table 3 Effect of urban-rural environments on parameters of photosynthesis and gas exchange in *Pinus tabulaeformis* seedlings

变异来源 Source of variation		净光合速率 Net photosynthetic rate	气孔导度 Stomatal conductance	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration	蒸腾速率 Transpiration rate
		$/(CO_2 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	$/(H_2O mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	$/(CO_2 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	$/(H_2O mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$
城-乡位置 Urban-rural locations	城市苗 Urban seedling	-0.70±2.35b	0.48±0.23a	380.94±21.14b	5.46±1.52a
	郊区苗 Rural seedling	2.92±3.02a	0.23±0.06b	418.29±25.08a	4.03±1.01b
苗木尺寸 Seedling size	大苗 Large seedling	2.08±3.31a	0.43±0.20a	395.15±24.73a	5.45±1.38a
	正常苗 Ordinary seedling	2.73±2.14a	0.29±0.18b	404.08±31.55a	4.04±1.20b

注:同列不同字母表示差异在 0.05 的水平上显著。  
Note: Different letters in a column indicate significant difference at 0.05 level.

间 CO<sub>2</sub> 浓度下降了 8.93%(表 3)。与自然光周期培养下的苗木相比,补光培育的苗木的气孔导度和蒸腾速率分别增加了 48.28%和 34.90%。

3 讨论

3.1 苗木形态

初始苗木形态的大小由首年光周期处理决定。该研究中自然光周期下培养的苗木形态与王琰等<sup>[13]</sup>以硬塑料容器所培育的油松苗木相接近,但是延长光周期培育下的苗高和根长都显著增加,该结果与亚热带的罗汉松(*Podocarpus macrophyllus* [Thunb.] D. Don)<sup>[11]</sup>和鸡爪槭(*Acer palmatum* Thunb.)<sup>[12]</sup>的研究结果类似。该研究中苗木初始地径没有对补光处理产生显著响应,其结果与 WEI 等<sup>[11]</sup>的结果一致,说明光周期处

理更倾向于促进苗木高生长而非直径生长。

经过 2015 年的移栽后生长,城区油松苗木的苗高和地径比郊区生长更快,该结果与前人关于纽约市的研究结果一致<sup>[6-7]</sup>,但是与哈尔滨市的研究结果不同<sup>[8]</sup>。由于北京市的纬度和纽约接近,但是哈尔滨的位置比二者更加偏北,因此有关城、郊环境中苗木生长的差异也许和城市所在的位置有关,具体原因还有待进一步研究。与地上部形态不同,城市中油松的根长生长反而被抑制。这是由于地上部的生长利用了大量的碳水化合物,使得根系生长受到抑制;也与城市中土壤容重较大,土壤紧实不利于根系生长有关。

3.2 光合和气孔导度

该研究结果显示城市环境中移栽的油松苗木的净光合速率为负值,并且显著低于移栽至郊区的油松苗木。这很可能与城市中更加旺盛的杂草

生长有关,在移栽初期杂草的生长速率超过了油松苗木,导致光线不足产生净光合速率的负值。与该试验结果不同,SEARLE 等<sup>[7]</sup>的研究并未发现城、郊环境对苗木光合的影响,认为在短期的苗木试验中无法获得显著的光合速率响应是正常现象,因为光合响应是一个长期的过程。SEARLE 等<sup>[7]</sup>的研究中所使用的土壤全部来自郊区,并且杂草受到了人工控制,这并不能完全真实的反映城市的环境特点。该研究中移栽至北京市郊区的油松苗木的净光合速率与岛松(*P. canariensis*)苗木在 8 月的测量结果接近<sup>[14]</sup>,但是却低于东部白松(*P. strobus* L.)<sup>[15]</sup>、苏格兰松(*P. sylvestris*)<sup>[16]</sup>和湿地松(*P. elliottii*)<sup>[17]</sup>苗木的试验结果,也比沈阳市内的油松大树的净光合速率低 60% 左右<sup>[18]</sup>。

虽然 RAHMAN 等<sup>[10]</sup>的研究结果中并未显示城、郊之间存在树木叶片气孔导度方面的差异,但是该研究结果显示移栽至城区的油松苗木气孔导度高于郊区,蒸腾速率也更高,并且城区苗木针叶中大量的气体交换导致胞间所剩  $\text{CO}_2$  浓度偏低。该研究中的气孔导度比岛松<sup>[14]</sup>、东部白松<sup>[15]</sup>和湿地松<sup>[17]</sup>苗木均高出 1 倍以上,说明该研究中城市环境中的油松苗木相对处在一个光合效能较低而水分蒸散较大的环境中。

与自然光周期下所培育的苗木相比,延长光周期下所产生的大苗并没有在移栽之后产生更高的净光合速率和胞间  $\text{CO}_2$  浓度,这说明移栽之后苗木的生长主要受林下环境影响而不再受育苗期间光周期的控制。然而,大苗的气孔导度和蒸腾速率较高是因为叶片更长、所具有的气孔更多。

#### 4 结论

该研究结果表明,与郊区环境相比,城区的环境更有利于油松苗木的地上部形态生长而会抑制地下部的根系长度生长。在城市环境中移栽的油松苗木的净光合速率和胞间  $\text{CO}_2$  浓度均出现下降趋势,特别是净光合速率出现了负值,而气孔导度和蒸腾速率却同时升高,说明城市环境抑制了油松苗木的光合作用却刺激了呼吸和蒸腾,使得苗木在一个高光合、高消耗的环境下生长。对于生长速率较慢的油松苗木,尽管育苗期间的补光

处理能够继续促进苗木移栽后的生长,但是这种促进作用不会对城市环境产生交互作用,并且对移栽苗木的净光合速率和胞间  $\text{CO}_2$  浓度产生无效果作用,而补光培育后大苗的气孔导度和蒸腾速率却有所上升。表明补光育苗处理并不能对城市绿化苗木的移栽表现产生特别的效果,因此需要将补光处理与施肥等技术相结合并在未来做进一步的研究。

#### 参考文献

- [1] ANGEL S, SHEPPARD S C, CIVCO D L. The dynamics of global urban expansion [M]. Washington, D. C.: The World Bank, 2005.
- [2] SETO K C, GÜNERALP B, HUTYRA L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools[J]. PNAS, 2012, 109: 16083-16088.
- [3] MARIOTTI B, MAITONI A, CHIARABAGLIO P M, et al. Can the use of large, alternative nursery containers aid in field establishment of *Juglans regia* and *Quercus robur* seedlings[J]. New Forests, 2015, 46: 773-794.
- [4] YAMASHITA N, OKUDA S, SUWA R, et al. Impact of leaf removal on initial survival and growth of container-grown and bare-root seedlings of Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) [J]. Forest Ecology and Management, 2016, 370: 76-82.
- [5] SHEN W J, WU J G, GRIMM N B, et al. Effects of urbanization-induced environmental changes on ecosystem functioning in the phoenix metropolitan region, USA[J]. Ecosystems, 2008, 11: 138-155.
- [6] GREGG J W, JONES C G, DAWSON T E. Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York city [J]. Nature, 2003, 424: 183-187.
- [7] SEARLE S Y, TURNBULL M H, BOELMAN N T, et al. Urban environment of New York city promotes growth in northern red oak seedlings[J]. Tree Physiology, 2012, 32: 389-400.
- [8] 王洪峰, 穆立蕾, 王洪成, 等. 紫椴在自然和城市环境中生长状况比较研究[J]. 西北林学院学报, 2012(27): 101-105.
- [9] 张波, 王文杰, 周伟, 等. 哈尔滨市城市森林树木生长状况及各生长指标的相关性分析[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(26): 127-128.
- [10] RAHMAN M A, ARMSON D, ENNOS A R. Effect of urbanization and climate change in the rooting zone on the growth and physiology of *Pyrus calleryana* [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2013, 13: 325-335.
- [11] WEI H X, REN J, ZHOU J H. Effect of exponential fertilization on growth and nutritional status in Buddhist pine (*Podocarpus macrophyllus* [Thunb.] D. Don) seedlings cultured in natural and prolonged photoperiods [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2013, 59: 933-941.

- [12] ZHU K Y, LIU H C, WEI H X. Prediction of nutrient leaching from culture of containerized Buddhist pine and Japanese maple seedlings exposed to extended photoperiod[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2016, 18: 425-434.
- [13] 王琰, 刘勇, 李国雷, 等. 容器类型及规格对油松容器苗底部渗灌耗水规律及生长的影响[J]. 林业科学, 2016, 52(6): 10-17.
- [14] LUIS V C, PUÉRTOLAS J, CLIMENT J, et al. Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment[J]. European Journal of Forest Research, 2009, 128: 221-229.
- [15] PARKER W C, PITT D G, MORNEAULT A E. Influence of woody and herbaceous vegetation control on leaf gas exchange, water status, and nutrient relations of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings planted in a central Ontario clearcut[J]. Forest Ecology and Management, 2010, 260: 2012-2022.
- [16] KIVIMÄENPÄÄ M, GHIMIRE R P, SUTINEN S, et al. Increases in volatile organic compound emissions of Scots pine in response to elevated ozone and warming are modified by herbivory and soil nitrogen availability[J]. European Journal of Forest Research, 2016, 135: 343-360.
- [17] YANG Y, LI C. Photosynthesis and growth adaptation of *Pterocarya stanoptera* and *Pinus elliottii* seedlings to submergence and drought[J]. Photosynthetica, 2016, 54: 120-129.
- [18] XU S, HE X Y, CHEN W, et al. Elevated CO<sub>2</sub> ameliorated the adverse effect of elevated O<sub>3</sub> in previous-year and current-year needles of *Pinus tabulaeformis* in urban area[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2014, 92: 733-737.

## Effect of Urban Environment on Growth and Photosynthesis in Transplanted *Pinus tabulaeformis* With Different Initial Sizes

LAN Xin<sup>1</sup>, LIU Yang<sup>1</sup>, ZHANG Yu<sup>2</sup>, WEI Hongxu<sup>3</sup>

(1. West Mountains Experimental Tree Farm, Beijing 100093; 2. The Ming Tombs Tree Farm, Beijing 102200; 3. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102)

**Abstract:** Fast development of urbanization results in a large request of tree transplant to meet the demand for urban greening. With the aim to supply theoretical evidence to urban greening, *Pinus tabulaeformis* seedlings were cultured as materials under contrasting photoperiods to quantify responses of growth and photosynthesis of transplanted seedlings to urban environment. The results showed that compared with the rural environment, seedlings transplanted in urban environment had greater shoot morphological growth but depressed root length. They had negative values of net photosynthesis rate but higher stomatal conductance and transpiration rate than those in rural area. Extended photoperiod during seedling culture did not resulted in any significantly interactive effect with the factor of urban-rural locations; also it failed to affect net photosynthesis rate and intercellular CO<sub>2</sub> concentration. In contrast, the longer cultural photoperiod resulted in higher stomatal conductance and transpiration rate. In conclusion, urban environment imposed transplanted seedlings at a high-consumption status, which could not be improved by solely treatment of extended photoperiod during seedling culture.

**Keywords:** urban-rural difference; urban forest; photosynthetic production; seedling quality; extended photoperiod