

城区土壤环境氮素和水分变化对火炬树光合生理生态的影响

郭二辉

(河南农业大学 林学院,河南 郑州 450002)

**摘 要:**采用盆栽模拟研究了城市居民区绿地、城区道路绿化带与郊区林地 3 种土壤类型下的氮素及水分变化对火炬树光合生理生态的影响。随郊区—城区土壤水分含量的减少,火炬树的光合速率、气孔导度、细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率呈明显的下降趋势,而叶片水汽压亏缺增大,不同水分条件下,光合参数变化的幅度不同。在城区较低氮素水平下,随水分含量的下降,火炬树光合速率下降的主要限制因子由气孔限制转变为非气孔限制,表明其叶绿体结构已经受到了破坏。在郊区较高氮素水平下,火炬树叶片的的光合速率、气孔导度、细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度等光合生理指标与城区相比,都有所增加,但蒸腾速率增加的幅度较小,因而水分利用效率也有所提高。随土壤水分的降低,叶绿素 a、叶绿素 b 与叶绿素 a+b 含量都呈下降趋势;在城区氮素水平下,叶绿素 a、叶绿素 b 与叶绿素 a+b 的含量与郊区比有显著的降低。

**关键词:**城区-郊区土壤梯度;土壤氮素变化;土壤水分变化;光合生理

**中图分类号:**S718.43      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2015)05-0028-06

Effects of Urban Soil Nitrogen and Moisture Changes on Photosynthetic  
Eco-physiological Processes of *Rhus typhina*

GUO Er-hui

(College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

**Abstract:** Through the comparative experiments of simulated soil environment, the influences of the changes of soil nitrogen and moisture on the photosynthetic, physiological and ecological activities of *Rhus typhina*'s were examined with three different kinds of soils: suburban forest land, green spaces in urban residential area, and road greenbelts. Along with the decrease of soil moisture (from suburban soil to urban soil), the photosynthesis rate ( $P_n$ ), stomata conductance ( $G_s$ ), transpiration rate ( $Tr$ ) and intercellular CO<sub>2</sub> concentration ( $C_i$ ) of *R. typhina* decreased, but the  $VPD_{leaf-to-air}$  increased. The variation scopes of gas exchange parameter during photosynthesis were different under different soil moisture conditions. Under the low nitrogen level in the urban area, with the decline of moisture content, the main limiting factor which affected the *R. typhina* photosynthesis rate gradually changed from stomata to non-stomata limitation, indicating that the *R. typhina* chloroplast structure was already destructed. While in the suburban areas,  $P_n$ ,  $G_s$ , and  $C_i$  increased remarkably compared with the urban level, but  $Tr$  increased significantly, which indicated that the water use efficiency of *R. typhina* also improved. Along with the reduction of simulated moisture content, the content of chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll a+b dropped. In the urban nitrogen level, the content of chlorophyll a, chlorophyll b and the chlorophyll a+b have reduced remarkably compared with the suburban areas.

**Key words:** urban-suburb soil gradient; soil nitrogen change; soil moisture change; photosynthesis physiology

随着我国城市化进程的加快,强烈的人类活动如地表硬化、道路和管道施工等使土壤环境发生了重大改变,形成了独特的城市土壤<sup>[1-2]</sup>。城市土壤具有无层次性,结构紧实、持水保水能力差,土壤侵入体多、养分匮乏等特点<sup>[1-2]</sup>。再加上城区“热岛效应”、“干岛效应”等的影响,城市植物的生长发育更易受到水分和土壤氮素等变化的胁迫<sup>[3-4]</sup>。此外,城市绿化面积的增长,园林灌溉用水也在不断加大;而我国北方又是一个淡水资源非常匮乏的地区,城市环境变化使得城市植物越来越受到水资源不足的限制。光合作用是植物的重要生理生态过程,目前已有较多的研究关注于不同环境因子、不同植物种类或品种对其光合作用的影响<sup>[5-8]</sup>。但就城市活动引起的土壤环境变化对植物光合生理生态的影响研究相对较少,远远不能满足生态城市建设和城区绿地生态管理的需求。土壤氮素和水分是植物生长发育的重要因子,两者对植物的光合作用、水分利用效率、碳分配、抗氧化等方面,存在着相互协调的关系<sup>[9]</sup>。本研究采用盆栽模拟对比试验的方法,研究城区与郊区不同环境下的土壤氮素和水分变化对火炬树光合生理生态的影响,分析了土壤氮素和水分与火炬树的光合速率、蒸腾速率、气孔导度、水分利用效率、叶绿素含量等生理生态指标的变化响应关系,为城市土壤环境下植被的适应机制

与生态管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

火炬树(*Rhus typhina*),属于漆树科盐肤木属落叶灌木或小乔木,原产于北美,我国于 1959 年由北京植物园作为观赏树种引入,随后陆续推广至华北、西北、东北、华中和西南许多省区,近年来在园林及道路绿化中应用较多。

### 1.2 试验地点

盆栽幼苗模拟试验地位于北京市海淀区。试验地的气候属温带湿润季风气候区,冬季寒冷干燥,盛行西北风,夏季高温多雨,盛行东南风。年均气温 12.5℃,1 月份平均气温 -4.4℃,极端最低气温为 -21.7℃,7 月份平均气温为 25.8℃,极端最高气温为 41.6℃。年平均降水量 628.9 mm,集中于夏季的 6—8 月,冬季的 12—2 月份降水量最少。

### 1.3 试验方法

首先在城区道路绿化带(海淀区联想桥附近)、城市居民区绿地(海淀区住宅小区)和郊区林地(顺义区衙门村附近)分别采集 0~20 cm 表层土样,测定土壤的 pH、有机质、全氮、有效氮、有效磷和水分含量指标(表 1)。

表 1 不同采样地点土壤的理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties of in different sampling locations

采样地点	pH	有机质 /(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 /(g·kg <sup>-1</sup> )	有效氮 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	水分含量/%
城区道路绿化带	8.59±0.34a	13.49±1.02a	0.65±0.10a	37.28±2.02a	13.12±1.25a	9.90±0.52a
城市居民区绿地	8.06±0.42a	15.97±1.32a	0.73±0.12a	40.72±1.28a	17.25±0.78a	14.21±0.86b
郊区林地	8.36±0.53a	26.40±0.89b	1.30±0.13b	62.19±3.05b	36.41±1.39b	22.63±1.15c

注:数据为平均值±标准差(n=5),同列具有相同字母的处理没有达到显著差异(p>0.05)。

城市道路、居民区绿地土壤的有机质和氮素水平没有显著差异,城区大约为郊区的 1/2 左右,城区土壤的水分含量大约为郊区的 1/2~1/3 的水平。于 4 月份选取生长良好、无病虫害、大小基本一致的 3 年生火炬树幼苗,栽植于口径 38 cm、地径 24 cm、高 30 cm 的花盆中,每盆装土约 15 kg。依据上述测定结果设定不同处理的氮素和水分梯度。氮肥处理(N 因素)分 2 个水平:N<sub>1</sub>(1.30 g/kg)代表郊区的水平;N<sub>2</sub>(0.65 g/kg)代表城区的水平;水分处理(W 因素)分 3 个水平:W<sub>1</sub>(土壤重量含水量为 22.63%)代表郊区林地;W<sub>2</sub>(土壤重量含水量为 14.21%)代表城市居民区绿地;W<sub>3</sub>(土壤重量含水量为 9.90%)代表城市道路绿化带,共 6 个处理,每处理 3 个重复。5 月中旬对苗木进行施肥处理,按实验设计方案不同处理的施氮量,分 2 次施入,施肥完后充分供水 1 次。然后按照实验设计进行水分处理,用称重

法进行水分控制。当水分梯度形成时,以每隔 2 d 的 17:00 时的土壤水分为标准,每盆中的水量用称重法控制,晴天正常光照,雨天用遮雨棚隔雨。

### 1.4 测试指标

分别在 8、9 月的和 10 月份的中旬选择天气晴朗、阳光充足的天气 3 d,利用 Li-6400 便携式光合测定仪,在 9:30—11:00 时测定叶片的光合速率( $P_n$ ,  $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率( $T_r$ ,  $\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、气孔导度( $G_s$ ,  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )、细胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ ,  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )、叶面水气压亏缺( $Vpd_i$ , KPa)。测定时的光照强度 PAR 为  $1\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$  浓度和温度均为室外环境。同时计算叶片的瞬时水分利用效率( $WUE$ ,  $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1}$ )= $P_n/T_r$ 。同一个处理选择健康植株 3 株,选取向阳面中上部、健康的、生长方向基本一致的全展叶进行测定(每株取 5 片叶)。于 9

月份分别采取不同处理的火炬树向阳面中上部生长方向基本一致的、健康无损害的全展叶装入液氮罐，每个处理采取 5 个叶片做重复试验，带回实验室参照高俊凤<sup>[10]</sup>的方法进行叶绿素含量测定。

1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 13.0 for Windows 进行方差分析和显著性检验，用 LSD 法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同土壤氮素和水分变化对火炬树叶片气体交换的影响

从表 2 可以看出，8 月份随着土壤水分含量的变化（郊区林地—城市居民区绿地—城市道路绿化带），火炬树的光合速率、气孔导度、细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率呈明显的下降趋势，而叶片水汽压亏缺增大，不同土壤水分条件下，光合气体交换参数变化的幅度不同。在水分胁迫条件下，会引起叶片水分散失、水势下降和气孔导度的减小。在水分胁迫情况下，CO<sub>2</sub> 进入叶片细胞内的阻力增加，进入气孔内的 CO<sub>2</sub> 减少，从而导致光合速率下降，同时气孔阻力的增加也减少叶片水分散失，在一定程度上阻碍水分亏缺的发展，减轻干旱胁迫对光合器官的伤害<sup>[11-12]</sup>。植物叶片光合速率降低的自身因素主要有两个：即气孔因素和非气孔因素。只有当光合速率（P<sub>n</sub>）和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度（C<sub>i</sub>）变化方向相同，两者都减小时，才可认为光合速率的下降主要由气孔导度（G<sub>s</sub>）引起的。若胞间 CO<sub>2</sub> 浓度（C<sub>i</sub>）和光合速率（P<sub>n</sub>）变化方向相反，气孔限制值减小，则光合速率下降应归因于叶肉细胞同化能力的降低<sup>[13]</sup>。城市地区强烈的人类活动，如铺设道路、植被凋落物的清除等，破坏了城区土壤的自然性状和土层结构，导致土壤水分含量的降低，进而对植物的光合行为产生了重要影响。试验表明，在居民区绿地和道路绿化带土壤水分条件下，火炬树的光合速率出现了不同程度的下降，结合气孔导度和细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度等光合参数的变化情况，可以表明在 8 月份，光合速率降低的主要原因是植物气孔的关闭引起的。

9 月份和 10 月份，在 N<sub>1</sub> 条件下，随着土壤水分梯度的下降，火炬树的光合气体交换变化与 8 月份较为相似。但在 N<sub>2</sub>（城区 N 水平）条件下，在土壤水分为 W<sub>2</sub> 时，细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度下降的幅度较大，而当土壤含水量为 W<sub>3</sub> 时，细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度基本没有下降，火炬树的光合速率仍呈显著的下降趋势，这说明火炬树在 N<sub>2</sub>W<sub>2</sub>（城市居民区绿地）条件下，光合速率的下降主要是由气孔因素引起的；而在 N<sub>2</sub>W<sub>3</sub>（城市道路绿化带）条件下，光合速率的下降则

逐步转为非气孔限制，表明火炬树的叶绿素及叶绿体结构已经遭受破坏。周朝彬<sup>[12]</sup>等对胡杨幼苗的研究也发现，随着土壤水分含量的降低和干旱胁迫的加重，胡杨 P<sub>n</sub> 的下降是由于非气孔限制因素。植物的瞬时水分利用效率是衡量植物水分消耗与物质生产之间关系的重要综合性指标，用光合速率与蒸腾速率之比来表示。在 8、9 月份和 10 月份，随着不同地区土壤水分梯度的降低，火炬树的水分利用效率呈明显的上升趋势。郭卫华<sup>[14]</sup>等研究了不同水分处理对中间锦鸡儿气体交换特征的影响，发现适度的水分胁迫（干旱环境）能够提高中间锦鸡儿的水分利用效率和抗旱性，同时也降低了净光合速率与蒸腾速率。本试验结果也表明，在城区较干旱的环境下，火炬树的水分利用效率较高，表明火炬树有较强的抵抗干旱的能力。

与城区氮素水平相比，在郊区较高的氮素水平下火炬树叶片的的光合速率、气孔导度、细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度等光合生理指标都呈显著增加趋势，但植物的蒸腾速率增加的幅度较小，因而火炬树的水分利用效率也有所提高。郭盛磊<sup>[15]</sup>等发现随氮素水平的提高，落叶松幼苗针叶氮含量、叶绿素含量和光饱和净光合速率均显著增加，在一定施氮范围内增加氮肥施用量，可使植物的光合速率、光饱和点提高，叶绿素含量上升，增加净光合速率，并使其产量增加，但氮素供应失调将导致植物光合能力下降。本试验结果也表明，在郊区较高的氮素水平下，火炬树的光合速率、气孔导度、水分利用效率均有所提高，同时还延缓了植株的衰老如落叶时间，可以增加植被的生物量。

2.2 不同土壤氮素和水分对叶绿素含量的影响

植物叶片叶绿素含量变化对光合作用会产生显著的影响，并直接影响植物的光合产量。从表 3 可以看出，随着郊区林地-城市居民区绿地-城区道路绿地土壤水分含量的变化，火炬树叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 与叶绿素 a+b 含量都呈明显下降的趋势；土壤水分含量的降低导致叶绿素 a/b 降低，但并不显著。韩瑞宏等的研究表明，在干旱胁迫下紫花苜蓿的叶绿素含量降低，叶绿体超微结构遭到破坏，但不同品种受到的影响程度不同，相对于抗旱性弱的苜蓿，抗旱性强的苜蓿随干旱胁迫程度的加深，净光合速率下降较慢，叶绿体的外形及基粒结构受到的影响较小<sup>[16]</sup>。土壤水分含量的降低，引起了火炬树叶片的叶绿素含量下降，主要原因可能是干旱胁迫使叶绿体层片结构物质的合成受阻，或者是水分诱导叶绿体发生膜质过氧化而产生的破坏作用有关。火炬树叶绿素 a/b 比值在水分胁迫时均降低，

但降低的幅度不是很大,可能是长时间的水分胁迫下,叶绿素 a 对活性氧的反应较叶绿素 b 敏感,使得叶绿素 a 的增加幅度低于叶绿素 b,所以导致叶绿素 a/b 比值下降。在土壤水分含量相同的情况下,郊区较高的土壤氮素水平,可以显著地提高火炬树的叶绿素 a、叶绿素 b 与叶绿素 a+b 的含量。

表 2 不同土壤氮素和水分对火炬树叶片气体交换的影响

8 月份数据						
处理	净光合速率 $Pn$ $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	气孔导度 $Gs$ $/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $Ci/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 $Tr$ $/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	叶面水汽压 亏缺 $Vpdl$ $/\text{KPa}$	水分利用效率 $WUE$ $/(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$
$\text{N}_1 \text{W}_1$	$16.04 \pm 1.81\text{Aa}$	$0.19 \pm 0.04\text{Aa}$	$254.85 \pm 18.66\text{Aa}$	$4.04 \pm 0.74\text{Aa}$	$2.23 \pm 0.08\text{Aa}$	$3.97 \pm 0.08\text{Aa}$
$\text{N}_1 \text{W}_2$	$11.40 \pm 2.29\text{Ba}$	$0.10 \pm 0.03\text{Ba}$	$230.87 \pm 19.16\text{Ba}$	$2.40 \pm 0.65\text{Ba}$	$2.44 \pm 0.11\text{Aa}$	$4.76 \pm 0.12\text{Ba}$
$\text{N}_1 \text{W}_3$	$6.73 \pm 0.84\text{Ca}$	$0.07 \pm 0.01\text{Ca}$	$185.73 \pm 17.30\text{Ca}$	$1.13 \pm 0.19\text{Ca}$	$2.72 \pm 0.05\text{Ca}$	$5.96 \pm 0.07\text{Ca}$
$\text{N}_2 \text{W}_1$	$9.80 \pm 1.01\text{Ab}$	$0.11 \pm 0.01\text{Ab}$	$244.39 \pm 10.79\text{Ab}$	$2.56 \pm 0.28\text{Ab}$	$2.43 \pm 0.05\text{Ab}$	$3.83 \pm 0.09\text{Ab}$
$\text{N}_2 \text{W}_2$	$8.04 \pm 1.29\text{Bb}$	$0.07 \pm 0.02\text{Bb}$	$216.02 \pm 19.83\text{Bb}$	$1.86 \pm 0.41\text{Bb}$	$2.64 \pm 0.06\text{Bb}$	$4.34 \pm 0.11\text{Bb}$
$\text{N}_2 \text{W}_3$	$6.23 \pm 1.84\text{Ca}$	$0.05 \pm 0.01\text{Cb}$	$183.41 \pm 10.46\text{Ca}$	$1.08 \pm 0.34\text{Ca}$	$2.94 \pm 0.10\text{Cb}$	$5.77 \pm 0.10\text{Cb}$
9 月份数据						
处理	净光合速率 $Pn$ $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	气孔导度 $Gs$ $/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $Ci/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 $Tr$ $/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	叶面水汽压 亏缺 $Vpdl$ $/\text{KPa}$	水分利用效率 $WUE$ $/(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$
$\text{N}_1 \text{W}_1$	$10.21 \pm 1.40\text{Aa}$	$0.09 \pm 0.01\text{Aa}$	$238.12 \pm 9.54\text{Aa}$	$2.20 \pm 0.19\text{Aa}$	$2.43 \pm 0.16\text{Aa}$	$4.63 \pm 0.11\text{Aa}$
$\text{N}_1 \text{W}_2$	$8.93 \pm 1.23\text{Ba}$	$0.08 \pm 0.02\text{Aa}$	$217.55 \pm 10.43\text{Ba}$	$1.90 \pm 0.41\text{Ba}$	$2.55 \pm 0.07\text{Ba}$	$4.69 \pm 0.07\text{Aa}$
$\text{N}_1 \text{W}_3$	$5.64 \pm 1.25\text{Ca}$	$0.04 \pm 0.01\text{Ca}$	$190.52 \pm 12.72\text{Ca}$	$1.06 \pm 0.19\text{Ca}$	$2.60 \pm 0.04\text{Ba}$	$5.31 \pm 0.05\text{Ca}$
$\text{N}_2 \text{W}_1$	$7.15 \pm 0.05\text{Ab}$	$0.08 \pm 0.00\text{Ab}$	$227.93 \pm 2.71\text{Ab}$	$1.72 \pm 0.04\text{Ab}$	$2.38 \pm 0.01\text{Ab}$	$4.17 \pm 0.12\text{Ab}$
$\text{N}_2 \text{W}_2$	$6.47 \pm 0.52\text{Bb}$	$0.06 \pm 0.01\text{Bb}$	$218.54 \pm 12.94\text{Ba}$	$1.53 \pm 0.21\text{Bb}$	$2.39 \pm 0.03\text{Ab}$	$4.23 \pm 0.08\text{Bb}$
$\text{N}_2 \text{W}_3$	$4.35 \pm 1.05\text{Cb}$	$0.04 \pm 0.01\text{Ca}$	$220.22 \pm 11.33\text{Bb}$	$0.83 \pm 0.19\text{Cb}$	$2.54 \pm 0.02\text{Ca}$	$5.24 \pm 0.09\text{Ca}$
10 月份数据						
处理	净光合速率 $Pn$ $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	气孔导度 $Gs$ $/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $Ci/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 $Tr$ $/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	叶面水汽压 亏缺 $Vpdl$ $/\text{KPa}$	水分利用效率 $WUE$ $/(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$
$\text{N}_1 \text{W}_1$	$6.90 \pm 0.29\text{Aa}$	$0.08 \pm 0.01\text{Aa}$	$229.64 \pm 11.74\text{Aa}$	$1.35 \pm 0.12\text{Aa}$	$1.60 \pm 0.09\text{Aa}$	$5.12 \pm 0.13\text{Aa}$
$\text{N}_1 \text{W}_2$	$6.11 \pm 0.33\text{Ba}$	$0.06 \pm 0.02\text{Ba}$	$217.22 \pm 16.59\text{Ba}$	$1.08 \pm 0.23\text{Ba}$	$1.72 \pm 0.03\text{Ba}$	$5.66 \pm 0.15\text{Ba}$
$\text{N}_1 \text{W}_3$	$4.85 \pm 0.48\text{Ca}$	$0.04 \pm 0.01\text{Ca}$	$192.65 \pm 15.11\text{Ca}$	$0.73 \pm 0.12\text{Ca}$	$1.82 \pm 0.02\text{Ca}$	$6.64 \pm 0.06\text{Ca}$
$\text{N}_2 \text{W}_1$	$4.77 \pm 0.50\text{Ab}$	$0.06 \pm 0.01\text{Ab}$	$218.10 \pm 17.27\text{Ab}$	$1.15 \pm 0.11\text{Ab}$	$1.56 \pm 0.02\text{Aa}$	$4.15 \pm 0.11\text{Ab}$
$\text{N}_2 \text{W}_2$	$4.14 \pm 0.34 \text{Bb}$	$0.05 \pm 0.01\text{Ab}$	$204.65 \pm 6.82\text{Bb}$	$0.89 \pm 0.11\text{Bb}$	$1.60 \pm 0.01\text{Ab}$	$4.64 \pm 0.14\text{Bb}$
$\text{N}_2 \text{W}_3$	$3.84 \pm 0.10\text{Cb}$	$0.03 \pm 0.01\text{Ca}$	$206.89 \pm 14.00\text{Bb}$	$0.60 \pm 0.10\text{Cb}$	$1.66 \pm 0.02\text{Cb}$	$6.41 \pm 0.07\text{Cb}$

注:数据为平均值±标准差( $n=40$ ),大写字母表示不同水分水平之间的差异( $p<0.05$ );小写字母表示不同氮素水平之间的差异( $p<0.05$ )。

表 3 城区、郊区不同土壤氮素和水分水平对火炬树叶片叶绿素的影响

Table 3 Influences of different soil nitrogen and moisture contents along simulated urban-rural gradient on leaf chlorophyll content of <i>R. typhina</i>				
不同处理	叶绿素 a $/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	叶绿素 b $/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	叶绿素 a+b $/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	叶绿素 a/b
$\text{N}_1 \text{W}_1$	$1.75 \pm 0.13\text{Aa}$	$0.63 \pm 0.11\text{Aa}$	$2.38 \pm 0.16\text{Aa}$	$2.78 \pm 0.14\text{Aa}$
$\text{N}_1 \text{W}_2$	$1.60 \pm 0.06\text{Ba}$	$0.59 \pm 0.10\text{Aa}$	$2.19 \pm 0.25\text{Ba}$	$2.71 \pm 0.25\text{Aa}$
$\text{N}_1 \text{W}_3$	$1.45 \pm 0.11\text{Ca}$	$0.54 \pm 0.05\text{Ca}$	$1.99 \pm 0.16\text{Ca}$	$2.68 \pm 0.08\text{Aa}$
$\text{N}_2 \text{W}_1$	$1.39 \pm 0.05\text{Ab}$	$0.47 \pm 0.02\text{Ab}$	$1.86 \pm 0.07\text{Ab}$	$2.96 \pm 0.11\text{Ab}$
$\text{N}_2 \text{W}_2$	$1.32 \pm 0.10\text{Ab}$	$0.45 \pm 0.02\text{Ab}$	$1.77 \pm 0.02\text{Ab}$	$2.93 \pm 0.07\text{Ab}$
$\text{N}_2 \text{W}_3$	$0.99 \pm 0.13\text{Cb}$	$0.35 \pm 0.04\text{Cb}$	$1.34 \pm 0.11\text{Cb}$	$2.82 \pm 0.10\text{Aa}$

注:数据为平均值±标准差( $n=5$ ),大写字母表示不同水分水平之间的差异( $p<0.05$ );小写字母表示不同氮素水平之间的差异( $p<0.05$ )。

### 3 结论与讨论

相对郊区而言,土壤氮素水平和持水保水能力的降低是城区土壤的主要特点之一,也是城市植被演替及植物个体正常生长发育的主要限制因子<sup>[1-3]</sup>。

试验表明,随着从郊区到城区模拟土壤水分梯度上,火炬树的光合速率、气孔导度及蒸腾速率、叶绿素含量呈显著下降趋势,但不同水分条件下,下降的幅度有所差异。在城区水分缺失胁迫条件下,火炬树水分利用效率呈增加趋势,表明火炬树对城区因“干

岛”效应引起的土壤干旱环境具有较高适应能力。有研究发现适度水分胁迫可以显著提高中间锦鸡儿幼苗的水分利用效率,但崔晓阳的研究表明,在水分胁迫下水曲柳幼苗的水分利用效率没有提高<sup>[14,17]</sup>。试验表明,在城区氮素水平下,随着水分胁迫时间的延长,火炬树光合速率的下降则逐步转为非气孔限制,叶绿素含量也显著的减少。莫雅芳<sup>[11]</sup>等的研究也发现细子龙光合速率、蒸腾速率、气孔导度、水分利用率随着土壤水分的减少而降低,细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度随着土壤水分的减少而增加,水分胁迫引起细子龙光合速率下降是非气孔限制因素的影响。

在城区土壤环境下,通过适量提高土壤氮素水平可以显著提高火炬树的叶绿素含量、光合速率、气孔导度和水分利用效率,可以增强植物的生长势,获得较大生物量。氮素是叶绿素的主要成分,在适宜范围内,施氮一般能促进植物叶片叶绿素的合成,提高植物的光合速率,本试验也证明了这一点。王小兰<sup>[18]</sup>等研究了不同水分条件下施肥对女贞叶片气体交换的影响,结果表明 N 肥在水分胁迫条件下可以提高叶片的光合速率和水分利用效率,降低女贞的蒸腾速率。李潮海<sup>[19]</sup>等研究了不同施肥水平下夏玉米光合对生理、生态因子的响应,结果表明,施肥可以改善叶肉细胞的光合能力,使阻碍光合速率进一步提高的因素由非气孔限制逐渐转变为气孔限制,并可提高生育后期叶片的光合强度,延长光合持续时间,在日变化中表现为增加了叶片下午的光合强度。罗亚勇<sup>[20]</sup>等的研究沿着土壤全氮逐渐降低的梯度,科尔沁沙地植物的净光合速率和水分利用效率均呈降低趋势。氮素可以提高植物叶片气孔导度,气孔导度增加,二氧化碳供应充足,使叶绿体光合潜能得以充分发挥,净光合速率提高。当氮素营养缺乏时,气孔导度明显降低甚至导致叶片光合效率显著下降<sup>[21]</sup>。本试验的城区-郊区土壤梯度对比分析也表明,在城区低 N 土壤环境下,适宜增加土壤氮素含量可以显著提高火炬树叶片气孔导度、叶绿素含量、光合速率和光合持续时间,从而提高了叶片的光合碳同化能力,并使其生物量增加。适宜提高城区土壤氮素水平有利于提高火炬树水分利用效率,可以减缓城区土壤干旱胁迫对火炬树叶片光合机构的伤害。在城市环境中,由于环境卫生、防火等市政管理的需要,城市绿地中自然枯枝落叶及修剪枝叶皆被清除,造成土壤氮素的缺乏,致使土壤养分贫乏。同时,城市硬化区的大量增加使得城区土壤不能正常得到大气降水的补给,土壤的持水保水能力下降,严重影响了城市植被生态服务功能的发挥。因而,通过适当地增加城区土壤的氮素营养,改

善城区硬化介质的透水透气性质,有利于提高城市植物对城市“干岛”效应的适应性。但是由于城市土壤环境具有复杂多变的特点,本研究仅模拟了城区土壤氮素和水分含量变化对植物光合生理的影响,有一定的局限性。在城区多环境因子变异对植物的交互影响等方面,还有待深入的研究。

参考文献:

[1] 魏宗强, 顾晓, 吴绍华, 等. 人工封闭对城市土壤功能的影响研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(4): 710-715.  
WEI Z Q, YAN X, WU S H, *et al.* Effects of anthropogenic soil sealing in urban areas on soil function: a review [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(4): 710-715. (in Chinese)

[2] 张甘霖, 赵玉国, 杨金玲, 等. 城市土壤环境问题及其研究进展[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 925-933.  
ZHANG G L, ZHAO Y G, YANG J L, *et al.* Urban soil environment issues and research progresses [J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(5): 925-933. (in Chinese)

[3] 李丽雅, 丁蕴铮, 侯晓丽, 等. 城市土壤特性与绿化树生长势衰弱关系研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2006, 38(3): 124-127.  
LI L Y, DING Y Z, HOU X L, *et al.* Study on the relationship between the urban soil and the weak growing tendency of the afforestation[J]. Journal of Northeast Normal University: Nat. Sci. Edi., 2006, 38(3): 124-127. (in Chinese)

[4] 尹幸福, 杨朗生, 任玉英. 城市土壤对园林树木生长的影响[J]. 四川林业科技, 2005, 26(3): 71-75.  
YIN X F, YANG L S, REN Y Y. An analysis of the influence of urban soil on the growing of garden trees [J]. Journal of Sichuan Science and Technology, 2005, 26(3): 71-75. (in Chinese)

[5] ZHOU Y M, HAN S J. Photosynthetic response and stomatal behavior of *Pinus koraiensis* during the fourth year of exposure to elevated CO<sub>2</sub> concentration [J]. Photosynthetic, 2005, 43(3): 445-449.

[6] WOO S Y, LEE D K, LEE Y K. Effects of microenvironment on net photosynthetic rate and growth of four tropical species in the La Mesa watershed [J]. Photosynthetic, 2005, 43(3): 463-466.

[7] 俞继红. 3 种彩叶植物的光合特性比较[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(4): 21-25.  
YU J H. A comparison of photosynthetic characteristics between three color-leafed plants [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(4): 21-25. (in Chinese)

[8] 吴静, 王小德, 叶建峰, 等. 涝渍胁迫对鸡爪槭幼苗光合生理特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(5): 26-30.  
WU J, WANG X D, YE J F, *et al.* Effects of waterlogging stress on the photosynthetic physiological characteristics of *Acer palmatum* seedlings [J]. Northwest Forestry University, 2014, 29(5): 26-30. (in Chinese)

[9] DEWALT S J, DENSLOW J S, HAMRICK J L. Biomass allocation, growth, and photosynthesis of genotypes from native

and introduced ranges of the tropical shrub *Clidemia hirta* [J]. *Oecologia*, 2004, 138(4):521-531.

[10] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006:74-77.

[11] 莫雅芳, 吕曼芳, 秦武明, 等. 水分胁迫下细子龙的生长及光合特征研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(1):21-24.

MO Y F, LYU M F, QIN W M, *et al.* Growth and photosynthetic characteristics of *Amesiodendron chinense* under water stress [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(1):21-24. (in Chinese)

[12] 周朝彬, 宋于洋, 王炳举, 等. 干旱胁迫对胡杨光合和叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(4):5-9.

ZHOU C B, SONG Y Y, WANG B J, *et al.* Effects of drought stress on photosynthesis and Chlorophyll fluorescence Parameters of *Populus euphratica* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2009, 24(4):5-9. (in Chinese)

[13] FARQUHAR S P, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33(1):317-345.

[14] 郭卫华, 李波, 黄永梅, 等. 不同程度的水分胁迫对中间锦鸡儿幼苗气体交换特征的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(2):2716-2722.

GUO W H, LI B, HUANG Y M, *et al.* Effects of severity of water stress on gas exchange characteristics of *Caragana intermedia* seedlings [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2):2716-2722. (in Chinese)

[15] 郭盛磊, 阎秀峰, 白冰, 等. 供氮水平对落叶松幼苗光合作用的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(6):1291-1298.

GUO S L, YAN X F, BAI B. Effects of nitrogen supply on photosynthesis in larch seedlings [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6):1291-1298. (in Chinese)

[16] 韩瑞宏, 卢欣石, 高桂娟, 等. 紫花苜蓿对于旱胁迫的光合生理响应[J]. 生态学报, 2007, 27(12):5229-5237.

HAN R H, LU X S, GAO G J, *et al.* Photosynthetic physiological response of alfalfa (*Medicago sativa*) to drought stress [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12):5229-5237. (in Chinese)

[17] 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[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6):794-802.

CUI X Y, SONG J F, ZHANG Y H. Some photosynthetic characteristics of *Fraxinus mandshurica* seedlings grown under different soil water potentials [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(6):794-802. (in Chinese)

[18] 王小兰, 蔡靖, 姜在民, 等. 不同水分条件下施肥对女贞光合及蒸腾作用的影响[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(5):15-18.

WANG X L, CAI J, JIANG Z M, *et al.* Effects of fertilization on photosynthesis and transpiration of *Ligustrum lucidum* under different water conditions [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 22(5):15-18. (in Chinese)

[19] 李潮海, 刘奎, 周苏孜, 等. 不同施肥条件下夏玉米光合对生理生态因子的响应[J]. 作物学报, 2002, 28(2):265-269.

LI C H, LIU K, ZHOU S Z, *et al.* Response of photosynthesis to eco-physiological factors of summer maize on different fertilizer amounts [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(2):265-269. (in Chinese)

[20] 罗亚勇, 赵学勇, 张静辉, 等. 科尔沁沙地不同氮素生境和功能型植物的光合作用与水分利用特性[J]. 草业学报, 2012, 21(3):206-212.

LUO Y Y, ZHAO X Y, ZHANG J H, *et al.* Photosynthesis and water use characteristics among different habitats and plant functional types in Horqin sandy land [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(3):206-212. (in Chinese)

[21] 张绪成, 上官周平. 施氮对不同抗旱性冬小麦叶片光合与呼吸的调控[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11):2064-2069.

ZHANG X C, SHANGGUAN Z P. Effects of nitrogen fertilization on leaf photosynthesis and respiration of different drought-resistance winter wheat varieties [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(11):2064-2069. (in Chinese)