

乌鲁木齐市4种绿化树种叶片滞尘量对叶片光合气体交换参数的影响

吴天忠^{1,2}, 蔡寅潮^{3,4}, 管文轲^{1,2}

(1. 新疆林业科学院, 新疆乌鲁木齐 830000; 2. 新疆塔里木河流域胡杨林生态系统国家定位观测研究站, 新疆乌鲁木齐 830000; 3. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆乌鲁木齐 830054; 4. 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830054)

摘要 [目的]研究绿化树种叶面滞尘能力和蒙尘对叶片光合气体交换参数的影响, 可为绿化树种的科学选择、栽培以及抗逆性品种的培育提供依据。[方法]以乌鲁木齐主要绿化树种刺槐、丁香、圆叶榆、大叶白蜡为观测对象, 分别测定了4种绿化树种叶片在洁净时和蒙尘后的叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)等气体交换参数, 运用相关性分析和回归分析等方法, 分析了不同植物的滞尘能力、蒙尘前后光合气体参数的损失率变化以及滞尘量与光合气体参数损失率之间的关系。[结果]4种植物的滞尘能力有所差异, 由大到小为刺槐、丁香、圆冠榆、大叶白蜡。植物叶片在受到蒙尘时不同植物叶片光合气体参数损失率有明显区别。[结论]4种植物的滞尘量与光合气体参数损失率之间呈显著正相关($P < 0.05$), 植物叶片光合气体交换参数损失率随着植物叶面滞尘量的增加而增加。

关键词 绿化树种; 滞尘量; 光合气体交换参数

中图分类号 Q945.1; X173 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)19-0128-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.19.033



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Leaf Dust Removal on Leaf Photosynthetic Gas Exchange Parameters of Four Greening Tree Species in Urumqi City

WU Tian-zhong^{1,2}, CAI Yin-chao^{3,4}, GUAN Wen-ke^{1,2} (1. Xinjiang Forestry Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830000; 2. Research Station of Riparian Populus Euphratica Forest Ecosystem Positioning and Monitoring in Tarim River of Xinjiang, Urumqi, Xinjiang 830000; 3. The School of Geographic Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054; 4. Key Laboratory of Arid Area of Lake Environment and Natural Resources of Xinjiang, Urumqi, Xinjiang 830054)

Abstract [Objective] To study the effects of leaf dust retention ability and dust on the photosynthetic gas exchange parameters of greening tree species, which can provide a basis for scientific selection, cultivation and breeding of stress-resistant varieties of greening tree species.

[Method] Taking *Robinia pseudoacacia* L., *Syzygium aromaticum*, *Ulmus densa* Litw. and *Fraxinus rhynchophylla* as the observation objects, the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r) and other gas exchange parameters of the leaves of four greening trees under clean and dusty were measured. The dust retention capacity of different plants, the loss rate of photosynthetic gas parameters before and after dusting, and the loss of dust and photosynthetic gas parameters were analyzed. [Result] The dust retention ability of the four plants was different, *R. pseudoacacia* > *S. aromaticum* > *U. densa* Litw. > *F. rhynchophylla*. There was a significant difference in the loss rate of photosynthetic gas parameters between plant leaves when they were exposed to dust. [Conclusion] There was a significant positive correlation between the dust retention of 4 plants and the loss rate of photosynthetic gas parameters ($P < 0.05$). The loss rate of photosynthetic gas exchange parameters of plant leaves increased with the increase of plant dust surface.

Key words Greening tree species; Dust retention; Photosynthetic gas exchange parameters

自第一次工业革命以来,随着经济高速发展,城市化进程加快,随之而来的就是生态环境恶化,尤其是城市空气中粉尘污染增多,严重危害着人们的身心健康,同时也对植被造成了不可估量的损伤。

大气粉尘作为城市大气污染物之一,危害很大,我国很多城市大气粉尘超标现象严重^[1],尤其是我国西北干旱区沙尘天气较为频发及其所产生的浮尘、粉尘附着于植物叶片,对叶片的呼吸和气体交换,即净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)产生明显的负面影响^[2],并降低城市绿地的生物多样性及生态系统服务功能,最终导致绿洲城市生态系统的失衡^[3]。同时,覆盖在绿化树种叶面尘长期随风飘入空气中,增加悬浮颗粒物密度,进而影响居民身体健康^[4]。植物叶片具有一定的滞尘效果^[5],但是根据其叶片结构(比如粗糙程度、有无绒毛、叶面光滑程度等)不同滞尘能力也有所差异^[1,6-7]。目前,人们面临的问题是如何降低大气中粉尘的含量以及如何改善城市空气的质量。研究绿化树种叶面滞尘能力和蒙尘对叶片光合气体交换参数的影响,可为沙尘

频发的西北地区绿化树种的科学选择、栽培以及抗逆性品种的培育提供依据^[8-10]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 试验在乌鲁木齐市(86°37'33"~88°58'24"E, 42°45'32"~44°08'00"N)进行,乌鲁木齐属中温带大陆性干旱气候,年平均温度6.9℃,年平均降水286mm。全市建成区面积368.4km²,绿地面积121.3km²,绿化覆盖率36.16%,绿地率33.17%,人均公园绿地9.07m²(<http://www.urumqi.gov.cn/fjbm/lyj/dtxx/357748.htm>)。

1.2 采样及分析方法

1.2.1 所选植物特征。试验所选植物为刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、丁香(*Syzygium aromaticum*, 英文名 Clove)、圆冠榆(*Ulmus densa* Litw.)、大叶白蜡(*Fraxinus rhynchophylla*),均为乌鲁木齐的常见绿化树种。通过对4种植物叶片结构的观察,发现不同地被的植物表面结构存在较大差异,并且生活习性也不同(表1)。

1.2.2 降尘量的测定。植物的滞尘能力是指单位叶面积单位时间中滞留的粉尘量^[11],首先对参与测试的4种绿化植物采集叶片,叶片样本测定设置3组重复,取平均值。

1.2.2.1 野外采样。从树冠周围及上中下各部位均匀采集叶样20~30片,在尽量不抖动的情况下将叶样当即封存于密

基金项目 新疆林业厅科技支撑专项(2017-HY)。

作者简介 吴天忠(1981—),男,新疆奇台人,硕士,从事林业生态工程研究。

收稿日期 2020-03-10; **修回日期** 2020-04-01

封袋中带回实验室。

表1 不同地被植物叶片结构

Table 1 Leaf structure of different ground cover plants

植物 Plant	叶片形状 Leaf shape	表面是否有毛 Is there hair on the surface	生理特性 Physiological characteristics
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	羽状复叶长 10~25 (~40) cm; 叶轴上面具沟槽; 小叶 2~12 对, 常对生, 椭圆形、长椭圆形或卵形	幼时有毛, 后无毛	抗风性差、有一定的抗旱能力、喜光
丁香 <i>Syzygium aromaticum</i>	叶片长方卵形或长方倒卵形, 长 5.0~10.0 cm, 宽 2.5~5.0 cm, 先端渐尖或急尖, 基部狭窄常下展成柄	上面密被短绒毛	适应性较强, 耐寒、耐旱、耐瘠薄, 病虫害较少、喜阳光
圆冠榆 <i>Ulmus densa</i> Litw.	叶卵形, 先端渐尖, 基部枝条偏斜向上	顶端缺口柱头面被毛外, 余处无毛	喜光、耐寒、抗高温, 适合盐碱土壤生长
大叶白蜡 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	广卵形、长卵形或椭圆状倒卵形、叶对生	下面脉上有褐毛、密被黄褐色绒毛或无毛	喜光、耐寒

1.2.2.2 室内试验。将用密封袋带回实验室的叶样用精确到万分之一的电子天平称重为 C_1 , 然后用干净的棉纱将叶片擦拭干净后称量叶片重量, 得到 C_2 [12]。叶片含尘量 (mg) 为:

$$C = C_1 - C_2 \quad (1)$$

1.2.2.3 叶面积的测定。通过画纸称重法进行估算, 将叶片的轮廓描绘到 A4 纸上, 然后沿着轮廓剪下, 将其称重, 记为 W_1 。然后在同一张 A4 纸上剪下 3 个 10 cm^2 的纸片, 称重后计算其平均重量 [1], 记为 W_2 。叶片面积 $S (\text{cm}^2)$ 为:

$$S = W_1 / W_2 \times 100 \quad (2)$$

1.2.2.4 单位叶面积滞尘量。单位叶面积滞尘量 (mg/cm^2) 为:

$$X = C / S \quad (3)$$

式中, C 为叶片滞尘量 (mg); S 是叶面积 (cm^2)。

1.2.3 生理生态指标的测定。气体交换参数的测定: 该研究利用 li-6400 测定植物的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、大气 CO_2 浓度 (C_a)、气孔限制值 (L_s)。根据公式 $L_s = 1 - C_i / C_a$ 得出。为得到植物叶片洁净时和蒙尘时的光合气体参数, 在测量时选择 3 个枝条上对生的叶片进行测量, 分别作为受沙尘影响和未受沙尘影响的叶片。测量洁净叶片时使用人工冲洗叶片得到。同时, 为了避免外界条件对试验结果造成一定的误差, 选择光合气体的损失率来判断蒙尘对植物叶片的影响。气体交换参数的损失率计算公式如下:

$$\Delta Y = [(Y_1 - Y_0) / Y_0] \times 100\% \quad (4)$$

式中, ΔY 表示植物气体交换参数 (净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、气孔限制值) 变化的相对百分比, 即损失率; Y_1 表示受到沙尘覆盖影响的叶片气体交换参数; Y_0 表示未受到沙尘覆盖影响的叶片气体交换参数。

1.2.4 气象条件。试验期间的天气状况如图 1 所示, 试验期间乌鲁木齐市天气多为晴天。降水量变化幅度较小, 分别在 8 月 1 日、8 月 12 日和 8 月 17 日有降水, 分别为 1.10、5.00、2.30 mm。降水对叶面降尘的影响可忽略不计。同时风速变化幅度亦较小, 多是微风, 未出现扬尘、沙尘暴天气。最大风速出现在 8 月 23 日, 最大风速为 2.70 m/s; 最小风速出现在 8 月 15 日, 为 1.26 m/s。风速对植物叶片的滞尘影响较小, 可忽略不计。综合以上天气状况, 选择在 8 月 9 日和 8 月 16 日 2 d 进行植物叶片滞尘量的采集工作。

2 结果与分析

2.1 不同植物的滞尘能力 由图 2 可知, 在 8 月 9 日时, 刺槐、丁香、圆冠榆、大叶白蜡 4 种植物的滞尘量整体较低, 可能是由于天气原因导致, 丁香的滞尘量最大, 滞尘量从大到小依次为丁香、大叶白蜡、刺槐、圆冠榆。在 8 月 16 日 4 种植物的滞尘量明显要比 8 月 9 日的滞尘量大。滞尘量最大的是刺槐, 滞尘量从大到小依次为刺槐、丁香、圆冠榆、大叶白蜡。总体来说, 4 种植物的滞尘能力由大到小依次为刺槐、丁香、圆冠榆、大叶白蜡。

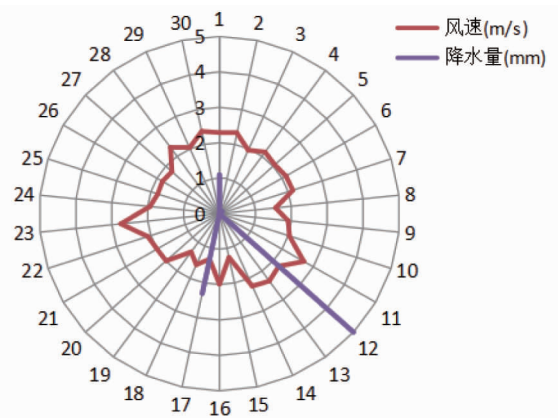


图1 试验期间天气状况

Fig. 1 Weather conditions during the experiment

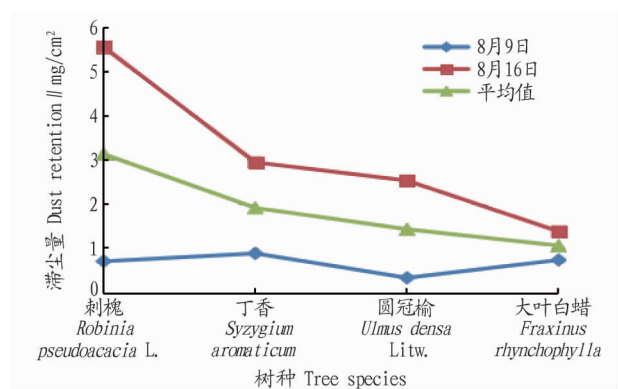


图2 不同植物的滞尘量

Fig. 2 Dust retention of different plants

由表 2 可知, 刺槐、丁香、圆冠榆和大叶白蜡 4 种植物在蒙尘和洁净时的叶片气体交换参数均表现为蒙尘时比洁净时小。 P_n , 蒙尘时刺槐、丁香、圆冠榆和大叶白蜡分别较洁净

时下降 6.6%、10.9%、7.2%、13.4%，大叶白蜡的下降幅度最大，这主要是由于沙尘的覆盖减少了叶片光合有效面积，降低了光质，从而阻碍了光合作用^[3]，造成了净光合速率下降。 G_s ，4种植物分别下降 12.4%、26.9%、33.2%、34.2%，大叶白蜡下降幅度最大，这是因为树种叶片被沙尘覆盖后，随着沙尘在叶面沉积，气孔被堵塞，气孔扩散阻力增大，阻碍了 CO_2 的进入，从而引起了 G_s 的下降。 T_r ，4种植物分别下降

8.6%、26.2%、19.0%、7.3%，丁香的 T_r 下降幅度最大，表明沙尘、粉尘污染对不同园林树种的 T_r 均有不同程度的影响。刺槐、丁香、圆冠榆在受到降尘影响时， L_s 均表现为增加趋势，大叶白蜡在受到降尘影响时 L_s 反而减小（蒙尘影响下为 0.344，在未受到蒙尘影响时为 0.656）。说明大叶白蜡在滞尘影响下，气孔因素为主要限制因素，在无滞尘影响下，非气孔因素为光合主要限制因素。

表 2 4种植物叶片气体交换参数的测定结果比较

Table 2 The comparison of gas exchange parameters of 4 different leaves

树种 Tree species	$P_n // \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$		$G_s // \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$		$T_r // \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$		L_s	
	蒙尘时 Dusty	洁净时 Clean	蒙尘时 Dusty	洁净时 Clean	蒙尘时 Dusty	洁净时 Clean	蒙尘时 Dusty	洁净时 Clean
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	13.034±0.589	13.950±0.281	0.233±0.019	0.266±0.028	6.553±0.404	7.169±0.542	0.253±0.023	0.242±0.011
丁香 <i>Syzygium aromaticum</i>	18.264±0.245	20.507±0.315	0.557±0.008	0.762±0.021	7.771±0.076	10.527±0.205	0.188±0.002	0.176±0.005
圆冠榆 <i>Ulmus densa</i> Litw.	16.531±0.143	17.822±0.224	0.183±0.002	0.274±0.006	3.135±0.046	3.871±0.144	0.329±0.012	0.274±0.012
大叶白蜡 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	12.415±0.822	14.341±0.700	0.422±0.042	0.641±0.061	3.510±0.026	3.788±0.023	0.344±0.055	0.656±0.051

2.2 降尘对植物光合参数变化率的影响 由表 3 可知，不同树种受到沙尘污染后，叶片气体交换参数的变化率各不相同，叶片气体交换参数变化率越大说明蒙尘对其影响越小。变化率越小说明蒙尘对其影响越大。 P_n 、 G_s 、 T_r 均有所下降， L_s 不同程度升高。各参数的变化率为 -35.13%~4.86%。刺槐的 ΔP_n 、 ΔG_s 、 ΔT_r 、 ΔL_s 相较于丁香、圆冠榆、大叶白蜡均最小，说明蒙尘对刺槐影响较小。圆冠榆在受到覆尘影响时 G_s 变化率最大，为 -35.13%。说明蒙尘堵塞叶片气孔，进而影响叶片呼吸作用，使圆冠榆叶片净光合速率下降。说明蒙尘对叶面的影响较大，而且不可忽视。 P_n 变化率大小为圆冠榆、大叶白蜡、丁香、刺槐。 T_r 变化率大小为丁香、圆冠榆、刺槐、大叶白蜡。圆冠榆叶片 P_n 变化率最大，为 -19.78%，刺槐叶片 P_n 变化率最小，为 -6.57%，说明蒙尘对圆冠榆的 P_n 影响较大。

表 3 4种植物光合气体交换参数变化率

Table 3 Photosynthetic gas exchange parameter in 4 plants %

植物 Tree species	ΔP_n	ΔG_s	ΔT_r	ΔL_s
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	-6.57	-12.57	-8.60	4.86
丁香 <i>Syzygium aromaticum</i>	-10.94	-26.87	-26.18	6.58
圆冠榆 <i>Ulmus densa</i> Litw.	-19.78	-35.13	-23.48	20.21
大叶白蜡 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	-13.43	-34.22	-7.33	33.02

2.3 净光合速率和蒸腾速率以及气孔导度损失率与滞尘量的相关性 由表 4 可知，4种植物的光合气体参数损失率和叶片滞尘量的回归分析表明，光合气体损失率与叶片滞尘量之间有一定的正相关。通过 SPSS 对刺槐、丁香、圆冠榆、大叶白蜡的 P_n 损失率、 T_r 损失率和 G_s 损失率与其叶片滞尘量之间的关系进行拟合，得出两者之间的回归方程， R^2 在 0.835~0.985，说明拟合方程合理，4种绿化树种的光合气体参数损失率与叶片滞尘在 0.05 水平上存在显著正相关。对刺槐而言， P_n 与叶片滞尘量之间的相关性最高，为 0.901； G_s 与叶片滞尘量之间的相关性最低，为 0.877。对丁香而言， G_s

损失率与叶片滞尘量之间的相关性最高，为 0.963； P_n 损失率与植物叶片滞尘量之间的相关性最低，为 0.874。圆冠榆， P_n 损失率与植物叶片滞尘量的相关性最高，为 0.894； G_s 损失率与植物叶片滞尘量的相关性最低，为 0.835。大叶白蜡， P_n 损失率与植物叶片滞尘量之间的相关性最高，为 0.985； G_s 与植物叶片滞尘量之间的相关性最低，为 0.893。说明不同树种光合气体损失率与滞尘量之间的相关性也不尽相同，叶片在蒙尘后，树种叶片的部分气孔可能被阻塞，气孔扩散阻力增大，导致光合气体参数值下降^[13]。

表 4 4种植物光合气体交换参数损失率与滞尘量的相关性

Table 4 Correlation between loss rate of photosynthetic gas exchange parameters and dust retention in 4 plants

光合特性参数 Photosynthetic characteristic parameters	树种 Tree species	拟合方程 Fitting equation	R^2
P_n	刺槐	$y = 9.696x - 40.728$	0.901
	丁香	$y = 2.864x + 2.371$	0.874
	圆冠榆	$y = 7.045x + 0.880$	0.894
	大叶白蜡	$y = 15.616x - 3.670$	0.985
T_r	刺槐	$y = 3.000x - 9.109$	0.883
	丁香	$y = 2.056x + 20.686$	0.884
	圆冠榆	$y = 6.148x + 6.073$	0.840
	大叶白蜡	$y = 4.794x + 1.940$	0.922
G_s	刺槐	$y = 4.498x - 10.084$	0.877
	丁香	$y = 2.725x + 19.440$	0.963
	圆冠榆	$y = 7.696x + 13.829$	0.835
	大叶白蜡	$y = 17.459x + 13.842$	0.893

3 讨论与结论

通过分析表明，不同的绿化植物滞尘量有所差异，4种植物的滞尘能力大小为刺槐、丁香、圆冠榆、大叶白蜡。同时植物叶片在受到降尘影响前后， P_n 、 G_s 、 T_r 亦有所差异，洁净叶片的光合气体参数大于蒙尘后的光合气体参数，这与前人的研究结果一致^[3,14-15]。

要及时防治病虫害;柿子树是强阳树种,由于旁边高大的雪松遮挡了光线,所以柿子树因为光强不够而生长不好,需要对雪松进行修剪。通过科学的养护使得落叶树春季新梢生长基本正常,叶片大小、颜色正常;针叶树针叶宿存1年以上,结果枝条不超过50%;草坪及地被植物整齐一致,枯萎后修剪干净^[9](图5、6)。

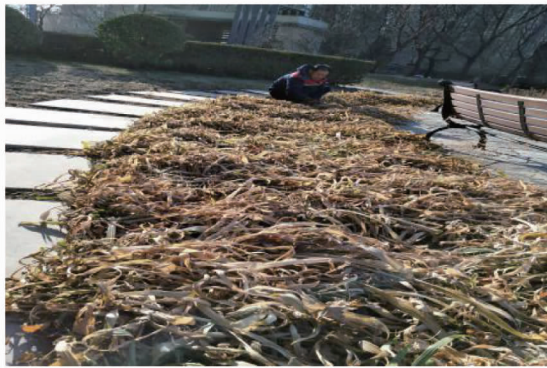


图5 萱草修剪前

Fig. 5 *Hemerocallis fulva* before pruning

4 结语

园林绿化是改善居住区生态环境的重要途径,养护管理是园林绿化的核心工作^[10],而别墅区与普通居住区相比,对养护管理水平要求更高。高质量、高水平的绿地养护管理要充分体现以人为本的理念;开工前做好充分的准备工作;开工后注重多方协调,处理好多方关系;乔灌木的修剪注重科学化与精细化。只有不断更新专业知识、努力提高养护管理技能,积极主动沟通与协调,提高别墅区绿地养护管理水平,才能展现其应有的景观功能、生态功能,体现出它的经济效

(上接第130页)

4种植物的 P_n 损失率、 G_s 损失率、 T_r 损失率、 L_s 损失率均有所差异。植物叶片在受到蒙尘影响时, P_n 损失率和 G_s 损失率大小均为圆冠榆、大叶白蜡、丁香、刺槐; T_r 损失率大小为丁香、圆冠榆、刺槐、大叶白蜡; L_s 损失率大小为大叶白蜡、圆冠榆、丁香、刺槐。说明受到蒙尘影响时气孔因素是圆冠榆和大叶白蜡 P_n 下降的主要原因。非气孔因素是丁香 T_r 下降的主要因素。但植物在受到蒙尘时,都会堵塞植物叶片气孔,导致植物 P_n 和 T_r 下降^[16]。另外,该文并未从植物叶片微观方面入手剖析滞尘对植物叶片内部结构的影响,下一步将进一步深入研究。

在相同的立地条件下,4种植物的滞尘量与光合气体参数损失率之间呈显著的正相关,即植物叶片的光合作用与植物所处的环境紧密相关,叶片蒙尘能够使植物叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 降低。植物的滞尘量大,就会减少叶片的光合有效面积,严重阻碍植物的光合作用^[3]。

参考文献

- [1] 高传友. 南宁市典型园林植物滞尘效应及生理特性研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 187-192.
- [2] 阿丽亚·拜都热拉, 玉米提·哈力克, 塔依尔江·艾山, 等. 阿克苏市5种常见绿化树种滞尘规律[J]. 植物生态学报, 2014, 38(9): 970-977.
- [3] 凯丽比努尔·努尔麦提, 玉米提·哈力克, 古丽卡玛尔·迪力木拉

益、环境效益和社会效益。



图6 萱草修剪后

Fig. 6 *Hemerocallis fulva* after pruning

参考文献

- [1] 邓锐. 北京居住区植物配置情况调查研究[J]. 绿色科技, 2012(3): 86-88, 95.
- [2] 梁燕飞. 公共庭园绿化的特点及要求[J]. 河南农业, 2017(11): 31-32.
- [3] 张秀英. 园林树木栽培养护学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [4] 张东林. 园林绿化种植与养护工程问答实录[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [5] 邵小云. 物业绿化养护及病虫害防治[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [6] 汪艺朋. 北京市别墅区私家庭园园林绿化管理[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2013, 34(3): 37-42.
- [7] 蔡国华, 徐毅. 居住区景观绿化的营造与养护[J]. 农业科技与信息(现代园林), 2008(12): 32-34.
- [8] 张小红. 常见园林树木移植与栽培养护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [9] 余源鹏. 物业环境绿化与清洁管理实操一本通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [10] 杜万涛, 张玉忱, 王英. 浅谈沈阳近郊别墅区园林绿化养护管理[J]. 上海蔬菜, 2012(1): 81-85.

提, 等. 阿克苏市主要行道树叶面滞尘对叶片气体交换的影响[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(11): 28-31.

- [4] 王景琦. 浅析沙尘暴对北方农业生产的影响[J]. 吉林省教育学院学报(学科版), 2010, 26(6): 157-158.
- [5] 乔冠皓, 陈警伟, 刘肖瑜, 等. 两种常见绿化树种对大气颗粒物的滞留与再悬浮[J]. 应用生态学报, 2017, 28(1): 266-272.
- [6] 范舒欣, 晏海, 齐石茗月, 等. 北京市26种落叶阔叶绿化树种的滞尘能力[J]. 植物生态学报, 2015, 39(7): 736-745.
- [7] 高金晖, 王冬梅, 赵亮, 等. 植物叶片滞尘规律研究: 以北京市为例[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(2): 94-99.
- [8] 阿衣古丽·艾力亚斯, 玉米提·哈力克, 阿丽亚·拜都热拉, 等. 阿克苏市常见园林树种叶片重金属含量分布特征[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(1): 192-196.
- [9] 阿衣古丽·艾力亚斯, 玉米提·哈力克, 依力哈木·艾力亚斯, 等. 新疆阿克苏市13种绿化树种滞尘量特征[J]. 中国沙漠, 2014, 34(6): 1475-1479.
- [10] 叶超, 李旭艳. 新疆园林绿化树种的选择及发展对策: 以乌鲁木齐市为例[J]. 时代农机, 2015, 42(8): 157-158.
- [11] 李寒娥, 王志云, 谭家得, 等. 佛山市主要城市园林植物滞尘效益分析[J]. 生态科学, 2006, 25(5): 395-399.
- [12] 刘光立, 陈其兵. 四种垂直绿化植物杀菌滞尘效应的研究[J]. 四川林业科技, 2004, 25(3): 53-55.
- [13] 赵华军, 王立, 赵明, 等. 沙尘暴粉尘对不同作物气体交换特征的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 202-206.
- [14] 马霄华, 韩伟, 蔡寅潮, 等. 沙尘对辣椒和西柿光合特性的影响[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(1): 47-51.
- [15] 李恩宝, 刘美华, 吕连宏, 等. 临安市8种绿化植物滞尘能力及光合响应差异[J]. 森林与环境学报, 2017, 37(2): 236-240.
- [16] 李超群, 钟梦莹, 武瑞鑫, 等. 常见地被植物叶片特征及滞尘效应研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24(12): 2050-2055.