

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

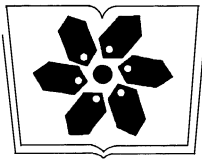
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **2013**

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 33 卷 第 8 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

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/stxb201201100054

刘璐, 管东生, 陈永勤. 广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力. 生态学报, 2013, 33(8): 2604-2614.

Liu L, Guan D S, Chen Yongqin David. Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2604-2614.

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力

刘 璐^{1,2,3}, 管东生^{1,2,*}, 陈永勤⁴

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; 2. 广东省环境污染控制与修复技术重点实验室, 广州 510275

3. 广州市污水处理有限责任公司, 广州 510655; 4. 香港中文大学地理与资源管理学系, 沙田, 新界, 香港)

摘要:以广州市常见的 18 种行道树为对象,通过扫描电镜观察比较了行道树的叶表面形态结构、应用接触角测定仪测定了绿化树种叶片的接触角对滞尘能力的影响。结果表明:不同树种的滞尘量差异显著,18 种植物叶片雨后第 26 天的最大滞尘量在 0.066—1.831g/m²,物种间相差达 27 倍以上。叶表面具有网状结构,气孔密度较大(20<气孔密度<60 个)且气孔开口较大(如芒果)容易滞留粉尘;叶表面平滑具有蜡质层,气孔排列整齐,无明显起伏(如红花羊蹄甲、桃花心木、大叶紫薇、鹅掌藤),滞尘能力较弱。植物叶片接触角与滞尘量呈负相关($r=-0.614$),接触角<90°的表现亲水性。易润湿的植物叶片雨后第 26 天最大滞尘量在 1.0—1.831g/m²,叶片表面的形态结构凹凸不平,具有钩状或脊状褶皱、突起等且 20<气孔密度<60 范围内,测得的接触角较小(芒果、重阳木、高山榕),使得粉尘与植物叶片接触面积较大,粉尘不易从叶面脱落,滞尘能力较强。而接触角较大的盆架树、麻楝、大叶紫薇、鹅掌藤和红花羊蹄甲的滞尘量均<1.0g/m²,其特殊的表面结构和疏水的蜡质使颗粒物不易吸附在植物叶片上,因此滞尘能力较弱。由此可见,植物叶表面蜡质含量和气孔密度及其叶片接触角的大小是影响植物叶片滞尘能力的主要因素,在进行城市绿化时,适当考虑选择叶表面形态有利于滞尘的绿化树种,将可提高城市植被的环境效应。

关键词:行道树;叶表面结构;滞尘能力;接触角;广州城市

Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality

LIU Lu^{1,2,3}, GUAN Dongsheng^{1,2,*}, CHEN Yongqin David⁴

1 School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2 Guangdong Provincial Key Laboratory of Environmental Pollution Control and Remediation Technology, Guangzhou 510275, China

3 Guangzhou Sewage Treatment Co. Ltd., Guangzhou 510655, China

4 Department of Geography and Resource Management, The Chinese University of Hong Kong, Shatin New Territories, Hong Kong, China

Abstract: In this study, we selected eighteen species of common street trees along main roads in Guangzhou Municipality to observe and compare their leaf surface morphology using Scanning Electron Microscopy (SEM), and to evaluate how the contact angle of water droplet on leaf surfaces measured by goniometer influence the dust-retaining capability. It was found that the maximum leaf dust-retaining capabilities per unit area of the eighteen species of trees 26 days after rainfall were 0.066—1.831g/m², indicating significant differences (up to 27 times) among different trees. The plants with network structure on leaf surface, having high stomatal density and large opening of stomata, such as *Mangifera Indica*, have strong dust-retaining capability; while those whose leaf surfaces are smooth and covered by epicuticular wax with stomata arranged regularly without obvious undulation, such as *Bauhinia blakeana*, *Swietenia mahogani*, *Lagerstroemia indica* Linn. and *Scheffera arboricola*, have poor dust-retaining capability. There was a significant negative relationship between leaf contact

基金项目:国家自然科学基金项目(No.40971054)

收稿日期:2012-01-10; 修订日期:2012-06-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: eesgds@mail.sysu.cn

angle and dust-retaining capability ($r = -0.614$). Leaves with contact angle smaller than 90° demonstrate hydrophilicity. Their maximum dust-retaining capabilities 26 days after rainfall ranged from 1.0 to 1.831 g/m^2 . For leaves with rugged morphological structure, hook or ridge-shaped rumple, prominence and stomata density ranging from 20 to 60, the measured contact angles are smaller, making the contact area between leaf and dust larger. Therefore, it is not easy for dust on such trees as *Mangifera Indica*, *Bischofia Polycarpa* and *Ficus altissima Bl.*, to detach from leaf surface and these species have a strong dust-retaining capability. On the contrary, the special surface structure and hydrophobic wax of tree leaves with larger contact angle, such as *Alstonia scholaris*, *Chukrasia tabularis*, *Lagerstroemia indica Linn.*, *Scheffera arboricola* and *Bauhinia blakeana*, make it difficult for dust particles to attach to leaves, resulting in small dust-retaining capabilities of less than 1.0 g/m^2 . This study has shown that the wax content of surface foliage, stomata density and contact angle of leaves are the three main factors controlling the dust-retaining capability. It is therefore advisable to consider choosing tree species whose leaf surface morphology enhances dust-retaining capability for urban greening and thus to improve the environmental effectiveness of urban vegetation.

Key Words: street trees; morphological structure of leaves; dust-retaining capability; contact angle; Guangzhou Municipality

近年来,随着全球工业化和城市化的迅猛发展,颗粒物污染已成为严重的城市环境问题^[1-3]。珠江三角洲是典型的城市群区域,区域性大气复合性污染如颗粒物污染等日益严重。这些颗粒物不仅影响大气的能见度,产生大气光化学烟雾,加剧城市的温室效应^[4],同时这些粉尘颗粒物携带大量有毒物质和致病菌,直接危害人们的身体健康,可引发呼吸道、支气管、肺功能等疾病,增加死亡率等^[5]。大量研究证明,植物能净化空气中的颗粒物,特别是在消纳、吸收大气污染物,提高空气环境质量上具有显著的效果^[6]。植物叶片因其表面性能(如茸毛和腊质表皮等)可以截取和固定大气颗粒污染物,使其脱离大气环境而成为净化城市的重要过滤体,由此,植物可作为大气污染物的吸收器,降低大气粉尘浓度,是一种从大气环境去除颗粒物的有效途径^[7]。叶面滞留大气颗粒物能力是城市行道树绿化树种选择的重要指标^[5]。不同植物对粉尘的滞留能力及滞尘机理存在较大差异^[8]。因此,在城市环境日益恶化情况下,研究城市行道树的滞尘机理,为选择和优化城市行道树的种类,对降低城市大气颗粒污染物和提高空气质量具有重要的参考意义。

近年来,国内外学者在城市植物滞留大气颗粒物机理和改善城市环境等方面进行了一些开拓性的工作^[6,9-12]。在国内,这方面的工作主要集中在哈尔滨^[13]、东北地区^[14]、北京^[12]、青岛^[11]等城市,初步得出了植物滞尘的一些规律。然而,植物对粉尘的滞尘机理方面的系统研究尚显薄弱。本文选取广州市常见行道树为调查对象,测定行道树植物叶片的滞尘能力,研究不同植物叶片表面形态结构和叶片润湿性对植物滞尘能力的影响,探讨行道树植物叶片的滞尘机理,旨在为城市绿化树种的选择提供科学依据。

1 研究区概况

广州市位于 $22^\circ 26' - 23^\circ 56' \text{N}$, $112^\circ 57' - 114^\circ 3' \text{E}$,属亚热带季风气候,日照充足,热量丰富,长夏无冬,雨量充沛,干湿季明显。平均相对湿度 77%,市区年降雨量为 1600 mm 以上。城区主要是由泥质、砂土质凝结而成的坚固砾岩、致密角砾岩或砾岩状砂岩组成的红色岩系,为三角洲平原与丘陵台地过渡区,地势东北高,西南低。市中心海拔 15—25 m,北部白云山海拔 282 m,越秀山 70.8 m^[15]。在全国十大城市中,广州市的大气污染较为严重,虽然工业废气污染源近几年得到一定的控制,但随着第三产业的迅速发展和城区的不断扩建,城市机动车数量的迅速猛增和建筑工地的扬尘污染日益严重,导致大气固体悬浮物成为广州城区环境空气中的主要污染物。2010 年广州市环境空气质量 3 项主要指标二氧化硫、二氧化氮、可吸入颗粒物年均浓度分别为 0.033、0.053、0.069 mg/m^3 ,均达到国家空气质量的二级标准,但可吸入颗粒物浓度相对较高^[16]。

2 研究方法

2.1 供试植物选择及样品采集

考虑广州市绿化树种的多样性和采集可行性,根据现有物种及供试树种采集数据的可比性,遵循普通、常

见、量多的原则选择供试植物种类。选取广州市路况相似的交通干道:东晓路、昌岗东路、前进路、怡乐路,新港西路、滨江东路,沿江中路,选取的采样点路旁为住宅区、学校或公园,所有采样点均避开工厂和繁华商贸区,选择最为常见的 18 种植物,其中常绿乔木 15 种:芒果(*Mangifera Indica*)、海南红豆(*Ormosia pinnata*)、麻楝(*Chukrasia tabularis*)、垂叶榕(*Ficus benjamina* Linn.)、细叶榕(*Ficus microcarpa*)、高山榕(*Ficus altissima* Bl.)、小叶榄仁(*Terminalia mantaly*)、盆架树(*Alstonia scholaris*)、重阳木(*Bischofia polycarpa*)、红花羊蹄甲(*Bauhinia blakeana*)、桃花心木(*Swietenia mahogani*)、木棉(*Bombax malabaricum* DC.)、大叶紫薇(*Lagerstroemia indica* Linn.)、大叶榕(*Ficus virens* var. *sublanceolata*)、二乔木兰(*Magnolia soulangeana* Soul. - Bod);常绿灌木 3 种:鹅掌藤(*Scheffera arboricola*)、扶桑花(*Hibiscus rosa-sinensis*)、灰莉(*Fagraea ceilanica*)。据研究,植物的叶面滞尘能力约在 24 d 以上达到饱和(即最大滞尘量)^[2],本研究于 2010 年 12 月于雨后 26 d 采样,为减少误差,所有样品采样均在一天内完成。乔木约 3—5 m 高处采样,灌木采样高度约 1—2 m,采样过程中均戴上聚乙烯塑料手套,用聚乙烯塑料袋分装采集的叶片。在采集过程中,剪枝叶时一定不能过于摇动以免灰尘抖落,每个树种选择 5 株样树,在每株树的 4 个方向上下不同部位采集成熟健康叶片约 100—150 g,然后把每株树的 100—150 g 样品合并,即得混合样品。同时,用高枝剪剪下枝条插入装有水的烧杯中,带回实验室,用于测定叶片表面与蒸馏水和二碘甲烷的接触角和最大滞尘量。采样点见图 1。

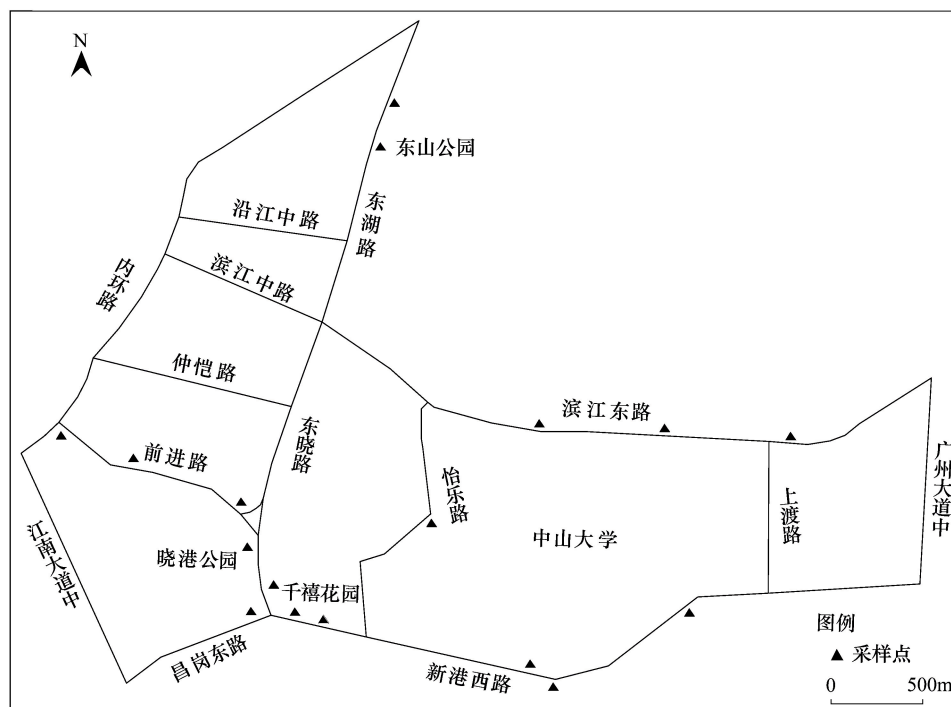


图 1 广州道路采样布点示意图

Fig. 1 Sampling sites of road in Guangzhou

2.2 植物叶面积测定

采用打孔称重法。取每树种已晾干的叶片 20 片,在实验室用打孔器打孔,打下叶片的小圆片即面积是定值,将 20 个小圆片称重,再将 20 片全部叶称重,用小圆片与全部叶的重量与面积的比例关系,计算出采集样品的全部叶面积,记为 A。同时称量每个树种采集回来叶片的总重,记为湿重。

2.3 植物叶片滞尘能力测定

将采集植物叶片分别放入 KQ5200 型数控超声波清洗器用蒸馏水进行彻底冲洗,用镊子将叶片夹出,并用蒸馏水冲洗 3 次洗净,浸洗液用已烘干称重(W_1)的微孔滤膜($\phi=0.45\mu\text{m}$)抽滤,将滤膜置于培养皿中在 85℃烘箱下烘 4h,烘至恒重,冷却至室温,用分析天平(万分之一)称重(W_2),2 次重量之差(W_2-W_1)即为采

集植物叶面上所附着的滞尘重量。

$$\text{干重滞尘量} = (W_2 - W_1) / \text{洗净叶片烘干重} (\text{g/g})$$

$$\text{单位叶面积滞尘量} = (W_2 - W_1) / A (\text{g/m}^2)$$

$$\text{单叶滞尘量} = \text{单位面积滞尘量} \times \text{单片叶片的平均叶面积} (\text{g})$$

2.4 不同树种叶表面微结构观察

(1) 样品固定 从树体上选择适量叶片,立即封存于塑料袋内以防挤压或叶片纤毛被破坏,于实验室内,在叶脉两侧的中部将新鲜叶片切成边长约 5mm 的小方块,立即用 2.5% 戊二醛溶液进行固定 4h;

(2) 清洗 用 0.1 mol 的磷酸缓冲液冲洗 4 次,每次 20 min;

(3) 脱水 梯度乙醇脱水,本实验采用 30% (2 次,每次 10 min)、50% (2 次,每次 10 min)、70% (1 次,浸泡过夜)、90% (1 次,15 min) 和 100% (1 次,15 min);

(4) 置换 脱水后在乙酸异戊酯中置换 2 次,每次 10—15 min;

(5) 干燥、粘台 置换后再临界点干燥 3h,待小瓶内的冰晶挥发后取出粘台;

(6) 在 IB5 型离子镀膜仪中溅射镀金膜,在 JSM-6330F 型冷场发射扫描电镜上观察。

2.5 接触角测定

液滴在固体表面处于平衡状态时,在液体所接触的固体与气相的分界点处做液滴表面的切线,此切线在液体一方与固体表面的夹角称为接触角(θ)。根据界面化学基本原理,接触角可以定量描述液体在固体表面上的润湿程度, $\theta=90^\circ$ 可作为润湿与不润湿的界限, $\theta<90^\circ$ 时可润湿, $\theta>90^\circ$ 时不润湿;对于接触角较大的情况下水滴在叶面团成球状的情形称作斥水性^[17]。

在室温条件下,用静滴接触角/界面张力测量仪(JC2000C1,上海中晨科技发展有限公司)分别在 10 个叶片上测定叶片正背面的接触角。同一叶片沿中脉分开,分别用作正面和背面接触角的测定。选取叶片较平坦的表面并尽量避开叶脉,制成约 1cm×1cm 的样本,铺平后用双面胶粘于玻璃板上后置于静滴接触角/界面张力测量仪的载物台上,然后调节毛细管出水,在叶面上形成约 6 μL 大小的液滴,利用 CCD 成像(图像放大率 266Pixel·mm⁻¹)后采用量角法测定接触角大小。图 2 为水滴在 2 种典型的润湿和不润湿(斥水性)叶面上的形态。

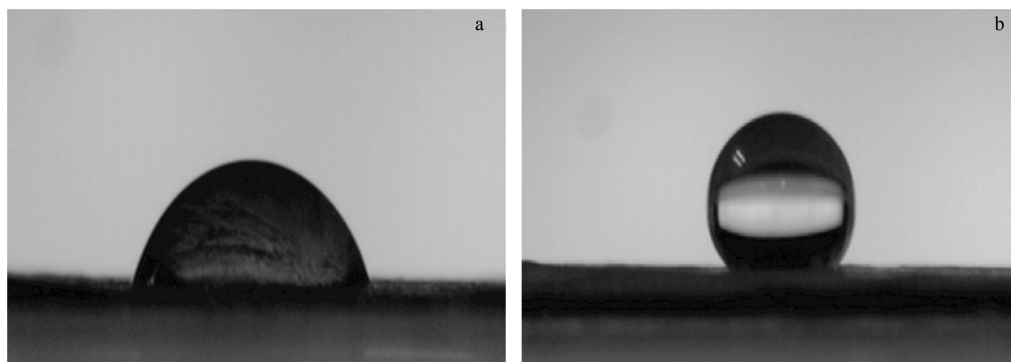


图 2 水滴在 2 种典型的润湿(a)和不润湿(斥水性)(b)叶面上的形态

Fig. 2 Contacting states of water droplet on two typical plant leaf surfaces

2.6 数据处理

运用 Excel 2007 和 SPSS17.0 进行实验数据的描述统计分析,用单因素方差分析(one-way ANOVA)物种之间最大滞尘量的差异分析。采用 Origin 8.5 软件进行绘图,图像由 Photoshop CS3 处理。

3 结果与分析

3.1 主要行道树叶面滞尘量比较

按单位面积滞尘量分析,雨后 26 天物种间最大滞尘量有显著差异,在 0.066—1.831 g/m²(表 1),其中滞

尘量最大的芒果为 1.831 g/m²,重阳木其次,为 1.789 g/m²,高山榕居三,为 1.707 g/m²,滞尘量最小的桃花心木为 0.066 g/m²,最大值为最小值的 27.74 倍;其中灌木树种中,滞尘能力依次为灰莉>扶桑花>鹅掌藤。

植物的叶片表面结构形态、质地、类型及叶面积都直接影响着颗粒物在叶片表面的滞尘能力^[3]。在植物叶片滞尘量的研究中,除了用单位叶面积滞尘量表达外,也有用单叶面积滞尘量和干重滞尘量来表述植物的滞尘量^[18-19]。本研究结果表明,单叶面积滞尘量最大的树种为红花羊蹄甲(0.0491 g),干重滞尘量最大的树种为海南红豆(0.0267 g/g)。由于不同树种的叶片有大小之分,当植物单个叶片面积较大时,其单叶面积滞尘量就占优势;而干重滞尘量主要受叶片厚薄的影响。红花羊蹄甲的单叶面积较大,所以其单叶面积滞尘量大,但其单位面积的滞尘量和干重滞尘量却很小。在本研究中,海南红豆的干重滞尘量最大是因为其叶片的厚度较薄,而高山榕和大叶紫薇的叶片较厚,其干重滞尘量较小。因为树木的总叶面积大小同时受单个叶片面积和叶片数量的影响,植物的单叶面积较大,并不意味着其总叶面积也大。此外,由于叶片有厚薄之分,同样重量的叶片其叶面积往往不同。从本研究的结果看,单位面积滞尘量与单叶面积滞尘量及干重滞尘量并不一致。因为叶表面积是影响植物滞尘量的一个最重要的直接因素,所以单位面积滞尘量是反映不同树种滞尘能力最合理的指标。

表 1 广州市主要绿化树种的滞尘量比较
Table 1 Comparison on the dust-retention capability of major afforested plants in Guangzhou

物种 Species	单位面积滞尘量 Unit area dust detention /(g/m ²)	单叶面积滞尘量 /g Unifoliate dust detention	干重滞尘量 /(g/g) Dry weight dust detention
芒果 (<i>Mangifera Indica</i>)	1.831 (1)	0.0088 (6)	0.0208 (5)
重阳木 (<i>Bischofia Polycarpa</i>)	1.789 (2)	0.0020 (11)	0.0258 (2)
高山榕 (<i>Ficus altissima</i> Bl.)	1.707 (3)	0.0119 (3)	0.0136 (11)
垂叶榕 (<i>Ficus benjamina</i> Linn.)	1.616 (4)	0.0010 (16)	0.0220 (4)
海南红豆 (<i>Ormosia pinnata</i>)	1.451 (5)	0.0018 (13)	0.0267 (1)
小叶榄仁 (<i>Terminalia mantaly</i>)	1.401 (6)	0.0029 (10)	0.0197 (7)
细叶榕 (<i>Ficus microcarpa</i>)	1.202 (7)	0.0004 (17)	0.0109 (12)
灰莉 (<i>Fagraea ceilanica</i>)	1.147 (8)	0.0035 (9)	0.0075 (14)
大叶榕 (<i>Ficus virens</i> var. <i>sublanceolata</i>)	1.083 (9)	0.0019 (12)	0.0198 (6)
木棉 (<i>Bombax malabaricum</i> DC.)	1.050 (10)	0.0091 (5)	0.0149 (9)
盆架树 (<i>Alstonia scholaris</i>)	0.968 (11)	0.0060 (8)	0.0223 (3)
扶桑花 (<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	0.778 (12)	0.0016 (15)	0.0146 (10)
二乔木兰 (<i>Magnolia soulangeana</i> Soul. -Bod)	0.767 (13)	0.0094 (4)	0.0073 (15)
麻楝 (<i>Chukrasia tabularis</i>)	0.720 (14)	0.0002 (18)	0.0196 (8)
红花羊蹄甲 (<i>Bauhinia blakeana</i>)	0.529 (15)	0.0491 (1)	0.0100 (13)
大叶紫薇 (<i>Lagerstroemia indica</i> Linn.)	0.512 (16)	0.0134 (2)	0.0050 (16)
鹅掌藤 (<i>Scheffera arboricola</i>)	0.284 (17)	0.0017 (14)	0.0025 (17)
桃花心木 (<i>Swietenia mahogani</i>)	0.066 (18)	0.0075 (7)	0.0007 (18)

括号中的数字为滞尘能力排序(从大到小)

3.2 植物叶面微结构与滞尘的关系

根据测定树种的滞尘能力(表 1),分别选出滞尘能力较强的树种(芒果、重阳木和高山榕),滞尘能力一般的树种(小叶榄仁、细叶榕、大叶榕、木棉和扶桑花),及滞尘能力较弱的树种(麻楝、红花羊蹄甲、大叶紫薇、鹅掌藤和桃花心木),对其叶片样品进行电镜扫描。结果表明,由表 2 可以看出,所测 13 个树种的叶表面气孔特征,可分为圆形(芒果和高山榕)、长圆形(重阳木、大叶榕、木棉、麻楝)、卵圆形(小叶榄仁、细叶榕和鹅掌藤)和无规则形态(大叶紫薇、红花羊蹄甲和桃花心木)。气孔密度在 1—232(个/视野 400 倍)范围内,其中红花羊蹄甲的密度最大为 232 个,大叶榕(89)、桃花心木(76)、芒果(51)次之,扶桑花的气孔密度最小,仅为 1 个。芒果细胞突起形成一个网格结构,在网格内布满气孔,无表皮纤毛(图 3-1);重阳木表皮保卫细胞突起,

且拱盖在气孔口上(图 3-2);细叶榕表皮趋于平滑,角质膜呈浅波浪状凸起,无表皮毛和腺体,气孔凹陷于角质层之下,角质层拱盖突起完全包围气孔,呈亮白色近圆形并略高于相邻的角质膜,拱盖内外缘平滑(图 3-3);大叶榕表皮呈现较浅的网状纹饰,不具表皮附属物(图 3-4);木棉气孔呈放射状平行分布,叶面上有较高的条形突起(图 3-5);麻楝既有纤毛又有一定的浅沟(图 3-6);大叶紫薇和鹅掌藤都具有类似网状或蜂窝状的沟状组织(图 3-7,8);桃花心木气孔密度较大且较为平滑,无明显的起伏(图 3-9);扶桑花气孔密度较小,气孔周围密集有较浅的线形纹饰(图 3-10);红花羊蹄甲表面具有纤毛且覆盖蜡质层(图 3-11);小叶榄仁气孔密度较小,气孔开口较小(图 3-12);高山榕叶表面较光滑,表面有明显的蜡质层,气孔密度较大,孔口近似圆形,无表皮纤毛(图 3-13)。麻楝和红花羊蹄甲的纤毛属单列毛,由单列细胞组成,毛体较柔软,呈短圆柱形,排列较稀疏。以上各树种均没有发现特殊分泌物。

表 2 13 种绿化植物叶面气孔特征

Table 2 Surface characteristics of stomata in the thirteen afforested plants

物种 Species	气孔形态 Stomatal morphology	气孔密度(个/视野 400 倍) Stoma density
(1) 芒果(<i>Mangifera Indica</i>)	圆形	51
(2) 重阳木(<i>Bischofia Polycarpa</i>)	长圆形	21
(3) 高山榕(<i>Ficus altissima</i> Bl.)	圆形	19
(6) 小叶榄仁(<i>Terminalia mantaly</i>)	卵圆形	5*
(7) 细叶榕(<i>Ficus microcarpa</i>)	卵圆形	17
(9) 大叶榕(<i>Ficus virens</i> var. <i>sublanceolata</i>)	长圆形	89
(10) 木棉(<i>Bombax malabaricum</i> DC.)	长圆形	15
(12) 扶桑花(<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	圆形	1
(14) 麻楝(<i>Chukrasia tabularis</i>)	长圆形	35
(15) 红花羊蹄甲(<i>Bauhinia blakeana</i>)	无规则	232
(16) 大叶紫薇(<i>Lagerstroemia indica</i> Linn.)	无规则	19
(17) 鹅掌藤(<i>Scheffera arboricola</i>)	卵圆形	18
(18) 桃花心木(<i>Swietenia mahogani</i>)	无规则	76

括号中为单位叶面积滞尘量顺序; * 在 1000 倍视野下

植物叶片的微结构与其滞尘能力密切相关,叶片的粗糙程度及叶片上下表皮具有毛的形状、数量,气孔密度大等特征是造成滞尘能力差异的原因^[8]。本研究中,滞尘量较大的芒果、重阳木和高山榕其叶表面粗糙且凹凸不平具有网状结构或沟状组织,气孔密度集中在 20—60(个/视野 400 倍),且气孔开口较大,在一定程度上更容易阻滞灰尘及各种粒径的颗粒物,使深藏其间的颗粒物很难再次被风或少量雨水带走,故能稳定滞尘。其雨后 26 d 最大滞尘量分别达到 1.831g/m²、1.789g/m² 和 1.707g/m²。细叶榕表皮突起与凹陷形成的立体空间较易吸附粉尘;大叶榕表面具有沟槽,凹浅不一,使得粉尘更易沉积在槽内,它们的滞尘量也较大。当气孔密度<20(个/视野 400 倍)或>60(个/视野 400 倍)的时候,植物的滞尘量发生转折,所测供试树种中细叶榕的气孔密度为 17 个、大叶榕 89 个,其滞尘量相对低于前 3 种植物。木棉气孔密度为 15 个(<20),叶面上有较高的条形突起不利于灰尘的沉积;扶桑花气孔密度最小,由于气孔周围密集有较浅的线形纹饰,附在上面颗粒物很容易被风或雨冲刷掉,故滞尘能力一般。麻楝气孔密度为 35 个且具有纤毛,但其毛体柔软,排列稀疏,不易阻滞颗粒物;而红花羊蹄甲的气孔密度为 232 个(>>60),且表面覆有蜡质,较难吸附灰尘;大叶紫薇和鹅掌藤的叶表面革质且光滑、垂周壁突起相连成为网格状,不易滞留粉尘;桃花心木气孔密度较大但开口较小且平滑,不易使粉尘停滞其上,这些树种的滞尘能力都较弱。

3.3 植物叶片表面的润湿性与滞尘量的关系

所测 18 种植物叶片正面接触角大小在 72°—120°(表 3)。最小为芒果,为 71.8°。而最大的为红花羊蹄甲,平均为 119.3°。依据石辉和李俊义^[21]的研究,将植物叶片正面的接触角大于 90°的定为是不湿润,即水

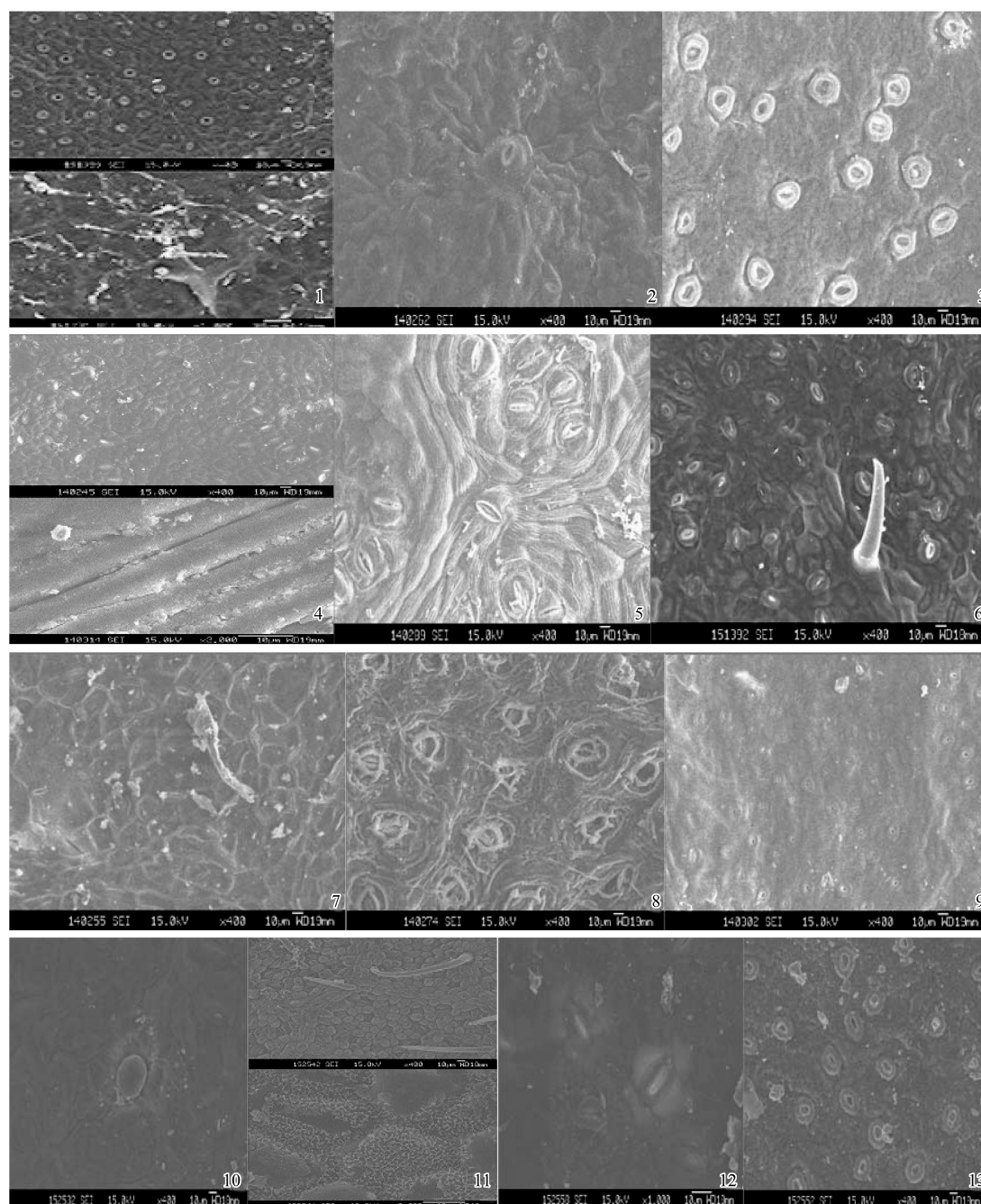


图3 13种植物叶片气孔分布扫描电镜图像

Fig.3 Scanning electron micrographs of micro-configurations of leaf stoma in thirteen plants

芒果(*Mangifera Indica*); (2) 重阳木(*Bischofia Polycarpa*); (3) 细叶榕(*Ficus microcarpa*); (4) 大叶榕(*Ficus virens* var. *sublanceolata*); (5) 木棉(*Bombax malabaricum* DC.); (6) 麻楝(*Chukrasia tabularis*); (7) 大叶紫薇(*Lagerstroemia indica* Linn.); (8) 鹅掌藤(*Scheffera arboricola*); (9) 桃花心木(*Swietenia mahogani*); (10) 扶桑花(*Hibiscus rosa-sinensis*); (11) 红花羊蹄甲(*Bauhinia blakeana*); (12) 小叶榄仁(*Terminalia mantaly*); (13) 高山榕(*Ficus altissima* BL.)

分不能在叶面上展开成膜;小于 90° 的为湿润。除盆架树、麻楝、红花羊蹄甲、大叶紫薇和鹅掌藤以外,其它13种植物均为湿润植物,占测定总数的72.2%;接触角在 90° — 95° 之间处于湿润与非湿润过渡区间的物种有益架树、麻楝、大叶紫薇和鹅掌藤4种,占22.2%;接触角大于 95° 以上的不湿润物种只有红花羊蹄甲,占5.6%。测定的18个植物中背面的接触角平均为 100.6° ,一般情况下背面的接触角大于正面的接触角(表3),它们之间达到36.6%的显著水平。图4给出了18种植物滞尘量和叶片正面接触角大小的关系。由图5可以看出,

滞尘量基本随接触角的增大而降低,接触角同滞尘量呈显著负相关($r=-0.614$)。

表 3 十八种植物的叶面特征及接触角大小
Table 3 Leaf characteristics and contact angle of eighteen species

物种 Species	科别 Genus	接触角大小 Contact angle/(°)		叶面形态 Leaf morphology
		正面 Adaxial surface	背面 Abaxial surface	
芒果(<i>Mangifera Indica</i>)	漆树科	71.8	79.2	叶革质,无毛
重阳木(<i>Bischofia Polycarpa</i>)	大戟科	75.1	100.3	小叶片卵形或椭圆状卵形基部圆形或近心形,边缘有钝锯齿
高山榕(<i>Ficus altissima</i> Bl.)	桑科	74.8	98	厚革质,有光泽,广卵形至广卵状椭圆形,顶端钝急尖,基部圆形或钝,全缘,两面无毛
垂叶榕(<i>Ficus benjamina</i> Linn.)	桑科	82.6	103.4	薄革质,卵形至狭卵形或椭圆形,顶端渐尖,微弯,有光泽,全缘
海南红豆(<i>Ormosia pinnata</i>)	豆科	82	103.8	先端圆或微凹,基部近圆形,两面密生短柔毛,薄膜质,表面深绿色,背面灰绿色,被以绿色粉末
小叶榄仁(<i>Terminalia mantaly</i>)	使君子科	72	82.4	小叶枇杷形,具短绒毛,呈广椭圆形,叶端较阔,叶质厚,呈革质。叶背基部中脉的两边,各有两枚细小的腺体
细叶榕(<i>Ficus microcarpa</i>)	桑科	79.8	99.1	呈椭圆形,叶端突然收窄至一短尖端,基部渐尖削,边全缘,叶质光滑,质感厚而紧密,叶脉并不显著
灰莉(<i>Fagraea ceilanica</i>)	马钱科	76.2	98.8	稍肉质,椭圆形或倒卵状椭圆形,侧脉不明显
大叶榕(<i>Ficus virens</i> var. <i>subanceolata</i>)	桑科	80.3	96.1	厚革质,长椭圆形,含乳白液汁,广卵形至广卵状椭圆形,顶端钝急尖,基部圆形或钝,全缘,两面无毛
木棉(<i>Bombax malabaricum</i> DC.)	木棉科	74.6	109.5	长椭圆形,两端尖,全缘,无毛
盆架树(<i>Alstonia scholaris</i>)	夹竹桃科	90.2	142.7	纸质,椭圆形、长圆形或披针形,叶表有光泽,蓇葖果细长,两端具柔软缘毛
扶桑花(<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	锦葵科	72.7	47.6	阔卵形至狭卵形,先端突尖或渐尖,叶缘有粗锯齿或缺刻,基部近全缘,秃净或背脉有少许疏毛,形似桑叶
二乔木兰(<i>Magnolia soulangeana</i> Soul.-Bod)	木兰科	84.4	98.8	叶倒卵形或宽倒卵形,先端宽圆,下面具柔毛,叶纸质,叶柄被柔毛,有托叶痕
麻楝(<i>Chukrasia tabularis</i>)	楝科	93.8	87.4	小叶片端渐尖,基部钝圆,呈纸质;叶背有凸起的叶脉,略见绒毛
红花羊蹄甲(<i>Bauhinia blakeana</i>)	苏木亚科	119.3	141.1	全缘,叶脉掌状,有叶柄,托叶小,近圆形,顶端急尖,基部心形,两面无毛
大叶紫薇(<i>Lagerstroemia indica</i> Linn.)	千屈菜科	90.2	93.8	叶片革质,枝,椭圆形或卵状椭圆形,稀披针形,先端钝形或短尖,基部阔楔形至圆形,两面均无毛
鹅掌藤(<i>Scheffera arboricola</i>)	五加科	94.8	130	革质富光泽,倒卵形或长椭圆
桃花心木(<i>Swietenia mahogani</i>)	楝科	87.2	98.7	叶斜卵形,全缘,小叶具短小叶柄,斜卵形,先端渐锐,基部歪形

以上结果为 10 个重复的测量平均值

4 讨论

树种间滞尘能力的差异是由叶片的形态结构特征决定的,叶片的粗糙程度及叶片上下表皮具有毛的形状、数量,分泌物等是造成滞尘能力差异的原因^[13]。Chamberlin 的研究认为叶面的粗糙度影响细小颗粒物的滞留,颗粒物与叶面之间的物理作用力则是影响较大颗粒物滞留的主要因素^[21]。叶片表面着生细密绒毛,颗粒物与叶片表面接触并进入绒毛之间,被绒毛卡住,难以脱落,从而有利于颗粒物的滞留,而绒毛密度较小且呈较长的针状时,不利于颗粒物的滞留^[3]。从不同树种滞尘能力和叶表微结构特征的对照可以看出,叶片是通过其细微结构来阻滞降尘,Freer-Smith 等^[9]、余曼等^[22]和李海梅等^[1]研究表明叶表粗糙或凹凸不平具有沟状组织、表面有褶皱或呈现网状、沟状,气孔器凹陷于褶皱形成的凹陷中,密集脊状突起特点,保卫细胞与周围

角质突起的连接区形成具网格形纹饰的植物更容易使颗粒物深藏其中。石辉等^[23]研究也表明叶片表面存在大量的沟状、孔状峰谷区域和凹陷,使得叶面的粗糙度较高,这样的结构有利于颗粒物的滞留。滞尘能力较大的三个树种(芒果、重阳木和高山榕)叶面粗糙呈凹凸状,并具有网状组织或叶缘具有锯齿状特征。陈芳等^[24]研究表明绒毛密度对颗粒物的滞留能力有较大影响。有研究表明松科植物枝叶能分泌树脂、黏液、胶状液体等特殊分泌物,植物叶片靠分泌的油脂等特殊分泌物吸附颗粒物,使颗粒物粘附在叶片上,很难被雨水冲刷^[5,14]。研究发现大部分阔叶树种均无特殊分泌物^[1,13]。Burkhardt 等^[25]风洞实验表明,细小的颗粒(直径约为 $0.5\mu\text{m}$)多积聚在针叶树的气孔附近。叶表面平滑、气孔多为长圆形且周围明显蜡质层加厚、气孔周围条形细胞略呈放射状平行分布,垂周壁突起相连成为网格状,细胞排列较为紧密,这些特征不利于植物滞尘,本研究中滞尘能力较弱的红花羊蹄甲和鹅掌藤也具有这一特征。

据研究,叶片的润湿性对植物滞尘能力具有较强的影响,叶表面的润湿性表现了叶片对水的亲和能力,叶片接触角较大时,由于叶片表面表皮细胞突起,叶片表面蜡质、绒毛和气孔对叶片的润湿性有一定程度的影响,接触角随蜡质含量升高而增大,表现出疏水性,直接导致叶片与颗粒污染物的接触面积较小,使得污染物与叶表面的亲和力减小,从而影响粉尘的停滞^[26-28]。一些研究者发现叶片表面蜡质、绒毛数量、质地、形态和气孔对叶片的润湿性有一定程度的影响。植物叶片的接触角随蜡质含量的升高而增大,二者之间的正相关关系不显著^[29-30]。Brewer 和 Nuñez^[31]的研究结果表明,植物叶表面气孔密度较大的物种具有较强的疏水性。王会霞等^[3]、石辉和李俊义^[32]研究表明叶片接触角和滞尘量之间呈显著负相关。在测定的 13 种植物中,大叶紫薇、鹅掌藤的细胞覆有蜡质层,红花羊蹄甲气孔密度最大加之其特殊的蜡质表面不宜润湿增加了它的斥水性,测得的接触角较大,使得叶片与粉尘等污染物的接触面积较小,导致颗粒物与叶片表面的亲和力较小,所以不易润湿的叶片滞尘能力较小。对于接触角较小的润湿叶片,与水的亲和力较大,水分在润湿性强的叶面上铺展呈膜,加上叶片表面的形态结构凹凸不平、具有钩状或脊状褶皱、突起等使得粉尘不易从叶面脱落,滞尘能力相对较强^[3],亲水型的芒果正面气孔密度较大,覆面交织呈网状,重阳木、高山榕的气孔凹凸不平,所测接触角较小,滞尘能力较大。

致谢:样品采集得到余扬帆、拉姆次仁、王刚、王浩、肖敏志、高健、林超群、胡艳萍等的帮助,叶片接触角的测定

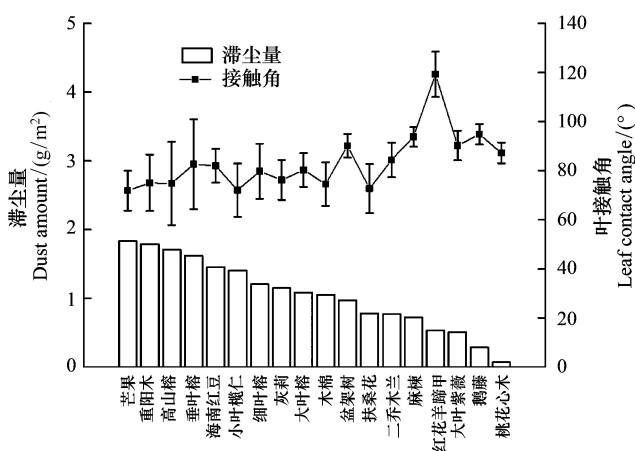


图4 供试植物叶片滞尘量和叶正面接触角

Fig. 4 Dust-capturing capacity and leaf contact angle on adaxial surface

芒果 (*Mangifera indica*); 重阳木 (*Bischofia polycarpa*); 高山榕 (*Ficus altissima* Bl.); 垂叶榕 (*Ficus benjamina* Linn.); 海南红豆 (*Ormosia pinnata*); 小叶榄仁 (*Terminalia mantaly*); 细叶榕 (*Ficus microcarpa*); 灰莉 (*Fagraea ceilanica*); 大叶榕 (*Ficus virens* var. *subanceolata*); 木棉 (*Bombax malabaricum* DC.); 盆架树 (*Alstonia scholaris*); 扶桑花 (*Hibiscus rosa-sinensis*); 二乔木兰 (*Magnolia soulangeana* Soul.-Bod); 麻楝 (*Chukrasia tabularis*); 红花羊蹄甲 (*Bauhinia blakeana*); 大叶紫薇 (*Lagerstroemia indica* Linn.); 鹅掌藤 (*Scheffera arboricola*); 桃花心木 (*Swietenia mahogany*)

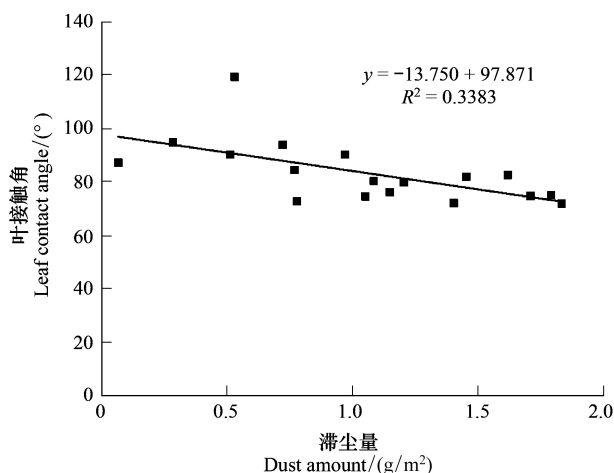


图5 植物叶片滞尘量与叶接触角的关系

Fig. 5 Correlations between leaf contact angle and dust-capturing capability

得到王会霞(西安建筑科技大学)等的协助,特此致谢。

References:

- [1] Li H M, Liu X. Relationships between leaf epidermal morphology and dust-retaining capability of main garden trees in Chengyang District of Qingdao City. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(10): 1659-1662.
- [2] Qiu Y, Guan D S, Song W W, Huang K Y. Capture of heavy metals and sulfur by foliar dust in urban Huizhou, Guangdong Province, China. *Chemosphere*, 2009, 75(4): 447-452.
- [3] Wang H X, Shi H, Li Y Y. Relationships between leaf surface characteristics and dust-capturing capability of urban greening plant species. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(12): 3077-3082.
- [4] Christoforou C S, Salmon L G, Hannigan M P, Solomon P A, Cass G R. Trends in fine particle concentration and chemical composition in southern California. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2000, 50(1): 43-53.
- [5] Gao J H, Wang D M, Zhao L, Wang D D. Airborne dust detainment by different plant leaves: Taking Beijing as an example. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(2): 94-99.
- [6] Zhou Z X, Shao T Y, Wang P C, Gao C, Xu Y Y, Guo E X, Xu L H, Ye Z Q, Peng X M, Yu C J. The spatial structures and the dust retention effects of green-land types in the Workshop district of Wuhan Iron and Steel Company. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2036-2040.
- [7] Qiu Y, Guan D S, Song W W, Peart M. R. The dust retention effect of urban vegetation in Huizhou, Guangdong Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2455-2462.
- [8] Guo W, Shentu Y J, Zheng S Q, Wang W, Liu C F. Research advances on mechanisms and rules of dust retention of the urban green areas. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(6): 1465-1470.
- [9] Freer Smith PH, Holloway S, Goodman A. The uptake of particulates by an urban woodland: Site description and particulate composition. *Environment Pollution*, 1997, 95(1): 27-35.
- [10] Beckett KP, Freer-Smith P, Taylor G. The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites. *Arboricultural Journal*, 2000, 24(2/3): 209-230.
- [11] Freer Smith PH, Beckett KP, Taylor G. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* × *trichocarpa* 'Beaupre', *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution*, 2005, 133(1): 157-167.
- [12] Wang L, Gao S Y, Liu L Y, Ha S. Atmospheric particle retaining capability of eleven garden plant species in Beijing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 597-601.
- [13] Chai Y X, Zhu N, Han H J. Dust removal effect of urban tree species in Harbin. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9): 1121-1126.
- [14] Chen W, He X Y, Zhang Y, Sun Y, Wang W F, Ning Z H. Dust absorption effect of urban conifers in Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2113-2116.
- [15] Zheng Z Q. Study on the features of street trees in Guangzhou. *Urban Environment and Urban Ecology*, 1996, 9(3): 38-41.
- [16] Bulletin of the State of the environment in Guangzhou of 2010 http://www.gzepb.gov.cn/zwgk/hjgh/201106/t20110607_66789.htm
- [17] Wang H X, Shi H, Li Y Y. Leaf surface wettability of major plant species for urban greening in Xi'an and related affecting factors. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(4): 630-636.
- [18] Liang S Y. Study on Physio-Ecological Characteristics and Mechanisms of Purifying Air of Common Urban Tree Species [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2005.
- [19] Yu X R. The Characteristic of Foliar Dust of Main Afforestation Tree Species in Nanjing and Association With Leaf's Surface Micro-Structure [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008.
- [20] Shi H, Li J Y. Primary research on the wettability of leaves of selected plants in Shaanxi Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29(3): 202-205.
- [21] Beckett K P, Freer-Smith P H, Taylor G. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 1998, 99(3): 347-360.
- [22] Yu M, Wang Z X, Lei Y, Li Z Q, Tan Q. Study on dust detainment effect of major species of greening trees in Wuhan. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2009, 3(7): 1333-1339.
- [23] Shi H, Wang H X, Li Y Y, Liu X. Leaf surface microstructure of *Ligustrum lucidum* and *Viburnum odoratissimum* observed by atomic force microscopy (AFM). *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(5): 1471-1477.
- [24] Chen F, Zhou Z X, Guo E X, Ye Z Q. Dust-retention effect of ornamental green land in urban industrial area: a case study in Wuhan Iron and

- Steel Company workshop area. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(1): 34-38.
- [25] Burkhardt J, Peters K, Crossley A. The presence of structural surface waxes on coniferous needles affects the pattern of dry deposition of fine particles. *Journal of Experimental Botany*, 1995, 46(7): 823-831.
- [26] Neinhuis C, Barthlott W. Seasonal changes of leaf surface contamination in beech, oak and ginkgo in relation to leaf micromorphology and wettability. *New Phytologist*, 1998, 138(1): 91-98.
- [27] Hanba Y T, Moriya A, Kimura K. Effect of leaf surface wetness and wettability on photosynthesis in bean and pea. *Plant, Cell and Environment*, 2004, 27(4): 413-421.
- [28] Koch K, Bhushan B, Barthlott W. Multifunctional surface structures of plants: an inspiration for biomimetics. *Progress in Materials Science*, 2009, 54(2): 137-178.
- [29] Wang H X, Shi H, Li Y Y. Leaf surface wettability of major plant species for urban greening in Xi'an and related affecting factors. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(4): 630-636.
- [30] Shi H, Wang H X, Li Y Y. Wettability on plant leaf surfaces and its ecological significance. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4287-4298.
- [31] Brewer C A, Nuñez C I. Patterns of leaf wettability along an extreme moisture gradient in western Patagonia, Argentina. *International Journal of Plant Sciences*, 2007, 168(5): 555-562.
- [32] Shi H, Li J Y. Primary research on the wettability of leaves of selected plants in Shaanxi Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29(3): 202-205.

参考文献:

- [1] 李海梅, 刘霞. 青岛市城阳区主要园林树种叶片表皮形态与滞尘量的关系. *生态学杂志*, 2008, 27(10): 1659-1662.
- [3] 王会霞, 石辉, 李秧秧. 城市绿化植物叶片表面特征对滞尘能力的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(12): 3077-3082.
- [5] 高金晖, 王冬梅, 赵亮, 王多栋. 植物叶片滞尘规律研究—以北京市为例. *北京林业大学学报*, 2007, 29(2): 94-99.
- [6] 周志翔, 邵天一, 王鹏程, 高翊, 徐永荣, 郭尔祥, 徐隆辉, 叶贞清, 彭行梅, 于春杰. 武钢厂区绿地景观类型空间结构及滞尘效应. *生态学报*, 2002, 22(12): 2036-2040.
- [7] 邱媛, 管东生, 宋巍巍, Peart M. R. 惠州城市植被的滞尘效应. *生态学报*, 2008, 28(6): 2455-2462.
- [8] 郭伟, 申屠雅瑾, 郑述强, 王惟, 刘常富. 城市绿地滞尘作用机理和规律的研究进展. *生态环境学报*, 2010, 19(6): 1465-1470.
- [12] 王蕾, 高尚玉, 刘连友, 哈斯. 北京市 11 种园林植物滞留大气颗粒物能力研究. *应用生态学报*, 2006, 17(4): 597-601.
- [13] 柴一新, 祝宁, 韩焕金. 城市绿化树种的滞尘效应—以哈尔滨市为例. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1121-1126.
- [14] 陈玮, 何兴元, 张粤, 孙雨, 王文菲, 宁祝化. 东北地区城市针叶树冬季滞尘效应研究. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2113-2116.
- [15] 郑芷青. 广州城市行道树特征分析. *城市环境与城市生态*, 1996, 9(3): 38-41.
- [16] 2010 年广州市环境状况通报 http://www.gzepb.gov.cn/zwgk/hjgb/201106/t20110607_66789.htm
- [17] 王会霞, 石辉, 李秧秧. 西安市常见绿化植物叶片润湿性能及其影响因素. *生态学杂志*, 2010, 29(4): 630-636.
- [18] 梁淑英. 南京地区常见城市绿化树种的生理生态特性及净化大气能力的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [19] 俞学如. 南京市主要绿化树种叶面滞尘特征及其与叶面结构的关系[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [20] 石辉, 李俊义. 植物叶片润湿性特征的初步研究. *水土保持通报*, 2009, 29(3): 202-205.
- [22] 余曼, 汪正祥, 雷耘, 李中强, 谭庆. 武汉市主要绿化树种滞尘效应研究. *环境工程学报*, 2009, 3(7): 1333-1339.
- [23] 石辉, 王会霞, 李秧秧, 刘肖. 女贞和珊瑚树叶片表面特征的 AFM 观察. *生态学报*, 2011, 31(5): 1471-1477.
- [24] 陈芳, 周志翔, 郭尔祥, 叶贞清. 城市工业区园林绿地滞尘效应的研究—以武汉钢铁公司厂区绿地为例. *生态学杂志*, 2006, 25(1): 34-38.
- [29] 王会霞, 石辉, 李秧秧. 西安市常见绿化植物叶片润湿性能及其影响因素. *生态学杂志*, 2010, 29(4): 630-636.
- [30] 石辉, 王会霞, 李秧秧. 植物叶表面的润湿性及其生态学意义. *生态学报*, 2011, 31(15): 4287-4298.
- [32] 石辉, 李俊义. 植物叶片润湿性特征的初步研究. *水土保持通报*, 2009, 29(3): 202-205.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《生态学报》2013 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,探索自然奥秘,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,300 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 吕永龙

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 33 卷 第 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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 90.00 元