

京郊越冬植被叶片滞尘效应研究

杜 玲, 张海林, 陈 阜 *

(中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193)

摘 要:采用水洗过滤法定量评价北京地区不同植被叶片冬春季的滞尘情况。结果表明,小黑麦、冬小麦、油菜、紫花苜蓿、菠菜 5 类植被的叶片均有滞尘效果,冬春季的平均周滞尘量大小排序为菠菜>小黑麦>油菜>冬小麦>紫花苜蓿,其中,冬小麦和紫花苜蓿叶片的周滞尘量显著低于其他 3 种植被叶片,冬小麦与紫花苜蓿的叶片周滞尘量无显著差异,菠菜、小黑麦和油菜的叶片周滞尘量也无明显区别;植被叶片在冬季和春季的滞尘效果有差异,菠菜、油菜和小黑麦的叶片在春季的周滞尘量大于冬季,冬小麦和紫花苜蓿则相反,并且冬季时期菠菜叶片的周滞尘量显著大于紫花苜蓿,其他 3 种植物间滞尘量无显著差异,春季时期菠菜、油菜、小黑麦叶片的周滞尘量显著大于冬小麦和紫花苜蓿。运用逐步回归分析法,分析得出影响小黑麦和冬小麦叶片滞尘效果的主要因素为降雨量、最大风速、覆盖度,影响菠菜滞尘效果的因素不显著。

关键词:滞尘能力;生态功能;越冬植被;京郊

中图分类号:X173 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)02-0249-06

Dust-retention Ability of Winter Vegetations' Leaves in Beijing Suburb, China

DU Ling, ZHANG Hai-lin, CHEN Fu*

(College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The purpose of this study is to evaluate the Leaf Dust-Retention Ability (LDRA) of five different vegetations around Beijing suburb in winter and the followed spring. Washing and filtering method was adopted to measure the dust-retention ability after a weekly sampling. It was found that all of the five tested vegetable leaves had dust-retention effect. LDRA of spinach, triticale and rape were significantly higher than that of winter wheat and alfalfa during the whole study period, average ability were spinach>triticale>rape>winter wheat>alfalfa. LDRA of five vegetations was changed in season, that of spinach, rape, and triticale in spring was greater than in winter, while an opposite trend was showed on winter wheat and alfalfa. In winter the LDRA of spinach was the highest of all and alfalfa was the lowest, and in spring LDRA of spinach, rape, triticale was significantly greater than the winter wheat and alfalfa; By using the stepwise regression analysis, it was suggested that rainfall, maximum wind speed and coverage were main factors that impacted the LDRA of triticale and winter wheat, however, there was no factor could significantly effect the LDRA of spinach.

Keywords: dust retention; ecological function; winter vegetation; Beijing suburb

随着社会经济的迅速发展,北京的大气环境问题愈来愈突出^[1-3]。2000 至 2007 年,北京地区的生产总值增长近 4 倍,同期北京市常住人口由 1 107 万人增至 1 633 万人,能源总消耗量由 $4\,144 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 标准煤增至 $6\,285 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 标准煤,机动车保有量由 158 万辆增加到 307 万辆,给首都环境质量和生态状况带来较大压力^[4],2002 年 3 月北京发生沙尘暴天气时,

总颗粒物浓度高达 $109 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,高出国家颗粒物污染标准的 54 倍。2006 年北京市的降尘量达 $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,总降尘量为 33 万 $\text{t}^{[5]}$,环境空气质量不仅远远差于欧洲及北美城市,即使与国内大城市相比也相对较差^[6-7]。大气颗粒物污染是城市主要环境问题,在目前尚不能完全依赖污染源治理以解决环境问题情况下,借助自然界的清除机制是缓解城市大气污染压力的有效途径^[8-10]。

植被叶片因其表面性能(如茸毛和腊质表皮等)可以截取和固定大气颗粒物,使颗粒物脱离大气环境而成为消减城市大气环境污染的重要过滤体^[11-12],一定的地表覆盖率对于提高空气质量、降低大气颗粒物

收稿日期:2010-07-21

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(201103001)

作者简介:杜 玲(1983—),女,安徽宿州人,在读硕士生,研究方向为生态农业及农业政策研究。E-mail:ling.830@163.com

* 通讯作者:陈 阜 E-mail:chenfu@cau.edu.cn

浓度有重要作用^[13-14]。北京市 2007 年冬季农田覆盖面积 21.4 万 hm^2 , 覆盖率达 91.96%。庞大面积的植被群体, 对减少空气中粉尘, 改善生活居住环境意义重大。因此研究植被叶片的滞尘效果很有实际意义。本文以北京市郊区具有一定种植面积的越冬植被为研究对象, 探究植被叶片的滞尘效果及影响机制。

1 材料与方法

研究选择在北京市顺义区大孙各庄镇, 该区位于北京市东北郊, 气候属暖温带半湿润大陆性季风性气候, 年平均气温为 11.5 $^{\circ}\text{C}$, 年日照 2 750 h, 无霜期 195 d 左右。年均相对湿度 60%, 年均降雨量 625 mm, 为华北地区降水量较均衡的地区之一。本研究以北京市主要的越冬植被为研究对象, 包括冬小麦、小黑麦、油菜、菠菜、紫花苜蓿, 测定其植被叶片的滞尘效果及影响其滞尘效果的影响因素。

1.1 采样方法

采样时间选在冬春季, 分别于 2008 年 11 月和 2009 年 3—4 月。对 5 种植物叶片每隔 7 d 采样一次, 冬前(11 月)采样 2 次, 冬后在北京沙尘暴天气最严重的 3—4 月份采样。其中, 菠菜、冬小麦、小黑麦共测定 8 次, 但由于在 3—4 月时油菜和紫花苜蓿叶片尚未返青恢复生长, 植株叶片均枯死凋落, 覆盖度基本为 0, 无法对滞尘量进行测定, 因此油菜和紫花苜蓿的滞尘量分别测定了 5 次和 4 次。

采样前需确保植物叶片干净, 用洗瓶(内装蒸馏水)冲掉植物叶片之前的粉尘, 让其重新滞尘; 采样时, 需兼顾植物不同位置的叶片, 如外围叶片及中心叶片等。清洗完的叶片上挂上标签进行标记。

1.2 滞尘效果评定方法

植被叶片滞尘效果用平均滞尘量表示, 平均滞尘量为单位叶面积在单位时间内滞留的粉尘量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{周}^{-1}$)。植被叶片阻滞的粉尘量通过滤纸过滤清洗叶片的洗液来测定, 同时需要设立空白试验以测定滤纸的校正系数^[15]。

1.2.1 空白试验

取单张滤纸测量其重 W_0 , 用蒸馏水冲洗, 除去可溶性物质, 在 105 $^{\circ}\text{C}$ 条件下烘干 4 h, 再测量其重 W_{01} , 则该批滤纸的校正系数为:

$$F = \frac{W_0 - W_{01}}{W_0}$$

1.2.2 滞尘量测定

将取回叶片放在容器内清洗, 并放在振荡器上振

荡 30 min, 使得叶片上的灰尘充分掉落; 然后将浸液静置 24 h, 倒去清水。

测量定量滤纸重量 W_1 , 用蒸馏水清洗滤纸 3~4 次后, 过滤剩余浸洗液。在 105 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 烘干滤纸 4 h, 达到恒重, 再测其重量 W_2 。从烘干后到称重之前, 需要放在干燥器内, 保持滤纸恒重。则叶片上滞尘量为:

$$\Delta W = W_2 - W_1 + W_1 \times F$$

另外, 植被叶片的叶面积 A 采用叶面积仪测定。 $\Delta W/A$ 即为该植被的周滞尘量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{周}^{-1}$)。

2 结果与分析

2.1 不同植被叶片滞尘效果分析

由于各植物的生育期特点的不同, 本研究针对不同植物种设定了不同的取样时间和取样次数。在 11 月份 5 种植物的取样时间相同, 春季时期取样时间有所不同。

由表 1 可看出各植被叶片单位叶面积每周的滞尘量是不同的, 由于受外界环境影响因素较大, 每种植物叶片的周滞尘量波动均较大。比较各植物种叶片周滞尘量的均值, 5 类植物的滞尘效果大小排序为: 菠菜>小黑麦>油菜>冬小麦>紫花苜蓿。对表 1 不同植物叶片滞尘量值进行方差分析, 在显著性为 0.01 时 $F=9.10 > F_{\text{crit}}=3.62$, 说明以上植被种间至少有 1 种植物叶片的滞尘能力明显高于其他植物种。

费歇最小显著法对表 1 中不同植物叶片周滞尘量作多重比较分析得出, 在显著水平为 0.01 条件下, 冬小麦和紫花苜蓿叶片的滞尘量显著低于其他 3 种植物的叶片滞尘量, 这可能是因为小黑麦、菠菜、油菜

表 1 京郊五种越冬植被叶片的滞尘效果($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{周}^{-1}$)

Table 1 The dust-retention capacity of five winter vegetables in Beijing suburb($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{week}^{-1}$)

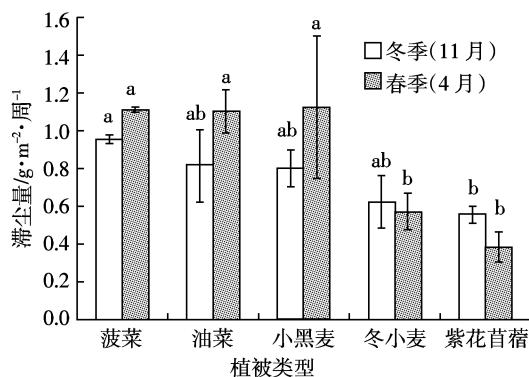
植被种类	取样次数	周滞尘量范围	平均值	标准差
菠菜	8	0.858~3.100	1.342a	0.739
油菜	5	0.677~1.837	1.134b	0.434
小黑麦	8	0.729~2.292	1.332ab	0.610
冬小麦	8	0.502~1.070	0.744c	0.232
紫花苜蓿	4	0.327~0.587	0.468c	0.113

注: 表中不同字母表示差异显著($P < 0.01$)。具体取样时间: 菠菜、小黑麦、冬小麦: 2008.11.07—11.14, 2008.11.14—11.21, 2009.03.07—03.13, 2009.03.13—03.20, 2009.03.20—03.27, 2009.03.27—04.03, 2009.04.03—04.10, 2009.04.10—04.17; 油菜: 2008.11.07—11.14, 2008.11.14—11.21, 2009.03.27—04.03, 2009.04.03—04.10, 2009.04.10—04.17; 紫花苜蓿: 2008.11.07—11.14, 2008.11.14—11.21, 2009.04.03—04.10, 2009.04.10—04.17。

的叶片叶面粗糙且多茸毛,对粉尘具有粘附作用,同时叶片相对较宽大,平展,硬挺且沟槽多而深,对于滞留粉尘有帮助。相对的,冬小麦和紫花苜蓿的叶片则较为光滑和单薄,滞尘效果减弱。由多重比较得出,菠菜叶片的周滞尘量与小黑麦叶片间无显著差异,但极显著大于油菜、冬小麦和紫花苜蓿,冬小麦与紫花苜蓿的叶片周滞尘量无显著差异。

2.2 不同季节植被叶片滞尘效果变化

选取5类植被冬季和春季共同的取样时期,对其周滞尘量的平均值进行比较,结果如图1所示。根据方差分析的结果,在显著水平0.01的条件下,冬季时期菠菜叶片的滞尘效果显著大于紫花苜蓿,其他3种植被间滞尘效果无显著差异。春季时期,菠菜、油菜、小黑麦叶片的滞尘效果显著大于冬小麦和紫花苜蓿。另外,菠菜、油菜和小黑麦在春季的叶片周滞尘量大



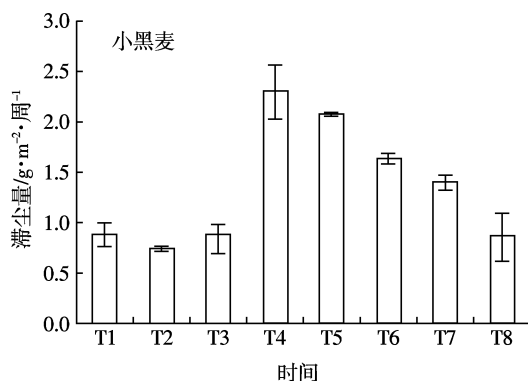
注:图中不同字母表示差异显著($P < 0.01$)

冬季的取样时期为:2008.11.07—11.14;2008.11.14—11.27

春季的取样时期为:2009.04.03—04.10,2009.4.10—04.17

图1 五类植被冬季与春季滞尘效果变化

Figure 1 The comparison of the five vegetables' dust-retention capacity in winter and spring



T₁:2008.11.07—11.14,T₂:2008.11.14—11.21,T₃:2009.03.07—03.13,T₄:2009.03.13—3.20;

T₅:2009.03.20—03.27,T₆:2009.03.27—04.03,T₇:2009.04.03—04.10,T₈:2009.4.10—04.17

图2 不同时期小黑麦和冬小麦叶片周滞尘量的变化

Figure 2 The dust-retention capacity of triticale and winter wheat in varied times

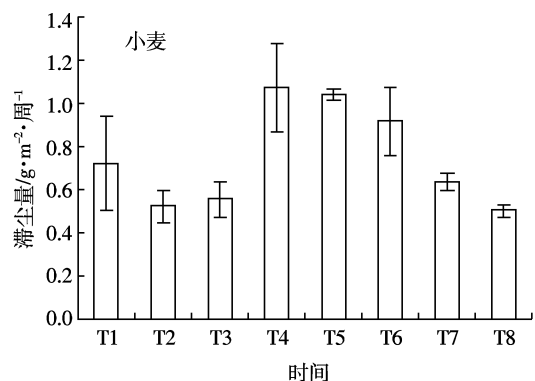
于冬季的周滞尘量,而冬小麦和紫花苜蓿却相反,冬季的周滞尘量大于春季。结合客观实际,北京市2009年4月份的风沙量明显大于2008年11月份风沙量,对于菠菜、油菜和小黑麦这类具备滞尘优势结构的植被叶片来说,滞尘量也会随之加大,但对于叶片相对较单薄的冬小麦和紫花苜蓿,过多的吹风时间或者较大的风速,则会使已经滞留在叶片上的粉尘再次吹起,最终保留在叶片上的粉尘量减少。

2.3 各类植被不同时期滞尘量的变化及其影响因素探讨

2.3.1 小黑麦和冬小麦

由图2所示,小黑麦和冬小麦在测量期间的叶片周滞尘量变化趋势大致相同,在冬季11月份(T₁和T₂),随着日期的推后,小黑麦和冬小麦的滞尘效果均逐渐减弱。到了第二年春季后,T₃(2009.03.07—03.13)测量期的周滞尘量依旧与冬季持平,但在T₄(2009.03.13—03.20)时均达到了滞尘量的最大值,小黑麦为 $2.292 g \cdot m^{-2} \cdot 周^{-1}$,冬小麦为 $1.070 g \cdot m^{-2} \cdot 周^{-1}$,随着时间的再推后,两种作物的滞尘效果呈现下降趋势。

本研究选取春季时期测量的值,通过对土壤表层0~5 cm 土壤湿度以及不同测量时期植被覆盖度的测定,结合当地气象局的气象数据,摸索各因素与植被叶片滞尘量的关系。采用的分析方法为逐步回归分析法,即“有进有出”的逐步筛选出对叶片滞尘能力有显著影响程度的影响因素,最后建立回归方程。这里选取的影响因素包括: x_1 ——测量期平均大气湿度; x_2 ——测量期平均风速, $m \cdot s^{-1}$; x_3 ——测量期最大风速, $m \cdot s^{-1}$; x_4 ——测量期每日最大风速平均值, $m \cdot s^{-1}$;



x_5 ——测量期总降雨量, mm; x_6 ——测量期平均气温, $^{\circ}\text{C}$; x_7 ——测量期田地平均覆盖度; x_8 ——测量期田地平均土壤湿度。

根据试验统计数据, 进行逐步回归分析后, 小黑麦的回归方程为

$$Y = -3.946 - 0.589x_5 + 0.312x_3 + 2.303x_7 (R^2 = 0.944)$$

冬小麦的回归方程为

$$Y = -1.757 - 0.263x_5 + 0.155x_3 + 0.919x_7 (R^2 = 0.836)$$

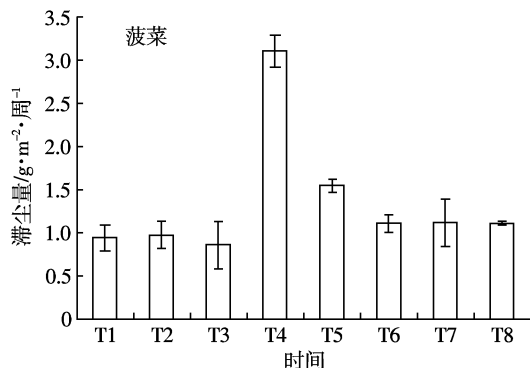
即影响小黑麦和冬小麦叶片滞尘效果的主要因素为降雨量、最大风速、覆盖度。

2.3.2 菠菜

由图 3 所示, 菠菜叶片在测量期周滞尘量变化与其他 4 类植物有所不同, 在冬季 11 月份(T_1 和 T_2), 叶片滞尘能力基本持平。第二年春季后, T_3 (2009.03.07—03.13) 测量期的滞尘能力依旧与冬季的滞尘水平相差无几, 但在 T_4 (2009.03.13—03.20) 时达到了滞尘能力的最大值为 $3.100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{周}^{-1}$, 接着滞尘能力急剧下降达到冬季滞尘水平。随着时间的推后, 叶片滞尘能力依旧保持平稳。按照对菠菜的周滞尘量进行影响因素分析, 若采用上述逐步回归法进行分析, 发现构建回归方程不成功, 即表示所列的各项指标因素没有突出显著影响菠菜叶片滞尘能力的项目。若通过进入回归法(即将所有列因素均列入回归方程)可建立回归方程为

$$Y = -5.164 + 5.455x_1 + 0.621x_3 - 0.394x_4 - 1.071x_5 + 0.09x_6 - 0.472x_7 - 0.9x_8 (R^2 = 0.963)$$

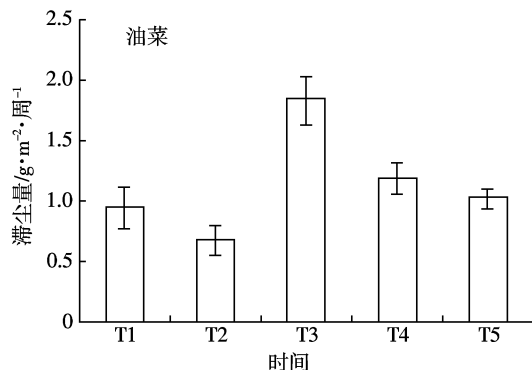
可见, 影响菠菜叶片滞尘能力的不是哪一项因素单独起主导作用, 而是各项影响因素综合作用的结果。



T_1 : 2008.11.07—11.14, T_2 : 2008.11.14—11.21, T_3 : 2009.03.07—03.13, T_4 : 2009.03.13—03.20, T_5 : 2009.03.20—03.27, T_6 : 2009.03.27—04.03, T_7 : 2009.04.03—04.10, T_8 : 2009.04.10—04.17

图 3 不同时期菠菜叶片周滞尘量的变化

Figure 3 The dust-retention capacity of spinach in varied times



T_1 : 2008.11.07—11.14, T_2 : 2008.11.14—11.21, T_3 : 2009.03.27—04.03, T_4 : 2009.04.03—04.10, T_5 : 2009.04.10—04.17

图 4 不同时期油菜叶片周滞尘量的变化

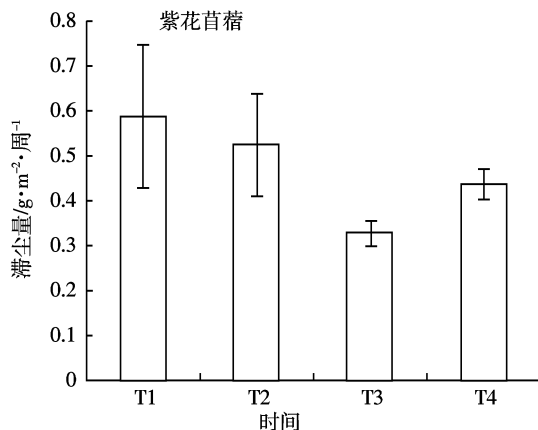
Figure 4 The dust-retention capacity of rape in varied times

2.3.3 油菜和紫花苜蓿

由图 4 所示, 油菜在测量期间的叶片滞尘能力变化趋势与小黑麦和冬小麦大致相同, 即在冬季 11 月份(T_1 和 T_2), 随着日期的推后, 叶片的滞尘量均逐渐减少。第二年春季后, T_3 (2009.03.27—04.03) 测量期的滞尘量达到最大值 $1.837 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{周}^{-1}$, 随着时间的再退后, 叶片滞尘效果呈现下降趋势。

由图 5 可见, 冬季和春季测量得到的紫花苜蓿的叶片周滞尘量没有显著差异, 相对于其他 4 类植物都较低, 可能是由于其叶片本身单薄和光滑, 冬季和春季不同的气候环境不如植物体本身特征对滞尘能力的影响大。

由于油菜和紫花苜蓿的生育特性, 使得可测量的次数有限, 因而没有进行回归分析建立方程。



T_1 : 2008.11.07—11.14, T_2 : 2008.11.14—11.21, T_3 : 2009.04.03—04.10, T_4 : 2009.04.10—04.17

图 5 不同时期紫花苜蓿叶片周滞尘量的变化

Figure 5 The dust-retention capacity of alfalfa in varied times

3 讨论

影响植被叶片滞尘效果的因素是多方面的,刘福智等^[15]从植物本体特征(树形、质地、抗性)和自然环境因素(风速、空气湿度、降水)进行过理论分析;王蕾等^[16]利用电镜观察了北京市11种园林植物叶表面微形态,通过实际测量发现植被叶片上表面滞留的大气颗粒物数量为下表面的5倍;柴一新等^[17]通过电镜观察得出结论,叶表皮具沟状组织、密集纤毛的树种滞尘能力强,叶表皮具瘤状或疣状突起的树种滞尘能力差。目前对影响植被滞尘能力的因素的研究仍停留在推测阶段,没有将影响因素与叶片的滞尘能力值进行量化分析。

本研究中,不同植被叶片间滞尘效果存在差异,这与各植被的形体特征、叶片结构等有关;同种植被在不同季节的滞尘量值也有差异,这与气象因素相关。对于某一植被叶片,究竟气象因素和植物体本身特征哪一个因素对其滞尘效果贡献更大,本文还未能给予明确结论。大气环境中颗粒物的浓度可能也会对叶片的滞尘量产生影响,但据以往的资料,北京市11月份至次年的3、4月份数值量级差别不是很大,因此没有将大气颗粒物浓度列入影响因素。鉴于年限和气候条件所限,本文只是以实验数据提出并证明植被叶片具有滞尘的生态功能,并且利用回归分析法探讨了影响植被叶片滞尘效果的若干因素,还未能建立全面而系统的模拟模型。在下一步的工作中需要将更多可能的影响因素考虑在内并扩大测量次数,兼顾植物体本身特征及气象因素条件,同时可以考虑在室内模拟进行研究。

4 结论

小黑麦、冬小麦、油菜、紫花苜蓿、菠菜5类植被的叶片均有滞尘效果。综合来说,在冬春季节的平均滞尘能力大小排序为菠菜>小黑麦>油菜>冬小麦>紫花苜蓿,其中,菠菜叶片的周滞尘量与小黑麦叶片间无显著差异,但极显著大于油菜、冬小麦和紫花苜蓿,冬小麦与紫花苜蓿的叶片周滞尘量无显著差异。

植被叶片在冬季和春季的滞尘量有差异。菠菜、油菜和小黑麦的叶片在春季的滞尘量大于冬季的滞尘量,而冬小麦和紫花苜蓿却相反,冬季的滞尘量大于春季的叶片滞尘量。另外,冬季时期菠菜叶片的滞尘量显著大于紫花苜蓿,其他3种植物间滞尘量无显著差异。春季时期,菠菜、油菜、小黑麦叶片的滞尘量

显著大于冬小麦和紫花苜蓿。

运用逐步回归分析法,分析得出影响小黑麦和冬小麦叶片滞尘效果的主要因素为降雨量、最大风速、覆盖度;而对于菠菜,没有显著影响其滞尘能力的因素。

参考文献:

- [1] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J].地理学报,2000,55(5):513-521.
YE Du-zheng, CHOU Ji-fan, LIU Ji-yuan, et al. Causes of sand-stormy weather in Northern China and control measures[J]. *Chinese Geographic Journal*, 2000, 55(5):513-521.
- [2] 任阵海,高庆先,苏福庆,等.北京大气环境的区域特征与沙尘影响[J].中国工程科学,2003,5(2):49-56.
REN Zheng-hai, GAO Qing-xian, SU Fu-qing, et al. The regional characteristics of the atmospheric environment and the impact of dust-storm in Beijing[J]. *Chinese Engineering Science*, 2003, 5(2):49-56.
- [3] 杨维西.北京沙尘天气的沙尘来源及其治理[J].林业经济,2002(7):19-22.
YANG Wei-xi. Dust sources and treatment in sand and dust season in Beijing[J]. *Chinese Forestry Economy*, 2002(7):19-22.
- [4] 韩昀峰,马民涛,宋凌艳.北京市近年来大气环境质量变化趋势分析[J].环境与可持续发展,2009(6):4-8.
HAN Jun-feng, MA Min-tao, SONG Lin-yan. Analysis on Beijing air quality in recent years[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2009(6):4-8.
- [5] 清珺,艳菊.北京地区沙尘暴的演变、成因和治理[J].科技智囊,2008(4):72-77.
QING Jun, YAN Ju. The evolution of dust storms' causes and treatment in Beijing [J]. *Chinese Think Tank of Science & Technology*, 2008(4):72-77.
- [6] Claudio Gariazzo, Camillo Silibello, Sandro Finardi. A gas/aerosol air pollutants study over the urban area of Rome using a comprehensive chemical transport model[J]. *Atmospheric Environment*, 2007;41:7286-7303.
- [7] 黄成.我国城市大气污染现状及防治对策[J].科技信息,2008,21:477-478.
HUANG Cheng. Air pollution and control measures in urban [J]. *Chinese Science & Technology Information*, 2008, 21:477-478.
- [8] 古润泽,陈自新,等.北京城市居住区绿地的滞尘效应[J].北京林业大学学报,1997,19(4):12-17.
GU Run-ze, CHEN Zi-xin, et al. Quantitative evaluation on ecological benefit of garden forestation in Beijing [J]. *Chinese Ecological Science*, 2007, 26(6):519-524.
- [9] 张秀梅,李显平.城市污染环境中适生树种滞尘能力研究[J].环境科学动态,2001(2):27-30.
ZHANG Xiu-mei, LI Xian-ping. Dust ability of suitable tree species in polluted environment in urban[J]. *Chinese Environmental Science Trends*, 2001(2):27-30.
- [10] 周志翔,邵天一,王鹏程,等.武钢厂区绿地景观类型空间结构及滞

- 尘效应[J]. 生态学报, 2002, 22(12):2036-2040.
- ZHOU Zhi-xiang, SHAO Tian-yi, WANG Peng-cheng, et al. The spatial structures and the dust retention effects of green-land types in the workshop district of Wuhan Iron and Steel Company[J]. *Chinese Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12):2036-2040.
- [11] 陈 玮, 何兴元, 张 粤. 东北地区城市针叶树冬季滞尘效应研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2):2113-2116.
- CHEN Wei, HE Xing-yuan, ZHANG Yue. Dust absorption effect of urban conifers in Northeast China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2):2113-2116.
- [12] 王赞红, 李纪标. 城市街道常绿灌木植物叶片滞尘能力及滞尘颗粒物形态[J]. 生态环境, 2006, 15(2):327-330.
- WANG Zan-hong, LI Ji-biao. Capacity of dust uptake by leaf surface of *Euonymus Japonicus* Thunb. and the morphology of captured particle in air polluted city[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2):327-330.
- [13] Pardyjak E R, Speckart S O, Yinb F, et al. Near source deposition of vehicle generated fugitive dust on vegetation and buildings: Model development and theory [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42:6442-6452.
- [14] Clausnitzer H, Singer M J. Environmental influences on respirable dust production from agricultural operations in California[J]. *Atmospheric Environment*, 2000, 34:1739-1745.
- [15] 凌小芹, 陈小强. 定量滤纸对悬浮物测定的干扰及校正[J]. 环境研究与监测, 2005, 18(4):29-30.
- LING Xiao-qin, CHEN Xiao-qiang. The interference correction of quantitative filter paper for determination of suspended solids[J]. *Environmental Study and Monitoring*, 2005, 18(4):29-30.
- [16] 刘福智, 刘加平. 植物对空气中可吸入颗粒物的量化控制及影响[J]. 青岛理工大学学报, 2005, 26(5):25-29.
- LIU Fu-zhi, LIU Jia-ping. The quantitative controlling and effect of greens on the dust in air[J]. *Journal of Qingdao Institute of Architecture and Engineering*, 2005, 26(5):25-29.
- [17] 王 蕾, 王 志, 刘连友. 城市园林植物生态功能及其评价与优化研究进展[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(1):51-54.
- WANG Lei, WANG Zhi, LIU Lian-you. Research in assessment and optimization for ecological functions of urban garden plants [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2006, 28(1):51-54.
- [18] 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[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9):1121-1126.
- CHAI Yi-xin, ZHU Ning, HAN Huan-jin. Dust removal effect of urban tree species in Harbin[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9):1121-1126.