

玉米须对大气细颗粒物的吸附及监测潜能分析

孟不凡, 钱景皓, 王雯欣, 郑桂灵, 李鹏

引用本文:

孟不凡, 钱景皓, 王雯欣, 等. 玉米须对大气细颗粒物的吸附及监测潜能分析[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(6): 1207-1212.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0004>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

升温和大 CO_2 浓度升高对不同品种小麦养分吸收的影响

孙宝宝, 刘晓雨, 袁睿, 刘成, 李婕, 张旭辉, 李恋卿, 潘根兴

农业环境科学学报. 2020, 39(6): 1389-1399 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-1376>

华南农产品主产区2005—2014年秸秆露天燃烧污染物排放估算及时空分布

杨夏捷, 马远帆, 鞠园华, 蔡奇均, 郭福涛

农业环境科学学报. 2018, 37(2): 358-368 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1105>

模拟增温对华北农田土壤碳排放的影响

杜锟, 李发东, 涂纯, 李兆

农业环境科学学报. 2020, 39(4): 691-699 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-1336>

冬季不同类型猪舍内颗粒物与微生物气溶胶浓度分布规律研究

黄凯, 唐倩, 沈丹, 戴鹏远, 刘俊泽, 李延森, 李春梅

农业环境科学学报. 2019, 38(7): 1616-1623 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1471>

控制氮肥施用引起的活性氮气体排放:脲酶/硝化抑制剂研究进展与展望

马芬, 杨荣全, 郭李萍

农业环境科学学报. 2020, 39(4): 908-922 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0129>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

孟不凡, 钱景皓, 王雯欣, 等. 玉米须对大气细颗粒物的吸附及监测潜能分析[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(6): 1207–1212.
MENG Bu-fan, QIAN Jing-hao, WANG Wen-xin, et al. Analysis of atmospheric fine particles adsorption and biomonitoring potential of corn silk[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(6): 1207–1212.



开放科学 OSID

玉米须对大气细颗粒物的吸附及监测潜能分析

孟不凡, 钱景皓, 王雯欣, 郑桂灵, 李 鹏*

(青岛农业大学资源与环境学院, 山东 青岛 266109)

摘要:通过分析中国主要玉米产区山东省 17 个地区的玉米须和叶片滞留细颗粒物($PM_{2.5}$)的能力,并与当地常规大气 $PM_{2.5}$ 浓度监测结果进行相关性分析,探寻利用当地农作物资源进行大气颗粒物生物监测的可能。结果显示:山东沿海地区大气 $PM_{2.5}$ 浓度明显低于内陆地区,与之对应的是,玉米须上 $PM_{2.5}$ 含量低的地区也位于沿海,而利用玉米叶的监测无此结果。相关性分析表明,玉米叶片上 $PM_{2.5}$ 含量与大气中 $PM_{2.5}$ 浓度无相关性,而玉米须上 $PM_{2.5}$ 滞留量与大气中 $PM_{2.5}$ 月平均浓度和雨后平均浓度均存在显著的正相关($P<0.01$),说明玉米须可有效地、较长时间地滞留细颗粒物。研究表明,玉米须上 $PM_{2.5}$ 的量不但能反映大气 $PM_{2.5}$ 的污染程度,还能反映大气 $PM_{2.5}$ 的污染分布,利用玉米须来监测大气 $PM_{2.5}$ 的污染状况具有很大的应用潜力。

关键词:大气污染;玉米须; $PM_{2.5}$; 生物吸附;生物监测

中图分类号:X513;X831 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2020)06-1207-06 doi:10.11654/jaes.2020-0004

Analysis of atmospheric fine particles adsorption and biomonitoring potential of corn silk

MENG Bu-fan, QIAN Jing-hao, WANG Wen-xin, ZHENG Gui-ling, LI Peng*

(School of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: To investigate the possibility of using local crops for biomonitoring of particulate matter, corn silk and corn leaves were collected from 17 regions of Shandong Province, a major corn-producing area in China. The mass concentrations of atmospheric fine particles ($PM_{2.5}$) adsorbed by these materials and the correlation with the results of local $PM_{2.5}$ monitoring results acquired through conventional methods were analyzed. The results showed that the $PM_{2.5}$ concentrations in the coastal areas of Shandong were significantly lower than those in the inland areas. Correspondingly, biomonitoring using corn silk showed that areas with a low $PM_{2.5}$ concentration were mostly located in coastal areas. In addition, the amount of $PM_{2.5}$ retained by corn silk was significantly positively correlated with the monthly average atmospheric $PM_{2.5}$ concentration and the average after-rain atmospheric $PM_{2.5}$ concentration ($P<0.01$); however, this phenomenon was not observed in corn leaves. Therefore, corn silk could retain $PM_{2.5}$ for longer and more effectively. The amount of $PM_{2.5}$ on corn silk reveals not only the degree of air pollution owing to $PM_{2.5}$ but also the distribution of atmospheric $PM_{2.5}$ pollution. Our findings demonstrate that corn silk, which is an agricultural waste, has great application potential in monitoring atmospheric $PM_{2.5}$ pollution.

Keywords: atmospheric contamination; corn silk; $PM_{2.5}$; biosorption; biomonitoring

目前,大气污染是当今世界面临的主要环境污染之一,据统计,2016年全球有420万未成年人因大气

污染引发的疾病而死亡^[1]。在各种大气污染物中,大气颗粒物已成为很多地区的首要污染物^[2]。大气细

收稿日期:2020-01-02 录用日期:2020-02-10

作者简介:孟不凡(1999—),女,山东东营人,从事环境生态工程研究。E-mail: 912356761@qq.com

*通信作者:李 鹏 E-mail: pengleap@163.com

基金项目:国家自然科学基金项目(41571472);山东省大学生创新创业训练计划项目(S201910435049);青岛农业大学大学生创新训练项目(2019-220)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(41571472); University Student Innovation and Entrepreneurship Training Program of Shandong Province (S201910435049); University Student Innovation Training Program of Qingdao Agricultural University (2019-220)

颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)能够进入人体呼吸道,通过血液循环进入各组织器官,与呼吸系统和心血管系统疾病密切相关,对人类危害尤其严重^[3-4]。因此,围绕 $\text{PM}_{2.5}$ 的组成来源、质量浓度变化规律、浓度限值、去除途径、监测等已经开展了大量研究工作^[2,5]。

有研究表明,农作物更容易受大气污染危害,导致产量降低。因为农作物种类较为单一、种植面积广,有较大的叶面积同空气接触并进行活跃的气体交换,不易缓冲外界的影响^[6]。因此,对农村地区大气颗粒物的组成来源、污染状况等进行监测非常必要。但是,目前大气污染监测常用的物理或化学方法需要专门的仪器,花费昂贵,不太适合于农村地区,特别是发展中国家的农村地区。而农村地区拥有大量的农作物资源,如果能直接利用当地农作物对大气污染进行监测,既易于取样,又不需特定的仪器设备以及经过专门培训的技术人员,将会特别适合于农村地区。

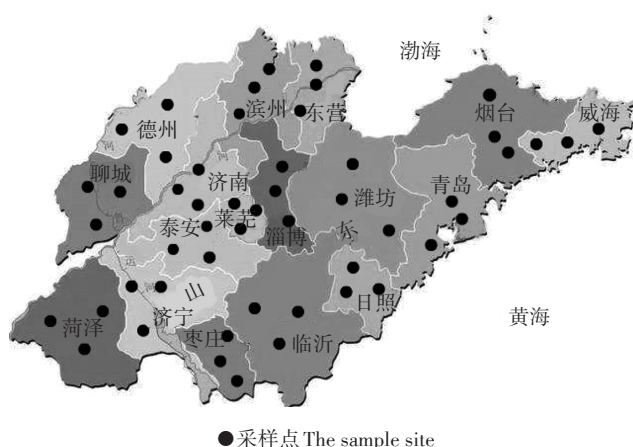
禾本科植物玉米是我国种植面积和产量最大的一类农作物^[7]。玉米须是玉米的雌花序(包含花柱和柱头),是玉米收获过程中的主要副产物之一。尽管玉米须具有一定的药用价值,但其用量少,绝大多数玉米须仍然被作为农业废弃物而随意丢弃^[8]。作为接受玉米花粉的雌性生殖器官,玉米须表面粗糙、呈黏性^[9],且直接暴露于外界空气中。很多研究已表明,表面粗糙的植物材料更有利于黏附大气颗粒状物质^[10-12]。因此,本研究以我国主要玉米产地山东省为研究区域,在山东省17个地市进行布点,以玉米须为材料,玉米叶片为对照,测定叶片表面和玉米须上吸附颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 的含量,并与环境空气中相应污染物浓度进行相关性分析,探讨玉米须可否有效滞留 $\text{PM}_{2.5}$,并分析其监测潜能。

1 材料与方法

1.1 采样

采样地点为山东省。山东地处中国东部沿海,位于东经 $114^{\circ}19'$ ~ $122^{\circ}43'$ 、北纬 $34^{\circ}22'$ ~ $38^{\circ}23'$ 。西部为黄淮海平原,连接中原;中部为鲁中山区,地势高突,泰山是全境最高点;东部为山东半岛,伸入黄海、渤海(图1)。小麦、玉米、红薯是山东的三大主要粮食作物。

采样时间为2017年9月,此时玉米已接近成熟,玉米叶和玉米须已充分生长。根据山东省环境空气质量常规监测点位所在位置(<http://58.56.98.78:8801/airdeploy.web/AirQuality/MapMain.aspx>),17个地



● 采样点 The sample site

图1 玉米叶和玉米须采样点

Figure 1 Sample sites of corn leaf and corn silk in Shandong Province

级市中每一地级市均选择3个监测点位附近农田进行采样(图1),记录采样点位与大气监测点位距离(表1)。考虑到玉米须生长周期约为1个月,而降雨对颗粒物在植物上的滞留有着显著影响^[13],故记录各地采样时雨后时间(表1),并统计分析采样前各监测点位1个月时间内以及雨后时间内 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度变化。

每块农田按梅花形布点法进行采样,选取5个采样点,每个采样点上选取3个玉米植株。统一采集玉米基部往上第10片叶(玉米共20片叶左右)和玉米须。小心移动以避免叶片和玉米须上颗粒物滑落,将叶片和玉米须分别放于防尘盒中,带回实验室进行分析。

1.2 玉米叶片表面和玉米须上 $\text{PM}_{2.5}$ 含量测定

参考张志丹等^[14]的方法,将叶片和玉米须分别用去离子水浸泡2 h,并用刷子刷洗,使其上的附着物充分浸洗下来,之后用孔径为 $2.5\ \mu\text{m}$ 的玻璃纤维滤膜进行抽滤,滤液移至已烘干称质量的干燥离心管中(W_1),在转速为 $9\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的条件下离心45 min,弃掉上清液,并用干净滤纸包裹管口以防灰尘污染。然后放入 $50\ ^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘至恒质量,取出,盖上盖子,再用万分之一天平称量(W_2),即得吸滞 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量: $W_0=W_2-W_1$ 。

以单位面积滞留量表示玉米叶片的滞尘能力。叶面积数据基于扫描仪获取,将叶片平整铺在扫描板上,利用扫描仪扫描为一张背景为纯白色的图片。利用Photoshop对图片中叶片的像素点自动识别计算像素总量,再与背景图片的整体像素大小进行比较,计算出叶片的面积 $S(\text{cm}^2)$ 。叶片单位面积 $\text{PM}_{2.5}$ 滞留量($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)= W_0/S

表1 玉米样品采样点与空气质量常规监测点的距离及雨后间隔时间

Table 1 The distance between the sample site of corn and the conventional monitoring site of atmosphere quality and time after the last rain

采样点 Sample sites	常规监测点 Conventional monitoring sites	与常规监测点距离 Distance from a conventional monitoring site/m	雨后时间 Time after the last rain/d	采样点 Sample sites	常规监测点 Conventional monitoring sites	与常规监测点距离 Distance from a conventional monitoring site/m	雨后时间 Time after the last rain/d
滨州-1	银河物流	2 000	7	日照-1	日照港务局	2 000	4
滨州-2	科灵化工	1 000	7	日照-2	岚山环保局	100	4
滨州-3	第二水厂	2 000	7	日照-3	日照市监测站	3 500	4
东营-1	东营市环保局	3 000	10	潍坊-1	潍坊学院	2 500	4
东营-2	耿井村	1 000	10	潍坊-2	潍坊开发区	2 000	4
东营-3	河口区	1 000	10	潍坊-3	寒亭区	800	4
济南-1	长清大学城	2 500	5	淄博-1	青龙山	1 000	5
济南-2	商职学院	0	5	淄博-2	淄川区	3 500	5
济南-3	农科所	1 000	5	淄博-3	博山区双山	2 500	5
德州-1	德州市监测站	4 000	5	莱芜-1	新一中学	700	5
德州-2	双一集团	1 000	5	莱芜-2	国际学校	3 200	5
德州-3	华语技校	3 000	5	莱芜-3	钢城区	800	5
聊城-1	洪顺花园	2 000	6	泰安-1	交通技校	4 400	6
聊城-2	海关	4 000	6	泰安-2	后封公司	5 100	6
聊城-3	聊城开发区	3 000	6	泰安-3	通信科技	3 000	6
菏泽-1	定陶环保局	3 000	7	青岛-1	城阳南	3 000	10
菏泽-2	牡丹高新区	1 000	7	青岛-2	黄岛北	700	10
菏泽-3	污水处理厂	2 500	7	青岛-3	李沧	1 200	10
济宁-1	污水处理厂	1 500	3	威海-1	木工机械厂	0	13
济宁-2	任城开发区	800	3	威海-2	华夏技校	2 800	13
济宁-3	农业大学	0	3	威海-3	张村政府	3 000	13
枣庄-1	枣庄市环保局	10	4	烟台-1	大季家	2 500	14
枣庄-2	污水处理厂	3 000	4	烟台-2	鲁东大学	3 000	14
枣庄-3	山亭区环保局	2 600	4	烟台-3	中国农业大学	4 400	14
临沂-1	洪福酒业	0	4				
临沂-2	临沂大学	2 200	4				
临沂-3	新光毛纺厂	3 000	4				

玉米须无法计算面积,故以单位质量颗粒物滞留量来表示其滞尘能力。将玉米须烘干,万分之一天平测其干质量 $D(g)$ 。玉米须单位质量 $PM_{2.5}$ 滞留量($\mu g \cdot g^{-1}$)= W_0/D

1.3 统计分析

利用SPSS 19.0对所得数据进行统计分析。用One way ANOVA分析大气中 $PM_{2.5}$ 浓度在不同地区间的差异,以及叶片、玉米须上 $PM_{2.5}$ 浓度的地区差异,并对各地大气中 $PM_{2.5}$ 浓度与叶片、玉米须上 $PM_{2.5}$ 含量的相关性进行分析,以Spearman相关性系数表示。对相关性强的指标,利用SPSS 19.0进一步进行多元回归分析,构建回归方程,探讨 $PM_{2.5}$ 月平均浓度与雨后平均浓度对植物上颗粒物滞留的贡献率。

2 结果

2.1 大气 $PM_{2.5}$ 质量浓度分析

$PM_{2.5}$ 月平均浓度在 $17.02 \sim 45.85 \mu g \cdot m^{-3}$ 间变动(图2),滨州市最高,威海市最低,各地区间差异显著($P < 0.05$)。浓度在 $30 \mu g \cdot m^{-3}$ 以下的有5个地区,即威海、青岛、烟台、日照和泰安,除泰安外,全部为沿海地区。

$PM_{2.5}$ 最后一次雨后平均浓度威海也是最低,为 $16.92 \pm 1.84 \mu g \cdot m^{-3}$,滨州最高,为 $55.61 \pm 10.18 \mu g \cdot m^{-3}$ (图3),各地区间也有显著差异($P < 0.05$)。浓度低的也是威海、青岛、烟台和日照4个沿海地区。

2.2 玉米须对 $PM_{2.5}$ 的滞留

$PM_{2.5}$ 玉米须滞留量最高的是莱芜,为 71.05 ± 7.48

$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量最低的是威海, 为 $17.73\pm 2.74\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 各地区间差异也非常显著 ($P<0.05$)。浓度低的威海、烟台、泰安、枣庄和青岛 5 个地区中大部分也是沿海地区(图4)。

2.3 玉米叶对 $\text{PM}_{2.5}$ 的滞留

$\text{PM}_{2.5}$ 玉米叶片滞留量在 $26.91\sim 53.38\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 间变化, 含量在 $30\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以下的有威海、莱芜、枣庄、淄博、烟台等 5 个地区, 其中既包括沿海地区, 也包括内陆地区, 且以内陆地区为主(图5)。

2.4 玉米叶片上 $\text{PM}_{2.5}$ 量与大气 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的相关性分析

相关性分析表明, 玉米叶片上 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与 $\text{PM}_{2.5}$

月平均浓度无相关性 ($R^2=0.121, P=0.397$), 与雨后 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度正相关性稍高, 但在 0.05 水平上也无显著相关性 ($R^2=0.243, P=0.086$)。

2.5 玉米须上 $\text{PM}_{2.5}$ 量与大气 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的相关性分析

玉米须上 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与环境空气中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度呈显著正相关, 与月平均浓度的 R^2 为 0.425 ($P=0.002$), 与雨后 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的 R^2 更高, 达到 0.472 ($P<0.001$)。

对玉米须上 $\text{PM}_{2.5}$ 量与环境空气中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度进行回归分析, 其回归方程为: $Y=9.947+0.773X_1+0.134X_2$ ($F=6.759, P=0.003$)。其中 Y 为玉米须上 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度, X_1 为 $\text{PM}_{2.5}$ 雨后平均浓度, X_2 为 $\text{PM}_{2.5}$ 月浓度。说明雨

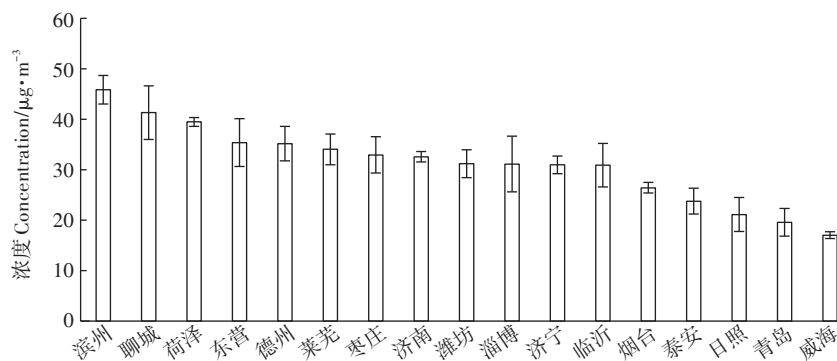


图2 各地区大气 $\text{PM}_{2.5}$ 月平均浓度

Figure 2 $\text{PM}_{2.5}$ average concentrations of a month in different districts

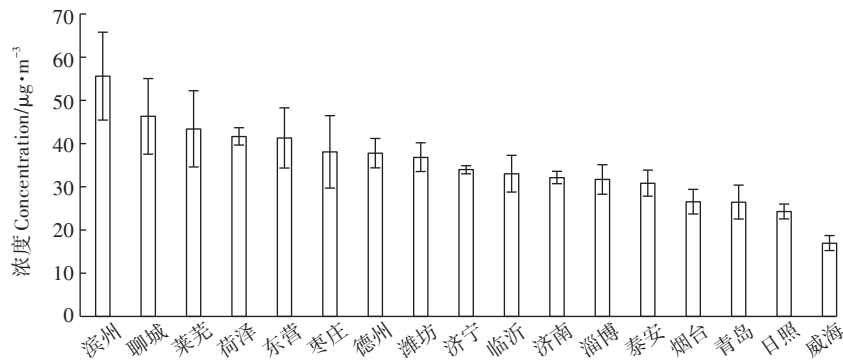


图3 不同地区大气 $\text{PM}_{2.5}$ 雨后平均浓度

Figure 3 $\text{PM}_{2.5}$ average concentrations after the last rain in different districts

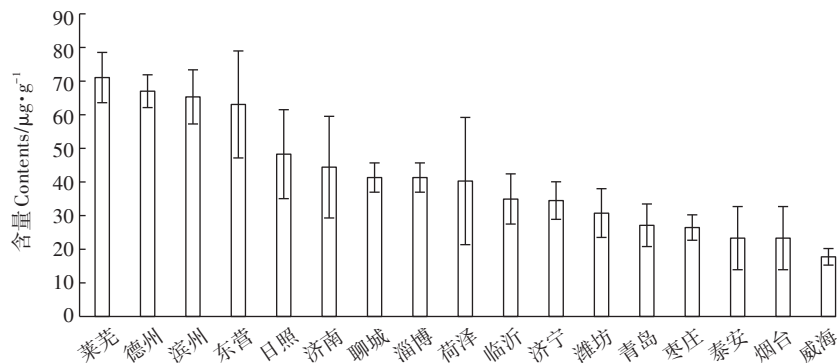
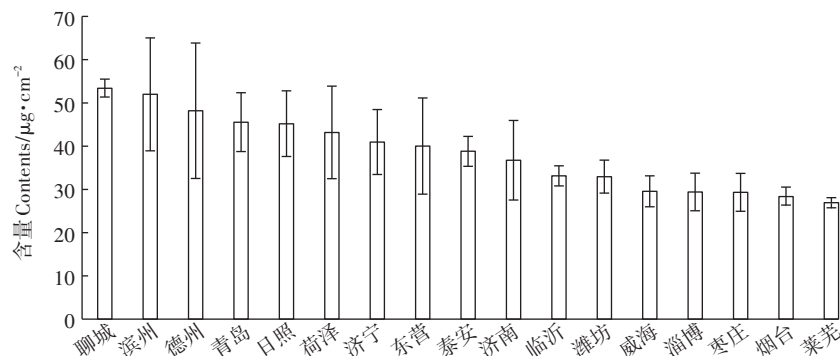


图4 不同地区玉米须对 $\text{PM}_{2.5}$ 的滞留

Figure 4 $\text{PM}_{2.5}$ contents on the corn silk in different districts

图5 不同地区玉米叶片对PM_{2.5}的滞留Figure 5 PM_{2.5} contents on the corn leaves in different districts

后大气PM_{2.5}浓度对最终玉米须上PM_{2.5}黏附量有着更大的贡献率。

3 讨论

植物叶片因其表面性能(如绒毛、鳞片、蜡质表层、黏性和粗糙性等)可以通过截取和固定大气颗粒物而成为削减城市大气污染的重要过滤体^[15]。从24种乔木、11种灌木的分析中得出,叶面PM_{2.5}平均滞留量为 $4.15 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ^[16]。尽管植物种类不同、采样时间和地点不同,但玉米叶片滞留PM_{2.5}的量远大于此(图5),说明玉米叶片对PM_{2.5}有较强的滞留能力。这可能与玉米叶片表面粗糙且有许多绒毛有关。已有很多研究表明,叶片光滑无绒毛的植物滞尘能力相对较弱,叶片表面粗糙不平、多绒毛、能分泌黏液和油脂的植物滞尘能力强^[10-12]。

玉米须无法计算面积,因而其滞尘能力无法与以单位叶面积滞尘量表示的其他植物进行比较。但是,相关性分析表明,玉米叶片上PM_{2.5}浓度与PM_{2.5}月平均浓度和雨后浓度均无显著相关性($P>0.05$)。而与玉米叶相比,不论是对月平均浓度还是雨后平均浓度,玉米须上PM_{2.5}滞留量都与大气中PM_{2.5}的浓度有显著正相关性。另外,常规大气颗粒物监测结果表明,山东沿海地区PM_{2.5}浓度明显低于内陆地区(图2)。与之对应的是,利用玉米须进行的生物监测也表明,PM_{2.5}浓度低的大部分地区也是沿海地区,而利用玉米叶的监测结果却无此规律。这说明与玉米叶片相比,玉米须能更有效地、较长时间地滞留细颗粒物。尽管降雨对颗粒物在植物表面的滞留有明显影响^[13],本实验数据的回归分析也表明了这一点,但玉米须表面并没有因为风、雨等外界因素而大量丢失PM_{2.5}。玉米须上颗粒物滞留量更能反映PM_{2.5}的污染程度,更适合作为监测大气中PM_{2.5}浓度和分布的指示物。

玉米须能有效吸附PM_{2.5}的原因可能在于小粒径颗粒物更易吸附于玉米须表面。已有研究表明,玉米须可有效吸附废水中铅、铜、砷等重金属离子^[7,17-18]。因为玉米须的表面布满了墙形褶皱,而且玉米须中间是中空构造,同时也密布着墙形褶皱,这些小孔径褶皱在增加玉米须比表面积的同时,也更有利于促进小孔径物质的吸附^[19]。除此之外,玉米须中含有大量的 α -生育醌,该物质含有1个羟基和2个醛基;除此外还含有多糖类,主要是葡萄糖、戊聚糖和半乳聚糖;构成玉米须脂肪油的主要是软脂酸、亚油酸、硬脂酸、山萘酸、油酸^[20]。也就是说,玉米须中含有大量-OH、-COOH、C=O等。这些负电性基团可以与重金属离子产生静电吸附和螯合作用,非常有利于对重金属离子的吸附,而大气颗粒物中含有大量的重金属成分^[21]。另外,也有研究表明,玉米须可有效吸附废水中的油类成分^[22]。而大气颗粒物也有很多有机成分,按照“相似相溶”原理,推测能吸附油类成分的玉米须也能吸附大气颗粒物中的其他有机物质,这还需要进一步的实验来证实。

总之,尽管我们所采集玉米材料的地点与常规大气监测点位有一定的距离(表1),但从山东17个地区的监测结果来看,玉米须对PM_{2.5}的监测具有更好的效果,不但能反映大气PM_{2.5}的污染程度,还能反映PM_{2.5}的污染分布,追溯PM_{2.5}的污染来源。因此,利用玉米须来监测大气PM_{2.5}的污染状况具有很大的应用潜力。

4 结论

(1)玉米叶片和玉米须对PM_{2.5}均有较强的滞留能力,与玉米叶片相比,玉米须能更有效地、较长时间地滞留细颗粒物。

(2)常规大气监测和利用玉米须进行的生物监测

均表明,山东沿海地区PM_{2.5}浓度明显低于内陆地区,而利用玉米叶的监测却无此结果。说明玉米须上颗粒物滞留量更能反映PM_{2.5}的污染程度,更适合作为监测大气中PM_{2.5}浓度和分布的指示物。

(3)相关性分析和回归分析均表明,玉米须上PM_{2.5}浓度与环境空气中PM_{2.5}的月平均浓度呈显著正相关,与雨后PM_{2.5}浓度的相关系数更高。说明雨后大气PM_{2.5}浓度对最终玉米须上PM_{2.5}黏附量有更大的贡献率,降雨对颗粒物在植物表面的滞留有明显影响。

参考文献:

- [1] World Health Organization (WHO). Ambient (outdoor) air quality and health[R/OL]. (2018-05-02) [2020-02-09]. [http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [2] Li Y J, Sun Y, Zhang Q, et al. Real-time chemical characterization of atmospheric particulate matter in China: A review[J]. *Atmospheric Environment*, 2017, 158:270-304.
- [3] Dias D, Tchepel O, Carvalho A, et al. Particulate matter and health risk under a changing climate: Assessment for Portugal[J]. *Science World Journal*, 2012, 2:1-10.
- [4] 张文丽, 徐东群, 崔九思. 空气细颗粒物(PM_{2.5})污染特征及其毒性机制的研究进展[J]. *中国环境监测*, 2002, 18(1):59-63.
ZHANG Wen-li, XU Dong-qun, CUI Jiu-si. The characteristics and toxic mechanism of fine particle pollution (PM_{2.5}) in air[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2002, 18(1):59-63.
- [5] Bianchi F, Trostl J, Junninen H, et al. New particle formation in the free troposphere: A question of chemistry and timing[J]. *Science*, 2016, 352:1109-1112.
- [6] Gupta R, Somanathan E, Dey S. Global warming and local air pollution have reduced wheat yields in India[J]. *Climatic Change*, 2017, 140(3):1-12.
- [7] Petrović M, Šoštarić T, Stojanović M, et al. Mechanism of adsorption of Cu²⁺ and Zn²⁺ on the corn silk (*Zea mays* L.)[J]. *Ecological Engineering*, 2017, 99:83-90.
- [8] Zhang L, Jiang W X, Yue J J. Research progress of corn silk[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(22):218-221.
- [9] 张海波. 玉米须的药学研究[D]. 开封:河南大学, 2007.
ZHANG Hai-bo. Pharmacognosy of corn silks[D]. Kaifeng: Henan University, 2007.
- [10] Rai A, Kulshreshtha K, Srivastava P K, et al. Leaf surface structure alterations due to particulate pollution in some common plants[J]. *Environmentalist*, 2010, 30(1):18-23.
- [11] Leonard R J, McArthur C, Hochuli D F. Particulate matter deposition on roadside plants and the importance of leaf trait combinations[J]. *Urban Forestry and Urban Green*, 2016, 20:249-253.
- [12] Sun X, Li H M, Guo X, et al. Capacity of six shrub species to retain atmospheric particulates with different diameters[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25:2643-2650.
- [13] Zhang X, Ahmadi G, Qian J, et al. Particle detachment, resuspension and transport due to human walking in indoor environments[J]. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2008, 22(5/6):591-621.
- [14] 张志丹, 席本野, 曹治国. 等. 植物叶片吸滞PM_{2.5}等大气颗粒物定量研究方法初探:以毛白杨为例[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(8):2238-2242.
ZHANG Zhi-dan, XI Ben-ye, CAO Zhi-guo, et al. Exploration of a quantitative methodology to characterize the retention of PM_{2.5} and other atmospheric particulate matter by plant leaves: Taking *Populus tomentosa* as an example[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(8):2238-2242.
- [15] 王 华, 鲁绍伟, 李少宁, 等. 可吸入颗粒物和细颗粒物基本特征、监测方法及森林调控功能[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(3):869-877.
WANG Hua, LU Shao-wei, LI Shao-ning, et al. Inhalable particulate matter and fine particulate matter: Their basic characteristics, monitoring methods, and forest regulation functions[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(3):869-877.
- [16] Mo L, Ma Z, Xu Y, et al. Assessing the capacity of plant species to accumulate particulate matter in Beijing, China[J]. *PLoS One*, 2015, 10(10):1-18.
- [17] 尹珊珊, 赵晓祥. 玉米须吸附剂去除水溶液中Pb²⁺的研究[J]. *材料导报*, 2014, 28(24):37-42.
YIN Shan-shan, ZHAO Xiao-xiang. Study on the absorption of heavy metal Pb²⁺ in wastewater with corn silk[J]. *Material Report*, 2014, 28(24):37-42.
- [18] 周 璇, 赵 馥, 鞠双桥, 等. 改性玉米须纤维及其对土碱中砷(Ⅲ)的吸附[J]. *材料科学与工程学报*, 2015, 33(5):748-753.
ZHOU Xuan, ZHAO Yu, JU Shuang-qiao, et al. Modified corn silk fiber and its arsenic adsorption in soil alkali[J]. *Journal of Materials Science and Engineering*, 2015, 33(5):748-753.
- [19] Zhu X, Yu H, Jia H, et al. Solid phase extraction of trace copper in water samples via modified corn silk as a novel biosorbent with detection by flame atomic absorption spectrometry[J]. *Analytic Methods*, 2013, 5(17):4460-4466.
- [20] Hasanudin K, Hashim P, Mustafa S. Corn silk (*Stigma maydis*) in healthcare: A phytochemical and pharmacological review[J]. *Molecules*, 2012, 17(8):9697-9715.
- [21] Yadav S, Rajamani V. Air quality and trace metal chemistry of different size fractions of aerosols in N-NW India-implications for source diversity[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, 40:698-712.
- [22] Asadpour R, Sapari N B, Isa M H, et al. Acetylation of corn silk and its application for oil sorption[J]. *Fiber Polymer*, 2015, 16(9):1830-1835.