黄土区降尘及其元素成分特征分析——以洛川为例

梁 婷[1,2],同延安[2*],王 兵[1],万红莲[1],乔 丽[3] (1.宝鸡文理学院地理与环境学院,陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室,陕西宝鸡 721013;2.西北农林科技大学资源与环境学院,陕西杨凌 712100;3.西安市气象局,陕西西安 710015)

摘要 为研究陕西黄土区大气降尘污染及其化学成分特征,在洛川县设点对大气降尘进行监测。结果显示,2017 年洛川总降尘量为 58.1 t/(km²·a),月均值为 4.8 t/(km²·月),月最大和最小值分别为 24.9 和 0.1 t/(km²·月)。降尘量季节变化表现为春季>冬季>秋季>夏季,依次占年降尘量的 59.7%、27.5%、9.3%和 3.5%。降尘中可溶性盐分沉降总量为 24.548 kg/(hm²·a),降尘中各种盐分沉降量从大到小分别为 NH_4^+-N、Ca、NO_3^--N、Mg、Na、K、S 和 P。降尘中 Fe、Al 及重金属 Cu、Mn、Pb、Zn 的含量分别为 10.889、95.309、10.178、51.164、96.027 和 9.189 mg/kg,均相对较低。

关键词 降尘;化学成分特征;陕西黄土区
中图分类号 X513 **文献标识码** A
文章编号 0517-6611(2021)04-0056-03
doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.04.015
开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Characteristic Analysis of Dustfall and Its Elementary Composition in Loess Area—Taking Luochuan as an Example

LIANG Ting[1,2], TONG Yan-an[2], WANG Bing[1] et al (1.Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation, College of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji, Shaanxi 721013; 2.College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract In order to study the atmospheric dust pollution and its chemical composition characteristics in the loess area of Shaanxi, a site was established in Luochuan County to monitor the atmospheric dust. The results showed that the total dustfall in Luochuan in 2017 was 58.1 t/(km²·a), the monthly average value was 4.8 t/(km²·month), and the monthly maximum and minimum were 24.9 and 0.1 t/(km²·month), respectively. The seasonal variation of dustfall precipitation showed that in spring > winter > autumn > summer, which accounted for 59.7%, 27.5%, 9.3% and 3.5% of total dustfall in turn. The total amount of soluble salt in dustfall was 24.548 kg/(hm²·a), with the elements descending order of NH_4^+-N, Ca, NO_3^--N, Mg, Na, K, S and P. The average contents of Fe, Al, Cu, Mn, Pb and Zn in the dust were 10.889, 95.309, 10.178, 51.164, 96.027 and 9.189 mg/kg, respectively, which were relatively low.

Key words Dust fall; Chemical composition characteristics; Loess area of Shaanxi

大气降尘也称自然降尘,指大气中自然降落于地面上的颗粒物,其粒径多在 10 μm 以上[1]。降尘除对生物界产生直接的物理性伤害外,更重要的是间接的化学危害,并可造成严重的二次污染,是城市大气环境监测的重要内容之一,其值可作为空气质量评价的指标,其计量指标单位为一定时间内单位面积上地表沉降物质的量[2]。由于浮尘危害人类健康,改变大气辐射平衡,影响植物光合作用,影响土壤的性质和组成,因而引起国内外学者广泛关注[3]。特别是近年来,由于人类活动的加剧,脆弱生态系统受到了剧烈扰动,扬沙、浮尘和沙尘暴等恶劣天气现象频繁出现,由此带来的大量降尘对大气环境质量、土壤性质和人群健康产生了显著影响[4-6]。因此,研究大气降尘的污染特征和变化规律,了解影响自然降尘量的主要因子,可以有针对性地进行有效的环境管理,减轻降尘对空气污染的贡献,改善环境质量。

近年来,我国大气降尘的研究成果多集中在城市中大气降尘的特征、分布规律、降尘中重金属含量及降尘源解析方面[7]。但由于目前对降尘数据的有效分析和利用尚处于研究阶段,国家也无明确、统一的评价标准,这为研究和评价城市大气污染状况、制定改善城市生活环境的具体措施带来了一定的困难。该研究以位于黄土高原沟壑区的洛川为例,通过一年的降尘收集,分析降尘量的变化,旨在为黄土区的大气降尘研究提供基础数据和相关资料。

1 材料与方法

1.1 采样点概况 洛川(35°45′36″N, 109°25′12″E)位于陕西中部、延安地区南部,地处渭北黄土高原沟壑区,是黄土高原面积最大、土层最厚的塬区,居乔山、乔山林带之间。洛川县总面积为 1 886 km²,其中耕地面积为 1.23 万 hm²,占土地总面积的 7%。该县总人口为 20 万。洛川县属暖温带半湿润大陆性气候,气候较温和,太阳辐射能量丰富,年均气温 9.2 ℃,年降水量 622 mm,无霜期 167 d,日照充足,昼夜温差大,雨热同季。该地区矿产贫乏,农作物以小麦、玉米、糜谷和高粱为主,林木主要以油松、侧柏和栎树为主,历史上该地区农业多次受到破坏,发展比较缓慢。

1.2 样品采集 2017 年 1—12 月在洛川县设置采样点,连续采样 1 年。大气降尘采样严格按照国家标准(GB/T 15265—1994)执行,即湿法收集。集尘缸选用高 30 cm、内径 15 cm、缸底平整的圆筒形玻璃缸。集尘缸设在离地面 2.5 m 高处,收集该位置的大气降尘,附近(10 m×10 m)无高大建筑,且避开烟囱和交通主干道等点、线污染源的局部污染。集尘缸在放到采样点之前,加入少量乙二醇(防止冬季冰冻,保持缸底湿润,抑制微生物及藻类生长),以占满缸底为准,加少量蒸馏水量(视气候情况而定)。每月初在采样点上放置降尘缸,月末收集样品,取样时用蒸馏水多次冲洗采降尘缸,将每次冲洗后的混浊液体装入收集瓶中,如此反复数次,直至冲净为止。进而运回实验室待测。

基金项目 陕西省教育厅专项科研计划项目(18JK0047);宝鸡文理学院科研项目(ZK2017043)。
作者简介 梁婷(1986—),女,陕西岐山人,讲师,博士,从事大气氮沉降、施肥与环境研究。*通信作者,教授,博士,博士生导师,从事土壤化学、植物营养等方面的研究。
收稿日期 2020-07-23;**修回日期** 2020-08-10

1.3　样品分析　大气降尘量的测定采用《环境空气降尘的测定》GB/T 15265—1994 中的分析方法,即重量法。

该研究中,样品 K、Na、Ca、Mg、S 等元素质量分数测试所用的仪器为电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS),符合全国土壤污染状况调查样品分析测试技术规定以及最新的土壤环境质量标准 GB 15618—2008 中有关土壤污染分析测试方法的要求。

1.4　数据处理　降尘量为单位面积上单位时间内从大气中沉降的颗粒物的质量,其计量单位为每月每平方公里面积上沉降的颗粒物的吨数,即 t/(km²·月)。降尘总量按公式(1)计算:

$$M=\frac{W_1-W_0-W_C}{s\times n}\times 30\times 10^4 \quad (1)$$

式中,M 为降尘总量,t/(km²·月);W_1 为降尘、瓷坩埚和乙二醇水溶液蒸发至干并在(105±5)℃恒重后的重量,g;W_0 为在(105±5)℃烘干的瓷坩埚重量,g;W_C 为与采样操作等量的乙二醇水溶液蒸发至干并在(105±5)℃恒重后的重量,g;s 为集尘缸缸口面积,cm²;n 为采样天数(准确到 0.1 d)。

一年通常划分为四季:春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)和冬季(12 月—次年 2 月)。数据统计分析采用 Excel 2007 完成。

2　结果与分析

2.1　大气降尘量及年内变化　监测结果显示,2017 年洛川总降尘量为 58.1 t/(km²·a),月均值为 4.8 t/(km²·月),月最大和最小降尘量分别为 24.9 和 0.1 t/(km²·月)。与李晋昌等[8]在黄土高原东部(山西省)的大气降尘量研究结果相比,略高于南部的隰县[49.77 t/(km²·a)],但这两地降尘量均远低于中部的大同[136.67 t/(km²·a)]及北部的兴县[160.56 t/(km²·a)]。张宁等[9]研究得出河西走廊月均降尘量为 23.51 t/(km²·月)。屈建军等[10]测得西端敦煌莫高窟的月均降尘量为 30.45 t/(km²·月),陇中黄土高原月均降尘量为 9.56~34.73 t/(km²·月)。10 年年均总降尘量的统计结果,河西走廊为 282.1 t/(km²·a),其中敦煌莫高窟为 365.4 t/(km²·a);陇中黄土高原为 199.6 t/(km²·a);陇南山地为 89.9 t/(km²·a);甘南高原为 55.9 t/(km²·a)。该研究中,洛川与陇南山地和甘南高原月均降尘量接近,但低于敦煌、陇中和河西走廊,年均总降尘量也有同样规律。这主要是由于试验地位于郊区,远离重工业区和交通繁华地区,且由于处在沙尘暴发生的边缘地区,能快速通过重力沉降的颗粒物不会大量传输到这里。这与裴玉芳等[11-12]对青海省 8 个样点近 10 年降尘量时空分布规律的研究结果相吻合,多年平均降尘量西宁市最大,可达 800~1 000 t/(km²·a),降尘量最小的地区为远离人类活动的清洁地区瓦里关山,说明降尘量与城市的发达程度有关系。西宁市是青海省政治、文化和经济的中心,是青海省最繁华的地区,其降尘量也是最大的。洛川县位于延安市南部,其县域发展位于陕西省排名后十位,区域经济发展整体靠后,这也可能是降尘量较低的一个原因。

从图 1 可以看出,洛川降尘量的高值出现在 4—5 月份,这与甘肃省相似,甘肃省全年中的高值主要出现在 3—7 月份,河西走廊高值期维持的时间长些,而在甘肃中部和东南部则一般在 3—5 月份[9]。抚顺市全年降尘月最高值出现在 4 月份,最低值出现在 8 月份[13],这些地区春季大量扬尘对降尘产生了较为突出的影响。西北地区 3—5 月份是沙尘暴的暴发季节,降尘量高符合实际情况,洛川由于处在黄土塬上,地势较高,天气状况较为复杂,降尘量月变化规律不太明显。

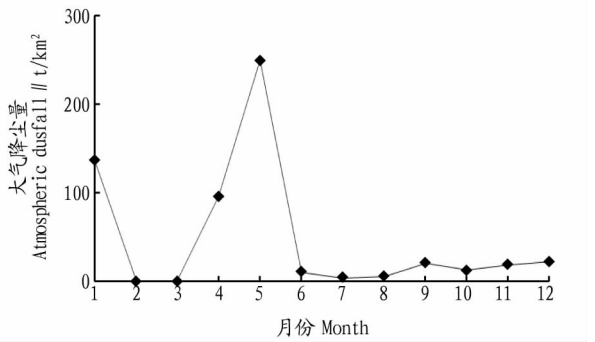

图 1　2017 年洛川降尘量年内变化

Fig.1　The annual variance of dustfall in Luochuan in 2017

2.2　大气降尘量的季节变化　由图 2 可见,洛川大气降尘量的季节变化特征较为明显,春季最大(34.7 t/km²),冬秋季次之(16.0 和 5.4 t/km²),夏季最小(2.0 t/km²);春、夏、秋、冬四季降尘量分别占年降尘量的 59.7%、3.5%、9.3% 和 27.5%。青海省降尘量的季节变化特点为春夏季高于冬秋季[12],黄土高原东部研究区也是如此特征,与该研究结果相一致,都是春季降尘量较高。据李晋昌等[8]研究表明,春冬季降尘受随机因子即地方性因素影响较大,因此主要来源于地方性粉尘。夏秋季由于部分区域土地退化严重(如沙漠化、水土流失和土壤盐渍化)而部分区域植被覆盖较好及远源对当地降尘贡献明显减小[14]。对于西北地区而言,春季多大风沙尘天气,造成春季降尘量明显高于其他季节。夏季天气炎热,一方面大气扩散条件较好且降水量较大,对空气中的灰尘有较好的清除作用,另一方面夏季植物生长茂密,能够覆盖部分裸露土壤,进而阻挡了扬尘, 所以夏季降尘量最小。冬季取暖设施增加,气候趋势稳定,逆温现象频繁发生,抑制了污染物在大气中的扩散,降尘量逐步增大且秋季建筑施工增加了二次扬尘的污染,导致降尘量偏高[11]。

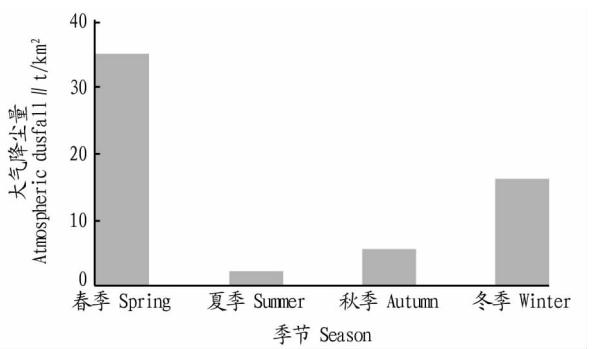

图 2　2017 年洛川降尘量季节变化

Fig.2　The seasonal variation of dustfall in Luochuan in 2017

2.3 降尘中可溶性营养成分 由表 1 可见,2017 年洛川降尘中可溶性盐分沉降总量为 24.548 kg/(hm²·a),沉降量从大到小分别为 NH_4^+-N、Ca、NO_3^--N、Mg、Na、K、S 和 P。与降尘一样,各营养成分的月变化不一,其中 K、Na、Ca、Mg 沉降量主要集中在 10—12 月份,S、P、NH_4^+-N 和 NO_3^--N 沉降量则主要集中在 6—7 月份。文倩等[15]研究发现和田地区大气降尘含盐量沉降最高为 35.00 g/kg,最低则为 4.69 g/kg,降尘平均总盐含量为 15.70 g/kg,远远高于耕地,降尘向土壤供盐量共计 27.25 kg/(hm²·a),将向土壤提供大量盐分,且主要集中在土壤表层、亚表层或耕层,是荒漠风沙区土壤盐分表聚的主要途径[16]。

从全球物质循环角度来看,大气沉降作为输入生物所必需的营养成分的一个途径近年来也被关注。该研究结果显示,由降尘带来的 N、P、K 沉降量分别为 14.843、0.099、0.224 kg/(hm²·a),其中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 沉降量分别为 8.248 和 6.595 kg/(hm²·a)。硝态氮在降尘中含量少于铵态氮的原因可能是气溶胶对阳离子有一定的吸附作用,容易聚集沉降,且在以农牧业为主的洛川,铵态氮主要来源于铵态氮肥以及畜禽粪便中氨气的挥发。赵妍等[17]研究得出沈阳市春季降尘中全氮、全磷、全钾含量分别为 2.32~3.97、1.83~3.85 和 15.85~21.36 g/kg,且春季降尘中氮磷钾含量都高于郊区农田土壤。洛川降尘输入中 P 沉降量较低,这可能是由于气溶胶粒子对磷有较强的吸附作用,且有效性 P 相对较少是由于磷酸盐在自然界中常以沉淀和吸附的方式存在。

表 1 2017 年洛川降尘中可溶性盐分沉降量

Table 1 Dissolubility salinity in dustfall of Luochuan in 2017 kg/hm²

月份 Month	K	Na	Ca	Mg	S	NH_4^+-N	NO_3^--N	P	总盐分 Total salinity
1	0.019	0.141	0.578	0.052	0.012	0.234	0.086	0.001	1.121
2	0.014	0.175	0.889	0.064	0.013	0.024	0.005	0.007	1.191
3	0.016	0.137	0.602	0.050	0.012	0.145	0.260	0.003	1.226
4	0.016	0.137	0.602	0.050	0.012	0.161	0.094	0.003	1.076
5	0.016	0.137	0.602	0.050	0.012	0.425	0.363	0.016	1.623
6	0.016	0.137	0.602	0.050	0.012	0.315	0.020	0.021	1.175
7	0.023	0.107	0.846	0.039	0.023	3.882	3.398	0.020	8.338
8	0.018	0.081	0.220	0.030	0.005	1.298	0.992	0.010	2.655
9	0.007	0.088	0.253	0.032	0.005	1.394	0.637	0.001	2.417
10	0.032	0.336	0.714	0.123	0.012	0.110	0.418	0.008	1.754
11	0.033	0.086	0.298	0.031	0.011	0.181	0.230	0.008	0.877
12	0.013	0.125	0.730	0.046	0.010	0.079	0.093	0.001	1.095
总量 Total	0.223	1.687	6.936	0.617	0.139	8.248	6.596	0.099	24.548

2.4 降尘中 Fe、Al 及重金属离子的含量 从表 2 可以看出,洛川降尘中 Fe 和 Al 的含量分别为 10.889 和 95.309 mg/kg,重金属 Cu、Mn、Pb、Zn 的含量平均值分别为 10.178、51.164、96.027 和 9.189 mg/kg。该研究中的各重金属含量均远低于兰州市重金属含量的平均值[18],并且各种金属含量的月变化幅度较大,可能与降尘金属来源有关。有研究认为,大气颗粒物中的 Cu 来源于交通污染,Cu 通常用于汽车的刹车中以控制热量的传递以及汽车油泵材料的磨损产生[19]。Pb 浓度与汽车尾气排放有关,尽管无铅汽油的使用使得汽车尾气对大气中 Pb 的影响有所减弱,但随着汽车数量的迅速增加以及之前排放的 Pb 的累积,交通污染源依然是大气环境中 Pb 的主要来源[20]。降尘中的Zn有一部分受到工业生产的

表 2 洛川降尘中 Fe^{2+}、Al^{3+}及重金属离子的质量分数

Table 2 Mass fraction of Fe^{2+}, Al^{3+} and heavy metalion in dustfall of Luochuan mg/kg

月份 Month	Fe	Al	Cu	Mn	Pb	Zn
1	0.474	3.217	0.519	1.562	2.776	0.266
2	46.429	578.253	6.875	347.844	630.605	60.341
3	40.375	292.849	44.215	115.571	242.338	23.189
4	0.663	4.812	0.727	1.899	3.982	0.381
5	0.257	1.861	0.281	0.735	1.540	0.147
6	6.045	43.849	6.620	17.305	36.286	3.472
7	9.051	57.606	45.987	0.000	98.655	9.440
8	9.369	65.008	0.000	88.692	70.610	6.757
9	3.548	15.935	0.311	8.800	15.491	1.482
10	8.170	34.446	10.145	0.000	20.553	1.967
11	3.242	10.058	0.000	31.560	14.825	1.419
12	3.043	35.817	6.452	0.000	14.667	1.403
平均值 Average	10.889	95.309	10.178	51.164	96.027	9.189

(下转第 64 页)

4 结论

采用国家地表水环境质量监测网数据,对 2009 年 1 月—2020 年 9 月淮河流域皖北地区地表水中水污染指标氟化物浓度变化特征进行初步分析,可以得出以下主要结论。

(1)近 10 年来淮河流域皖北 3 市 43 个国、省控断面中,共有 20 个断面氟化物出现过超地表水Ⅲ类标准,其中 19 个断面氟化物近 10 年均值超标。均值超标断面的氟化物均值为 1.006~1.282 mg/L,月度监测的超标率为 27.0%~95.7%。

(2)亳州市淮河流域重点断面近 10 年氟化物浓度均值为 0.882~1.101 mg/L,月度监测的超标率为 11.1%~71.6%;淮北市淮河流域重点断面近 10 年氟化物浓度均值为 1.060~1.136 mg/L,月度监测的超标率为 40.4%~84.6%;宿州市淮河流域重点断面近 10 年氟化物浓度均值为 0.47~1.81 mg/L,月度监测的超标率为 30.5%~71.0%。

(3)安徽省淮河流域除氟化物以外,主要污染指标为氨氮、COD 和总磷,分析各断面氟化物与其他水质指标间的相关性,结果显示淮河流域皖北地区氟化物与氨氮、COD 和总磷均不存在显著相关性,R^2 均小于 0.1,由于上述 3 个指标均不同程度受到人为污染物排放的影响,该分析结果可间接说明淮北市氟化物与其他主要水质污染指标的污染来源不同,并非受人为污染源的影响。

(4)淮河流域皖北地区氟化物超标,主要因为区域土壤母质氟化物及碳酸钙含量高于全国平均水平,区域地下水氟化物浓度本底值偏高,气候因素致使该区域地下水中氟化物更容易富集以及地表水氟化物及高含氟地下水相关等。

参考文献

[1]《中国河湖大典》编纂委员会.中国河湖大典:淮河卷[M].北京:中国水利水电出版社,2010:1-4.
[2] 张俊明,潘玉生.安徽淮北平原土壤[M].上海:上海人民出版社,1975.
[3] 稽晓燕,聂学军,李文攀,等.近十年淮河流域化学需氧量和氨氮浓度变化特征[J].节水灌溉,2016(12):85-88,93.
[4] 陈善荣,何立环,林兰钰,等.近 40 年来长江干流水质变化研究[J].环境科学研究,2020,33(5):1119-1128.
[5] 戴向前,刘昌明,李丽娟.我国农村饮水安全问题探讨与对策[J].地理学报,2007,62(9):907-916.
[6] 樊远彬.安徽淮北芦岭镇地方性氟中毒氟源调查及分析[J].安徽预防医学杂志,2000,6(2):84-86.
[7] 韩永忠.安徽省地方性氟中毒病区分布及外环境特征[J].安徽预防医学杂志,1995,1(1):25-28.
[8] 李孝良,陈效民,孙莉,等.安徽省几种不同母质发育的稻田土壤氟含量及其影响因素[J].南京农业大学学报,2009,32(1):73-77.
[9] 于群英,慈恩,杨林章.皖北地区土壤中不同形态氟含量及其影响因素[J].应用生态学报,2007,18(6):1333-1340.
[10] RIJSBERMAN M A,VAN DEVEN F H M.Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems[J].Environmental impact assessment review,2000,20(3):333-345.
[11] 赵宏海,沈传连.宿州矿区浅层地下水中氟的分布及形成机理[J].中国煤田地质,1999,11(3):39-40.
[12] ZHAO R,HE H L,ZHANG N.Regional water footprint assessment:A case study of Leshan City[J].Sustainability,2015,7(12):16532-16547.
[13] 郑路.安徽省长江以北地区土壤水溶性氟含量及分布特征[J].农村生态环境,1997,13(3):25-27,32.
[14] 周道斌.宿县地区志[M].北京:中国人民大学出版社,1995.
[15] 周世厥,张冬英,潘繁.安徽省土壤中氟分布的研究[J].农村生态环境,1999,15(4):34-36.

(上接第 58 页)

影响,另一部分来自汽车轮胎的磨损[21]。而是由于 Fe、Al、Mn 为地壳组成元素,降尘中的 Fe、Al、Mn 主要由自然来源(土壤颗粒)贡献。洛川位于延安南部,距离西安、宝鸡、延安等省内一、二线城市较远,工业和交通业较之欠发达,空气污染较轻。但目前,对大气降尘中重金属最大允许浓度尚无统一评价标准。

3 结论

(1)2017 年洛川年总降尘量为 58.1 t/(km^2·a),月均值为 4.8 t/(km^2·月),月最大值和最小值分别为 24.9 和 0.1 t/(km^2·月)。洛川大气降尘量季节变化特征明显,春季>冬季>秋季>夏季,依次占年降尘量的 59.7%、27.5%、9.3%和 3.5%。

(2)2017 年洛川降尘中可溶性盐分沉降总量为 24.548 kg/(hm^2·a),沉降量从大到小分别为 NH_4^+-N、Ca、NO_3^--N、Mg、Na、K、S 和 P。降尘中 Fe、Al 及重金属 Cu、Mn、Pb、Zn 的含量平均值分别为 10.889、95.309、10.178、51.164、96.027 和 9.189 mg/kg,均较低。

参考文献

[1] 杨芸,阮丽,包跃跃,等.城市大气降尘污染研究进展[J].环境与可持续发展,2015,40(4):81-83.
[2] 朱礼学.城市尘土地球化学调查的意义及构想[J].四川地质学报,2003,23(3):174-175.
[3] 王明仕,李晗,王明娅,等.中国大气降尘地域性分布特征研究[J].生态环境学报,2014,23(12):1933-1937.
[4] 张宁,张武平,张萌.沙尘暴降尘对甘肃大气环境背景值的影响研究[J].环境科学研究,2005,18(5):6-10.
[5] 赖木收,杨忠芳,王洪翠,等.太原盆地农田区大气降尘对土壤重金属元素累积的影响及其来源探讨[J].地质通报,2008,27(2):240-245.
[6] 张春荣,吴正龙,姚春卉,等.青岛市区大气降尘重金属对人体健康风险的评价[J].环境科学,2014,35(7):2736-2741.
[7] 罗莹华,戴塔根,梁凯.广东韶关市大气降尘及尘中金属元素分布特征研究[J].地质调查与研究,2006,29(1):64-68.
[8] 李晋昌,康晓云,高婧.黄土高原东部大气降尘量的空间和季节变化[J].中国环境科学,2013,33(10):1729-1735.
[9] 张宁,康颖琦,刘晓文,等.甘肃省大气自然降尘背景值的调查和研究[J].甘肃环境研究与监测,1999,12(2):69-74.
[10] 屈建军,张伟民,王旭东.敦煌莫高窟大气降尘的初步观测研究[J].甘肃环境研究与监测,1992,5(3):8-12.
[11] 裴玉芳,祁栋林,张启发.近 10 年来青海省河湟谷地大气降尘量的变化特征[J].青海环境,2017,27(2):69-72,88.
[12] 高贵生,宋理明,马宗泰.青海省降尘量时空分布及其影响因素分析[J].中国沙漠,2013,33(4):1124-1130.
[13] 杜华,冯胜利.抚顺市大气降尘污染状况及变化趋势分析[J].辽宁城乡环境科技,2005,25(4):18-19.
[14] LI J C,DONG Z B,QIAN G Q,et al.Effects of geomorphic conditions,wind speed,and precipitation on dustfall over northern China[J].Sciences in cold and arid regions,2010,2(4):354-363.
[15] 文倩,关欣,崔卫国. 和田地区大气降尘对土壤作用的研究[J].干旱区研究,2002,19(3):1-5.
[16] 关欣,李巧云,文倩,等.南疆西部降尘对土壤性质的影响[J].土壤,2000,32(4):178-182.
[17] 赵妍,依艳丽,贾振文,等.沈阳市春季降尘中氮磷钾及有机碳含量研究[J].安徽农业科学,2007,35(10):3044-3045.
[18] 李萍,薛粟尹,王胜利,等.兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价[J].环境科学,2014,35(3):1021-1028.
[19] HUANG S S,TU J,LIU H Y,et al.Multivariate analysis of trace element concentrations in atmospheric deposition in the Yangtze river Delta,East China[J].Atmospheric environment,2009,43(36):5781-5790.
[20] 梅凡民,徐朝友,周亮.西安市公园大气降尘中 Cu、Pb、Zn、Ni、Cd 的化学形态特征及其生物有效性[J].环境化学,2011,30(7):1284-1290.
[21] 陶俊,陈刚才,赵琦,等.重庆市大气 TSP 中重金属分布特征[J].重庆环境科学,2003,25(12):15-16,19.