

祁栋林,赵全宁,赵慧芳,等. 2004—2017年青海省降尘的时空变化特征及区域差异[J]. 干旱气象,2018,36(6):927-935, [QI Donglin, ZHAO Quanning, ZHAO Hui Fang, et al. Temporal and Spatial Variation Characteristics and Regional Differences of Dust Fall in Qinghai from 2004 to 2017[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(6):927-935], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-06-0927

2004—2017年青海省降尘的 时空变化特征及区域差异

祁栋林^{1,2}, 赵全宁¹, 赵慧芳¹, 韩廷芳³, 苏文将¹

(1. 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001; 2. 青海省防灾减灾重点实验室,
青海 西宁 810001; 3. 青海省格尔木市气象局, 青海 格尔木 816099)

摘要:为研究青海省大气降尘量的地域性分布和变化特征,探讨大气降尘的气象影响因素,利用青海省8个监测站点2004—2017年降尘量和气象数据,分析青海省降尘量时空分布规律及其影响因素。结果表明:(1)青海省及各生态功能区大气降尘量总体呈下降趋势。(2)降尘量季节变化特征明显,降尘量主要集中在3—4月,冬春季节多、夏秋季节少,降尘主要受来自西北面的沙尘输送以及局地扬尘的影响。(3)青海省各站点及生态功能区降尘量和变化趋势差异较大,最高和最低年降尘量分别出现在西宁和瓦里关本底台。降尘量在较大空间尺度上的分布受气候背景影响,在局部区域则受地形、地貌、水文、土壤和植被等地方性因素控制;区域气象条件是影响青海省降尘的外来因素。(4)降尘量的变化主要受相对湿度的影响,降水日数的变化也影响降尘量的大小。

关键词:降尘量;生态功能区;相对贡献率;青海省

文章编号:1006-7639(2018)06-0927-09 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-06-0927

中图分类号:X513

文献标志码:A

引言

大气降尘也称自然降尘,系指在空气环境条件下,依靠重力自然沉降至地表的颗粒物,其粒径多在 $10\ \mu\text{m}$ 以上,是城市大气环境监测的重要内容之一,常作为空气质量评价的选择参数。其在大气圈、陆地表面和海洋间的物理和生物化学交换过程中起着重要作用^[1],可以反映沉降区域上空大气颗粒物的背景特征和由于区域人类活动与低空大气环流相互叠加作用的影响^[2]。

随着社会经济的发展,尤其是在人口密集的城市地区,由于人类活动的加剧,生态系统受到剧烈扰动,沙尘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、土壤性质和居民健康产生了显著影响^[3]。国内学者对城市地区大气降尘的研究主要从来源、化学组成、时空变化等^[4-9]方面开展,发现由于受工业、交通、建筑等社会经济发展

的影响,降尘来源广泛(主要包括燃煤烟尘、工业粉尘、建筑扬尘、机动车排放、道路二次扬尘等)且城市的不同功能区降尘的大小也有明显变化^[9]。西安^[4]、乌鲁木齐^[5]、长春^[6]、沈阳^[7]、齐齐哈尔^[8]等城市观测表明降尘通量呈逐年减少趋势。李晋昌等^[10]研究表明降尘在黄土高原北部较大,中部和南部变化较小,冬季降尘略高于其他季节。张志伟等^[11]、朱延盛等^[12]分别采用灰色GM(1,1)预测模型和逐步回归主分量分析法对降尘含量进行预测。潭洪恩等^[13]、樊恒文等^[14]分别对不同城市或地区气象因子对降尘通量的影响进行了分析。

目前,有关青海省大气降尘的相关研究^[15-16],采样点少、观测资料时间短,并且大部分主要讨论大气降尘来源问题,很少涉及到大气降尘的空间分布特征。因此,本文采用2004—2017年青海省8个降尘监测点的监测数据对青海省和4个生态功能区的大气降尘变化规律及变化趋势做初步分析,以期了

收稿日期:2018-04-24;改回日期:2018-08-14

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506001)、青海省科技厅项目(2017-SF-131、2017-ZJ-Y02)和青海省气象局重点项目(青海省空气质量客观预报方法研究)共同资助

作者简介:祁栋林(1967—),男,高级工程师,主要从事气候变化和大气成分研究. E-mail:qidl007@163.com.

解青海省大气降尘的分布特征和变化规律,以及影响自然降尘量的主要气象因子。据此可以针对性开展有效环境管理,减轻降尘对水、土壤和大气污染的贡献,改善青藏高原区域环境质量,对认识青海省生态环境质量现状及实施生态环境治理工程具有一定的科学意义。

1 研究区、降尘测定和分析方法

大气降尘和气象数据来源于青海省气象信息中心,包括 2004—2017 年逐月本站气压、平均气温、风速、相对湿度、降水量、降水日数和沙尘日数(扬沙和沙尘暴的合计)。以 3—5 月代表春季、6—8 月代表夏季、9—11 月代表秋季、12 月至次年 2 月代表冬季,采暖期为 10 月至次年 4 月,非采暖期为 5—9 月。

1.1 研究区概况

青海省是青藏高原的主要组成部分之一,位于中国西部,青藏高原东北部,地处 $89^{\circ}35'E-103^{\circ}04'E$, $31^{\circ}39'N-39^{\circ}19'N$,海拔介于 1650 ~ 6860 m。属于典型的高原大陆性气候,气温、降水量不但在地域上分布很不平衡,且季节分布也极不均匀,具有寒冷期长、太阳辐射强、气温日较差较大、干旱少雨及降水比较集中等特点。参考中国气象局的主要气候分区^[17],结合地理位置、地貌和气候变化特征,将青海省分为 4 个不同特点的生态功能区:东部农业区,以农作物为主,代表测站平安($36^{\circ}30'N$ 、 $102^{\circ}06'E$,海拔 2125.1 m)、同仁($35^{\circ}31'N$ 、 $102^{\circ}01'E$,海拔 2494.4 m)、西宁($36^{\circ}34'N$ 、 $101^{\circ}45'E$,海拔 2275.0 m);环青海湖区,以高寒天然草原为主,代表测站瓦里关本底台($36^{\circ}18'N$ 、 $100^{\circ}55'E$,海拔 3810.0 m)、共和($36^{\circ}16'N$ 、 $100^{\circ}37'E$,海拔 2836.0 m);三江源地区,以高寒天然草甸为主,代表测站玛多($34^{\circ}55'N$ 、 $98^{\circ}13'E$,海拔 4273.4 m);柴达木盆地,以荒漠区为主,代表测站德令哈($37^{\circ}22'N$ 、 $97^{\circ}22'E$,海拔 2982.5 m)、格尔木($36^{\circ}25'N$ 、 $94^{\circ}54'E$,海拔 2809.3 m)。各功能区承载着不同强度的生产和生活任务,人类活动的强度也不同,且生态环境脆弱,是气候变化的敏感区。

2003 年起国家开始在三江源实施退牧还草工程,青海省气象部门联合相关部门对青海省生态环境监测系统进行了综合设计,在 28 个气象站开展大气降尘的监测,实现了青海省降尘量的网络监测,随着气象业务发展需求,2006 年 6 月将 28 个降尘监测站调整为 8 个监测站(图 1)并维持长期观测。

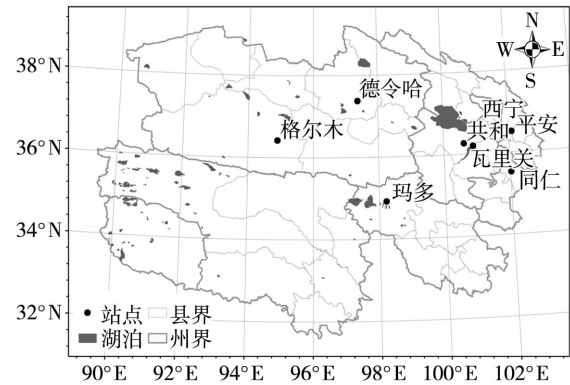


图 1 青海省大气降尘监测站点分布

Fig. 1 Distribution of atmospheric dust fall monitoring stations in Qinghai Province

1.2 降尘采样和测定方法

大气降尘样品采用湿法或玻璃球法收集。集尘缸安放在气象观测场内的支架上,集尘缸缸口平面距地表 1.5 m,每月(统一规定每月 1 日)采集一个样品,收集样品经烘箱蒸发、干燥后利用电子天平称重(精确至 0.01 g)并计算降尘量。其公式为:

$$M = (M_s - M_a) \times K/S \quad (1)$$

式中: $M(t \cdot km^{-2})$ 为降尘量; $M_s(g)$ 为在 $105^{\circ}C$ 条件下烘干后的降尘和蒸发皿重量; $M_a(g)$ 为蒸发皿重量; $S(m^2)$ 为集尘缸口面积; $K(d)$ 为每月实际采样天数。

1.3 分析方法

1.3.1 线性变化趋势分析和变异系数

用一元线性回归方程来描述气候要素的变化趋势^[18]:

$$y = a + bt \quad (2)$$

式中: t 为年份序列; a 为常数; b 表示线性方程的斜率,即气候要素的线性变化速率。

变异系数^[18]是数据序列离散程度大小的统计指标,是标准差与相应平均值的比值。

1.3.2 Daniel 趋势检验

用 Daniel 趋势检验方法^[5]分析降尘的变化趋势及其统计学显著性特征。公式为:

$$R_s = 1 - \left[6 \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 / (N^3 - N) \right] \quad (3)$$

式中: R_s 为 spearman 秩相关系数; N 为时间周期(年), X_i 对应各时间 i 周期按浓度值从小到大排列的序号, Y_i 为按时间排列的序号。 R_s 为负,呈下降趋势,反之则为上升趋势。若 $|R_s| \geq W_p$ (秩相关系数统计表中的临界值),表明变化趋势有显著意义。

1.3.3 相对贡献率计算

建立大气降尘与各气象要素(气温 Z_1 、降水量 Z_2 、降水日数 Z_3 、风速 Z_4 、相对湿度 Z_5 、气压 Z_6 和沙尘日数 Z_7)的标准回归方程,进一步计算各气象因子对大气降尘变化的相对贡献率,作为比较气象因子影响大气降尘分布强弱的指标^[19]。

$$\begin{cases} Y = a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \dots + a_7 Z_7 \\ \eta_1 = \frac{|a_1|}{|a_1| + |a_2| + \dots + |a_7|} \times 100\% \end{cases} \quad (4)$$

式中: Y 为大气降尘的标准化值; Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 \dots 、 Z_7 分别为各气象因子的标准化值; a_1 、 a_2 、 a_3 、 \dots 、 a_7 为各气象因子序列标准化后对应的回归系数; η_1 为 Z_1 变化对 Y 变化的相对贡献率。

2 结果分析

2.1 降尘的时间变化特征

图 2 为 2004—2017 青海省及各生态功能区大气降尘量的月际和季节变化。可以看出,青海省全区 3 月降尘量最高,达 $33.9 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$,之后呈缓慢波动下降趋势,10 月出现全年最低值($16.8 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$),降尘量仅为 3 月的 50% 左右,进入冬季后降尘量变化较稳定,初春 3—4 月快速增长,表现出春峰秋谷型特征。东部农业区的月际变化趋势与青海省全区基本一致,环青海湖区、三江源地区和柴达木盆地略

有不同,最高值出现在 4 月。各站点降尘分布也有差异(图略),大体可以分为 2 种类型:春峰秋谷型(格尔木、玛多、德令哈、同仁、共和、西宁和瓦里关本底台)和夏峰冬谷型(平安)。春季和初夏降尘贡献较大的变化特征,与青海省^[15]和青海省东北部及周边地区^[16]的分析结果基本一致,且类似于兰州^[20]和黄土高原东部^[10]的观测结果,但与新疆乌鲁木齐^[5]、和田^[3]夏季降尘贡献较大的变化特征完全不相同。

青海省降尘量和变异系数的季节分布均呈现春季高秋季低、采暖期高于非采暖期的特征,春季、夏季、秋季和冬季的变异系数分别为 0.37、0.33、0.08 和 0.25,降尘量占年降尘量的比例分别为 33.7%、27.7%、18.1% 和 20.5%;采暖期和非采暖期变异系数分别为 0.27 和 0.29,降尘量占年降尘量的比例分别为 55.7% 和 44.3%。各生态功能区春、夏、秋、冬、采暖期和非采暖期降尘量占年降尘量的比例分别在 28.6%~35.3%、23.5%~29.0%、16.5%~21.1%、19.2%~23.2%、53.7%~60.8% 和 39.2%~46.3% 之间。各站点降尘量季节分布各有特点,瓦里关本底台和德令哈呈春季>夏季>秋季>冬季分布,共和、格尔木、西宁、玛多和同仁呈春季>夏季>冬季>秋季分布,平安呈夏季>春季>秋季>冬季分布。

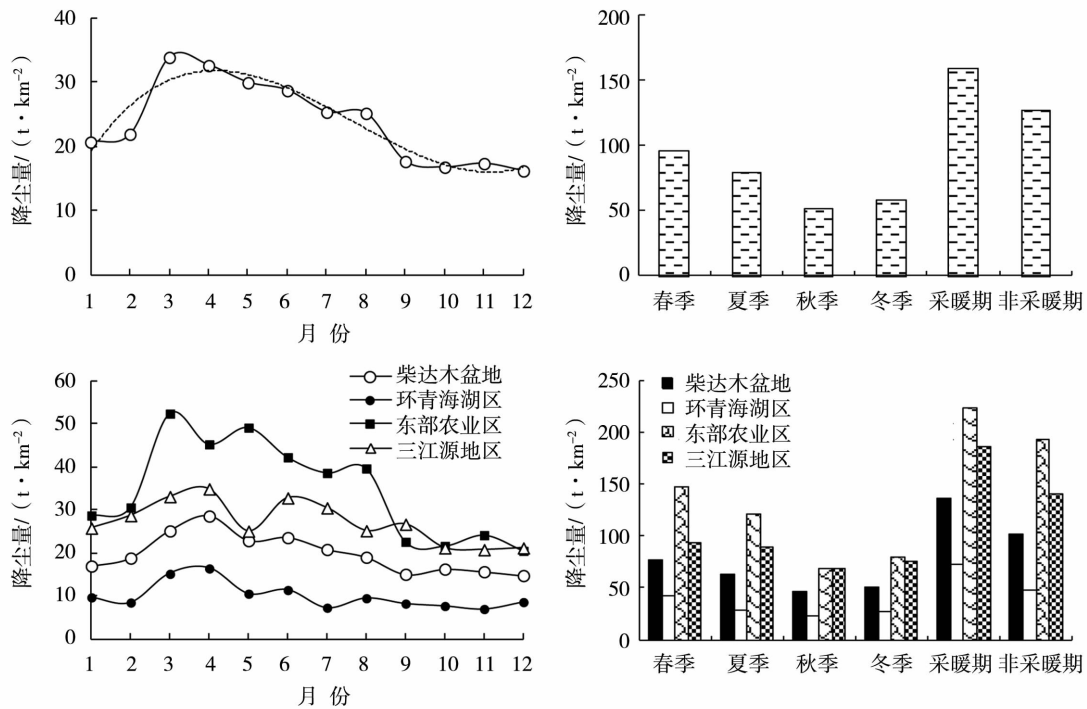


图 2 2004—2017 年青海省(上)及各生态功能区(下)大气降尘量的月际(左)和季节(右)变化
 Fig.2 Monthly (the left) and seasonal (the right) variations of atmospheric dust fall in Qinghai Province (the top) and each ecological function zone (the bottom) during 2004—2017

综上所述,青海省及各生态功能区秋冬季节降尘量少而春夏季节降尘量大,这与春季研究区盛行西北风以及各站点所处的地理位置有关。青海省北临河西走廊和内蒙古高原,西邻塔里木盆地,柴达木盆地地处青海省西部,均是我国沙尘发生的主要沙源地^[21]。每年春季(3—5月),我国西北地区盛行西北风,气温回升较快,降水甚少,地表逐步解冻造成异常干燥松散,抗风蚀能力很弱,并且地表缺少植被覆盖,在有大风刮过时,就会将大量的表土和细沙扬起卷入空中,形成沙尘天气^[22],从而形成大量降尘;冬季虽然地表植被枯黄,但气温在0℃以下,土壤冻结,加上积雪覆盖,地表表土不易卷起。因此,春季各站点降尘出现明显增加,冬季降尘较少。

图3为2004—2017年青海省和各生态功能区

降尘的年际变化,表1列出青海省和各生态功能区不同时期降尘变化趋势和秩相关系数。可以看出,2004年以来,青海省全区年降尘量均值为285.9 t·km⁻²,最大值出现在2004年(397.8 t·km⁻²),最小值出现在2012年(188.1 t·km⁻²),总体呈显著波动下降趋势(|R|=0.65>W_{0.05}),下降速率为-11.9 t·km⁻²·a⁻¹,2011年以前下降较快,2012年后变化相对平稳,略呈上升趋势。四季以-6.3~-0.3 t·km⁻²·a⁻¹的速率呈下降趋势,春季下降幅度最大,秋季最小,冬季下降趋势通过α=0.01的显著性检验,春季和夏季下降趋势通过α=0.05的显著性检验。采暖期和非采暖期分别以-8.4和-3.5 t·km⁻²·a⁻¹的速率下降,且采暖期下降趋势通过α=0.01的显著性检验。

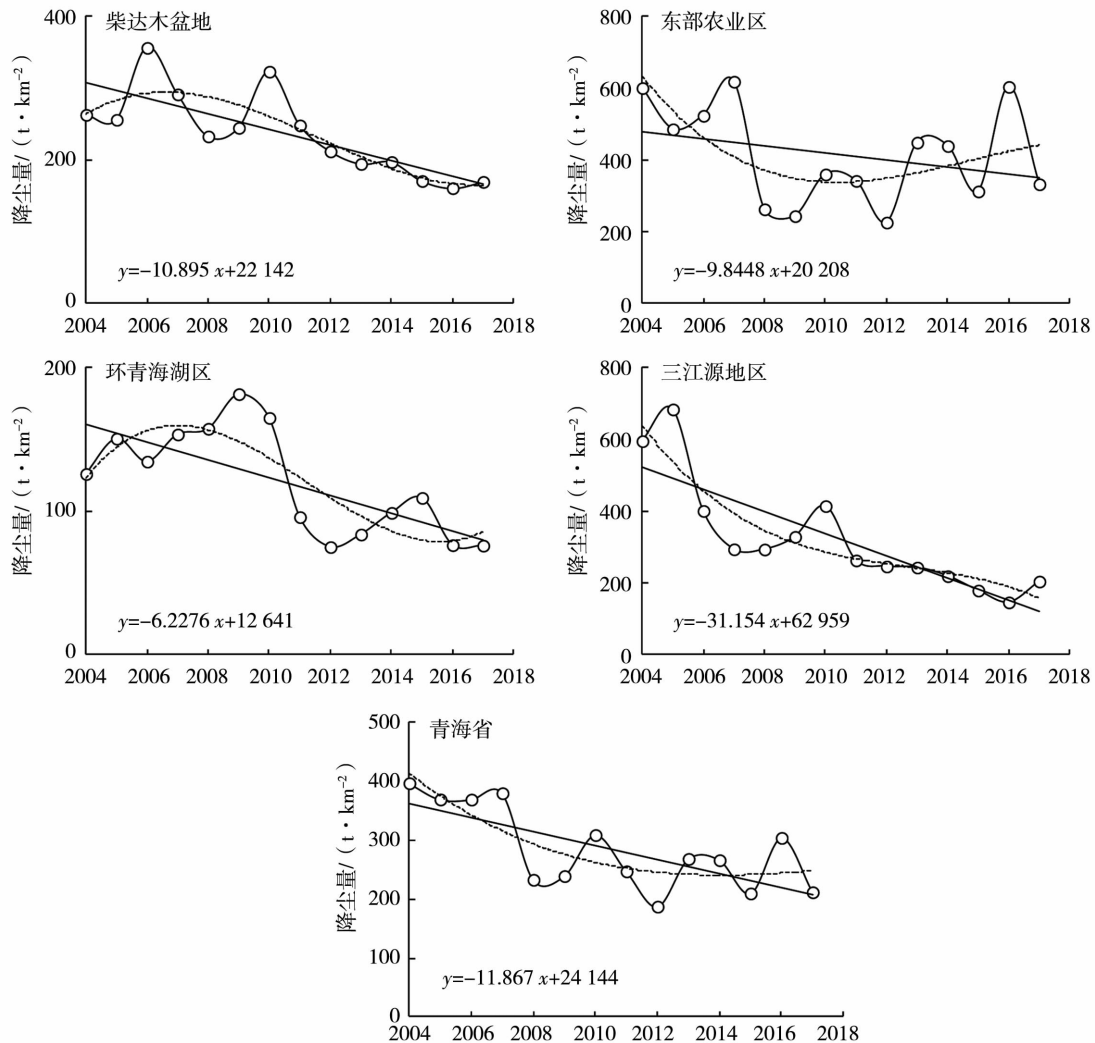


图3 2004—2017年青海省及各生态功能区大气降尘量的年际变化 (直线表示线性回归趋势,虚线表示三次多项式拟合)

Fig. 3 Annual variation of atmospheric dust fall in Qinghai and each ecological functional zone during 2004 – 2017 (Straight line represents linear regression trend, dotted line represents cubic polynomial fitting)

青海省柴达木盆地、环青海湖区、东部农业区和三江源地区年降尘量分别以 -10.9 、 -6.2 、 -9.8 和 $-31.2 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的速率呈减小趋势,三江源地区减小速率最大,环青海湖区最小,其秩相关系数除东部农业区外均通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。除东部农业区和环青海湖区秋季降尘量呈增加趋势外,其他各生态功能区各季节均表现为减少趋势。从多项式曲线可以看出,各功能区的阶段变化表现略有不同,柴达木盆地表现为先上升后下降型,转折年份为 2007 年;环青海湖区表现为先上升后下降再上升型,转折年份分别为 2007 年和 2015 年;东部农业区表现为先下降后上升型,转折年份为 2010 年;

三江源地区表现为单一的下降趋势。

表 2 列出青海省和各生态功能区逐月降尘的变化速率和秩相关系数。可以看出,青海省全区 2 月和 11 月表现为不显著的增加趋势,其他月份降尘均表现为下降趋势,冬季 12—1 月和春季 3—4 月通过 $\alpha = 0.05$ 以上的显著性检验。各生态功能区各月降尘的变化趋势差异较大,柴达木盆地 11 月、环青海湖区 9—10 月及东部农业区的 2 月、5 月、8—9 月和 11 月呈不显著增加趋势,其余月份和三江源地区全部月份均表现为减少趋势。柴达木盆地和环青海湖区显著减少趋势主要表现在春末到夏初及冬初,三江源地区为冬季到秋初。

表 1 2004—2017 年青海省和各生态功能区不同时期降尘变化趋势和秩相关系数

Tab.1 The variation trend and spearman rank correlation coefficient of dust fall in different periods in Qinghai and each ecological functional zone during 2004 - 2017

地区	趋势/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)							秩相关系数						
	全年	春季	夏季	秋季	冬季	采暖期	非采暖期	全年	春季	夏季	秋季	冬季	采暖期	非采暖期
青海省	-11.9	-6.3	-3.0	-0.3	-2.3	-8.4	-3.5	-0.65**	-0.62*	-0.51*	-0.35	-0.66**	-0.79**	-0.36
柴达木盆地	-10.9	-5.9	-3.0	-0.6	-1.5	-6.3	-4.6	-0.86**	-0.66**	-0.74**	-0.23	-0.60*	-0.74**	-0.78**
环青海湖区	-6.2	-3.1	-2.3	0.3	-1.0	-3.7	-2.6	-0.65**	-0.75**	-0.64*	0.15	-0.56*	-0.70**	-0.57*
东部农业区	-9.8	-6.8	-0.9	1.4	-2.9	-10.2	0.3	-0.30	-0.44	-0.02	0.25	-0.42	-0.47*	-0.07
三江源地区	-31.2	-11.7	-10.4	-4.2	-4.8	-16.3	-14.8	-0.93**	-0.67**	-0.91**	-0.67**	-0.73**	-0.92**	-0.92**

注:** 和 * 分别表示通过 0.01 和 0.05 的显著性检验

表 2 2004—2017 年青海省和各生态功能区不同月份降尘变化趋势和秩相关系数

Tab.2 The variation trend and spearman rank correlation coefficient of dust fall in different months in Qinghai and each ecological functional zone during 2004 - 2017

月份	趋势/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)					秩相关系数				
	青海省	柴达木盆地	环青海湖区	东部农业区	三江源地区	青海省	柴达木盆地	环青海湖区	东部农业区	三江源地区
1	-1.6	-0.9	-0.4	-2.5	-2.6	-0.74**	-0.72**	-0.29	-0.58*	0.75**
2	0.1	-0.2	-0.2	0.7	-0.9	0.02	0.01	-0.14	0.12	-0.35
3	-2.7	-1.9	-1.8	-3.6	-3.8	-0.73**	-0.35	-0.73**	-0.37	-0.57*
4	-3.1	-2.7	-0.8	-4.1	-5.5	0.75**	-0.63*	-0.45	-0.51*	-0.61*
5	-0.4	-1.2	-0.5	0.9	-2.1	-0.23	-0.52*	-0.54*	0.02	-0.31
6	-1.6	-1.2	-1.4	-1.6	-3.1	-0.60*	-0.66**	-0.74**	-0.26	-0.68**
7	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-4.6	-0.45	-0.49*	-0.69**	-0.23	-0.67**
8	-0.3	-1.0	-0.3	1.0	-2.7	-0.17	-0.40	-0.28	0.24	0.64**
9	-0.2	-0.4	0.2	0.3	-2.3	-0.29	-0.26	0.16	0.17	-0.53**
10	-0.3	-0.3	0.3	-0.4	-1.4	-0.39	-0.34	0.11	-0.35	-0.35
11	0.2	0.1	-0.2	0.7	-0.5	0.10	-0.14	-0.35	0.03	-0.33
12	-0.4	-0.5	-1.0	-1.0	-1.3	-0.68**	-0.51*	-0.56*	-0.45	-0.31

注:** 和 * 分别表示 0.01 和 0.05 的显著性检验

青海省和各生态功能区气候向暖湿化发展^[23]、土壤湿度持续增长^[24]、植被覆盖缓慢上升^[25]及风速减小^[26],从而增强了地表土壤颗粒物之间的内聚力和拖曳系数,由此地表沙粒的起动风速增加,可以通过抑制地表起尘而减少降尘量。此外,本世纪初国家在青藏高原实施的退耕还林(或退牧还草)和三江源生态环境保护工程,天然植被保护力度加大,致使风沙天气日数和强度明显减弱,通过改善生态环境和增加植被覆盖减少地表起尘。

2.2 降尘的空间分布特征

由于降尘来源(受区域背景大气气溶胶与地表排放源产生的大气颗粒物质的影响)、气候变化、站点的地理位置和地形不同,降尘的分布和变化趋势存在明显差异。图4为2004—2017年青海省各站点年平均降尘量、变异系数和变化趋势。可以看出,青海省全区年降尘量和变异系数分别为 $285.9 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 和0.25,各生态功能区降尘量和变异系数分别在 $120.6 \sim 415.5 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $0.25 \sim 0.48$ 之间,按降尘量大小顺序为:东部农业区 > 三江源地区 > 柴达木盆地 > 环青海湖区,按变异系数大小顺序为:三江源地区 > 东部农业区 > 环青海湖区 > 柴达木盆地。降尘量最大出现在西宁市,为 $829.0 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$,其次为玛多站,为 $323.5 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$,最小值出现在瓦里关本底台,为 $60.3 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 。变异系数西宁最大(0.5),其次为玛多(0.48),格尔木最小(0.17),可见降尘量与城市的发达程度(主要是人类活动)有密切联系,西宁是青海省政治、文化和经济中心,是青海省人类活动最频繁和强度最大的地区,降尘量也最大。瓦里关本底台地处远离人类活动的清洁地区,人为扰动较小,降尘量最小^[15]。四季、采暖期和非采暖期降尘量的空间分布与年降尘量相一致。同仁站降尘为增多趋势($10.0 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),其他7站均为下降趋势,且西宁站下降速率最大($-37.1 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),

玛多次之($-31.2 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),瓦里关本底台最小($-1.2 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。综上所述,降尘量在较大空间尺度上的分布受气候背景和变化的影响,但在局部区域则受地形、地貌、水文、土壤和植被等地方性因素控制^[27]。

2.3 与国内城市(或地区)的对比

为探讨青海省大气降尘的地域性分布特征,表3列出近年来部分北方城市或地区的降尘量数据(因各研究对沉降通量的表达方式不尽相同,某些参考文献的数据为折算取得)。可以看出,中国北方整体降尘量分布北部多于南部,西部多于东部^[28]。降尘最大值与最小值相差甚远,其中最小值分布在沿海植被覆盖率较高地区(如青岛等),水土保持良好,且不易受大风沙尘侵袭,因此降尘量较少;其次为东北平原地区(如长春、齐齐哈尔等),为中国重工业基地,经济发展的同时造成了不同程度的环境污染,该地区降尘多为建筑、工业和燃煤粉尘等;最大值为西北部的新疆塔里木盆地(如和田等)、内蒙古高原(如呼和浩特等)和华北平原(如保定、石家庄等),这可能与观测站点的地理位置和相邻中国沙尘暴多发区有关。相比较而言,由于青海省和各生态功能区地处我国沙尘天气高发区的下游(新疆塔里木盆地)和甘肃河西走廊及内蒙古库布齐沙地南部,因此其降尘量与新疆塔里木盆地相差甚远,略低于内蒙古,但明显高于沿海地区,属于从西部向东部的过渡地带^[28]。

2.4 气象因子对降尘影响分析

大气降尘除受下垫面地表状况和大气环流影响较为显著外,与当地气象条件也存在一定的关系。限于资料,选择气温、降水量、降水日数、风速、相对湿度、气压和沙尘日数等气象因子分析其对降尘量的影响。表4列出各气象因子对降尘变化的相对贡献率。可以看出,青海省相对湿度对降尘变化影响

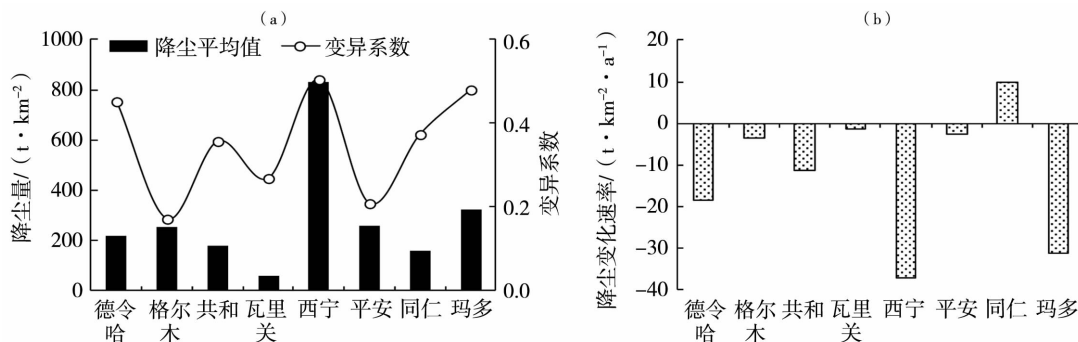


图4 2004—2017年青海省各站点年平均降尘量、变异系数(a)和变化趋势(b)

Fig. 4 The average dust fall, variation coefficient (a) and variation trend (b) at each station in Qinghai Province during 2004-2017

表3 青海省与其他城市(或地区)降尘量对比

Tab. 3 The comparison of dust fall in Qinghai Province and other cities (or regions)

行政区	城市(或地区)	采样时间	降尘量/(t·km ⁻²)	数据来源
新疆	乌鲁木齐	2014	206.76	文献 ^[5]
	和田	2015	1915.96	文献 ^[3]
陕西	西安	2014	214.08	文献 ^[4]
甘肃	兰州	1998—2011	141.6	文献 ^[20]
内蒙古	呼和浩特	2006	483.84	文献 ^[29]
辽宁	沈阳	2002—2003	309.8	文献 ^[7]
黑龙江	齐齐哈尔	2005—2009	120.72	文献 ^[8]
吉林	长春	2002—2003	144.0	文献 ^[6]
	保定	2008—2009	256.7	文献 ^[29]
河北	石家庄	1986—2006	366.4	文献 ^[29]
	城区及北部地区	2008—2009	58.4	文献 ^[30]
山西	黄土高原东部	2012	89.27	文献 ^[10]
山东	青岛	2002—2003	13.56	文献 ^[31]
河南	平顶山	2011	106.44	文献 ^[32]
青海	西宁	2004—2015	801.6	文献 ^[16]
	海东	2004—2015	268.8	
	同仁	2004—2015	148.8	
	全省	2004—2017	543.8	
	柴达木盆地	2004—2017	208.7	
	环青海湖区	2004—2017	242.5	
	东部农业区	2004—2017	306.1	
三江源地区	2004—2017	262.1		

表4 气象因子对青海省及各生态功能区降尘影响的相对贡献率

Tab. 4 Relative contribution rates of meteorological factors to dust fall in Qinghai and each ecological functional zone

地区	单位:%						风速
	气压	气温	相对湿度	降水量	降水日数	沙尘日数	
青海省	13.5	9.1	31.2	5.3	18.6	4.7	17.6
柴达木盆地	4.5	3.1	29.6	4.6	41.2	4.3	12.7
环青海湖区	2.2	12.0	38.8	1.3	25.0	14.2	6.5
东部农业区	10.1	4.3	29.1	7.7	22.6	10.1	16.2
三江源地区	22.5	21.7	9.1	1.0	29.1	0.5	16.0

最大,贡献率为31.2%,降水日数、风速和气压次之,贡献率在13.5%~18.6之间,气温、降水量和沙尘日数对降尘变化的相对贡献率较小。柴达木盆地降水日数的影响最大,贡献率为41.2%,相对湿度和风速次之,贡献率分别为29.6%和12.7%,气压、气温、降水量和沙尘日数对降尘变化的相对贡献率

较小。环青海湖区相对湿度的相对贡献率最大(38.8%),降水日数、气温和沙尘日数次之,气压、降水量和风速对降尘变化的相对贡献率较小。东部农业区相对湿度对降尘变化的相对贡献率最大(29.1%),降水日数和风速次之,其他气象因子影响较小。三江源地区降水日数的相对贡献率最大

(29.1%), 气压、气温和风速次之, 相对湿度、降水量和沙尘日数影响最小。说明青海省及各功能区影响降尘的主要气象因子是相对湿度和降水日数, 而次要因子表现略有不同。

大气降尘与气象因素之间的关系较复杂, 现有的研究也因地点资料不同而产生不同的结论^[13-14]。总体上, 风既可影响不同粒径的大气颗粒物的产生和沉降, 也影响大气颗粒物的传输; 气压高、天气晴朗导致地面温度升高可增强近地层大气对流, 易起尘, 可导致大气降尘量增加; 相对湿度、降水量和降水日数既能净化大气从而降低降尘量, 也可将空气中颗粒物淋洗加快降尘过程增加降尘量, 具体影响需从不同区域大气颗粒物排放特征进行分析。

3 结论

(1) 青海省和各生态功能区年降尘量自 2004 年以来, 总体呈下降趋势, 阶段变化略有不同; 除东部农业区和环青海湖区秋季降尘量呈增加趋势外, 各生态功能区其他季节均表现为减少趋势。

(2) 各生态功能区降尘量大小依次为: 东部农业区 > 三江源地区 > 柴达木盆地 > 环青海湖区; 最高和最低年降尘量分别出现在西宁市和瓦里关本底台。

(3) 青海省降尘量春夏季节多、秋冬季节少, 采暖期多、非采暖期少。降尘量主要集中在 3—4 月, 此时的降尘主要受来自西北面甘肃河西走廊、塔里木盆地和柴达木盆地的沙尘输送以及局地扬尘的影响。

(4) 青海省各站点年和季节降尘量和变化趋势差异较大; 降尘量在较大空间尺度上的分布受气候背景影响, 但在局部区域则受地形、地貌、水文、土壤和植被等地方性因素控制。青海省及各生态功能区降尘量的变化主要受相对湿度的影响, 降水日数的变化也影响降尘量的大小。

参考文献:

[1] 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.
 [2] 张万儒, 杨光滢. 强沙尘暴降尘对北京土壤的影响[J]. 林业科学研究, 2005, 18(1): 66-69.
 [3] 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.
 [4] 杨文娟, 陈莹, 赵剑强, 等. 西安市大气降尘污染时空分异特征[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(3): 10-14.
 [5] 刘梦潇. 乌鲁木齐市近年来大气降尘变化规律及趋势[J]. 新疆环境保护, 2008, 30(2): 35-37.

[6] 李应硕. 长春市城区大气降尘特征及来源研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2007.
 [7] 程昕, 蒯昕. 沈阳市降尘时空分布特征及影响因素分析[J]. 环境保护科学, 2009, 35(6): 1-3.
 [8] 赵静波, 苗万强, 于波. 齐齐哈尔市大气降尘状况及污染分析[J]. 黑龙江环境通报, 2010, 34(1): 40-44.
 [9] 倪刘建, 张甘霖, 周立祥. 南京市不同功能区冬季大气降尘的沉降通量和粒度分布[J]. 城市环境与城市生态, 2006, 19(2): 27-29.
 [10] 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.
 [11] 张志伟, 刘锐, 杨宝芬, 等. 工业居民混合区降尘含量的灰色 GM(1,1) 预测[J]. 中国环境监测, 1997, 13(4): 50-52.
 [12] 朱延盛, 张英俊, 邓晓东. 降尘规律研究 - 兰州城区降尘变化规律及多元自身回归预测[J]. 中国环境监测, 2000, 16(2): 55-58.
 [13] 谭洪恩, 陈春梅, 肖艳阳. 石河子市自然降尘、硫酸盐化速率与气象因子的相关分析[J]. 新疆环境保护, 1998, 20(3): 34-36.
 [14] 樊恒文, 肖洪浪, 段争虎, 等. 中国沙漠地区降尘特征与影响因素分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22(6): 559-565.
 [15] 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.
 [16] 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(2): 69-72.
 [17] 中国气象局国家气象中心. 中国气象地理区划手册[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 34-35.
 [18] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
 [19] 方精云. 地理要素对我国温度分布影响的数量评价[J]. 地理学报, 1992, 12(2): 97-104.
 [20] 尉元明, 潘峰, 王静, 等. 兰州城区 TSP 高浓度污染与自然降尘的关系[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 63-76.
 [21] 吴占华, 任国玉. 我国北方区域沙尘天气的时间特征分析[J]. 气象科技, 2007, 35(1): 96-100.
 [22] 元天刚, 陈思宇, 康丽泰, 等. 1961—2010 年中国北方沙尘源区沙尘强度时空分布特征及变化趋势[J]. 干旱气象, 2016, 34(6): 927-935.
 [23] 陈晓光, 李林, 朱西德, 等. 青海省气候变化的区域性差异及其成因研究[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(5): 249-254.
 [24] 石磊, 杜军, 周刊社, 等. 1980—2012 年青藏高原土壤湿度时空演变特征[J]. 冰川冻土, 2016, 38(5): 1241-1248.
 [25] 李璠, 徐维新. 2000—2015 年青海省不同功能区 NDVI 时空变化分析[J]. 草地学报, 2017, 25(4): 701-710.
 [26] 王慧. 近 50 年青海省风速的变化特征分析[J]. 科技资讯, 2015(1): 130-131.
 [27] 贾晓鹏, 石晓萌, 王海兵. 降尘过程指示的沙尘循环过程[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 600-603.
 [28] 王明仕, 李哈, 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.
 [29] 张素芳. 河北省近 20 年大气降尘通量的时空变化特征[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2010.
 [30] 唐杨, 徐志方, 韩贵琳. 北京及其北部地区大气降尘时空分布

- 特征[J]. 环境科学与技术,2011,34(2):115-119.
- [31] 闫涵. 黄海海域大气气溶胶与氮元素沉降通量研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2008.
- [32] 李世景. 平顶山市城区大气降尘特点监测与研究[J]. 中外企业家,2012,6(3):73-74.

Temporal and Spatial Variation Characteristics and Regional Differences of Dust Fall in Qinghai from 2004 to 2017

QI Donglin^{1,2}, ZHAO Quanning¹, ZHAO Huifang¹,
HAN Tingfang³, SU Wenjiang¹

- (1. *Institute of Qinghai Meteorological Science, Xining 810001, China;*
2. *Qinghai Key Laboratory of Disaster Preventing and Reducing, Xining 810001, China;*
3. *Geermu Meteorological Bureau of Qinghai Province, Geermu 816099, Qinghai, China*)

Abstract: In order to study the regional distribution and variation characteristics of atmospheric dust fall in Qinghai Province and explore its meteorological influence factors, this paper collected the monthly dust fall and meteorological data of 8 monitoring stations in Qinghai Province from 2004 to 2017, and analyzed the spatial and temporal distribution of atmospheric dust fall and its influencing factors. The results are as follows: (1) The atmospheric dust fall of Qinghai Province and each ecological function area showed a decreasing trend. (2) The monthly and seasonal variation trend of dust fall were obvious. The dust fall mainly concentrated in March to April, it was more in winter and spring and less in summer and autumn. The dust fall was mainly affected by dust transport from the northwest and local dust. (3) Dust fall amount and change trend of each station and ecological function area in Qinghai Province were quite different. The highest and the lowest annual dust fall amount appeared at Xining and Wariguan atmosphere watch baseline observatory, respectively. The distribution of dust fall on a larger spatial scale was influenced by climatic background, but in some areas it was controlled by local factors such as topography, landform, hydrology, soil and vegetation, and regional meteorological conditions were external factors affecting dust fall in Qinghai Province. (4) The variation of dust fall was mainly affected by relative humidity, and the variation of precipitation days also affected it.

Key words: dust fall; ecological functional area; relative contribution rate; Qinghai Province