水保监测与应用技术

黑河流域中游荒漠区沙尘暴、扬沙和浮尘监测及其与气候因子的关系

张 虎[1,2], 刘贤德[1,2], 张亚光[3], 李小燕[1,2], 范菊萍[1,2]

(1. 甘肃省祁连山水源涵养林研究院, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃张掖生态科学研究院, 甘肃 张掖 734000; 3. 甘肃省白龙江林业管理局南华生态建设局, 甘肃 高台 734300)

摘 要: [目的] 分析黑河流域中游荒漠区沙尘暴、扬沙以及浮尘频次和时长的月变化和年变化,并分析其与主要气候因子的关系,为区域沙尘天气的早期预警和荒漠区的经营和管理提供依据。[方法] 利用黑河流域红沙窝荒漠化综合防治试验站的 2010—2019 年的沙尘天气监测数据和气象数据进行分析。[结果] 沙尘频次和时长主要集中在春季,其次是冬季,春冬两季的频次和时长各占全年的 82.3%和79.4%。10 a 间沙尘暴和扬沙频次总体变化趋势逐渐减少,而浮尘频次总体变化趋势逐年增加;沙尘时长总体变化趋势逐年增加。沙尘频次月变化与土壤湿度(10 cm)和大气湿度之间呈极显著负相关($p<0.01$),与风速之间呈极显著正相关($p<0.01$)。扬沙年际发生频次与土壤温度(5 cm)之间呈显著负相关($p<0.05$),与大气温度之间呈极显著负相关($p<0.01$)。[结论] 近 10 a 来,黑河流域中游荒漠区的沙尘天气主要发生在春季和冬季,破坏性较大的沙尘暴和扬沙逐年减少,而浮尘逐年增加。沙尘频次的月变化主要影响因素是浅层土壤湿度、大气湿度和风速。春季的浅层土壤湿度影响了沙尘暴和扬沙年际频次变化,浅层土壤温度影响了浮尘年际频次变化;冬季的浅层土壤温湿度和降水量影响了沙尘暴的年际频次变化,浅层土壤温度和大气温度影响了扬沙的年际频次变化。

关键词: 荒漠区; 沙尘天气; 气候要素; 黑河流域中游

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2020)05-0106-06 **中图分类号**: X513

文献参数: 张虎, 刘贤德, 张亚光, 等. 黑河流域中游荒漠区沙尘暴、扬沙和浮尘监测及其与气候因子的关系[J]. 水土保持通报,2020,40(5):106-111. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20200914.001; Zhang Hu, Liu Xiande, Zhang Yaguang, et al. Monitoring on dust storms, fly sand, and floating dust and their relations with climatic factors in middle reaches of Heihe River [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(5):106-111.

Monitoring on Dust Storms, Fly Sand, and Floating Dust and Their Relations with Climatic Factors in Middle Reaches of Heihe River

Zhang Hu[1,2], Liu Xiande[1,2], Zhang Yaguang[3], Li Xiaoyan[1,2], Fan Juping[1,2]

(1. *Academy of Water Resource Conservation Forests of Qilian Mountains in Gansu Province, Zhangye, Gansu* 734000, *China*; 2. *Academy of Ecology Science of Zhangye City, Zhangye, Gansu* 734000, *China*; 3. *Nanhua Ecological Construction Bureau, Bailongjiang Forestry Management Bureau of Gansu Province, Gaotai, Gansu* 730070, *China*)

Abstract: [Objective] The monthly and annual changes, the frequency and duration of dust storms, fly sand, and floating dust, and the relations between these and the main climatic factors in the desert area of the middle reaches of the Heihe River basin were analyzed. The aim was to provide a basis for the early warning of sand and dust weather, and the operation and management of desert areas. [Methods] The monitoring data and meteorological data of dust-related weather during 2010—2019 from the test station of desertification control of Hongshawo desert area in the Heihe River basin were used. [Results] Dust storms and fly sand

收稿日期:2020-03-15 **修回日期**:2020-07-17

资助项目:国家林业和草原局项目"黑河流域荒漠化和沙化定位监测"; 甘肃省林业和草原局林业科技计划项目"张掖市北部荒漠植被生态效益监测研究"(2015 kj014)

第一作者:张虎(1963—),男(汉族),甘肃省张掖市人,本科,高级工程师,主要从事荒漠化监测和荒漠化防治研究。Email:zhanghu5161@126.com。

通讯作者:张亚光(1990—),男(汉族),甘肃省张掖市人,本科,助理工程师,主要从事荒漠生态建设工作。Email:490623017@qq.com。

weather were more frequent and longer in spring, followed by winter. The dust-related weather in spring and winter accounted for 82.3% and 79.4% of the frequency and length of these weather phenomena, respectively, across the whole year. In the past 10 years, the overall frequency of dust storms and fly sand gradually decreased, whereas the frequency of floating dust increased year by year, as did the duration of floating dust. The monthly variation in the frequency of floating dust weather was negatively correlated with soil moisture (10 cm depth) and atmospheric humidity ($p<0.01$), and positively correlated with wind speed ($p<0.01$). The annual occurrence frequency of sandstorm weather was negatively correlated with soil temperature (5 cm depth, $p<0.05$) and significantly negatively correlated with atmospheric temperature ($p<0.01$). [Conclusion] In the past 10 years, sand and dust weather events mainly occurred in spring and winter in the desert area of the middle reaches of the Heihe River basin. The more destructive sandstorms and sand movements decreased over this period, whereas floating dust increased year by year. The main factors influencing the monthly variation in sand and dust weather frequency were shallow soil moisture, atmospheric humidity, and wind speed. The shallow soil moisture in spring affected the interannual frequency changes of sandstorms and raised dust, and the shallow soil temperature affected the interannual frequency changes of floating dust; the shallow soil temperature, humidity, and precipitation in winter affected the interannual frequency changes of sandstorms, whereas shallow layer soils and atmospheric temperature influenced the annual frequency change of fly sand.

Keywords: desert area; dust weather; climatic factors; Heihe River basin middle reaches

沙尘天气包括沙尘暴、扬沙和浮尘等天气,尽管其发生时都伴随着风速大、沙尘多、能见度低的特点,但是它们之间的界定和观测是有区别的[1-2],而且不同的沙尘天气变化特征和影响因素可能各不相同。沙尘天气的发生是多种因素相互作用的结果,如气候因素、植被因素、人为因素等,其中气候因素对沙尘源区沙尘天气的影响占主导地位[3]。国内外学者对沙尘天气变化特征及其与气候因子的关系进行了大量的研究,在 20 世纪 20 年代国外就开展了利用降水、风速等气候因子建立的综合指数模型[4-5],分析气候因素对沙尘天气频率格局的影响。中国在 20 世纪 70 年代开始了全国、西北地区、华北地区沙尘天气的时空分布及其大气环流特征研究[6-7]。但是不同的地区,其沙尘天气的变化具有明显的地域特色。地处甘肃河西走廊中部的黑河流域荒漠区,其土地荒漠化和盐碱化是黑河流域生态最严重的生态环境问题,生态环境特别脆弱,是中国西北地区风沙灾害的严重区域之一,受到了许多专家和学者们的关注[8-9]。但是,这些研究多关注的只是沙尘暴,而对同样具有危害性的扬沙和浮尘研究报道较少。因此,本研究依托黑河流域红沙窝荒漠化综合防治试验站的监测数据,分析黑河流域中游沙尘暴、扬沙和浮尘频次和时长的月变化和年变化及其成因,并分析了这 3 种沙尘天气频次与主要气候要素的关系,旨在加深了解该区域的沙尘天气变化规律及其与气候要素的内在联系,为当地区域沙尘天气的早期预警和荒漠区的经营和管理提供依据。

1　资料与方法

1.1　研究区概况

黑河出山口的莺落峡至正义峡之间的部分属于黑河流域中游区域,范围从北纬 37°28′—39°57′到东经 97°20′—102°12′,平均海拔 1 200—1 700 m,区域内绿洲、农田、牧场、荒漠、戈壁、盐碱滩地交错分布,北部分布着巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和塔克拉玛干三大沙漠,风沙线长达 1 600 km,在地理位置上属于典型的山前荒漠和绿洲荒漠过渡地带。位于该区域内荒漠区的红沙窝荒漠化综合防治试验站,海拔 1 441 m,地理坐标 E100°31′95.8″,N39°01′79.6″。这里气候干燥,降水稀少,日照充足,昼夜温差大,近 10 a 平均气温 8.5 ℃,极端最高气温 41.7 ℃,极端最低气温 −31.7 ℃,年平均降水量 144.2 mm,年蒸发量 1 124.3 mm,年平均相对湿度 43.4%,无霜期 156 d,属中温带干旱荒漠大陆性气候。分布的植物主要以旱生、中旱生的藜科、蓼科、蒺藜科、豆科、菊科、蔷薇科、禾本科等植物为主,主要植被为泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、红砂(*Reaumuria soongarica*)、合头草(*Sympegma regelii*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)等旱生荒漠植物,植被类型属于荒漠植被。试验站设在该区的 9 个植被固定样地和 1 个临时植被样地的每月 15 日的植被结构调查表明,研究区植被盖度总体上呈明显的好转变化趋势

(见表 1)。地带性土壤主要为灰棕荒漠土和灰漠土,土壤质地较粗,有机质含量低、含盐量高,土壤母质主要是由第四纪砂砾洪积、冲积物组成。地貌类型有流动、半流动、固定或半固定的沙丘及丘间低地。地下水埋深为 4.2 m,因人类活动频繁,对地下水的影响较大。

表 1 试验区植被结构年均值变化

测定因子	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
盖度/%	11.2	10.3	10.1	11.1	10.7	10.6	8.0	17.8	13.0	12.8
生物量/(g·m^{-2})	65.3	60.0	61.8	55.1	63.6	81.3	88.7	74.9	96.0	109.8
密度/(株·m^{-2})	6.1	6.3	6.1	6.2	5.3	5.6	5.7	5.9	5.5	6.5
高度/cm	9.5	8.4	8.8	10.1	11.0	10.4	9.3	15.1	16.5	16.3

1.2 监测仪器与方法

试验站配置沙尘暴监测塔二座(5 m,10 m),其中:大流量 TSP 采样器 1 套(产地:中国,型号:KC-1 000型,范围:(0.8～1.4)m^3/min,精度:±2%);沙尘暴沙尘采样器 1 套(产地:中国,型号:SC-1,范围:40～140 L/min,精度:5%FS);单通道颗粒物采样器 1 台(产地:中国,型号:KC-16 A,范围:5～20 L/min,精度:±2%);智能中流量 TSP 采样器 1 台(产地:中国,型号:KC-120 H,范围:60～125 L/min,精度:2 级);空气质量监测站(产地:新西兰,型号:AQM 65,范围:0～2 000 μg/m^3(测定因子 TSP,PM_1,$PM_{2.5}$或 PM_{10}),精度:<±(2 μg/m^3+5%读数);便携式气象参数综合测试仪 1 台(产地:中国,型号:LS2009,范围:0～40 m/s(风速),0～360°(风向)、-50～150 ℃(温度),0%～100%(湿度),对应的精度分别为:0.1 m/s,±0.5°,±0.3 ℃,±3%);沙尘暴垂直降尘采样器 4 套(甘肃省治沙研究所自主研发产品)等相关荒漠化监测仪器和设备,在正式观测之前,已对观测试验数据进行了检验。同时建有荒漠化定位监测站分析实验室,具备进行沙尘天气监测、荒漠化监测的基础条件。

沙尘天气的观测依据中华人民共和国气象行业标准—沙尘暴、扬沙和浮尘的观测识别进行人工观测[2]。试验站有自动气象观测站一座,土壤温度(5 cm)、土壤湿度(10 cm)、大气温度、大气湿度、风速、总辐射等气象数据每小时整点采集 1 次,降水量中的降雨用翻斗式雨量计测定,降雪用称重法测定。本研究利用该试验站 2010—2019 年沙尘天气观测数据和气象监测数据进行沙尘天气与气候因子的关系研究。

1.3 数据分析方法

利用 Excel 2016 对 2010—2019 年沙尘天气频次和时长及气象要素观测数据进行统计,利用 SPSS 19 的 Spearman 和 Kendall's tau-b 模块进行沙尘天气频次和时长与气候要素间的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 沙尘暴、扬沙和浮尘频次和时长的月变化

2.1.1 沙尘暴、扬沙和浮尘频次的月变化 对监测区发生的沙尘暴、扬沙和浮尘频次的月变化进行了统计分析(见图 1),分析图 1 可以得出,沙尘暴、扬沙和浮尘频次的月变化具有明显的季节变化规律,总体上来看,沙尘暴、扬沙和浮尘的频率变化呈"单峰"型。沙尘暴、扬沙和浮尘主要集中在春季(3—5 月份),沙尘暴、扬沙和浮尘频次分别占到了一年当中的 88.9%,68.8%和 71.6%,其次是冬季(12 月至翌年 2 月份),沙尘暴、扬沙和浮尘频次分别占到了一年当中的 0,13.5%和 15.9%,春冬两季的沙尘暴、扬沙和浮尘分别占了全年总次数的 88.9%,82.3%和 87.5%,特别是沙尘暴频次的比重达到了 88.9%。秋季沙尘天气频次最低。在春季期间,3 种沙尘天气频次的高峰时段主要集中在 4 月份(68 次),其次是 3 月份(57 次),5 月份(28 次)较 3 月份和 4 月份更少;冬季期间的沙尘天气频次高峰时段主要集中在 2 月份(23 次),12 月份和 1 月份仅发生了 2 次。另外研究还发现,沙尘暴多发生在春夏季,扬沙和浮尘多发生在春冬季。

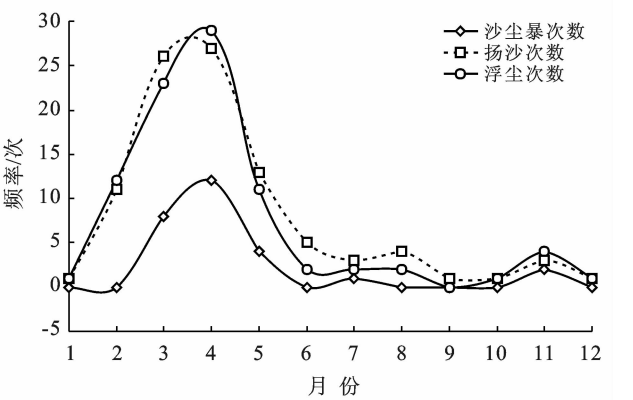


图 1 黑河流域中游荒漠区沙尘暴、扬沙和浮尘频次的月变化

2.1.2　沙尘暴、扬沙和浮尘时长的月变化　因一次沙尘事件,有时候有 1 种、2 种或 3 种天气伴随发生,而且同一沙尘天气事件中沙尘暴、扬沙和浮尘的发生时间不便于准确的测定。因此,本研究仅对监测区的沙尘时长月变化进行了统计分析(见图 2)。分析图 2 可以得出,沙尘天气时长月变化与沙尘天气频次月变化规律基本一致,春季沙尘天气时长为 1 074.6 h,占全年沙尘天气时长的 68.5%,其次是冬季的沙尘天气,其时长为 183.0 h,占全年沙尘天气时长的 10.9%,春冬两季沙尘天气占全年沙尘天气的 79.4%。秋季的时长最短,为 140.0 h。可见,沙尘天气时长也主要集中在春冬两季。在春季期间,3—5 月份的沙尘天气时长分别为 392.0,377.5 和 305.1 h,冬季期间沙尘天气的时长最大的月份为 2 月份(174.2 h),其次是 1 月份(44.6 h)和 12 月份(1.8 h)。

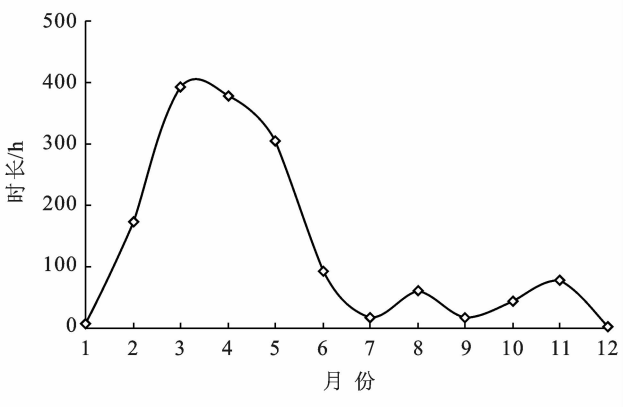


图 2　黑河流域中游荒漠区沙尘天气时长的月变化

2.2　沙尘暴、扬沙和浮尘频次和时长的年变化

2.2.1　沙尘暴、扬沙和浮尘频次的年际变化及趋势　对监测区 2010—2019 年 10 a 间发生的沙尘暴、扬沙和浮尘频次进行了统计分析(见图 3)。分析图 3 可以得出,近 10 a 来的沙尘暴、扬沙和浮尘频次的年际变化具有各自不同的变化规律,其中沙尘暴频次逐年减少,总体的变化趋势呈递减的趋势,其在 2015 年、2016 年和 2017 年发生的次数为 0 次,2018 年和 2019 年仅仅发生了 1 次;扬沙频次总体上亦呈递减的趋势,2011 年和 2013 年分别发生了 14 次和 13 次,2018 年发生了 14 次外,其他年份均低于 10 次;浮尘频次总体上的变化趋势呈递增的变化趋势,其发生的频次最多的几年,分别是 2011,2013,2016,2018 年和 2019 年,这几个年份发生的浮尘均达到了 13 次。

2.2.2　沙尘暴、扬沙和浮尘时长的年际变化及趋势　对监测区 2010—2019 年不同年际发生的沙尘天气时长进行了统计分析(见图 4)。分析图 4 可以得出,虽然不同年份间的时长变化有所波动,但其总体的变化趋势呈增加的趋势,2012 年沙尘天气时长最短,为 64.0 h,2014—2017 年沙尘天气时长变化平缓,到了 2018 年和 2019 年,沙尘天气增加到了 260.3 和 261.3 h,结合图3 的分析,其主要原因是浮尘发生的频次增加所造成的。

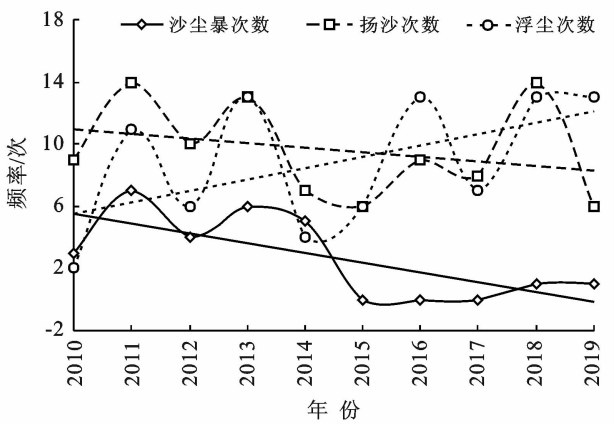


图 3　黑河流域中游荒漠区沙尘暴、扬沙和浮尘频次的年际变化及趋势

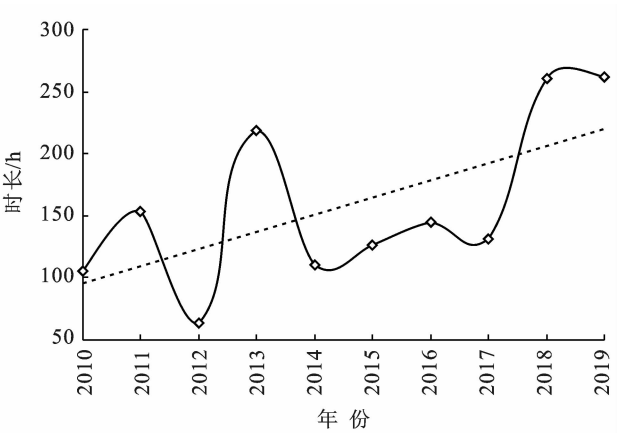


图 4　黑河流域中游荒漠区沙尘天气时长的年际变化及趋势

2.3　沙尘暴、扬沙和浮尘频次与气候因子

2.3.1　沙尘暴、扬沙和浮尘频次月变化与各气象要素的相关性分析　对监测区沙尘暴、扬沙和浮尘频次月变化与土壤温度(5 cm)、土壤湿度(10 cm)、大气温度、大气湿度、风速、降水量和总辐射月均值进行了相关性分析(见表 2)。分析表 2 可以得出,沙尘暴、扬沙和浮尘频次月变化均与当地的土壤湿度(10 cm)、大气湿度和风速之间呈极显著相关($p<0.01$),其中与土壤湿度(10 cm)和大气湿度之间呈极显著负相关($p<0.01$),与风速之间呈极显著正相关($p<0.01$)。

2.3.2　沙尘暴、扬沙和浮尘频次年际变化与各气象要素的相关性分析　对监测区沙尘暴、扬沙和浮尘频次年际变化与春、冬两季的土壤温度(5 cm)、土壤湿度(10 cm)、大气温度、大气湿度、降水量和年降水量

及年总辐射均值进行了相关性分析(见表 3)。分析表 3 可以得出,春季期间,沙尘暴、扬沙和浮尘频次年际变化与各气象要素相关性不同,沙尘暴年际发生频次仅与土壤湿度(10 cm)之间呈极显著负相关($p<0.01$),扬沙年际发生频次仅与土壤湿度(10 cm)之间呈显著负相关($p<0.05$),浮尘年际发生频次仅与土壤温度(5 cm)之间呈显著正相关($p<0.05$)。冬季期间,沙尘暴年际发生频次与冬季的土壤温度(5 cm)、土壤湿度(10 cm)和降水量相关明显,其中与土壤温度(5 cm)之间呈显著负相关($p<0.05$),与土壤湿度(10 cm)和降水量之间呈极显著负相关($p<0.01$);扬沙年际发生频次与土壤温度(5 cm)之间呈显著负相关($p<0.05$),与大气温度之间均呈极显著负相关($p<0.01$);浮尘年际发生频次与各气象要素均无显著相关性($p>0.05$)。另外,沙尘频次年变化与年降水量和年总辐射量之间相关性不显著($p>0.05$)。

表 2 黑河流域中游荒漠区沙尘暴、扬沙和浮尘频次月变化与各气象要素的 Spearman 相关系数

沙尘天气	土壤温度(5 cm)	土壤湿度(10 cm)	大气温度	大气湿度	风速	降水量	总辐射
沙尘暴	0.092	−0.732**	0.075	−0.708**	0.868**	−0.220	−0.219
扬 沙	0.071	−0.801**	0.049	−0.774**	0.888**	−0.243	−0.243
浮 尘	−0.015	−0.706**	−0.035	−0.725**	0.882**	−0.319	−0.319

注:** 表示通过了 0.01 信度检验。

表 3 黑河流域中游荒漠区沙尘暴、扬沙和浮尘年际发生频次与各气象要素的 Spearman 相关系数

沙尘天气	春季					冬季					年降水量	年总辐射
	土壤温度(5 cm)	土壤湿度(10 cm)	大气温度	大气湿度	降水量	土壤温度(5 cm)	土壤湿度(10 cm)	大气温度	大气湿度	降水量		
沙尘暴	−0.297	−0.738**	−0.279	−0.440	−0.459	−0.662*	−0.706**	−0.443	−0.070	−0.793**	−0.244	0.188
扬 沙	−0.083	−0.624*	0.070	−0.314	−0.197	−0.672*	−0.372	−0.762**	0.185	−0.300	−0.514	−0.187
浮 尘	0.639*	−0.349	0.603	−0.424	−0.276	−0.338	−0.236	−0.380	0.033	0.182	−0.540	0.251

注:** 表示通过了 0.01 信度检验,* 表示通过了 0.01 信度检验。

3 讨 论

(1) 监测区沙尘暴、扬沙和浮尘天气频次和时长的月变化均呈明显的“单峰”型变化。3 种沙尘天气主要集中在春季,其次是冬季。沙尘天气之所以集中在春季,原因是一方面地面温度回升,加上冻结的沙土结构变得疏松(4 月份表层土壤全部解冻)[10],另一方面是北方冷空气的频繁活动。在地层气温上升和冷空气相互作用下,给中小尺度天气系统提供了有力的物理转换过程,驱动了沙土在一定空间范围内的运移。在冬季虽然冷空气活动频繁,但地面温度低,冷热对流很弱,而且研究表明近地表土壤处于完全冻结状态[10],地表上的沙土不易吹起,沙尘天气以扬沙和浮尘天气为主,无沙尘暴天气。本研究分析得出沙尘暴集中在春夏季,这与丁荣等[8]得出的结论一致,夏季之所以发生的沙尘暴频次也较多,原因是监测区虽然分布大小不等的绿洲,但大部分地区分布的是戈壁荒漠,在太阳辐射下,荒漠吸热快散热也快,近地空气受热变化日较差特大,使得大气层变化极不稳定,荒漠蒸发量大,加上较短的时间内降水稀少。扬沙和浮尘的 2 种天气的四季分布与张存杰等[11]对甘肃省近 30 a 扬沙、浮尘季节分布特征一致,可见本研究监测站点尺度上分析的扬沙和浮尘季节变化规律与区域尺度上的扬沙和浮尘季节变化规律是一致的,这是由特殊的地理环境和气象条件所导致的。沙尘天气在春季发生的时间最长,其次是冬季,一方面是春冬两季沙尘天气发生频率高的原因,另一方面与这个时期的沙尘源、强风和热力不稳定因素有关。

(2) 监测区 10 a 间的沙尘暴和扬沙频次的变化趋势逐年减少,沙尘暴频次的变化趋势验证了河西走廊中部沙尘暴将在 2013—2032 年呈持续减少的变化趋势[7]。沙尘暴和扬沙频次减少的原因是监测站所在区的降水量增加的缘故,改善了当地下垫面自然植被的生长。监测站点的降水数据表明,10 a 间降水量呈逐渐增加的变化趋势,而监测站点位于河西走廊中部,已有研究表明,河西走廊中部从 1960—2012 年乃至预测未来的 20 a 该地区降水因气候变暖促使南方海洋水汽向北输送,总体上呈缓慢增加的变化趋势[12-13];另外一个原因是监测站所在区域的投入大量资源进行生态恢复与重建等生态工程建设项目,在一定程度上改善了区域生态环境所致。浮尘频次的变化趋势逐年增加,因浮尘空间分布特征不同于沙尘暴

和扬沙[11],其频次的增加是一个复杂的过程,除了与当地部分沙尘暴或扬沙天气过后所产生的滞尘天气有关外,还与其他地区沙尘暴或扬沙所卷起的沙尘由东南方向扩展到低纬度地区有关[14]。上述主要分析了监测区浮尘的产生的主要原因,至于在同一气候背景下的浮尘频次的增加,有待于进一步的深入和研究。另外研究还发现,监测区的能见度从 2010 年到 2019 年逐渐减弱,监测区沙尘暴和扬沙频次的减少小于浮尘频次的增加,沙尘暴和扬沙发生的频次低于 10 a的平均值,但发生强度增加,如发生在 2018 年 11 月 25 日 13 点 10 分的唯一一次沙尘暴,此次沙尘暴来势汹汹,能见度不到 2 m,伴随的风力达到了 7 级以上,形成了一道高达上百米的沙墙由西向东持续蔓延扩散,并入侵到甘肃省中部地区,沙尘暴和扬沙结束之后又出现了浮尘,一直持续了 11 月 26 日的 8 点。浮尘在逆温层、大气层结构、高空风场的作用下使得沙尘粒子不易扩散与沉降,从而较长时间的滞留在高空中,加上沙尘时长的年变化总体呈增加的趋势。

(3) 沙尘天气频次是大风、降水、大气温湿度、土壤温湿度等单个或多个气象要素综合作用的结果。本研究结果表明,监测区沙尘天气频次月变化与土壤湿度、大气湿度和风速密切相关,原因是土壤和大气湿度是沙尘天气发生的背景场,土壤和大气湿度越低,沙尘天气越易发生;风速是沙尘天气发生的动力条件,风速越大,沙尘天气越易发生。土壤和大气湿度和沙尘天气频次的关系与张莉等[15]分析得出的中国北方绝大多数地区沙尘暴发生日数随本地的降水和相对湿度的增加而减少的结论一致;风速和沙尘天气频次的关系与 Liu Xiaodong 等[16]研究认为中国北部沙尘暴频次与地面风速存在很强的正相关性结果一致。本研究结果还表明,春季期间的沙尘暴和扬沙频次年际变化与土壤湿度密切负相关,原因是研究区地处荒漠区,蒸发量大,加上返青季节缺水,土壤湿度很小,为沙尘暴和扬沙的发生提供了沙源。通常土壤温度变化与气温变化普遍表现为正相关关系,浅层土壤温度的变化在一定程度上促成了各种热力过程,为浮尘的发生创造了条件。沙尘暴频次年际变化与冬季期间的土壤温度相关,与土壤湿度和降水量密切相关,说明土壤温度的变化造成了土壤的热胀冷缩,增加了起尘量,研究结论与赵红岩等[17]的研究认为北方沙尘暴的多发与土壤温度偏低密切相关结论一致;降水量的减少,对沙尘暴频次的增加有明显促进作用,但与年均降水量影响无关,说明冬季的降水量对沙尘暴频次的影响作用明显。扬沙频次年际变化与冬季的土壤温度和大气温度相关,表明土壤温度变化提供了沙源,而大气温度与扬沙的作用有正反两方面[18],监测区扬沙频次的多发年,当年大气温度更低,表明大气温度为扬沙提供了有利条件。沙尘天气中的浮尘频次年变化与当地气象要素无关,即浮尘与局域气候要素无关,但是有时在同一沙尘天气事件中,既有沙尘暴、扬沙和浮尘同时发生,说明沙尘天气发生的空间范围大,如整个河西走廊地区。研究还发现,年际尺度上的沙尘天气与年降水量和年总辐射的变化联系不紧密。

4　结 论

(1) 黑河流域中游沙尘暴、扬沙和浮尘频次和时长存在明显的季节变化规律,沙尘暴、扬沙和浮尘频次最多的是春季,其次是冬季。春冬两季的沙尘暴、扬沙和浮尘分别占了全年总次数的 88.9%,82.3%和 87.5%。沙尘时长与频次的变化规律相同,时长最长的是春季,其次是冬季,春冬两季沙尘天气占全年沙尘天气的 79.4%。

(2) 2010—2019 年黑河流域中游沙尘暴和扬沙频次均逐年减少,总体上均呈减少的趋势,而浮尘频次逐年增加,总体上呈增加的趋势。沙尘天气时长因浮尘频次的增加,总体上呈增加的趋势。

(3) 黑河流域中游沙尘暴、扬沙和浮尘频次月变化的主要影响气象要素是浅层土壤湿度、大气湿度和风速。影响春季沙尘暴和扬沙频次年际变化的气象要素是浅层土壤湿度,影响浮尘年际频次变化的气象要素是浅层土壤温度;冬季沙尘暴频次年际变化与浅层土壤温湿度及降水量密切相关,而扬沙的主要影响因素是土壤温度和大气湿度,浮尘频次年际变化与当地的气象要素均无关。

[参 考 文 献]

[1] 中央气象局. 地面气象观测规范[D]. 北京:气象出版社,1979,21-27.

[2] 中国气象局. 沙尘暴、扬沙和浮尘的观测识别:QX/T 477-2019[S]. 北京:中国气象局,2019,1-3.

[3] 钱正安,宋敏红,李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠,2002,22(2):106-111.

[4] McTainsh G H, Lynch A W, Tews E K. Climatic controls upon dust storm occurrence in eastern Australia [J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39 (3): 457-466.

[5] Mctainsh G H, Lynch A W, Burgess R C. Wind erosion in Eastern Australia[J]. Soil Research, 1990, 28(2): 323.

(下转第 124 页)

[16] 陈攀,韩丽娟.不同模糊组合模型在水质评价中的应用比较[J].人民黄河,2018,40(12):100-105.

[17] 朱东方,赵开楼,白泉.小浪底水库水质分析与预测[J].山东化工,2019,48(17):109-111.

[18] 叶许春,孟元可,张永生,等.三峡库区香溪河回水区营养状态变化特征与驱动因子[J].水资源保护,2018,34(4):80-85.

[19] 邹伟,朱广伟,蔡永久,等.综合营养状态指数(TLI)在夏季长江中下游湖库评价中的局限及改进意见[J].湖泊科学,2020,32(1):36-47.

[20] 李冰.氮磷营养盐与藻类生长相关性研究[D].济南:山东建筑大学,2013.

[21] Huang Wei, Zhu Xuyu, Zeng Jiangning, et al. Responses in growth and succession of the phytoplankton community to different N/P ratios near Dongtou Island in the East China Sea[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2012,434/435:102-109.

[22] Song Jie, Hou Chuanying, Liu Qi, et al. Spatial and temporal variations in the plankton community because of water and sediment regulation in the lower reaches of Yellow River[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 261:120972.

[23] 刘莲,周小玉,赵良杰,等.氮磷比率对两种蓝藻和两种绿藻生长的影响[J].上海海洋大学学报,2014,23(4):573-581.

[24] Wang Yijie, Cai Yanpeng, Yin Xinan, et al. Succession of phytoplankton functional groups in Macau's two shallow urban border reservoirs under multiple changing factors[J]. Journal of Cleaner Production, 2020,264:121553.

[25] 武雪萍,蔡典雄,梅旭荣,等.黄河流域农业水资源与水环境问题及技术对策[J].生态环境,2007,16(1):248-252.

[26] 武玮,徐宗学,于松延.渭河流域水环境质量评价与分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),2013,49(2):275-281.

[27] Zhao M M, Wang Shaomei, Chen Yipeng, et al. Pollution status of the Yellow River tributaries in middle and lower reaches[J]. Science of the Total Environment, 2020,722:137861.

[28] 侯传莹,易雨君,宋劼,等.小浪底水库水沙调控对下游河道水质的影响[J].人民黄河,2019,41(8):32-37.

(上接第111页)

[6] 俞亚勋,赵建华.甘肃省春季沙尘暴强弱年份大气环流特征对比分析[J].干旱气象,2003,21(3):48-57.

[7] 中国气象局预测减灾司.沙尘暴监测预警服务研究[M].北京:气象出版社,2002.

[8] 丁荣,张德玉,梁俊宁,等.甘肃河西走廊中部近45 a来大风沙尘暴气候背景分析[J].中国沙漠,2006,26(5):792-796.

[9] 张正偲,董治宝.黑河流域中游沙漠风能环境与风沙地貌[J].中国沙漠,2014,34(2):332-341.

[10] 彭小清,张廷军,潘小多,等.祁连山区黑河流域季节冻土时空变化研究[J].地球科学进展,2013,28(4):497-508.

[11] 张存杰,宁惠芳.甘肃省近30年沙尘暴、扬沙、浮尘天气空间分布特征[J].气象,2002,28(3):28-32.

[12] 刘洪兰,张强,张俊国,等.1960—2012年河西走廊中部沙尘暴空间分布特征和变化规律[J].中国沙漠,2014,34(4):1102-1108.

[13] 刘洪兰,白虎志,张俊国.河西走廊中部近53年降水变化及未来趋势预测[J].干旱区研究,2011,28(1):146-150.

[14] 王式功,王金艳,周自江,等.中国沙尘天气的区域特征[J].地理学报,2003,58(2):193-200.

[15] 张莉,任国玉.中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析[J].测绘科技动态,2003,61(6):744-749.

[16] Liu Xiaodong, Yin Zhiyong, Zhang Xiaoye, et al. Analyses of the spring dust storm frequency of Northern China in relation to antecedent and concurrent wind, precipitation, vegetation, and soil moisture conditions [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2004,109(D16210):1-16.

[17] 赵红岩,杨瑜峰,梁东升,等.中国北方沙尘暴与地温场的相关分析[J].中国沙漠,2007,27(3):509-513.

[18] Zhou Xiuji, Xu Xiangde, Yan Peng, et al. Dynamic characteristics of spring sandstorms in 2000[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2002,45(10):921-930.