

南疆最大城市2018—2022年环境空气质量 变化特征分析*

段秀蓉¹, 仲军梅¹, 李刚², 韩晓越¹, 王江红³

(1. 新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州博斯腾湖科学研究所, 新疆 库尔勒 841000; 2. 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 3. 新疆维吾尔自治区巴音郭楞生态环境监测站, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 基于2018—2022年南疆最大城市(库尔勒市)六项大气污染物监测数据(PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO和O₃), 分析了库尔勒市近五年环境空气质量变化特征及其污染物浓度水平. 结果表明: 2018—2022年库尔勒市空气质量总体逐年向好, 空气质量优良天数由2018年的223 d增长到2022年的250 d, 增加了27 d; 达标率由2018年的62.5%增长到2022年的68.5%, 增长了6.0%, 重度及以上污染天数降低了23.3%. 环境空气质量指数(Air Quality Index, AQI)降低了5.4%, 五年的AQI值均高于100, 空气质量处于轻度污染水平. 常规六项污染物中SO₂和CO的浓度呈逐年下降趋势, NO₂浓度年际变化不明显, 但SO₂、NO₂、CO的年均值和季节均值均优于国家环境空气污染物浓度限值一级标准. O₃的年均值优于国家环境空气污染物浓度限值一级标准, 但O₃四季的浓度年际变化均呈上升趋势, 且2021年和2022年夏季和秋季浓度值均高于100 μg·m⁻³. 2018—2022年库尔勒市PM_{2.5}呈下降趋势, 但PM₁₀变化不明显, PM₁₀各年浓度值均大于国家环境空气污染物浓度限值二级标准(70 μg·m⁻³)2倍以上, 说明库尔勒市近几年PM₁₀污染非常严重. 此外, 每年1月PM_{2.5}/PM₁₀最高、3月PM_{2.5}/PM₁₀最低, 说明1月至3月粒径大于2.5 μm的颗粒物浓度逐渐增加, 这主要是因为库尔勒市每年春季受沙尘天气的影响.

关键词: 新疆南疆; 库尔勒市; 2018—2022年; 空气质量; 污染特征

DOI: 10.13568/j.cnki.651094.651316.2024.02.26.0002

中图分类号: X511 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7675(2024)04-0479-09

引文格式: 段秀蓉, 仲军梅, 李刚, 韩晓越, 王江红. 南疆最大城市2018—2022年环境空气质量变化特征分析[J]. 新疆大学学报(自然科学版中英文), 2024, 41(4): 479-487+496.

英文引文格式: DUAN Xiurong, ZHONG Junmei, LI Gang, HAN Xiaoyue, WANG Jianghong. Analysis of the characteristics of ambient air quality of the largest city in southern Xinjiang from 2018 to 2022[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and English), 2024, 41(4): 479-487+496.

Analysis of the Characteristics of Ambient Air Quality of the Largest City in Southern Xinjiang from 2018 to 2022

DUAN Xiurong¹, ZHONG Junmei¹, LI Gang², HAN Xiaoyue¹, WANG Jianghong³

(1. Bosten Lake Scientific Research Institute, Bayingol Mongolian Autonomous Prefecture, Xinjiang Uygur Autonomous Region of China, Korla Xinjiang 841000, China; 2. State Key Laboratory of Environment Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China; 3. Bayingol Ecological Environment Monitoring Station of Xinjiang Uygur Autonomous Region of China, Korla Xinjiang 841000, China)

Abstract: The characteristics of ambient air quality and the pollutant concentration level of Korla city, the largest city in southern Xinjiang is analyzed by the monitoring data of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, CO and O₃ concentration from 2018 to 2022. The results showed that the air quality of Korla city has been improving from 2018 to 2022. The number of days with excellent air quality has increased from 223 days in 2018 to 250 days in 2022, and an increase of 27 days. The air quality compliance rate has increased from 62.5% in 2018 to 68.5% in 2022, and an increase of 6.0%. The number of days with severe or above pollution has decreased by 23.3%. The air quality index (AQI) has decreased by 5.4%, but the AQI values for five years are all above 100, indicating that

* 收稿日期: 2024-02-26

基金项目: 新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州科学技术研究计划项目“库尔勒区域气象条件对空气质量影响分析”(202206).

作者简介: 段秀蓉(1973—), 女, 正高级工程师, 从事大气环境分析的研究, E-mail: 443771744@qq.com.

average annual air quality in Korla city is at a mild pollution level. The concentrations of SO_2 and CO show a decreasing trend year by year, and the NO_2 concentration does not change significantly, but the average annual and seasonal values of SO_2 , NO_2 and CO are superior to the first level standard of national ambient air pollutant concentration limit. The annual average value of O_3 is lower than the first level standard of national ambient air pollutant concentration limit, but the interannual variation of O_3 in all four seasons shows an upward trend, and the O_3 concentrations in the summer and autumn of 2021 and 2022 are all higher than $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. From 2018 to 2022, the concentration of $\text{PM}_{2.5}$ in Korla city shows a downward trend, PM_{10} does not change significantly. However, the annual concentration of PM_{10} is twice higher than the second level standard of national ambient air pollutant concentration limit ($70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), indicating that the PM_{10} pollution in Korla city is very serious in recent years. In addition, the $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ratio is highest in January and lowest in March every year, indicating that the concentration of particulate matter with a diameter greater than $2.5 \mu\text{m}$ gradually increases from January to March. This is mainly because Korla city is affected by sandstorms every spring.

Key words: southern Xinjiang; Korla city; 2018—2022; air quality; pollution characteristics

0 引言

城市环境空气质量是反映人民群众居住条件和生活质量的重要健康指标,其优劣程度直接影响着城市的投资环境,因此受到政府和人民群众的广泛关注^[1-2]. 随着社会经济的快速发展,机动车和工业排放不断增加,城市环境空气质量状况也变得越来越差,空气污染已经成为目前突出的城市环境问题^[3]. 近年来,我国持续加大生态环境保护力度,大气污染治理成绩斐然,环境空气质量呈现稳中向好趋势,但环境空气质量的持续改善仍面临着诸多困难和挑战^[4]. 因为环境空气质量会受到污染物排放、气候条件变化等多种因素的叠加影响,所以十分有必要开展不同地区主要城市的环境空气质量特征研究.

库尔勒市是南疆最大的城市,位于新疆中部、天山南麓、塔克拉玛干沙漠北部,是南北疆重要的交通、政治、经济和文化中心,在新疆具有重要的战略地位^[5-7]. 近年来,库尔勒市以颗粒物为首的空气污染越发严重,沙尘天气频发,极大影响了当地的农业生产和人民生活. 虽有学者对新疆不同城市的大气污染特征开展了一些研究^[8-12],但关于库尔勒市空气质量特征的研究较少涉及,仅有巩庆^[13]、张欣^[14]、陆忠奇^[15]等研究了2014—2015年库尔勒市空气质量特征,发现 PM_{10} 为首要污染物,春季出现频率最高,为33.9%~36.3%, $\text{PM}_{2.5}$ 冬季出现频率最高,为59.1%~86.4%, SO_2 、 NO_2 、CO和 O_3 出现频率均低于10.0%,但缺少对 SO_2 、 NO_2 、CO和 O_3 四项气态污染物的浓度分析. 由于环境空气质量的长期演变特征能够反映某个地区大气污染的特性,因此,本文基于库尔勒市2018—2022年的六项大气污染物监测数据,阐明库尔勒市经济发展过程中环境空气质量的变化趋势,以期为改善库尔勒市以及全疆城市环境空气质量和制订更为合理的大气污染控制或防治措施提供数据支撑.

1 数据来源与分析方法

库尔勒市现有孔雀公园、棉纺厂和经济开发区三个国家环境空气质量自动监测点(表1),本文获取了2018年1月至2022年12月共五年(1 818 d)的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、CO和 O_3 日均值数据,并根据《环

境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633—2012)和《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)进行数据分析^[16-17]. AQI的等级划分标准以及各污染物浓度限值见表2. 利用美国国家海洋和大气管理局(NOAA)GDAS数据库的气象数据,以监测站点的经纬度坐标为目标区域,起始高度为500 m,时间分辨率为1 h,后向追踪48 h,使用TrajStat软件对气流轨迹进行分析. 本文分析季节变化趋势时采用以下划分方式:2至4月为春季,5至7月为夏季,8至10月为秋季,11至12月及次年1月为冬季.

2 结果与讨论

2.1 空气质量年际变化特征

2018—2022年库尔勒市环境空气质量优良天数分别为223、221、274、235和250 d,空气质量达标率分别为62.5%、60.5%、74.9%、64.4%和68.5%,总体呈上升趋势,表明空气质量总体逐年好转. 2018—2022年库尔勒市AQI分别为111、116、104、115和105,年均AQI均处于轻度污染水平(图1),空气污染较为严重,且孔雀公园、棉纺厂和经济开发区的AQI超标率分别为35.2%、33.4%和35.5%,空气污染水平较为接近. $\text{PM}_{2.5}$ 年均值分别

表 1 监测站点信息

站点名称	经度	纬度	功能区
孔雀公园	86.156 E	41.760 N	商业和居民区
棉纺厂	86.206 E	41.724 N	工业和居民区
经济开发区	86.245 E	41.724 N	文化区

为44.3、46.7、45.6、41.3和39.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 均大于国家二级标准 ($35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) [16], 表明库尔勒市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染较为严重; PM_{10} 年均值分别为155.8、166.5、148.4、158.3和146.4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 均大于国家二级标准 ($70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 2倍以上, 表明库尔勒市 PM_{10} 污染严重. SO_2 年均值分别为6.1、5.2、5.2、4.4和4.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, NO_2 年均值分别为19.3、22.9、20.1、24.6和20.1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, CO 年均值分别为0.7、0.7、0.6、0.5和0.4 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, O_3 年均值分别为82.5、91.6、89.8、92.6和96.9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 均优于国家一级标准 ($100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). 综上可知, 库尔勒市 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染较为严重, 尤其是 PM_{10} 污染最为严重, SO_2 、 NO_2 、 CO 和 O_3 浓度较低.

表 2 AQI级别判断标准与各污染物浓度限值

AQI	级别	类别	各污染物浓度限值					
			$\text{PM}_{2.5}$ 24 h平均 / $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	PM_{10} 24 h平均 / $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	SO_2 24 h平均 / $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	NO_2 24 h平均 / $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	CO 24 h平均 / $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	O_3 8 h滑动平均 / $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$
0~50	一级	优	35	50	50	40	2	100
51~100	二级	良	75	150	150	80	4	160
101~150	三级	轻度污染	115	250	475	180	14	215
151~200	四级	中度污染	150	350	800	280	24	265
201~300	五级	重度污染	250	420	1 600	565	36	800
>300	六级	严重污染	>350	>500	>2 100	>750	>48	>800

从逐月变化来看, 库尔勒市AQI大致分为三个阶段, 整体呈先上升后下降、再波动上升的趋势(图2). 具体表现为: 1至3月急剧增加, 在3月达到该阶段峰值后, 持续下降至8月的最低值, 随后波动上升. 5至10月(夏季、秋季)的AQI低于100, 达到国家二级标准, 类别为良; 春季和冬季的AQI较高, 尤其在3月超过200, 达到重度污染状态.

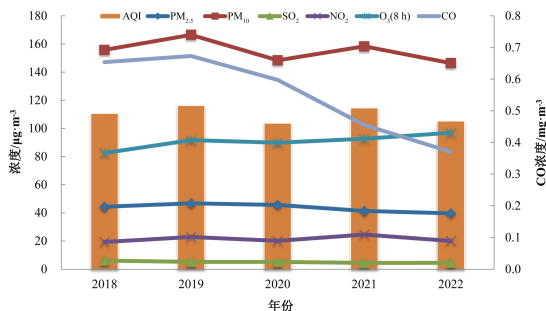


图 1 库尔勒市2018—2022年空气质量变化情况

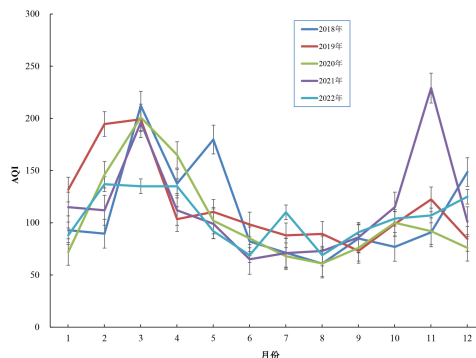


图 2 库尔勒市2018—2022年AQI逐月变化趋势

从年度水平来看, 2018—2022年重度及以上污染天数分别为30、29、26、34和23 d, 总体呈下降趋势(表3). 2021年重度及以上污染天数最多, 占全年的9.3%. 2019年和2020年的严重污染天数最多, 分别为22和21 d; 2022年的严重污染天数最少, 为11 d, 表明严重污染天数在逐渐减少, 但重度污染天数有所增加. 总体来看, 2022年库尔勒市空气质量优良天数明显增加, 占全年的68.5%, 轻度污染天数较2020年和2021年有所增加, 但中度和严重污染天数明显减少, 表明库尔勒市2022年空气质量相对有所好转[18-19]. 从五年污染等级均值来看(表3), 优级天数为15 d, 占比4.1%, 对应AQI均值为46; 良级天数为226 d, 占比62.1%, 对应AQI均值为73; 轻度污染天数为70 d, 占比19.3%, 对应AQI均值为121; 中度污染天数为24 d, 占比6.7%, 对应AQI均值为171; 重度污染天数为10 d, 占比2.8%, 对应AQI均值为242; 严重污染天数为18 d, 占比5.0%, 对应AQI均值为426.

2.2 空气质量季节变化特征

根据库尔勒市2018—2022年环境空气污染物监测数据, 按照春季(2至4月)、夏季(5至7月)、秋季(8至10月)和冬季(11至12月及次年1月)进行数据分析. SO_2 、 NO_2 和 CO 季节均值均优于国家环境空气污染物浓度限值一级标准[16], O_3 部分年份和季节优于国家一级标准; 四者全部优于国家二级标准, 说明库尔勒市 SO_2 、 NO_2 、 CO 和 O_3 的季节浓度值均优于国家二级标准, 处于优良水平(表4).

表 3 库尔勒市2018—2022年空气质量水平

	2018年		2019年		2020年		2021年		2022年	
	天数	AQI	天数	AQI	天数	AQI	天数	AQI	天数	AQI
优 (AQI≤50)	22	46	5	46	21	47	15	46	11	46
良 (50<AQI≤100)	201	72	216	74	253	72	220	74	239	75
轻度 (100<AQI≤150)	87	122	84	122	49	120	59	117	72	123
中度 (150<AQI≤200)	17	171	31	169	17	166	37	173	20	175
重度 (200<AQI≤300)	12	238	7	223	5	246	15	249	12	254
严重 (AQI>300)	18	440	22	412	21	432	19	420	11	430

SO₂在春季和夏季的浓度逐年降低,冬季有所降低,但2022年冬季SO₂浓度最高,达到7.3 μg·m⁻³,其次是秋季(变化不大),春季和夏季浓度最低. NO₂四季的浓度年际变化不明显,但2022年秋季浓度为近五年最低. CO四季的浓度年际变化明显呈逐年降低趋势,表明库尔勒市CO污染物浓度管控较好. O₃与CO四季的浓度年际变化趋势相反,呈逐年升高趋势,表明库尔勒市O₃浓度水平一年四季都在逐年升高,且2021年和2022年春季和秋季浓度值均高于100 μg·m⁻³,需要进一步加大管控力度^[20-21].

表 4 库尔勒市2018—2022年不同季节空气污染物浓度

污染物	年份	春季	夏季	秋季	冬季
SO ₂ /(μg·m ⁻³)	2018	6.4	5.2	6.1	6.7
	2019	5.3	5.6	4.6	5.3
	2020	6.1	4.1	5.0	5.6
	2021	4.1	4.6	4.5	4.1
	2022	3.1	3.0	4.9	7.3
NO ₂ /(μg·m ⁻³)	2018	21.5	12.9	17.8	25.0
	2019	21.7	16.6	22.1	31.1
	2020	14.4	14.0	20.9	31.2
	2021	23.6	17.8	22.2	34.7
	2022	22.5	14.1	10.7	33.0
CO/(mg·m ⁻³)	2018	0.8	0.3	0.5	1.0
	2019	0.6	0.6	0.6	0.9
	2020	0.5	0.5	0.6	0.8
	2021	0.5	0.4	0.4	0.6
	2022	0.4	0.3	0.2	0.5
O ₃ (8 h)/(μg·m ⁻³)	2018	82.1	102.5	86.1	59.4
	2019	90.4	111.1	97.2	67.8
	2020	92.6	109.7	93.0	64.1
	2021	92.5	112.3	103.0	62.7
	2022	95.0	114.8	104.9	73.0

总体从季节水平来看,库尔勒市SO₂和CO浓度呈逐年下降趋势,NO₂浓度变化不大,O₃呈逐年上升趋势,但气体污染物浓度较低,主要污染物仍为颗粒物.如图3所示,库尔勒市PM_{2.5}浓度在春季和冬季较高、夏季和秋季较低,2020年春季最高,达到73 μg·m⁻³,其它年份较低,其中2022年春季最低,为48 μg·m⁻³,说明库尔勒市PM_{2.5}在春季逐年有所下降.冬季和秋季PM_{2.5}浓度总体变化不大,夏季呈逐年下降趋势,但2022年有所上升.近几年,库尔勒市PM_{2.5}浓度在夏季和秋季普遍低于国家二级标准(35 μg·m⁻³),而冬季和春季普遍高于35 μg·m⁻³,当地仍需加强冬季和春季的PM_{2.5}管控.

库尔勒市2018—2022年各季节的PM₁₀浓度均高于国家二级标准(70 μg·m⁻³),尤其是春季PM₁₀浓度最高,2020年春季PM₁₀浓度均值高达285 μg·m⁻³,为国家二级标准的4.07倍,2021年和2022年分别为3.03倍和2.96倍,说明库尔勒市春季PM₁₀污染形势严峻.冬季PM₁₀污染形势同样严峻,2020—2022年冬季库尔勒市PM₁₀浓

度分别为103、221和167 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,为国家二级标准的1.47倍、3.16倍和2.39倍.夏季和秋季 PM_{10} 浓度明显低于春季和冬季,但各季节逐年浓度值均高于70 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,2022年夏季和秋季分别为106和105 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,说明夏季和秋季的 PM_{10} 同样需要加大管控力度.

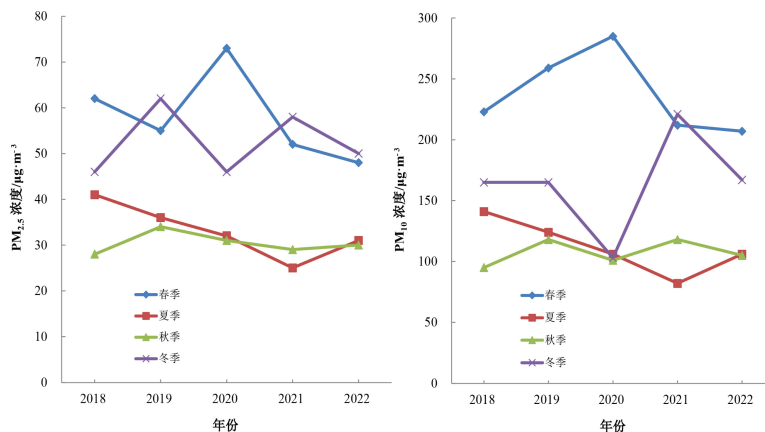


图3 库尔勒市2018—2022年 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 变化情况

库尔勒市的污染类型主要是“沙尘型”,时空变化趋势明显,年内污染物浓度显示季节性分布特征,空气质量由好到差排列:夏季、秋季、冬季、春季.春季受大风沙尘影响, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 污染严重,空气质量在全年中最差;夏季大气通透性强,臭氧污染开始逐步凸显,但未超国家二级标准,空气质量在全年中最好;秋季受沙尘影响,空气质量比夏季下降;冬季受燃煤量消耗增大的影响, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 污染加重,但大气层稳定,风沙天气少,空气质量冬季总体较好.从气候特征来看,库尔勒市属于温带季风气候,夏季炎热、降水多,冬季寒冷干燥.冬季在西伯利亚大陆冷高压的影响下,以偏西、偏北风为主,雨雪稀少;春季以偏东、偏南风为主,大风沙尘天气较多.全年降水分布不均,春季降水量最低,大风沙尘频发的春季,有效降水过程极少,大大减弱了对库尔勒市沙尘的清除作用,所以春季空气质量最差,夏、秋季较好.

2.3 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 逐月变化特征

通过计算各年度逐月 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值,可得出库尔勒市 $\text{PM}_{2.5}$ 在 PM_{10} 中的占比情况,进而分析颗粒物的组成特征.2018—2022年库尔勒市 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 均值分别为0.32、0.32、0.38、0.31和0.30,除2020年外各年份整体较为一致,说明 $\text{PM}_{2.5}$ 在 PM_{10} 中的占比年际变化不大(表5).由2018—2022年各月 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值可知,2020年1月最高,为0.63,其它月份比值均不高于0.5,说明库尔勒市大气颗粒物中细颗粒物占比较低,大气颗粒物以 PM_{10} 为主^[22-24],这与之前的研究结果相同^[14].每年3月 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 为各月中最低,2018—2022年分别为0.24、0.21、0.23、0.23和0.22;1月 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 为各月中最高,2018—2022年分别为0.31、0.41、0.63、0.28和0.46;两个月份相距很近,说明每年1至3月 $\text{PM}_{2.5}$ 在 PM_{10} 中的占比迅速变小,粒径大于2.5 μm 的颗粒物浓度占比迅速增加.由2018—2022年 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 逐日变化情况(图4)可知,1月 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度较低,2022年1月 $\text{PM}_{2.5}$ 为56.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 PM_{10} 为120.5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,3月 $\text{PM}_{2.5}$ 有所降低,为44.9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,但 PM_{10} 大幅升高,为206.2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,说明3月粒径较大的颗粒物明显增多,已有研究表明主要受每年春季沙尘天气的影响^[25-28].

$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 在各季节以及全年都整体较低,2018—2022年 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 逐月变化趋势高度相似,说明可吸入颗粒物与细颗粒物的主要来源相似.研究表明,当 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 介于0.1~0.3时,颗粒物主要受沙尘输送作用影

表5 库尔勒市2018—2022年 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 月均值

月份	年份				
	2018	2019	2020	2021	2022
1	0.31	0.41	0.63	0.28	0.46
2	0.36	0.20	0.29	0.25	0.23
3	0.24	0.21	0.23	0.23	0.22
4	0.28	0.24	0.27	0.29	0.24
5	0.27	0.29	0.31	0.29	0.32
6	0.34	0.27	0.28	0.33	0.31
7	0.31	0.31	0.32	0.32	0.26
8	0.30	0.32	0.38	0.31	0.32
9	0.31	0.29	0.32	0.28	0.29
10	0.28	0.27	0.27	0.20	0.26
11	0.29	0.30	0.31	0.21	0.23
12	0.25	0.43	0.50	0.37	0.27

响;当 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 介于0.7~0.8时,颗粒物主要受非沙尘气溶胶影响^[29]. 库尔勒市 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 在12月、次年1月较高,说明细颗粒物占比较大,冬季受人为源排放颗粒物影响较大,而2至11月比值均小于0.5,说明受自然源沙尘气溶胶影响较大,整体来看,自然沙尘对库尔勒市颗粒物的影响处于突出地位^[30-34].

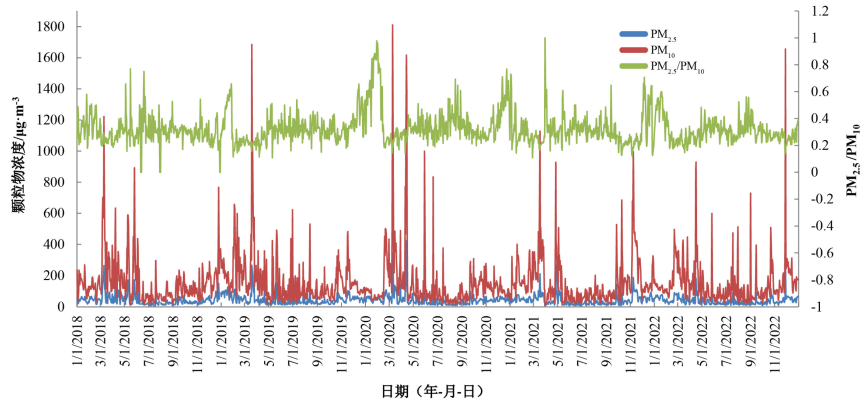


图4 库尔勒市2018—2022年 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 逐日变化情况

2.4 污染天与沙尘天

综合考虑空气中的污染物浓度以及对健康的影响,当AQI超过100时,界定为污染天^[17],当 PM_{10} 小时浓度大于等于 $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 且 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 小于等于0.30时(冬季 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 小于等于0.40),界定为沙尘影响日^[35]. 近沙尘源区城市或站点 PM_{10} 小时浓度持续2小时超过 $600 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 或持续1小时超过 $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,可以扣除沙尘天气影响区域范围源区及下游城市颗粒物监测数据^[36].

库尔勒市地处塔克拉玛干沙漠北缘,全年污染天数受沙尘影响较大,总体来看全年沙尘天数占污染天数的95.1%. 由2018—2022年环境空气质量污染天数与沙尘天数均值对比可知(图5),1、2、6、7、8、10和12月污染天数与沙尘天数相差较大,3至5月沙尘天数与污染天数相差1 d,9和11月污染天数和沙尘天数相同,其中3至11月相差天数相对较小,库尔勒市污染天数与沙尘天数紧密相关,需要重点关注沙尘的影响. 2018—2022年均值中,2至4月沙尘天数占污染天数的比例分别为80.0%、95.7%和107.7%,而2022年对应为100%、100%和121.4%,说明2022年春季库尔勒市沙尘相对严重. 2022年12月库尔勒市沙尘天数是五年平均值的2.5倍,污染天数是2.2倍,且表5中2018—2022年12月 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 年度均值为0.39,说明库尔勒市冬季颗粒物来源受沙尘影响很大,需重点关注沙尘的管控^[14,37-39].

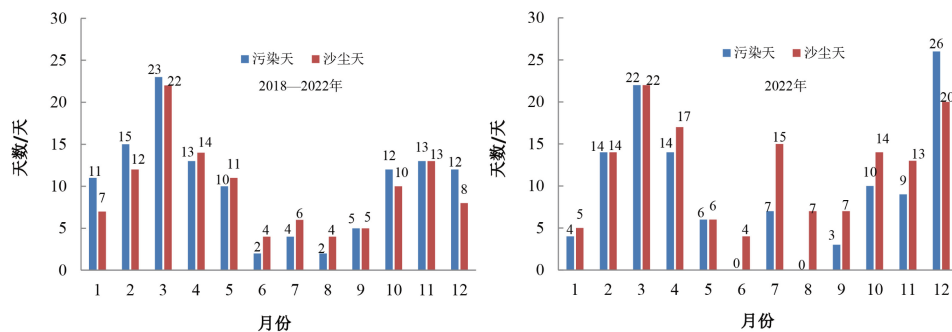


图5 库尔勒市逐月污染天数与沙尘天数

2.5 后向轨迹模型分析

后向轨迹模型可以对气团的输送路径进行数值模拟和分析,并能定量反映污染物的空间区域输送特征,该模型在污染物来源及空间输送方面已经在国内外得到了广泛应用^[40]. 如Dimitriou等通过后向轨迹聚类分析了2011—2012年抵达巴黎的气团,发现巴黎本地气团对 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的贡献率超过50%^[41]. 姚青等对天津城区 $PM_{2.5}$ 中碳组分污染特征进行了后向轨迹聚类分析,发现本地气流及偏南气流控制下的 $PM_{2.5}$ 中碳组分浓度较高^[42]. 因此,本文选取库尔勒市2022年1月1日至7日(PM_{10} 为 $148.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)和3月12日至18日(PM_{10} 为 $286.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)两次沙尘过程进行后向轨迹分析(图6),发现1月沙尘过程气流主要来自西部和北部,3月沙尘过程气流主要来自

自西部、南部和东部,表明2022年春季,库尔勒市沙尘天气受来自西部、南部和东部的气流影响较大.此外,库尔勒市1月沙尘过程的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 为0.43,而3月为0.20,3月沙尘过程中粒径大于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的颗粒物占比增加,这或许与春季库尔勒市受来自西部气流的影响有很大关系.因为西部气流是来自塔里木盆地的短气流,该气流轨迹短,气团移动速度缓慢,不利于污染物的扩散稀释,且途经中国最大的沙尘源区(塔克拉玛干沙漠地区),气流携带大量的沙漠地表沙尘,从而使库尔勒市春季较多的沙尘天气携带了大量的粗颗粒物,造成库尔勒市 PM_{10} 浓度升高^[14].

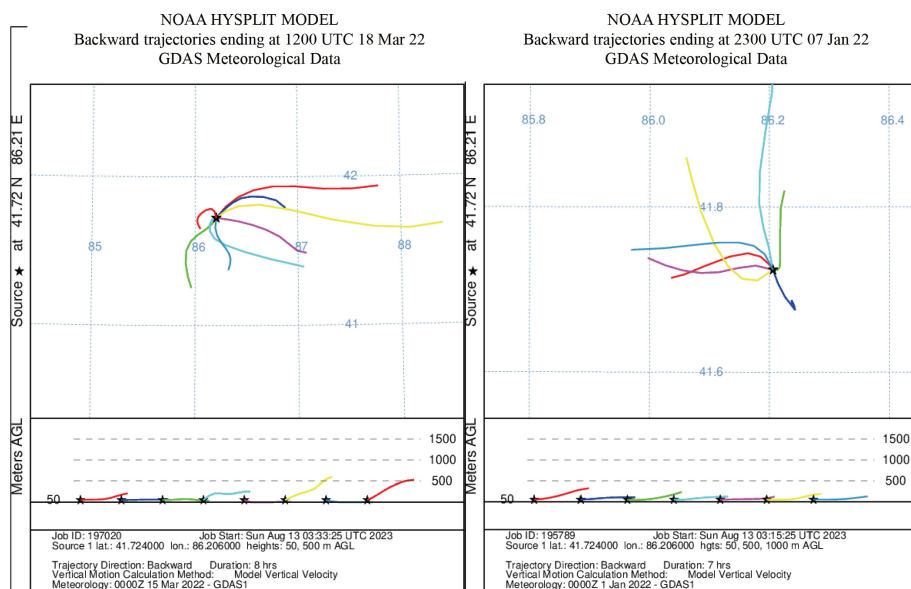


图6 2022年1月和3月沙尘天后向轨迹

3 结论

(1) 2018—2022年库尔勒市空气质量总体逐年向好,优良天数由2018年的223 d增加到2022年的250 d,达标率由62.5%增长到68.5%,AQI由111降低到105,降低了5.4%;重度及以上污染天数由30 d减少到23 d,降低了23.3%.但五年的AQI均高于100,表明库尔勒市年均空气质量仍处于轻度污染水平.

(2) 常规六项污染物中 SO_2 、 NO_2 、CO的年均值和季节值均优于国家一级标准。 SO_2 和CO的浓度呈逐年下降趋势, NO_2 浓度逐年变化不明显; O_3 的年均值优于国家一级标准,夏季优于国家二级标准,春季、秋季和冬季优于国家一级标准,且四季的浓度年际变化均呈上升趋势,其中2021年和2022年夏季和秋季浓度值均高于 $100\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,因此库尔勒市应适当加强夏季和秋季 O_3 的管控力度.

(3) 2018—2022年库尔勒市 $PM_{2.5}$ 年均值分别为44.3、46.7、45.6、41.3和 $39.6\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, PM_{10} 年均值分别为155.8、166.5、148.4、158.3和 $146.4\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。 PM_{10} 年均值均大于国家二级标准($70\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)2倍以上,2020—2022年春季分别为4.07倍、3.03倍和2.96倍,冬季分别为1.47倍、3.16倍和2.39倍,表明库尔勒市近几年冬季和春季 PM_{10} 污染非常严重,需要加大管控力度.每年1月 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 最高,3月 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 最低,说明1月开始至3月, $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中占比迅速变小,粒径大于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的颗粒物占比迅速增加,主要是库尔勒市每年春季受西部沙尘的影响.

参考文献:

- [1] 姚从蓉,陈魁. 城市环境空气质量变化规律及污染特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(5): 50-52.
YAO C R, CHEN K. Time change regulation of urban air quality and pollution character[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(5): 50-52. (in Chinese)
- [2] 何仲德,常毅. 2001—2010年甘肃省城市环境空气质量分析[J]. 甘肃科学学报, 2012, 24(2): 72-74.
HE Z D, CHANG Y. The analysis of the variation trend of ambient air quality in cities of Gansu Province from 2001 to 2010[J]. Journal of Gansu Sciences, 2012, 24(2): 72-74. (in Chinese)
- [3] 徐冰焯,俞洁,沈叶民. 近10年浙江省城市环境空气质量变化趋势及影响因素分析[J]. 环境污染与防治, 2017, 39(6): 610-615+619.

- XU B Y, YU J, SHEN Y M. Analysis on the variation trend and influence factors of ambient air quality in Zhejiang Province during recent ten years[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2017, 39(6): 610-615+619. (in Chinese)
- [4] 顾和军, 严蔚然. 空气污染治理对企业全要素生产率的影响: 基于《环境空气质量标准(2012)》的准自然实验[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(11): 59-67.
- GU H J, YAN W R. Impact of air pollution control on total factor productivity of firms: A quasi-natural experiment based on the *Ambient Air Quality Standards (2012)*[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(11): 59-67. (in Chinese)
- [5] 赵琦, 施晓冬, 帅东海, 等. “十三五”末塔里木盆地南缘巴州环境空气质量时空变化研究[J]. *绿色科技*, 2022, 24(16): 206-210.
- ZHAO Q, SHI X D, SHUAI D H, et al. Study on the spatial and temporal variation of ambient air quality of Bazhou county and city in the southern margin of Tarim Basin at the end of “the 13th Five-Year Plan”[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2022, 24(16): 206-210. (in Chinese)
- [6] 新疆维吾尔自治区生态环境厅. 新疆维吾尔自治区2022年生态环境状况公报[R/OL]. (2023-06-06)[2023-12-15]. <http://sthjt.xinjiang.gov.cn/xjepd/hjzkqb/202306/e47e5c9aaca643a38bd30762c27eaa1c/files/b40b95c617c14a7fa96103c1431a22d2.pdf>.
- Department of Ecology and Environment of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Announcement on the ecological environment status of Xinjiang Uygur Autonomous Region in 2022[R/OL]. (2023-06-06)[2023-12-15]. <http://sthjt.xinjiang.gov.cn/xjepd/hjzkqb/202306/e47e5c9aaca643a38bd30762c27eaa1c/files/b40b95c617c14a7fa96103c1431a22d2.pdf>. (in Chinese)
- [7] 张慧岚, 赵占成, 吴钧, 等. 库尔勒市空气质量分析及预报方法研究[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2011, 5(1): 21-24.
- ZHANG H L, ZHAO Z C, WU J, et al. A study on the air quality in Korla city and method of the forecast[J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 2011, 5(1): 21-24. (in Chinese)
- [8] 艾则提玉买尔·艾买提, 米热班·艾尔肯. 喀什市2022年环境空气质量特征分析[J]. *中国环境监测*, 2023, 39(S1): 59-62.
- AIZETIYUMAIER A, MIREBAN A. Analysis on the characteristics of ambient air quality in Kashgar city in 2022[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2023, 39(S1): 59-62. (in Chinese)
- [9] 蔡仁, 李霞, 赵克明, 等. 乌鲁木齐大气污染特征及气象条件的影响[J]. *环境科学与技术*, 2014, 37(6N): 40-48.
- CAI R, LI X, ZHAO K M, et al. The air pollution characteristics and the impact of meteorological conditions in Urumqi[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, 37(6N): 40-48. (in Chinese)
- [10] 宋思醒, 邓文叶, 邓葵, 等. 新疆“乌-昌-石”区域空气质量变化特征分析[J]. *新疆环境保护*, 2021, 43(2): 30-37.
- SONG S X, DENG W Y, DENG K, et al. Analysis of air pollution characteristics in Wu-Chang-Shi area of Xinjiang[J]. *Environmental Protection of Xinjiang*, 2021, 43(2): 30-37. (in Chinese)
- [11] 王蕾, 孜比布拉·司马义, 杨胜天, 等. 北疆主要城市的大气污染状况分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(6): 182-186.
- WANG L, ZIBIBULA S, YANG S T, et al. Analysis on the air pollution status of major cities in northern Xinjiang[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(6): 182-186. (in Chinese)
- [12] 杨艳艳, 帕丽达·牙合甫, 蔡梦玥, 等. 新疆地区城市环境空气质量特征分析[J]. *环境保护科学*, 2023, 49(5): 106-113.
- YANG Y Y, PALIDA Y, CAI M Y, et al. Analysis of urban ambient air quality characteristics in Xinjiang[J]. *Environmental Protection Science*, 2023, 49(5): 106-113. (in Chinese)
- [13] 巩庆, 范金霞, 林卫, 等. 2014—2015年新疆库尔勒市空气质量的时空分布特征[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2017, 11(5): 77-82.
- GONG Q, FAN J X, LIN W, et al. Spatial and temporal distribution of air quality levels and primary pollutant in Korla city, Xinjiang[J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 2017, 11(5): 77-82. (in Chinese)
- [14] 张欣, 季晓燕. 库尔勒市空气污染现状与成因分析[J]. *干旱环境监测*, 2016, 30(2): 54-57.
- ZHANG X, JI X Y. Present presentation status and countermeasures of atmospheric pollution in Korla[J]. *Arid Environmental Monitoring*, 2016, 30(2): 54-57. (in Chinese)
- [15] 陆忠奇, 赵竹君, 何清. 库尔勒市大气颗粒物浓度特征及来源[J]. *中国沙漠*, 2022, 42(6): 74-84.
- LU Z Q, ZHAO Z J, HE Q. Concentrations characteristics and sources of particulate matter in Korla, Xinjiang, China[J]. *Journal of Desert Research*, 2022, 42(6): 74-84. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国生态环境部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 环境空气质量标准: GB 3095—2012[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Ambient air quality standards: GB 3095—2012[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2016. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国生态环境部. 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行): HJ 633—2012[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.

- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Technical regulation on ambient air quality index (on trial): HJ 633—2012[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2016. (in Chinese)
- [18] 李明华, 陈超, 曾丹丹, 等. 惠州市空气质量特征分析[J]. 广东气象, 2018, 40(2): 31-35.
LI M H, CHEN C, ZENG D D, et al. Analysis of air quality characteristics in Huizhou city[J]. Guangdong Meteorology, 2018, 40(2): 31-35. (in Chinese)
- [19] 李慧, 王淑兰, 张文杰, 等. 京津冀及周边地区“2+26”城市空气质量特征及其影响因素[J]. 环境科学研究, 2021, 34(1): 172-184.
LI H, WANG S L, ZHANG W J, et al. Characteristics and influencing factors of urban air quality in Beijing-Tianjin-Hebei and its surrounding areas (“2+26” cities)[J]. Research of Environmental Sciences, 2021, 34(1): 172-184. (in Chinese)
- [20] 甘玉柱, 兰瑞, 任岗. 新疆玛纳斯县大气臭氧浓度时空变化及影响因子分析[J]. 干旱环境监测, 2021, 35(2): 86-90.
GAN Y Z, LAN R, REN G. Temporal and spatial variation and influencing factors of atmospheric ozone concentration in Manas county, Xinjiang[J]. Arid Environmental Monitoring, 2021, 35(2): 86-90. (in Chinese)
- [21] 刘新春, 钟玉婷, 何清, 等. 新疆库尔勒市近地面臭氧变化特征及其影响因素[J]. 干旱区研究, 2014, 31(4): 596-603.
LIU X C, ZHONG Y T, HE Q, et al. Variation of surface ozone concentration and its affecting factors in Korla city, Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 2014, 31(4): 596-603. (in Chinese)
- [22] 赵克蕾, 何清, 钟玉婷, 等. 2012年库尔勒市PM₁₀质量浓度的变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(1): 11-16.
ZHAO K L, HE Q, ZHONG Y T, et al. Characteristics of mass concentration variations of PM₁₀ in Korla city in 2012[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2014, 8(1): 11-16. (in Chinese)
- [23] 羊兴, 赵克明, 闵月, 等. 2015年喀什市大气颗粒物的时空分布特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(5): 83-88.
YANG X, ZHAO K M, MIN Y, et al. Spatial and temporal distribution of atmospheric particulates over Kashgar city in 2015[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2017, 11(5): 83-88. (in Chinese)
- [24] MAMTIMIN B, MEIXNER F X. Air pollution and meteorological processes in the growing dryland city of Urumqi (Xinjiang, China)[J]. Science of the Total Environment, 2011, 409(7): 1277-1290.
- [25] 赵海珍, 买买提·阿布来提, 巴特尔·巴克, 等. 库尔勒市历年沙尘天气发生特性分析[J]. 高原山地气象研究, 2012, 32(3): 50-53.
ZHAO H Z, MAIMAITI A, BATEER B, et al. Analysis on sand-dust weather characteristics in Korla over the years[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2012, 32(3): 50-53. (in Chinese)
- [26] 杨虎, 甘伟, 康娟. 2015年新疆阿克苏市沙尘污染与气象因素关系的分析[J]. 干旱环境监测, 2017, 31(1): 25-32.
YANG H, GAN W, KANG J. Analysis of the relationship between dust pollution and meteorological factors in Aksu city of Xinjiang in 2015[J]. Arid Environmental Monitoring, 2017, 31(1): 25-32. (in Chinese)
- [27] 陈跃浩, 高庆先, 高文康, 等. 沙尘天气对大气环境质量影响的量化研究[J]. 环境科学研究, 2013, 26(4): 364-369.
CHEN Y H, GAO Q X, GAO W K, et al. Quantitative research on sandstorm effects on environmental air quality[J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(4): 364-369. (in Chinese)
- [28] LIU H M, LIU J, LI M C, et al. Assessing the evolution of PM_{2.5} and related health impacts resulting from air quality policies in China[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2022, 93: 106727.
- [29] WANG Y G, YING Q, HU J L, et al. Spatial and temporal variations of six criteria air pollutants in 31 provincial capital cities in China during 2013—2014[J]. Environment International, 2014, 73: 413-422.
- [30] TALIFU D, WUJI A, TURSUN Y, et al. Micro-morphological characteristics and size distribution of PM_{2.5} in the Kuitun-Dushanzi region of Xinjiang, China[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2015, 15(6): 2258-2269.
- [31] 刘晓东, 田良, 张小曳. 塔克拉玛干沙尘活动对下游大气PM₁₀浓度的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5): 528-532.
LIU X D, TIAN L, ZHANG X Y. Influence of spring dust activities over the Taklimakan Desert area on concentrations of atmospheric PM₁₀ in east of Northwest China[J]. China Environmental Science, 2004, 24(5): 528-532. (in Chinese)
- [32] 罗丽萍, 郭宇宏. 春季区域性沙尘暴对南疆及东疆城市环境空气质量的影响及应对措施[J]. 干旱环境监测, 2004, 18(3): 159-162.
LUO L P, GUO Y H. Impact and countermeasure of local spring sandstorm on environmental air quality in cities of southern and eastern Xinjiang[J]. Arid Environmental Monitoring, 2004, 18(3): 159-162. (in Chinese)
- [33] WANG F T, ZHANG X, WANG F L, et al. Urban air quality in Xinjiang and snow chemistry of Urumqi Glacier No. 1 during COVID-19's restrictions[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(50): 76026-76035.