

旅游和区域大气污染对四川九寨沟气溶胶的贡献

乔雪¹,肖维阳²,唐亚^{1*},Daniel JAFFE³,江丽君² (1.四川大学建筑与环境学院,四川 成都 610065; 2.九寨沟国家级自然保护区管理局,四川 九寨沟 623407; 3.华盛顿大学,美国 华盛顿州 98117)

摘要: 2010年4月~2011年4月,在九寨沟连续监测了总悬浮颗粒物(TSP)和水溶性无机离子的浓度.结果表明:旅游活动显著增加了空气中TSP、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 NH_4^+ 和 NO_3^- 的含量,而 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Cl^- 则主要来自自然源;旅游强度最高时期(6~10月),降水对空气的清洗作用最强,气溶胶污染程度为全年最低;旅游强度较低时期(1~3、4~5和11~12月),降水量较低且西北沙尘易在春季抵达九寨沟,所以气溶胶污染程度较高;区域燃煤可能是气溶胶 $[\text{SO}_4^{2-}]:[\text{NO}_3^-]$ 比值较高的原因;生物质燃烧可能是 K^+ 在秋末至次年初春较高的原因之一.九寨沟大气环境已明显受当地旅游活动和污染物长距离传输的影响.

关键词: 九寨沟; 自然保护区; 气溶胶; 污染物长距离传输; 旅游

中图分类号: X703.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2014)01-0014-08

Contributions of local tourism and regional air pollution to atmospheric aerosols in Jiuzhaigou, Sichuan, China.

QIAO Xue¹, XIAO Wei-yang², TANG Ya^{1*}, Daniel Jaffe³, JIANG Li-jun² (1.College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2.Jiuzhaigou National Nature Reserve Administration, Jiuzhaigou 623407, China; 3.University of Washington, Washington State 98117, US). *China Environmental Science*, 2014,34(1): 14~21

Abstract: From April 2010 to April 2011, weekly to biweekly samples of total suspended particle (TSP) were collected at two sites in Jiuzhaigou National Nature Reserve (Jiuzhaigou hereafter). The site at the entrance was much more affected by local tourism (e.g., tour bus), compared with the site at the Long Lake meteorological station. Ionic concentrations of the samples were measured. The results show that TSP, SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ and NO_3^- concentrations in air were significantly higher at the entrance than at the Long Lake meteorological station, while Na^+ , Mg^{2+} and Cl^- concentrations were similar between the two sites, respectively. Pronounced seasonal variations in ionic concentrations were observed. Concentrations of TSP and most ions were lower during the peak season of tourism (from June to October), probably due to the higher cleaning effect of precipitation on air. In contrast, concentrations of TSP and most ions were higher during the other months, likely owing to low precipitation amount and the spring dust from northwestern China. Furthermore, the equivalent ratios of $[\text{SO}_4^{2-}]:[\text{NO}_3^-]$ were relatively high. All above suggest that atmospheric environment in Jiuzhaigou was considerably polluted by local tourist activities, regional combustion of coal and biomass, and spring dust transported from northwestern China.

Key words: Jiuzhaigou; nature reserve; aerosol; long-range transport of pollutants; tourism

自然保护区具有资源保护和生态环境维持的作用,也是重要的旅游目的地.然而,高强度的旅游活动和污染物的长距离传输都可能会导致自然保护区内空气质量下降^[1-5].气溶胶浓度过高会危害人体健康^[6],干扰陆地和水生生态系统的养分循环^[7-8], SO_2 和 NO_x 形成的二次气溶胶还是酸沉降的来源^[9].近年来,我国部分自然保护区的旅游开发强度大,交通和餐饮等活动都会排放高浓度气溶胶.但因缺乏相应的监测,我国自然保

护区的气溶胶环境状况及其变化趋势尚不清楚.

九寨沟国家级自然保护区是世界自然遗产地和我国最著名的旅游风景名胜区之一,2012年游客量超过360万人次,最大日游客量突破5万

收稿日期: 2013-04-22

基金项目: 国家国际科技合作专项项目(2010DFA91280);高等学校学科创新引智计划(B08037);四川省科技厅国际合作计划(2011HH0047)

* 责任作者, 教授, tangya@scu.edu.cn

人^[10].观光车排放的大气污染物易于在山谷中累积,这些污染物吸附于颗粒物形成气溶胶,或经光化学反应生成二次气溶胶.浓度过高的气溶胶可能会对生态环境和旅游景观产生重要影响,但影响程度和机制都不清楚,也未引起重视.此外,长距离迁移的大气污染物是否会影响九寨沟空气质量也不清楚.为了解九寨沟气溶胶现状,本课题组开展了相关研究,具体研究内容为:(1)了解景区内总悬浮颗粒物(TSP)和水溶性无机离子浓度;(2)分析旅游活动是否显著增加了景区内气溶胶浓度;(3)分析污染物长距离传输是否明显增加九寨沟气溶胶浓度.研究假设为:(1)一些气溶胶物质在旅游干扰区的浓度高于在背景区的浓度;(2)流域外产生的污染物可扩散至九寨沟.

1 材料与方 法

2010 年 4 月~2011 年 4 月,在九寨沟长海和沟口两监测点同时采集了气溶胶样品(图 1).沟口受旅游活动干扰大,而长海气象站附近受旅游活动干扰相对较小,这两地气溶胶的差异能大致反映旅游活动对当地气溶胶的贡献程度.为了解污染物长距离迁移对九寨沟空气质量的影响,分析了气溶胶的季节变化、 $[SO_4^{2-}]$: $[NO_3^-]$ 比值和沙尘天气的成因.

1.1 研究区域

九寨沟(103°46'~104°05'E, 32°53'~33°20'N)地处青藏高原东缘、岷山山脉南段,行政区划属四川省阿坝州九寨沟县,面积 728km²,海拔约 2000~4880m^[11-12].受龙门山和秦岭山脉屏护,九寨沟气候冷凉干燥^[11-12].根据诺日朗游客中心附近的气象站观测数据,该区域年均气温 7.3℃,最冷月(1 月)月均气温-8.7℃,最热月(7 月)月均气温 16.8℃,极端最低气温-17℃,≥10℃的积温 3000~3500℃;年降水量 550~780mm,主要集中在 4~10 月,夏季多暴雨;年均相对湿度 60%~70%;年日照时数约 1800h;风向以西北(NW)和南东南(SSE)为主;年均风速为 0.5~1.2m/s(图 2).

九寨沟主景区位于日则沟、树正沟和则查洼沟沟底,海拔为 2000~3100m.旅游观光车共约 400 辆,其中 80 辆的尾气达到欧 IV 标准,其余达到

欧 III 标准.诺日朗服务中心是景区内唯一允许游客吸烟及有餐饮服务的区域.景区开放时间为 7:00~18:00h,游客不能夜宿在景区内,绝大多数游客夜宿在沿白河东西各长约 5km 的区域内.

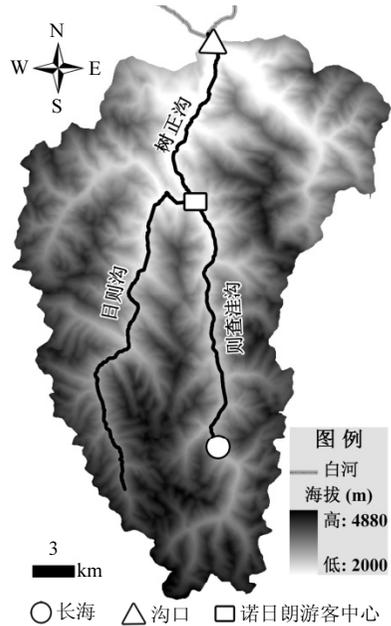


图 1 九寨沟和采样点的地理位置

Fig.1 Locations of Jiuzhaigou and sampling sites
沟口采样点海拔 2000m;长海采样点海拔 3100m

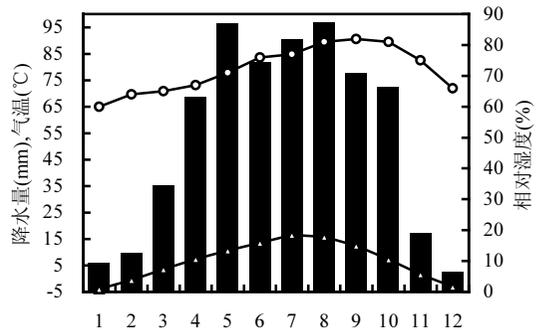


图 2 九寨沟诺日朗气象站多年月平均气温、降水量和相对湿度

Fig.2 Monthly average air temperature, precipitation, and relative humidity at the Nuorilang Meteorological Station in Jiuzhaigou
■ 月平均降水量 ▲— 月平均气温
—○— 月平均相对湿度
数据来源:九寨沟国家级自然保护区管理局

1.2 采样

依据《酸沉降技术规范》采集总悬浮颗粒物(TSP)样品^[13].沟口采样点位于游客中心楼顶,距地面约 10m;长海采样点位于长海东北侧山坡气象站内,距地面约 2m,每次采样持续 7d.由于降雨、采样人员出差等原因,有 6 个样品的采集持续时间为 6d、8d 或 14d.最终采集到 46 个(长海)和 45 个(沟口)样品.

采样用的抽气泵为美国 Thermo Scientific Air Cadet (No. 420-1901),气体流量计为美国 Dwyer Inc. VA10420.使用流量计前,采用皂膜流量计法对其进行了校准.依据采样持续时间、气体流量(设定为 10L/min)和小时气象数据,计算采样体积(标准状态下的体积).使用有聚乙烯衬垫的聚四氟乙烯滤膜(直径 47mm,孔径 1 μ m)采集样品.采样后,将样品膜对折(有样品的一面在内)放入滤膜盒,保存在 4 $^{\circ}$ C 的冰箱中.整个过程中,使用洁净镊子和一次性塑料手套,以防止手对样品的污染.所有塑料容器在使用前均经 10%的硝酸浸泡 24h 以上,然后用去离子水冲洗至淋出液 EC 值小于 0.15mS/m,再用超纯水(电阻率大于 18M Ω ·cm)冲洗 3 次,最后晾干或烘干.

1.3 样品分析

1.3.1 TSP 浓度 每次采样前后,将滤膜在恒温恒湿条件下(20 $^{\circ}$ C、45% \pm 5% RH)平衡 24h,然后使用梅特勒-托利多微量天平(型号 XP6,可读性 1 μ g,最大称量值 6.1g)称量滤膜.采样前后滤膜的质量差为样品质量.根据样品质量和采样气体体积(换算成标准状态下的体积)计算空气中 TSP 的浓度.

1.3.2 无机水溶性离子浓度 将样品膜和空白膜放入聚丙烯离心管中,加入 10mL 超纯水后在振荡器上震荡 30min,然后又在超声波清洗槽中清洗 30min.经过滤器(Millipore, IC Mullex-LG, 0.2 μ m)过滤后,用离子色谱仪(美国戴安 Dionex ICS-900)分析溶液中 K⁺、Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻和 NH₄⁺的浓度.最后,依据溶液中的离子浓度计算空气中的离子浓度.

1.4 沙尘气团来源分析

采用美国海洋大气局(NOAA)研发的 Hybrid

Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model 4.0(HYSPLIT)模型(分辨率为 1 $^{\circ}$ \times 1 $^{\circ}$)和美国航空航天局(NASA)MODIS 图像分析沙尘气团来源.在 HYSPLIT 模型中,九寨沟的海拔约 3000m,但九寨沟流域的实际海拔为 2000~4880m,所以分析了沙尘天气发生时位于模型地表(海拔 3000m)上空 500、1000、1500、2000、2500 和 3000m 气团的来源.依据 HYSPLIT 模型模拟的气团运行轨迹,考察 NASA MODIS 卫星图是否记录了沙尘气团.若 MODIS 卫星图记录了沙尘气团,则使用 ENVI 4.7 软件和 MODIS Level-1B 数据合成 GeoTIFF 格式的全彩图.最后,用 ArcGIS 软件将卫星图和 HYSPLIT 模拟结果合并在一张图中,以显示沙尘气团从产生至抵达九寨沟的过程.

2 结果

2.1 TSP 和水溶性无机离子浓度

两监测点的气溶胶存在一些共同点(表 1):(1)Ca²⁺是浓度最高的阳离子,年均值分别为 1.15 μ g/m³(沟口)和 0.90 μ g/m³(长海);(2)SO₄²⁻是浓度最高的阴离子,年均值分别为 4.46 μ g/m³(沟口)和 3.28 μ g/m³(长海);(3)SO₄²⁻的年均值远远高于 NO₃⁻的年均值,反映 SO₄²⁻是最主要的酸性无机离子;(4)SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺和 Ca²⁺共占离子总浓度的 92%(沟口)和 89%(长海),是两监测点主要的水溶性无机离子;(5)两监测点具有相似的离子浓度比例,SO₄²⁻占总离子浓度的 57%(沟口)和 56%(长海),NO₃⁻占 11%(沟口)和 10%(长海),NH₄⁺占 9%(沟口)和 8%(长海),Ca²⁺在两监测点都占 15%.以上结果可能反映了两监测点受类似气象条件和区域大气背景值的影响.

由表 1 和表 2 可见,TSP、SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺、K⁺和 Ca²⁺在沟口的浓度都显著高于在长海的浓度($P < 0.01$),可能反映汽车尾气、扬尘、烧柴等对这些物质有重要贡献^[14-17].相反,Na⁺、Mg²⁺和 Cl⁻^[14-17]的浓度在两监测点之间无显著差异($P > 0.05$),可能反映它们主要来自自然源(如海盐和地壳).上述结果说明,旅游活动可能显著增加了一些气溶胶物质的浓度.

表 1 九寨沟大气 TSP 和水溶性无机离子的浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)Table 1 Concentrations of TSP and soluble inorganic ions in Jiuzhaigou air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

监测点	指标	TSP	SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	Na^+	Cl^-	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
沟口	样本量	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	均值	35.7	4.46	0.85	0.70	0.20	0.14	0.18	1.15	0.18
	标准差	26.3	3.58	0.67	0.61	0.20	0.12	0.13	1.09	0.11
	极小值	3.0	0.18	0.15	0.02	0.03	0.04	0.02	0.14	0.01
	中值	31.0	3.59	0.64	0.51	0.11	0.11	0.15	0.99	0.15
	极大值	135.0	16.98	2.39	2.68	0.88	0.81	0.52	6.62	0.49
长海	样本量	46	46	46	46	46	46	46	46	46
	均值	24.3	3.28	0.59	0.48	0.16	0.15	0.13	0.90	0.18
	标准差	20.2	3.02	0.63	0.43	0.15	0.15	0.13	1.26	0.12
	极小值	3.0	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.02	0.08	0.03
	中值	20.0	2.17	0.40	0.31	0.09	0.10	0.10	0.45	0.15
	极大值	118.0	13.75	3.61	1.79	0.57	0.73	0.80	6.49	0.60

表 2 TSP 和水溶性无机离子浓度在长海和沟口两监测点之间的差异

Table 2 Comparison of TSP and ionic concentrations between the two sampling sites in Jiuzhaigou

指标	TSP	SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Na^+	Mg^{2+}	Cl^-
<i>P</i>	0.000	0.003	0.000	0.003	0.002	0.001	0.099	0.776	0.343

注:统计方法:双样本配对 Wilcoxon Signed Rank test 非参数检验

2.2 气溶胶的季节变化

在综合考虑游客量、降水量、水汽气团来源、西北戈壁沙漠起沙活跃程度以及冬季烧柴取暖等因素的基础上,将一年划分成了四个时期,即 1~3 月、4~5 月、6~10 月和 11~12 月(图 3):(1) 日游客量 1~3 月最少,4~5 月逐步增加,6~10 月达到全年最大,11~12 月逐渐减少;(2) 月降水量 1~3 月和 11~12 月最低,4~5 月开始增加,6~10 月最高(图 2);(3) 九寨沟及周边地区居民主要在秋末(11 月)、冬季(12、1 和 2 月)和初春(3 月)烧柴取暖;(4) 水汽冬春季节(12 月和 1~5 月)主要来源于中纬度偏西风水汽输送,夏秋(6~10 月)季节主要来源于孟加拉湾、南海和西太平洋地区^[18];(5) 春季是西北沙漠戈壁起沙活跃时期,沙尘可向东传输很长距离,甚至抵达美国和加拿大西部^[19-20]。以上因子的季节变化可能引起九寨沟气溶胶呈现出季节变化。

九寨沟气溶胶具有显著的季节变化(图 3): Ca^{2+} 、 Cl^- 、 K^+ 、 Na^+ 和 NO_3^- 的浓度在 6~10 月最低; SO_4^{2-} 在 6~12 月较低; NH_4^+ 和 SO_4^{2-} 在 1~3 月的

浓度最高; $[\text{SO}_4^{2-}]:[\text{NO}_3^-]$ 在 6~10 月最高;TSP 和 Mg^{2+} 的浓度在 4~5 月最高。两监测点存在类似的季节变化格局,反映它们受相同区域大气背景值和类似气象条件的影响。

2.3 沙尘气团的来源

2010 年 4 月 23~30 日,九寨沟 TSP 平均浓度为 $118\mu\text{g}/\text{m}^3$ (长海)和 $124\mu\text{g}/\text{m}^3$ (沟口),均高于国家环境空气质量一级标准 $80.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[21]。九寨沟在 25 日出现沙尘天气。溯源分析表明,24 日 5:00(协调世界时 UTC),新疆塔克拉玛干沙漠东部及其以东上空出现沙尘气团(图 4c),经过约 24h 的传输,沙尘于 25 日 4:05UTC 左右出现在九寨沟附近(图 4b),说明此次沙尘事件是由新疆沙漠戈壁的沙尘经长距离传输而形成的。

3 讨论

一般而言,空气中 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的天然源主要为地壳, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的人为源主要为扬尘和工业活动, K^+ 的人为源主要为扬尘和生物质燃烧, Na^+ 和 Cl^- 主要来自自然源(海盐和地壳), SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的人为源主要为化石燃料燃烧, NH_4^+ 的人为源主要为化肥以及光化学反应产生的二次污染物^[14-17]。

3.1 旅游活动的贡献

旅游通过汽车尾气、扬尘和餐饮等向大气排放气溶胶污染物。监测结果表明,TSP、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 NH_4^+ 和 NO_3^- 的浓度在旅游强度较大

的沟口比在旅游强度较小的长海高(表 1 和 2),而以自然源为主的 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Cl^- 在两监测点之间无显著差异。以上反映旅游活动明显增加了一些气溶胶物质的浓度。

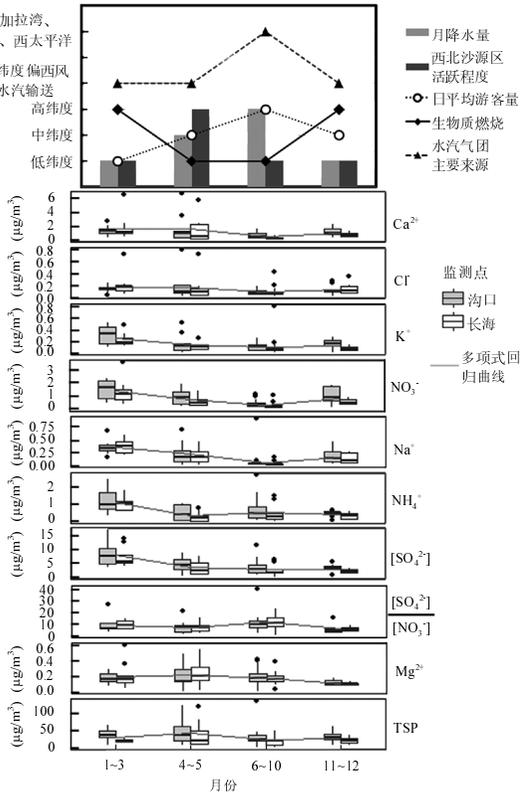


图 3 九寨沟气溶胶及其相关因子的季节变化
Fig.3 Seasonal variations in TSP concentration, ionic concentrations, monthly precipitation, sources of precipitation, biomass burning, daily tourist number, and dust emissions from northwestern China

数据来源:月降水量和月游客量数据来自九寨沟国家级自然保护区管理局;西北沙源区活跃程度数据来源于文献[19-20];水汽气团来源数据来源于文献[18]

3.2 污染物长距离传输的贡献

3.2.1 煤和生物质燃烧的贡献

煤燃烧产生的 SO_2 对九寨沟大气环境存在一定污染。 $[\text{SO}_4^{2-}]$ 与 $[\text{NO}_3^-]$ 的比值常常用来比较煤、石油和天然气对气溶胶的贡献^[22]。假定我国煤、汽油和柴油中硫和氮最终完全转化成为 SO_4^{2-} 和 NO_3^- , $[\text{SO}_4^{2-}]$:

$[\text{NO}_3^-]$ (离子当量比) 的全国平均值为 2.58(煤)和 0.10~0.16(汽油和柴油)^[22], 西南部分地区煤的硫含量可达 4%, 这些地区可能具有更高的 $[\text{SO}_4^{2-}]:[\text{NO}_3^-]$ 比值^[23]。九寨沟 $[\text{SO}_4^{2-}]:[\text{NO}_3^-]$ 的比值为 6.78(沟口)和 6.82(长海), 均高于全国平均值和青藏高原东缘背景点瓦里关的值, 也高于重庆、西安、北京、兰州、青岛、丽江和临安的值, 但是低于贵阳的值(图 5)^[17,22,24-30]。但是, 九寨沟当地并无大规模的煤燃烧活动, 冬季取暖主要使用电和少量薪柴, 餐饮用能为液化气和电。因此, 九寨沟的 SO_4^{2-} 应该主要来源于其他区域。我国西南有全球 SO_2 排放强度最大的区域^[31], 南东南是九寨沟的主风向之一, 使这些区域的 SO_2 易于扩散至九寨沟。

K^+ 在秋末至春初(11~12 和 1~3 月) 的浓度最高(图 3), 可能是由于低降水量利于 K^+ 在空气中累积, 同时当地及其周边居民在这段时期会燃烧生物质取暖。生物质燃烧是空气中 K^+ 的来源之一^[14-17]。

3.2.2 西北沙尘的贡献

中国和蒙古是世界第二大沙尘源^[32]。研究表明, 产生于我国西北的沙尘气团也可以影响到我国中部和东南部^[33]。春夏之交, 塔克拉玛干沙漠增温剧烈, 易在盆地中形成热低压, 此时若有冷空气入侵塔里木盆地, 将会触发该地大气的的不稳定, 形成地面持续大风, 出现沙尘暴天气^[19-20]。九寨沟靠近西北沙尘向东传输的路径^[32], 且春季主要受中纬度偏西风气团的影响^[11], 因此九寨沟在春季会受到西北沙尘的影响(图 4)。

3.3 降水、岩石风化和地形对气溶胶的影响

九寨沟气溶胶明显受降水、岩石风化和地形的影响。降水对空气具有清洗作用, 较高的相对湿度可加速气溶胶的沉降; 相反, 较小的降水量和较低的相对湿度有利于气溶胶在空气中累积到更高浓度^[17]。6~10 月, 虽然旅游强度全年最大, 但该时期为雨季且受西北沙尘的影响小^[11], 所以 TSP 和所有水溶性无机离子(除 Mg^{2+} 和 NH_4^+ 外) 在该期间为全年最低浓度(图 3)。较多的降水和温度可加速岩石风化, 增加空气中 Mg^{2+} 的浓度^[14], 这可能是九寨沟 Mg^{2+} 浓度在 4~10 月较高的原因。南来气团可能是 NH_4^+ 在雨季较高的原因。此外, 高

山峡谷地形也不利于大气污染物扩散(图1).总之, 是 Mg^{2+} 的重要来源,而封闭的地形则利于气溶胶降水可在很大程度上降低气溶胶浓度,岩石风化 污染物累积.

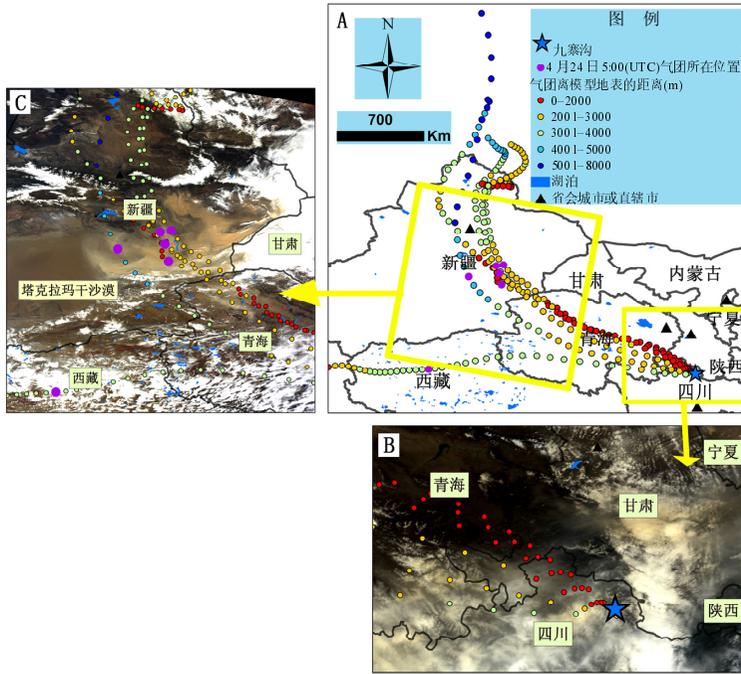


图 4 2010 年 4 月 25 日九寨沟沙尘气团的来源

Fig.4 Origin of the dust storm that was observed in Jiuzhaigou on April 25, 2010

A.2010 年 4 月 25 日 4:00(UTC)位于九寨沟 HYSPLIT 模型地表(海拔 3000m)上空 500、1000、1500、2000、2500 和 3000m 气团的来源; B.2010 年 4 月 25 日 4:05(UTC)TERRA MODIS 图片; C.2010 年 4 月 24 日 5:00(UTC)TERRA MODIS 图片

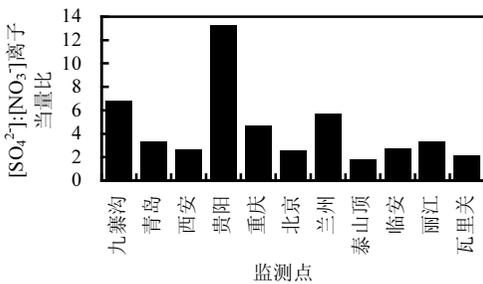


图 5 不同监测点空气 TSP 的 $[SO_4^{2-}]:[NO_3^-]$ 离子当量比值

Fig.5 Equivalent ratios of $[SO_4^{2-}]:[NO_3^-]$ in TSP at Jiuzhaigou, Qingdao, Xi'an, Guiyang, Chongqing, Beijing, Lanzhou, Taishan, Lin'an, Lijiang and Waliguan

数据来源: 青岛^[17]、西安^[24]、贵阳^[25]、重庆^[26]、北京^[27]、兰州^[28]、泰山顶^[29]、临安^[30]、丽江^[22]和瓦里关^[30]

3.4 人为和自然因子的综合作用

在自然和人为因子的综合作用下,九寨沟气溶胶具有明显的季节和空间格局(表 1 和 2、图 3):

(1) 1~3 月,除 Mg^{2+} 和 TSP 外,其他离子的浓度均达到全年最大值,这主要是由于低降水量利于气溶胶在空气中富集;九寨沟及其周边区域生物质燃烧对 K^+ 有贡献.

(2) 4~5 月,TSP 达到全年最大浓度,这可能主要与西北沙尘抵达九寨沟有关.除 Mg^{2+} 外,其他离子浓度在 1~3 月的基础上有所降低,这可能是因为九寨沟逐渐进入雨季,降水能够清洗空气;温度和降水量升高促进岩石风化,使 Mg^{2+} 浓度升高.

(3) 6~10 月,旅游强度达到全年最大,但降水对空气的清洗作用也达到全年最大,所以 TSP 和

大多数离子的浓度为全年最低值.相反, $[\text{SO}_4^{2-}]$: $[\text{NO}_3^-]$ 达到全年最大值,可能与该期间气团主要由南而来有关,在抵达九寨沟之前这些气团路过南亚和我国西南 SO_2 排放强度大的地区^[31].

(4) 11~12 月,降水量降低,利于气溶胶在空气中累积,TSP 和大多数离子的浓度在 6~10 月的基础上有所增加.

(5) 旅游活动显著增加了一些气溶胶物质的浓度(表 1 和 2).

3.5 我国自然保护区气溶胶污染问题

除九寨沟外,其他一些自然保护区也应该也面临区域大气污染和旅游带来的气溶胶污染问题(图 6).我国存在两个气溶胶光学厚度(AOD)高值中心(AOD 值越大反映气溶胶污染越严重)^[34-35]:(1)人为活动形成了一个覆盖了华北、长江流域(从四川盆地东部、重庆、两湖地区到长江三角洲)到华南的 AOD 高值区;(2)以沙尘为主的气溶胶造就了西北新疆塔里木盆地和柴达木盆地的 AOD 高值区.有不少自然保护区位于或靠近这两个中心.九寨沟位于这两个中心之外,但也观测到其受区域大气污染(西北沙尘、化石燃料和生物质燃烧)的影响.

4 结论

4.1 人为活动使 TSP、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 NH_4^+ 和 NO_3^- 等离子在九寨沟旅游强度大的监测点高于在旅游强度较小的监测点;而主要来自自然源的 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Cl^- 等离子浓度在两监测点之间无显著差异.煤燃烧使气溶胶具有较高的 $[\text{SO}_4^{2-}]$: $[\text{NO}_3^-]$ 比值,西北沙尘在春季可影响九寨沟.

4.2 在旅游强度最高时期(6~10 月),由于降水量较高,气溶胶浓度总体上反而为全年最低;在旅游强度较低时期(1~3 月、11~12 月和 4~5 月),降水量较低且西北沙尘会影响九寨沟,气溶胶浓度则总体上相对较高.

参考文献:

[1] U.S. Government Printing Office. Impacts of air pollution on National Park Units [R]. Hearings before the Subcommittee on National Parks and Recreation of the Committee on Interior and

Insular Affairs, House of Representatives, 99th Congress, 1st Session on Impacts of Air pollution on National Park Units. Hearing held in Washington DC, May 20 and 21, 1985, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1986.

- [2] Márquez C, Castro T, Muhlia A, et al. Measurement of aerosol particles, gases and flux radiation in the Pico de Orizaba National Park, and its relationship to air pollution transport [J]. *Atmospheric Environment*, 2005,39:3877-3890.
- [3] Debell L J. Spatial and seasonal patterns and temporal variability of haze and its constituents in the United States [EB/OL]. <http://vista.cira.colostate.edu/improve/Publications/Reports/2006/2006.htm>2006-11-16/2013-09-16.
- [4] Wang C H, Buckley R. Shengtai anquan: managing tourism and environment in China's forest parks [J]. *AMBIO*, 2010,39:451-453.
- [5] Wang C Y, Miko P S. Environmental impacts of tourism on U.S. national parks [J]. *Journal of Travel Research*, 1997,35(4):31-36.
- [6] Davidson C I, Phalen R F, Solomon P A. Airborne particulate matter and human health: a review [J]. *Aerosol Science and Technology*, 2005,39(8):737-749.
- [7] Aneja V P, Roelle P A, Murray G C, et al. Atmospheric nitrogen compounds II: emissions, transport, transformation, deposition and assessment [J]. *Atmospheric Environment*, 2001,(35):1903-1911.
- [8] Xie Y X, Xiong Z Q, Xing G X, et al. Assessment of nitrogen pollutant sources in surface waters of Taihu Lake region [J]. *Pedosphere*, 2007,17(2):200-208.
- [9] 刘俊卿,强德厚,王敏.近年来我国大气气溶胶对酸雨影响的研究进展 [J]. *西藏科技*, 2007,(4):56-58.
- [10] Gu Y, Du J, Tang Y, et al. Challenges for sustainable at the Jiuzhaigou World Natural Heritage site in western China [J]. *Natural Resources Forum*, 2013,37(2):103-112.
- [11] 刘少英,章小平,曾宗永,等.九寨沟自然保护区的生物多样性 [M]. 成都:四川科学技术出版社, 2007.
- [12] 西南交通大学旅游学院,西南交通大学经济管理学院,西南交通大学环境学院.九寨黄龙核心景区环境容量研究 [R]. 成都:西南交通大学, 2006.
- [13] HJ/T165-2004 酸沉降监测技术规范 [S].
- [14] Xiao H Y, Liu C Q. Chemical characteristics of water-soluble components in TSP over Guiyang, SW China, 2003 [J]. *Atmospheric Environment*, 2004,38(37):6297-6306.
- [15] Kang C H, Kim W H, Ko H J, et al. Asia dust effects on total suspended particulate (TSP) at Gosan in Jeju Island, Korea [J]. *Atmospheric Research*, 2009,94:345-355.
- [16] Fang J C, Wu Y S, Chen J C, et al. Concentrations of ambient air particles (TSP, $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10}) and ionic species at offshore areas near Taiwan Strait [J]. *Journal of hazardous Materials*, 2006,32:269-276.

- [17] 刘 臻, 祁建华, 王 琳, 等. 青岛大气气溶胶水溶性无机离子的粒径分布特征 [J]. 中国环境科学, 2012, 32(8): 1422-1432.
- [18] 四川省气象科学研究所. “气候变化(大气环流)对九—黄核心区水循环(降水)的作用”研究报告 [R]. 成都: 四川省气象科学研究所, 2006.
- [19] 韩永翔, 方小敏, 宋连春, 等. 塔里木盆地中的大气环流及沙尘暴成因探讨——根据沙漠风积地貌和气象观测重建的风场 [J]. 大气科学, 2005, 35(4): 681-686.
- [20] 冯鑫媛, 王式功, 程一帆, 等. 中国北方中西部沙尘暴气候特征 [J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 394-399.
- [21] GB/T3095-1996 环境空气质量标准 [S].
- [22] 张宁宁, 何元庆, 王春风, 等. 丽江市冬季大气总悬浮颗粒物(TSP)中水溶性离子化学特征 [J]. 环境科学, 2011, 32(3): 619-625.
- [23] Huang D Y, Xu Y G, Peng P A, et al. Chemical composition and seasonal variation of acid deposition in Guangzhou South China: comparison with precipitation in other major Chinese cities [J]. Environmental Pollution, 2009, 157(1): 35-41.
- [24] 沈振兴, 霍宗权, 韩月梅, 等. 采暖期和非采暖期西安大气颗粒物中水溶性组分的化学特征 [J]. 高原大气, 2009, 28(1): 151-158.
- [25] 李友谊, 肖化云, 刘学炎, 等. 贵阳市大气总悬浮颗粒物(TSP)中水溶性无机离子的化学特征及季节变化特征 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(1): 43-49.
- [26] 陶 俊, 陈刚才, 钟昌琴, 等. 重庆市大气 TSP 中水溶性无机离子的化学特征 [J]. 中国环境监测, 2006, 22(6): 71-74.
- [27] 陈永桥, 张 逸, 张晓山, 等. 北京城乡结合部气溶胶中水溶性离子粒径分布和季节变化 [J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3231-3236.
- [28] 张 锐, 晁 开, 张 宁, 等. 兰州大气颗粒物和可溶性离子及其降水中元素组成的关系 [J]. 中国沙漠, 1995, 15(4): 354-361.
- [29] 徐宏辉, 王跃思, 杨勇杰, 等. 泰山顶夏季大气气溶胶中水溶性离子的浓度及其粒径分布研究 [J]. 环境科学, 2008, 29(2): 305-309.
- [30] 杨东贞, 于晓岚, 房秀梅, 等. 区域站和基准站气溶胶的分析 [J]. 应用气象学报, 1996, 7(4): 396-405.
- [31] Ohara T, Akimoto H, Kurokawa J, et al. An asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020 [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007, 7, 4419-4444.
- [32] Zhang B A, Tsunekawa A, Tsubo M, et al. Contributions of sandy lands and stony deserts to long-distance dust emission in China and Mongolia during 2000-2006 [J]. Global and Planetary Change, 2008, 60(3-4): 487-504.
- [33] Zhao Q, He K, Rahn K A, et al. Dust storms come to central and southwestern China, too: implication from a major dust event in Chongqing [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, 10, 2615-2630.
- [34] 郑小波, 周成霞, 罗宇翔, 等. 中国各省区近 10 年遥感气溶胶光学厚度和变化 [J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 595-599.
- [35] 罗宇翔, 陈 娟, 郑小波. 近 10 年中国大陆 MODIS 遥感气溶胶光学厚度特征 [J]. 生态环境学报, 2012, 21(5): 876-883.

作者简介: 乔 雪(1984-), 女, 四川成都人, 四川大学建筑与环境学院博士后, 主要从事大气污染及其对自然生态系统影响的研究. 发表论文 7 篇.

身边的辐射你了解多少?

问: 房屋中有哪些放射性?

答: 房屋是由各种建筑材料构成的, 如花岗石、泥土、砖瓦、混凝土和木材等, 这些建筑材料都或多或少地含有放射性物质. 其中以花岗石的放射性活度浓度最高, 红砖次之, 青砖较低, 木材最低, 而混凝土则随其原料而异. 房屋内的放射性主要表现为内 γ 辐射和氡气, 另外, 宇宙射线也会穿过屋顶(即使是多层建筑)射入到我们的室内. 一般情况下, 室内的 γ 辐射剂量水平要高于室外, 这主要是因为室内四周及上下建筑构件均对室内空间产生 γ 辐射; 室内的放射性氡气水平要高于室外, 这是由于室内常常处于较为密闭的状态, 氡气聚集不易扩散的缘故.

问: 我们日常生活中受到哪些辐射照射?

答: 生活中处处有放射性, 人类无时无刻不在受到辐射的照射, 我们吃的食物、喝的水、住的房屋、用的物品、周围的天空大地、山川草木乃至人体本身都含有一定的放射性.

除天然放射性外, 人工放射性也与我们的日常生活密不可分, 人们受到的放射性辐射大约有 82% 来自天然环境, 大约有 17% 来自医疗照射, 而来自其他活动的大约只有 1%.

摘自《中国环境报》

2014-01-02