

兰州市大气 PM₁₀ 对质粒 DNA 的损伤

肖正辉^{1,2}, 邵龙义^{2*}, 张 宁³ (1.湖南科技大学土木工程学院,地质研究所,湖南 湘潭 411201; 2.中国矿业大学(北京)资源与地球科学系,北京 100083; 3.甘肃省环境监测中心站,甘肃 兰州 730030)

摘要: 使用质粒 DNA 评价法研究了 2005 年 12 月~2006 年 10 月兰州市区、郊区大气中 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤,并初步探讨了其损伤原因.结果表明,PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤具有冬、夏季相对较高,春、秋季相对较低的特征.市区冬、春、夏、秋季大气 PM₁₀ 全样的 TD₂₀ 平均值分别为 17,625,56,260 μ g/mL,水溶部分的 TD₂₀ 平均值分别为 62,840,193,403 μ g/mL.沙尘暴期间和降雨数天后,PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤相对较小,其全样和水溶部分的 TD₂₀ 值均大于 1000 μ g/mL.PM₁₀ 全样和水溶部分的 TD₂₀ 值均与样品中 12 种水溶性微量元素总含量呈明显的负相关关系,表明 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤能力主要来自其水溶性微量元素.

关键词: PM₁₀; 氧化性损伤; 水溶性微量元素; 质粒 DNA 评价

中图分类号: X503 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2009)06-0561-06

A toxicological assessment of PM₁₀ in Lanzhou: Results from plasmid DNA assay. XIAO Zheng-hui^{1,2}, SHAO Long-yi^{2*}, ZHANG Ning³ (1.Institute of Geology, School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2.Department of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 3.Environmental Monitoring Central Station of Gansu, Lanzhou 730030, China). *China Environmental Science*, 2009,29(6): 561~566

Abstract: An in vitro plasmid DNA assay was employed to study the oxidative damage of airborne PM₁₀ collected in urban and suburban sites of Lanzhou city from December 2005 to October 2006, and the causes of DNA damage induced by PM₁₀ were investigated. The toxicity represented by oxidative damage of the PM₁₀ varied greatly. The oxidative damage caused by PM₁₀ collected in the winter and summer was stronger than those collected in spring and autumn. The average TD₂₀ values (toxic dosages of PM₁₀ causing 20% of plasmid DNA damage) of intact whole PM₁₀ solutions from the urban site in winter, spring, summer and autumn were 17, 625, 56 and 260 μ g/mL, respectively, and the TD₂₀ values of their corresponding water-soluble fraction were 62, 840, 193 and 403 μ g/mL, respectively. The PM₁₀ collected during the asian dust storm episodes and after raining showed a low oxidative damage, with TD₂₀ values of both the intact samples and water-soluble fractions being higher than 1000 μ g/mL. The contents of total analyzed water-soluble trace elements, revealed by ICP-MS, were negatively correlated with the TD₂₀ values of both whole sample and corresponding water-soluble fraction of PM₁₀, which implied that the DNA damage may be attributed to the water-soluble trace elements in PM₁₀.

Key words: PM₁₀; oxidative damage; water-soluble trace elements; plasmid DNA assay

流行病学研究表明,大气中 PM₁₀ 浓度增加会引起人群患病率和死亡率的增加,尤其是对易感人群(如老人和小孩等)^[1-2],因此 PM₁₀ 对人体的损伤效应引起了广泛的关注.迄今为止,关于颗粒物致肺损伤已经提出多种假说,其中一种被广泛接受的观点是氧化性损伤假说,即颗粒物表面的生物可利用过渡金属离子会产生自由基,这些自由基对关键细胞产生氧化性损伤^[3-10].

质粒 DNA 评价法是一种定量测量活性氧对

质粒 DNA 的氧化性损伤能力的体外方法^[10-11],其基本原理是颗粒物表面携带的自由基会对超螺旋 DNA 产生氧化性损伤^[4],最初引起超螺旋 DNA 松弛,进一步使 DNA 线化.这种损伤引起不同形态 DNA 在电泳仪中的运动速度不同,因

收稿日期: 2008-10-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40805062);澳门科技发展基金资助项目(023/2006/A)

* 责任作者, 教授, shao1@cumt.edu.cn

此使这些 DNA 从琼脂糖凝胶中分离开来.使用灵敏的显像测密术测量线状和松弛状(被破坏)的 DNA 占总 DNA 的比例,可以定量评价颗粒物对质粒 DNA 造成的损伤.国外学者利用该方法来研究城市大气 PM₁₀对质粒 DNA 的损伤,结果大多表明,PM₁₀对质粒 DNA 的氧化性损伤与其金属元素之间存在一定的相关性,且水溶性 Zn 是导致质粒 DNA 损伤的主要原因^[11-12].然而,国内相关研究相对较少^[8-10].本研究采用质粒 DNA 评价法研究兰州市大气 PM₁₀对质粒 DNA 的氧化性损伤,并初步探讨其损伤原因,为兰州市大气颗粒物污染防治提供依据.

1 材料与方法

1.1 材料

高压灭菌的蒸馏水和 HPLC 级水(英国 Fisher 公司)、纯硝酸(英国 Fisher 公司)、琼脂糖(西班牙 Biowest 公司)、φX174-RF DNA(美国

Promega 公司)、溴化乙锭(浓度为 10mg/mL,美国 AMRESCO 公司)、溴酚蓝/丙三醇染色剂和 TBE 缓冲液(美国 Sigma 公司).

采样仪器为 Negretti 采样头(UK),配 KB80-E 型采样泵(青岛崂山电子仪器厂).滤膜为聚碳酸酯滤膜(直径为 47mm,孔径为 0.67μm,8%的空隙,3×10⁷孔/cm²,美国 Millipore 公司).

微量元素分析仪器为 ELEMENT 高分辨电感耦合等离子质谱仪(Finnigan-MAT 公司).

1.2 采样

选择 2 个采样点:兰州市东方红广场东北侧的格桑花饭店四楼楼顶平台(103°50'E, 36°03'N),高度约 15m,代表市区采样点;另一采样点设在榆中县县城中心的榆中供销宾馆六楼楼顶平台(104°06'E,35°06'N),距兰州市中心约 40km,采样高度约 18m,代表郊区采样点. Negretti 采样头流量为 30L/min.具体采样信息如表 1 所示.

表 1 PM₁₀ 样品采集信息
Table 1 Sample information of airborne PM₁₀ collected in Lanzhou

采样 季节	采样 地点	样品 编号	采样日期	采样时间	质量浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)	平均风速 (m/s)	相对湿度 (%)
冬 季	市 区	12-1	2005 年 12 月 8~9 日	17:30~09:00	579.11	-1.9	0.2	51.9
		12-5	2005 年 12 月 12~13 日	09:30~09:30	219.44	-2.2	0.9	36.9
		12-7	2005 年 12 月 14~15 日	09:30~10:30	329.52	-5.4	0.2	42.3
	郊 区	12-17	2005 年 12 月 9~10 日	19:00~19:00	140.68	-1.5	0.2	42.0
		12-20	2005 年 12 月 12~13 日	10:00~10:00	142.86	-6.6	0.2	54.3
春 季	市 区	3-1	2006 年 3 月 28~29 日	17:00~17:00	155.56	13.5	0.4	18.9
		3-2	2006 年 3 月 29~30 日	17:30~17:00	210.40	15.3	0.4	15.5
		3-3	2006 年 3 月 30~31 日	17:30~13:30	247.78	14.4	0.8	24
	郊 区	3-7	2006 年 4 月 2~3 日	13:00~13:00	152.19	17.4	1.0	15.2
		3-10	2006 年 4 月 4~5 日	13:40~08:40	99.42	11.5	1.2	40.3
	沙尘暴样品	3-4	2006 年 3 月 31 日	13:30~21:30	556.94	17.0	6.0	25.6
夏 季	市 区	7-2	2006 年 7 月 14~15 日	10:00~09:00	118.84	30.6	1.0	50.8
		7-4	2006 年 7 月 16~17 日	09:00~08:30	141.84	32.7	0.7	42.4
		7-5	2006 年 7 月 17~18 日	09:00~09:00	157.85	28.6	0.8	45.8
	郊 区	7-7	2006 年 7 月 19~20 日	13:30~11:30	56.82	27	1.2	44.7
		7-10	2006 年 7 月 22 日	11:50~20:50	117.42	18.8	0.3	67.7
秋 季	市 区	10-1	2006 年 10 月 21~22 日	16:00~08:30	181.83	14.1	0.5	61.6
		10-2	2006 年 10 月 22~23 日	20:30~08:30	114.30	8.4	1.3	50.8
		10-3	2006 年 10 月 24~25 日	23:00~10:30	165.65	15	0.5	62.6
	郊 区	10-4	2006 年 10 月 25~26 日	19:30~08:30	112.64	7.9	1.1	62.0
		10-5	2006 年 10 月 26~27 日	21:00~09:00	86.54	13.3	1.6	69.3
		10-6	2006 年 10 月 27~28 日	20:30~09:00	101.15	7.6	0.7	54.7

1.3 质粒 DNA 损伤评价

剪下采集有颗粒物的聚碳酸酯滤膜的 2/3, 使用超声振荡法将颗粒物从滤膜上分离出来, 通过差减法(剪下的滤膜的质量减去将颗粒物洗脱干燥后的滤膜质量)计算出剪下滤膜上的颗粒物质量。根据颗粒物质量, 加入适量的无菌 HPLC 级水, 将样品配成浓度为 1000 $\mu\text{g/mL}$ 或 2000 $\mu\text{g/mL}$ 的溶液, 然后移到 2.5mL 离心管中, 即得到全样样品。取出约 2/3 的全样溶液移到另一离心管中, 13000r/min 下离心 80min, 取上清液并用 0.2 μm 的滤膜过滤即得到水溶样品。将水溶样品均分为 2 份, 1 份用于 ICP-MS 测试, 另 1 份用于质粒 DNA 评价实验。全样和水溶样品各准备离心管(0.2mL)6 个(5 个浓度等级再加 1 个超纯灭菌水样), 按浓度顺序排列好。根据实验方案预设的样品浓度, 移取适量的样品和无菌 HPLC 级水加入到各离心管中。再准备离心管(0.2mL)12 个, 依次加入浓度为 0.2 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的 ϕ X174-RF DNA 1 μL , 然后依次从配制好的溶液和超纯灭菌水中取 19mL 分别加入到已有 DNA 的离心管中。将离心管封口, 放在涡旋振荡器上轻轻振荡 6h。振荡完成后, 在每个样品中加入 3.5 μL 溴酚蓝/丙三醇染色剂。将 2.5g 琼脂糖和 42mLTBE 缓冲液加到 500mL 的锥形瓶中, 然后加超纯灭菌水至 420mL。将锥形瓶放入微波炉加热至溶液完全清澈后取出。等待溶液冷却至 60 $^{\circ}\text{C}$ 左右时, 向锥形瓶中加入 10 μL 溴化乙锭, 然后将锥形瓶中的溶液缓慢倒入放有 2 个梳子的凝胶浅槽, 直到凝胶完全凝固时轻轻将梳子移开。将凝胶放入电泳槽, 向每个梳孔中注入 20 μL 样品、 ϕ X174-RF DNA 和染色剂三者的混合物。在 30V 电压下通电 16h 后, 使用紫外凝胶成像系统(英国 Synoptics 公司)对凝胶成像。使用 Syngene Genetools 软件(英国 Synoptics 公司)对凝胶中不同形态 DNA 的光密度进行定量分析和统计, 计算不同浓度等级造成 DNA 损伤量的平均值和标准偏差。对不同浓度颗粒物造成的 DNA 损伤量进行线性回归, 得出造成 20%DNA 损伤的颗粒物的浓度, 即 TD₂₀ 值。TD₂₀ 值越小, 则该颗粒物对质粒 DNA 的氧化性损伤能力越强, 对人体健康影响越大。

1.4 微量元素分析

使用 ICP-MS 对兰州市大气 PM₁₀ 全样和水溶部分中 V、Cr、Mn、Co、Cd、Cs、Hg、Pb、Zn、As、Ni 和 Cu 共 12 种元素的含量进行了检测。制备全样样品采用微波消解法, 即把用于质粒 DNA 损伤实验样品的剩余部分(1/3 张滤膜和颗粒物)用纯硝酸溶解。从制备好的全样和水溶样品中取出 1mL, 与 0.5mL 的质量分数为 50 $\times 10^{-9}$ 铈标准液混合, 加入 2%硝酸至 10mL, 使用 ICP-MS 进行化学成分分析。

2 结果与讨论

2.1 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤

2.1.1 不同季节比较 由表 2 可见, 无论是 PM₁₀ 全样还是水溶部分样, 市区 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤均具有冬、夏季相对较大, 春、秋季相对较小的季节性变化特征; 郊区则呈现冬季相对较大, 夏季和秋季次之, 春季相对较小的季节性变化特征。冬季市区和郊区 PM₁₀ 全样的 TD₂₀ 值分别低至 12, 80 $\mu\text{g/mL}$, 水溶部分则分别低至 43, 100 $\mu\text{g/mL}$, 而秋季市区和郊区 PM₁₀ 全样的 TD₂₀ 值则分别为 700, 810 $\mu\text{g/mL}$, 水溶部分分别为 1050, 950 $\mu\text{g/mL}$ 。可见, 兰州市区和郊区不同季节 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤差异较大。造成这种季节性差异的可能原因是冬季静风频率高、逆温层厚, 污染物较长时间不易扩散, 再加上燃煤电厂、家用燃煤(主要是郊区)、汽车尾气等排放的大量燃煤飞灰和烟尘集合体长时间漂浮在大气中^[13], 吸附了大量的有毒有害物质, 从而导致冬季 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤较大。夏季由于相对湿度较高, 有利于颗粒物表面聚集和吸附导致 DNA 损伤的有害物质, 同时有利于在颗粒物表面发生二次化学反应。兰州市夏季日照强, 温度高, 光化学反应强烈^[14], PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤能力还可能与光化学反应强度有关; 春、秋季有风口频率相对较高, 风速相对较大, 不利于污染物的聚集和有毒有害物质的吸附。虽然春季市区 PM₁₀ 的质量浓度也可达 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右(表 1), 但其贡献主要来自粒径较大的矿物颗粒, 并非细小的燃煤飞灰和烟尘

集合体,而矿物颗粒对 DNA 氧化性损伤相对较小^[8,10].

兰州市市区采样期间相应季节 PM₁₀ 全样的 TD₂₀ 值,远低于北京市市区 2000 年冬季、2001 年夏季和 2003 年夏季 PM₁₀ 全样的水平^[8,15],表明兰州市冬季大气 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤能力较强.这除了兰州市大气 PM₁₀ 污染较严重外,还与兰州市全年风速较低有关.采样期间兰州市非沙尘暴天气下的平均风速均小于 1.5m/s(表 1),而北京市全年有风日出现频繁,且风速较大^[16],不利于导致 DNA 损伤的有毒有害物质的聚集和吸附.而兰州市秋季 PM₁₀ 全样和水溶部分的 TD₂₀ 值又高于英国伦敦的水平,2002 年秋季威尔士 Talbot 港口、某高速公路和钢厂附近采集的 PM_{10-2.5} 全样及水溶部分的 TD₅₀ 平均值(造成 50%DNA 损伤所需的颗粒物浓度)分别为 102,153μg/mL^[12],表明兰州市秋季大气 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤能力相对较弱.其原因除了兰州市秋季有风日频率相对较高,风速相对较大外,还与伦敦作为一个沿海城市,常年相对湿度较高,有利于较细的烟尘集合体表面聚集和吸附大量的导致 DNA 损伤的有毒有害物质并在颗粒物表面发生二次化学反应有关.市区和郊区同一季节 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化损伤差异较大,其原因是郊区污染较轻,颗粒物表面吸附的导致 DNA 损伤的有毒有害物质较少.

2.1.2 PM₁₀ 全样和水溶部分比较 除 3-3、10-2 和 10-5 等部分样品外,兰州市大气 PM₁₀ 全样的 TD₂₀ 值比水溶部分小,但二者相差不大(表 2),表明 PM₁₀ 全样对质粒 DNA 的氧化性损伤可能主要来自其水溶组分.与全样相比,样品 3-3、10-2 和 10-5 等部分样品水溶部分的 TD₂₀ 值大许多,表明这些样品全样对质粒 DNA 的氧化性损伤远大于其水溶部分,其原因可能是其他大量难溶性的矿物和烟尘颗粒等组分通过复杂的表面特性和机械性损伤而对 DNA 产生破坏,但还有待于进一步研究.

2.1.3 特殊气象条件下的 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤 春季沙尘暴 PM₁₀(样品 3-4)

全样和水溶部分的 TD₂₀ 值均>1000μg/mL(表 2),表明沙尘暴期间采集的 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤相对较小.这也支持了许多研究者的结论^[8,17].其原因是由于沙尘暴期间 PM₁₀ 中的颗粒物以来自地表的较粗矿物颗粒为主,其表面吸附的水溶性微量元素含量相对较低(表 3).

表 2 兰州市市区和郊区不同季节 PM₁₀ 样品的全样和水溶部分的 TD₂₀ 值(μg/mL)
Table 2 TD₂₀ of whole sample and corresponding water-soluble fraction of PM₁₀ collected from urban and suburban site of Lanzhou in different seasons (μg/mL)

采样地点	采样季节	样品编号	全样	水溶部分
市区	冬季	12-1	18	62
		12-5	21	80
		12-7	12	43
		平均值±标准偏差	17±5	62±19
	春季	3-1	850	990
		3-2	730	950
		3-3	295	580
		平均值±标准偏差	625±292	840±226
	夏季	沙尘暴样品 3-4	>1000	>1000
		7-2	10	72
		7-4	10	120
		7-5	148	387
		平均值±标准偏差	56±80	193±170
	秋季	10-1	40	60
		10-2	700	1050
		10-3	41	100
		平均值±标准偏差	260±381	403±560
郊区	冬季	12-17	80	100
		12-20	150	540
		平均值±标准偏差	115±49	320±311
	春季	3-7	950	1100
		3-10	980	1150
		平均值±标准偏差	965±21	1125±35
	夏季	7-7	400	600
		平均值±标准偏差	400	600
		降雨数天后样品	1100	1250
		7-10		
	秋季	10-4	810	950
		10-5	410	900
		10-6	80	140
		平均值±标准偏差	433±366	663±454

表 3 兰州市不同季节 PM₁₀ 中水溶性微量元素的平均含量(μg/g)

项 目	2005 年冬季		2006 年春季			2006 年夏季		2006 年秋季	
	市区	郊区	市区	郊区	沙尘暴样品	市区	郊区	市区	郊区
水溶性微量元素的平均含量	3900.38	2781.00	1239.13	594.76	62.16	2613.34	1793.11	1940.45	1183.88

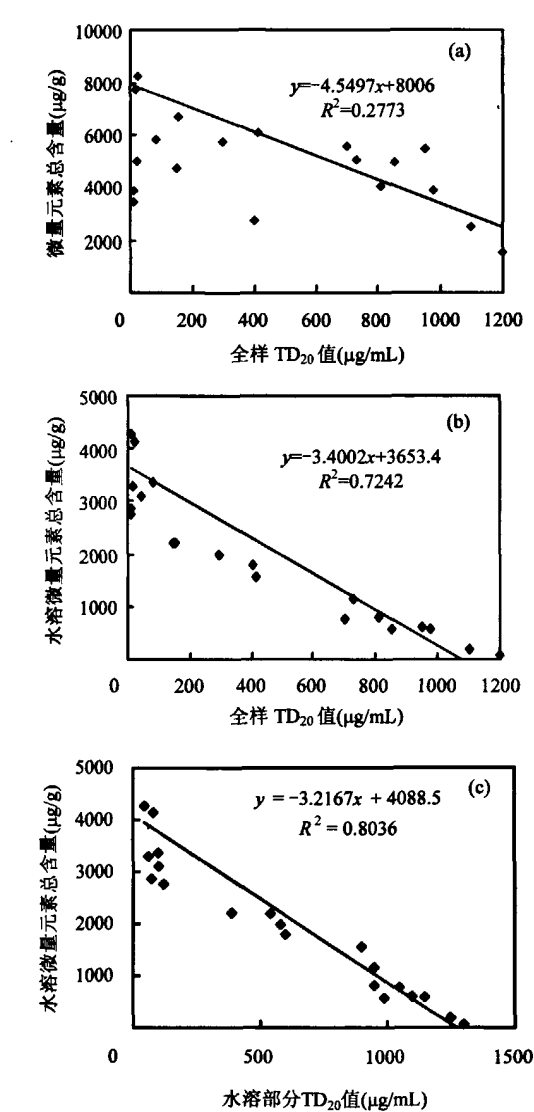


图 1 兰州市 PM₁₀ 全样、水溶部分的 TD₂₀ 值与其全样、水溶性微量元素总含量之间的相关性

Fig.1 Correlation between trace elements contents of intact whole PM₁₀ solutions and its water-soluble fraction and the TD₂₀ values of whole and water-soluble fraction of PM₁₀

夏季郊区样品(样品 7-10)是连续降雨数天后采集的样品,其全样和水溶部分的 TD₂₀ 值分别为 1100,1250μg/mL,仅低于沙尘暴样品的 TD₂₀ 值.其原因可能是雨水对大气中导致 DNA 损伤的有毒有害物质的清除作用.

2.2 PM₁₀ 对质粒 DNA 的损伤与其微量元素含量的相关性分析

由表 3 可见,2005 年冬季、2006 年春季、夏季和秋季兰州市区和郊区水溶性微量元素的平均含量具有冬、夏季相对较高,春、秋季相对较低的特点.正因为兰州市 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤可能主要来自其水溶性微量元素,所以其 TD₂₀ 值也具有类似的季节变化规律(表 2).

由图 1(a)可见,PM₁₀ 全样的 TD₂₀ 值与其相应的微量元素总含量之间的 R² 为 0.2773.根据相关系数检验临界值表,当样品数量 n>20 时,在 0.01 的置信度水平下, R²>0.29 时才具有相关性.因此,PM₁₀ 全样的 TD₂₀ 值与其相应的微量元素总含量间的相关性不明显.而 PM₁₀ 全样水溶部分的 TD₂₀ 值与其相应的微量元素总含量之间的 R² 分别为 0.7242,0.8036 [图 1(b)和图 1(c)],这意味着它们之间相关性较好.因此,PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤可能主要来自其水溶性微量元素,这一结果支持了许多研究者的结论^[8,15],同时这也是兰州市部分 PM₁₀ 全样对质粒 DNA 的氧化性损伤略大于其水溶部分的主要原因.

3 结论

3.1 采样期间,兰州市不同季节 PM₁₀ 对质粒 DNA 的氧化性损伤差异较大,市区与郊区具有冬、夏季相对较大,春、秋季相对较小的变化特征.PM₁₀ 全样的 TD₂₀ 值均小于相应的水溶部分,而部分样品中二者相差不大,表明 PM₁₀ 全样对

质粒 DNA 的氧化性损伤可能主要来自其水溶组分。

3.2 沙尘暴期间和降雨数天后兰州市 PM_{10} 对质粒 DNA 的氧化性损伤相对较小,其全样和水溶部分的 TD_{20} 值均 $>1000\mu g/mL$ 。

3.3 兰州市 PM_{10} 的 TD_{20} 值与样品中 12 种微量元素总含量的相关性分析表明, PM_{10} 对质粒 DNA 的氧化性损伤主要来自其水溶性微量元素,这可能是兰州市 PM_{10} 对质粒 DNA 的氧化性损伤具有季节性变化以及大部分 PM_{10} 全样对质粒 DNA 的氧化性损伤略大于其水溶部分的主要原因。

参考文献:

- [1] Chapman R S, Watkinson W P, Dreher K L, et al. Ambient particulate matter and respiratory and cardiovascular illness in adults: particle-borne transition metals and the heart-lung axis [J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 1997,4:331-338.
- [2] 魏复盛,胡 伟.中国四城市空气污染及其对儿童呼吸健康影响的分析 [J]. *世界科技研究与发展*, 2001,22(3):9-13.
- [3] Costa D L, Dreher K L. Bioavailable transition metals in particulate matter mediate cardiopulmonary injury in healthy and compromised animal models [J]. *Environmental Health Perspective*, 1997,105(S5):1053-1060.
- [4] Donaldson K, Beswick P H, Gilmour P S. Free radical activity associated with the surface of the particles: a unifying factor in determining biological activity [J]. *Toxicology Letter*, 1996,88: 293-298.
- [5] 童永彭,倪新伯,张元勋,等.气溶胶自由毒理学机制的研究 [J]. *环境科学学报*, 2001,21(6):654-659.
- [6] McNeilly J D, Heal M R, Beverland I J. Soluble transition metals cause the pro-inflammatory effects of welding fumes in vitro [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2004,196:95-107.
- [7] Adamson I Y R, Prieditis H, Hedgecock C, et al. Zinc is the toxic factor in the lung response to an atmospheric particulate sample [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2000,166:111-119.
- [8] Shao L Y, Shi Z B, Jones T P, et al. Bioreactivity of particulate matter in Beijing air: results from plasmid DNA assay [J]. *Science of the Total Environment*, 2006,367:261-272.
- [9] 吕森林,陈小慧,吴明红,等.上海市 $PM_{2.5}$ 的物理化学特征及其生物活性研究 [J]. *环境科学*, 2007,28(3):472-477.
- [10] 时宗波,邵龙义, Jones T P,等.城市大气可吸入颗粒物对质粒 DNA 的氧化性损伤 [J]. *科学通报*, 2004,49(7):673-678.
- [11] Greenwell L L, Moreno T, Jones T P, et al. Particle-induced oxidative damage is ameliorated by pulmonary antioxidants [J].

Free Radical Biology and Medicine, 2002,32:898-905.

- [12] Teresa M, Luciano M, Wes G, et al. Variations in the source, metal content and bioreactivity of technogenic aerosols: a case study from Port Talbot, Wales, UK [J]. *Science of the Total Environment*, 2004,333:59-73.
- [13] 肖正辉,邵龙义,张 宁,等.兰州市冬季 PM_{10} 的微观形貌和粒度分布 [J]. *辽宁工程技术大学学报*, 2007,26(1):147-150.
- [14] 李 冰,陈长和,余金香.利用 EKMA 曲线制定光化学烟雾污染区域总量控制方案 [J]. *高原气象*, 1998,17(2):111-119.
- [15] Shao L Y, Li J J, Zhao H Y, et al. Associations between particle physicochemical characteristics and oxidative capacity: an indoor PM_{10} study in Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2007,41:5316-5326.
- [16] 杨书申,邵龙义,肖正辉,等.中国典型城市 2004 年大气质量及颗粒物浓度与气象条件关系分析 [J]. *中原工学院学报*, 2005,16(5):5-9.
- [17] Thomas S, Flemming R, Cassee R S, et al. Recent outcomes in European multicentre projects on ambient particulate air pollution [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2005, 207:261-268.

作者简介:肖正辉(1973-),男,湖南邵阳人,讲师,博士,主要从事大气颗粒物研究.发表论文 10 余篇.

环 保 信 息

在认识低碳上,有哪些误区? 在认识低碳经济问题上,还必须澄清一些认识上的误区:

第一,低碳不等于贫困,贫困不是低碳经济,低碳经济的目标是低碳高增长;第二,发展低碳经济不会限制高能耗产业的引进和发展,只要这些产业的技术水平在国内领先,就符合低碳经济发展需求;第三,低碳经济并不一定成本很高,减少温室气体排放的很大一部分潜力是负成本的,并不需要成本很高的技术,但需要克服一些政策上的障碍;第四,低碳经济并不是未来需要做的事情,而是应该从现在做起的;第五,发展低碳经济是关乎每个人的事情,防范全球变暖,需要国际合作,关乎地球上每个国家和地区,关乎每一个人。

摘自《中国环境报》

2009-05-26