

· 调查报告 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.17.018

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20230529.1653.018\(2023-05-29\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20230529.1653.018(2023-05-29))

重庆市渝中区城区监测点大气 PM_{2.5} 中金属和类金属元素污染特征分析及健康风险评估*

曾晓龙¹, 沈卓之², 曾云夏^{1△}, 邓雪¹, 刘森¹, 薛丰¹, 胡雪郢¹, 周杰¹

(1. 重庆市渝中区疾病预防控制中心检验科, 重庆 400010; 2. 重庆市疾病预防控制中心科技信息科, 重庆 400042)

[摘要] **目的** 调查重庆市渝中区城区监测点大气 PM_{2.5} 中 12 种金属元素污染特征, 评估其对人群的致癌性与非致癌性健康风险。**方法** 于 2021 年 1—12 月, 每月 10—16 日, 在重庆市渝中区马家堡小学教学楼楼顶监测点采集大气 PM_{2.5} 样品, 测定其中 12 种金属和类金属元素含量, 描述其污染特征, 运用《大气污染人群健康风险评估技术规范》评估其健康风险。**结果** 共采集石英滤膜 84 份, PM_{2.5} 年平均值为 46 μg/m³, 有 11 d 超过了 24 h 平均二级浓度限值, 超标率为 13.1%。PM_{2.5} 中的金属和类金属元素中, 汞、铍全年未检出, 其余 10 种浓度由高到低依次为铝、锰、铅、砷、铬、硒、锑、镍、镉、钽; 上述 10 种元素冬春季浓度大于夏秋季, 有 9 种元素的季节性差异有统计学意义。对砷、镉、铬进行致癌性风险评估, 其超额致癌风险分别为 1.74×10^{-5} 、 1.08×10^{-6} 、 3.24×10^{-6} 。**结论** 该区域尚存在大气 PM_{2.5} 污染情况, 其中金属元素铍、铅、镍 3 种元素的致癌性风险及 10 种元素的非致癌性风险处于可接受水平。

[关键词] PM_{2.5}; 金属元素; 类金属元素; 污染特征; 健康风险评估

[中图分类号] R122.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2023)17-2657-05

Analysis of metal and metalloid elements element pollution characteristics and health risk assessment of atmospheric PM_{2.5} in Yuzhong District, Chongqing*

ZENG Xiaolong¹, SHEN Zhuozhi², ZENG Yunxia^{1△}, DENG Xue¹, LIU Miao¹,
XUE Feng¹, HU Xueying¹, ZHOU Jie¹

(1. Department of Clinical Laboratory, Chongqing Yuzhong District Center for Disease Control and Prevention, Chongqing 400010, China; 2. Department of Scientific and Technical Information, Chongqing Center for Disease Control and Prevention, Chongqing 400042, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the pollution characteristics of 12 metal elements in atmospheric PM_{2.5} in Yuzhong District, Chongqing, and evaluate the carcinogenic and non-carcinogenic health risks to the population. **Methods** Atmospheric PM_{2.5} samples were collected from January to December 2021 at top detection point of Majiabao Primary School in Yuzhong District, Chongqing from 10th to 16th each month, and the content of 12 metal and metalloid elements was measured to characterize their contamination and assess their health risks by applying the Technical Specification for Health Risk Assessment of Populations from Air Pollution. **Results** A total of 84 quartz filter membranes were collected, and the annual average value of PM_{2.5} was 46 μg/m³, and 11 days exceeded the 24-hour average secondary concentration limit, with an over-rate of 13.1%. Among the metals and metal-like elements in PM_{2.5}, mercury and beryllium were not detected throughout the year, and the remaining 10 concentrations were aluminum, manganese, lead, arsenic, chromium, selenium, antimony, nickel, cadmium and thallium in descending order. The concentrations of the above 10 elements were higher in winter and spring than in summer and autumn, and the seasonal differences of 9 elements were statistically significant. The carcinogenic risks of three elements, arsenic, cadmium and chromium, were evaluated, and their excess carcinogenic risks were 1.74×10^{-5} , 1.08×10^{-6} , and 3.24×10^{-6} , respectively. **Conclusion** There is still atmospheric PM_{2.5} pollution in this area, among which the carcinogenic risk of 3 metal elements beryllium, lead and nickel and the non-carcinogenic risk of 10 elements are at an acceptable level.

* 基金项目: 重庆市科卫联合医学科研项目重点项目(2018ZDXM006)。 作者简介: 曾晓龙(1988—), 主管技师, 硕士, 主要从事环境卫生、卫生检验方面的研究。 △ 通信作者, E-mail: xyz5tea@foxmail.com。

[Key words] PM_{2.5}; metal elements; metalloid elements; pollution characteristics; health risk assessment

随着城市化进程的不断推进,全国各地相继出现以 PM_{2.5} 为首要污染物的空气污染问题。金属及类金属元素作为 PM_{2.5} 的主要组成部分,可通过呼吸作用进入人体,对健康产生毒性、致癌性及生物蓄积性损伤^[1-3],其健康危害大小与金属成分和浓度有关^[4]。近年来,北京、西安、济南、沈阳等城市相继开展了空气 PM_{2.5} 中金属及类金属元素污染特征分析及健康风险评估^[5-15],而重庆作为西部唯一直辖市,相关报道较少。重庆中心城区地处槽谷地带,平均风速小,相对湿度较高,地理气象条件不利于大气污染物的扩散^[16],其中,渝中区地处长江、嘉陵江交汇处,全区陆地面积 20.08 平方公里,常住人口 58.8 万人,其空气质量一直受到广泛关注。本研究通过分析重庆市渝中区 2021 年大气 PM_{2.5} 和其中 12 种金属及类金属元素污染特征和程度,开展人群健康风险评估,为进一步探讨地区大气 PM_{2.5} 污染防治和人群空气污染健康防护提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采样点位于重庆市渝中区马家堡小学教学楼楼顶,监测高度 15 m,周边为居民区、学校、商场、写字楼,避开污染源。于 2021 年 1—12 月,每月 10—16 日采样,连续采集 7 d,采样时间为每天 10:00 至次日 9:30,全年共采集样品 84 份。采样所用仪器为智能中流量空气总悬浮颗粒物采样器(武汉天虹,型号:TH-150A、TH-150C),采样流量 100 L/min;所用石英纤维滤膜为 90 mm 滤膜(英国 Whatman 公司,货号:1851-090)。

1.2 方法

1.2.1 样品处理及分析

依据《空气污染对人群健康影响监测与防护工作手册(2021 年)》要求,样品采集完成后,当日开始平衡称重,尽快完成 PM_{2.5} 浓度测定,15 d 内进行成分提取,测定其中 12 种金属及类金属成分含量。取 1/8 采集到的滤膜,放入 15 mL 离心管底部,加入 95% 硝酸(Fisher,67%~70%)溶液 10 mL,于 70 °C 水浴超声 3 h,充分振荡后用 0.45 μm 滤头过滤,直接用电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7900)测定其中 12 种金属及类金属成分含量。

1.2.2 质量控制与质量保证

实验室分析 12 种金属及类金属成分检测的校准曲线线性良好,相关系数(r) $\geq 0.999 0$;抽取 10% 的样品进行平行测定,相对标准偏差均小于 20%;样品加标回收率为 82.3%~112.7%,方法检出限为 0.01~8.9 ng/m³;每批样品分析均进行 1 个实验室空白和 1 个现场空白分析。

1.2.3 健康风险评估

按照《大气污染人群健康风险评估技术规范》(WS/T 666—2019)中“基于大气污染物毒性资料的人群健康

风险评估”方法,开展 12 种金属和类金属元素的健康风险评估。

1.2.4 暴露-反应关系评估

污染物的毒性参数使用美国环境保护署区域筛选水平(regional screening levels,RSL)通用表中的环境空气部分^[17],查阅 12 种元素以吸入途径接触的毒性参数,见表 1。筛选浓度部分,确定若某一元素具有致癌效应,则可接受风险水平为 1×10^{-6} ;如具有非致癌效应,则危害商值为 1,以此为基准计算对应元素的筛选浓度。如果元素暴露浓度低于筛选浓度,则表明在该暴露水平下对人群无不可接受的风险,终止健康风险评估。如果元素暴露浓度超过筛选浓度,则启动下一步吸入途径的健康风险评估。致癌效应筛选浓度计算公式(公式①)为:CA=(AT×TR)/(IUR×ET×EF×ED)。式中,CA 为与评估值对应的大气中的污染物($\mu\text{g}/\text{m}^3$);AT 为预期寿命年数 $\times 365 \text{ d}/\text{年} \times 24 \text{ h}/\text{d}$;TR 为目标癌症风险(1×10^{-6});IUR 为吸入单位风险($\mu\text{g}/\text{m}^3$);ET 为暴露时间(h/d);EF 为暴露频率(d/年);ED 为暴露持续时间(年)。本研究假设居民持续暴露在大气环境中,ET 取值 24 h/d、EF 取值 365 d/年、ED 取值预期寿命年数。

非致癌效应筛选浓度计算公式(公式②)为:CA=(AT×Target HQ×RfC×1 000 $\mu\text{g}/\text{mg}$)/(ET×EF×ED)。式中,CA、AT、ET、EF、ED 的意义和取值同公式①;Target HQ 为目标危害商数(取值为 1);RfC 为参考浓度(mg/m^3)。

表 1 各金属及类金属元素经吸入途径的毒性参数及其来源

元素	化学物质名称	IUR($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RfC(mg/m^3)
铍	铍(金属性的)	—	3.0×10^{-4}
铝	铝	—	5.0×10^{-3}
砷	无机砷	4.3×10^{-3}	1.5×10^{-5}
铍	铍及其化合物	2.4×10^{-3}	2.0×10^{-5}
镉	镉	1.8×10^{-3}	1.0×10^{-5}
铬	六价铬	1.2×10^{-2}	1.0×10^{-4}
汞	汞(元素)	—	3.0×10^{-4}
铅	磷酸铅	1.2×10^{-5}	—
锰	锰	—	5.0×10^{-5}
镍	镍(可溶性盐)	2.6×10^{-4}	9.0×10^{-5}
硒	硒	—	2.0×10^{-2}
铊	铊(可溶性盐)	—	—

—:无此项。

1.2.5 暴露评估

暴露浓度计算公式(公式③)为:EC=(CA×ET×EF×ED)/AT。式中,EC 为暴露浓度($\mu\text{g}/$

m^3);CA 为污染物在空气中的浓度 ($\mu g/m^3$);ET、EF、ED、AT 的意义及取值同公式①。

1.2.6 健康风险表征

以超额致癌风险评估金属及类金属元素的致癌风险。计算公式(公式④)为:超额致癌风险=IUR×EC。式中,IUR 的意义同公式①,EC 的意义同公式③。

当超额致癌风险 $<1 \times 10^{-6}$,表明其引起癌症的风险较低,在监管意义上为可以接受的风险;该超额致癌风险为 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$,表明其有潜在的致癌风险;该超额致癌风险 $>1 \times 10^{-4}$,表明其引起癌症的风险较高。

采用目标危害商数评估重金属的非致癌风险。计算公式(公式⑤)为:HQ=EC/RfC×1 000 $\mu g/mg$ 。式中 HQ 为目标危害商数;EC 的意义同公式②,RfC 的意义同公式③。HQ ≥ 1 ,表示暴露浓度可能产生非致癌毒性;HQ < 1 ,则表示暴露浓度产生的非致癌毒性处于可接受的水平^[18]。

1.3 统计学处理

采用 SPSS19.0 软件进行统计学处理,未检出按照检出限的 50%进行数据分析。PM_{2.5} 及金属和类金属元素浓度均不服从正态分布,因此采用最小值、Q₁、Q₂、Q₃、最大值这 5 项参数进行统计学描述。考虑到需要与《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中 PM_{2.5} 及各污染物的年平均浓度限值(二级)进行比较,同时纳入算术平均值进行统计学描述,并采用其开展风险评估。使用秩和检验来分析金属和类金属元素的季节性差异,以 $\alpha=0.05$ 为校验水准。

2 结 果

2.1 大气中 PM_{2.5} 浓度情况

研究期间,该区域 2021 年 PM_{2.5} 浓度年平均值为

为 46 $\mu g/m^3$,最大值为 150 $\mu g/m^3$ 。其中有 11 d 的 PM_{2.5} 浓度超过《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中 24 h 平均值的二级浓度限值(75 $\mu g/m^3$),超标率为 13.1%。超限量值采样日期主要集中在秋冬两季,不同季节中 PM_{2.5} 浓度平均值由大到小依次为冬季、秋季、春季、夏季,见表 2。

2.2 PM_{2.5} 中金属和类金属元素浓度情况

重庆市渝中区城区 2021 年 PM_{2.5} 中 12 种重金属年平均浓度由高到低依次为铝、锰、铅、砷、铬、硒、镉、镍、镉、铊、汞、铍,其中汞和铍全年未检出。比较不同季节元素浓度,除镍外,9 种元素均为秋冬季浓度高于春夏季,差异有统计学意义($P < 0.05$);砷、镉、汞、铅的年平均浓度均未超过限值标准(GB 3095-2012),见表 3。

2.3 各元素的筛选浓度情况

各金属及类金属元素经吸入途径的毒理学参数见表 3,其中 6 种元素有致癌性参数,10 种有非致癌性参数。各元素的筛选浓度见表 4,砷、镉、铬的暴露浓度高于致癌效应筛选浓度,继续对砷、镉、铬进行致癌性风险评估。10 种元素的暴露浓度均低于非致癌效应筛选浓度,因此终止 10 种元素的非致癌效应风险评估。

表 2 大气中 PM_{2.5} 浓度情况 ($\mu g/m^3$)

季节	最小值	Q ₁	Q ₂	\bar{x}	Q ₃	最大值
春季	20	26	32	37	50	67
夏季	14	20	25	28	35	63
秋季	13	22	41	43	60	87
冬季	36	48	67	74	96	150
合计	13	25	40	46	58	150

表 3 PM_{2.5} 中金属和类金属元素浓度情况 (ng/m^3)

元素	秋冬季				春夏季				合计				国家标准
	Q ₁	Q ₂	\bar{x}	Q ₃	Q ₁	Q ₂	\bar{x}	Q ₃	Q ₁	Q ₂	\bar{x}	Q ₃	
铍	0.77	1.56	1.58	2.27	0.65	0.98	1.02	1.34	0.69	1.16	1.30	1.83	—
铝	70.58	112.00	142.06	165.44	45.30	72.60	119.13	115.50	55.10	93.09	130.59	158.70	—
砷	1.54	3.56	4.52	5.98	1.62	3.33	3.57	5.42	1.61	3.38	4.04	5.53	6
铍	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	—
镉	0.33	0.69	0.76	1.04	0.19	0.41	0.44	0.61	0.26	0.45	0.60	0.89	5
铬	1.17	1.67	2.21	3.39	1.12	1.46	1.59	2.19	1.15	1.58	1.90	2.44	—
汞	0.03	0.03	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	50
铅	9.73	17.00	18.28	25.40	7.82	13.25	13.14	16.25	8.58	14.68	15.71	20.78	500
锰	17.18	23.14	28.11	34.00	13.15	17.30	18.05	21.00	14.22	18.59	23.08	29.35	—
镍	0.15	0.54	0.85	1.01	0.15	0.56	1.19	1.10	0.15	0.52	1.01	1.01	—
硒	0.85	1.70	2.25	2.97	0.85	0.85	1.53	2.08	0.85	1.65	1.89	2.55	—
铊	0.18	0.24	0.27	0.34	0.12	0.16	0.18	0.25	0.13	0.20	0.22	0.29	—

—:无此项。

表4 各元素的筛选浓度情况(ng/m^3)

元素	致癌效应 筛选浓度	非致癌效应 筛选浓度	暴露浓度	是否继续 健康风险评估
铍	—	300	1.30	否
铝	—	5 000	130.59	否
砷	0.23	15	4.04	是
铍	0.42	20	0.03	否
镉	0.56	10	0.60	是
铬	0.08	100	0.27 ^a	是
汞	—	300	0.03	否
铅	83.33	—	15.71	否
锰	—	50	23.08	否
镍	3.85	90	1.01	否
硒	—	20 000	1.89	否
铊	—	—	0.22	否

^a:六价铬浓度,参考文献[19],六价铬浓度为总铬浓度的1/7。

—:因没有毒性数据资料,无法计算筛选浓度。

2.4 健康风险表征

对砷、镉、铬进行致癌性风险评估,3种元素的超额致癌风险分别为 1.74×10^{-5} 、 1.08×10^{-6} 、 3.24×10^{-6} ,均介于 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ 之间,对人群存在潜在的致癌风险。

3 讨论

本研究在区域中心城区设置采样点,监测高度为15 m,位于国控环境空气质量监测站覆盖范围内,采样点周边为居民区、学校、商场、写字楼,无工厂,避开了污染源及障碍物、交通道路,空气污染程度相对较轻。本研究中,2021年每月均进行 $\text{PM}_{2.5}$ 采样分析,共采集样本84件,一定程度上可反映该区域部分城区大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的污染情况。2021年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度年平均值为 $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$,超过了年平均二级浓度限值($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$),其中有11 d超过24 h平均二级浓度限值($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$),超标率为13.1%,主要集中在秋冬季。 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度表现出明显的季节性,秋冬季浓度均值大于春夏季。结果显示,该区域仍存在 $\text{PM}_{2.5}$ 污染情况,这可能与周边地区大气污染物传输有关。

本研究的12种金属和类金属元素中,铝、锰、铅质量浓度最高,占所测元素总浓度的93.9%,主要来自汽车尾气、土地开发施工和道路扬尘^[20]。有9种元素表现出明显的季节性,秋冬季质量浓度大于春夏季,这可能是因为冬季低温少风,气象条件不利于 $\text{PM}_{2.5}$ 扩散和降解,一定程度上造成金属和类金属元素的累积,而夏季较多的降水有助于 $\text{PM}_{2.5}$ 的沉降清除。铅、镉、砷、汞4种元素年平均浓度均低于《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)标准限值^[21],这与该区域内无厂矿等工业污染源的情况相符。

依据《大气污染人群健康风险评估技术规范》

(WS/T 666-2019)进行健康风险评估。结果显示,10种元素的暴露浓度均小于其非致癌效应的筛选浓度,表明其对人群健康无明显非致癌风险。砷、镉、铬3种元素终身超额致癌风险均大于 1×10^{-6} ,介于 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ 之间,表明这3种元素有潜在致癌风险。砷是典型的燃煤元素^[22],长期暴露可能造成急性慢性中毒,导致人体器官病变或发育缺陷^[23],对儿童青少年的危害尤其大^[24-25]。该区域虽不存在燃煤污染源,但可能受周边大气传输影响。评估结果显示,监测时段内空气 $\text{PM}_{2.5}$ 中的砷浓度对居民有一定的致癌性风险(1.74×10^{-5}),对人群的健康危害需引起关注。

本次健康风险评估结果存在一定的不确定性:在 $\text{PM}_{2.5}$ 采样、运输、保存及元素测定过程中存在误差,造成12种金属和类金属元素的浓度存在不确定性。健康风险评估是以人群全年全时间均暴露在大气环境中为前提进行的,未考虑室内环境因素,且未考虑人群个体因素的差异,暴露浓度存在不确定性。评估是基于单一环境、单一大气污染物进行,未进行考虑年龄敏感性、多重环境,评估时只考虑了吸入途径的健康风险,未考虑经口或皮肤接触进入。

参考文献

- [1] OMAR R, ANA M, SANCHEZ C, et al. Hazardous trace elements in thoracic fraction of airborne particulate matter: assessment of temporal variations, sources, and health risks in a megacity [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 710: 136344.
- [2] 罗燃燃,戴海夏,张蕴晖,等.上海郊区家庭妇女 $\text{PM}_{2.5}$ 重金属组分暴露水平、来源与健康风险[J]. *环境科学*, 2019, 40(12): 5224-5233.
- [3] 张俊美. 山东典型地区 $\text{PM}_{2.5}$ 中无机元素、多环芳烃及其衍生物污染特征和氧化潜势[D]. 济南: 山东大学, 2019.
- [4] 张献伟,徐美华,王玉雯,等. 2016—2018年天津市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 对儿童呼吸系统门诊量的时间序列分析[J]. *公共卫生与预防医学*, 2019, 30(5): 29-32.
- [5] 李文静,张美云,万博宇,等.北京市朝阳区大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中重金属对居民健康影响的风险评估[J]. *现代预防医学*, 2021, 48(3): 416-419.
- [6] 孟昭伟,张同军,郑晶利,等.西安市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中金属和类金属元素污染特征及健康风险评价[J]. *公共卫生与预防医学*, 2021, 32(5): 28-32.
- [7] 王丽珩,彭秀苗,张迎建,等. 2016—2020年济南市两城区大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中金属元素浓度特征及慢性健康风险评估[J]. *山东大学学报(医学版)*,

- 2021,59(12):63-69.
- [8] 任万辉,李云丹,苏枫枫,等. 沈阳市大气 PM_{2.5} 中重金属污染特征,来源解析及健康风险评估[J]. 环境化学,2021,40(4):1029-1037.
- [9] 陆平,赵雪艳,殷宝辉,等. 临沂市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中元素分布特征及来源解析[J]. 环境科学,2020,41(5):2036-2043.
- [10] 王婧,毛翔,范传刚,等. 武汉市青山区 PM_{2.5} 成分特征及慢性健康风险评估[J]. 公共卫生与预防医学,2020,31(3):94-98.
- [11] 秦贱荣,张新英,黄炯丽,等. 南宁市大气 PM_{2.5} 中重金属污染特征及其健康风险评估[J]. 环境科学与技术,2020,43(7):35-44.
- [12] 谢忱,杨文,张文杰,等. 中国 23 城市 PM_{2.5} 载带典型重金属的污染特征及健康风险评估研究[J]. 环境与健康杂志,2019,36(8):693-702.
- [13] 闫广轩,张朴真,王晨,等. 郑州市采暖期与非采暖期 PM_{2.5} 中重金属来源及潜在健康风险评估[J]. 环境科学学报,2019,39(8):2811-2820.
- [14] 何晓庆,罗进斌,王祚懿,等. 婺城区大气 PM_{2.5} 金属元素污染的慢性健康风险评估[J]. 预防医学,2019,31(1):23-27.
- [15] 何瑞东,张轶舜,陈永阳,等. 郑州市某生活区大气 PM_{2.5} 中重金属污染特征及生态、健康风险评估[J]. 环境科学,2019,40(11):4774-4782.
- [16] 江文华,周国兵,陈道劲,等. 重庆中心城区空气污染特征及气象影响因素分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2022,47(1):74-81.
- [17] United States Environmental Protection Agency. Regional screening levels(RSLs)[EB/OL]. [2021-01-07]. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls>.
- [18] 孙庆华,杜宗豪,杜艳君,等. 环境健康风险评估方法第五讲风险特征(续四)[J]. 环境与健康杂志,2015,32(7):640-642.
- [19] HSU C Y,CHIANG H C,LIN S L, et al. Elemental characterization and source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in the western coastal area of central Taiwan[J]. Sci Total Environ,2016,541:1139-1150.
- [20] 刘佳,翟崇治,许丽萍,等. 灰霾天气下重庆地区秋冬金属污染特征及来源分析[J]. 生态环境学报,2015,24(10):1689-1694.
- [21] 中国环境科学研究院. 环境空气质量标准[M]. 北京:中国环境科学出版社,2012.
- [22] 谭吉华,段菁春. 中国大气颗粒物重金属污染、来源及控制建议[J]. 中国科学院研究生院学报,2013,30(2):145-155.
- [23] ZHAI Y,LIU X,CHEN H, et al. Source identification and potential ecological risk assessment of heavy metals in PM_{2.5} from Changsha [J]. Sci Total Environ,2014,493:109-115.
- [24] WANG K,WANG W,LI L, et al. Seasonal concentration distribution of PM₁₀ and PM_{2.5} and a risk assessment of bound trace metals in Harbin,China:effect of the species distribution of heavy metals and heat supply[J]. Sci Rep,2020,10(1):367-371.
- [25] 刘军霞,王苏苏,董辰寅,等. 儿童神暴露来源及健康风险的研究进展[J]. 环境与健康杂志,2020,37(3):265-269.

(收稿日期:2022-11-27 修回日期:2023-04-14)

(编辑:张芄捷)

(上接第 2656 页)

- [38] STOUSTRUP P,TWILT M. Improving treatment of the temporomandibular joint in juvenile idiopathic arthritis:let's face it[J]. Expert Rev Clin Immunol,2019,15(11):1119-1121.
- [39] PATEL K,GERBER B,BAILEY K, et al. Juvenile idiopathic arthritis of the temporomandibular joint:no longer the forgotten joint[J]. Br J Oral Maxillofac Surg,2022,60(3):247-256.
- [40] KOKKOLA O,SUOMINEN A L,QVINTUS V, et al. Efficacy of stabilisation splint treatment on the oral health-related quality of life:a randomised controlled one-year follow-up trial[J]. J Oral Rehabil,2018,45(5):355-362.
- [41] BILICI I S,EMES Y,AYBAR B, et al. Evaluation of the effects of occlusal splint, trigger point injection and arthrocentesis in the treatment of internal derangement patients with myofascial pain disorders[J]. J Craniomaxillofac Surg,2018,46(6):916-922.
- [42] MARSICO E,GATTO E,BURRASCANO M, et al. Effectiveness of orthodontic treatment with functional appliances on mandibular growth in the short term[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop,2011,139(1):24-36.

(收稿日期:2023-01-10 修回日期:2023-06-05)

(编辑:冯甜)