

杭州某酒店中式厨房空气中颗粒物的暴露特征

周簪荣¹, 张美辨¹, 邹华¹, 高向景¹, 全长健¹, 胡勇¹, 金玉兰²

1. 浙江省疾病预防控制中心职业健康与辐射防护所, 浙江 杭州 310051

2. 浙江省医疗健康集团杭州医院, 浙江 杭州 310000

摘要:

[背景] 厨房颗粒物的危害已引起社会关注, 但是目前其分布特征鲜有报道。

[目的] 探索厨房颗粒物的时空分布特征, 分析数量浓度 (NC)、质量浓度 (MC)、表面积浓度 (SAC) 的变化特征和颗粒物粒径分布规律, 为作业人群的暴露评价提供参考指标, 也为超细颗粒物的健康效应研究提供实验依据。

[方法] 选取杭州某酒店中式厨房的不同烹饪岗位并对接触颗粒物进行监测, 探索炒菜岗颗粒物 NC、MC 和 SAC 的时空分布特征并分析颗粒物粒径的变化规律, 对炒菜岗与蒸菜岗的颗粒物个体暴露情况进行对比, 同时对 NC、MC 和 SAC 三者的相关关系进行分析。

[结果] 炒菜岗位的 $NC_{10\sim 500\text{nm}}$ 在午餐准备期和午餐高峰期的值和波动幅度明显高于午餐收尾期; $MC_{10\sim 500\text{nm}}$ 值全程波动较 $NC_{10\sim 500\text{nm}}$ 小, 午餐准备期、高峰期和收尾期的 $MC_{10\sim 500\text{nm}}$ 均值分别为 0.149、0.229、0.151 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$; $SAC_{10\sim 500\text{nm}}$ 均值分别为 225、961、466 $\mu\text{m}^2\cdot\text{cm}^{-3}$ 。炒菜岗位颗粒物粒径 100 nm 以内的颗粒物占比为 94.67%, 午餐高峰期的模式直径为 19 nm。炒菜岗位 $NC_{20\sim 700\text{nm}}$ 高于蒸菜岗位 ($P<0.01$), 炒菜岗位暴露颗粒物的模式直径 [(34.98±2.33) nm] 高于蒸菜岗位 [(30.11±2.17) nm] ($P<0.01$)。 $SAC_{10\sim 500\text{nm}}$ 与 $NC_{10\sim 500\text{nm}}$ 间的相关性 ($r=0.703$) 强于 $NC_{10\sim 500\text{nm}}$ 与 $MC_{10\sim 500\text{nm}}$ 、 $SAC_{10\sim 500\text{nm}}$ 与 $MC_{10\sim 500\text{nm}}$ 间的相关性 ($r=0.412$ 、0.351)。

[结论] 炒菜岗位颗粒物的 NC、MC、SAC 大小与作业情况相关。粒径在 100 nm 以内的颗粒物数在构成中占绝对优势。SAC 与 NC 间存在强相关性, 表明 SAC 可能更适合作为空气污染暴露指标。

关键词: 颗粒物; 数量浓度; 质量浓度; 表面积浓度; 粒径分布

Exposure characteristics of airborne particulate matters in Chinese kitchen of a hotel in Hangzhou
ZHOU Zanrong¹, ZHANG Meibian¹, ZOU Hua¹, GAO Xiangjing¹, QUAN Changjian¹, HU Yong¹, JIN Yulan²
(1. Institute of Occupational Health and Radiation Protection, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China; 2. Zhejiang Medical Health Group Hangzhou Hospital, Hangzhou, Zhejiang 310000, China)

Abstract:

[Background] The hazards of kitchen particles have aroused social concerns, but there are few studies on their distribution characteristics.

[Objective] This study is designed to explore the time and space distribution characteristics of kitchen particles, including the number concentration (NC), mass concentration (MC), surface area concentration (SAC), and particle size distribution, and provide a reference for assessing the exposure levels and health effects of ultrafine particles among exposed populations.

[Methods] Particles at different cooking posts were monitored in the Chinese kitchen of a hotel in Hangzhou. The temporal and spatial distribution characteristics of NC, MC, and SAC of particles and the particle size distribution at the fried food posts were analyzed, the individual exposure levels to particles were compared between fried food posts and steaming posts, and the correlations among NC, MC and SAC were evaluated.

[Results] At the fried food posts, the $NC_{10\sim 500\text{nm}}$ during lunch preparation period and peak lunch period were higher and more fluctuating than that during lunch closing period; the $MC_{10\sim 500\text{nm}}$ during lunch preparation, peak, and closing periods were 0.149, 0.229, and 0.151 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively, fluctuating less than $NC_{10\sim 500\text{nm}}$ throughout the whole lunch period; the $SAC_{10\sim 500\text{nm}}$ during the three periods were 225, 961, and 466 $\mu\text{m}^2\cdot\text{cm}^{-3}$, respectively. The particles within 100 nm accounted for 94.67% of total particles, and in the peak lunch period the particles of 19 nm dominated (mode

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.20432

基金项目

2020 年浙江省医药卫生科技计划项目 (2020KY517)

作者简介

周簪荣 (1984—), 男, 硕士, 主管医师;
E-mail: 624512504@qq.com

通信作者

金玉兰, E-mail: 2218642756@qq.com

伦理审批 不需要

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-09-17

录用日期 2020-12-15

文章编号 2095-9982(2021)02-0132-06

中图分类号 R12

文献标志码 A

►引用

周簪荣, 张美辨, 邹华, 等. 杭州某酒店中式厨房空气中颗粒物的暴露特征 [J]. 环境与职业医学, 2021, 38 (2): 132-136, 151.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20432

Funding

This study was funded.

Correspondence to

JIN Yulan, E-mail: 2218642756@qq.com

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2020-09-17

Accepted 2020-12-15

►To cite

ZHOU Zanrong, ZHANG Meibian, ZOU Hua, et al. Exposure characteristics of airborne particulate matters in Chinese kitchen of a hotel in Hangzhou[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(2): 132-136, 151.

►Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20432

size). The $NC_{20\sim 700\text{nm}}$ of particles of the fried food posts was higher than that of the steaming posts ($P<0.01$), and the mode size of particles of the cooking posts [$34.98\pm 2.33\text{ nm}$] was higher than that of the steaming posts [$30.11\pm 2.17\text{ nm}$] ($P<0.01$). The correlation between $SAC_{10\sim 500\text{nm}}$ and $NC_{10\sim 500\text{nm}}$ ($r=0.703$) was stronger than the correlation between $NC_{10\sim 500\text{nm}}$ and $MC_{10\sim 500\text{nm}}$ ($r=0.412$) and between $SAC_{10\sim 500\text{nm}}$ and $MC_{10\sim 500\text{nm}}$ ($r=0.351$).

[Conclusion] The NC, MC, and SAC of particles sampled from fried food posts is related to the operation activities. The number of particles with a particle size less than 100 nm occupies an absolute dominant position in the composition. The strong correlation between SAC and NC suggests that SAC might be a better indicator of air pollution exposure.

Keywords: particle; number concentration; mass concentration; surface area concentration; particle size distribution

超细颗粒物一般定义为空气动力学、几何学或迁移直径小于 100 nm 的颗粒物^[1], 广泛存在于生活的各个领域, 包括化妆品、医药以及大气环境等。超细颗粒物具有特殊性、多样性和潜在的危害性^[2]。当颗粒物直径降至纳米范围时, 会呈现出与大颗粒物完全不同的新的理化特征, 例如导电性增强, 溶解度改变, 空气中扩散速度加快, 易凝聚/聚集, 不易沉降, 表面活性增强^[3]。超细颗粒物新的理化特征导致其具有复杂的暴露特征和不同的生物学效应^[4]。体外实验和动物实验^[5]结果表明超细颗粒物比其母体材料的大颗粒物具有更大的毒理学效应, 可能诱发细胞毒性、遗传毒性、炎症, 甚至癌症。超细颗粒物的新特性和广泛存在所导致的健康风险已引起人们的广泛关注, 但人群暴露资料非常缺乏, 其直接原因是目前国内外尚未建立完善的超细颗粒物暴露评估方法。而暴露评估方法缺乏的深层次原因之一是人们对工作场所超细颗粒物的暴露特征不甚了解。

有证据显示, 在超细颗粒物产生后的生命周期内, 其颗粒物属性、粒径和浓度等暴露特征要素均会发生变化, 并与颗粒物聚集有关^[6]。超细颗粒物释放后可发生自身聚集, 也可与背景颗粒物结合, 从而导致其粒径和颗粒物属性发生变化^[7]。另外, 超细颗粒物暴露特征的形成可能与外部因素(即生产环境因素)密切相关。有关超细颗粒物的实验研究和工作场所现场调查结果显示, 至少有 5 个关键生产环境因素, 包括作业活动、通风状况、背景颗粒物来源、岗位空间分布和气象因素(气温和湿度等), 可能与超细颗粒物暴露特征变化相关^[8-10]。

餐饮带来的厨房油烟污染问题日益严重, 已成为室内生活环境中主要的空气污染源之一。厨房油烟是气、固、液三相构成的气溶胶^[1], 能长期飘浮在空气中, 大多粒径为 $0.1\sim 10.0\mu\text{m}$ 。研究表明厨房油烟中含有大量的自由基, 它们分子量较大, 稳定性高, 进入机体内可生成活性氧自由基和脂质过氧化物, 是导致肺癌、气管炎、肺炎和肺气肿发生的重要原因^[11]。

目前国内外研究厨房油烟颗粒物对人体危害^[12]及如何控制油烟颗粒物数量等^[13]的文献较多, 有文献报道了厨房油烟颗粒物对 DNA 的诱导损伤^[3], 室内超细颗粒物的来源^[14], 不同烹饪方式产生颗粒物数量的区别^[15], 不同能源加热方式对厨房内颗粒物的影响^[16], 不同油类加热产生颗粒物数量的区别^[1]等, 但是研究油烟颗粒物分布暴露特征的文献较少, 对中餐厨房产生颗粒物的数量浓度(number concentration, NC)、质量浓度(mass concentration, MC)、表面积浓度(surface area concentration, SAC)和粒径变化规律未见报道。本研究主要研究中式厨房内颗粒物的 MC、NC、SAC 和粒径分布等指标, 探索各指标的时空分布特征, 同时对 MC、NC 和 SAC 三者的相关性进行分析, 以期初步明确厨房油烟中的颗粒物暴露特征, 为厨房作业人员的暴露评估提供较好的指标, 为暴露人群的健康风险管理提供依据, 也为今后的厨房油烟健康效应研究奠定实验基础。

1 材料与方法

1.1 厨房的选择

选择杭州市 1 家酒店的中式厨房作为调查场所, 厨房设置在酒店的二楼北侧, 与外界仅有排烟风管相通, 该厨房分为储物间、备菜区和烹饪区, 面积为 $5\text{ m}\times 16\text{ m}$ 。储物间存有蔬菜和冷冻食品等食材, 在准备阶段备菜人员会根据订单从储物间将食材取出。备菜区是进行冷菜制作和食材清洗、切剁等准备过程的作业区。烹饪区是对食材进行烹、炒、煎、炸、蒸、煮等的作业区, 该作业区 5 台锅灶前上方设有油烟机通风设施, 作业时灶口风速约为 $1.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。厨师未佩戴防护口罩和防噪耳塞, 午餐作业时间主要在上午 10 点到下午 14 点。备菜区与烹饪区相邻, 因此, 两个作业区域都会接触到烹饪作业过程中产生的油烟。

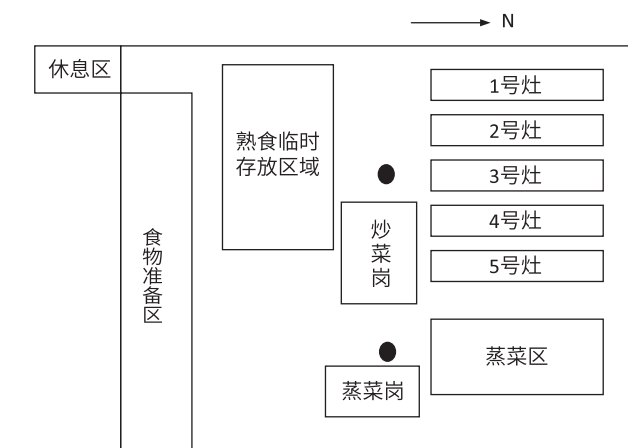
1.2 测量指标、仪器

测量指标分为暴露浓度和粒径分布两类指标, 其中, 暴露浓度指标为 MC、NC 和 SAC (指单位体积内所

有颗粒物表面积总和), 粒径分布指标为 NC 的粒径分布; 另外, 辅助测量指标有气象条件。使用仪器主要有: 气溶胶监测仪 Dusttrak、超细粒子计数器 P-Trak、纳米颗粒气溶胶监测仪 AeroTark9000、扫描电迁移率粒径仪 SMPS 3034、气象条件测量仪 9565 (TSI, 美国) 和纳米颗粒计数个体采样器 Discmini (TESTO, 德国) 等。

1.3 采样方案

首先通过进行现场调查和应用 P-Trak 对工作场所进行预检测, 确定检测岗位颗粒物排放来源, 并确定采样时间。具体检测方案^[17]: ①背景浓度测量, 选取烹饪作业开始前厨房内空气颗粒物浓度作为背景浓度, 在检测背景浓度时没有工人作业, 也没有其他颗粒物释放源; ②基于作业活动的颗粒物检测, 检测地点根据前期的现场调查资料以及预检测情况, 同时考虑厨师作业方式以及仪器设备对厨师操作的影响等。在同一天时间里, 采用定点采样与个体采样相结合的方法。定点采样对炒菜岗位颗粒物时空分布规律进行分析(准备、高峰和收尾期全程采集了 180 组数据); 采取个体采样法对不同岗位颗粒物暴露特征进行分析(准备和高峰期采集了 133 组数据)。个体采样时将仪器挂在厨师身上, 采样进气口夹在厨师衣领上的呼吸带位置; 定点采样时将采样检测仪器放置在检测岗位下风侧, 仪器设备尽量靠近厨师但不影响其作业, 布点位置如图 1 所示。检测高度为工人呼吸带水平, 检测时间从准备工作开始到作业活动结束, 检测时间段为 10:45—13:44。同时对午餐前非工作时段厨房内背景值进行检测, 检测时间段为 9:00—9:59。各阶段发生的详细事件见表 1。



[注] ●: 检测点。

图 1 检测点的位置

Figure 1 Locations of monitoring sites

表 1 午餐各阶段的操作活动记录

Table 1 Record of activities in each lunch periods

活动阶段	时间	活动内容
午餐前	9:00—9:59	无操作
午餐准备期	10:45—11:44	1 号和 2 号炉子打开和关闭; 各 3 次
午餐高峰期	11:45—12:44	1 号火炉分别打开和关闭 5 次, 2 号火炉分别打开和关闭 3 次, 3 号火炉打开和关闭 3 次, 4 号火炉打开和关闭 5 次, 5 号火炉打开和关闭 3 次
午餐收尾期	12:45—13:44	无操作

1.4 统计学分析

不同烹饪岗位暴露颗粒物 NC 与背景浓度比较、不同烹饪岗位的颗粒物 SAC 比较均应用单因素方差分析(方差齐时, 采用 LSD 方法进行两两比较; 方差不齐时, 采用 Dennett's t3 方法进行两两比较)。不同烹饪岗位接触颗粒物的模式直径(午餐高峰期颗粒物 NC 最大时对应的粒径即模式直径)应用重复数据单因素方差分析。用 Pearson 相关法分析 NC、MC 和 SAC 之间的相关性。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 炒菜岗颗粒物时间-浓度变化规律

如图 2 所示, 午餐准备期和午餐高峰期 $NC_{10\sim500\text{nm}}$ 的大小和波动幅度明显高于午餐收尾期, 并且与作业活动相关。10:45—11:44 是午餐准备期, 该阶段以备菜作业和蒸煮加热准备为主, 有少量炒菜活动, 产生颗粒物的 $NC_{10\sim500\text{nm}}$ 均值约为 10^6 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$ 。11:45—12:44 是午餐高峰期, 该阶段炒菜活动频繁, $NC_{10\sim500\text{nm}}$ 均值约为 9.8×10^5 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$, 午餐准备期与午餐高峰期 $NC_{10\sim500\text{nm}}$ 差异无统计学意义。12:45—13:44 是午餐收尾期, 12:45—13:00 有少量的炒菜活动, 之后时间不再有烹饪活动, $NC_{10\sim500\text{nm}}$ 均值为 4.2×10^5 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$, 低于准备期和高峰期 ($P<0.01$), 高于背景值(约 0.4×10^5 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$) ($P<0.01$)。

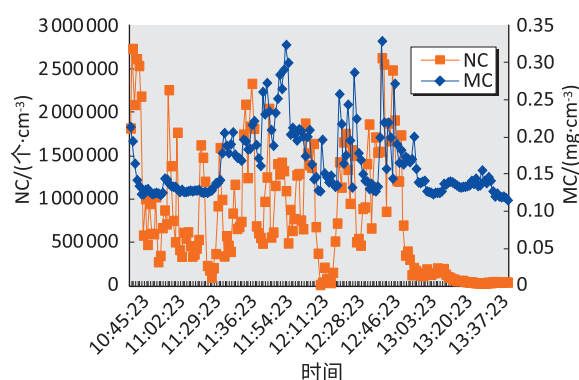


图 2 中式厨房炒菜岗不同时间段颗粒物 $NC_{10\sim500\text{nm}}$ 和 $MC_{10\sim500\text{nm}}$ 的分布

Figure 2 Distributions of $NC_{10\sim500\text{nm}}$ and $MC_{10\sim500\text{nm}}$ of particles at fried food posts in the Chinese kitchen in different time periods

$MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 值全程波动较 $NC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 小, 午餐准备期、高峰期和收尾期的 $MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 均值分别为 0.149、0.229、0.151 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 高峰期 $MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 高于准备期和收尾期 ($P<0.05$), 但午餐准备期与午餐收尾期 $MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 值没有差异 ($P>0.05$)。

如图 3 所示, 午餐准备期、高峰期和收尾期 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 均值分别为 225、961、466 $\mu\text{m}^2\cdot\text{cm}^{-3}$, 高峰期 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 高于准备期和收尾期, 收尾期的 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 值高于准备期 ($P<0.05$)。

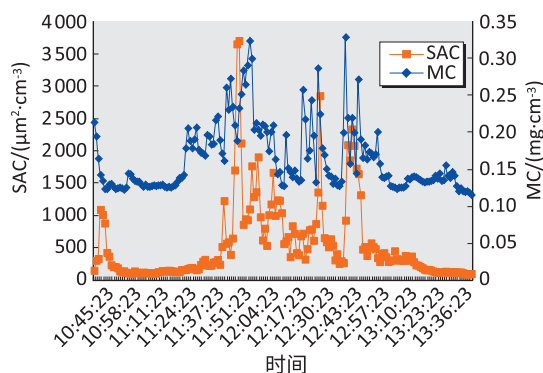


图3 中式厨房炒菜岗不同时间段颗粒物 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 和 $MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 的分布

Figure 3 Distributions of $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ and $MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ of particles at fried food posts in the Chinese kitchen in different time periods

2.2 炒菜岗颗粒物粒径特征

午餐高峰期颗粒物数量按粒径从大到小呈现: 100 nm 以内、100~<200 nm、200~<300 nm、300~<400 nm、400~500 nm, 粒径 100 nm 以内的颗粒物占比为 94.67%, 粒径 200 nm 以内的颗粒物占比为 98.38%。粒径小于 200 nm 时, 19 nm 的颗粒物 NC 最大, 故午餐高峰阶段的模式直径为 19 nm。

2.3 不同烹饪岗位个体颗粒物暴露水平

采用个体采样仪器 (型号 Discmini, 量程范围是 20~700 nm) 检测高峰期炒菜岗位、蒸菜岗位暴露的颗粒物 $NC_{20\sim 700\text{ nm}}$ 并与背景浓度进行比较, 炒菜岗位和蒸菜岗位暴露颗粒物 $NC_{20\sim 700\text{ nm}}$ [(1 032 352±158 231)、(668 771±23 623) 个· cm^{-3}] 高于背景值 (42 485 个· cm^{-3}) ($P<0.01$), 炒菜岗位高于蒸菜岗位 ($P<0.01$), 炒菜岗位暴露颗粒物的模式直径 [(34.98±2.33) nm] 大于蒸菜岗位 [(30.11±2.17) nm] ($P<0.01$)。

2.4 MC、NC 与 SAC 之间的相关性

$NC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 与 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 的相关性最强, 相关系数为 0.703 ($P<0.01$)。 $NC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 与 $MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 、 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 与 $MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 的相关系数分别为 0.412、0.351 ($P<0.05$)。

3 讨论

午餐准备期和高峰期颗粒物 $NC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 值和波动都比背景值大, 但是准备期和高峰期的 $NC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 没有差异。准备期厨房作业主要为一些菜品提前预处理, 有少量炒菜作业也会产生油烟类颗粒物, 以上原因均会导致午餐准备期暴露 $NC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 增加。

$SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 在午餐三个时期均不同, 高峰期>收尾期>准备期 ($P<0.05$)。作业高峰期颗粒物 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 高于准备期和收尾期, 这与高峰期颗粒物 $NC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 高有关; 收尾期比准备期高, 可能与收尾期还有大量的颗粒物飘浮在空气中有关。本研究还发现 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 与 $MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 有一定的相关性, 这与 Zou 等^[18] 的研究结果一致。

此次研究的对象主要是 100 nm 以内的超细颗粒物, 在按粒径大小分析颗粒物构成时, 本研究也分析了其他粒径大小的颗粒物, 500 nm 以上的颗粒物在空气中停留时间短而且浓度低, 采样仪器较难捕捉。在颗粒物的构成中, 粒径在 100 nm 以内的数量占 94% 以上, 占据绝对优势, 这可能与超细颗粒物粒的团聚效应有关^[7]。

研究炒菜岗位与蒸菜岗位个体颗粒物 $NC_{20\sim 700\text{ nm}}$ 暴露特征时, 发现同一时间两个岗位 $NC_{20\sim 700\text{ nm}}$ 暴露值差异有统计学意义 ($P<0.01$)。考虑到炒菜岗位与蒸菜岗位接触的颗粒物成分不完全相同, 炒菜岗位主要接触大量的油脂类, 而蒸菜岗位接触大量的水蒸汽, 所以炒菜岗位颗粒物暴露的危害程度可能远大于蒸菜岗位。

相关性分析表明 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 和 $NC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 间的相关性较 $SAC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 和 $MC_{10\sim 500\text{ nm}}$ 间相关性强, 与 Heitbrink 等^[19] 研究结果相一致。毒理学研究表明, 溶解性很低的细颗粒物、超细颗粒物的表面积剂量与肺部的炎症反应存在着较强的剂量-反应关系^[20-22]。也有流行病学研究表明, SAC 与人群健康损害存在相关性^[23-24]。以 MC 为指标的每日空气污染测量结果与死亡无线性关联^[23]。但应用相同的检测指标, 将 MC 数据转换成 SAC 分析, 发现环境空气中颗粒物 SAC 与死亡数据间存在着线性关联, 表明 SAC 可能更适合作为空气暴露指标^[25]。这些研究认为单独的 MC 不可能替代 NC 或 SAC 指标。

超细颗粒物的采样结果与采样位置、距离、风向、进气口方向、作业情况、防护措施等均有密切关系^[8-10]。厨房环境的风速相对比较稳定, 但是作业人员走动及

器械的移动对风速、风向均有干扰,会导致超细颗粒物分布发生变化,因此本研究在监测时详细记录了采样过程中的活动事件和气象条件。根据厨房作业岗位的特点,厨房油烟的组分^[26]复杂,主要有醛、酮、烃、脂肪酸、醇、芳香族化合物、酯、内酯、杂环化合物等共计200多种,其中大多数种类是有毒甚至是强致癌物质(如苯并芘、杂环胺类化合物等)。对工人一个完整的午餐周期进行全程跟踪采样,结果发现周围环境的轻微改变对不同检测仪器的影响程度不同,具体原因还有待进一步探讨。由于超细颗粒物的理化特性不同于一般颗粒物^[27],如何消除工作场所环境中的背景混杂及外界干扰对结果的影响是一个难点,也需要进一步研究。

参考文献

- [1] LI S, GAO J, HE Y, et al. Determination of time- and size-dependent fine particle emission with varied oil heating in an experimental kitchen [J]. *J Environ Sci*, 2017, 51 : 157-164.
- [2] SAVOLAINEN K, ALENIUS H, NORPPA H, et al. Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies-a review [J]. *Toxicology*, 2010, 269 (2/3) : 92-104.
- [3] BRÄUNER E V, FORCHHAMMER L, MØLLER P, et al. Exposure to ultrafine particles from ambient air and oxidative stress—induced DNA damage [J]. *Environ Health Perspect*, 2007, 115 (8) : 1177-1182.
- [4] PAIVA JS, JORGE PA, RIBEIR RS, et al. Optical fiber-based sensing method for nanoparticle detection through supervised back-scattering analysis : a potential contributor for biomedicine [J]. *Int J Nanomedicine*, 2019, 14 : 2349-2369.
- [5] CHAKRABORTY C, SHARMA A R, SHARMA G, et al. Zebrafish : a complete animal model to enumerate the nanoparticle toxicity [J]. *J Nanobiotechnol*, 2016, 14 : 65.
- [6] SEIPENBUSCH M, BINDER A, KASPER G. Temporal evolution of nanoparticle aerosols in workplace exposure [J]. *Ann Occup Hyg*, 2008, 52 (8) : 707-716.
- [7] DEMOU E, PETER P, HELLWEG S. Exposure to manufactured nanostructured particles in an industrial pilot plant [J]. *Ann Occup Hyg*, 2008, 52 (8) : 695-706.
- [8] METHNER M, BEAUCHAM C, CRAWFORD C, et al. Field application of the Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT) : task-based air monitoring during the processing of engineered nanomaterials (ENM) at four facilities [J]. *J Occup Environ Hyg*, 2012, 9 (9) : 543-555.
- [9] PETERS TM, HEITBRINK WA, EVANS DE, et al. The mapping of fine and ultrafine particle concentrations in an engine machining and assembly facility [J]. *Ann Occup Hyg*, 2006, 50 (3) : 249-257.
- [10] KUHLBUSCH TA, ASBACH C, FISSAN H, et al. Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces : a review [J]. *Part Fibre Toxicol*, 2011, 8 : 22.
- [11] SJAASTAD A K, SVENDSEN K. Exposure to mutagenic aldehydes and particulate matter during panfrying of beefsteak with margarine, rapeseed oil, olive oil or soybean oil [J]. *Ann Occup Hyg*, 2008, 52 (8) : 739-745.
- [12] CORSINI E, MARINOVICH M, VECCHI R. Ultrafine particles from residential biomass combustion : a review on experimental data and toxicological response [J]. *Int J Mol Sci*, 2019, 20 (20) : 4992.
- [13] RIM D, WALLACE L, NABINGER S, et al. Reduction of exposure to ultrafine particles by kitchen exhaust hoods : the effects of exhaust flow rates, particle size, and burner position [J]. *Sci Total Environ*, 2012, 432 : 350-356.
- [14] HE C, MORAWSKA L, HITCHINS J, et al. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses [J]. *Atmos Environ*, 2004, 38 (21) : 3405-3415.
- [15] SEE S W, BALASUBRAMANIAN R. Physical characteristics of ultrafine particles emitted from different gas cooking methods [J]. *Aerosol Air Qual Res*, 2006, 6 (1) : 82-92.
- [16] WALLACE L, WANG F, HOWARD-REED C, et al. 2008. Contribution of gas and electric stoves to residential ultrafine particle concentrations between 2 and 64 nm : size distributions and emission and coagulation rates [J]. *Environ Sci Technol*, 2008, 42 (23) : 8641-8647.
- [17] GAO X, ZOU H, XU X, et al. Developing a guideline for measuring the total number concentration of engineering nanomaterials in workplaces in China [J]. *J Occup Health*, 2019, 61 (2) : 197-202.
- [18] ZOU H, ZHANG Q, XING M, et al. Relationships between number, surface area, and mass concentrations of different nanoparticles in workplaces [J]. *Environ Sci : Processes Impacts*, 2015, 17 (8) : 1470-1481.

(下转第 151 页)

系周边人口众多,工农业生产、生活污水排放导致的有机物污染也更严重。

2014—2019年的监测数据表明,青浦区水源水主要受氨氮和 COD_{Mn} 污染,青草沙水库水源水水质优于淀山湖周边水系水源水。建议政府部门继续加大对淀湖水系周边环境的整治力度,加强对水厂的卫生监督管理,提高水厂对氨氮、 COD_{Mn} 的处理工艺,改善出厂水水质,确保居民用水安全。

参考文献

- [1] 成沔. 淀山湖年际水质评价及变化趋势分析[J]. 环境与发展, 2019, 31(7): 149-150.
CHENG M. Interannual water quality evaluation and trend analysis of Dianshan Lake [J]. Environ Dev, 2019, 31(7): 149-150.
- [2] 石磊. 基于季节性 Kendall 检验法分析淀山湖水质变化趋势[J]. 环境与发展, 2019, 31(6): 154-155.
SHI L. Analysis of the variation trend of Dianshan Lake water quality based on seasonal Kendall test [J]. Environ Dev, 2019, 31(6): 154-155.
- [3] 吕学研, 张咏, 徐亮, 等. 典型入太湖河流夏-秋季氮素污染变化特征[J]. 水利水运工程学报, 2016(5): 9-15.
LYU XY, ZHANG Y, XU L, et al. Nitrogen pollutants variation of typical rivers entering into Taihu Lake in summer-autumn period [J]. Hydro-Sci Eng, 2016(5): 9-15.
- [4] 谢文理, 田颖, 祁红娟, 等. 太浦运河氨氮污染时空特征及来源研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(22): 55-57.
XIE WL, TIAN Y, QI HJ, et al. Study on spatial-temporal features and source of ammonia-nitrogen pollution of Taige Canal [J]. J Anhui Agric Sci, 2018, 46(22): 55-57.
- [5] 杨克敌, 郑玉建. 环境卫生学[M]. 7版. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 118.
YANG KD, ZHENG YJ. Environmental hygiene [M]. 7th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012: 118.
- [6] 李国平, 朱建荣. 2015—2017年枯季长江河口青草沙水库盐水入侵分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2018(2): 160-169.
LI GP, ZHU JR. Analyses of saltwater intrusion at the water intake of Qingcaosha reservoir in the Changjiang Estuary in dry season from 2015 to 2017 [J]. J East China Normal Univ (Nat Sci), 2018(2): 160-169.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 汪源)

(上接第136页)

- [19] HEITBRINK WA, EVANS DE, KU BK, et al. Relationships among particle number, surface area, and respirable mass concentrations in automotive engine manufacturing [J]. J Occup Environ Hyg, 2008, 6(1): 19-31.
- [20] MAYNARD AD. Estimating aerosol surface area from number and mass concentration measurements [J]. Ann Occup Hyg, 2003, 47(2): 123-144.
- [21] DONALDSON K, STONE V. Current hypotheses on the mechanisms of toxicity of ultrafine particles [J]. Ann Ist Super Sanita, 2003, 39(3): 405-410.
- [22] MONTEILLER C, TRAN L, MACNEE W, et al. The pro-inflammatory effects of low-toxicity low-solubility particles, nanoparticles and fine particles, on epithelial cells in vitro: the role of surface area [J]. Occup Environ Med, 2007, 64(9): 609-615.
- [23] SCHWARTZ J, MARCUS A. Mortality and air pollution in London: a time series analysis [J]. Am J Epidemiol, 1990, 131(1): 185-194.
- [24] MOSHAMMER H, NEUBERGER M. The active surface of suspended particles as a predictor of lung function and pulmonary symptoms in Austrian school children [J]. Atmos Environ, 2003, 37(13): 1737-1744.
- [25] MAYNARD AD, MAYNARD RL. A derived association between ambient aerosol surface area and excess mortality using historic time series data [J]. Atmos Environ, 2002, 36(36/37): 5561-5567.
- [26] ZHANG Q, GANGUPOMU RH, RAMIREZ D, et al. Measurement of ultrafine particles and other air pollutants emitted by cooking activities [J]. Int J Environ Res Public Health, 2010, 7(4): 1744-1759.
- [27] XING M, ZOU H, GAO X, et al. Workplace exposure to airborne alumina nanoparticles associated with separation and packaging processes in a pilot factory [J]. Environ Sci Process Impacts, 2015, 17(3): 656-666.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣)