

室内空气污染与人群尿 8-羟基脱氧鸟苷相关性研究进展

石金刚¹, 贺淼¹

中国医科大学 a. 公共卫生学院 b. 辽宁省环境健康损害研究与评价重点实验室, 辽宁 沈阳 110122



DOI 10.11836/JEOM21315

摘要:

尿 8-羟基脱氧鸟苷(8-OHdG)是反映机体氧化应激及 DNA 氧化损伤的标志物。人一生有 80%~90%的时间在室内度过,室内空气质量直接关系到人体健康。本文介绍了不同人口特征、生活方式、职业暴露、健康状态的人群尿 8-OHdG 水平,阐述了影响人群尿 8-OHdG 浓度的室内空气污染因素,包括室外来源的污染物、吸烟、室内燃烧及烹调油烟、室内装修材料中的化学物质、建筑物地基。通过测定人群尿 8-OHdG 浓度,为推测室内空气污染对人群健康的影响(DNA 氧化损伤和相关疾病)提供理论依据。

关键词: 室内空气污染; 8-羟基脱氧鸟苷; DNA 氧化损伤; 健康损害

Advances on association between indoor air pollution and 8-hydroxydeoxyguanosine in human urine SHI Jingang¹, HE Miao¹ (a. School of Public Health b. Liaoning Provincial Key Laboratory of Environmental Health Damage Research and Assessment, China Medical University, Shenyang, Liaoning 110122, China)

Abstract:

8-hydroxydeoxyguanosine (8-OHdG) in human urine is a marker reflecting oxidative stress and DNA oxidative damage. People spend 80%-90% of their life indoors; therefore, indoor air quality is directly related to human health. In this paper, the urinary 8-OHdG levels were presented in populations grouped by different demographic characteristics, lifestyle, occupational exposure, and health status, and elucidated indoor pollutants affecting human urinary 8-OHdG level, such as pollutants from outdoor sources, smoking, indoor combustion and cooking fumes, the chemicals in interior decoration materials, and building foundation soils. The article aims to provide a theoretical basis for predicting the impact of indoor air pollution on human health (DNA oxidative damage and related diseases) by measuring the concentration of 8-OHdG in human urine.

Keywords: indoor air pollution; 8-hydroxydeoxyguanosine; DNA oxidative damage; health damage

人一生有 80%~90%的时间在室内度过,室内空气质量直接关系到人体健康^[1]。2018 年,世界卫生组织报道全球每年约有 450 万人因室内空气污染死于中风、缺血性心脏病、慢性阻塞性肺病、肺炎和肺癌,构成比分别为 34%、26%、22%、12%和 6%,在中国约 100 万例死亡与室内空气污染有关^[2-3]。随着现代建筑新型装修材料的广泛使用和建筑物密闭程度的增加,人群暴露于室内空气污染物的机会越来越多。

人体中的某些小分子代谢物可以作为机体损伤的标志物。外源性或内源性有毒有害物质刺激生物体时,会产生活性氧自由基,正常生理状态下氧化损伤产物会通过机体的自身防御系统排出体外,而当机体受到过度刺激,超过其自身防御能力时,产生的过量活性氧自由基会攻击 DNA 分子中的鸟嘌呤碱基第 8 位碳原子而产生一种氧化性加合物,即 8-羟基脱氧鸟苷(8-hydroxydeoxyguanosine, 8-OHdG)^[4]。在目前已知的 DNA 氧化产物中,8-OHdG 生成量较高且非常稳定。当机体修复机制正常时,8-OHdG 从 DNA 链上被切除,切下的 8-OHdG 在体内稳

基金项目

辽宁省自然科学基金重点项目(20170541038)

作者简介

石金刚(1997—),男,硕士生;
E-mail: 1332352620@qq.com

通信作者

贺淼, E-mail: mhe@cmu.edu.cn

伦理审批 不需要

利益冲突 无申报

收稿日期 2021-07-11

录用日期 2022-03-09

文章编号 2095-9982(2022)04-0465-05

中图分类号 R122

文献标志码 A

引用

石金刚, 贺淼. 室内空气污染与人群尿 8-羟基脱氧鸟苷相关性研究进展 [J]. 环境与职业医学, 2022, 39(4): 465-469.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21315

Funding

This study was funded.

Correspondence to

HE Miao, E-mail: mhe@cmu.edu.cn

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2021-07-11

Accepted 2022-03-09

To cite

SHI Jingang, HE Miao. Advances on association between indoor air pollution and 8-hydroxydeoxyguanosine in human urine[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(4): 465-469.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21315

定存在,不再被机体进一步代谢,并经肾脏随尿液排出体外^[5]。因此,尿 8-OHdG 可以作为 DNA 氧化损伤的生物标志。室内空气污染导致的人体损害与尿 8-OHdG 浓度变化密切相关,本文将对各种室内空气污染导致人群尿中 8-OHdG 水平变化进行综述。

1 不同人群尿 8-OHdG 水平及影响因素

机体尿 8-OHdG 浓度的变化与人口特征、生活方式、职业危害、疾病发生以及环境污染等有一定相关性^[6-9]。孙贵范等^[10]用酶联免疫法检测 80 名 20~70 岁正常人尿中 8-OHdG,结果显示其肌酐校正的质量分数中位数为 $11.42 \text{ ng}\cdot\text{mg}^{-1}$,男性为 $10.86 \text{ ng}\cdot\text{mg}^{-1}$,女性为 $13.01 \text{ ng}\cdot\text{mg}^{-1}$,且在 41~50 岁年龄组尿 8-OHdG 水平在男女性别间存在统计学差异。高瑞霄等^[11]采用酶联免疫吸附法检测天津地区 159 名 30~60 岁正常人尿 8-OHdG,结果显示男、女性肌酐校正的尿 8-OHdG 质量分数分别为 (5.92 ± 2.35) 、 $(8.45\pm 1.47) \text{ ng}\cdot\text{mg}^{-1}$,差异有统计学意义。胡晨^[12]以 1151 名 (54.04 ± 11.94) 岁武汉市正常居民为研究对象,采用梯度洗脱高效液相色谱法测定尿中 8-OHdG,肌酐校正后摩尔分数的 $M(P_{25}, P_{75})$ 为 $61.57(23.91, 131.89) \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。王艳华等^[13]以华东某市 257 名城市居民为研究对象,年龄为 (35.92 ± 7.71) 岁,采用超高效液相色谱串联质谱方法测定尿中 8-OHdG,结果显示尿中 8-OHdG 肌酐校正的摩尔质量中位数为 $129.82 \mu\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$,其中男性、女性分别为 122.71 、 $145.23 \mu\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$,差异无统计学意义。对 4 家企业 11 个涉苯岗位的 200 名男性工人的调查显示,其肌酐校正的尿 8-OHdG 质量分数的 $M(P_{25}, P_{75})$ 为 $7.29(4.65, 11.82) \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ^[14]。焦炉逸散物接触工人尿 8-OHdG 肌酐校正摩尔质量的 $M(P_{25}, P_{75})$ 为 $237.99(128.73, 458.06) \mu\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ^[15]。8-OHdG 水平对评价机体因氧化应激而引发的疾病以及疾病的发展状况、评估疾病的治疗效果等都具有生物学意义^[16]。谢聪等^[17]研究发现非吸烟者和吸烟者的尿 8-OHdG 肌酐校正平均摩尔分数分别为 0.92 、 $1.28 \text{ nmol}\cdot\text{mmol}^{-1}$,吸烟者尿的 8-OHdG 浓度高于非吸烟者。有研究以 2 型糖尿病患者为对象,结果显示糖尿病患者的 8-OHdG 肌酐校正质量分数为 $(19.12\pm 3.28) \text{ ng}\cdot\text{mg}^{-1}$,高于健康者的 $(12.23\pm 2.13) \text{ ng}\cdot\text{mg}^{-1}$,低于糖尿病伴认知功能损害患者的 $(36.23\pm 5.57) \text{ ng}\cdot\text{mg}^{-1}$,提示临床可通过检测 8-OHdG 浓度,对糖尿病的诊断以及糖尿病患者认知功能进行初步评估^[18-19]。

室外空气污染因素如汽车尾气、颗粒物等会对健

康造成极大损害,导致机体发生氧化损伤。Guilbert 等^[20]的研究发现布鲁塞尔城市绿地工作人员炭黑 (black carbon, BC) 暴露与尿 8-OHdG 浓度呈线性正相关关系,支持了氧化应激在空气污染毒性机制中的关键作用,强调了尿 8-OHdG 作为生物标志对检测空气污染的早期生物学效应的价值。Wu 等^[21]的研究中也显示 $\text{PM}_{2.5}$ 暴露与 8-OHdG 之间存在正相关。

综上,机体尿 8-OHdG 浓度会受到人口特征、职业危害、生活方式和疾病发生以及空气污染等许多因素的影响。正常机体中由于生理活动产生自由基也能导致 8-OHdG 的产生,但由于检测手段、个体差异等原因,至今仍然没有健康人群 8-OHdG 的标准参考值范围^[22]。人在室内环境中度过的平均时间大约是室外环境的 5 倍^[2],表明室内空气污染对人类健康构成巨大风险。既往研究显示室外空气污染与人群尿 8-OHdG 之间存在相关性,而室内空气污染与人群尿 8-OHdG 之间的相关性研究未见报道,因此本文将对各种室内空气污染因素导致的尿 8-OHdG 变化进行综述。

2 影响人群尿 8-OHdG 浓度的室内空气污染因素

2.1 室外来源的污染物

室内空气污染物浓度由多种因素决定,如室内污染源和污染物排放率、空气交换率、室外污染物对室内环境的渗透等。室外来源的污染物主要存在于室外大气中,可通过自然通风、机械通风系统及其他一些途径渗透进入室内空气,常见的如颗粒物 (particulate matter, PM)、一氧化碳 (carbon monoxide, CO)、二氧化硫 (sulfur dioxide, SO_2)、氮氧化物 (nitrogen oxide, NO_x) 等。这类污染物会使室内人群出现黏膜刺激和呼吸道症状,严重时甚至出现心血管系统及全身危害症状。居住在主要道路或高速公路附近的住宅中的人们还会暴露于与交通相关的空气污染物,如 BC^[23]。

Grady 等^[24]评估了 82 名慢性阻塞性肺病受试者室内 BC 暴露与尿 8-OHdG 浓度关系,该研究中室内没有 BC 来源,因此室内 BC 水平则代表室外 BC 的渗透。结果显示:BC 暴露会影响尿 8-OHdG 浓度,BC 暴露质量浓度每增加 1 个四分位数间距,8-OHdG 浓度会增加 6.9%,且肥胖者 BC 暴露与 8-OHdG 的相关性更强。有研究随机分配受试者进行空气过滤器控制干预和对照实验,结果显示,在关闭被测居室门窗的情况下,有效的空调过滤器装置会降低室内 $\text{PM}_{2.5}$ 和挥发性有机物 (volatile organic compound, VOCs) 的浓度,而受试者的 8-OHdG 浓度也随之降低^[25-26]。以上研究结果提

示室内空气污染暴露与氧化应激相关,而空调过滤器的使用是降低城市室内空气污染水平的一种很好的方法。

2.2 吸烟

吸烟是心血管疾病、呼吸系统疾病以及机体其他系统疾病的危险因素。香烟烟雾中丰富的活性氧簇,如 NO_x 、烷氧基和过氧自由基、过氧亚硝酸等可以引起 DNA 的损伤,从而产生 DNA 碱基氧化产物,即 8-OHdG。

环境烟草烟雾是工作场所中普遍存在的污染物。有研究评价环境烟草烟雾暴露对员工的氧化应激效应,结果显示,暴露组受试者 8-OHdG 浓度比对照组增加 63%^[27]。还有研究报道,无论吸烟状况如何,接触室内二手烟的工人 8-OHdG 水平均高于未接触室内二手烟的工人^[28];目前吸烟者的尿 8-OHdG 平均值分别是不吸烟者和戒烟者的 2.15 倍和 1.17 倍,而戒烟可迅速降低尿 8-OHdG 水平^[29]。但有研究比较了 80 名目前吸烟者、96 名不吸烟者和 58 名已戒烟者(3 年未吸烟)的尿 8-OHdG 浓度,发现其组间差异无统计学意义^[30]。杨玉清^[22]的研究中男、女性吸烟者尿 8-OHdG 浓度与非吸烟者无差异,推测原因可能是此研究中,吸烟者仅占总研究人群的 20%,且吸烟量也偏少 $[(4.4 \pm 9.4) \text{ 支} \cdot \text{d}^{-1}]$,均属于轻度吸烟者,掩盖了吸烟对尿 8-OHdG 浓度的影响。

2.3 室内燃烧及烹调油烟

全世界每天有 30 亿人暴露于因使用生物质或煤等固体燃料燃烧而被污染的空气中^[31]。在通风不良的家中使用固体燃料进行烹饪和取暖是发展中国家室内空气污染的主要来源^[32]。煤和生物质在室内燃烧会排放大量有毒污染物,包括 PM、PAHs、CO、 NO_x 和 SO_2 等^[33]。越来越多的证据表明,烹调油烟(cooking oil fumes, COFs)具有致突变的风险^[34]。生物质烟雾具有致突变性、遗传毒性和细胞毒性等特性^[35]。

Kamal 等^[36]在巴基斯坦农村地区选取暴露于燃烧木材和煤炭环境的家庭主妇($n=60$)和男性专职厨师($n=60$),并分别与未暴露女性组($n=32$)和男性组($n=34$)进行比较,结果表明家庭主妇尿 8-OHdG 肌酐校正质量分数($71.1 \text{ ng} \cdot \text{mg}^{-1}$)高于男性专职厨师组($56.37 \text{ ng} \cdot \text{mg}^{-1}$)($P < 0.001$)。尽管男性专职厨师由于职业需要比家庭主妇在烹饪上花费更多时间,但他们大多在户外或半开放的厨房进行烹饪,通风较好,而家庭主妇在通风不良的室内进行烹饪,使用木材燃料量较大,相比男性专职厨师,家庭主妇更容易接触 PAHs。Pan 等^[37]以中国台湾 23 家无烟中餐馆的 387 名员工

(其中 202 名厨房员工和 185 名服务人员)为研究对象,监测厨房和就餐区空气中 PM 和 PAHs 的含量,并测量尿 8-OHdG,作为 DNA 氧化损伤标志物。结果显示,厨房员工尿 8-OHdG 的肌酐校正平均质量分数($7.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)高于服务人员($5.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),这说明 DNA 氧化损伤与 COFs 暴露有关联。Ke 等^[38]以深圳市 6 家餐馆的 86 名男性厨师作为暴露组,选择年龄和吸烟习惯相似的同一餐馆的 36 名男性服务员为对照组。结果显示,对照组的尿 8-OHdG 肌酐校正平均摩尔分数($1.2 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)和厨房排气罩操作组($1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)相似($n=45$);与对照组相比,未经排气罩操作而暴露于 COFs 的厨师($n=18$)尿 8-OHdG 肌酐校正平均摩尔分数($2.3 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)增加。这说明暴露于 COFs 中的 PAHs 或其他化合物会导致 DNA 的氧化损伤,而在厨房使用排气罩,能有效地减少厨师 PAHs 的暴露量。同样有许多研究表明,暴露于 COFs 中的 PM、PAHs 或其他化合物,会增加尿中 8-OHdG 的浓度,导致 DNA 氧化损伤^[39-40]。使用抱式气幕装置等油烟捕捉装置能有效降低厨房厨师的 COFs 暴露水平和氧化应激水平^[41]。

2.4 室内装修材料中的化学物质

新居室进行室内装修的同时会带来许多室内环境污染问题。室内装修材料中含有大量有毒有害物质,随着这些物质的释放,室内空气中污染物浓度不断升高。如油漆、涂料、胶粘制品、泡沫填料等材料中含有甲醛、苯、甲苯、二甲苯等 VOCs^[42-43]。张银等^[44]研究发现天津某家具城室内 VOCs 浓度约高出室外 1.9 倍,特征 VOCs 为二氯甲烷、甲苯和 α -蒎烯。选取该家具城的 41 名员工作为暴露组,16 名文教事业单位职工作为对照组,分析结果显示暴露组人群尿苯巯基尿酸(S-phenylmercapturic acid, S-PMA; 一种常用的苯接触生物标志)浓度高出对照组 11%,而且 S-PMA 浓度和 8-OHdG 浓度呈正相关。Lu 等^[45]以中国台北市 87 间政府机关办公室的 389 名员工为研究对象,探讨 8-OHdG 尿排泄量是否与上班族不良建筑物综合征相关症状有关。结果表明,8-OHdG 浓度与办公室 VOCs 浓度呈正相关,且有喷嚏、头痛、皮肤干燥、疲劳、上呼吸道刺激等非特异性不良建筑物综合征症状的员工尿 8-OHdG 浓度与无此类症状者相比也显著升高。

2.5 建筑物地基

建筑物地基可释放挥发性有害物质。最常见的是氡辐射污染,居住区氡暴露是导致不吸烟者患肺癌的主要原因^[46]。长期氡射线照射可导致人群患气管癌和肺癌^[47]。Sperati 等^[48]对意大利中部维特博地区 32 个

住宅进行6个月的室内氡和 γ 射线测量,并收集居住其中的63名健康成人尿样,测定其尿8-OHdG浓度。结果显示,随着氡和 γ 射线辐射水平的增加,在住宅中居住和活动时间更长的女性尿8-OHdG浓度总体呈上升趋势。经对数转化,每增加1个单位氡暴露,尿8-OHdG浓度增加0.162 nmol·L⁻¹。

3 结论

有文献报道,8-OHdG具有最高的组内相关系数(0.96)、强重复性和低变异系数,是尿液样本中反映机体氧化应激最合适的生物标志^[49]。8-OHdG在因氧化应激而引发的疾病早期诊断及治疗中具有重要的生物学意义。本文中对各种室内空气污染因素导致人群尿8-OHdG水平变化进行了综述,二者表现出一定的相关性,提示尿8-OHdG可能作为室内空气污染暴露的生物标志,需经后续的实验和流行病学调查验证其作为室内空气污染暴露生物标志的合理性。通过测定人群尿8-OHdG浓度,可为推测室内空气污染对人群健康的影响(DNA氧化损伤和相关疾病)提供理论依据。

参考文献

- [1] CASTRO A, CALVO AI, ALVES C, et al. Indoor aerosol size distributions in a gymnasium[J]. *Sci Total Environ*, 2015, 524-525: 178-186.
- [2] AMOATEY P, OMIDVARBORNA H, BAAWAIN MS, et al. Indoor air pollution and exposure assessment of the gulf cooperation council countries: a critical review[J]. *Environ Int*, 2018, 121: 491-506.
- [3] World Health Organization. Household air pollution: burden of disease [EB/OL]. [2018-07-05]. <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/household-air-pollution-attributable-deaths>.
- [4] 王嘉成. 基于核酸适体构象开关的8-羟基脱氧鸟苷检测新方法研究[D]. 衡阳: 南华大学, 2013.
WANG J C. Detection methods of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine based on aptamer conformation switching[D]. Hengyang: University of South China, 2013.
- [5] 史华旭, 吴子一, 陈世奇, 等. DNA氧化损伤标志物8-羟基脱氧鸟苷检测方法及其临床意义[J]. 沈阳医学院学报, 2019, 21(1): 79-82.
SHI HX, WU ZY, CHEN SQ, et al. Detection methods of oxidative DNA damage marker 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine and its clinical significance[J]. *J Shenyang Med Coll*, 2019, 21(1): 79-82.
- [6] 王坤, 王彤, 周燕华, 等. 低浓度苯职业接触工人尿中苯巯基尿酸与8-羟基脱氧鸟苷的分布特征[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(5): 413-420.
WANG K, WANG T, ZHOU YH, et al. Distribution of S-phenylmercapturic acid and 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in urine of workers exposed to low-concentration benzene[J]. *J Environ Occup Med*, 2020, 37(5): 413-420.
- [7] KUANG D, ZHANG W, DENG Q, et al. Dose-response relationships of polycyclic aromatic hydrocarbons exposure and oxidative damage to DNA and lipid in coke oven workers[J]. *Environ Sci Technol*, 2013, 47(13): 7446-7456.
- [8] 毛玲娜, 宋震亚. 8-羟基脱氧鸟苷在结肠直肠癌患者尿液中的表达[J]. 中国临床研究, 2019, 32(5): 647-649, 653.
MAO LN, SONG ZY. Expression and significance of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in urine of patients with colorectal cancer[J]. *Chin J Clin Res*, 2019, 32(5): 647-649, 653.
- [9] PRASAD SB, VIDYULLATHA P, VANI GT, et al. Association of gene polymorphism in detoxification enzymes and urinary 8-OHdG levels in traffic policemen exposed to vehicular exhaust[J]. *Inhal Toxicol*, 2013, 25(1): 1-8.
- [10] 孙贵范, 刘珊, 李冰, 等. 正常成人尿中8-羟基脱氧鸟苷水平的观察[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(1): 23-24.
SUN GF, LIU S, LI B, et al. Observation on 8-OHdG level in urine of normal adults[J]. *China Public Health*, 2002, 18(1): 23-24.
- [11] 高瑞霄, 唐亮, 张美娟. 天津地区正常人群尿8-羟基脱氧鸟苷水平分析[J]. 医学信息, 2012, 25(7): 148.
GAO RX, TANG L, ZHANG MJ. Analysis of urine 8-hydroxydeoxyguanosine level in normal population in Tianjin[J]. *Med Inf*, 2012, 25(7): 148.
- [12] 胡晨. 体格测量指数改变对尿8-羟基脱氧鸟苷水平的影响研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
HU C. Associations between changes in anthropometric indices and urinary 8-hydroxydeoxyguanosine levels[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2018.
- [13] 王艳华, 李红丽, 解秋艳, 等. 一般人群尿中8-羟基脱氧鸟苷水平及其影响因素[J]. 环境与职业医学, 2016, 33(4): 334-339.
WANG YH, LI HL, XIE QY, et al. Urinary 8-OHdG levels and related impact factors in general population[J]. *J Environ Occup Med*, 2016, 33(4): 334-339.
- [14] 王爱红, 李晓海, 冷朋波, 等. 低浓度苯暴露男性工人尿8-OHdG水平的影响因素[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(3): 243-248.
WANG AH, LI XH, LENG PB, et al. Influencing factors of urinary 8-OHdG concentration in male workers exposed to low levels of benzene[J]. *J Environ Occup Med*, 2020, 37(3): 243-248.
- [15] 王艳华, 刘仲, 赵红伟, 等. 低水平焦炉逸散物对接触人群尿中8-羟基脱氧鸟苷影响分析[J]. 中国职业医学, 2015, 42(3): 245-250.
WANG YH, LIU Z, ZHAO HW, et al. Impact of low-level coke oven emissions on urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in exposed workers[J]. *China Occup Med*, 2015, 42(3): 245-250.
- [16] 孟祥英, 乔晋娟, 赵荣兰, 等. DNA氧化损伤标志物8-OHdG检测方法及其生物学应用[J]. 中国卫生检验杂志, 2018, 28(19): 2428-2432.
MENG XY, QIAO JJ, ZHAO RL, et al. Detection of DNA oxidative damage marker 8-OHdG and its biological application[J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2018, 28(19): 2428-2432.
- [17] 谢聪, 丁培丽, 郭成, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定人尿中8-羟基脱氧鸟苷的含量——对吸烟与结直肠癌相关性的探讨[J]. 理化检验-化学分册, 2018, 54(1): 44-48.
XIE C, DING PL, GUO C, et al. UHPLC-MS/MS determination of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in human urine — A probe into the correlation of smoking with colorectal cancer[J]. *Phys Test Chem Anal Part B Chem Anal*, 2018, 54(1): 44-48.
- [18] 李琴, 叶涛, 蔡志友, 等. 2型糖尿病患者脂联素、8-OHdG表达及其与认知功能的相关性[J]. 基因组学与应用生物学, 2020, 39(4): 1899-1904.
LI Q, YE T, CAI ZY, et al. Correlation between adiponectin and 8-OHdG expression and cognitive function in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. *Genom Appl Biol*, 2020, 39(4): 1899-1904.
- [19] 陆邦超, 丁从珠, 赵玉良, 等. 老年糖尿病患者血清8-羟基脱氧鸟苷酸水平与认知功能障碍的相关性研究[J]. 中国慢性病预防与控制, 2019, 27(1): 24-27.
LU BC, DING CZ, ZHAO YL, et al. Correlation between serum 8-hydroxydeoxyguanosine level and cognitive impairment in elderly

- diabetes patients[J]. *Chin J Prev Control Chron Dis*, 2019, 27(1): 24-27.
- [20] GUILBERT A, DE CREMER K, HEENE B, et al. Personal exposure to traffic-related air pollutants and relationships with respiratory symptoms and oxidative stress: a pilot cross-sectional study among urban green space workers[J]. *Sci Total Environ*, 2019, 649: 620-628.
- [21] WU X, LINTELMANN J, KLINGBEIL S, et al. Determination of air pollution-related biomarkers of exposure in urine of travellers between Germany and China using liquid chromatographic and liquid chromatographic-mass spectrometric methods: a pilot study[J]. *Biomarkers*, 2017, 22(6): 525-536.
- [22] 杨玉清. 城市成年居民尿8-羟基-2'-脱氧鸟嘌呤核苷水平及其影响因素研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
YANG Y Q. Urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine levels in Wuhan adult residents and their affecting factors[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2014.
- [23] SHRESTHA P M, HUMPHREY J L, CARLTON E J, et al. Impact of outdoor air pollution on indoor air quality in low-income homes during wildfire seasons[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(19): 3535.
- [24] GRADY S T, KOUTRAKIS P, HART J E, et al. Indoor black carbon of outdoor origin and oxidative stress biomarkers in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Environ Int*, 2018, 115: 188-195.
- [25] CHUANG H C, HO K F, LIN L Y, et al. Long-term indoor air conditioner filtration and cardiovascular health: a randomized crossover intervention study[J]. *Environ Int*, 2017, 106: 91-96.
- [26] LIN L Y, CHUANG H C, LIU I J, et al. Reducing indoor air pollution by air conditioning is associated with improvements in cardiovascular health among the general population[J]. *Sci Total Environ*, 2013, 463-464: 176-181.
- [27] HOWARD D J, OTA R B, BRIGGS L A, et al. Environmental tobacco smoke in the workplace induces oxidative stress in employees, including increased production of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine[J]. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 1998, 7(2): 141-146.
- [28] PACHECO S A, TORRES V M, LOURO H, et al. Effects of occupational exposure to tobacco smoke: is there a link between environmental exposure and disease? [J]. *J Toxicol Environ Health A*, 2013, 76(4/5): 311-327.
- [29] LU C Y, MA Y C, CHEN P C, et al. Oxidative stress of office workers relevant to tobacco smoking and indoor air quality[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2014, 11(6): 5586-5597.
- [30] HARMAN S M, LIANG L, TSITOURAS P D, et al. Urinary excretion of three nucleic acid oxidation adducts and isoprostane F₂α measured by liquid chromatography-mass spectrometry in smokers, ex-smokers, and nonsmokers[J]. *Free Radic Biol Med*, 2003, 35(10): 1301-1309.
- [31] SUSSAN T E, INGOLE V, KIM J H, et al. Source of biomass cooking fuel determines pulmonary response to household air pollution[J]. *Am J Respir Cell Mol Biol*, 2014, 50(3): 538-548.
- [32] BALMES J R. Household air pollution from domestic combustion of solid fuels and health[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2019, 143(6): 1979-1987.
- [33] LI M, VIERKÖTTER A, SCHIKOWSKI T, et al. Epidemiological evidence that indoor air pollution from cooking with solid fuels accelerates skin aging in Chinese women[J]. *J Dermatol Sci*, 2015, 79(2): 148-154.
- [34] 张丽娥. 烹调油烟暴露致机体遗传损伤及其与睡眠质量的关联研究[D]. 南宁: 广西医科大学, 2018.
ZHANG L E. Genetic damage induced by cooking oil fumes exposure and its association with sleep quality[D]. Nanning: Guangxi Medical University, 2018.
- [35] 沈国锋. 室内固体燃料燃烧产生的碳颗粒物和多元芳烃的排放因子及影响因素[D]. 北京: 北京大学, 2012.
SHEN G F. Emission factors of carbonaceous particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons from residential solid fuel combustions[D]. Beijing: Peking University, 2012.
- [36] KAMAL A, CINCINELLI A, MARTELLINI T, et al. Biomarkers of PAH exposure and hematologic effects in subjects exposed to combustion emission during residential (and professional) cooking practices in Pakistan[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2016, 23(2): 1284-1299.
- [37] PAN C H, CHAN C C, WU K Y. Effects on Chinese restaurant workers of exposure to cooking oil fumes: a cautionary note on urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine[J]. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 2008, 17(12): 3351-3357.
- [38] KE Y, CHENG J, ZHANG Z, et al. Increased levels of oxidative DNA damage attributable to cooking-oil fumes exposure among cooks[J]. *Inhal Toxicol*, 2009, 21(8): 682-687.
- [39] HOU J, YANG Y, HUANG X, et al. Aging with higher fractional exhaled nitric oxide levels are associated with increased urinary 8-oxo-7, 8-dihydro-2'-deoxyguanosine concentrations in elder females[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2016, 23(23): 23815-23824.
- [40] YAO Y, WANG D, MA H, et al. The impact on T-regulatory cell related immune responses in rural women exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in household air pollution in Gansu, China: a pilot investigation[J]. *Environ Res*, 2019, 173: 306-317.
- [41] PAN C H, SHIH T S, CHEN C J, et al. Reduction of cooking oil fume exposure following an engineering intervention in Chinese restaurants[J]. *Occup Environ Med*, 2011, 68(1): 10-15.
- [42] VILLANUEVA F, TAPIA A, LARA S, et al. Indoor and outdoor air concentrations of volatile organic compounds and NO₂ in schools of urban, industrial and rural areas in Central-Southern Spain[J]. *Sci Total Environ*, 2018, 622-623: 222-235.
- [43] MADUREIRA J, PACIÊNCIA I, PEREIRA C, et al. Indoor air quality in Portuguese schools: levels and sources of pollutants[J]. *Indoor Air*, 2016, 26(4): 526-537.
- [44] 张银, 王秀艳, 高爽. 天津某家具城挥发性有机物健康风险评估[J]. 环境科学, 2013, 34(12): 4565-4570.
ZHANG Y, WANG X Y, GAO S. Health risk assessment of VOCs from a furniture mall in Tianjin[J]. *Environ Sci*, 2013, 34(12): 4565-4570.
- [45] LU C Y, MA Y C, LIN J M, et al. Oxidative stress associated with indoor air pollution and sick building syndrome-related symptoms among office workers in Taiwan[J]. *Inhal Toxicol*, 2007, 19(1): 57-65.
- [46] LORENZO-GONZÁLEZ M, RUANO-RAVINA A, TORRES-DURÁN M, et al. Lung cancer and residential radon in never-smokers: a pooling study in the Northwest of Spain[J]. *Environ Res*, 2019, 172: 713-718.
- [47] AUTSAVAPROMPORN N, DUKAEW N, WONGNOPPAVICH A, et al. Identification of novel biomarkers for lung cancer risk in high levels of radon by proteomics: a pilot study[J]. *Radiat Prot Dosimetry*, 2019, 184(3/4): 496-499.
- [48] SPERATI A, ABENI D D, TAGESSON C, et al. Exposure to indoor background radiation and urinary concentrations of 8-hydroxydeoxyguanosine, a marker of oxidative DNA damage[J]. *Environ Health Perspect*, 1999, 107(3): 213-215.
- [49] MARTINEZ-MORAL M P, KANNAN K. How stable is oxidative stress level? An observational study of intra- and inter-individual variability in urinary oxidative stress biomarkers of DNA, proteins, and lipids in healthy individuals[J]. *Environ Int*, 2019, 123: 382-389.

(英文编辑: 注源; 责任编辑: 注源)