

论著 DOI: 10.16369/j.oh.er.issn.1007-1326.2025.240429

· 实验研究 ·

超高效液相色谱-串联质谱测定尿中 8-羟基脱氧鸟苷

赵腾雯, 李海斌, 张思雨, 周晓滢, 王馨蒙, 崔师伟

中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所, 创伤与化学中毒全国重点实验室, 北京 100050

摘要:目的 建立尿中 8-羟基脱氧鸟苷的超高效液相色谱-串联质谱检测方法, 为 DNA 氧化损伤的定量评估提供方法支持。方法 尿液样品经离心后除去沉淀物, 所得上清液利用甲酸-甲酸铵缓冲液稀释, 使用亲水亲油平衡 (HLB) 固相萃取柱对其净化, 随后经 BEH C18 色谱柱分离, 三重四极杆质谱进行检测; 使用多反应监测模式及同位素内标法进行定量分析。结果 尿液中 8-羟基脱氧鸟苷在 0.5 ~ 20 $\mu\text{g/L}$ 范围内线性关系良好, 该方法的检出限和定量限分别为 0.06 $\mu\text{g/L}$ 和 0.20 $\mu\text{g/L}$, 加标回收率为 98.1% ~ 98.4%, 批内精密度、批间精密度 ($n = 6$) 分别为 1.00% ~ 2.35%、1.23% ~ 3.93%。结论 该方法具有良好的灵敏度和准确度, 适用于尿液样品中 8-羟基脱氧鸟苷的测定。

关键词: 8-羟基脱氧鸟苷; 固相萃取; 同位素内标; 超高效液相色谱-串联质谱; 生物监测

中图分类号: R113; R115 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-1326(2025)02-0259-06

引用: 赵腾雯, 李海斌, 张思雨, 等. 超高效液相色谱-串联质谱测定尿中 8-羟基脱氧鸟苷[J]. 职业卫生与应急救援, 2025, 43(2): 259-264.

Determination of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in urine by UHPLC-MS/MS

ZHAOTengwen, LI Haibin, ZHANG Siyu, ZHOU Xiaoying, WANG Xinmeng, CUI Shiwei (State Key Laboratory of Trauma and Chemical Poisoning, National Institute for Occupational and Poison Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China)

Abstract: Objective To establish a ultrahigh-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UHPLC-MS/MS) method for the detection of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in urine, providing methodological support for the quantitative assessment of DNA oxidative damage. **Methods** Urine samples were centrifuged to remove precipitates, and the supernatant was diluted with formic acid-ammonium formate buffer. The samples were purified using hydrophilic-lipophilic balance (HLB) solid-phase extraction columns, separated via a BEH C18 chromatography column, and detected by triple quadrupole mass spectrometry. Quantitative analysis was conducted using multiple reaction monitoring (MRM) mode combined with an isotope internal standard method. **Results** The detection method demonstrated good linearity in the range of 0.5 to 20 $\mu\text{g/L}$ for 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in urine. The limits of detection (LOD) and quantitation (LOQ) were 0.06 $\mu\text{g/L}$ and 0.20 $\mu\text{g/L}$, respectively. The spiked recovery rates ranged from 98.1% to 98.4%. Intra-batch precision and inter-batch precision ($n = 6$) were 1.00% to 2.35% and 1.23% to 3.93%, respectively. **Conclusions** This method showed high sensitivity and accuracy, making it suitable for the determination of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in urine samples.

Keywords: 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine; solid phase extraction; isotope internal standard; UPLC-MS/MS; biological monitoring

机体在正常代谢以及暴露于紫外线、辐射、化学物质等危害因素过程中均可产生活性氧自由基和其他自由基, 这些自由基反应活性强, 可攻击细胞膜脂质、蛋白质、DNA, 导致细胞发生氧化损伤。8-羟基脱氧鸟苷 (8-hydroxy-2'-deoxyguanosine, 8-OHdG) 是人类 DNA 分子中鸟嘌呤碱基的第 8 位 C

原子在过量的活性氧攻击下结合-OH 形成的一种氧化性加合物^[1-2]。8-OHdG 一旦形成, 便不再被机体进一步代谢, 将稳定存在于体内, 最终可随尿液排出体外。目前, 8-OHdG 已成为评价 DNA 氧化损伤的重要暴露生物标志物和效应生物标志物^[3-4]。准确测定尿中 8-OHdG 水平对于评估机体氧化损伤程度和职业暴露水平以及对相关疾病的早期诊断都具有重要意义。但目前, 我国在职业性有害因素监测领域尚无检测尿中 8-OHdG 的标准方法, 文

基金项目: 创伤、烧伤与复合伤国家重点实验室开放基金(SKLKF202305)

作者简介: 赵腾雯 (1995—), 女, 硕士, 研究实习员

通信作者: 崔师伟, E-mail: cuisw@niohp.chinaecdc.cn

献中常见的检测方法包括超高效液相色谱-串联质谱法^[5]、高效液相色谱-电化学检测法^[6-7]、酶联免疫吸附法^[8-9]和气相色谱-质谱法^[10]等。其中,超高效液相色谱-串联质谱法具有灵敏度高、选择性好等优点被研究者广泛使用。基于此,本研究拟利用亲水亲油平衡(hydrophilic-lipophilic balance, HLB)固相萃取柱进行尿液样品净化,同位素标记的 8-OHdG(¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG)作为内标消除基质效应对测定准确度的影响,旨在建立简便、灵敏度好、准确度高的测定尿中 8-OHdG 的超高效液相色谱-串联质谱方法,为 DNA 氧化损伤的定量评估提供方法支持。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

1.1.1 主要仪器

ACQUITY UPLC 超高效液相色谱仪(美国 Waters 公司);AB SCIEX 5500 质谱仪(美国 AB SCIEX 公司);Universal 320R 离心机(德国 Hettich 公司);BT 25S 型电子天平(感量 0.01 mg, 德国 Sartorius 公司);24 孔固相萃取装置(美国瓦里安公司);HLB 固相萃取柱(60 mg/3 mL, 美国 Waters 公司);ACQUITY UPLC BEH C18 色谱柱(50 mm × 2.1 mm × 1.7 μm, 美国 Waters 公司)。

1.1.2 主要试剂

8-OHdG(纯度 > 99.5%; 美国 Sigma 公司);同位素标记的 8-OHdG(¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG, 质量分数 > 98%; 加拿大 TRC 公司);甲醇(色谱纯; 美国 Thermo Fisher 公司);甲酸(优级纯)、甲酸铵(优级纯)均购于百灵威公司;人工尿液(索莱宝公司);纯水购于屈臣氏。

1.1.3 试剂的配制

8-OHdG 标准储备液(100 mg/L): 准确称取 5.0 mg 的 8-OHdG, 利用甲醇(体积分数 10%)进行溶解, 定溶于 50 mL 容量瓶中。

8-OHdG 标准应用液(1 mg/L): 准确量取 100 μL 8-OHdG 标准储备液, 纯水定容于 10 mL 容量瓶中。

¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG 内标储备液(50 mg/L): 准确称取 0.5 mg ¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG, 利用纯水进行溶解, 定溶于 10 mL 容量瓶中。

¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG 内标应用液 A(1 mg/L): 准确量取 200 μL 50 mg/L 的 ¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG 内标储备液, 纯水定容于 10 mL 容量瓶中。

¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG 内标应用液 B(250 μg/L): 准确移取 2.5 mL 内标应用液 A, 纯水定容于 10 mL 容

量瓶中。

¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG 内标应用液 C(100 μg/L): 准确移取 1.0 mL 内标应用液 A, 纯水定容于 10 mL 容量瓶中。

甲酸铵溶液(1 mol/L): 准确称取 6.3 g 甲酸铵, 利用纯水进行溶解, 定容于 100 mL 容量瓶中。

甲酸-甲酸铵溶液 A: 准确量取 20.0 mL 甲酸铵溶液和 4.0 mL 甲酸, 利用纯水定容至 200 mL。

甲酸-甲酸铵溶液 B: 准确量取 2.5 mL 甲酸铵溶液和 0.5 mL 甲酸, 利用纯水定容至 500 mL。

甲酸-甲酸铵-甲醇溶液: 准确量取 1.0 mL 甲酸铵溶液、0.2 mL 甲酸和 20 mL 甲醇, 利用纯水定容至 200 mL。

1.2 方法

1.2.1 色谱条件

使用 BEH C18 色谱柱; 流动相 A 为甲醇, 流动相 B 为甲酸-甲酸铵溶液 B, 流速为 0.25 mL/min, 进样量为 10 μL, 柱温 35 °C。梯度洗脱程序: 0 ~ 1 min, 4% 流动相 A; 1 ~ 5 min, 4% ~ 95% 流动相 A; 5 ~ 7 min, 95% 流动相 A; 7 ~ 8 min, 95% ~ 4% 流动相 A; 8 ~ 10 min, 4% 流动相 A; 以上百分比均为体积分数。

1.2.2 质谱条件

离子源为电喷雾电离源, 正离子扫描模式, 离子化电压为 5 400 V; 离子源温度为 550 °C; 气帘气 20 psi(1 psi = 6.895 kPa); 雾化气 70 psi; 辅助气 70 psi; 质谱扫描采用多反应离子监测模式。质谱条件见表 1。质谱条件的优化, 见 2.1 节。

表 1 质谱条件

化合物	定量离子对 (m/z)	去簇电 压/V	入口电 压/V	碰撞电 压/V	出口电 压/V
8-OHdG	284.0→168.0	60	10	20	10
¹³ C- ¹⁵ N ₂ -8-OHdG	287.0→171.0	60	10	20	10

1.2.3 样品前处理

准确量取 1.5 mL 实际尿样于 2.0 mL 离心管中, 10 000 r/min 离心 10 min。离心结束后, 量取 1.0 mL 上清液于新的离心管中, 加入 200.0 μL 甲酸-甲酸铵 A 溶液、10.0 μL 的内标应用液 B, 涡旋混匀后静置 10 min。上样前, 依次使用 3.0 mL 甲醇和 3.0 mL 纯水活化 HLB 固相萃取柱, 并将上述溶液全部转移至已活化的 HLB 固相萃取柱中, 随后分别使用 1.0 mL 纯水淋洗和 1.0 mL 甲醇洗脱, 收集洗脱液于离心管中, 真空浓缩至干。残留物使用 1.0 mL 甲酸-甲酸铵-甲醇溶液复溶, 经 0.45 μm 聚四氟乙烯滤膜过滤, 所得样品溶液进行超高效液相色谱-串联质谱分析。

1.2.4 工作曲线的绘制

将人工尿样从4℃冰箱取出混匀,恢复至室温备用。取6个50 mL容量瓶,分别加入25、50、125、250、500、1 000 μL的8-OHdG标准应用液,使用人工尿样定容至50 mL,配制成质量浓度为0.5、1.0、2.5、5.0、10.0和20.0 μg/L的系列标准溶液。依照1.2.3节样品前处理方法对标准溶液进行处理,按照本方法设定的色谱条件和质谱条件进行检测,以测得的待测物峰面积与内标峰面积的比值和待测物质量浓度绘制工作曲线,并计算回归方程。

1.2.5 固相萃取回收率和基质效应评价

实际尿液样品中含有微量的8-OHdG,本方法利用同位素标记的¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG进行固相萃取回收率和基质效应评估,基质标准系列、溶剂标准系列、工作曲线标准系列配制操作如下。

(1) 基质标准系列:收集5份健康人群的尿液样品,每份尿液取7个样品,按照1.2.3节中固相萃取方法进行处理,收集甲醇洗脱溶液,加入适量¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG内标应用液C,配制¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG质量浓度分别为0.5、1.0、2.5、5.0、10.0、20.0 μg/L的基质标准系列,真空浓缩至干。残留物使用1.0 mL甲酸-甲酸铵-甲醇溶液复溶,同1.2.3节操作。

(2) 溶剂标准系列:利用纯水配制¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG质量浓度分别为0.5、1.0、2.5、5.0、10.0、20.0 μg/L的标准系列。

(3) 工作曲线标准系列:收集5份健康人群的尿液样品,每份尿液取6个样品,加入适量¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG内标应用液C,配制¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG质量浓度分别为0.5、1.0、2.5、5.0、10.0、20.0 μg/L的标准系列,按照1.2.3节中固相萃取方法进行处理,收集甲醇洗脱溶液,真空浓缩至干,残留物用1.0 mL甲酸-甲酸铵-甲醇溶液复溶。计算方法如下:

固相萃取回收率(%)=工作曲线标准系列峰面积/基质标准系列峰面积×100%

基质效应(%)=基质标准系列峰面积/溶剂标准系列峰面积×100%

总回收率(%)=工作曲线标准系列峰面积/溶剂标准系列峰面积×100%

1.2.6 尿中肌酐测定

参考WS/T 98—1996《尿中肌酐的反相高效液相色谱测定方法》^[11],利用直接稀释超高效液相色谱法对尿中肌酐进行测定,并对实际尿样中8-OHdG质量浓度进行肌酐校正。

1.2.7 实际尿液样品测定

按照1.2.3节进行样品前处理,根据本研究方法进行检测,计算样品峰面积与内标物质峰面积的比值,将比值代入回归方程计算样品中8-OHdG的质量浓度。

2 结果与讨论

2.1 质谱条件的优化

通过针泵进样,将8-OHdG标准溶液直接注入电喷雾电离源,进行质谱方法的优化。8-OHdG含有N原子,容易质子化带上正电荷,在正离子扫描模式下主要母离子峰为[M+H]⁺峰,质荷比(m/z)=284.0,主要碎片离子质荷比(m/z)=168.0。根据化合物的性质和电离程度,分别对离子化电压、去簇电压、碰撞电压、气帘气、雾化气、辅助气进行优化,优化结果分别为5 400 V、60 V、20 V、20 psi、70 psi、70 psi。见图1。

2.2 色谱条件优化

本方法利用BEH C18色谱柱可以很好地对8-OHdG进行分离,流动相中加入甲酸-甲酸铵缓冲盐,保证了8-OHdG具有良好的峰形,又提高了8-OHdG的离子化效率。8-OHdG的保留时间为2.480 min,¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG的保留时间为2.476 min。实际尿样的色谱图,见图2。

2.3 前处理方法优化

冻存尿液样品室温解冻后,通常会产生絮状物沉淀,本研究通过高速离心的方式除去沉淀物,取上清液进行后续处理。HLB固相萃取柱由特殊的共聚合技术制备而成,具有更广泛的pH值耐受范围,含有特定比例的亲水基和疏水基,疏水性的二乙烯基苯结构和亲水性的N-乙烯基吡咯烷酮结构分别用于保留非极性化合物和极性化合物。8-OHdG含有羟基(-OH)和氨基(-NH₂)等极性官能团,在缓冲盐的作用下HLB固相萃取柱对其具有较好的保留。以5.0 μg/L的标准溶液进行洗脱效率实验,结果显示,1.0 mL甲醇具有较好的洗脱效果,回收率>93%,见图3。洗脱液真空浓缩干后,利用甲酸-甲酸铵-甲醇溶液复溶,部分样品复溶后含有微量不溶颗粒物,使用0.45 μm聚四氟乙烯滤膜进行过滤,防止进样过程中堵塞色谱系统。

2.4 线性范围、方法检出限和定量限

在本方法条件下,8-OHdG的质量浓度在0.5~20 μg/L范围内具有良好的线性关系,工作曲线的回归方程为 $y = 0.3382x + 0.0125$ [y 为8-OHdG与¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG峰面积的比值, x 为8-OHdG

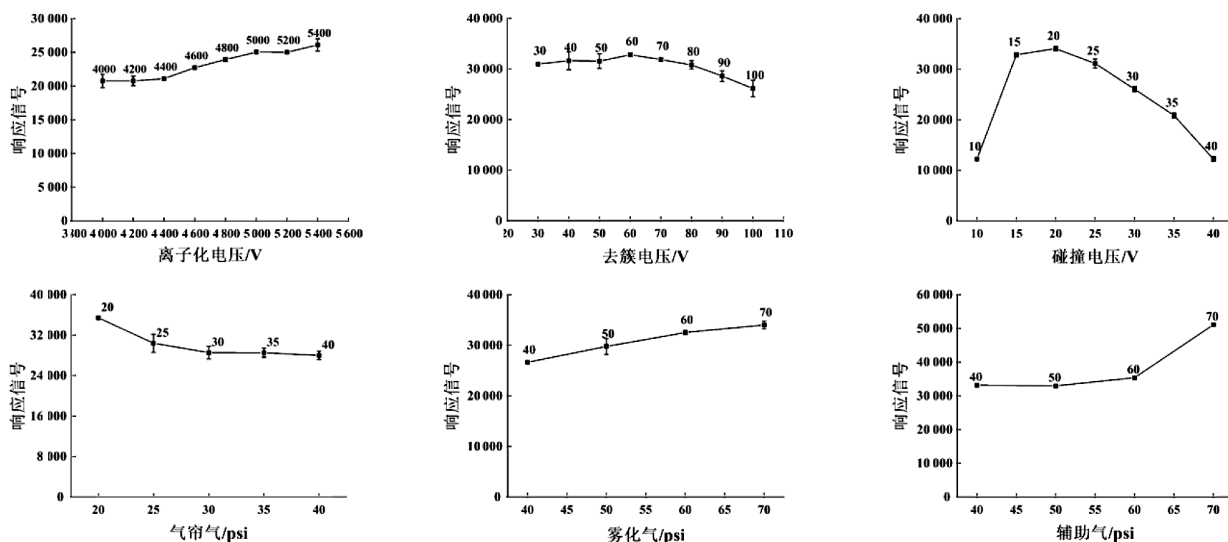


图 1 质谱条件优化

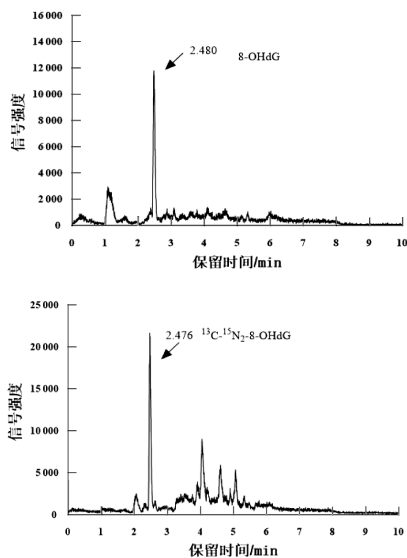


图 2 8-OHdG 和 ¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG 色谱图

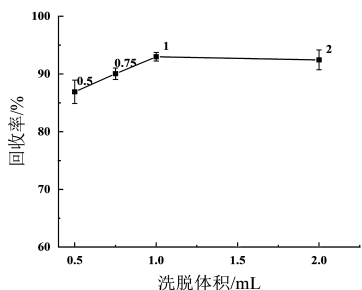


图 3 洗脱体积对 8-OHdG 回收率的影响

的质量浓度 ($\mu\text{g/L}$), 相关系数 r 为 0.999 9。依据工作曲线的最低浓度点, 分 12 次进行样品前处理和超高效液相色谱-串联质谱分析, 分别以测定浓度的 3 倍标准差和 10 倍标准差计算方法的检出限 (limit of detection, LOD) 和定量限 (limit of quantification, LOQ), 得出 LOD 为 $0.06 \mu\text{g/L}$, LOQ 为 $0.20 \mu\text{g/L}$ 。

2.5 方法的准确度和精密度

利用人工尿样进行 3 个浓度水平的加标回收实验以评价方法的准确度, 以含量测定值的相对标准偏差 (relative standard deviation, RSD) 考察方法的精密度, 加标水平分别为 1.0 、 5.0 、 $15.0 \mu\text{g/L}$, 每个加标浓度分别进行 6 次平行测定。8-OHdG 的平均加标回收率为 $98.1\% \sim 98.4\%$, 批内 RSD 为 $1.00\% \sim 2.35\%$ 。依据上述方法, 在 5 d 内重复测定 6 次不同加标浓度的样品, 每次每个浓度测定 6 个样品, 评价方法的批间 RSD, 结果为 $1.23\% \sim 3.93\%$, 见表 2。此外, 利用实际尿液样品进行 3 个浓度水平的加标回收实验, 尿液本底值为 $3.70 \mu\text{g/L}$, 加标水平分别为 0.5 、 2.5 和 $10 \mu\text{g/L}$, 加标回收率分别为 100% 、 104% 、 107% , 批内 RSD 为 $1.06\% \sim 4.30\%$, 表明本方法的准确度和精密度良好。

表 2 方法准确度和精密度实验结果 ($n = 6$)

加标质量浓度/ $\mu\text{g/L}$	测得值/ $\mu\text{g/L}$	加标回收率/%	批内 RSD/%	批间精密度	
				测得值/ $\mu\text{g/L}$	RSD/%
1.0	0.98 ± 0.01	98.2	1.30	0.97 ± 0.04	3.93
5.0	4.90 ± 0.12	98.1	2.35	4.71 ± 0.09	1.83
15.0	14.76 ± 0.15	98.4	1.00	14.63 ± 0.18	1.23

2.6 固相萃取及基质效应评估

本方法中 8-OHdG 的回收率主要受两个因素的影响: (1) 样品前处理固相萃取过程; (2) 不同尿液样品的基质效应。基质效应是指样品中除目标化合物以外的物质使检测结果增强或减弱, 从而影响测定结果准确度的现象, 普遍存在于液相色谱-串联质谱的测定方法中^[12-13]。本研究选取 5 名健康人群的尿液, 采用基质加标、溶剂加标、工作曲线加标, 分别配制 6 个不同浓度点的标准溶液, 评价固

相萃取和基质效应对回收率的影响。结果显示,固相萃取回收率为 88.1% ~ 95.7%, 基质效应为 64.6% ~ 86.4%,总回收率为 60.0% ~ 81.3%,见表 3。表明固相萃取效率较好,基质效应是影响方法准确度的主要因素,不同样品基质对 8-OHdG 检测多数具有抑制作用,同一样品不同加标浓度基质效应

不同。为消除基质效应对定量计算的影响,本研究采用同位素标记的 ¹³C-¹⁵N₂-8-OHdG 作为内标,内标工作曲线法进行定量检测,加标回收率为 98.1% ~ 98.4%,批间精密度为 1.23% ~ 3.93%,满足尿液样品中 8-OHdG 准确测定的要求。

表 3 固相萃取回收率和基质效应结果

标准溶液 质量浓度/ (μg/L)	固相萃取回收率/%					基质效应/%					总回收率/%				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0.5	92.0	79.8	95.9	105	75.3	112.0	56.0	85.7	64.5	79.7	103	44.7	82.2	68.0	60.0
1.0	101.0	101.0	94.8	99.6	92.2	74.0	51.0	82.8	63.7	70.8	74.4	51.5	78.5	63.5	65.3
2.5	93.8	91.7	94.0	91.0	91.2	68.3	78.9	89.5	66.2	74.6	64.1	72.3	84.1	60.2	68.1
5.0	86.9	96.1	96.2	94.7	91.0	64.6	69.0	85.0	63.4	69.7	56.1	66.3	81.8	60.0	63.4
10.0	88.5	92.7	91.9	92.6	91.4	61.4	66.9	85.7	63.7	69.2	54.4	62.0	78.8	59.3	63.2
20.0	88.2	88.6	91.9	91.1	87.6	63.8	71.3	89.4	66.0	73.1	56.3	63.2	82.2	60.2	64.0
平均值	91.7	91.7	94.1	95.7	88.1	74.0	65.5	86.4	64.6	72.8	68.1	60.0	81.3	61.9	64.0

2.7 稳定性试验

将加标质量浓度为 5.0 μg/L 的 8-OHdG 人工尿样置于 4 °C 冷藏保存, 分别在第 1、2、3、7、10 和 14 天测定样品浓度,并计算下降率。结果显示,在 4 °C 保存 14 d 条件下,待测物的下降率 ≤ 2.64%,符合职业卫生标准^[14]下降率 ≤ 10%的要求,说明该样品在本研究条件下至少可以保存 14 d。

2.8 实际样品分析

将本方法用于 30 例隧道作业工人尿液样品中 8-OHdG 的分析。结果显示,所有样品均检出 8-OHdG,检测值为 0.90 ~ 4.37 μg/g(以肌酐计)。

表 4 隧道作业工人尿中 8-OHdG 水平 (n = 30)

编号	8-OHdG/ (μg/L)	肌酐/ (g/L)	肌酐校正 /(μg/g)	编号	8-OHdG/ (μg/L)	肌酐/ (g/L)	肌酐校正 /(μg/g)
1	9.26	2.12	4.37	16	2.42	2.68	0.90
2	2.44	1.65	1.48	17	6.17	2.17	2.84
3	1.24	0.90	1.38	18	8.53	2.64	3.23
4	3.88	2.92	1.33	19	2.03	0.97	2.08
5	5.29	2.55	2.07	20	4.76	1.98	2.40
6	3.66	2.21	1.66	21	2.19	1.43	1.52
7	4.49	2.56	1.76	22	3.97	0.98	4.06
8	4.42	1.20	3.70	23	3.62	1.52	2.38
9	3.56	1.59	2.24	24	9.09	2.48	3.66
10	1.76	0.88	2.00	25	3.57	1.40	2.55
11	5.84	1.52	3.84	26	5.15	2.78	1.85
12	4.95	1.85	2.67	27	4.42	2.68	1.65
13	2.65	2.34	1.13	28	7.68	2.85	2.70
14	1.72	1.71	1.01	29	4.23	1.71	2.47
15	2.84	1.43	1.98	30	6.11	2.09	2.93

3 小结

本研究建立了尿中 8-OHdG 超高效液相色谱-串联质谱分析方法,基于 8-OHdG 含有羟基(-OH)和氨基(-NH₂)等极性官能团,HLB 固相萃取柱在甲酸-甲酸铵缓冲盐的作用下对其具有较好的保留,提高了方法的灵敏度。同时,该方法可净化尿液样品基质,避免复杂样品基质对分析仪器的污染与测定。使用常规 BEH C18 色谱柱,并在流动相中加入缓冲盐溶液,使 8-OHdG 获得良好峰型的同时也提高了离子化效率。此外,8-OHdG 回收率主要受固相萃取和基质效应的影响,其中样品基质效应是影响方法准确度的主要因素。因此,同位素内标的加入消除了基质效应对定量计算的影响,提高了方法准确度。本研究方法的检出限为 0.06 μg/L,定量限为 0.20 μg/L,适用于尿中 8-OHdG 的定量测定。

作者声明 本文无实际或潜在的利益冲突

参考文献

[1] HAHM J Y, PARK J, JANG E, et al. 8-oxoguanine: from oxidative damage to epigenetic and epitranscriptional modification [J]. Exp Mol Med, 2022, 54(10): 1626-1642.

[2] CHIORCEA-PAQUIM A M, OLIVEIRA-BRETT A M. Nanostructured material-based electrochemical sensing of oxidative DNA damage biomarkers 8-oxoguanine and 8-oxodeoxyguanosine: a comprehensive review [J]. Microchim Acta, 2021, 188(2): 58.

[3] KROESE L J, SCHEFFER P G. 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine and cardiovascular disease: a systematic review [J]. Curr Atheroscler Rep, 2014, 16(11): 452.

[4] PILGER A, RÜDIGER H W. 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine as a

- marker of oxidative DNA damage related to occupational and environmental exposures [J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2006, 80(1): 1-15.
- [5] 石振宁, 金有训, 宋德伟, 等. 二维超高效液相色谱-串联质谱法测定尿液中 8-羟基脱氧鸟苷[J]. *理化检验(化学分册)*, 2020, 56(12): 1294-1298.
- [6] 鲁文红, 刘爱玲, 王先良, 等. 利用高效液相色谱-电化学法检测尿液 8-羟基脱氧鸟苷[J]. *广东医学*, 2006, 27(12): 1802-1803.
- [7] CHIORCEA-PAQUIM A M. 8-oxoguanine and 8-oxodeoxyguanosine biomarkers of oxidative DNA damage: a review on HPLC-ECD determination [J]. *Molecules*, 2022, 27(5): 1620.
- [8] 邱月, 安莉莎, 曹小芳, 等. 8-羟基脱氧鸟苷高特异性 ELISA 检测方法的建立及其用于妊娠期糖尿病的对比如研究[J]. *中国计划生育学杂志*, 2019, 27(7): 851-853.
- [9] 高瑞霄, 姚朱华, 冯凭, 等. 尿 8-羟基脱氧鸟苷在 2 型糖尿病及糖尿病合并冠心病患者中的临床意义[J]. *国际内分泌代谢杂志*, 2014, 34(5): 295-299.
- [10] 梅素容, 吴达, 高晓丹, 等. 尿中 8-羟基脱氧鸟苷作为肿瘤疗效评价生物标记物的研究[J]. *华中科技大学学报(医学版)*, 2007, 36(1): 19-22.
- [11] 中华人民共和国卫生部. 尿中肌酐的反相高效液相色谱测定方法: WS/T 98-1996[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [12] MATUSZEWSKI B K, CONSTANZER M L, CHAVEZ-ENG C M. Strategies for the assessment of matrix effect in quantitative bioanalytical methods based on HPLC-MS/MS [J]. *Anal Chem*, 2003, 75(13): 3019-3030.
- [13] VAN ECKHAUT A, LANCKMANS K, SARRE S, et al. Validation of bioanalytical LC-MS/MS assays: evaluation of matrix effects [J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2009, 877(23): 2198-2207.
- [14] 中华人民共和国卫生部. 职业卫生标准制定指南 第 5 部分: 生物材料中化学物质测定方法: GBZ/T 210.5-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

收稿日期: 2024-09-12

《职业卫生与应急救援》入选中国科协 “预防医学与卫生学”“安全科学” 双领域高质量科技期刊分级目录

为贯彻落实中国科协、中宣部、教育部、科技部联合印发的《关于深化改革 培育世界一流科技期刊的意见》精神,推动建设与世界科技强国相适应的科技期刊评价体系,中国科协自 2019 年以来,分批支持全国学会面向学科领域国内外科技期刊,编制发布高质量期刊分级目录,为科技工作者发表论文和科研机构开展学术评价提供参考。

《预防医学与卫生学高质量科技期刊分级目录》(2025 年版)于 2025 年 4 月发布,《职业卫生与应急救援》成功入选,获评 T3 级,即学术界所认可的国内外优质期刊。该目录由中华预防医学会编制,经过专家推荐、数据采集、期刊遴选、定量定性评价、专家评审委员会评审认定、公示等程序,最终收录期刊 172 种,其中中文期刊 54 种,英文期刊 118 种。

《安全科学领域高质量科技期刊分级目录》(2024 年版)于 2024 年 11 月发布,《职业卫生与应急救援》成功入选,获评 T3 级,即学术界所认可的国内外优质期刊。该目录由中国职业安全健康协会编制,经过期刊遴选、评审、公示、复审等环节,最终收录期刊 65 种,其中国内期刊 28 种,国外期刊 37 种。