

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2019.21.022

胃内容物中甲卡西酮 LC-MS/MS 检验方法研究*

赵明明¹ 张旭东² 刘冬娴¹ 张尔力¹ 任宏宾¹

(1 湖南警察学院刑事科学技术系 湖南长沙 410138; 2 长沙市公安局禁毒支队 湖南长沙 410000)

摘要 目的:建立胃内容物中甲卡西酮及其代谢物卡西酮的 LC-MS/MS 检验方法。**方法:**以双苯戊二氨酯(SKF525A)为内标, Column Eclipse Plus C18 色谱柱(1.8 μm, 100 mm× 3 mm)为固定相,流动相为 0.1% 甲酸水溶液和乙腈,梯度洗脱,流速为 0.3 mL/min,进样量为 1 μL。通过电喷雾离子源(ESI),利用正离子多反应监测模式(MRM)进行检测。**结果:**胃内容物中甲卡西酮检验方法线性范围为 1-5000 ng/g,标准曲线方程 $Y=0.026X+0.4501$ ($R^2=0.9998$),检出限为 0.5 ng/g,定量限为 1.0 ng/g;卡西酮的检验方法线性范围为 2-5000 ng/g,标准曲线方程 $Y=0.0099X+0.1576$ ($R^2=0.9997$),检出限为 1.0 ng/g,定量限为 2.0 ng/g。**结论:**该方法操作简便,检测灵敏度较高,可用于甲卡西酮中毒案件胃内容物中甲卡西酮及其代谢物卡西酮的检验。

关键词:胃内容物;甲卡西酮;卡西酮;LC-MS/MS

中图分类号:DF795.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2019)21-4098-05

Studies on Detection of Methcathinone in Gastric Contents by LC-MS/MS*

ZHAO Ming-ming¹, ZHANG Xu-dong², LIU Dong-xian¹, ZHANG Er-li¹, REN Hong-bin¹

(1 Criminal Technology Department, Hunan Police Academy, Changsha, Hunan, 410138, China;

2 Changsha Public Security Bureau narcotics detachment, Changsha, Hunan, 410000, China)

ABSTRACT Objective: To establish a liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) method for the determination of methcathinone and its metabolite cathinone in gastric contents. **Methods:** Proadifen hydrochloride (SKF525A) was used as internal standard. Column Eclipse Plus C18 column (1.8 μm, 100 mm× 3 mm) was used as stationary phase. Mobile phase was 0.1 % formic acid aqueous solution and acetonitrile, gradient elution with flow rate of 0.3 mL/min and injection volume of 1 μL. Electrospray ion source (ESI) was detected by positive ion multi reaction monitoring mode (MRM). **Results:** The linear range of methcathinone in gastric contents was 1-5000 ng/g, and the standard curve equation was $Y=0.026X+0.4501$ ($R^2=0.9998$), the detection limit was 0.5 ng/g, and the quantitative limit was 1.0 ng/g. The linear range of cathinone in gastric contents was 2-5000 ng/g, and the standard curve equation was $Y=0.0099X+0.1576$ ($R^2=0.9997$), the detection limit was 1.0 ng/g, and the quantitative limit was 2.0 ng/g. **Conclusions:** The established method for the detection of methcathinone and its metabolite cathinone in the gastric contents is simple and sensitive. This method can be used for the detection of methcathinone poisoning in the public security.

Key words: Gastric contents; Methcathinone; Cathinone; LC-MS/MS

Chinese Library Classification(CLC): DF795.1 **Document code:** A

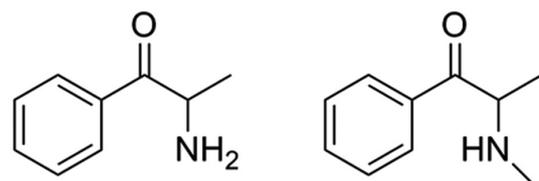
Article ID: 1673-6273(2019)21-4098-05

前言

甲卡西酮,化学名称为 2-(甲基氨基)-1-苯基-1-丙酮,英文名称: methcathinone,是人工合成的一种苯丙胺类兴奋剂。滥用甲卡西酮可导致幻听、幻视等精神病症状,严重者甚至出现如啃食人脸等攻击性行为,故甲卡西酮又有“食人盐”、“丧尸剂”、“丧尸药”等名称^[1-4]。甲卡西酮的滥用已成为较严重的社会问题,其已被列入属国家管制的第一类精神药品^[5]。卡西酮(cathinone)作为甲卡西酮的主要代谢物,也是一种苯丙胺类兴奋剂^[6],两者的化学结构见图 1。

国内外对甲卡西酮的检验方法研究主要有气相色谱-质谱(GC-MS)^[1-3,7-12]、液相色谱(LC)^[13]、液相色谱-串联质谱(LC-MS/MS)^[6,14-19]等,主要研究的是非生物检材和血液、尿液和

唾液、毛发等生物样品,未见有研究胃内容物中甲卡西酮的报道。本研究建立了胃内容物中甲卡西酮的 LC-MS/MS 检测方法,该方法操作简便、检测灵敏度较高,可应用于胃内容物中甲卡西酮及代谢物卡西酮的测定,方法可靠。



卡西酮 甲卡西酮

图 1 卡西酮和甲卡西酮的化学结构式

Fig.1 Structure diagram of cathinone and methcathinone

* 基金项目:湖南省自然科学基金项目(2018JJ2109);湖南省教育厅科学研究重点项目(15A057)

作者简介:赵明明(1987-),硕士研究生,讲师,主要研究方向:理化检验,E-mail:zmm001972@126.com

(收稿日期:2019-02-23 接受日期:2019-03-18)

1 材料与方 法

1.1 材 料

甲卡西酮、卡西酮标准储备液(公安部禁毒局国家毒品实验室); 双苯戊二氨酯 (SKF_{525A})(纯度 95%,Sigma-Aldrich 公司), 甲醇、甲酸、氯化钠(分析纯, 上海国药集团有限公司), 乙腈 (美国 Tedia 有限公司)。实验用水均为重蒸馏水。Agilent 1290 /6470A UPLC-MS/MS 液 - 质联用仪 (美国安捷伦公司); XH-C 旋涡混合器(常州润华电器有限公司); HY-3 调速多样振荡器(常州国华电器有限公司); L-535-R 离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司)。

1.2 方 法

1.2.1 家兔中毒实验 取体重为 (2.0± 0.2) kg 的家兔 4 只, 雌雄不限, 分为两组, 第一组 3 只, 分别编号为 T301、T302、T303,

第二组 1 只(空白对照), 编号为 T300。第一组家兔按体重 10 mg/kg 灌胃 10 mg/mL 的甲卡西酮氯化钠溶液, 第二组家兔按体重 10mg/kg 灌胃同等剂量的氯化钠溶液。给药后 2 h 将中毒家兔处死, 采集其胃内容物, 放置在 -18 °C 的冰箱中保存待检。

1.2.2 检材处理 准确称取胃内容物 1 g 于 10 mL 塑料离心试管中, 加入含 SKF525A 内标 50 ng/mL 的乙腈液 3 mL, 涡旋混匀 5 min, 振荡提取 30 min, 4000 r/min 离心 20 min(离心半径 5 cm), 分离上清液, 用 0.22 μm 微孔有机滤膜过滤于 1.5 mL 样品瓶中, 供 LC-MS/MS 分析, 采用内标法 - 标准曲线法定量。

1.2.3 LC-MS/MS 仪器条件 液相柱: Column Eclipse Plus C18 色谱柱 (1.8 μm, 100 mm× 3 mm); 柱温: 45 °C; 流速: 0.3 mL/min; 进样量: 1 μL; 流动相: A 相为 0.1 % 甲酸水溶液, B 相为乙腈有机相, 梯度洗脱程序见表 1。

表 1 梯度洗脱程序

Table 1 Gradient elution procedure

Time(min)	A%	B%
0.00	95.00	5.00
3.00	90.00	10.00
4.00	40.00	60.00
5.00	5.00	95.00
9.00	95.00	5.00

离子源: 电喷雾离子源, 正离子模式(ESI+); 离子源温度: 350 °C; 离子喷雾电压: 3.5 KV 检测方式: 多反应监测模式(MRM); 每个化合物分别选择两对母离子 / 子离子对作为定

性离子对, 其定性离子对、定量离子对、碰撞能量(CE)和保留时间见表 2。

表 2 卡西酮、甲卡西酮和 SKF525A 的定性离子对、碰撞能量(CE)和保留时间

Table 2 Qualitative ion pair, collision energy (CE) and retention time of cathinone, methcathinone and SKF525A

Name	Qualitative ion pair	Fragmentor	CE(eV)	Retention time(min)
Cathinone	150.1/117.0 ¹⁾	80	30	4.535
	150.1/132.1		12	
Methcathinone	164.1/130	80	34	5.144
	164.1/146.1 ¹⁾		10	
SKF525A	354.2/167.1 ¹⁾	130	30	5.743
	354.2/209.1		21	

注: "1)" 为定量离子对。

Note: "1)", Quantitative ion pair.

2 结 果

2.1 色 谱 分 离

图 2 和图 3 分别为空白胃内容物添加 100 ng/g 的甲卡西酮、卡西酮, 图 4 为添加 150ng/g 内标物 SKF_{525A}, 按照 "1.2.2" 方法处理检材, 再按照 "1.2.3" 分析得到甲卡西酮、卡西酮、SKF_{525A}MRM 色谱图; 图 5、图 6 分别为中毒家兔 T303 胃内容物按照按照 "1.2.2" 方法处理检材, 再按照 "1.2.3" 项下条件分析得到甲卡西酮、卡西酮 MRM 色谱图。

2.2 回归方程与线性范围

将甲卡西酮、卡西酮标准储备溶液依次稀释成质量浓度分别为 50000、30000、20000、10000、5000、2000、1000、500、200、100、50、20、10 ng/mL 的甲卡西酮、卡西酮系列混合标准液。将这 13 种混合标准液各取 100 μL, 分别加入到 1 g 空白胃内容物匀浆中, 涡旋 5 min, 得到甲卡西酮、卡西酮质量浓度分别为 5000、2000、1000、500、200、100、50、20、10、5、2、1 ng/mL 的胃内容物检材。按 "1.2.2" 项进行检材处理、按 "1.2.3" 项进样分析。每个浓度样品进样 3 次, 以甲卡西酮浓度(ng/g)为 X, 以甲卡

西酮与 SKF525A 色谱峰面积比为 Y 进行线性回归,得到胃内容物检材中甲卡西酮含量的回归方程: $Y=0.026X+0.4501$, $R^2=0.9998$;线性范围为:2-5000 ng/g;以卡西酮浓度 (ng/g) 为 X,以卡西酮与 SKF525A 色谱峰面积比为 Y 进行线性回归,得到胃内容物检材中卡西酮含量的回归方程: $Y=0.0099X+0.1576$, $R^2=0.9997$;线性范围为:1-5000 ng/g。

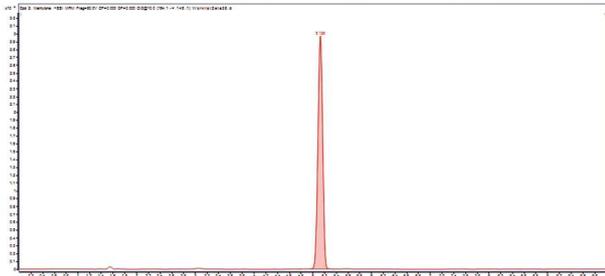


图 2 空白胃内容物添加甲卡西酮 MRM 色谱图
Fig.2 Blank gastric contents added with methcathinone MRM chromatogram
Methcathinone $t_R=5.128$ min

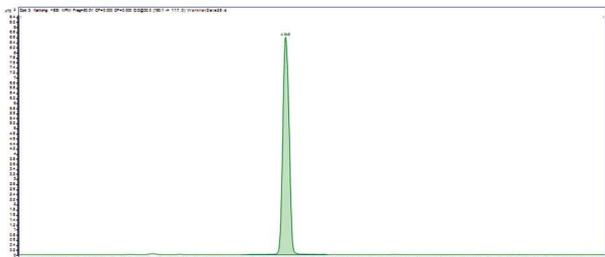


图 3 空白胃内容物添加卡西酮 MRM 色谱图
Fig.3 Blank gastric contents added with cathinone MRM chromatogram
Cathinone $t_R=4.548$ min

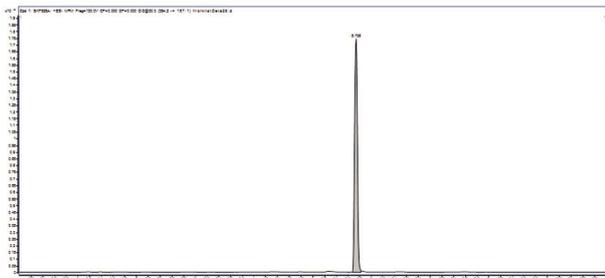


图 4 空白胃内容物添加 SKF525A MRM 色谱图
Fig.4 Blank gastric contents added with SKF525A MRM chromatogram
SKF525A $t_R=5.738$ min

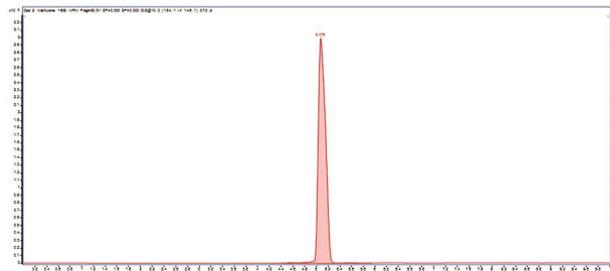


图 5 中毒家兔 T303 胃内容物甲卡西酮 MRM 色谱图
Fig.5 MRM chromatogram of T303 gastric contents in poisoned rabbits
Methcathinone $t_R=5.075$ min

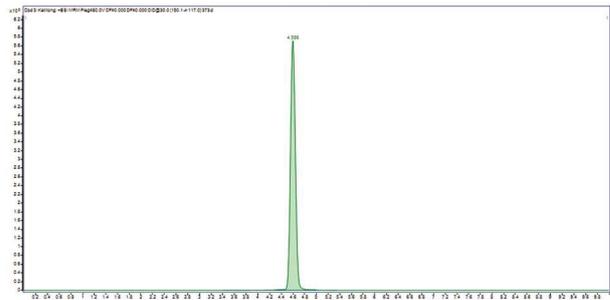


图 6 中毒家兔 T303 胃内容物卡西酮 MRM 色谱图
Fig.6 MRM chromatogram of T303 gastric contents in poisoned rabbits
Cathinone $t_R=4.596$ min

2.3 检出限、定量限

检出限: 色谱峰高相当于基线噪音 3 倍的浓度确定为检出限^[12], 检测所得胃内容物中卡西酮检出限为 1.0 ng/g, 甲卡西酮检出限为 0.5 ng/g。

定量限: 检测目标的色谱峰高相当于基线噪音 10 倍的浓度确定为定量限^[12], 检测所得胃内容物中卡西酮定量限为 2.0 ng/g, 甲卡西酮定量限为 1.0 ng/g。

2.4 回收率及精密度

按 "2.2" 项下方法分别取含甲卡西酮、卡西酮 20, 200, 2000 ng/g 的低、中、高三个浓度的待检胃内容物样品 1 g, 将胃内容物样品按 "1.2.2" 项下方法进行提取、进样分析。另分别取 2.0 $\mu\text{g/mL}$ 、20 $\mu\text{g/mL}$ 、200 $\mu\text{g/mL}$ 甲卡西酮、卡西酮标准工作液 10 μL , 吹干, 用 3 mL 含 SKF525A 内标 50 ng/mL 乙腈液溶解, 取 1 μL 进行 LC-MS/MS 分析。由经提取与未经提取分析所得色谱图中甲卡西酮、卡西酮与 SKF525A 的色谱峰面积比计算甲卡西酮、卡西酮的回收率及精密度。每个浓度 3 个样品重复测定 3 次, 计算日内精密度; 每个浓度 3 个样品连续 3 d 内, 每天重复测定 3 次, 计算日间精密度。具体结果见表 3。

表 3 胃内容物检材回收率及精密度

Table 3 Recovery and precision of gastric contents

Additive	Addition concentration (ng/g)	Recovery(%)	RSD/%	
			Intra-day	Inter-day
Methcathinone	20	93.16	7.99	8.60
	200	95.76	7.06	7.81
	2000	98.71	5.87	6.69
Cathinone	20	92.18	7.42	9.12
	200	94.81	6.96	8.62
	2000	98.08	5.89	7.66

2.5 中毒家兔胃内容物中甲卡西酮及其代谢物卡西酮含量

取不同剂量甲卡西酮中毒家兔的胃内容物检材按 "1.2.2" 项下方法进行检材处理, 采用 "1.2.3" 项下条件进行

LC-MS/MS 检测, 依据标准曲线计算胃内容物检材中甲卡西酮及其代谢物卡西酮的含量, 中毒家兔体内甲卡西酮、卡西酮含量见表 4。

表 4 家兔体内甲卡西酮和卡西酮的含量
Table 4 The contents of methcathinone and cathinone in rabbits

Rabbit number	Methcathinone content(ng/g)	Cathinone content(ng/g)
T301	7986.67	2402.06
T302	8183.48	1795.52
T303	10863.15	2205.05

注:对照组 T300 家兔胃内容物检材均未检测出卡西酮、甲卡西酮。

Note: T300 Control group for rabbit stomach contents did not detect cathinone and methcathinone.

3 讨论

甲卡西酮合成简单, 在 50-60°C 的温和反应条件下, 利用重铬酸钠、高锰酸钾、次氯酸钠等氧化剂对麻黄碱进行氧化即得^[20]。该物质于 20 世纪 20 年代由 J. F. Hyde 等进行了首次合成^[21], 在前苏联曾将其作为抗抑郁药物进行使用, 20 世纪 60 年代开始将其用于娱乐, 到 20 世纪 80 年代开始出现甲卡西酮滥用现象。21 世纪初, 甲卡西酮在中东地区出现快速蔓延的迹象, 并迅速进入欧洲市场^[22]。从 2008 年至 2012 年, 由于禁毒条例制定的滞后性, 甲卡西酮及其类似物成为合法的具有兴奋作用的物质之一, 在整个欧洲地区尤其英国风靡一时, 出现大量的滥用案例。鉴于问题的严重性, 以色列、瑞典、英国等国家相继将甲卡西酮这一类物质列为非法物质进行管制^[23]。随着中外交流的不断深入, 甲卡西酮也已进入国内并出现滥用现象, 且具有非常明显的地域聚集性。根据国家食品药品监督管理总局(CFDA) 2016 年度的国家药物滥用监测报告显示, 2016 年我国境内甲卡西酮滥用例数有 707 例, 为 2015 年 246 例的 2.9 倍。其中, 有 693 例甲卡西酮滥用者出现在山西, 占总滥用人数的 98.0 %^[24]。近期出现甲卡西酮从山西往其他省份扩散蔓延的不少案例, 打击甲卡西酮滥用形势不容乐观。更有研究表明甲基苯丙胺、甲卡西酮等苯丙胺类毒品有可能取代海洛因、可卡因等传统毒品而成为 21 世纪流行范围最广、危害程度最大的毒品^[25]。甲卡西酮具有一定的精神依赖性, 多次摄入极易成瘾。滥用甲卡西酮会对滥用者造成一系列的副作用, 严重的甚至会造成滥用者死亡^[26]。甲卡西酮滥用者通常经口服、静脉注射、鼻吸、直肠给药等途径摄入甲卡西酮^[27], 而现有研究多集中在甲卡西酮滥用者的血液、尿液和唾液、毛发等, 对甲卡西酮滥用者胃内容物相关研究甚少, 尤其是口服甲卡西酮的滥用死亡者, 研究其胃内容物中甲卡西酮含量有着重要的意义。

由于甲卡西酮、卡西酮均为碱性化合物, 故选择正离子模式(ESI+)。为了保证较短的保留时间和峰形较好, 故采用梯度洗脱模式。流动相选用 0.1% 的甲酸溶液。有机相通过筛选甲醇和乙腈, 发现乙腈的洗脱能力与峰形均好于甲醇, 故选择乙腈为有机相。已报道^[12]的尿液中甲卡西酮 GC-MS 检测方法检测限为 0.01 μg/mL, 线性范围 0.02-2.00 μg/mL; 已报道^[14]的非生物检材中甲卡西酮 LC-MS/MS 检测方法, 检出限为 0.04 ng/mL, 线性范围 0.1-10000 ng/mL。而本文报道 LC-MS/MS 检

测胃内容物中的甲卡西酮检验方法, 线性范围为 1-5000 ng/g, 检出限为 0.5 ng/g, 定量限为 1.0 ng/g; 卡西酮的检验方法线性范围为 2-5000 ng/g, 检出限为 1.0 ng/g, 定量限为 2.0 ng/g。与^[12]报道相比, 本方法检材为生物检材胃内容物, 应用范围更能针对公安实际工作; 与已报道的^[14]GC-MS 检测方法相比, 本方法前处理简单, 检出限更低, 线性范围更宽。

经试验可知, 所建立的胃内容物中甲卡西酮及其代谢物卡西酮的 LC-MS/MS 定性定量分析方法, 操作简便, 检测灵敏度较高, 可用于公安实际甲卡西酮中毒案件中胃内容物中甲卡西酮及其代谢物卡西酮的检验。

参考文献 (References)

- [1] 尚世杰, 郭灵军. 气相色谱-质谱法检测甲卡西酮及意义[J]. 河南科技大学学报(医学版), 2012, 30(4): 275-276
- [2] 孟鑫, 刘培培, 乔艳玲, 等. 尿液中甲卡西酮类新精神活性物质的 GC-MS 检测法[J]. 警察技术, 2017, (3): 85-87
- [3] 李文海, 邵凯, 蔺大伟, 等. 快速溶剂萃取-气相色谱/质谱法分析血液中的甲卡西酮[J]. 分析测试技术与仪器, 2016, 22(3): 189-192
- [4] 赵丹, 滕姣, 陈学国. 卡西酮类新精神活性物质研究进展[J]. 福建分析测试, 2018, 27(3): 26-31
- [5] 徐鹏, 刘沫玄, 王优美, 等. 合成卡西酮类物质滥用及依赖性评价研究进展[J]. 中国药物依赖性杂志, 2018, 27(2): 89-93+98
- [6] Chen Xue-guo. Simultaneous determination of four designer drugs and their major metabolites by liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Chromatogr B, 2015, (992): 1-7
- [7] 阎仁信, 朱国玉, 石建忠, 等. 小体积液相萃取-GC/MS 法检验尿液中的 MDPV[J]. 中国法医学杂志, 2017, 32(6): 639-641
- [8] 张红波, 赵璐. 甲卡西酮的 GC/MS 定量分析方法[J]. 山西医科大学学报, 2013, 44(12): 939-941
- [9] 常颖, 张春水, 高利生. 甲卡西酮的气-质联用法分析 1 例[J]. 中国法医学杂志, 2011, 26(6): 500-501
- [10] 代勇, 周晓英, 皮建华, 等. SPME-GC-MS 检测尿液中甲卡西酮类毒品[J]. 化学研究与应用, 2015, 27(9): 1394-1397
- [11] Sabina Strano-Rossi, Amy B Cadwallader, Xavier de La Torre, et al. Toxicological determination and in vitro metabolism of the designer drug methylenedioxy-py-rovalerone (MPDV) by gas chromatography/mass spectrometry and liquid chromatography/quadrupole time-of-flight mass spectrometry[J]. Rapid Commun. Mass Spectrom, 2010, 24(18): 2706-2714
- [12] 刘冬娟, 赵明明. GC-MS 分析尿液中甲卡西酮 [J]. 法医学杂志,

- 2017, 33(5): 506-508
- [13] 常颖,徐鹏,高利生. 甲卡西酮的液相色谱法测定 [J]. 化学分析计量, 2012, 21(1): 67-69
- [14] 常颖,高利生. 卡西酮、甲卡西酮和 4- 甲基甲卡西酮的 LC-MS/MS 分析方法的研究[J]. 刑事技术, 2014 (1): 29-30
- [15] 常颖,张春水,高利生. 甲卡西酮的 LC-MS/MS 定性定量分析方法 [J]. 化学分析计量, 2013, 22(3): 51-53
- [16] Sørensen L K. Determination of cathinones and related ephedrine in forensic whole-blood samples by liquid-chromatography-electrospray tandem mass spectrometry [J]. J Chromatogr B, 2011, 879 (11-12): 727-736
- [17] Swortwood Madeleine J Swortwood, Diane M. Boland, DeCaprio Anthony P. Determination of 32 cathinone derivatives and other designer drugs in serum by comprehensive LC-QQQ-MS/MS analysis[J]. Anal Bioanal Chem, 2013, 405(4): 1383-1397
- [18] Kiyotaka Usui, Tomomi Aramaki, Masaki Hashiyada, et al. Quantitative analysis of 3,4-dimethylmethcathinone in blood and urine by liquid chromatography-tandem mass spectrometry in a fatal case[J]. Legal Med, 2014, 16(4): 222-226
- [19] Zhang Lin, Wang ZhaoHong, Li Hong, et al. Simultaneous determination of 12 illicit drugs in whole blood and urine by solid phase extraction and UPLC-MS/MS [J]. J. Chromatogr B, 2014, 955-956 (1): 10-19
- [20] Hafid B T, Nouredine S. Methcathinone: A new postindustrial drug [J]. Forensic Sci Int, 2005, (153): 99-101
- [21] Hyde J F, Browning E, Adamas R. Synthetic homologs of d, l-ephedrine[J]. J Amer ChemSoc, 1928, 50 (8): 2287-2292
- [22] Bentur Y, Bloom K A, Raikhlin E B. Illicit cathinone("hagigat") poisoning[J]. Clin. Toxicol, 2008, 46(3): 206-210
- [23] 钱振华,徐鹏,刘克林. 新型毒品卡西酮类策划药"浴盐"[J]. 中国药物滥用防治杂志, 2013, 19(1): 42-44
- [24] 国家食品药品监督管理总局 (CFDA). 国家药物滥用监测年度报告(2016 年)[R]. 2017
- [25] 高小平. 苯丙胺类毒品将成为 21 世纪泛滥最广的毒品[J]. 中国药物依赖性杂志, 2002, 11(1): 73-74
- [26] Odoardi S, Romolo F S, Strano-Rossi S. A snapshot on NPS in Italy: Distribution of drugs in seized materials analysed in an Italian forensic laboratory in the period 2013-2015 [J]. Forensic Sci Int, 2016, (265): 116-120
- [27] 李重阳,王乐,赵文成. 甲卡西酮类新型策划毒品的危害及其检测 [J]. 中国司法鉴定, 2014, (2): 47-50

(上接第 4019 页)

- [19] Wu Qiao, Fang Wang, Xu Xiao-chen, et al. Egg yolk immunoglobulin interactions with Porphyromonas gingivalis to impact periodontal inflammation and halitosis[J]. AMB Express, 2018, 8(1): 176
- [20] Fujihara C, Kanai Y, Masumoto R, et al. Fibroblast growth factor-2 inhibits CD40-mediated periodontal inflammation [J]. J Cell Physiol, 2018[Epub ahead of print]
- [21] Sazgarnia A, Shanci A, Eshghi H, et al. Detection of sonoluminescence signals in a gel phantom in the presence of Protoporphyrin IX conjugated to gold nanoparticles[J]. Ultrasonics, 2013, 53(1): 29-35
- [22] Li Ye-kuo, Zhou Qun-fang, Deng Zhi-ting, et al. IR-780 Dye as a Sonosensitizer for Sonodynamic Therapy of Breast Tumor [J]. Sci Rep, 2016, 6: 25968
- [23] Li Nan, Sun Miao, Wang Yao, et al. Effect of cell cycle phase on the sensitivity of SAS cells to sonodynamic therapy using low intensity ultrasound combined with 5-aminolevulinic acid in vitro[J]. Mol Med Rep, 2015, 12(2): 3177-3183
- [24] Costley D, Nesbitt H, Ternan N, et al. Sonodynamic inactivation of Gram-positive and Gram-negative bacteria using a Rose Bengal-antimicrobial peptide conjugate [J]. Int J Antimicrob Agents, 2017, 49 (1): 31-36
- [25] Wang Xin-na, Ip M, Leung AW, et al. Sonodynamic action of hypocrellin B on methicillin-resistant Staphylococcus aureus [J]. Ultrasonics. 2016, 65: 137-144
- [26] Qin Peng, Han Tao, Yu ACH, et al. Mechanistic understanding the bioeffects of ultrasound-driven microbubbles to enhance macromolecule delivery[J]. J Control Release, 2018, 272: 169-181
- [27] Li Qi-lin, Wu Yan-hua, Niu mu, et al. Protective effects of tacalcitol against oxidative damage in human epidermal melanocytes [J]. Int J Dermatol, 2017, 56(2): 232-238