

检测新型毒品甲基苯丙胺的研究进展

姜玉莹¹, 王佳¹, 陈进¹, 钱昆^{2*}, 付纯刚², 鄂义峰¹

¹锦州医科大学药学院, 辽宁 锦州

²锦州医科大学公共基础学院, 辽宁 锦州

Email: 2078714295@qq.com, *skyearth20032003@163.com

收稿日期: 2020年9月7日; 录用日期: 2020年9月18日; 发布日期: 2020年9月25日

摘要

甲基苯丙胺是一种新型的人工合成的新型毒品。近年来, 甲基苯丙胺的可获得性和与甲基苯丙胺相关的危害一直在增加, 甲基苯丙胺的滥用已经成为全球性的问题。为此, 快速、准确的检测出甲基苯丙胺, 是我们日趋探索的方向。该文通过查阅并收集国内外近些年甲基苯丙胺的有关文献, 综述了生物样品中甲基苯丙胺的理化检测方法的最新研究成果, 为公安及医疗等部门提供有效、可靠的数据和证明, 希望能为禁毒事业略尽绵薄之力。

关键词

甲基苯丙胺, 药物滥用, 检测方法, 快速检测, 毒品检测

Research Progress on Detection of Methamphetamine

Yuying Jiang¹, Jia Wang¹, Jin Chen¹, Kun Qian^{2*}, Chungang Fu², Yifeng E¹

¹College of Pharmacy, Jinzhou Medical University, Jinzhou Liaoning

²College of Fundamental Sciences, Jinzhou Medical University, Jinzhou Liaoning

Email: 2078714295@qq.com, *skyearth20032003@163.com

Received: Sep. 7th, 2020; accepted: Sep. 18th, 2020; published: Sep. 25th, 2020

Abstract

Methamphetamine is a new synthetic drug. In recent years, methamphetamine availability and methamphetamine-related hazards have been increasing, and methamphetamine abuse has become a global problem. Therefore, the rapid and accurate detection of methamphetamine is the direction of our increasingly exploration. By consulting and collecting the relevant literature of methamphetamine at home and abroad in recent years, this paper summarizes the latest research results of the physical and chemical detection methods of methamphetamine in biological samples,

*通讯作者。

to provide effective and reliable data and proof for public security and medical departments, hoping to do a little bit for drug control.

Keywords

Methamphetamine, Drug Abuse, Detection Methods, Rapid Detection, Drug Testing

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新型毒品于国内的娱乐场所开始流行, 目前已被公认为“世纪之患”。新型毒品的种类主要包括甲基苯丙胺“冰毒”(methamphetamine, MA), “摇头丸”(3,4-methylenedioxy-n-methylamphetamine, MDMA)以及氯胺酮等[1]。甲基苯丙胺是属于新一代人工合成的苯丙胺类毒品, 2018年, 海洛因已被冰毒代替为滥用“头号毒品”, 据《2019年中国毒品形势报告》显示, 目前已有吸毒的人数为214.8万, 冰毒的滥用人数是118.6万, 占据55.2%, 仍是滥用数目最多的毒品[2]。甲基苯丙胺的滥用是全球性的, 迫切需要快速和敏感地检测甲基苯丙胺的新战略。国内外采用较多的检测方法有: 高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)、气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、液相色谱-质谱(liquid chromatograph-mass spectrometer, LC-MS)、毛细管电泳(capillary electrophoresis, CE)、电化学检测(electrochemical detection, EC)、荧光检测(fluorescent detection, FD)等。

2. 甲基苯丙胺

甲基苯丙胺(MA), 也称甲基安非他命。苯环上具有1个取代基, 属芳香族化合物, 见图1。该分子仅包含3个元素: 碳、氢、氮, 属于苯丙胺类[3], 且有一个手性中心, 分子式为: $C_{10}H_{15}N$, 分子量为: 149.23, 熔点: $170^{\circ}C \sim 175^{\circ}C$, 其盐酸盐或硫酸盐又称冰毒, 味微苦, 可呈现白色或无色的粉末或结晶, 易溶于水, 是一种人工合成兴奋剂[4]。具有左、右旋异构体, 其右旋(d-MA)比左旋体(L-MA)的药理活性高, 国际上所说的冰毒MA为右旋体[5]。甲基苯丙胺可以给身体带来极大的愉悦感, 并且瘾性极大, 是一种强大的中枢神经系统兴奋剂, 可破坏神经、产生觉醒、减少饥饿、攻击或暴力行为等[6]。因其毒性猛烈, 可作用中枢神经系统, 损伤初期, 使人产生如抑郁、暴躁等精神问题。长期滥用甲基苯丙胺, 还会引发神经系统的病理性, 化学性损伤[7]。MA损伤外周器官时, 会引起急性毒时, 能影响心肌细胞[8]; 慢性中毒时, 会引起心悸、心肌炎等疾病, 人的表现为失眠、产生幻觉、及暴行等精神障碍。还可导致血管内皮损伤、机体内肾脏、肝、脾等器官的损伤, 如肝细胞坏死、肺水肿、肾小球毛细血管充血等[9]。

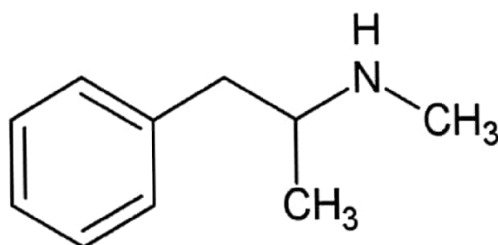


Figure 1. Structural formula of methamphetamine

图1. 甲基苯丙胺结构

3. 检测方法

3.1. 高效液相色谱法(HPLC)

高效液相色谱法是采用高压输液系统,将流动相为单一或者不同配比的混合溶剂装有固定相的色谱柱,柱内各成分被分离,从而送入检测器。多年来,色谱柱、衍生试剂、检测器已被广泛研究,并应用于 MA 的检测。Falcó [10]等使用正相高效液相色谱法,以 1,2-萘醌 4-磺酸钠为衍生剂,分析尿液中 MA,显示出良好回收率。国内多采用岛津 CLC-C8 柱、填充柱以及 Exsil80 硅胶柱等色谱柱。傅强[11]等人使用 C18 反相柱以及 DAD 检测器,线性范围:1.4~270 $\mu\text{g/mL}$,检出限:0.73 $\mu\text{g/mL}$,适合 MA 分析。近几年研究发现,对样品进行前处理可以提高 HPLC 法的灵敏度。Wang [12]等建立了一种基于离子液体分散液-液微萃取结合高效液相色谱的方法,在此过程中,以 1-辛基-3-甲基咪唑六氟磷酸酯,借助分散溶剂甲醇作为微萃取溶剂,对人体尿液中甲基苯丙胺分析。线性范围为:10~1000 ng/mL ,检出限为 1.7 ng/mL ; Taghvimini [13]等人合成了磁性纳米氧化石墨烯(magnetic nano graphene oxide, MNGO),并以其作吸附剂,从尿液样品中提取 MA,采用 HPLC 法进行检测。线性范围为 100~1500 ng/mL ,检出限和定量限分别为 30、100 ng/mL ,该法适合 MA 的检测。

3.2. 气相色谱-质谱法(GC-MS)

GC-MS 是将具有高分离能力的 GC 与高鉴别能力的 MS 相结合的现代流行的分析方法。Nishida [14]等将 MA 吸附在 Extrelut 柱表面,用氯甲酸丙酯将 MA 衍生成 N-丙氧基衍生物,尿液中 MA 的回收率为 92.5%,血液中 MA 的回收率 90.3%,尿液和血液 MA 线性范围为 12.5~2000 $\text{ng/ml}(\text{ng/g})$ 。为使检测方法灵敏准确,采用不同的其处理方法进行 MA 的提取。Bahmanabadi [15]将液-液萃取(LLE)法与 GC/MS 结合,对口服液样品中甲基苯丙胺进行提取及检测。所得结果:LLE 法的回收率为 96%。检出限、定量限分别为 5、15 ng/mL 。彭山珊[16]等采用同种方法检测尿液中 MA,所得线性范围为 0.2~10 $\mu\text{g/mL}$,最低检测浓度为 0.15 $\mu\text{g/mL}$ 。

3.3. 液相色谱-质谱联用法(LC-MS)

LC-MS 法使用液相色谱作为分离系统,并使用质谱作为检测系统。将样品从质谱区的流动相中分离并离子化后,离子碎片通过质谱仪进行质量分离,并通过检测器获取质谱图。它的高灵敏度,高精度,易于自动化等特性使其成为临床研究中的关键新技术之一。LC-MS 具有直接分析和检测超出 GC-MS 范围的检测方法,可检测极性、非挥发性以及热不稳定药物。Vlase [17]等人用新型高通量液相色谱结合质谱(LC-MS/MS)方法分析人血浆中 MA。在等位条件下,用 15:85(v/v)甲醇和 0.1%(v/v)甲酸在 45 $^{\circ}\text{C}$ 水中的混合物在 ZorbaxSB-C18 柱上进行分离,在 MRM 模式下进行检测,该方法在 MA 浓度为 2.03~169.04 ng/mL ,表现出良好的线性,回收率在 88.3%~110.4%之间。此法简单快速,适用于 MA 检测。Choi [18]等利用 pH 梯度洗脱,用 LC-MS/MS 与 ScherzoSS-C18 柱同时检测头发中 MA,检测限为 0.1 $\text{ng}/5 \text{ mg}$ 。Yang [19]等通过固相萃取提取尿液和血液中的分析物,以 LC-MS/MS 法检测,检出限和定量限分别为 1、5 ng/mL ,适合检测 MA。赵蒙[20]等建立了一种 UPLC-MS/MS 法,采用 ACQUITY UPLC BEH Phenyl 色谱柱,梯度洗脱后,在 MRM 模式下,以 ESI+离子源进行多反应监测 MA。检测到 MA 在 4~20 $\mu\text{g/L}$ 内线性范围良好,检出限为 0.2 $\mu\text{g/L}$ 。

3.4. 表面等离子体共振(SPR)免疫分析法

生物传感器用作生物分子相互作用分析的检测设备,利用传感器界面上的测生物分子与环境化学物质或者特定分子之间的特定相互作用而产生感应信号。光电技术迅速发展,使生物传感器已开发出不同

的研究领域。其包括: 共轭焦镭射扫描荧光显微术(confocal laser scanning fluorescence microscopy, CLSFM)、表面等离子体共振(surface plasmon resonance, SPR)、石英晶体微平衡(quartz crystal micro-balance, QCM)等。其中, SPR 技术以其高的灵敏度, 成为最具潜力的检测技术。目前, Cao [21]等开发了一种基于表面等离子体共振(SPR)技术竞争性抑制免疫测定人血清中 MA, 1%人血清中 MA 校准曲线范围: 0.69~500 ng/mL, 且具有良好特异性。Wang [22]等设计一种基于间接抑制免疫分析的 SPR 系统, 口服液样品中甲基苯丙胺检出限为 0.44 ng/mL, SPR 生物传感器灵敏度良好、快速、重现性好。

3.5. 毛细管电泳法(CE)

毛细管电泳是指使用弹性石英毛细管作为分离通道, 使用高压直流电场作为驱动力, 通过供试品内各组分淌度(单位电场强度下迁移速度)和(或)分配行为的差异从而达到分离的分析方法。根据机制可将毛细管电泳分为 3 类: 电泳型、色谱型、电泳/色谱型。常用于药物分析的毛细管电泳分离模式有: 毛细管区带电泳(capillary zone electrophoresis, CZE)、胶束电动毛细管色谱(micellar electrokinetic capillary chromatography, MECC)以及毛细管电色谱(capillary electrochromatography, CEC)等[23]。为了处理在 CE 中注入的少量分析物, 开发出了扫描和现场放大样品注入 FASI 等预浓缩程序, 近年来, 人们更加提倡绿色的预处理技术, 在不同基质中使用单滴微萃取(single drop microextraction, SDME) [24]、分散液液微萃取(dispersive liquid-liquid microextraction, DLLME) [25]或超声辅助乳化微萃取(ultrasound-assisted emulsification-microextraction, USAEME) [26]对样品进行清洗和对分析物进行预浓缩的处理已被报道。Rezazadeh [27]等首次研究了新型纳米碳质吸附剂在电膜包围固相微萃取中的应用, 所得检出限小于 2.0 ng/mL, 通过检查线性度可达 500 ng/mL。Choi [24]等人成功地采用了一种快速、高效的预浓缩策略, 该策略基于 SDME 在三相设计中的应用, 并将其与 CZE 联系, 用于尿液中三种初级胺化合物(包括苯丙胺)的手性分析。该方法的检出限为 0.4~2.0 ng/mL, 紫外检测灵敏度提高了 1000 倍, 且无验证试验, 是理想的检测方法。

3.6. 电化学检测(EC)

电化学传感器代替标准色谱和光谱方法已显示出很有前途的结果。近年来, 由于有必要开发便携式药物现场筛选设备, 因此选择 SPE 作为最佳的传感器平台。同时, 纸基电极的低成本和易处理性也引起了人们的关注, 并且有可能产生微流体模式, 允许受控的液体传输到电极[28]。在这方面, Narang [29]等人首次提出了一种与水热合成的 ZnO 纳米棒集成的电化学纸分析装置, 用于电化学传感器唾液、汗液和尿液中的 MDMA, 浓度范围(1 μ M 至 1 mM), 具有较好的回收率。2019 年, Akhoundian [30]等人结合了 Couto [31]、Cumba [32]、Bartlett [33]等人的分析方法及存在的缺点, 采用 MIP 策略, 将聚合物混合到多壁碳纳米管(multi-walled carbon nanotube, MWCNTs)中, 得到碳糊电极。使用快速傅里叶变换方波伏安法(FFT-SWV), 可以测量痕量甲基苯丙胺, 检测限为 8.3×10^{-10} mol/L, 是基于 MIP 的伏安传感器, 它也显示出有史以来最低的检出限, 快速筛选人尿液和血清样本中 MA。Mcgeehan [34]等采用电化学发光方法检测 MA, 在优化条件下, MA 在 50 pm~1 mM 范围内, 响应随浓度线性增加, 检出限为 50 pm, 该法技术简单、快速、灵敏, 是今后工作的重点领域。

3.7. 荧光检测法(FD)

荧光化学传感器为分子相互作用借助荧光信号的分子, 近年来, 荧光化学传感器在检测方面应用广泛。传统的荧光团(如荧光素和罗丹明)在溶液中具有高发射率, 因此荧光易于猝灭。新的荧光团如: 量子点(quantum dots, QDs)、花酰亚胺等已被发现。Du [35]等开发了一种新的技术, 通过组装四酮(4-(吡

啶-4-基)苯基)乙烯和葫芦[7]尿的 AIE 发光原,摩尔比为 4:1,对溶液中的甲基苯丙胺进行高灵敏度的检测。当 MA 溶液浓度大于 40 μM 时,可在紫外光照射下直接观察荧光强度的增强和荧光颜色的变化。当 MA 溶液浓度高于 10 μM 时,可以用制作的试纸快速、明显地检测。如果上述检测不起作用,可以测量传感系统的 PL 谱,其检出限低至 0.43 μM 。张天源[36]构建单链适配体-I 型核酸外切酶的非标记荧光传感体系,检测 MA 在 0~10 $\mu\text{mol/L}$ 内,与体系的荧光强度值所呈现的线性关系良好。Masteri-Farahani [37]等人用抗甲基安非他明(抗 METH)抗体化学修饰了硫化镉量子点(CdS-QDs),产生了一种具有选择性检测甲基苯丙胺受体位点的新型荧光纳米传感器。此法检测 MA 的检出限低至 0.006 mg/L,提供了简便、快速、有效的方法。Saberi [38]等 CoOOH 纳米片与碳点(CDs)结合用于荧光传感器,测定 MA。结果表明,CoOOH 具有良好的猝灭效率,荧光检出限为 1 nm,动态范围为 5~156 nm,是理想的传感器。

4. 总结与展望

随着毒品的严重泛滥以及毒品犯罪事件的不断发生,特别是新型毒品的甲基苯丙胺,泛滥尤为严重,传统的检测方法尽管已被广泛使用,但相比之下十分昂贵,费时,工人操作要求高。开发易于操作、绿色、低成本、高灵敏度的新策略需要继续去探索,为公安及医疗等部门提供有效、可靠的数据和证明,希望能为禁毒事业略尽绵薄之力。

基金项目

21701069 (国家自然科学基金青年基金项目); 2019-ZD-0607 (辽宁省自然基金指导计划); JLXH13514649 (吉林省教育学会“十三五”科研规划课题)。

参考文献

- [1] 邓益海. 正确认识新型毒品的种类与危害[J]. 农村百事通, 2014(17): 61-63.
- [2] 2019 年中国毒品形势报告[N]. 人民公安报, 2020-06-25(002).
- [3] Spivak, B., Shepherd, S., Borschmann, R., *et al.* (2020) Crystalline Methamphetamine (Ice) Use Prior to Youth Detention: A Forensic Concern or a Public Health Issue? *PLoS ONE*, **15**, e0229389. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229389>
- [4] 孙洪峰. 生物样品中常见毒品检测方法研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 首都师范大学, 2008.
- [5] 张金萍. 拉曼光谱法在甲基苯丙胺检测中的应用[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [6] 刘宁, 苗淼, 史国庆, 等. 冰毒成瘾者感觉寻求对攻击行为的影响: 自我控制和冲动性的多重中介效应[J]. 心理学进展, 2018, 8(7): 889-899.
- [7] 吴金涛. 褪黑素对甲基苯丙胺致行为敏化和神经毒性的干预作用及其机制研究[D]: [博士学位论文]. 济南: 山东大学, 2017.
- [8] 吴亚梅, 李恒松, 赵永娜. 甲基苯丙胺毒性损伤研究进展[J]. 中国药物滥用防治杂志, 2020, 9(3): 131-136.
- [9] 胡早秀, 于建云, 李桢. 甲基苯丙胺的毒性及危害[J]. 中国药物滥用防治杂志, 2005, 11(4): 228-230.
- [10] Campins Falco, P., Legua, C.M., Herraiz Hernandez, R., *et al.* (1995) Improved Amphetamine and Methamphetamine Determination in Urine by Normal-Phase High-Performance Liquid Chromatography with Sodium 1,2-Naphthoquinone 4-Sulphonate as Derivatizing Agent and Solid-Phase Extraction for Sample Clean-Up. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, **663**, 235-245. [https://doi.org/10.1016/0378-4347\(94\)00455-E](https://doi.org/10.1016/0378-4347(94)00455-E)
- [11] 傅强, 廖林川, 陈礼莉, 等. HPLC 法测定甲基苯丙胺与苯丙胺[J]. 四川大学学报(医学版), 2007, 38(6): 1025-1028.
- [12] Wang, R., Qi, X., Zhao, L., *et al.* (2016) Ionic-Liquid-Based Dispersive Liquid-Liquid Microextraction Coupled with High-Performance Liquid Chromatography for the Forensic Determination of Methamphetamine in Human Urine. *Journal of Separation Science*, **39**, 2444-2450. <https://doi.org/10.1002/jssc.201600170>
- [13] Taghvimi, A., Hamishehkar, H. and Ebrahimi, M. (2016) The Application of Magnetic Nano Graphene Oxide in Determination of Methamphetamine by High Performance Liquid Chromatography of Urine Samples. *Journal of the Ira-*

- nian Chemical Society*, **13**, 1471-1480. <https://doi.org/10.1007/s13738-016-0862-6>
- [14] Nishida, M., Namera, A., Yashiki, M., *et al.* (2003) Routine Analysis of Amphetamine and Methamphetamine in Biological Materials by Gas Chromatography-Mass Spectrometry and On-Column Derivatization. *Journal of Chromatography B Analytical Technologies in the Biomedical & Life Sciences*, **789**, 65-71. [https://doi.org/10.1016/S1570-0232\(03\)00069-2](https://doi.org/10.1016/S1570-0232(03)00069-2)
- [15] Bahmanabadi, L., Akhgari, M., Jokar, F., *et al.* (2016) Quantitative Determination of Methamphetamine in Oral Fluid by Liquid-Liquid Extraction and Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Human & Experimental Toxicology*, **36**, 195-202. <https://doi.org/10.1177/0960327116638728>
- [16] 彭山珊, 辛国斌, 王继芬, 等. 尿液中甲基苯丙胺、MDMA 和氯胺酮的 GC-MS 检测方法[J]. 刑事技术, 2020, 45(1): 24-29.
- [17] Vlase, L., Popa, D.S., Loghin, F., *et al.* (2009) High-Throughput Toxicological Analysis of Methamphetamine, Mda and Mdma from Human Plasma by LC-MS/MS. *Romanian Journal of Legal Medicine*, **17**, 213-220. <https://www.researchgate.net/publication/230997010>
<https://doi.org/10.4323/rjlm.2009.213>
- [18] Choi, H., Kim, S., Ahn, S., *et al.* (2016) Development of an Analytical Method for Simultaneous Detection of Psychotropic Phenylalkylamines in Hair by LC-MS/MS with a Multi-Mode Reversed-Phase Column Using pH Gradient Elution. *Forensic Sciences International*, **259**, 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.12.016>
- [19] Yang, C.A., Liu, H.C., Lin, D.L., *et al.* (2017) Simultaneous Quantitation of Methamphetamine, Ketamine, Opiates and Their Metabolites in Urine by SPE and LC-MS-MS. *Journal of Analytical Toxicology*, **41**, 679-687. <https://doi.org/10.1093/jat/bkx057>
- [20] 赵蒙, 王朝虹, 刘帅, 等. UPLC-MS/MS 测定唾液中的 3 种毒品成分[J]. 中国法医学杂志, 2018, 33(1): 65-67.
- [21] Cao, F., Xu, J., Yan, S., *et al.* (2018) A Surface Plasmon Resonance-Based Inhibition Immunoassay for Forensic Determination of Methamphetamine in Human Serum. *Forensic Chemistry*, **8**, 21-27. <https://www.researchgate.net/publication/322380450>
<https://doi.org/10.1016/j.forc.2018.01.003>
- [22] Wang, J., Yao, W., Meng, F., *et al.* (2019) A Surface Plasmon Resonance Immunoassay for the Rapid Analysis of Methamphetamine in Forensic Oral Fluid. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, **33**, e22993. <https://doi.org/10.1002/jcla.22993>
- [23] 郑曦妍, 刘宇, 贾锡荣, 等. 毛细管电泳技术在药物分析中的应用[J]. 药物资讯, 2020, 9(4): 137-141.
- [24] Choi, K., Kim, J., Jang, Y.O., *et al.* (2010) Direct Chiral Analysis of Primary Amine Drugs in Human Urine by Single Drop Microextraction In-Line Coupled to CE. *Electrophoresis*, **30**, 2905-2911. <https://www.researchgate.net/publication/26751816>
<https://doi.org/10.1002/elps.200800829>
- [25] AiradoRodriguez, D., CrucesBlanco, C. and GarciaCampaña, A.M. (2012) Dispersive Liquid-Liquid Microextraction Prior to Field-Amplified Sample Injection for the Sensitive Analysis of 3,4-Methylenedioxymethamphetamine, Phenylclidine and Lysergic Acid Diethylamide by Capillary Electrophoresis in Human Urine. *Journal of Chromatography A*, **1267**, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.10.011>
- [26] Alshana, U., Nilgun, G.G. and Erta, N. (2015) Ultrasound-Assisted Emulsification Microextraction for the Determination of Ephedrines in Human Urine by Capillary Electrophoresis with Direct Injection. Comparison with Dispersive Liquid-Liquid Microextraction. *Journal of Separation Science*, **35**, 2114-2121. <https://www.researchgate.net/publication/228064138>
<https://doi.org/10.1002/jssc.201200308>
- [27] Rezazadeh, M., Yamini, Y. and Seidi, S. (2015) Application of a New Nanocarbonaceous Sorbent in Electromembrane Surrounded Solid Phase Microextraction for Analysis of Amphetamine and Methamphetamine in Human Urine and Whole Blood. *Journal of Chromatography A*, **1396**, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.03.077>
- [28] Zanfognini, B., Pigani, L. and Zanardi, C. (2020) Recent Advances in the Direct Electrochemical Detection of Drugs of Abuse. *Journal of Solid State Electrochemistry*, No. 4, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10008-020-04686-z>
- [29] Narang, J., Singhal, C., Khanuja, M., *et al.* (2017) Hydrothermally Synthesized Zinc Oxide Nanorods Incorporated on Lab-on-Paper Device for Electrochemical Detection of Recreational Drug. *Artificial Cells Nanomedicine & Biotechnology*, **46**, 1586-1593. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1381614>
- [30] Akhoundian, M., Alizadeh, T., Ganjali, M.R., *et al.* (2019) Ultra-Trace Detection of Methamphetamine in Biological Samples Using FFT-Square Wave Voltammetry and Nano-Sized Imprinted Polymer/Mwcnts-Modified Electrode. *Talanta*, **200**, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.02.027>

- [31] Couto, R.A.S., Costa, S.S., Mounsef, B., *et al.* (2019) Electrochemical Sensing of Ecstasy with Electropolymerized Molecularily Imprinted Poly(o-phenylenediamine) Polymer on the Surface of Disposable Screen-Printed Carbon Electrodes. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **290**, 378-386. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.03.138>
- [32] Cumba, L.R., Smith, J.P., Zuway, K.Y., *et al.* (2016) Forensic Electrochemistry: Simultaneous Voltammetric Detection of Mdma and Its Fatal Counterpart “DR Death” (PMA). *Analytical Methods*, **8**, 142-152. <https://doi.org/10.1039/C5AY02924D>
- [33] Bartlett, C., Taylor, S., Fernandez, C., *et al.* (2016) Disposable Screen Printed Sensor for the Electrochemical Detection of Methamphetamine in Undiluted Saliva. *Chemistry Central Journal*, **10**, 3. <https://doi.org/10.1186/s13065-016-0147-2>
- [34] Mcgeehan, J. and Dennany, L. (2016) Electrochemiluminescent Detection of Methamphetamine and Amphetamine. *Forensic Science International*, **264**, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.02.048>
- [35] Du, X., Hao, H., Qin, A. and Tang, B.Z. (2020) Highly Sensitive Chemosensor for Detection of Methamphetamine by the Combination of AIE Luminogen and Cucurbit[7]uril. *Dyes and Pigments*, **180**, Article ID: 108413. <https://www.researchgate.net/publication/340469929>
<https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108413>
- [36] 张天源. 基于核酸适配体的非标记荧光技术检测甲基苯丙胺[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国人民公安大学, 2019.
- [37] Masteri-Farahani, M. and Mosleh, N. (2019) Modified CDS Quantum Dots as Selective Turn-On Fluorescent Nanosensor for Detection and Determination of Methamphetamine. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **30**, 21170-21176. <https://www.researchgate.net/publication/337148963>
<https://doi.org/10.1007/s10854-019-02490-8>
- [38] Saberi, Z., Rezaei, B., Faroukhpour, H. and Ensafi, A.A. (2018) A Fluorometric Aptasensor for Methamphetamine Based on Fluorescence Resonance Energy Transfer Using Cobalt Oxyhydroxide Nanosheets and Carbon Dots. *Microchimica Acta*, **185**, 303. <https://doi.org/10.1007/s00604-018-2842-2>