

## 色胺类新精神活性物质的研究进展

王柔嘉<sup>1,2</sup>, 向平<sup>1</sup>, 于治国<sup>2</sup>, 施妍<sup>1</sup>

(1. 司法鉴定科学研究院 上海法医学重点实验室 上海市司法鉴定专业技术服务平台, 上海 200063;

2. 沈阳药科大学 药学院, 辽宁 沈阳 110000)

**摘要:** 色胺类新精神活性物质是一类具有致幻作用的化合物, 作为新精神活性物质中的一大类, 新型色胺类物质与传统的管制药物具有相似的化学结构和性质, 却披着“合法的”外衣, 对个体健康和公共安全造成严重威胁。色胺类物质常见副作用为焦虑、恶心以及抑郁, 并且在过去几年中, 有关使用新型色胺类物质导致中毒和死亡报道不断出现, 引起了国际社会对色胺类物质的关注。但是由于不同色胺类物质的作用效力不同, 在生物体内存在含量差异, 加之缺乏相应的处理和分析等技术手段, 从而使得对于此类物质的检测变得困难, 因此, 通过综述多种色胺类新精神活性物质的体内过程、样品处理方法和分析方法, 以期为司法鉴定实践提供参考依据。

**关键词:** 色胺类新精神活性物质; 体内过程; 样品处理方法; 分析方法

中图分类号: DF795.4 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-2072.2019.04.007

文章编号: 1671-2072-(2019)04-0043-13

## Research Progress on New Psychoactive Tryptamines

WANG Roujia<sup>1,2</sup>, XIANG Ping<sup>1</sup>, YU Zhiguo<sup>2</sup>, SHI Yan<sup>1</sup>

(1. Shanghai Key Laboratory of forensic medicine, Shanghai Forensic Service Platform, Academy of Forensic Science,

Shanghai 200063, China; 2. School of Pharmacy, Shenyang Pharmaceutical University, Shenyang 110000, China)

**Abstract:** The new psychoactive tryptamines are a class of compounds with hallucinogenic effects. As a major class of new psychoactive substances, the new tryptamines have similar chemical structures and properties to traditional controlled drugs, but they wear a “legal” coat and pose a serious threat to individual health and public safety. Common side effects of tryptamines are anxiety, nausea, and depression, and reports of poisoning and death from the use of new tryptamines have emerged continually over the past few years, raising international attention to tryptamines. However, due to the different effects of different tryptamines, the differences in the contents of organisms, and the lack of corresponding processing and analysis techniques, the detection of such substances become difficult. Therefore, this paper summarizes the in vivo processes, sample processing methods and analytical methods for new psychoactive tryptamines, in order to provide reference for judicial identification practice.

**Keywords:** the new psychoactive substances of tryptamines; in vivo process; sample preparation methods; analytical methods

色胺类新精神活性物质是一类含有色胺结构框架、具有致幻作用的化合物。许多古老的色胺类化合物以其强烈的致幻作用而闻名, 如来自致幻蘑菇的赛洛西宾(Psilocybin)、赛洛新(Psilocin)和来自死藤水的二甲基色胺(DMT)。以赛洛新和赛洛西宾为代表的致幻蘑菇是传统的、天然的一类神经致幻剂, 服用后能使人产生致幻作用, 产生时间和空间的变形和幻觉。其最早是北美洲的印第安人在宗教祭祀中使用, 后因其使人产生欣快感而逐渐被滥用。近些年, 新型色胺类物质大量合成, 它们具有与传统管制药物相似的化学结构和性质, 却披着“合法的”外衣, 已经成为不法分子的新目标。色胺类物质(tryptamines)具有吲哚环结构, 是由吡咯环和苯环组成的融合双环, 通过二碳侧链与氨基相连, 目前已经确认的色胺类物质有45种(表1)。

菇的赛洛西宾(Psilocybin)、赛洛新(Psilocin)和来自死藤水的二甲基色胺(DMT)。以赛洛新和赛洛西宾为代表的致幻蘑菇是传统的、天然的一类神经致幻剂, 服用后能使人产生致幻作用, 产生时间和空间的变形和幻觉。其最早是北美洲的印第安人在宗教祭祀中使用, 后因其使人产生欣快感而逐渐被滥用。近些年, 新型色胺类物质大量合成, 它们具有与传统管制药物相似的化学结构和性质, 却披着“合法的”外衣, 已经成为不法分子的新目标。色胺类物质(tryptamines)具有吲哚环结构, 是由吡咯环和苯环组成的融合双环, 通过二碳侧链与氨基相连, 目前已经确认的色胺类物质有45种(表1)。

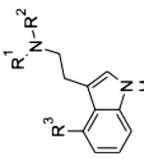
收稿日期: 2019-01-10

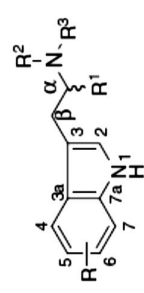
基金项目: 十三五国家重点研发计划(2016YFC0800704); 国家自然科学基金青年科学基金(81501633); 上海市法医学重点实验室项目(17DZ2273200); 上海市司法鉴定专业技术服务平台资助项目(19DZ2292700); 上海市科技攻关项目(19DZ1200600); 上海市法医学重点实验室开放课题(KF1908)

作者简介: 王柔嘉(1994—), 女, 硕士研究生, 主要从事法医毒物学研究。E-mail: 2498762009@qq.com。

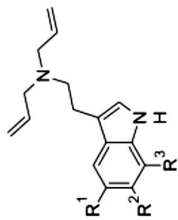
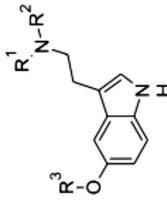
通信作者: 施妍(1984—), 女, 副研究员, 博士, 主要从事法医毒物分析研究。E-mail: shiy@ssfjd.cn。

表 1 色胺类新精神活性物质的结构

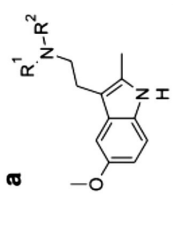
中文名	英文名	缩写	结构式
			
N,N-二烯丙基色胺	N,N-diallyltryptamine	DALT	R1 allyl R2 allyl R3 H
N,N-二甲基色胺	N,N-dimethyltryptamine	DMT	R1 methyl R2 methyl R3 H
N-甲基色胺	N-methyltryptamine	NMT	R1 methyl R2 H R3 H
N,N-二丙基色胺	N,N-dipropyltryptamine	DPT	R1 propyl R2 propyl R3 H
N-甲基-1-N-异丙基色胺	N-methyl-N-isopropyltryptamine	MIPT	R1 methyl R2 isopropyl R3 H
N-异丙基色胺	N-isopropyltryptamine	NIPT	R1 isopropyl R2 H R3 H
4-羟基-N,N-二甲基色胺	4-hydroxy-N,N-dimethyltryptamine	4-OH-DMT(Psilocin)	R1 methyl R2 methyl R3 OH
4-羟基-N-甲基-N-异丙基色胺	4-Hydroxy-N-methyl-N-isopropyltryptamine	4-OH-MIPT	R1 methyl R2 isopropyl R3 OH
4-羟基-N,N-二异丙基色胺	4-hydroxy-N,N-diisopropyltryptamine	4-OH-DIPT	R1 isopropyl R2 isopropyl R3 OH
4-羟基-N-甲基-N-乙基色胺	4-hydroxy-N-methyl-N-ethyltryptamine	4-OH-MET	R1 methyl R2 ethyl R3 OH
4-乙酰氧基-N,N-二异丙基色胺	4-acetoxy-N,N-diisopropyltryptamine	4-AcO-DIPT	R1 isopropyl R2 isopropyl R3 acetoxy
1-甲基-N,N-二甲基色胺	1-Methyl-N,N-dimethyltryptamine	1-Me-DMT	R1 H R2 methyl R3 methyl
N-甲基-N-氰甲基色胺	N-Methyl-N-cyanomethyltryptamine	MCMT	R1 H R2 methyl R3 CH2CN
N-甲基-N-乙基色胺	N-Methyl-N-ethyltryptamine	MET	R1 H R2 methyl R3 ethyl
N-甲基-N-丙基色胺	N-Methyl-N-propyltryptamine	MPT	R1 H R2 methyl R3 propyl
N-甲基-N-异丁基色胺	N-Methyl-N-isobutyltryptamine	MIBT	R1 H R2 methyl R3 isobutyl
N,N-二丁基色胺	N,N-Dibutyltryptamine	DBT	R1 H R2 butyl R3 butyl
N,N-二乙基色胺	N,N-Diethyltryptamine	DET	R1 H R2 ethyl R3 ethyl

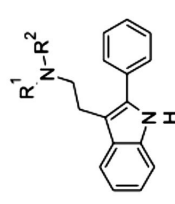


续表 1

中文名	英文名	缩写	结构式
			
5-甲基-N,N-二乙基色胺	5-methyl-N,N-diallyltryptamine	5-Me-DALT	R1: methyl, R2: H, R3: H
5,6-甲二氧基-N,N-二乙基色胺	5,6-methylenedioxy-N,N-diallyltryptamine	5,6-MD-DALT	R1: H, R2: methylenedioxy, R3: H
7-甲基-N,N-二乙基色胺	7-methyl-N,N-diallyltryptamine	7-Me-DALT	R1: H, R2: H, R3: methyl
7-乙基-N,N-二乙基色胺	7-ethyl-N,N-diallyltryptamine	7-Et-DALT	R1: H, R2: H, R3: ethyl
			
5-羟基-N,N-二甲基色胺	5-hydroxy-N,N-dimethyltryptamine	5-OH-DMT, bufotenin	R1: methyl, R2: methyl, R3: H
5-乙氧基-N,N-二烯丙基色胺	5-ethoxy-N,N-diallyltryptamine	5-EtO-DALT	R1: allyl, R2: allyl, R3: ethyl
5-苯甲氧基-N,N-二烯丙基色胺	5-benzyloxy-N,N-diallyltryptamine	5-BnO-DALT	R1: allyl, R2: allyl, R3: benzyl
5-苯甲氧基-N,N-二甲基色胺	5-benzyloxy-N,N-dimethyltryptamine	5-BnO-DMT	R1: methyl, R2: methyl, R3: benzyl
5-苯甲氧基-N,N-二丙基色胺	5-benzyloxy-N,N-dipropyltryptamine	5-BnO-DPT	R1: propyl, R2: propyl, R3: benzyl
5-苯甲氧基-N,N-二异丙基色胺	5-benzyloxy-N,N-diisopropyltryptamine	5-BnO-DIPT	R1: isopropyl, R2: isopropyl, R3: benzyl
5-甲氧基-N,N-二烯丙基色胺	5-methoxy-N,N-diallyltryptamine	5-MeO-DALT	R1: allyl, R2: allyl, R3: methyl
5-甲氧基-N,N-二丙基色胺	5-methoxy-N,N-dipropyltryptamine	5-MeO-DPT	R1: propyl, R2: propyl, R3: methyl
5-甲氧基-N,N-二异丙基色胺	5-methoxy-N,N-diisopropyltryptamine	5-MeO-DIPT	R1: isopropyl, R2: isopropyl, R3: methyl

续表 1

中文名	英文名	缩写	结构式
			
5-甲氧基-2-甲基-N-(2-甲烯丙基)-N-乙基色胺	5-methoxy-2-methyl-N-(2-methylallyl)-N-ethyltryptamine	5-MeO-2-Me-2MALET	R1: 2-methylallyl R2: ethyl
5-甲氧基-2-甲基-N,N-环戊烷基色胺	5-methoxy-2-methyl-N,N-pentamethylenetryptamine	5-MeO-2-Me-Pip-T	piperidine
5-甲氧基-2-甲基-N,N-四亚甲基色胺	5-methoxy-2-methyl-N,N-tetramethylenetryptamine	5-MeO-2-Me-Pyr-T	pyrrolidine
5-甲氧基-2-甲基-N-乙基-N-丙基色胺	5-methoxy-2-methyl-N-ethyl-N-propyltryptamine	5-MeO-2-Me-EPT	propyl
5-甲氧基-2-甲基-N-乙基-N-异丙基色胺	5-methoxy-2-methyl-N-ethyl-N-isopropyltryptamine	5-MeO-2-Me-EiPT	isopropyl
5-甲氧基-2-甲基-N,N-二丙基色胺	5-methoxy-2-methyl-N,N-dipropyltryptamine	5-MeO-2-Me-DPT	propyl
5-甲氧基-2-甲基-N,N-二甲基色胺	5-methoxy-2-methyl-N,N-dimethyltryptamine	5-MeO-2-Me-DMT	methyl
5-甲氧基-2-甲基-N,N-二烯丙基色胺	5-methoxy-2-methyl-N,N-diallyltryptamine	5-MeO-2-Me-DALT	allyl
5-甲氧基-2-甲基-N-烯丙基-N-环己基色胺	5-methoxy-2-methyl-N-allyl-N-cyclohexyltryptamine	5-MeO-2-Me-ALCHT	cyclohexyl
5-甲氧基-2-甲基-N,N-二异丙基色胺	5-methoxy-2-methyl-N,N-diisopropyltryptamine	5-MeO-2-Me-DIPT	isopropyl
5-甲氧基-2-甲基-N-甲基-N-异丙基色胺	5-methoxy-2-methyl-N-methyl-N-isopropyltryptamine	5-MeO-2-Me-MIPT	methyl isopropyl
2-苯基-N,N-二异丙基色胺	2-phenyl-N,N-diisopropyltryptamine	2-Ph-DiPT	R1: isopropyl R2: isopropyl
2-苯基-N,N-二甲基色胺	2-phenyl-N,N-dimethyltryptamine	2-Ph-DMT	methyl methyl
2-苯基-N,N-二烯丙基色胺	2-phenyl-N,N-diallyltryptamine	2-Ph-DALT	allyl allyl



1999年,自N,N-二异丙基-5-甲氧基胺(N,N-Diisopropyl-5-methoxy-tryptamine, 5-MeO-DiPT),俗称‘Foxy’滥用后,新型色胺类致幻剂不断出现,经互联网销售而流行。根据UNODC的报告,直到2012年,约10%的新精神活性物质为色胺类,仅次于合成大麻类(23%)、苯乙胺类(23%)和合成卡西酮类(18%)。

目前对于色胺类新精神活性物质分析方法的研究较少,仅有一些文献对单个色胺类化合物进行分析,如:BRANDT等<sup>[1]</sup>对DALT的研究、MATTIN等<sup>[2]</sup>对赛洛新的分析、FABREGAT等<sup>[3]</sup>对5-MeO-DiPT和5-MeO-MiPT的体内代谢研究,有少量文献报道对多种色胺类化合物进行分析,如MEYET等<sup>[4]</sup>对37种色胺类衍生物的定性定量分析等。因此本文综述多种色胺类化合物的体内过程、生物样品处理方法和分析方法,以期对色胺类新精神活性物质的进一步研究提供基础。

## 1 体内过程

不同色胺类物质进入体内后,代谢途径不同,产生的代谢物不同,分布的组织器官也有很大差别。一般情况下,大部分的色胺类物质都会经由单胺氧化酶(MAO)脱氨基作用进行代谢,因此,滥用者口服色胺类物质时通常配合单胺氧化酶抑制剂(MAOI)使用。

DMT经由MAO很快被代谢失活。5-MeO-DMT一方面经由单胺氧化酶A(MAO-A)的脱氨基作用

进行代谢,另一方面通过细胞色素P450酶CYP2D6进行O-脱甲基代谢产生活性代谢产物5-OH-DMT<sup>[5]</sup>,如图1所示。5-OH-DMT不能透过血脑屏障,在组织中由MAO-A氧化脱氨基作用代谢为5-羟基吲哚乙酸(5HIAA)<sup>[6]</sup>。当腹腔内给药时,最主要的代谢物为5-甲氧基吲哚乙酸(5MIAA)。

赛洛西宾在体内经过碱性磷酸酶的作用快速水解掉磷酸基团,转变为其活性代谢产物赛洛新<sup>[7]</sup>,在血液和尿液中赛洛新转变为4-羟基吲哚乙醇(4HT)和4-羟基吲哚乙酸(4HIAA)<sup>[8]</sup>(图2)。GRIESHABER<sup>[8]</sup>研究发现,赛洛新在肝中和葡萄糖醛酸结合,随后在尿中会出现赛洛新和葡糖苷的结合物。

5-MeO-DiPT在人体的尿液和血液中主要代谢为5-OH-DiPT和5-MeO-NiPT<sup>[9]</sup>。5-MeO-DiPT主要有三条代谢途径<sup>[10]</sup>(图3),O-脱甲基形成5-OH-DiPT;苯环6位直接羟基化,或者5-OH-DiPT的6位羟基化之后5位甲基化都可以形成6-OH-5-MeO-DiPT;通过N-脱烷基化将侧链降解为相应的仲胺5-MeO-NiPT<sup>[11-13]</sup>。定量数据显示,检测到的羟基化代谢物丰度最高,可能仍会发生II期反应,部分以硫酸盐或葡萄糖醛酸结合物消除。使用人肝微粒体进行动力学和抑制性体外研究,结果显示CYP2D6介导5-MeO-DiPT的O-去甲基化,CYP1A1负责羟基化为6-OH-5-MeO-DiPT,而同工酶CYP2C19,1A2和3A4介导N-脱烷基化<sup>[11]</sup>。5-MeO-MiPT在体内的代谢途径与5-MeO-DiPT相似(图3)。

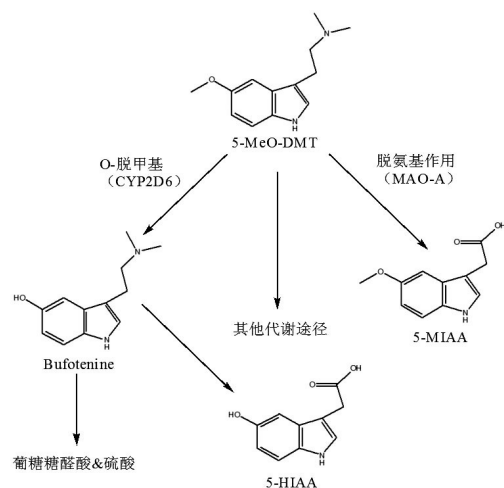


图1 5-MeO-DMT体内代谢途径

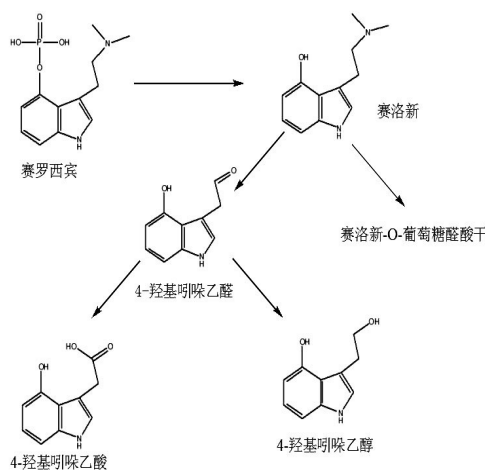


图2 赛洛西宾体内代谢途径

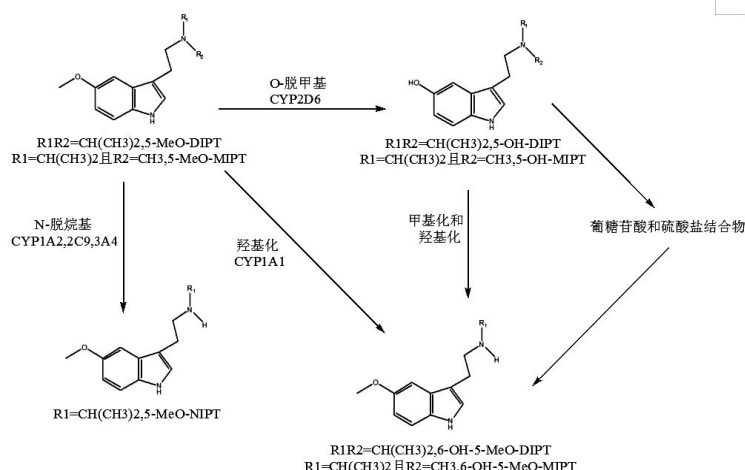


图 3 5-MeO-DIPT 和 5-MeO-MIPT 体内代谢途径

## 2 样品处理

色胺类新精神活性物质的样品主要包括两大类,生物检材和体外样品。

生物检材是案件破获的重要依据,生物检材的选择、采集直接影响着分析数据的准确性和结果判断的科学性,对于涉毒认定、分析结果的解释与判断至关重要。血液和尿液是体内滥用物质分析最为普遍采用的检材,近年来,对于非常规检材如头发等的关注度显著增加。

### 2.1 体液

色胺类致幻剂作为新精神活性物质的一种,体内分析研究较少,在体液方面仅有血液和尿液等的资料。血液在吸毒死亡判断等方面有很大的使用价值,可以有效的反映药物作用强度和中毒程度。但是由于血液中滥用物质的浓度比较低,比尿中低10~100倍,并且采集血液需要静脉穿刺,易导致反感,加之血液在免疫筛选和确证分析中都有更高的要求,费时费力,因此尿液分析是血液分析的一个很好补充。

#### 2.1.1 液液萃取(liquid-liquid extraction, LLE)

由于原型药物色胺为胺类化合物,故可将样品调制成弱碱性进行液液萃取。

TURCANT 等<sup>[14]</sup>综述了某机构六年来一些新精神活性物质的临床和生物学数据,其中包括 AMT 和 5-MeO-DMT 两种色胺类物质。在血浆的生物样

品处理时采用了两种不同的液液萃取方法。一种方法是将样品在碱性条件下直接萃取;另一种是先在碱性条件下进行,之后采用反酸性萃取。HSIAO 等<sup>[15]</sup>在分离和检测 18 种苯乙胺/色胺衍生物的实验中对于尿液采用 LLE 的处理方法,通过加入 1g 碳酸钾,使尿液呈碱性。AMBACH<sup>[16]</sup>使用 LLE 对尿液样品进行处理,来鉴定和定量 56 种新精神活性物质,通过加入 500  $\mu\text{L}$  10 mol/L 的 NaOH 来调节尿液酸碱性。

有些实验的 LLE 过程也在中性环境中展开。MEYET 等<sup>[4]</sup>在对 37 种色胺类物质(包括其衍生物)进行定性定量分析时,采用 LLE 对血浆进行样品处理。使用乙酸丁酯和乙酸乙酯的混合溶液(50:50, v/v)作为血浆样品的萃取液。复溶时选取流动相 A (10 mmol/L 的甲酸铵和甲酸水溶液, pH=3.4)和流动相 B(乙腈和 0.1%的甲酸)混合溶剂。

#### 2.1.2 固相萃取(solid-phase extraction, SPE)

LLE 的样品处理过程花费时间较长,在分析之前通常需要预浓缩提取物,并且需要大量昂贵、有毒、对环境有害的有机试剂<sup>[17]</sup>。SPE 是近年发展起来一种样品预处理技术,与传统的液液萃取法相比较可以提高分析物的回收率,更加快捷、更有效的将分析物与干扰组分分离。不论是尿液还是血液,多数文献样品处理方式均采用了 SPE。

SIMONA 等<sup>[18]</sup>在进行尿液中致幻类物质测定时,对非水解和酶水解的尿液进行固相萃取,除亲水性的 4-OH-DIPT 的提取回收率为 55%~60%,其

余物质均大于70%。AMBACH等<sup>[16]</sup>在检测和定量全血中56种新精神活性物质(包含色胺类物质)时,使用Bond Elut Certify的固相萃取柱(SPE柱),DiPT、DMT、5-MeO-DALT、5-MeO-DMT的提取效率分别为64%、69%、64%、66%。WOHLFARTH<sup>[19]</sup>对血浆样品进行处理时,使用Gilson GX-274 Aspec(Middleton, USA) SPE柱,在使用之前用甲醇和pH=6的磷酸盐缓冲溶液进行活化。用水、乙酸、甲醇依次进行清洗,然后用二氯甲烷:异丙醇:25%氨水(80:2:2)进行洗脱。结果MiPT和5-MeO-DMT的提取回收率都很高,均值分别达到77%和79%,DiPT的提取回收率达到82%。TANG等<sup>[20]</sup>在同时检测93种常规和新兴的滥用药物及其尿中代谢物的实验中使用SPE,SPE柱在使用前依次用甲醇、去离子水和pH=6的磷酸盐缓冲溶液活化。其中,新精神活性物质有赛洛新、5-MeO-DiPT、DMT、AMT等色胺类化合物,除赛洛新的提取效率为65%,其余均高于70%。

综上,使用固相萃取的方法进行生物样品处理,平均提取回收率接近70%,因此固相萃取已经成为液液萃取的很好补充,为样品处理提供了一种新的有前景的方法。

### 2.1.3 蛋白质沉淀法

蛋白沉淀法是毒物分析过程中对生物样品进行处理的一种常用方式。对于富含蛋白质的检材,在进行分离、提取时要将大量干扰测定的蛋白质沉淀除去,使待测毒物仍留存于溶液中。

TURCANT等<sup>[14]</sup>在其综述中提到了使用蛋白沉淀法对血浆和尿液进行样品处理,用以检测其中的新精神活性物质,包括AMT和5-MeO-DMT两种色胺类物质。取100 μL血浆加入150 μL甲醇溶液,加200 μg/L甲基米那普仑作为内标物质,上清液用去离子水稀释4倍,取10 μL进样。有关文献介绍的生物样品处理方法中较少采用蛋白沉淀的方法,相较于前两种处理方法,蛋白沉淀的提取回收率较低,由于尿液干扰成分相对较少,因此相对于血液,尿液的处理方法大多采用蛋白沉淀。

## 2.2 毛发

在药物辅助犯罪和其他刑事调查中,通过测试毛发中的药物来帮助破案非常常见。使用毛发作为分析基质的优点是,相对于其他生物基质来说,毛

发可以提供长程用药信息,并且其掺假的可能性较小,不会受到短期内禁毒的影响,易于收集和储存无损伤性。由于在代谢之前,分子很大程度上从汗液,血流和皮脂渗入角蛋白基质中,因此毛发中通常出现母体化合物,这就为毒理学家的分析提供了补充信息。

BOUMBA等<sup>[21]</sup>对毛发中存在的132种新精神活性物质进行提取分析,鉴别出DMT等色胺类新精神活性物质。在进行生物样品处理之前,先用0.1 mol/L盐酸甲醇、0.1 mol/L甲酸甲醇和甲醇做提取溶剂进行比较,结果发现对于大多数新精神活性物质,0.1 mol/L盐酸甲醇的提取效率最高,但是对于DMT等色胺类物质来说,三种提取溶剂的提取效率相差不大。该课题组又对毛发提取混合物的孵化时间以及进样量进行试验和讨论,发现孵化时间3 h,进样量2 μL最佳。

MARTIN等<sup>[2]</sup>分析了头发中的赛洛新等成分,由于赛洛新性质极不稳定,易分解,因此在处理过程中加入了0.1 mol/L的抗坏血酸和盐酸(0.01 mol/L)甲醇(1:1)来抑制降解过程。该实验运用固相萃取处理,洗脱液为2%氢氧化铵的三氯甲烷异丙醇,洗脱之后用40℃氮气吹干,流动相复溶。PICHINI等<sup>[22]</sup>鉴别头发中存在的致幻类物质,用甲醇和乙醚清洗头发,考虑到赛洛新和赛洛西宾的不稳定性,加入250 μL酸性水缓冲溶液于100℃加热1 h,最后冷却至室温,稀释,进样。通过此方法得到的赛洛新、赛洛西宾和DMT的平均提取回收率为89.4%、89.3%、83.4%,其中以0.06 ng/mg的样品得到的提取回收率最高,赛洛新和赛洛西宾均达到90%以上。

## 2.3 体外样品

色胺类的体外样品有很多种,包括粉末,胶囊,片剂或干燥植物/蘑菇材料产品的精细粉末。KIKURA等<sup>[23]</sup>用甲醇作为提取溶剂超声十分钟,提取后加入内标,离心取上清,进液相分析。TURCANT等<sup>[14]</sup>在处理色胺类粉末时,采用甲醇提取进样。NAKAZONO等<sup>[24]</sup>对14种色胺类粉末进行鉴定,在蒸馏水中加入药物粉末,将样品用2 mol/L氢氧化钠溶液碱化,然后用乙酸乙酯萃取,离心后取上清进样。相比于基质复杂的体内样品,体外样品的处理方式简单直接,但是对于毒物分析和法医毒化来说面

对的往往是基质众多的体内样品,因此选择一个提取回收率高、基质效应小的处理方法显得尤为重要。

### 3 分析方法

致幻剂有很多同分异构体,需要采用色谱的方

法进行分离,其分析方法有很多种,气相色谱-质谱联用法(GC-MS),液相色谱法(LC),液相色谱串联质谱法(LC-MS)。多种色胺类物质的样品处理以及分析方法见表2。

表2 色胺类新精神活性物质的分析方法

目标物	检材	样品处理	仪器分析	色谱柱	LOD /LOQ / (ng/mL)	参考文献
DMT 5-MeO-DMT	尿液、血液	LLE	LC-MS Q (SIM)	XTerra® MS-C18 柱 (100 mm×3.0 mm, 3.5 μm)	-/10	[32]
AMT	尿液、组织	SPE	GC-MS Q (SIM)	DB-17MS (30 m×0.25 mm, 膜厚度 0.25 μm)		[33]
AMT 5-MeO-DiPT	尿液、血液	SPE	GC-MS Q (SIM)	HP-1MS (30 m×0.25 mm, 膜厚度 0.25 μm)	1/-	[34]
AMT DMT DET DPT DBT DIBT 5-MeO-AMT 5-MeO-DMT 5-MeO-DiPT	混合基质	稀释	GC-MS Q	HP-5MS (30 m×0.25 mm, 膜厚度 0.25 μm)	500~15 000; 300~1 000/-	[35]
5-MeO-DiPT 5-MeO-引哚乙酸 5-MeO-NiPT 5-MeO-N-氧化物 5-OH-DiPT	尿液、血清	LLE	GC-MS ION TRAP	DB-5MS (30 m×0.25 mm, 膜厚度 0.25 μm)		[13]
AMT DMT 5-MeO-AMT DET DPT DBT 5-MeO-DMT DiPT	粉末	稀释 分析物掺杂的 基质晶体的 固体沉积	GC-MS Q (fullscan) TOF	HP-5MS (30 m×0.25 mm, 膜厚度 0.25 μm)		[36]
5-MeO-DiPT 5-MeO-NiPT 5-MeO-N-氧化物 5-MeO-引哚乙酸	尿液、血液	LLE	GC-MS ION TRAP (full-scan)	DB-1MS (15 m×0.25 mm, 膜厚度 0.25 μm)		[37]
5-MeO-MiPT	粉末		GC-MS Q	HP-5MS (30 m×0.32 mm, 膜厚度 0.25 μm)		[38]
4-OH-DiPT 4-acetoxy-DiPT	尿液	SPE	LC-MS Q (SIM)	Electron Hipersil Gold (150 mm×4.6 mm, 5 μm)	11~16/36~53	[39]
AMT DiPT DPT DMT MiPT 5-MeO-DMT	血浆、血清	SPE	LC-MS QQQ (MRM)	Synergi Polar 反相柱 (150 mm×2 mm, 4 μm)	1~2.5/-	[19]
4-OH-MET DiPT DPT DMT	尿液	稀释	LC-MS QQQ (SRM)	Ethylene Bridged Hybrid (BEH) C18 柱 100 mm×2.1 mm, 1.7 μm	3~10/5~10	[40]

续表 2

目标物	检材	样品处理	仪器分析	色谱柱	LOD /LOQ /(ng/mL)	参考 文献
DALT DMT NMT DPT MiPT 4-OH-DMT 4-AcO-DiPT 5-Me-DALT 5-OH-DMT	尿液、血浆	PP(尿液) LLE(血浆)	LC-MS LTQ (full scan, PIS,IDA)	TF Hypersil GOLD C18 柱 (100 mm×2.1 mm, 1.9 μm)	10~100; 1~100/-	[4]
5-MeO-DiPT 5-OH-DiPT 5-OH-5-MeO-DiPT 5-MeO-NiPT	尿液	LLE	GC-MS/ LC-MS Q (fullscan) QQQ (PIS)	GC 柱:DB-5MS (30 m×0.25 mm, 膜厚度 0.25 μm) LC 柱:半微量 L 型 ODS (150 mm×1.5 mm, 3 μm)		[41]
AMT DMT DPT 5-MeO-DiPT	尿液、血液	SPE	GC-MS/ LC-MS Q (SIM)	GC 柱:ZB-1 (30 m×0.25 mm, 膜厚度 0.25 μm) LC 柱:Luna <sup>®</sup> phenylhexyl column (100 mm×2.1 mm, 3 μm)	5/-	[42]
5-MeO-DALT 5-MeO-MiPT	晶体、粉末	稀释	GC-MS/ LC-MS Q (fullscan) Orbitrap	GC 柱:J&W 5%苯基 -聚甲基硅酮毛细管柱 (17 m×0.2 mm, 膜厚度 0.33 μm) LC 柱:Acclaim RSLC120 C18 分析柱 (100 mm×2.1 mm, 2.2 μm)		[43]

注:Q:四级杆;QQQ:三重四级杆;SIM:选择离子检测;SRM:选择反应监测;MRM:多反应监测;PIS:前体离子选择;SPE:固相萃取;LLE:液液萃取;PP:蛋白沉淀;LOD:检测限;LOQ:定量限。

### 3.1 GC-MS

GC-MS 曾被公认为滥用物质分析的金标准。NAKAZONO 等<sup>[24]</sup>对 14 种色胺类粉末进行鉴定,主要研究目的是采用不同的分析方法区分色胺类同分异构体。在进行 GC-MS 前,用四甲基硅烷(TMS)作为衍生化试剂,通过 GC-MS 的电子电离模式可以区分全部 14 种色胺类中的同分异构体,LC-MS 能够分辨出 14 种色胺中的多数,但是对于 5-MeO-DET 和 5-MeO-MiPT 两种同分异构物质的分离却无能为力。该实验最后结果显示用于色胺类物质的分析方法应该首选通过 TMS 衍生化之后的 GC-MS,液相色谱串联质谱的方法可以作为 GC-MS 的一个很好的补充。

PALMA 等<sup>[25]</sup>用 GC-MS 的方法对 2012-2015 年间得到的样品进行色胺类物质的分析,分析柱为 5%苯基甲基硅氧烷柱。通过 NIST 14 等 4 个数据库检索化合物,结果检测出了 21 种色胺类物质。F&REC 等<sup>[26]</sup>在研究 5-羟色胺综合征时,使用 GC-

MS 对处理过的尿样进行分析,在尿中检测到 AMT。相较于液质,GC-MS 在定量之余更能给我们许多未知物定性的信息,各种数据库则是其强大的后援。

在毒物、药物和环境分析中有相当一部分分析对象及其代谢物或分解产物是热不稳定的, KIKURA 等<sup>[23]</sup>对 19 种色胺类和苯乙胺类物质进行定量时,采用 GC-MS,结果发现无法检测到赛洛西宾,原因是在高温条件下赛洛西宾分解为赛洛新。气相色谱只能分离易挥发且难分解的物质,因此使用液相的分析方法逐渐成为药物毒物研究的主流。

### 3.2 液相色谱法(LC)

生物样品基质复杂,生物样品量少且分析物浓度低,样品数量大,因此要求分析方法具有灵敏度高,分析时间短,高通量和筛选的优点,所以 LC 得到了广泛应用。根据检测器的不同,LC 又可以分为液相色谱-紫外检测器(LC-UV)、液相色谱-化学发光氮检测器(LC-CLND)。

### 3.2.1 LC-UV

紫外检测器(UV)是一种光谱检测器,紫外光谱是最具实用性的检测途径。大部分物质在溶液状态下都具有紫外吸收,色胺类致幻剂也不例外,其吸收值与物质的量具有极好的线性,专属性也非常好。FèREC等<sup>[26]</sup>用多种分析方法对AMT及其代谢物进行分析,通过LC-UV中的UV图谱将一未知峰最终归属于AMT,AMT在0.05~2 μg/mL之间的校准曲线是线性的,其相关系数 $r>0.998$ 。

### 3.2.2 LC-CLND

色胺类物质本身是单胺类生物碱,所以液相色谱-化学发光氮检测(LC-CLND)在一定程度上属于色胺类物质的专属性分析方法。在众多液相色谱检测器中,化学发光检测器(CLD)结构简单,灵敏度高。RASANEN等<sup>[27]</sup>使用该方法对包括DMT在内的177个样品中的61种新精神活性物质进行定量分析,发现此方法可以作为新精神活性物质的量化方法,适合于色胺类、苯乙胺类以及卡西酮类致幻剂。随着毒品现场的不断变化,在法医实验室中使用这项技术为案例中的量化和评估提供了一种独特的新的方法。

### 3.3 液相色谱串联质谱法(LC-MS)

由于MS可以提供结构信息,用来定性有一定的优势,因此LC-MS应用最为广泛。液相色谱与质谱联用,尤其是与串联质谱(MS/MS)的联用得到了极大的重视和发展。

AMBACH等<sup>[16]</sup>对血液和尿液中的56种新精神活性物质使用LC-MS/MS进行检测和定量,该课题组为了提高灵敏度,尤其是提高一些保留时间靠前的化合物的灵敏度,在柱后加入2-丙醇,并以0.2 mL/min的流速通过T型管。结果显示,在两种生物基质中,使用该方法得到的LLOQ集中在1.0~10 ng/mL之间,几种色胺类物质在血液中除DMT的LLOQ稍高为5.0 ng/mL之外,其余5-MeO-DiPT、5-MeO-DMT、AMT和DiPT的LLOQ都为2.5 ng/mL,而在尿液中的LLOQ基本稳定在1 ng/mL,从中不仅可以看出尿液中的基质影响较小,还可以了解到此方法的灵敏度较高。

ADAMOWICZ等<sup>[28]</sup>对143种新精神活性物质进行简单快速筛选,其中包含18种色胺类物质。其中4-OH-DET的LOD最低,为0.06 ng/mL,4-MeO-DMT

的LOD最高,为2.98 ng/mL。

BOUMBA等<sup>[21]</sup>将毛发作为检材,对头发中的132种新精神活性物质进行LC-MS/MS分析。结果显示大多数的新精神活性物质LOD集中在0.001 ng/mg和0.01 ng/mg,其中DMT的LOD为0.01 ng/mg,平均基质效应为104%,平均提取回收率为74%~86%。

### 3.3.1 LC-HRMS

LC-HRMS相对于LC-MS来说具有更高的灵敏度,高分辨率质谱的 $m/z$ 能精确到小数点后四位,能分开质量相差很小的离子,定性更具有优势,解谱更加准确。

FABREGAT等<sup>[3]</sup>通过鉴定小鼠的尿液和血液来寻找5-MeO-MiPT在生物体内的代谢物。在通过液液萃取的生物样品处理方式之后,使用LC-HR-MS进行代谢物的分析。最终根据代谢物确定了5-MeO-MiPT在体内代谢的三种途径。

### 3.3.2 HILIC-HRMS/MS

亲水作用色谱(HILIC)对极性化合物有很好的保留,流动相含有高比例的水溶性有机溶剂,与MS能很好的兼容,可以提高检测的灵敏度。亲水作用色谱法已被广泛报道适用于极性化合物的色谱分析。WAGMANN等<sup>[29]</sup>在研究AMT类似物等新型精神活性物质对体外单胺氧化酶的抑制潜力时采用了HILIC-HR-MS/MS分析方法。结果发现干扰组分的响应比LLOQ处分析物的响应和IS的响应分别小20%和5%,证明了该方法的选择性较好。

综上所述,同为色胺类物质,使用同样的液相色谱,但是串联不同的检测器,得到的结果会有所差异。如果想要了解化合物的分子量和充足的结构信息,应该选择LC-MS;如果想要定性更准确,具有更高的灵敏度,高分辨质谱是最好的选择;在考虑到经济成本的情况下,紫外检测作为一种已经非常成熟的技术,是不错的选择;化学发光检测器在检测荧光类物质时由于不存在背景干扰,灵敏度非常高。因此,在选择分析方法时,要根据实际的实验过程和目的选择最适合的方法。

## 4 案例报道

近年,仅有数例涉及色胺类新精神活性物质的案例报道(表3)。如,STICHT等<sup>[30]</sup>报道了两名男性在口服蘑菇粉(主要成分赛洛西宾)后的状况,研究

发现短时间内赛洛西宾可以转变为赛洛新,在体液中均可以检测到赛洛新。HASKER等<sup>[46]</sup>报道的某案例中显示,两男性血浆中游离赛洛新占35%,在尿中仅占13%。TANAKA等<sup>[9]</sup>报道了某男,29岁,使用5-MeO-DiPT后中毒死亡情况,在血液检测到3种物质,5-OH-DiPT,5-MeO-DiPT以及5-MeO-NiPT,其含量分别0.327、0.142、0.020 μg/mL。WIL-

SON等<sup>[31]</sup>报道了某男,23岁,白色人种,使用5-MeO-DiPT后中毒情况,其血清中该物质含量为0.14 μg/mL,尿液中为1.6 μg/mL,尿中代谢物含量为0.17 μg/mL。由于对于色胺类新精神活性物质的体内研究资料较少,因此需要科研人员及其法医鉴定人员的进一步研究和积累。

表3 典型案例

案情摘要	毒物分析结果	参考文献
两名年轻男性口服4~5g蘑菇粉后,出现大笑不止,感觉异常和呕吐。送医院后发现其行为迟缓,走路不稳,口齿不清,眩晕,瞳孔放大,思维混乱等。滥用后5~6h抽取尿液和血液	血清:游离 Psilocin 18 ng/mL 总 Psilocin 52 ng/mL 尿液:游离 Psilocin 230 ng/mL 总 Psilocin 1760 ng/mL	[30]
某男,23岁,白色人种,同时服用4罐啤酒及一粒胶囊,30min后出现呕吐、幻觉、焦虑、恐慌等,送医院抢救。滥用后4h采集尿液和血液样品	血清:5-MeO-DiPT 0.14 μg/mL 尿液:5-MeO-DiPT 1.6 μg/mL	[31]
某男,29岁,约在21:00从肛门滴入5-MeO-DiPT溶液,不久即出现强烈激动情绪,送医院抢救无效于凌晨00:30死亡。尸检取血液和尿液。	血液:5-MeO-DiPT 0.142 μg/mL 5-OH-DiPT 0.327 μg/mL 5-MeO-NiPT 0.020 μg/mL 尿液:5-MeO-DiPT 1.67 μg/mL 5-OH-DiPT 27.0 μg/mL 5-MeO-NiPT 0.320 μg/mL	[9]
口服5-MeO-MiPT后中毒,15h后采集尿液	尿液:5-MeO-MiPT 0.06 μg/mL 5-OH-MiPT 27.0 μg/mL 6-OH-5-MeO-MiPT 16 μg/mL 5-OH-NiPT 0.24 μg/mL	[44]
口服5-MeO-MiPT后4h从高空坠落死亡,尸体采集血液	血液:5-MeO-MiPT 0.18 μg/mL 5-OH-MiPT 0.02 μg/mL 6-OH-5-MeO-MiPT 0.18 μg/mL 5-OH-NiPT 0.01 μg/mL	[44]
某男,25岁,白色人种,自行走上高速公路,表现古怪异常。终被货车撞伤,抢救无效死亡。经调查,死者生前曾吸食350mg的毒品。尸检取血液进行毒物分析。	血液:5-MeO-DALT 检出乙醇 0.22 mg/mL	[45]

## 5 结论

色胺类新精神活性物质对公众健康和安全造成严重威胁,尤其是新型色胺类物质的出现使得分析检测变得更加困难。本文综述了多种色胺类化合物的体内过程、样品处理方法和分析方法,以期建立可靠、稳定的分析检测方法分析生物样品中色胺类新精神活性物质,并将其应用到司法鉴定实践。

### 参考文献:

- [1] BRANDT S D, KAVANAGH P V, DOWLING G, *et al.* Analytical Characterization of, N-Diallyltryptamine (DALT) and 16 Ring-Substituted Derivatives[J]. *Drug Testing and Analysis*, 2017, 9(1): 115-126.
- [2] MARTIN R, SCHÜRENKAMP J, GASSE A, *et al.* Analysis of Psilocin, Bufotenine and LSD in Hair[J]. *Journal of Analytical Toxicology*, 2015, 39(2): 126-129.
- [3] FABREGAT-SAFONT D, BARNEO-MUNOZ M, MARTINEZ-GARCIA F, *et al.* Proposal of 5-Methoxy-N-Methyl-N-Isopropyltryptamine Consumption Biomarkers Through Identification of in Vivo Metabolites from Mice[J].

- J Chromatogr A, 2017, 1508(95–105).
- [4] MEYER M R, CASPAR A, BRANDT S D, *et al.* A Qualitative/Quantitative Approach for the Detection Of 37 Tryptamine-Derived Designer Drugs, 5 B-Carbolines, Ibo-gaine, and Yohimbine In Human Urine and Plasma Using Standard Urine Screening and Multi-analyte Approaches[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2013,406 (1): 225–237.
- [5] SHEN H-W, JIANG X-L, WINTER J C, *et al.* Psychedelic 5-Methoxy-N,N-Dimethyltryptamine: Metabolism, Pharmacokinetics, Drug Interactions, and Pharmacological Actions[J]. Current Drug Metabolism, 2010, 11(8): 659–666.
- [6] FULLER R W, SNODDY H D, PERRY K W. Tissue Distribution, Metabolism and Effects of Bufotenine Administered to Rats[J]. Pergamon, 1994, 34(7): 799–804.
- [7] LINDENBLATT H, KRAMER E, HOLZMANN-ERENS P, *Et Al.* Quantitation of Psilocin In Human Plasma by High-performance Liquid Chromatography and Electrochemical Detection: Comparison of Liquid-liquid Extraction with Automated On-line Solid-phase Extraction[J]. Journal of Chromatography B, 1998, 709(255–263).
- [8] GRIESHABER A F, MOORE K A, LEVINE B . The Detection of Psilocin in Human Urine[J]. Journal of Forensic Sciences, 2001, 46(3): 627–630.
- [9] TANAKA E, KAMATA T, KATAGI M, *Et Al.* A Fatal Poisoning with 5-Methoxy-N, N-Diisopropyltryptamine, Foxy[J]. Forensic Sci Int, 2006, 163(1–2): 152–154.
- [10] ARAUJO A M, CARVALHO F, BASTOS MDE L, *et al.* The Hallucinogenic World of Tryptamines: An Updated Review[J]. Arch Toxicol, 2015, 89(8): 1151–1173.
- [11] KAMATA T, KATAGI M, KAMATA H T, *et al.* Metabolism of the Psychotomimetic Tryptamine Derivative 5-Methoxy-N,N-Diisopropyltryptamine In Humans: Identification and Quantification of Its Urinary Metabolites[J]. Drug Metabolism & Disposition, 2006, 34(2): 281–7.
- [12] MEATHERALL R, SHARMA P. Foxy, A Designer Tryptamine Hallucinogen[J]. Journal of Analytical Toxicology, 2003, 27 (5): 313–317.
- [13] WILSON J M, MCGEORGE F, SMOLINSKE S, *et al.* A Foxy Intoxication[J]. Forensic Science International, 2005, 148(1): 31–36.
- [14] TURCANT A, DEGUIGNE M, FEREC S, *et al.* A 6-Year Review of New Psychoactive Substances at the Centre Antipoison Grand-ouest d’Angers: Clinical and Biological Data[J]. Toxicologie Analytique et Clinique, 2017, 29(1): 18–33.
- [15] HSIAO Y, LIU J-T, LIN C-H. Simultaneous Separation and Detection of 18 Phenethylamine Tryptamine Derivatives by Liquid Chromatography-UV Absorption and Electrospray Ionization Mass Spectrometry [J]. Analytical Sciences, 2009, 25(759–763).
- [16] AMBACH L, ANA, REDONDO H, *et al.* Detection And Quantification of 56 New Psychoactive Substances in Whole Blood and Urine By LC – MSMS[J]. Research Artical, 2015, 7(9): 1119–36.
- [17] BARRIONUEVO W R, LANCAS F M. Comparison of Liquid-Liquid Extraction (LLE), Solid-Phase Extraction (SPE), and Solid-phase Microextraction (SPME) for Pyrethroid Pesticides Analysis from Enriched River Water[J]. Bull Environ Contam Toxicol, 2002, 69(1): 123–128.
- [18] SIMONA P, MITONA P, EMILIA M, *et al.* Liquid Chromatography-atmospheric Pressure Ionization Electrospray Mass Spectrometry Determination of “Hallucinogenic Designer Drugs” in Urine of Consumers[J]. Journal of Pharmaceutical & Biomedical Analysis, 2008, 47(2): 335–342.
- [19] WOHLFARTH A, WEINMANN W, DRESEN S. LC-MS/MS Screening Method for Designer Amphetamines, Tryptamines, and Piperazines in Serum[J]. Anal Bioanal Chem, 2010, 396(7): 2403–2414.
- [20] TANG M H, CHING C K, LEE C Y, *et al.* Simultaneous Detection of 93 Conventional and Emerging Drugs of Abuse and Their Metabolites In Urine by UHPLC-MS/MS[J]. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci, 2014, 969 (272–284).
- [21] BOUMBA V A, DI RAGO M, PEKA M, *et al.* The Analysis of 132 Novel Psychoactive Substances in Human Hair Using a Single Step Extraction by Tandem LC/MS[J]. Forensic Sci Int, 2017, 279(192–202).
- [22] PICHINI S, MARCHEI E, GARCIA-ALGAR O, *et al.* Ultra-High-Pressure Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry Determination of Hallucinogenic Drugs in Hair of Psychedelic Plants and Mushrooms Consumers[J]. J Pharm Biomed Anal, 2014, 100(284–289).
- [23] KIKURA-HANAJIRI R, HAYASHI M, SAISHO K, *et al.* Simultaneous Determination of Nineteen Hallucinogenic Tryptamines/Beta-Carbolines and Phenethylamines Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Liquid Chromatography-electrospray Ionisation-mass Spectrometry[J]. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci, 2005, 825 (1): 29–37.
- [24] NAKAZONO Y, TSUJIKAWA K, KUWAYAMA K, *et al.* Simultaneous Determination of Tryptamine Analogues in Designer Drugs Using Gas Chromatography – mass Spectrometry and Liquid Chromatography – tandem Mass Spectrometry[J]. Forensic Toxicology, 2013, 32(1): 154–161.
- [25] PALMA-CONESA A J, VENTURA M, GALINDO L, *et al.*

- Something New About Something Old: A 10-year Follow-up On Classical and New Psychoactive Tryptamines and Results of Analysis[J]. *J Psychoactive Drugs*, 2017, 49(4): 297-305.
- [26] FÉREC S, LEBORGNE I, BRUNEAU C, *et al.* Severe Serotonergic Syndrome after Ingestion of  $\alpha$ -methyltryptamine[J]. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 2016, 28(1): 71-8.
- [27] RASANEN I, KYBER M, SZILVAY I, *et al.* Straightforward Single-calibrant Quantification of Seized Designer Drugs by Liquid Chromatography-chemiluminescence Nitrogen Detection[J]. *Forensic Sci Int*, 2014, 237(119-125).
- [28] ADAMOWICZ P, TOKARCZYK B. Simple and Rapid Screening Procedure for 143 New Psychoactive Substances by Liquid Chromatography-tandem Mass Spectrometry[J]. *Drug Test Anal*, 2016, 8(7): 652-667.
- [29] WAGMANN L, BRANDT S D, KAVANAGH P V, *et al.* In Vitro Monoamine Oxidase Inhibition Potential of  $\alpha$ -methyltryptamine Analog New Psychoactive Substances for Assessing Possible Toxic Risks[J]. *Toxicol Lett*, 2017, 272(84-93).
- [30] STICHT G, KFERSTEIN H. Detection of Psilocin In Body Fluids[J]. *Forensic Science International*, 2000, 113(1): 403-407.
- [31] WILSON J M, FRANK M G, SUSAN S, *et al.* A Foxy Intoxication[J]. *Forensic Science International*, 2005, 148(1): 31-36.
- [32] SKLEROV J, TEVINE B, MOORE K A, *et al.* A Fatal Intoxication Following the Ingestion of 5-Methoxy-N, N-Dimethyltryptamine in an Ayahuasca Preparation[J]. *Journal of Analytical Toxicology*, 2005, 29(838-841).
- [33] SKLEROV J, TEVINE B, MOORE K A, *et al.* Fatality Due to Acute  $\alpha$ -Methyltryptamine Intoxication[J]. 2005, 29(5): 394-397.
- [34] ISHIDA T, KUDO K, KIYOSHIMA A, *et al.* Sensitive Determination of  $\alpha$ -methyltryptamine (AMT) and 5-Methoxy-N, N-Diisopropyltryptamine (5meo-DIPT) in Whole Blood and Urine Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2005, 823(1): 47-52.
- [35] WANG M J, LIU J T, CHEN H M, *et al.* Comparison of the Separation of Nine Tryptamine Standards Based on Gas Chromatography, High Performance Liquid Chromatography and Capillary Electrophoresis Methods[J]. *J Chromatogr A*, 2008, 1181(1-2): 131-136.
- [36] CHEN B H, LIU J T, CHEN W X, *et al.* A General Approach to the Screening and Confirmation of Tryptamines and Phenethylamines By Mass Spectral Fragmentation[J]. *Talanta*, 2008, 74(4): 512-517.
- [37] MEATHERALL R, SHARMA P. "Foxy", a Designer Tryptamine Hallucinogen[J]. *Journal of Analytical Toxicology*, 2003, 27(313-317).
- [38] SHIMIZU E, WATANABE H, KOJIMA T, *et al.* Combined Intoxication with Methylone and 5-MeO-MiPT[J]. *Progress in Neuro-psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 2007, 31(1): 288-291.
- [39] PICHINI S, PUJADAS M, MARCHEI E, *et al.* Liquid Chromatography-atmospheric Pressure Ionization Electrospray Mass Spectrometry Determination of "Hallucinogenic Designer Drugs" in Urine of Consumers[J]. *Journal of Pharmaceutical & Biomedical Analysis*, 2008, 47(2): 335-342.
- [40] AL-SAFFAR Y, STEPHANSON N N, BECK O. Multicomponent LC-MS/MS Screening Method for Detection of New Psychoactive Drugs, Legal Highs, In Urine-experience from the Swedish Population[J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2013, 930(112-120).
- [41] MUNEHIRO KATAGI, TOORU KAMATA, AL K Z E. Metabolism and Toxicologic Analysis of Tryptamine-derived Drugs of Abuse[J]. *Analysis of Tryptamine-derived Drugs of Abuse*, 2010, 32(328-331).
- [42] VORCE S P, SKLEROV J H. A General Screening and Confirmation Approach to the Analysis of Designer Tryptamines and Phenethylamines in Blood and Urine Using GC-EI-MS and HPLC-Electrospray-MS[J]. *Journal of Analytical Toxicology*, 2004, 28(6): 407.
- [43] STRANO R S, ODOARDI S, GREGORI A, *et al.* An Analytical Approach to the Forensic Identification of Different Classes of New Psychoactive Substances (Npss) in Seized Materials[J]. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2014, 28(17): 1904-1916.
- [44] MARTINS C P B, FREEMAN S, ALDER J F, *et al.* Profiling Psychoactive Tryptamine-drug Synthesis by Focusing on Detection Using Mass Spectrometry[J]. *Trac Trends in Analytical Chemistry*, 2010, 29(4): 285-296.
- [45] CORKERY J M, DURKIN E, ELLIOTT S, *et al.* The Recreational Tryptamine 5-MeO-DALT (N,N-Diallyl-5-Methoxytryptamine): A Brief Review[J]. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2012, 39(2): 259-262.
- [46] F. HASLER, D. BOURQUIN, R. BRENNEISEN, *et al.* Determination of Psilocin and 4-hydroxyindole-3-acetic acid in Plasma by HPLC ECD and Pharmacokinetic Profiles of oral and intravenous psilocybin in man *pharm. Acta. Helv.* 72(1997)175-184.

(本文编辑:严慧)