

# 基于特征性离子快速筛查 和识别色胺类新精神活性物质

钱振华<sup>1</sup>, 花镇东<sup>2</sup>

(1. 公安部物证鉴定中心, 北京 100038; 2. 公安部禁毒情报技术中心, 北京 100193)

**摘要:**采用气相色谱-质谱(GC-MS)法和超高效液相色谱-串联四极杆飞行时间质谱(UPLC-QTOF MS)法分析 2015~2019 年国内检测发现的 11 种色胺类新精神活性物质。GC-MS 在电子轰击源(EI)模式下采集数据, UPLC-QTOF MS 在电喷雾正离子(ESI<sup>+</sup>)-碰撞诱导解离(CID)模式下采集数据。通过对目标物质谱裂解产生的特征性离子进行分析, 推测了色胺类新精神活性物质可能的碎裂途径, 建立了一种快速、便捷筛查和识别色胺类新精神活性物质的方法。

**关键词:**气相色谱-质谱(GC-MS); 超高效液相色谱-串联四极杆飞行时间质谱(UPLC-QTOF MS); 色胺类; 新精神活性物质; 碎裂途径

中图分类号: O657.63

文献标志码: A

文章编号: 1004-2997(2021)03-0197-10

doi: 10.7538/zpxb.2020.0036

## Rapid Screening and Identification of Tryptamines Based on Characteristic Ions

QIAN Zhen-hua<sup>1</sup>, HUA Zhen-dong<sup>2</sup>

(1. Institute of Forensic Science Ministry of Public Security, Beijing 100038, China;

2. Drug Intelligence and Forensic Center of the Ministry of Public Security, Beijing 100193, China)

**Abstract:** Psychoactive tryptamines are naturally found in toads, plants, and mushrooms. However, due to the hallucinogenic effect of tryptamine derivatives, they have been abused illegally by more and more users. The wide distribution of designer tryptamines has become a serious social problem, because they can cause serious damage to health and their psychotropic effects can lead to criminal activity. Some of tryptamines are controlled as narcotics under the Administration of Non-Pharmaceutical Narcotic Drugs and Psychotropic Substances in China, such as 5-MeO-DALT, 5-MeO-DiPT, 5-MeO-DMT and so on. However, if they become controlled, new compounds with similar structures will then spread throughout the drug market. For known new psychoactive substances, mass spectra are compared with reference standards to identify

收稿日期: 2020-03-31; 修回日期: 2020-07-29

作者简介: 钱振华(1980—), 女(满族), 河南人, 副研究员, 从事毒品检验与鉴定研究。E-mail: sunny1343@126.com

通信作者: 花镇东(1982—), 男(汉族), 江苏人, 副研究员, 从事毒品检验与鉴定研究。E-mail: 28008085@qq.com

the detected compounds. Nevertheless, in the case of such dynamic growth in the number of new substances on the drug market, the novel compound is often not already added to the spectra library. Without a reference standard, the compound must be identified from a detailed study of its mass spectra. Due to the limited applicability of spectral libraries, knowledge on fragmentation patterns of particular groups of new psychoactive substances is necessary to predict the structures of novel compounds. In 2015-2019, a series of eleven tryptamines were identified as new psychoactive substances in China. In this work, a fast and simple approach for the screening and identification of tryptamines was proposed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and ultra performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight-mass spectrometry (UPLC-QTOF MS). Compounds were analyzed on Agilent DB-5 MS column (30 m×0.25 mm×0.25 μm) with an initial temperature of 140 °C for gradient increased temperature by GC-MS and Acquity UPLC CSH™ C18 column (10 cm×2.1 mm×1.7 μm) with 0.1% formic acid aqueous solution (A)-acetonitrile (B) as mobile phase for gradient elution by UPLC-QTOF MS. The fragmentation behaviors especially the MS fragmentation rules were compared and summarized. According to the structure and the typical fragmentations, these compounds can be easily identified. This method is fast and accurate, and can be used for analysing different types of tryptamines. So this work will be helpful to assist forensic laboratories in identifying these kinds of compounds or other substances with similar structure in their case work.

**Key words:** gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); ultra performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight-mass spectrometry (UPLC-QTOF MS); tryptamines; new psychoactive substances; fragmentation pathway

色胺是一种存在于植物、动物和真菌的单胺生物碱,含有一个吲哚核,因其结构与色氨酸类似而得名。色胺类物质以色胺为母体,其具有抗肿瘤细胞、抑制黑色素及抗黑素瘤细胞、抗细菌、治疗糖尿病及抗氧化等生理药理活性,受到化学研究者的广泛重视,拟用于医药目的的各种色胺类物质被大量研究和合成<sup>[1-13]</sup>。但由于色胺类物质具有致幻作用,近年来被越来越多的吸食者非法滥用,其作为新精神活性物质中的一大类,对个体健康和公共安全造成严重威胁,已经引起了国际社会的广泛关注<sup>[14-22]</sup>。目前有报道的色胺类新精神活性物质已达45种。我国列入管制的色胺类物质共11种,其中《精神药品品种目录(2013年版)》中有6种被分为第一类和第二类管制精神药品,2015年10月1日起正式实施的《非药用类麻醉药品和精神药品管制品种增补目录》增加了5种色胺类新精神活性物质的列管<sup>[23-24]</sup>。

研究表明<sup>[25]</sup>,色胺类物质结构的不同可导

致其药理作用和精神活性的不同,如苯环上无取代或者4-羟基取代的色胺类物质致幻性较弱,而5-甲氧基取代的色胺类物质致幻性更强,并且N-取代基的不同也会影响其在体内的效力。因此,制毒者通过改变苯环及N原子上的取代基,以期合成出种类更多、致幻效果更强的色胺类物质。

质谱技术灵敏度高、特异性好、分析速度快、专属性强,近年来发展迅速。对于已知的新精神活性物质,传统的质谱法通常使用新精神活性物质的标准物质进行定性、定量分析。但新精神活性物质更新换代迅速,对于未知的新精神活性物质,由于标准物质、标准谱库和标准检验方法的缺乏,使得定性、定量难度较大,制约着法庭科学实验室发现和鉴定新精神活性物质的能力。因此有必要归纳同类型化合物的质谱碎裂规律,进而识别该类未知物的化学结构。

2015~2019年,我国在新精神活性物质市

场上共查获 11 种色胺类物质,包括 *N*-甲基-*N*-异丙基色胺(MiPT)、*N*-甲基-*N*-乙基-4-羟基色胺(4-OH-MET)、*N*-甲基-*N*-异丙基-4-羟基色胺(4-OH-MiPT)、*N,N*-二甲基-4-乙酰氧基色胺(4-AcO-DMT)、*N*-甲基-*N*-乙基-4-乙酰氧基色胺(4-AcO-MET)、*N,N*-二乙基-4-乙酰氧基色胺(4-AcO-DET)、*N,N*-二甲基-5-甲氧基色胺(5-MeO-DMT)、*N*-甲基-*N*-异丙基-5-甲氧基色胺(5-MeO-MiPT)、*N,N*-二异丙基-5-甲氧基色胺(5-MeO-DiPT)、*N,N*-二烯丙基-5-甲氧基色胺(5-MeO-DALT)、*N,N*-四亚甲基-5-甲氧基色胺(5-MeO-pyr-T)。这 11 种色胺类物质按照结构不同可分为四类:1) 苯环无取代;2) 苯环 4 位羟基取代(4-OH);3) 苯环 4 位乙酰氧基取代(4-AcO);4) 苯环 5 位甲氧基取代(5-MeO)。其中 5-MeO-DMT、5-MeO-MiPT、5-MeO-DiPT、5-MeO-DALT 等 4 种物质已被列管,其他 7 种物质尚未列入管制。

本研究拟采用气相色谱-质谱(GC-MS)法和超高效液相色谱-四极杆串联飞行时间质谱(UPLC-QTOF MS)法分析这 11 种色胺类新精神活性物质,并探讨在电子轰击源(EI)和电

喷雾正离子(ESI<sup>+</sup>)-碰撞诱导解离(CID)模式下的裂解机理,以期建立快速、简便、有效的实验方法用于识别和筛查色胺类新精神活性物质,为快速鉴定色胺类新精神活性物质提供方法和思路。

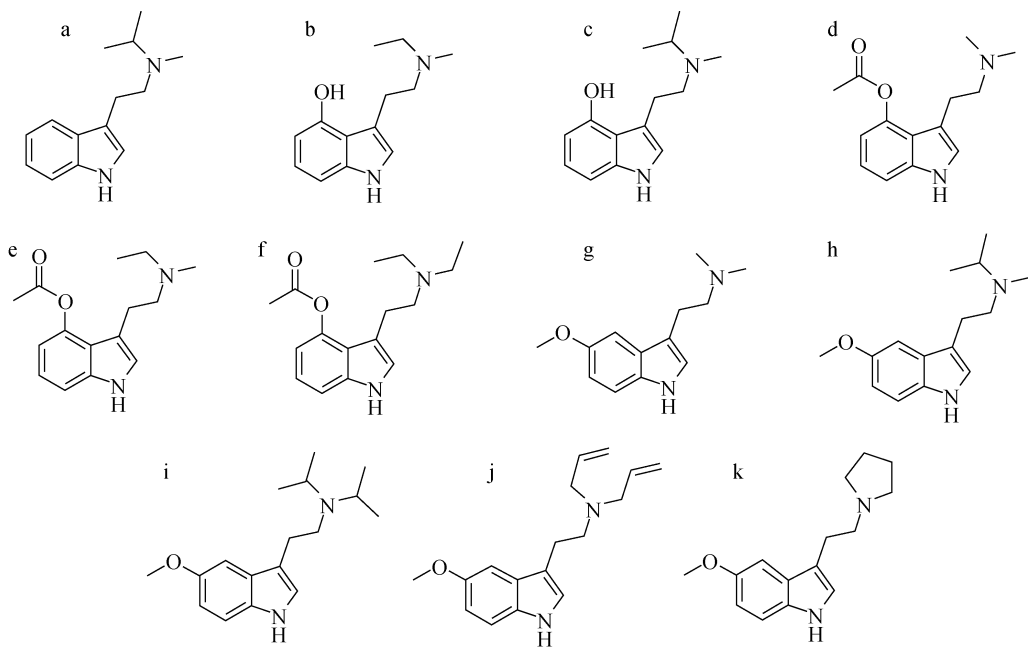
## 1 实验部分

### 1.1 仪器与装置

QP-2010 Ultra 气相色谱-质谱联用仪:日本岛津公司产品;ACQUITY UPLC I-Class 超高效液相色谱仪:美国 Waters 公司产品;Q-TOF MS 5600 高分辨四极杆-飞行时间质谱仪:美国 AB Sciex 公司产品。

### 1.2 样品与试剂

MiPT、4-OH-MET、4-OH-MiPT、4-AcO-DMT、4-AcO-MET、4-AcO-DET、5-MeO-DMT、5-MeO-MiPT、5-MeO-DiPT、5-MeO-DALT、5-MeO-pyr-T 等 11 种色胺类物质样品:由国家毒品实验室查获所得,经核磁共振确定的化学结构示于图 1;乙腈:色谱纯,美国 Fisher 公司产品;甲酸、甲醇:色谱纯,德国 Merck 公司产品;超纯水:由美国 Millipore 公司生产的超纯水器制得。



注:a. MiPT;b. 4-OH-MET;c. 4-OH-MiPT;d. 4-AcO-DMT;e. 4-AcO-MET;f. 4-AcO-DET;  
g. 5-MeO-DMT;h. 5-MeO-MiPT;i. 5-MeO-DiPT;j. 5-MeO-DALT;k. 5-MeO-pyr-T

图 1 11 种色胺类新精神活性物质的化学结构  
Fig. 1 Chemical structures of 11 NPS tryptamines

### 1.3 样品溶液的制备

将每种样品研磨均匀,称取适量,用甲醇溶解后配制成 0.5 g/L 甲醇溶液,再用 0.1% 甲酸水溶液稀释至 1 mg/L,离心,取上清液。

### 1.4 实验条件

**1.4.1 GC-MS 条件** 色谱柱:Agilent DB-5 MS 石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);升温程序:140 °C 保持 3 min,以 20 °C/min 升至 320 °C,保持 16 min;载气为 He,流速 1 mL/min;分流进样,进样量 1 μL,分流比 40:1;进样口温度 280 °C。

EI 电离模式,电子能量 70 eV,离子源温度 230 °C,接口温度 250 °C,质量扫描范围  $m/z$  35~500。

**1.4.2 UPLC-QTOF MS 条件** 色谱柱:Waters Acquity UPLC CSH C18 柱(1.7 μm×100 mm×2.1 mm);柱温 40 °C;流动相:A 为 0.1% 甲酸水溶液,B 为乙腈;梯度洗脱程序:0~1.5 min(2% B),1.5~6.5 min(2%~90% B),6.5~9.4 min(90% B),9.4~9.5 min(90%~2% B),9.5~12 min(2% B);流速 0.4 mL/min;进样量 1 μL。

DuoSpray 离子源,ESI 正离子模式,离子源温度 600 °C,喷雾电压 5 500 V,雾化器压力 344.7 kPa,辅助加热气压力 344.7 kPa,气帘气压力 206.8 kPa;TOF 全扫描模式,去簇电压 80 V,碰撞能量 5 V,质量扫描范围  $m/z$  100~1 000;二级碰撞诱导解离(CID)模式,碰撞能量(35±15) V,质量扫描范围  $m/z$  50~1 000。

## 2 结果与讨论

### 2.1 GC-MS 特征及碎裂规律推测

在 1.4.1 节条件下,11 种色胺类新精神活性物质的 EI-MS 质谱图示于图 2。可以看出,色胺类新精神活性物质的质谱图呈现以下特点:1) 均出现分子离子峰,但丰度不高;2) 均出现  $R_2R_3NCH_2$  峰,且为化合物的基峰。推测的碎裂途径示于图 3,特征离子列于表 1。色胺类新精神活性物质首先失去 1 个电子得到分子离子峰碎片 A,继续通过  $\alpha$  断裂得到碎片 B,通过  $\beta$  断裂得到基峰碎片亚胺阳离子 C 和碎片离子 D。其中,碎片离子 B 的质量数  $M_B = M_D + 14$ ,但碎片离子 B 的丰度比 D 低,推测原因为离子 D 存在 p- $\pi$  电子共轭,使

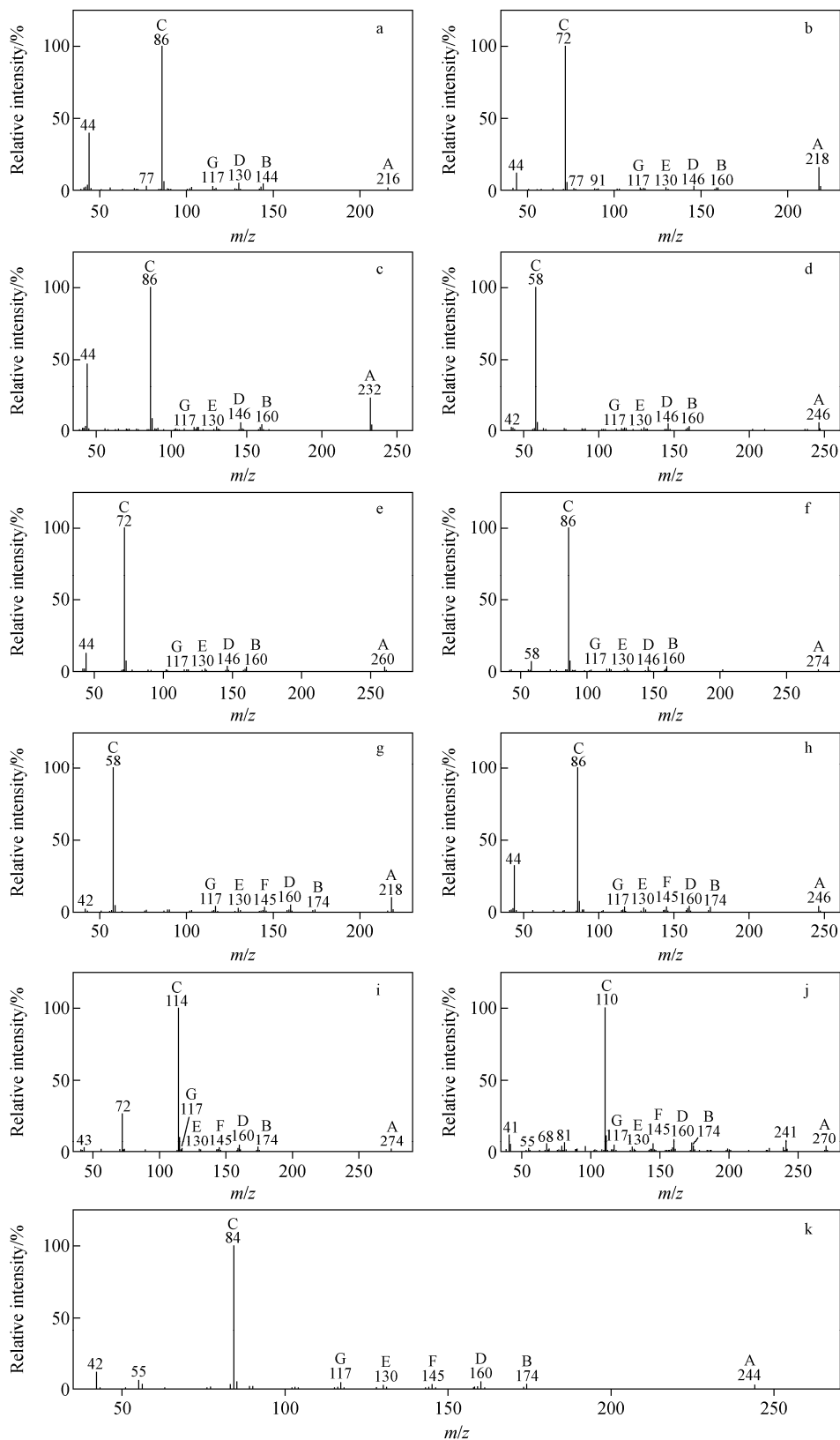
得碎片离子相对稳定,而离子 B 只存在对正离子稳定作用较弱的超共轭效应,导致碎片离子存在时间短,不易被检测到。在生成离子 B 和 D 的过程中,如果苯环上的取代基  $R_1$  为乙酰氧基(-AcO),则乙酰氧基会失去 -COCH<sub>3</sub> 变成羟基(-OH),这可以作为判断苯环上取代基类型的依据。当  $M_C + M_D < M_A$  时,苯环上取代基为乙酰氧基;当  $M_C + M_D = M_A$  时,苯环上无取代或取代基为羟基、甲氧基。碎片离子 D 进一步失去苯环上的取代基  $R_1$  得到离子 E( $m/z$  130),或者直接失去 CHO 得到离子 G( $m/z$  117)。当  $R_1$  为甲氧基时,碎片离子 D 中的 CH<sub>3</sub>-O 发生均裂,失去 -CH<sub>3</sub> 得到离子 F( $m/z$  145)。离子 F 是甲氧基色胺的特征离子,可以作为判断苯环上取代基是否为甲氧基的依据。碎裂过程中生成的离子 D、E、F、G 均存在共轭体。

### 2.2 UPLC-QTOF MS 特征及碎裂规律推测

在电喷雾正离子模式下,11 种色胺类新精神活性物质的一级质谱图均只出现 1 个峰,即  $[M+H]^+$  准分子离子峰。11 种物质的 CID 模式二级质谱图示于图 4,推测的碎裂途径示于图 5,特征离子列于表 2。

对于苯环上无取代基的色胺类物质, $[M+H]^+$  的 C-N 键发生  $\alpha$  断裂得到丰度最高的离子  $C_{10}H_{10}N^+$  ( $m/z$  144.080 8),发生  $\beta$  断裂得到  $(R_2R_3NCH_2)^+$  和  $C_{10}H_9N^+$  ( $m/z$  143.073 0);  $C_{10}H_{10}N^+$  失去 1 个 NH<sub>3</sub> 得到  $C_{10}H_7^+$  ( $m/z$  127.054 2),失去 CH<sub>3</sub>N 得到  $C_9H_7^+$  ( $m/z$  115.054 2);离子  $C_{10}H_9N^+$  还会失去乙烯得到吡啶结构离子  $C_8H_7N^+$  ( $m/z$  117.057 3),示于图 5a。

苯环上为乙酰氧基(AcO)或羟基(OH)取代的色胺类物质,均出现  $m/z$  160.075 7、132.080 8、117.057 3、115.054 2 碎片离子。 $[M+H]^+$  的 C-N 键发生  $\alpha$  断裂,如果是 AcO 取代,得到离子  $C_{12}H_{12}NO_2^+$  ( $m/z$  202.086 3),再失去 Ac 得到  $C_{10}H_{10}NO^+$  ( $m/z$  160.075 7);如果是 OH 取代,直接得到  $C_{10}H_{10}NO^+$  ( $m/z$  160.075 7),该离子的丰度最高; $[M+H]^+$  发生  $\beta$  断裂得到  $(R_2R_3NCH_2)^+$ ;  $[M+H]^+$  还可能失去所有取代基,得到吡啶结构离子  $C_8H_7N^+$  ( $m/z$  117.057 3);离子  $C_{10}H_{10}NO^+$



注: a. MiPT; b. 4-OH-MET; c. 4-OH-MiPT; d. 4-AcO-DMT; e. 4-AcO-MET; f. 4-AcO-DET;  
g. 5-MeO-DMT; h. 5-MeO-MiPT; i. 5-MeO-DiPT; j. 5-MeO-DALT; k. 5-MeO-pyr-T

图 2 11 种色胺类新精神活性物质的 EI-MS 质谱图

Fig. 2 Mass spectra of NPS tryptamines obtained by EI-MS

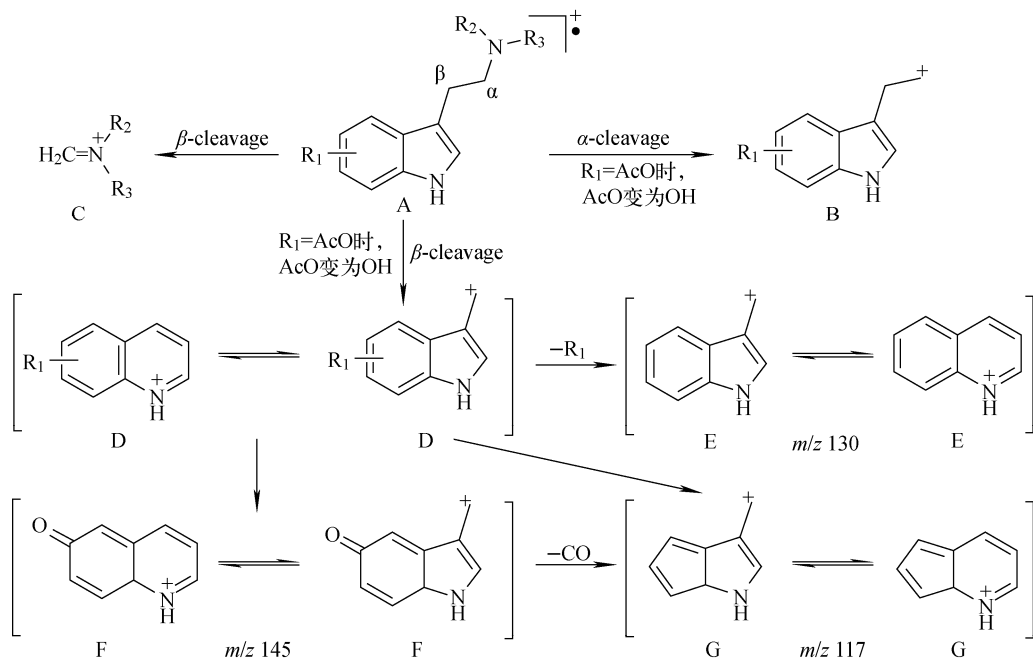


图3 EI模式下,色胺类新精神活性物质的碎裂途径

Fig. 3 Proposed fragmentation pathways of product ions for NPS tryptamines at EI mode

表1 EI模式下,色胺类新精神活性物质的主要特征离子

Table 1 Characteristic ions for NPS tryptamines obtained by EI-MS

类别 Group	主要特征离子 Characteristic ion ( $m/z$ )
苯环无取代	144, 130, 117, 58+12n
苯环 4-OH 取代	160, 146, 130, 117, 58+12n
苯环 4-AcO 取代	160, 146, 130, 117, 58+12n
苯环 5-MeO 取代	174, 160, 145, 130, 117, 58+12n

注:  $n$  为整数

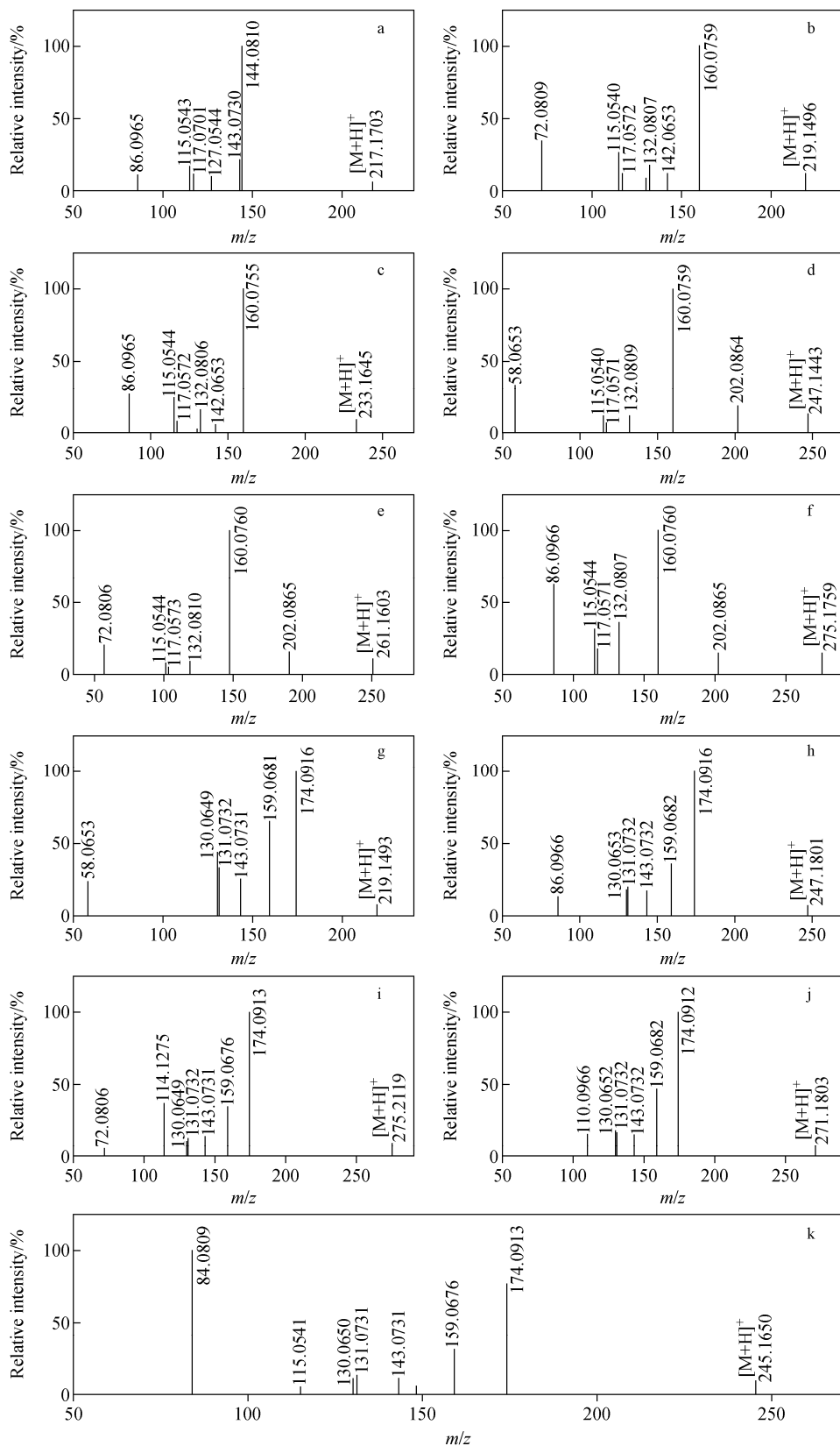
存在共轭体,进一步失去1个CO得到离子  $C_9H_{10}N^+$  ( $m/z$  132.0808); 离子  $C_9H_{10}N^+$  还可能失去1个  $NH_3$  得到  $C_9H_7^+$  ( $m/z$  115.0542), 示于图 5b。

苯环上为甲氧基(MeO)取代的色胺类物质,都出现了  $m/z$  174.0913、159.0679、143.0730、131.0730、130.0651 碎片离子。[M+H]<sup>+</sup> 的 C—N键发生  $\alpha$  断裂得到丰度最高的离子  $C_{11}H_{12}NO^+$  ( $m/z$  174.0913), 发生  $\beta$  断裂得到离子  $(R_2R_3NCH_2)^+$ ; 离子  $C_{11}H_{12}NO^+$  进一步失去甲氧基中的  $CH_3$  得到离子  $C_{10}H_9NO^+$  ( $m/z$  159.0679), 也可直接失去  $CH_3O$  得到离子  $C_{10}H_9N^+$  ( $m/z$  143.0730); 离子  $C_{10}H_9NO^+$  再

失去1个CO得到离子  $C_9H_9N^+$  ( $m/z$  131.0730); 离子  $C_9H_9N^+$  存在未成对的电子,易与末端C原子成环,得到离子  $C_9H_8N^+$  ( $m/z$  130.0651), 示于图 5c。

### 3 结论

色胺类新精神活性物质具有相同的骨架和类似的分子结构,因而它们的质谱碎裂途径和主要碎片离子具有高度的相似性。本研究建立了 GC-MS 和 UPLC-QTOF MS 法筛查和识别色胺类新精神活性物质。通过归纳色胺类新精神活性物质的四类化学结构及质谱碎裂行为,为该样品的推断、鉴定提供较好的依据。



注:同图2

图4 11种色胺类新精神活性物质的二级质谱图

Fig. 4 Mass spectra of NPS tryptamines obtained by LC-ESI-QTOF MS

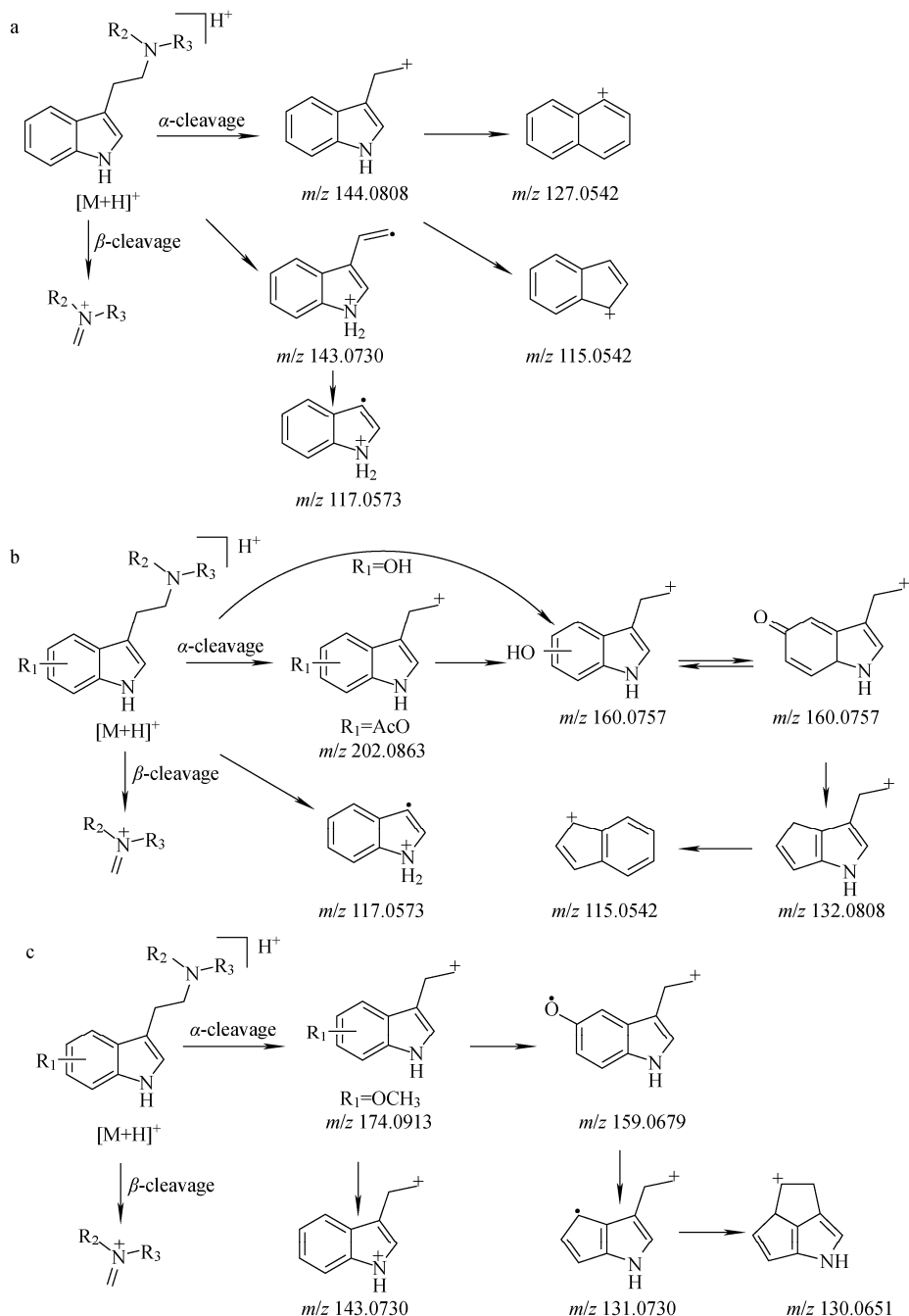


图 5 ESI-CID 模式下,色胺类新精神活性物质的碎裂途径

Fig. 5 Fragmentation pathways of product ions for NPS tryptamines at ESI-CID mode

表 2 ESI-CID 模式下,色胺类新精神活性物质的主要子离子

Table 2 Product ions for NPS tryptamines obtained by ESI-CID

类别 Group	子离子精确质荷比 Product ion exact $m/z$
苯环无取代	144.0808, 143.0730, 127.0542, 117.0573, 115.0542
苯环 4-OH 取代	160.0757, 132.0808, 117.0573, 115.0542
苯环 4-AcO 取代	202.0863, 160.0757, 132.0808, 117.0573, 115.0542
苯环 5-MeO 取代	174.0913, 159.0679, 143.0730, 131.0730, 130.0651



## 参考文献:

- [1] 葛邦踰,谈宗英. *N,N*-二烷基取代- $\beta$ -羟基色胺类化合物的合成[J]. 中国药学杂志, 1982, 2: 54-55.  
GE Banglun, TAN Zongying. Synthesis of *N,N*-dialkyl substituted  $\beta$ -hydroxytryptamines[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 1982, 2: 54-55 (in Chinese).
- [2] 葛邦踰,谈宗英. 取代- $\beta$ -羟基色胺类化合物的合成[J]. 药学报, 1982, 5: 385-387.  
GE Banglun, TAN Zongying. Synthesis of *N,N*-disubstituted  $\beta$ -hydroxytryptamines[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 1982, 5: 385-387 (in Chinese).
- [3] 王蕾,李德宇. 5-羟色胺及 5-羟色胺类药物的研究进展[J]. 新乡医学院学报, 1993, 10(4): 339-343.  
WANG Lei, LI Deyu. Research progress on 5-HT[J]. Journal of Xinxiang Medical College, 1993, 10(4): 339-343 (in Chinese).
- [4] 丁绍民,甘永平,宋华付. *N*-乙酰基-5-甲氧基色胺的合成[J]. 北京理工大学学报, 1999, 19(1): 95-97.  
DING Shaomin, GAN Yongping, SONG Huafu. Synthesis of *N*-acetyl-5-methoxytryptamine[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 1999, 19(1): 95-97 (in Chinese).
- [5] 彭锋,倪庆纯. 色胺类衍生物的合成研究[J]. 广东药学, 2003, 12(3): 9-11.  
PENG Feng, NI Qingchun. The studies on synthesis of some derivatives of tryptamine[J]. Guangdong Pharmaceutical Journal, 2003, 12(3): 9-11 (in Chinese).
- [6] 赵宏伟,洪毓裕,刘超程. *N,N*-二烯丙基-5-甲氧基色胺的合成研究[J]. 化学试剂, 2006, 28(5): 307-308.  
ZHAO Hongwei, HONG Yongyu, LIU Chaocheng. Study on the synthesis of *N,N*-diallyl-5-methoxytryptamine[J]. Chemical Reagents, 2006, 28(5): 307-308 (in Chinese).
- [7] 王菊月,郝亮. 5-取代-*N,N*-二甲基色胺衍生物合成方法研究及光谱分析[J]. 光谱实验室, 2011, 28(2): 715-717.  
WANG Juyue, HAO Liang. Synthesis and spectral analysis of 5-*R-N,N*-dimethyl tryptamines derivatives[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2011, 28(2): 715-717 (in Chinese).
- [8] 宋杰,陆小琴,纵秋瑾. 5-甲氧基色胺类衍生物的合成及抗痒活性评价[J]. 广州化工, 2012, 40(13): 92-94.  
SONG Jie, LU Xiaoqin, ZONG Qiuqin. Synthesis and anti-itch activity evaluation of 5-methoxytryptamine derivatives[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40(13): 92-94 (in Chinese).
- [9] 李霞,李蕴,洪波. 新型 4-羟色胺类化合物的合成及生物活性[J]. 分子科学学报, 2015, 31(2): 128-133.  
LI Xia, LI Yun, HONG Bo. Synthesis and biological activity of novel 4-hydroxyl tryptamines[J]. Journal of Molecular Science, 2015, 31(2): 128-133 (in Chinese).
- [10] 胡松林,蔡瑾,须辑. *N*-乙酰基-5-甲氧基色胺的化学合成[J]. 化学世界, 2016, 11: 699-702.  
HU Songlin, CAI Jin, XU Ji. Chemical synthesis of melatonin[J]. Chemical World, 2016, 11: 699-702 (in Chinese).
- [11] BRANDT S D, FREEMAN S, FLEET I A, MCGAGH P, ALDER J F. Analytical chemistry of synthetic routes to psychoactive tryptamines Part I. Characterisation of the Speeter and Anthony synthetic route to 5-methoxy-*N,N*-diisopropyltryptamine using ESI-MS-MS and ESI-TOF-MS[J]. Analyst, 2004, 129(11): 1 047-1 057.
- [12] BRANDT S D, FREEMAN S, FLEET I A, MCGAGH P, ALDER J F. Analytical chemistry of synthetic routes to psychoactive tryptamines Part II. Characterisation of the Speeter and Anthony synthetic route to *N,N*-dialkylated tryptamines using GC-EI-ITMS, ESI-TQ-MS-MS and NMR[J]. Analyst, 2005, 130: 330-344.
- [13] BRANDT S D, FREEMAN S, FLEET I A, MCGAGH P, ALDER J F. Analytical chemistry of synthetic routes to psychoactive tryptamines Part III. Characterisation of the Speeter and Anthony route to *N,N*-dialkylated tryptamines using CI-IT-MS-MS[J]. Analyst, 2005, 130: 1 258-1 262.
- [14] MEATHERALL R, SHARMA P. Foxy, a designer tryptamine hallucinogen[J]. J Anal Toxicol, 2003, 27: 313-317.
- [15] KIKURA-HANAJIRI R, HAYASHI M, SAISHO

- K, GODA Y. Simultaneous determination of nineteen hallucinogenic tryptamine/ $\beta$ -calbolines and phenethylamines using gas chromatography-mass spectrometry and liquid chromatography-electrospray ionization-mass spectrometry[J]. *J Chromatogr B*, 2005, 825(1): 29-37.
- [16] WILSON J M, MCGEORGE F, SMOLINSKE S, MEATHERALL R. A foxy intoxication[J]. *Forensic Sci Int*, 2005, 148(1): 31-36.
- [17] KANAMORI T, KUWAYAMA K, TSUJIKAWA K, MIYAGUCHI H, IWATA Y, INOUE H, KISHI T. *In vivo* metabolism of 5-methoxy-*N,N*-diisopropyltryptamine in rat[J]. *J Health Sci*, 2006, 52(4): 425-430.
- [18] ITOKAWA M, IWATA K, TAKAHASHI M, SUGIHARA G I, SASAKI T, ABE Y I, UNO M, HOBO M, JITOKU D, INOUE K, ARAI M, YASUDA I, SHINTANI M. Acute confusional state after designer tryptamine abuse[J]. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 2007, 61(2): 196-199.
- [19] WANG M J, LIU J T, CHEN H M, LIN J J, LIN C H. 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, 1 181(1/2): 131-136.
- [20] 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]. *Anal Sci*, 2009, 25(6): 759-763.
- [21] 王柔嘉, 向平, 于治国, 施研. 色胺类新精神活性物质的研究进展[J]. *中国司法鉴定*, 2019, 4: 43-55.
- WANG Roujia, XIANG Ping, YU Zhiguo, SHI Yan. Research progress on new psychoactive tryptamines[J]. *Chinese Journal of Forensic Sciences*, 2019, 4: 43-55(in Chinese).
- [22] 黑海, 王继芬. 色胺类新精神活性物质检验方法研究进展[J]. *化学研究与应用*, 2019, 31(11): 1 869-1 878.
- HEI Hai, WANG Jifen. Advances in the methods for detecting new psychoactive substances of tryptamine[J]. *Chemical Research and Application*, 2019, 31(11): 1 869-1 878(in Chinese).
- [23] 国家食品药品监督管理总局, 中华人民共和国公安部, 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 精神药品目录[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2013.
- [24] 中华人民共和国公安部, 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局, 国家禁毒办公室. 非药用类麻醉药品和精神药品列管办法[J]. *中华人民共和国公安部公报*, 2015(6): 13-22.
- Ministry of Public Security of the People's Republic of China, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration, National Drug Control Office. Measures for the listing and control of non-medicinal narcotic drugs and psychotropic drugs[J]. *Bulletin of the Ministry of Public Security of the People's Republic of China*, 2015(6): 13-22(in Chinese).
- [25] RICKLI A, MONING O D, HOENER M C, LIECHTI M E. Receptor interaction profiles of novel psychoactive tryptamines compared with classic hallucinogens[J]. *European Neuropsychopharmacology*, 2016, 26(8): 1 327-1 337.