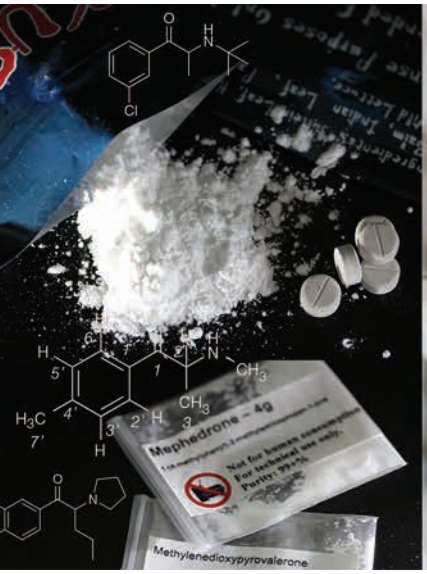
UNODC
联合国毒品和犯罪问题办公室



查明和分析缉获材料中合成卡西酮的建议方法

供国家药物分析实验室使用的手册

照片提供方：
毒品和犯罪问题办公室照片库；毒品和犯罪问题办公室/Ioulia Kondratovitch; Alessandro Scotti。

联合国毒品和犯罪问题办公室
实验室和科学服务科
维也纳

查明和分析
缉获材料中合成卡西酮的
建议方法

供国家药物分析实验室使用的手册

联合国
2016 年，纽约

说明

操作和试验条件转载自原参考资料，包括依照参考资料清单用于选定国家实验室并得到验证、但未予公布的方法。指定商品的许多其他条件和代替物在多数情况下可提供可比较结果，但在纳入实验室常规前，任何修改须得到验证。

ST/NAR/49

原文：英文
© 联合国，2015 年 12 月。世界范围内版权所有。

本出版物中所采用的名称和提供的材料并不意味着联合国秘书处对任何国家、领土、城市、地区或其当局的法律地位或对其国境或边界的划界表达任何意见。提及商号名称和商品名称并不意味着联合国对它们的认可。

本出版物未经正式编辑。

出版制作：联合国维也纳办事处英文、出版和图书馆科。

致谢

毒品和犯罪问题办公室实验室和科学服务科科长 Justice Tettey 博士，谨此向邓迪大学解剖学与身份识别中心 Niamh Nic Daeid 教授为撰写本手册初稿所做的贡献表示感激和感谢。

实验室和科学服务科还希望对法国里昂国家科学研究所 Laurence Dujourdy 博士和塞浦路斯尼科西亚国家药检总所 Katharine Konaris 女士的专业评估和宝贵贡献表示感谢。

实验室和科学服务科工作人员 Iphigenia Naidis 博士协调本手册的编制工作，毒品和犯罪问题办公室工作人员 Conor Crean 博士和 Susan Ifeagwu 女士也贡献良多，也谨此向他们表示感谢。

目录

页次

1. 导言 1
   1.1 背景 1
   1.2 本手册的宗旨和用途 2
2. 综述 5
   2.1 合成卡西酮的出现 5
   2.2 纯化合物说明 6
   2.3 互联网市场 11
   2.4 使用和滥用情况 11
   2.5 药物学与毒理学 12
3. 合成卡西酮的非法制造 13
   3.1 卡西酮衍生品的合成 13
4. 含合成卡西酮的缴获材料的定性和定量分析 15
   4.1 导言 15
   4.2 抽样 15
   4.3 提取和样品准备 15
   4.4 推定颜色化验 16
   4.5 微晶化验 17
   4.6 薄层色谱法 18
   4.7 气象色谱与质谱法 21
   4.8 高效液相色谱法 24
   4.9 液相色谱-串联质谱法 26
   4.10 傅里叶变换红外线光谱学 28
   4.11 核磁共振光谱法 31

参考资料 33

1. 导言

1.1 背景

毒品和犯罪问题办公室（毒品和犯罪问题办公室）出版物《新的精神活性物质带来的挑战》[1] 强调出现了新的精神活性物质，声称这些物质是国际管制物质的“合法”替代物。新的精神活性物质又俗称“特制药物”、“合法兴奋剂”、“植物兴奋剂”和“浴盐”，这些药物的出现导致近年来法院毒品案件工作增多。这增加了法律和分析挑战，要求必须采取敏感、可靠和可复制的方法侦测和查明这些物质。然而，由于在这一主题领域缺乏经济适用的化学参照标准、相关分析方法和科学文献资料，使得更加难以做到这一点。

合成卡西酮是新的精神活性物质的一种，可将其视为结构上从卡西酮衍生而来，而卡西酮是卡塔叶植物的主要活性成分。因此，合成卡西酮是 β-铜苯乙胺，如甲卡西酮也称为 β-铜苯丙胺，具有与苯丙胺相类似的刺激作用。许多合成卡西酮受国际管制，其中包括卡西酮、甲卡西酮、去甲伪麻黄碱和焦二异丁基酮，这些物质在 2000 年之前均已被列入国际管制。然而，之后几年，毒品市场上出现了一些不受管制的合成卡西酮，敏疫朗是 2005 年向欧洲毒品和毒瘾监测中心报告的首个合成卡西酮。2007 年首次报告的甲氧麻黄酮成为之后几年最常用的卡西酮（尽管该物质已于 1928 年首次合成 [2]）。表 1 列示了此后出现的一些其他结构多样化的卡西酮。

针对出现合成卡西酮和其他品种新的精神活性物质的问题，许多会员国通过了国家立法。2015 年，在排定麻醉药品委员会第五十八届会议的各项决定后，甲氧麻黄酮、敏疫朗和亚甲基二氧吡咯戊酮均被列入国际管制，并被列入联合国 1971 年《精神药物公约》附表二（卡西酮和甲卡西酮被列入《1971 年公约》附表一，去甲伪麻黄碱被列入附表三，焦二异丁基酮被列入附表四）。

1.2 本手册的宗旨和用途

本手册是探讨查明和分析不同种类受国际管制药物的类似系列出版物之一。这些手册是 1980 年代初以来毒品和犯罪问题办公室所开展的一项方案的成果，旨在协调统一和制定供国家毒品分析实验室使用的建议分析方法。

本手册的编制考虑到了麻醉药品委员会 2012 年题为“促进针对新的精神活性物质构成的挑战开展国际合作”的第 55/1 号决议，其中鼓励联合国毒品和犯罪问题办公室及其他有关国际组织按照请求向会员国提供技术援助，包括支持法医和毒理学方面的能力，以便应对新的精神活性物质构成的挑战。

根据系列出版物的总体目标，本手册建议的方法可协助药物分析师选择适合所研究样本的方法，并为当前目的提供适当数据，同时预留空间，以适应不同实验室的复杂程度和各种法律要求。本手册中包含的绝大多数方法刊登在已出版的同行评审科学文献上。**用于读者实验室的任何新方法在常规使用前须得到验证和（或）证明**。

此外，有许多更加复杂的方法，但不一定必须用于常规业务应用程序。因此，应将这里介绍的方法视为指南；为适合地方情况而进行的微调不应影响结果的有效性。方法选择和分析方法以及决定是否需要额外方法仍由分析师决定，也可能取决于是否有适当方法可用和分析师所在管辖区域内法律可接受的证据水平。

还请注意提供参考资料以及药物滥用方面文献资料和用于查明这些药物的分析技术对药物分析师的至关重要性。此外，分析师必须始终紧跟当前的药物分析趋势，持续跟进现有的分析和法医科学文献。

毒品和犯罪问题办公室实验室和科学服务科欢迎就本手册的内容和用途提供意见。意见和建议可致函：

联合国毒品和犯罪问题办公室
实验室和科学服务科
维也纳国际中心
邮政信箱 500
奥地利维也纳 1400
传真：(+43-1) 26060-5967
电子邮件：Lab@unodc.org

所有手册、指导方针和其他科技出版物，如有需要，均可联系上述地址提出请求。

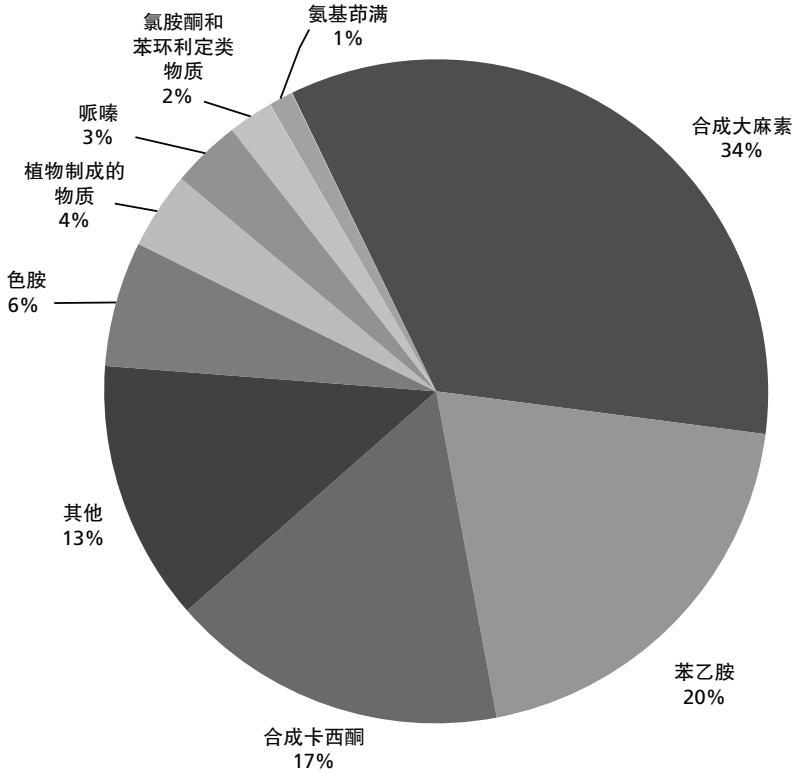
2. 综述

2.1 合成卡西酮的出现

毒品和犯罪问题办公室出版物“新的精神活性物质带来的挑战”[1] 中首次重点强调全球出现一种新的精神活性物质合成卡西酮，其中指出，截至 2012 年 7 月，70 个成员国和领土向毒品和犯罪问题办公室报告了 251 种物质。新的精神活性物质市场的发展和动态变化性质为这一事实所佐证，即截至 2015 年 7 月，报告出现该物质的成员国数量增至 95 个，该物质的数量超过 500 例 [3]。根据 2008-2015 年报告毒品和犯罪问题办公室的数量，如图一所示，大多数新的精神活性物质是合成大麻素 (34%)，其次是苯乙胺 (20%) 和合成卡西酮 (17%)。关于单个合成卡西酮，截至 2015 年 7 月，已向毒品和犯罪问题办公室报告 97 例。

近年来，向毒品和犯罪问题办公室报告的合成卡西酮的数量持续增多，反映了新的精神活性物质市场的动态变化性质。这种发展变化部分可认为是制造商试图规避现行立法。在若干国家对甲氧麻黄酮进行管制后，亚甲基二氧吡咯戊酮和最近的夫拉卡等其他合成卡西酮在市场上作为替代品出售 [4, 5]。

图一． 根据 2008-2015 年报告毒品和犯罪问题办公室的单个物质，不同种类新的精神活性物质的规模 [3]



2.2 纯化合物说明

合成卡西酮通常为白色或灰白色粉末，尽管可能以其他颜色出现。例如，甲氧麻黄酮通常为白色或黄色粉末 / 晶体，具有独特气味，类似鱼腥味或香草味或漂白剂。虽然主要是粉末，不过，甲氧麻黄酮还常常以形状不一的胶囊 / 片剂形式出现 [6]。表 1 列示了一些更常见的合成卡西酮。

表 1. 常见的卡西酮

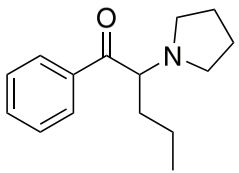
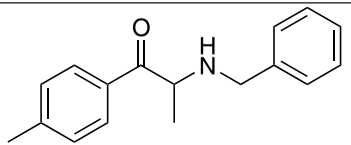
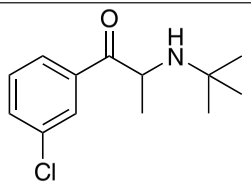
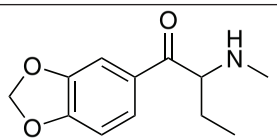
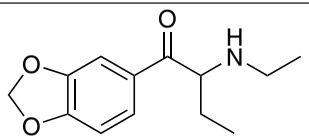
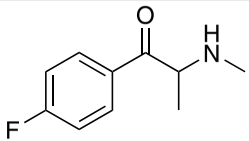
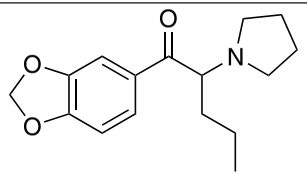
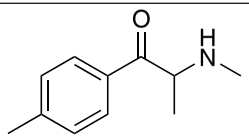
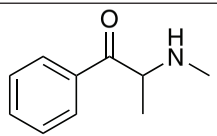
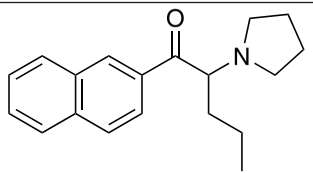
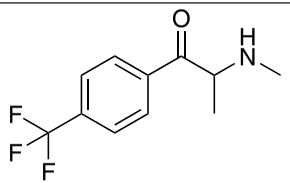
常用名 / 简称	*化学名称*	*结构*	*化学文摘分类办法编号（如果有）*
夫拉卡	1-phenyl-2-(1-pyrrolidinyl)pentan-1-one		14530-33-7
Benzedrone, 4-MBC	4-methyl-*N*-benzylcathinone		36861-47-9
丁氨苯丙酮	3-chloro-*N*-*tert*-butylcathione		34911-55-2
Butylone, βk-MBDB	1-(1,3-benzodioxol-5-yl)-2-(methylamino)-1-butanone		802575-11-7

表 1. 常见的卡西酮（续）

常用名 / 简称	*化学名称*	*结构*	*化学文摘分类办法编号（如果有）*
Eutylone, βk-EBDB	1-(1,3-benzodioxol-5-yl)-2-(ethylamino)-1-butanone		—
Flephedrone, 4-FMC	4-氟甲基甲卡西酮甲卡西酮		447-40-5
亚甲基二氧吡咯戊酮，亚甲基二氧吡咯戊酮	1-(1,3-benzodioxol-5-yl)-2-(1-pyrrolidinyl)-1-pentanone		687603-66-3
甲氧麻黄酮，4-MMC	4-甲基甲卡西酮		1189805-46-6
甲卡西酮	2-(methylamino)-1-phenylpropan-1-one		5650-44-2

Methedrone, βk-PMMA	*Para*-甲氧基甲卡西酮		530-54-1
敏疫朗，βk-MDMA	1-(1,3-benzodioxol-5-yl)-2-(methylamino)-1-propanone		186028-79-5
N-甲基甲氧麻黄酮	4-methyl-*N*,*N*-dimethylcathinone		—
4-MEC	4-methyl-*N*-ethylcathinone		1225617-18-4
2-MMC	2-甲基甲卡西酮		—
3-MMC	3-甲基甲卡西酮		—

表 1. 常见的卡西酮（续）

常用名 / 简称	*化学名称*	*结构*	*化学文摘分类办法编号（如果有）*
Naphyrone	1-(2-naphthalenyl)-2-(1-pyrrolidinyl)-1-pentanone		850352-53-3
4-TFMMC	4-三氟甲基甲卡西酮		—

2.3 互联网市场

根据欧洲麻醉品和麻醉品致瘾监测中心 [7] 提供的数据，据报道出现在欧洲非法使用药物市场上的大多数合成卡西酮是在欧洲以外的地方合成的，已确认中国和印度（较小范围内）是主要来源国。大约从 2006 年起，非法使用药物市场从街头毒贩或“迷幻制品商店”变为互联网上随处可见的虚拟市场。这极大地改变了与新的精神活性物质的经销、销售和营销有关的交易模式。

互联网不仅提供有关卡西酮和其他新的精神活性物质的信息，还成为这些物质经销和销售的全球毒品市场 [8]。互联网提供一系列广泛来源，可通过社交网络网站、在线迷幻制品商店、讨论区、博客等宣传这些材料。宣传战略非常强大，包括给这些物质冠以诱人的产品名称，如“喵喵”、“无敌神猫”、“泡泡”和“象牙浪”。在线零售商通常模棱两可地介绍其产品，常常作为研究化学品、屋内芳香剂、植物性食物或浴盐出售，附有“警告”或“免责声明”，指出并非供人类食用或仅用于研究目的 [9]。甲氧麻黄酮是一种合成卡西酮，被指是最常使用的“合法兴奋剂”[10]，而娱乐性地使用甲氧麻黄酮例证了互联网发挥的重要作用。谷歌趋势 [11] 提供的数据显示，全世界范围内“合法兴奋剂”一词的搜索始于 2006 年。欧洲麻醉品和麻醉品致瘾监测中心“快照”报告，2014 年 1 月，提供“合法兴奋剂”化合物的在线商店数量为 650 家，而 2011 年 1 月和 2010 年 1 月分别为 314 家和 170 家 [9，12，13]。近年来所谓的“深网”也在可供购买非法使用药物和新的精神活性物质的匿名在线市场上发挥着越来越重要的作用。

2.4 使用和滥用情况

合成卡西酮通常为吹入（吸入）或口服。近年来，报告还有注射合成卡西酮的案例。吹入剂量通常为 20 到 80 毫克不等，但在某些情况下可以低至 5 毫克或高达 125 毫克，30 分钟内效果达到峰值。甲氧麻黄酮的最大效力需要吸入大剂量，据称摄入后最大效力在 45 分钟到 2 小时内出现，效果持续 2 到 3 个小时 [6]。新的精神活性物质的使用者可能经常认为这些物质是安全的，发现它们比传统的滥用药物更有吸引力。然而，在很大程度上，与这些产品相关的毒性和健康影响尚不得而知 [8]。

此外，这些产品的包装上关于其成分的描述往往不准确和具有误导性。经常发现相同包装里装有不同的精神活性物质，从而增加了这些产品效用的不可预测性。大量研究表明，这些产品可能包含受国际管制的物质，产品含有的精神活性成分并不总是一致 [14-16]。

2.5 药物学与毒理学

一些合成卡西酮在结构上同苯丙胺类兴奋剂、苯丙胺、甲基苯丙胺和亚甲二氧基甲基苯丙胺类似，据称具有相似的中枢神经系统刺激性 [17-20]。它们可以显著影响血清素、多巴胺和去甲肾上腺素等神经递质的水平和行动 [17，21-23]。许多卡西酮衍生品只有一个手性中心，因此以两种具有不同效能的对映体形式存在。例如，据报道卡西酮和甲卡西酮的 *(S)*-对映体的效力比 *(R)*-对映体更强 [6]。

合成卡西酮会对行为产生多种影响，可能影响自主活动、温度调节、学习和记忆力 [17]。据报道，服用甲氧麻黄酮后短期副作用多种多样，可能包括食欲不振、视力模糊、焦虑、后续抑郁、混乱、幻觉、短期精神病和狂躁 [24-26]。同样，临床报告指出，服用亚甲基二氧吡咯戊酮会导致焦虑、幻想、记忆丧失和攻击性 [17]。因合成卡西酮而中毒还可能导致严重的不良反应，包括急性肝衰竭、急性肾损伤、高血压和颤抖 [27，28]。许多合成卡西酮使用者还报告称，长期使用还会形成耐药性、依赖性或戒断症状 [6]。

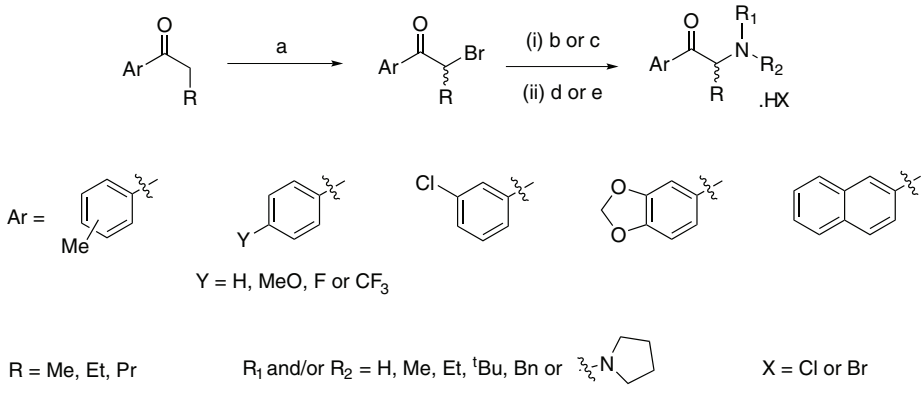
关于合成卡西酮的代谢，对甲氧麻黄酮进行了广泛研究，介绍了大量代谢物的特性 [25，26，29]。第一阶段主要代谢物表明是简单氧化、还原和 *N*-脱烷基化反应后的产品 [25]。甲氧麻黄酮第一阶段代谢物随后进行第二阶段的大量代谢，形成分泌之前的葡糖苷酸 [29]。

3. 合成卡西酮的非法制造

3.1 卡西酮衍生品的合成

卡西酮的化学合成并不复杂，过程通常分两步。首先是 α-溴代酮的合成（前身是芳香酮），之后是亲核取代反应，由相关胺提供卡西酮的相应毒品。由于毒品的不稳定性，为了方便，将卡西酮分别单独作为相应的盐酸盐或氢溴酸盐 [30]。据称，1929 年 Saem de Burnaga Sanchez [31] 首次合成甲氧麻黄酮，1-tolylpropan-1-one 被 α-溴化，然后与甲胺反应生成外消旋 4-甲基甲卡西酮。这种方法可适用于一系列卡西酮的合成，包括 2-MMC、3-MMC、甲卡西酮、甲氧麻黄酮、敏疫朗、methedrone、敏疫朗、flephedrone、*N*-甲基甲氧麻黄酮、eutylone、butylone、4-MEC、4-TFMMC 和安非他酮。

图二． 卡西酮衍生品制备工作的反应机制



这些合成路线可用于秘密制造。然而，如果 4-甲基麻黄碱可用，也可以通过氧化利用 4-甲基麻黄碱生产 4-甲基甲卡西酮。如果反应物是单一对映体，认为这种方法是立体选择。然而，由于生产 4-甲基麻黄碱纯对映体的复杂性，这条路线不太可能经常用于秘密实验室。[19]

4. 含合成卡西酮的缴获材料的定性和定量分析

4.1 导言

总体而言，要确定可疑材料中受管制药物或新的精神活性物质的特性，分析方法必须包括确定至少两个不相关的参数，其中一个应提供分析物化学结构的信息，例如红外线、质谱法、或串联方法，如气相色谱-质谱法。在任何特定情况下，必须在所涉药物和可用资源的背景下选择参数。司法需求也可能对分析要求做出规定。

4.2 抽样

抽样程序的主要原因是能够进行精确和有意义的化学分析。由于法医药物分析实验室中使用的大多数定性和定量方法需要极少量材料，因此至关重要的是，从大批量中提取的少量具有代表性。抽样应遵循国家药典或者区域或国际组织等列明的分析化学原则。关于多种样本定性抽样的综述，可参阅《代表性毒品样品准则》(https://www.unodc.org/documents/scientific/Drug_Sampling.pdf) [32]。

4.3 提取和样品准备

应按照其如下结构准备样品：

粉末：应准备甲醇浓度大约为 1 毫克 / 毫升的溶液。

片剂：代表数量的片剂（抽样程序后）应该被磨成细粉，为粉末准备溶液。

胶囊：应清除代表性的胶囊样本里（抽样程序后）的物质并为粉末准备溶液。

注射器或玻璃器皿：应该用最少量的甲醇进行清洗。

4.4 推定颜色化验

推定化验是非特异性测试化验，可用来查明一种物质属于哪类化合物。然而，无法利用推定化验查明该类物质中的具体化合物。因此，进行这些初步测试的同时，还必须进行验证测试。在给相关物质加入试剂后，推定化验根据观测到的颜色变化给出肯定结果。

进行推定化验时需要进行阴性对照，以确保观测到的任何颜色变化是由于物质和试剂之间的反应，而不仅仅是试剂。此外，还要确保所使用的设备是非常干净，没有污染的可能性。还应根据参照标准或样品中化学物的已知样本进行阳性对照，说明应发生的颜色变化。

针对合成卡西酮的最适合的推定化验之一是齐默尔曼化验，该化验在多数情况下提供了针对盐酸和氢溴酸盐的明确反应。

齐默尔曼化验试剂

应将要化验的少量样品倒入滴试板缩窝，并循序加入试剂。应进行阳性和阴性对照。应写下加入以下试剂后立即出现的任何颜色变化或其他明显效应五分钟后再次观察。

- 在甲醇中加入 2 滴 1% (w/v) 的 1,3-硝基苯，然后
- 在水中加入 2 滴 15% (w/v) 的氢氧化钾。

不同种类卡西酮齐默尔曼化验观测到的结果见表 2。

表 2. 利用齐默尔曼化验分析不同种类卡西酮获得的常见结果

化合物	*直接颜色变化*	*五分钟后的颜色*
Benzedrone (4-MBC)	颜色没有变化	浅粉色
安非他酮	颜色没有变化	颜色没有变化
Butylone	（大约 10 秒后）淡粉色	暗紫色
Eutylone	颜色没有变化	淡紫色
Flephedrone	浅紫色	暗紫色
亚甲基二氧吡咯戊酮	黄色	黄色
甲氧麻黄酮	浅紫色	暗红色 / 暗紫色
甲卡西酮	暗紫色	暗紫色
Methedrone	（几秒后）暗紫色	暗紫色
敏疫朗	（大约 10 秒后）浅紫色	暗紫色
N-甲基甲氧麻黄酮	（大约 20 秒后）浅紫色	浅紫色
4-MEC	（大约 10 秒后）浅紫色	暗紫色与紫色混合
2-MMC	暗紫色	暗紫色
3-MMC	紫色	暗紫色
Napyhrone	黄色	暗黄色
4-TFMMC	暗紫色	暗紫色

4.5 微晶化验

微晶化验快速、简单，是查明物质特性的高灵敏化验。这种化验涉及利用化学试剂将目标化合物反应形成晶体，之后通过偏光显微镜以及与参考材料比较分析得到的晶体。通常同等对待已知晶体或参考标准或已知药品样品的图片并进行比较。

报告程序使用了氯化汞 [33]，观测到用甲氧麻黄酮形成具有典型特点的“明轮和叶片花结”（图三）。

试剂

试剂指的是氯化汞的水溶液，浓度为 10 克 / 升。

应按照药品标准准备浓度为 10 克 / 升的水溶液。

方法

在玻璃载片上放一等份（10 微升）化验溶液（1 克 / 升）与 10 微升的试剂相混合。用一根塑料吸管帮助形成核和晶体。

图三． 甲氧麻黄酮微晶化验期间观测到的呈“明轮和叶片花结”形状的晶体 [34]

4.6 薄层色谱法

薄层色谱法是一种常用的技术，用于分离和鉴定非法使用的药物。在选择固定相和流动相过程中，这个方法经济、快速、灵敏、灵活，适合各种原状和盐状形式的物质，包括大部分极性材料和非极性材料。可计算得出样品中每种化合物的保留因子，试验性区分一种药物类别中的化合物。

$$\text{保留因子值} = \frac{\text{原点到样品点的距离}}{\text{原点到溶剂前沿的距离}}$$

薄层色谱分析用于分析非法使用的药物，因为这个方法便宜、方便使用，提供一定程度的特异性，并且能够检测药物。不过，同推定化验一样，薄层色谱法并未被视为验证化验，仅作为筛选方法。1990 年，Lehmann

等 [35] 提出了从卡塔叶中检测卡西酮的一种方法。1995 年，这个方法得到了 Lee 的证实 [36]。

薄层色谱板（固定相）

涂层：硅胶 G，外层厚度为 0.25 毫米，含有一种惰性指标，在 254 毫微米的紫外线光波照射下发荧光（硅胶 GF_{254}）。

普通板尺寸：20 x 20 厘米、20 x 10 厘米、10 x 5 厘米（侧垂直为 10 厘米的薄层色谱缸一起使用）。

溶剂系统

应通过利用吸液管、分配器和量筒，尽可能准确地准备以下溶剂系统。溶剂系统应放置在一个玻璃薄层色谱缸中，以便在分析前有充分时间达到气相饱和度。

乙酸乙酯、甲醇和 (25%) 氨 – (85:10:5 v/v/v)

标准溶液的制备

应按照 1 至 5 毫克 / 毫升浓度的甲醇（或实验室协议）准备这些溶液，并将其存放在遮光、阴凉的地方。

溶液样品

粉末：应准备甲醇浓度大约为 1 毫克 / 毫升的溶液。

片剂：代表数量的片剂（抽样程序后）应该被磨成细粉，为粉末准备溶液。

胶囊：应清除代表性的胶囊样本里（抽样程序后）的物质并为粉末准备溶液。

安排斑点与显影

应将样品以及相关的阴性对照和阳性对照作为单个斑点。将大约 1 和 5 微升等份的样品溶液、2 微升的标准溶液和 2 微升的溶剂（作为阴性对照）放到薄层色谱板上。应仔细安排斑点，避免损坏薄层色谱板的表层。

分析说明

- 化验起点，即“斑点线”距离色谱板底部至少 2 厘米。
- 样品之间间隔（斑点）至少 1 厘米，斑点距离色谱板侧边不得少于 1.5 厘米。
- 为避免显影过程期间混淆斑点，应通过放置等份溶液而非一整份，使溶液样品斑点的尺寸尽可能小。
- 使斑点保持干燥，将色谱板放入溶液浸泡的缸（利用缸两侧溶液浸泡的垫料或滤纸达到气相饱和度）中。
- 在溶剂达到之前标记的展线（距起点线 10 厘米）后，尽可能将色谱板从展开罐移走；否则将可能混淆斑点。

查看 / 检测

查看前色谱板必须干燥。溶剂可在室温下蒸发或用热风机清除溶剂。应在紫外线（254 毫微米）照射下查看色谱板，在喷涂茚三酮试剂 (2%) 前记下任何斑点。随后将色谱板放入超过 80°C 的炉子，直到布满所有斑点（约 40 分钟）。一旦从炉子中拿出来，应该用铅笔标记斑点，然后计算每个斑点的保留因子值。

在替代的卡西酮化合物上应用薄层色谱法时，可看到斑点的各种颜色和形状。喷涂茚三酮试剂 (2%)，并在紫外线照射下查看（表 3）时，每种化合物形成的斑点的颜色不同（黑色 / 蓝色 / 紫色）。

表 3. 各种卡西酮化合物的薄层色谱法结果（喷涂茚三酮试剂 (2%)；紫外线 =254 毫微米）

药物	*短 λ 紫外线照射下斑点的颜色*	*保留因子值*
Benzedrone (4-MBC)	黑线	0.83
安非他酮	黑线	0.60
Butylone	浅蓝色斑点	0.20
Eutylone	浅蓝色斑点	0.32
Flephedrone	黑色斑点	0.15
亚甲基二氧吡咯戊酮	浅蓝色斑点	0.39
甲氧麻黄酮	黑色斑点	0.17

药物	*短 λ 紫外线照射下斑点的颜色*	*保留因子值*
甲卡西酮	黑色斑点	0.17
Methedrone	黑色斑点	0.14
敏疫朗	浅色斑点	0.16
N-甲基甲氧麻黄酮	黑色斑点	0.33
4-MEC	黑色斑点	0.21
2-MMC	黑色斑点	0.18
3-MMC	黑色斑点	0.20
Naphyrone	宝蓝色 / 紫色斑点	0.44
4-TFMMC	浅色线	0.27

分析说明

- 由于色谱板构成的细小变化和溶剂系统、罐饱和度或展开距离的变化，保留因子值并不一定可复制。因此，所提供的保留因子值反映了所列物质的色谱行为。因此，所提供的保留因子值反映了所列物质的色谱行为。
- 同一色谱板上必须同时执行参照标准。
- 为检测目的，还应始终考虑保留因子值和喷涂相关显示剂后斑点的颜色。

4.7 气象色谱与质谱法

气相色谱法与质谱法是医用检测药物样品最常用的联用技术之一，可作为卡西酮的验证检测。它提供两个独立的分析手段（色谱分离和质谱裂解数据）。有一系列广泛可用的工具，应该使用标准分析毛细管柱进行分析。

内标溶液的制备

二十烷（或相似的链烷）可作为内标，按照浓度为 1 毫克 / 毫升的甲醇准备溶液。

标准溶液的制备

要进行分析的药物的参照材料或标准应按照浓度为 1 毫克 / 毫升的甲醇准确称重和准备，其中包含内部标准。

样品溶液的制备

要进行分析的具有代表性的药物应按照浓度为 1 毫克 / 毫升的粉末甲醇样品准确称重和准备，其中包含内部标准。

同行评审文献上出现了用于分析卡西酮化合物的各种气相色谱法与质谱法，法医科学实验室可能会采用这些方法或进行适当的研究，以便提出自己的方法。关键是，无论使用何种方法，均须进行适当的验证。本指南提供了一般性筛选方法。

气相色谱法与质谱法运作条件

气相色谱法火炉条件：	90°C 保持 1 分钟，之后按照每分钟 8°C 增长 300°C，随后保持在恒温 300°C，持续 10 分钟	
色谱柱：	5% 的苯基 /95% 的聚甲基硅酮 (HP-5MS)，内径：30 米长 x 0.25 毫米；膜厚度：0.25 微米	
注入参数：	2 微升等份注入的样品，分流比为 75:1	
	注入器温度：	225°C
载气：	氮，流速：	1.0 毫升 / 分钟
检测器：	电离模式：	EI 模式，70 eV
	扫描参数：	TIC 全扫描模式 50-550 amu
	气相色谱接口温度：	300°C
	质谱源温度：	230°C
	质谱法四极温度：	150°C

利用气相色谱法-质谱法进行检测之后，要将分析物的保留时间和质谱与参考标准给出的保留时间和质谱相比较。必须将用气相色谱法-质谱法检测到的和分析师报告的所有化合物与相关参考标准的现有质谱相比较，最好是利用同一工具并且在相同条件下获得的质谱。商业或用户生成的质谱库仅供参考使用。表 4 提供了利用甲醇作为萃取溶剂从气相色谱法-质谱法筛查中获得的参考数据。衍生品无需用上述方法就可准备样品 [12]。

表 4. 若干合成卡西酮的分子量、气相色谱法保留时间和主要气相色谱法-质谱法离子 [12]

化合物	*分子量*	*近似气相色谱保留时间（分钟）*	*主要气相色谱法-质谱法离子 (m/z)*
4-TFMMC	229.7	7.40	58.1, 95.0, 145.0, 173.0
Flephedrone	181.2	7.60	58.1, 75.0, 95.0, 123.0
甲卡西酮	163.2	7.80	58.1, 77.1, 91.0, 105.0
2-MMC	177.2	8.70	58.1, 77.1, 91.1, 119.0
3-MMC	177.2	9.40	58.1, 77.0, 91.1,119.1
4-MMC（甲氧麻黄酮）	177.2	9.70	58.1, 77.0, 91.1, 119.1
N-甲基甲氧麻黄酮	193.2	10.30	56.1, 72.1, 91.1, 119.0
4-MEC	191.3	10.50	56.0, 72.1, 91.0, 119.0
安非他酮	239.7	11.90	57.1, 75.0, 100.1, 139.0
PMMC (methedrone)	193.2	12.30	58.1, 77.0, 92.0, 135.0
敏疫朗	207.2	13.50	58.1, 91.0, 121.0, 149.0
Butylone	221.2	14.30	57.1, 72.1, 121.0, 149.0
Eutylone	235.2	14.90	58.1, 86.1, 121.0, 149.0
Benzedrone	253.3	18.20	65.0, 91.0, 119.0, 134.0
亚甲基二氧吡咯戊酮	275.3	18.80	65.1, 96.1, 126.1, 149.0
Naphyrone	281.4	20.80	55.1, 96.1, 126.1, 155.0

4.8 高效液相色谱法

高效液相色谱法是用于法医药物分析的又一种分离技术。反相色谱法最常用于分析缴获材料中的药物，最普遍和最通用的色谱柱列是十八烷基硅烷键合硅胶柱 (C18)。在选择色谱柱时应考虑到色谱柱的长度、直径、粒径、孔径和碳负荷。有许多固定相和移动相可供分析师使用，所有方法在常规使用前均必须经过适当的验证和 / 或证实。以下方法被用于检测许多常见混合物中的甲氧麻黄酮和敏疫朗,也用于甲氧麻黄酮的量化 [30]。

标准溶液的制备

为准备校准溶液，将 2 毫克甲氧麻黄酮倒入 100 毫升的容量瓶，然后在流动相中溶解，生成 20 微克 / 毫升的溶液。随后适当时候将这份溶液稀释，使含有烟酰胺的溶液的校准范围介于 0.5 微克 / 毫升至 10 微克 / 毫升，将其作为内部标准（2.5 微克 / 毫升）。

样品溶液的制备

按照浓度大约为 10 μg/mL 的甲氧麻黄酮和敏疫朗准备溶液。

色谱柱:	HiChrom ACE 3 C-18、内径 150 x 4.6 毫米、粒径 3 微米 恒温: 22°C
流动相:	28:72 (v/v) 甲醇 : 10 mM 甲酸铵（用甲酸调节，使 pH=3.5）
流速:	0.8 毫升 / 分钟
检测:	光电二极管阵列-紫外线探测仪（卡西酮为 258 毫微米）
注入量:	10 微升
内部标准:	烟酰胺，2.5 微克 / 毫升

甲氧麻黄酮的检测结果

线性范围： 0.5-10 微克 / 毫升

重复性： 相对标准偏差 < 3%

相关系数： 0.993

表 5. 8 种常见混合物中甲氧麻黄酮和敏疫朗的高效液相色谱法保留时间 [30]

化合物	*保留时间，以分钟计（t_0 = 2.2 分钟）*
烟酰胺	2.67
扑热息痛	3.7
咖啡因	4.9
敏疫朗	6.4
利多卡因	9.0
甲氧麻黄酮	9.8
氯胺酮	11.1
二乙酰吗啡	15.6
可卡因	17.1
苯坐卡因	34.4

4.9 液相色谱-串联质谱法

液相色谱-串联质谱法是一种强大的验证技术，将传统高效液相色谱法的分离特性与串联质谱法的检测能力相结合，促使大大提高了选择性。这种方法的检测限制较少，使得能够跟踪分析，并分析生物标本，如血液和头发。由于具有更高的灵敏性和选择性，液相色谱-串联质谱法适合对缴获材料中的合成卡西酮和生物标本进行定性和定量分析。

科学文献资料中介绍了若干可利用液相色谱-串联质谱法分析合成卡西酮的方法。以下是采取筛查方法分离和检测 7 种卡西酮的一个案例 [37]。

液相色谱 - 串联质谱法运作条件

液相色谱法：

色谱柱：	Agilent Zorbax Eclipse XDB C-18，（75 mm x 4.6 mm id 3.5 微米）	
流动相：	(A)95% 的水，5% 的乙腈，0.1% 的甲酸	
	(B)95% 的乙腈，5% 的水，0.1% 的甲酸	
变化率：	初始状态；	90% A：10% B
	0-2 分钟；	等度 90% A：10% B
	2-7 分钟；	线性 90% A：10% B - 60% A:40% B
	7-9 分钟；	等度 60% A：40% B
流速：	0.6 毫升 / 分钟	
色谱柱温度：	室内温度	
注入量：	5 微升	

MS/MS：

仪器：	Agilent 6410A 三重四级杆质谱
检测模式：	多反应监测
电离模式：	正电喷雾电离质谱 (ESI^+)
毛细管电压：	2.5 kV
干燥气温度：	325 °C @ 5 升 / 分钟
喷雾器压力：	60 psi

若干卡西酮的优化碰撞能量和碰撞电压见下表。

表 6. 若干合成卡西酮的优化多反应监测参数

分析物	*前体离子 $[M+H]^+$*	*产品离子 $[M+H]^+$*		*碰撞电压 V*	*碰撞能量 V*	
		转换一	*转换二*		*转换一*	*转换二*
甲氧麻黄酮	178	160	144	90	10	36
Butylone	222	174	204	100	16	9
亚甲基二氧吡咯戊酮	276	126	135	125	27	27
Flephedrone	182	164	149	100	11	22
敏疫朗	208	160	132	90	16	30
Methedrone	194	176	161	90	8	18
4-甲基甲卡西酮	192	174	144	100	11	32

4.10 傅里叶变换红外线光谱学

可通过傅里叶变换红外线光谱学确认一种物质的特性。可从每个独特光谱明确识别合成卡西酮。对于认为相当纯粹的粉末，利用溴化钾压片法可获得粉末的红外光谱。

分析说明

- 溴化钾压片法包括将干燥的样品碾碎成细末，然后将大约 2 毫克的同类样品与 200 毫克干燥、磨碎的溴化钾相混合。在磨碎后，混合物被压缩成轻薄、透明的片剂。
- 溴化钾应“红外扫描”，在 105°C 烘干，时间持续最少一小时。可将溴化钾存储在放置有强力干燥剂（硅胶）的干燥器中，或者留在炉子中，在需要时去掉。

表 7. 若干合成卡西酮的红外光谱数据 (cm^{-1})[1]

2-FMC	*3-FMC*	*4-FMC*	*2-MMC*	*3-MMC*	*4-MMC*	*敏疫朗*	*Butylone*	*亚甲基二氧吡咯戊酮*	*甲卡西酮*
3382	2947	2459	3443.5	3434.6	3416.6	3466.3	3455.9	3442.9	1691
2686	2685	1686	2895.6	2937.0	2916.8	2916.7	2936.2	3092.0	1496
2467	2439	1594	2741.9	2799.7	2739.6	2798.5	2791.2	2967.3	1245
1686	1698	1513	2450.8	2738.0	2450.7	2743.6	2717.4	2915.3	705
1607	1589	1471	2361.2	2445.5	2417.7	2457.1	2500.6	2800.4	
1476	1478	1410	1696.4	1686.4	1684.2	2359.4	2421.1	2614.4	
1459	1433	1363	1600.3	1603.7	1605.0	1679.6	1666.7	1685.9	
1450	1382	1301	1572.4	1585.0	1568.8	1602.7	1624.6	1611.0	
1397	1364	1238	1488.9	1464.1	1456.7	1502.7	1604.2	1507.2	
1337	1230	1208	1459.2	1421.7	1412.1	1451.1	1507.9	1491.0	
1292	1259	1166	1430.3	1381.0	1384.2	1422.5	1494.3	1469.3	
1277	1218	1113	1417.0	1348.6	1347.4	1382.9	1456.9	1436.8	
1194	1189	1029	1380.4	1297.3	1295.4	1348.9	1425.0	1413.2	
1210	1167	1006	1335.0	1260.0	1247.7	1299.2	1415.9	1375.9	
1099	1096	980	1299.7	1180.2	1214.6	1260.3	1364.6	1355.1	
1029	1043	902	1246.1	1154.5	1200.9	1195.9	1347.2	1286.9	
1042	1016	847	1200.4	1102.5	1189.3	1120.8	1332.1	1277.0	
1001	993	819	1095.4	1041.3	1125.9	1090.0	1264.7	1256.8	
977	896	765	973.4	1003.7	1095.7	1037.9	1120.4	1223.2	

[1]利用 ATR-3 上面的光谱版生成氟甲基甲卡西酮同分异构体的红外光谱数据 [38]。2-MMC、3-MMC、4-MMC、methylone、butylone、亚甲基二氧吡咯戊酮和甲卡西酮的数据是利用溴化钾压片获得的 [13, 39, 40]。

表 7. 若干合成卡西酮的红外光谱数据 (cm^{-1}) *（续）*

2-FMC	*3-FMC*	*4-FMC*	*2-MMC*	*3-MMC*	*4-MMC*	*敏疫朗*	*Butylone*	*亚甲基二氧吡咯戊酮*	*甲卡西酮*
899	830	748	752.4	982.9	1050.0	1006.7	1102.5	1104.6	
828	796	684		894.6	1029.5	990.8	1038.7	1035.0	
785	757			804.5	1007.8	927.6	962.0	1004.8	
767	723			753.7	976.4	887.4	934.8	930.0	
758	674			720.2	889.4	879.4	877.6	918.4	
740					853.9	836.7	840.0	868.3	
					844.2	819.2	828.1	833.0	
					827.5	807.2	806.2	808.0	
					802.2	767.3	743.9	568.2	
					756.5	740.7			
					733.0	715.3			
					687.4				
					600.0				
					477.7				

4.11 核磁共振光谱法

核磁共振光谱法是一项强大的分析技术，可用于说明分子结构和测定纯度（在精确的分析条件下）。可利用核磁共振试验，其中包括 1-维质子（^{1}H）和碳（^{13}C）光谱，并结合 2-维关联试验，包括核欧佛豪瑟效应频谱和异核多量子关系，确定分子完整官能团的配置。甲氧麻黄酮的结构配置见表 8。

图四． 标出分子位置的甲氧麻黄酮的结构

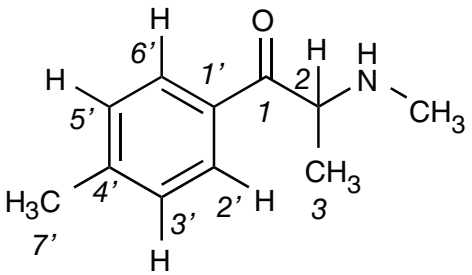


表 8. 甲氧麻黄酮的结构配置，在氘代甲醇中采取光谱法，^{1}H 光谱 (500MHz)、^{13}C 光谱 (125MHz) [41]

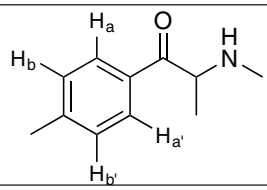
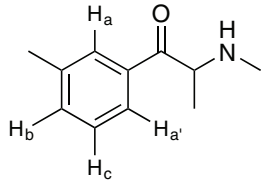
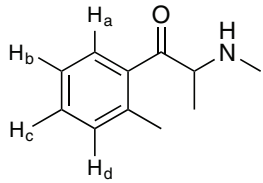
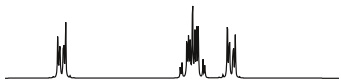
位置	*^{1}H 信号 (ppm)*	*信号多样性*	*耦合常数 (J, Hz)*	*^{13}C 信号 (ppm)*
1	–	–	–	196.6
2	5.09	四种	7.2	60.5
3	1.57	两种	7.2	16.3
1′	–	–	–	131.7
2′/6′	7.62	两种	8.5	130.1
3′/5′	7.42	两种	8.5	131.0
4′	–	–		147.6
7′	2.45	一种	–	21.8
N-CH_3	2.77	一种	–	31.7

应指出，核磁共振化学位移、信号多样性的解决和耦合常数的绝对值可能因许多因素而不同，包括但不限于溶剂、温度和该工具的磁场强度。本文献还提供了其他溶剂中甲氧麻黄酮的核磁共振光谱 [30，42]。

核磁共振用于区分位置异构体

有可能利用核磁共振光谱学协助区分位置异构体。例如，4-甲基甲卡西酮是一种 1,4-*para* 取代芳香分子，质子对称分布在芳环上。就这一点而言，芳香分子的 ^{1}H 核磁共振信号反映了这种 AA’/BB’ 系统的裂变模式特点。芳香质子在 4-MMC 中是对称分布的，而 2-甲基甲卡西酮（1,2-*ortho* 取代系统）和 3-甲基甲卡西酮（1,3-*meta* 取代系统）则没有，因而形成了更复杂的裂变模式，如表 9 所示。

表 9. 甲氧麻黄酮及其位置异构体的估计核磁共振裂变模式

物质	*结构*	*芳烃质子的估计裂变模式* [2]
4-甲基甲卡西酮		
3-甲基甲卡西酮		
2-甲基甲卡西酮		

因此，可以轻易将 4-MMC 与其位置异构体区别开来。但如果没有进一步的补充实验，很难明确区分 2-MMC 和 3-MMC。类似分析可用来区分对位取代卡西酮与其邻位 / 元位置异构体。

[2]利用 ChemBioDraw Ultra™ 软件计算得出的大致裂变模式。

参考资料

1. United Nations Office on Drugs Crime (UNODC), *The challenge of new psychoactive substances*. 2013, Global Synthetics Monitoring: Analyses, Reporting and Trends (SMART) Programme.

2. Hyde, J.F., E. Browning, and R. Adams, *Synthetic homologs of d, l-ephedrine*. Journal of the American Chemical Society, 1928. 50(8): p. 2287-2292.

3. United Nations Office on Drugs Crime (UNODC), *Data from the UNODC Early Warning Advisory on New Psychoactive Substances*. 2015.

4. Khreit, O.I., C. Irving, E. Schmidt, J.A. Parkinson, N. Nic Daeid, and O.B. Sutcliffe, *Synthesis, full chemical characterisation and development of validated methods for the quantification of the components found in the evolved "legal high" NRG-2*. J Pharm Biomed Anal, 2012. 61: p. 122-35.

5. Biliński, P., P. Hołownia, L. Kapka-Skrzypczak, and A. Wojtyła, *Designer Drug (DD) abuse in Poland; a review of the psychoactive and toxic properties of substances found from seizures of illegal drug products and the legal consequences thereof. Part 1—cannabinoids and cathinones*. Ann Agric Environ Med, 2012. 19(4): p. 857-70.

6. Schifano, F., A. Albanese, S. Fergus, J.L. Stair, P. Deluca, O. Corazza, Z. Davey, J. Corkery, H. Siemann, N. Scherbaum, M. Farré, M. Torrens, Z. Demetrovics, A.H. Ghodse, P.W. Mapping, and R.R. Groups, *Mephedrone (4-methylmethcathinone; "meow meow"): chemical, pharmacological and clinical issues*. Psychopharmacology (Berl), 2011. 214(3): p. 593-602.

7. European Monitoring Centre for Drugs Drug Addiction (EMCDDA), *2012 Annual Report on the State of the Drugs Problem in Europe*. 2012.

8. Winstock, A. and C. Wilkins, *"Legal highs" – the challenge of new psychoactive substances*. 2011: TNI/IDPC Transnational Institute Series on Legislative Reform of Drug Policies.

9. European Monitoring Centre for Drugs Drug Addiction (EMCDDA) (2011) *Briefing paper: online sales of new psychoactive substances/"legal highs": summary of results from the 2011 multilingual snapshots*.

10. Vardakou, I., C. Pistos, and C. Spiliopoulou, *Drugs for youth via Internet and the example of mephedrone*. Toxicol Lett, 2011. 201(3): p. 191-5.

11. Google Trends. [cited 2013 April]; Available from: http://www.google.co.uk/trends/.

12. Nic Daeid, N., K.A. Savage, D. Ramsay, C. Holland, and O.B. Sutcliffe, *Development of gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and other rapid screening methods for the analysis of 16 "legal high" cathinone derivatives*. Sci Justice, 2014. 54(1): p. 22-31.

13. Moffat, A., J. Jackson, M. Moss, and B. Widdop, *Clarke's isolation and identification of drugs*. The Pharmaceutical Press, London, 1986. 2: p. 608-609.

14. Brandt, S.D., S. Freeman, H.R. Sumnall, F. Measham, and J. Cole, *Analysis of NRG "legal highs" in the UK: identification and formation of novel cathinones*. Drug Test Anal, 2011. 3(9): p. 569-75.

15. Ramsey, J., P.I. Dargan, M. Smyllie, S. Davies, J. Button, D.W. Holt, and D.M. Wood, *Buying "legal" recreational drugs does not mean that you are not breaking the law.* QJM, 2010. 103(10): p. 777-83.

16. Davies, S., D.M. Wood, G. Smith, J. Button, J. Ramsey, R. Archer, D.W. Holt, and P.I. Dargan, *Purchasing "legal highs" on the Internet—is there consistency in what you get?* QJM, 2010. 103(7): p. 489-93.

17. Gregg, R.A. and S.M. Rawls, *Behavioral pharmacology of designer cathinones: a review of the preclinical literature*. Life Sci, 2014. 97(1): p. 27-30.

18. World Health Organization (WHO), *WHO Expert Committee on Drug Dependence. Thirty-sixth report*. World Health Organ Tech Rep Ser, 2015(991): p. 1-50, back cover.

19. European Monitoring Centre for Drugs Drug Addiction (EMCDDA), Europol–EMCDDA Joint Report on a New Psychoactive Substance: 4-methylmethcathinone (Mephedrone). 2010: EMCDDA, Lisbon.

20. European Monitoring Centre for Drugs Drug Addiction (EMCDDA), *EMCDDA–Europol Joint Report on a new psychoactive substance: MDPV (3, 4-methylenedioxypyrovalerone)*. 2014: Lisbon.

21. Martínez-Clemente, J., E. Escubedo, D. Pubill, and J. Camarasa, *Interaction of mephedrone with dopamine and serotonin targets in rats*. Eur Neuropsychopharmacol, 2012. 22(3): p. 231-6.

22. Winstock, A., L. Mitcheson, J. Ramsey, S. Davies, M. Puchnarewicz, and J. Marsden, *Mephedrone: use, subjective effects and health risks*. Addiction, 2011. 106(11): p. 1991-6.

23. German, C.L., A.E. Fleckenstein, and G.R. Hanson, *Bath salts and synthetic cathinones: an emerging designer drug phenomenon*. Life Sci, 2014. 97(1): p. 2-8.

24. Advisory Council on the Misuse of Drugs (ACMD). *Consideration of the Novel Psychoactive Substances ("Legal Highs")*. 2011 [cited 2013 April]; Available from: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/119139/acmdnps2011.pdf.

25. Meyer, M.R., J. Wilhelm, F.T. Peters, and H.H. Maurer, *Beta-keto amphetamines: studies on the metabolism of the designer drug mephedrone and toxicological detection of mephedrone, butylone, and methylone in urine using gas chromatography-mass spectrometry*. Anal Bioanal Chem, 2010. 397(3): p. 1225-33.

26. Pedersen, A.J., L.A. Reitzel, S.S. Johansen, and K. Linnet, *In vitro metabolism studies on mephedrone and analysis of forensic cases*. Drug Test Anal, 2013. 5(6): p. 430-8.

27. Valente, M.J., P. Guedes de Pinho, M. de Lourdes Bastos, F. Carvalho, and M. Carvalho, *Khat and synthetic cathinones: a review*. Arch Toxicol, 2014. 88(1): p. 15-45.

28. European Monitoring Centre for Drugs Drug Addiction (EMCDDA), *EMCDDA annual report 2011: the state of the drugs problem in Europe*. 2011: Lisbon.

29. Khreit, O.I., M.H. Grant, T. Zhang, C. Henderson, D.G. Watson, and O.B. Sutcliffe, *Elucidation of the Phase I and Phase II metabolic pathways of (±)-4'-methylmethcathinone (4-MMC) and (±)-4'-(trifluoromethyl)methcathinone (4-TFMMC) in rat liver hepatocytes using LC-MS and LC-MS²*. J Pharm Biomed Anal, 2013. 72: p. 177-85.

30. Santali, E.Y., A.K. Cadogan, N.N. Daeid, K.A. Savage, and O.B. Sutcliffe, *Synthesis, full chemical characterisation and development of validated methods for the quantification of (±)-4'-methylmethcathinone (mephedrone): a new "legal high"*. J Pharm Biomed Anal, 2011. 56(2): p. 246-55.

31. Saem de Burnaga Sanchez, J., *Sur un Homologue de L'ephedrine (On an Analogue of Ephedrine)*. 1929: Bulletin de la Societé Chimique de France. p. 284-286.

32. United Nations Office on Drugs Crime (UNODC) and European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI), *Guidelines on Representative Drug Sampling*. 2009: United Nations Publication, Sales No. E.09.XI.13.

33. Elie, L., M. Baron, R. Croxton, and M. Elie, *Microcrystalline identification of selected designer drugs*. Forensic Science International, 2012. 214(1-3): p. 182-188.

34. Image received and used with kind permission of Dr. Mark Baron, School of Life Sciences, University of Lincoln, United Kingdom.

35. Lehmann, T., S. Geisshosler, and R. Brenneisen, *Rapid TLC identification test for khat (Catha edulis)*. Forensic Science International, 1990. 45(1): p. 47-51.

36. Lee, M.M., *The identification of cathinone in Khat (Catha edulis): a time study.* Journal of Forensic Sciences, 1995. 40: p. 116-121.

37. Jankovics, P., A. Váradi, L. Tölgyesi, S. Lohner, J. Németh-Palotás, and H. Kőszegi-Szalai, *Identification and characterization of the new designer drug 4'-methylethcathinone (4-MEC) and elaboration of a novel liquid chromatography–tandem mass spectrometry (LC–MS/MS) screening method for seven different methcathinone analogs*. Forensic Science International, 2011. 210(1-3): p. 213-220.

38. Archer, R., *Fluoromethcathinone, a new substance of abuse*. Forensic Science International, 2009. 185(1): p. 10-20.

39. Power, J.D., P. McGlynn, K. Clarke, S.D. McDermott, P. Kavanagh, and J. O'Brien, *The analysis of substituted cathinones. Part 1: chemical analysis of 2-, 3- and 4-methylmethcathinone*. Forensic Sci Int, 2011. 212(1-3): p. 6-12.

40. Kavanagh, P., J. O'Brien, J. Fox, C. O'Donnell, R. Christie, J.D. Power, and S.D. McDermott, *The analysis of substituted cathinones. Part 3. Synthesis and characterisation of 2, 3-methylenedioxy substituted cathinones*. Forensic Science International, 2012. 216(1): p. 19-28.

41. Gibbons, S. and M. Zloh, *An analysis of the "legal high" mephedrone*. Bioorg Med Chem Lett, 2010. 20(14): p. 4135-9.

42. Camilleri, A., M.R. Johnston, M. Brennan, S. Davis, and D.G. Caldicott, *Chemical analysis of four capsules containing the controlled substance analogues 4-methylmethcathinone, 2-fluoromethamphetamine, alpha-phthalimidopropiophenone and N-ethylcathinone*. Forensic Sci Int, 2010. 197(1-3): p. 59-66.

UNODC
联合国毒品和犯罪问题办公室

Vienna International Centre, P.O. Box 500, 1400 Vienna, Austria
Tel.: (+43-1) 26060-0, Fax: (+43-1) 26060-5866, www.unodc.org

V.15-05992