· 卫生理化检验新技术新方法专题 实验技术 ·

液相色谱-串联质谱法检测婴幼儿食品3种莨菪烷生物碱

吴昊[1]，徐美佳[2]，许娇娇[2]，安雨馨[2]，韩见龙[2]，徐小民[2, 3, 4]

1.杭州医学院公共卫生学院，浙江 杭州 311399；2.浙江省疾病预防控制中心国家卫生健康委员会食品安全风险评估与标准研制特色实验室，浙江 杭州 310051；3.浙江省疾病预防控制中心全省公共卫生检测与病原学研究重点实验室，浙江 杭州 310051；4.浙江省疾病预防控制中心，浙江 杭州 310051

摘要：目的 构建固相萃取净化结合液相色谱-串联质谱法测定婴幼儿辅食、配方奶粉中山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱的方法。**方法** 采集市售婴幼儿辅食（饼干、面条和米粉）和配方奶粉，粉碎均匀后经0.5%甲酸-80%甲醇水溶液超声提取，聚合物基质阳离子交换固相萃取小柱净化，以0.02%甲酸-1 mmol/L甲酸铵水溶液和甲醇为流动相进行梯度洗脱，XBridge™ BEH C_{18}柱（150 mm×3 mm，2.5 μm）分离，采用电喷雾离子源正离子多反应监测模式测定，同位素内标法定量。**结果** 采用0.5%甲酸-80%甲醇水溶液提取、上样量为5 mL时，目标物峰面积、平均加标回收率较高。采用优化后方法检测婴幼儿食品基质效应，其中面条存在基质抑制效应，饼干、米粉和配方奶粉基质效应接近100%，采用同位素内标法定量校正。3种莨菪烷生物碱在0.1~50 ng/mL范围内，相关系数均>0.999，线性关系良好；检出限和定量限分别为0.1和0.3 μg/kg。0.3、8.0和40.0 μg/kg加标浓度下，山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱平均加标回收率分别为95.7%~102.6%、93.2%~104.7%和95.5%~104.1%，RSD分别为1.4%~8.5%、1.5%~8.4%和3.1%~8.5%。100份婴幼儿辅食中未检出3种莨菪烷生物碱；60份婴幼儿配方奶粉中有1份检出阿托品和东莨菪碱，均未检出山莨菪碱。**结论** 本方法操作简单、可校正复杂基质效应影响，准确性和精密度良好，可适用于婴幼儿食品莨菪烷生物碱的定量测定。

关键词：液相色谱-串联质谱法；固相萃取；山莨菪碱；阿托品；东莨菪碱；辅食；配方奶粉

中图分类号：R155.51 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-5087（2026）08-0849-05

Determination of three tropane alkaloids in infant foods by liquid chromatography-tandem mass spectrometry

WU Hao[1], XU Meijia[2], XU Jiaojiao[2], AN Yuxin[2], HAN Jianlong[2], XU Xiaomin[2, 3, 4]

1.School of Public Health, Hangzhou Medical College, Hangzhou, Zhejiang 311399, China; 2.NHC Specialty Laboratory of Food Safety Risk Assessment and Standard Development, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China; 3.Zhejiang Key Laboratory of Public Health Detection and Pathogenesis Research, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China; 4.Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China

Abstract: Objective To establish a method for the determination of anisodamine, atropine, and scopolamine in infant complementary foods and formula milk powder by solid-phase extraction combined with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Methods** Commercially available infant complementary foods (biscuits, noodles, and rice flour) and formula milk powder were collected. The samples were homogenized, extracted ultrasonically with 0.5% formic acid-80% aqueous methanol solution, and purified using polymer-based mixed-mode cation-exchange solid-phase extraction cartridges. Gradient elution was performed with 0.02% formic acid-1 mmol/L ammonium formate aqueous solution and methanol as mobile phases. The target compounds were separated using an XBridge™ BEH C_{18} column (150 mm×3 mm, 2.5 μm), detected by positive electrospray ionization multiple reaction monitoring mode, and quantified using the isotope internal

DOI：10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2026.08.021

作者简介：吴昊，硕士研究生在读，公共卫生专业

通信作者：徐小民，E-mail：xmxu@cdc.zj.cn

standard method. **Results** When 0.5% formic acid-80% aqueous methanol solution was used for extraction and the loading volume was 5 mL, the peak areas and average spiked recovery rates of the target compounds were relatively high. The matrix effects of infant food were evaluated using the optimized method. Noodles showed a matrix suppression effect, whereas biscuits, rice flour, and formula milk powder exhibited matrix effects close to 100%, which were corrected by isotope internal standard quantification. The three tropane alkaloids had good linear relationships in the range of 0.1-50 ng/mL, with all correlation coefficients greater than 0.999. The limits of detection and limit of quantification were 0.1 and 0.3 μg/kg, respectively. At spiked concentrations of 0.3, 8.0, and 40.0 μg/kg, the average spiked recovery rates of anisodamine, atropine, and scopolamine were 95.7%-102.6%, 93.2%-104.7%, and 95.5%-104.1%, respectively, with relative standard deviations of 1.4%-8.5%, 1.5%-8.4%, and 3.1%-8.5%, respectively. None of the three tropane alkaloids were detected in 100 infant complementary food samples. Among 60 infant formula milk powder samples, atropine and scopolamine were detected in one sample, while anisodamine was not detected. **Conclusions** The method is simple, accurate, and sensitive, and can effectively eliminate the interference of complex matrix effects. It can be applied to the quantitative determination of tropane alkaloids in infant foods.

Keywords: liquid chromatography-tandem mass spectrometry; solid-phase extraction; anisodamine; atropine; scopolamine; infant complementary food; formula milk powder

莨菪烷生物碱是十字花科、茄科和曼陀罗属等植物的有毒次生代谢产物，其中山莨菪碱、阿托品（莨菪碱的消旋体）和东莨菪碱含量较高，且关注广泛[1-2]。莨菪烷生物碱可致中毒，严重者可出现昏迷、呼吸麻痹，甚至死亡[3-4]。含莨菪烷生物碱的植物种子若污染粮食并加工成婴幼儿食品，因婴幼儿肝肾功能尚未发育成熟，对生物碱的清除速率远低于成人，其膳食暴露风险较高。因此，《食品安全国家标准 粮食》规定每千克玉米、高粱米、豆类和麦类等粮食中曼陀罗属及其他有毒植物种子应≤1 粒[5]，欧洲联盟（欧盟）规定婴幼儿食品中阿托品和东莨菪碱的限量均不超过 1 μg/kg[6]。

目前，莨菪烷生物碱的检测主要采用气相色谱-质谱[7]、液相色谱-串联质谱（liquid chromatography-tandem mass spectrometry，LC-MS/MS）[8-9]和液相色谱-高分辨质谱[10]等方法。现有文献多集中于中毒检测或婴幼儿单一食品中莨菪烷生物碱的检测[10]，需完善基质效应更复杂的婴幼儿配方奶粉检测方法。本文采用聚合物基质阳离子交换（polymeric cation exchange，PCX）固相萃取小柱净化结合 LC-MS/MS 技术建立婴幼儿辅食和配方奶粉中 3 种莨菪烷生物碱的测定方法，为婴幼儿食品莨菪烷生物碱风险监测提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 样品来源

市售婴幼儿辅食，包括饼干、面条和米粉；配方奶粉购自商店和销售网点。

1.2 仪器与试剂

LCMS-8060 液相色谱-三重四极杆串联质谱仪（日本岛津公司）；超纯水装置（美国 Millipore 公司）；手提式高速粉碎机（温岭市林大机械有限公司）；高速离心机（德国 Sartorius 公司）。山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱混合标准溶液（100 μg/mL，上海安谱璀世公司），阿托品-D_5 和东莨菪碱-$^{13}C,D_3$ 同位素混合内标溶液（100 μg/mL，天津阿尔塔公司）；甲醇和乙腈（HPLC 级，美国 J.T.Baker 公司）；甲酸（HPLC 级，美国 ROE Scientific 公司）；甲酸铵（HPLC 级，德国 Merck 公司）；氨水［>28%，分析纯，赛默飞世尔科技（中国）公司］；PCX 固相萃取小柱（60 mg/3 mL，天津艾杰尔科技公司）。

1.3 方法

1.3.1 LC-MS/MS 条件

LC 分离：XBridge™ BEH C_{18} 柱（150 mm×3 mm，2.5 μm）；柱温 35 ℃；流动相 A 为 0.02% 甲酸-1 mmol/L 甲酸铵水溶液；流动相 B 为甲醇。梯度洗脱程序：0~0.5 min，95% A；0.5~4.0 min，95% A~5% A；4.0~7.0 min，5% A；7.0~7.5 min，5% A~95% A；7.5~10.0 min，95% A。流速为 0.4 mL/min；进样量为 1.0 μL。

质谱检测：电喷雾离子源正离子模式；离子源接口电压为 4.0 kV；雾化气为氮气，3.0 L/min；干燥气为氮气，10 L/min；加热气为空气，10 L/min；碰撞气为氩气；脱溶剂管温度为 526 ℃；加热块温度为 400 ℃；接口温度为 300 ℃；多反应监测（multiple reaction monitoring，MRM）模式，参数见表 1。

1.3.2 标准工作液配制

用 50% 乙腈水溶液逐级稀释 3 种莨菪烷生物碱混合标准溶液和 2 种同位素混合内标溶液，并配制成质量浓度为 10、100 和 1 000 ng/mL 的混合标准使

表 1 质谱检测 MRM 参数

Table 1 Mass spectrometry detection of MRM parameters

目标物	前体离子/（m/z）	产物离子/（m/z）	碰撞能量/eV	定量内标
山莨菪碱	306.2	140.0①	26	东莨菪碱-$^{13}C,D_3$
		122.0	30	
阿托品	290.0	124.0①	34	阿托品-D_5
		93.0	44	
东莨菪碱	304.2	138.0①	25	东莨菪碱-$^{13}C,D_3$
		156.0	18	
阿托品-D_5	295.0	93.0	44	
东莨菪碱-$^{13}C,D_3$	308.0	142.0	25	

注：①表示定量离子对。

用液，以及 1 000 ng/mL 的混合内标使用液。取适量混合标准使用液，用 50% 乙腈水溶液配制成质量浓度为 0.1、0.2、0.5、1.0、2.0、5.0、10.0、20.0、50.0 和 100.0 ng/mL 的标准工作液，每毫升标准工作液加入 10 μL 的混合内标使用液。

1.3.3 样品前处理

称取 4 g 粉碎均匀的样品于 50 mL 离心管，加入 20 μL 混合内标使用液、20 mL 含 0.5% 甲酸-80% 甲醇水溶液，振荡 10 min，超声提取 20 min，8 000 r/min（离心半径 10 cm）离心 2 min。取 5 mL 上清液过 PCX 固相萃取小柱（预先用 3 mL 甲醇、3 mL 纯水活化），待流干时依次用 3 mL 纯水、3 mL 甲醇淋洗，弃去淋洗液，用 5% 氨水甲醇溶液 2 mL 洗脱，收集洗脱液，于 45 ℃水浴氮吹至近干，用 50% 乙腈水溶液 2 mL 复溶，过 0.22 μm 滤膜后测定。

1.3.4 试验条件优化

提取条件优化：未检出山莨菪碱，采用单一变量法，选择检出阿托品、东莨菪碱的阳性配方奶粉开展提取溶剂对比试验。分别采用 0.5% 甲酸甲醇溶液、0.5% 甲酸-80% 甲醇水溶液进行提取，以目标物峰面积为指标，比较提取效率，其他样品前处理和仪器检测条件均保持一致。

净化条件优化：本文采用 PCX 固相萃取小柱净化，增加上样量可以提高浓缩倍数。分别取 5、10 和 15 mL 提取液上样净化，对比不同上样量对山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱平均加标回收率和相对标准偏差（relative standard deviation，RSD）的影响。4 种样品按 10 μg/kg 加标后提取，分别取 5、10 和 15 mL 提取液过 PCX 固相萃取小柱，收集洗脱液并加入混合内标使用液，上机测定。

1.3.5 基质效应测定

采用 1 mL 阴性空白样品洗脱液添加 10 μL 混合标准使用液的方式评价基质效应：基质效应（%）=（样品基质中被测物的峰面积/纯溶剂中被测物的峰面积）×100%。>100% 表示基质增强效应，<100% 表示基质抑制效应，100% 为无基质效应。

1.3.6 方法学验证

以 3 种莨菪烷生物碱的质量浓度为横坐标，目标物定量离子与对应同位素内标定量离子峰面积比值为纵坐标，绘制标准曲线，得到回归方程及线性范围。采用信噪比法，以基质中响应值较弱的定性离子 3 倍信噪比对应的质量浓度计算检出限，定量离子 10 倍信噪比对应的质量浓度计算定量限。分别向不含目标物的面条、饼干、米粉和配方奶粉阴性样品中加入混合标准使用液和混合内标使用液，配制成 0.3、8.0 和 40.0 μg/kg，每个浓度进行 6 次平行试验。采用内标峰面积比值校正，测定并计算平均加标回收率和 RSD，评价方法的准确度和精密度。

2 结 果

2.1 试验条件优化结果

2.1.1 提取条件优化

采用 0.5% 甲酸甲醇溶液提取时，阿托品、东莨菪碱峰面积分别为 42 951、16 820；采用 0.5% 甲酸-80% 甲醇水溶液提取时，两者峰面积分别提升至 47 390、19 888。含水酸性甲醇体系下 2 种目标物响应值均明显更高，提取效果优于纯甲醇体系，因此选择 0.5% 甲酸-80% 甲醇水溶液作为提取溶剂。

2.1.2 净化条件优化

上样量为 5 mL 时，山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱的平均加标回收率均处于 90.0%～105.0% 范围内，RSD 均小于 8.0%，方法准确度高、精密度良好；上样量为 10 mL 时，山莨菪碱平均加标回收率降低，上样量为 15 mL 时，山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱平均加标回收率明显降低，RSD 增加，因此选择上样量 5 mL。见表 2。

2.2 基质效应

采用优化后方法检测饼干、面条、米粉和配方奶粉的基质效应，山莨菪碱的基质效应分别为 98.2%~104.0%、76.3%~78.1%、91.7%~94.5% 和 95.4%~98.7%，阿托品的基质效应分别为 95.1%~101.6%、77.5%~79.9%、93.2%~96.2% 和 96.1%~99.6%，东莨菪碱的基质效应分别为 96.3%~102.5%、76.8%~79.2%、92.4%~95.8% 和 95.8%~99.2%。面条对山莨

表 2　不同上样量时婴幼儿食品中 3 种莨菪烷生物碱的平均加标回收率和 RSD

Table 2　Average spiked recovery rates and RSD of three tropane alkaloids in infant foods at different sample loading volumes

样品	上样量/mL	平均加标回收率/%			RSD/%		
		山莨菪碱	阿托品	东莨菪碱	山莨菪碱	阿托品	东莨菪碱
饼干	5	98.9	96.9	101.3	5.5	4.9	3.0
	10	86.3	104.6	101.2	10.8	6.0	1.9
	15	78.9	68.3	71.9	39.4	36.2	40.7
面条	5	99.2	99.3	101.6	2.9	3.8	1.9
	10	76.7	106.5	104.1	3.1	5.6	1.7
	15	80.9	52.8	74.3	22.4	21.4	24.3
米粉	5	96.3	90.3	97.4	2.5	1.8	2.2
	10	87.4	91.5	98.9	11.9	12.4	11.0
	15	64.2	85.5	53.9	19.2	16.9	17.7
配方奶粉	5	104.3	93.8	100.2	5.5	6.9	7.4
	10	84.7	106.7	99.6	10.3	8.1	14.2
	15	78.6	53.0	76.1	31.9	24.9	21.5

菪碱、阿托品和东莨菪碱均产生基质抑制效应，其他基质的基质效应均处于 100% 左右，影响可忽略不计。为确保方法在 4 种不同基质中的定量准确性，本研究均采用同位素内标法定量校正。

2.3　方法学验证结果

2.3.1　线性范围、检出限和定量限

在 0.1~50 ng/mL（相当于样品 0.2~100 μg/kg）范围内，山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱的线性回归方程分别为 y=0.975 5x+0.316 0、y=1.005 4x+0.167 9 和 y=0.965 4x + 0.292 7，相关系数分别为 0.999 3、0.999 8 和 0.999 3，线性关系良好。3 种莨菪烷生物碱的检出限均为 0.1 μg/kg，定量限均为 0.3 μg/kg。

2.3.2　特异性

采用优化后方法对配方奶粉阴性空白样品、阴性加标样品和实际阳性样品进行前处理并上机测定。结果显示，在 3 种目标物保留时间窗口内，阴性空白样品无明显干扰杂峰，阴性加标样品中 3 种目标物峰形对称、分离度良好，实际阳性样品中可清晰检出阿托品和东莨菪碱特征色谱峰，山莨菪碱未检出。表明该方法特异性良好，基质杂质对目标物的定性、定量分析无显著干扰。

2.3.3　准确度和精密度

山莨菪碱的平均加标回收率为 95.7%~102.6%，RSD 为 1.4%~8.5%；阿托品的平均加标回收率为 93.2%~104.7%，RSD 为 1.5%~8.4%，东莨菪碱的平均加标回收率为 95.5%~104.1%，RSD 为 3.1%~8.5%。见表 3。

2.4　实际样品检测

检测市售婴幼儿辅食（饼干、面条和米粉）100 份、配方奶粉 60 份。婴幼儿辅食中 3 种莨菪烷生物碱均未检出；1 份配方奶粉中检出阿托品和东莨菪碱，含量分别为 0.92 和 0.21 μg/kg，未检出山莨菪碱。

3　讨　论

针对我国现有检测方法难以适配多类婴幼儿食品复杂基质的现状，本研究建立 PCX 固相萃取净化结合 LC-MS/MS 的定量检测方法，优化提取条件、净化条件等前处理关键参数，并依托同位素内标法校正复杂基质效应。该方法具有操作简单、准确性和精密度良好的特点，可适用于多种婴幼儿食品中山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱的检测，为莨菪烷生物碱的痕量检测和相关风险监测提供技术支撑。

优化方法的过程中，考虑莨菪烷生物碱的理化性质和婴幼儿食品基质的残留水平。有毒植物中莨菪烷生物碱含量较高，文献多采用甲醇[11]、乙腈[12]等提取后不经净化直接测定的方法，但不适用于痕量水平的婴幼儿食品检测，婴幼儿食品基质较复杂，直接检测易存在基质干扰净化不足。虽有文献采用具有反相净化功能的 PRiME HLB 柱对婴幼儿谷物类辅食进行前处理，并获得良好净化效果[13]，但婴幼儿配方奶粉等食品富含蛋白质、脂肪和糖类等复杂基质，不加水提取时易成团，影响提取效率。本研究选择 0.5% 甲酸-80% 甲醇水溶液作为提取溶剂，并结合净化能力更强的 PCX 固相萃取小柱进行前处理，以降低基质对仪器测定的干扰。定量方面，因面条对山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱均产生基质抑制效应，为确保定量结果的准确性和可靠性，本研究采用同位素内标定量校正样品目标物。

表3 婴幼儿食品中3种莨菪烷生物碱的平均加标回收率和RSD

Table 3 Average spiked recovery rates and RSD of three tropane alkaloids in infant foods

样品	加标浓度/（μg/kg）	平均加标回收率/%			RSD/%		
		山莨菪碱	阿托品	东莨菪碱	山莨菪碱	阿托品	东莨菪碱
饼干	0.3	99.4	95.4	99.3	8.5	6.0	6.8
	8.0	97.4	103.2	95.9	8.5	5.5	3.1
	40.0	95.7	104.7	97.3	6.5	8.4	7.9
面条	0.3	101.1	103.1	102.1	2.5	5.1	3.5
	8.0	99.9	101.8	104.1	1.4	3.0	6.9
	40.0	99.9	93.2	102.6	3.3	7.4	4.8
米粉	0.3	99.7	96.8	100.6	1.8	1.5	5.2
	8.0	99.4	98.3	103.3	1.9	4.2	3.6
	40.0	100.3	100.5	97.4	5.0	8.1	7.7
配方奶粉	0.3	100.0	102.2	98.8	5.3	4.6	4.9
	8.0	102.6	100.4	95.5	5.3	3.3	5.3
	40.0	98.7	97.6	96.8	6.9	4.7	8.5

本方法线性关系、检出限、定量限、准确度和精密度均满足痕量毒物检测要求。山莨菪碱、阿托品和东莨菪碱在0.1~50 ng/mL范围内，相关系数均大于0.999，检出限为0.1 μg/kg，远低于欧盟规定的婴幼儿食品限量标准（1.0 μg/kg）[6]；在低、中和高3个加标水平下的平均回收率为93.2%~104.7%，RSD为1.4%~8.5%，表明方法的灵敏度、准确度和精密度较好，能实现复杂基质中痕量莨菪烷生物碱的准确定量。实际样品检测结果显示，100份市售婴幼儿辅食中均未检出3种莨菪烷生物碱，表明其原料受曼陀罗属等有毒植物种子污染的风险较低。然而，1份配方奶粉中检出阿托品和东莨菪碱，污染可能源于被曼陀罗属种子污染的饲料，也可能含莨菪烷生物碱的植物被奶牛误食，污染配方奶粉的奶源。虽然阿托品和东莨菪碱含量均低于欧盟规定限量值[6]，但仍需加强奶源及饲料中莨菪烷生物碱的源头监测与风险管控，降低配方奶粉中莨菪烷生物碱的污染风险。

参考文献

[1] Sharma M, Dhaliwal I, Rana K, et al. Phytochemistry, pharmacology, and toxicology of Datura species-a review [J/OL]. Antioxidants (Basel), 2021, 10 (8) [2026-07-29]. https://doi.org/10.3390/antiox10081291.

[2] Kohnen-Johannsen K L, Kayser O. Tropane alkaloids: chemistry, pharmacology, biosynthesis and production [J/OL]. Molecules, 2019, 24(4) [2026-07-29]. https://doi.org/10.3390/molecules24040796.

[3] 邓淑铃，朱峰，张昊，等. 液相色谱-串联质谱法检测芝麻糊样品中东莨菪碱、消旋山莨菪碱和阿托品 [J]. 化学分析计量，2025（2）：18-24.

[4] 李晓华，潘奕夫，韩世明. 朔州市一起曼陀罗引起食物中毒事件的调查 [J]. 中国食品卫生杂志，2023，35（3）：443-446.

[5] GB 2715—2016 食品安全国家标准 粮食 [S].

[6] European Union. Commission Regulation (EU) 2021/1408 of 27 August 2021 amending regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of tropane alkaloids in certain foodstuffs (text with EEA relevance) [EB/OL]. [2026-07-29]. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1408/oj/eng.

[7] El Bazaoui A, Bellimam M A, Soulaymani A. Nine new tropane alkaloids from *Datura stramonium* L. identified by GC/MS [J]. Fitoterapia, 2011, 82 (2): 193-197.

[8] Klein L M, Gabler A M, Rychlik M, et al. A sensitive LC-MS/MS method for isomer separation and quantitative determination of 51 pyrrolizidine alkaloids and two tropane alkaloids in cow's milk [J]. Anal Bioanal Chem, 2022, 414 (28): 8107-8124.

[9] 邹晓春，陈映新，刘红河. 超高效液相色谱-四极杆串联线性离子阱质谱法测定中毒样品中三种曼陀罗生物碱 [J]. 现代预防医学，2025，52（18）：3403-3409.

[10] 周荣贵，寇金蟾，张永泓，等. 超高效液相色谱-四级杆-飞行时间质谱法快速检测曼陀罗中毒事件中有毒物质 [J]. 中国食品卫生杂志，2025，37（4）：327-332.

[11] 邓淑铃，朱峰，张昊，等. 液相色谱-串联质谱法测定曼陀罗中东莨菪碱、消旋山莨菪碱和阿托品含量 [J]. 食品安全质量检测学报，2025，16（11）：131-139.

[12] 刘峰，张银豪，马明阳，等. 液相色谱-串联质谱法检测一起误食曼陀罗引起的食物中毒物质 [J]. 中国食品卫生杂志，2022，34（2）：377-381.

[13] 胡侠，付丽莎. 液相色谱-串联质谱法同时快速测定婴幼儿谷物食品中3种莨菪烷生物碱 [J]. 大连民族大学学报，2021，23（3）：206-210.

收稿日期：2026-04-27 **修回日期**：2026-07-29 **本文编辑**：徐亚慧