

# 超高效液相色谱—串联质谱法检测功能饮料中 那非类新型衍生物

张峰

(浙江省杭州市公安局环境和食品药品犯罪侦查支队, 杭州 310000)

**摘要:** 建立一种基于超高效液相色谱—三重四极杆质谱联用仪 (UPLC-MS/MS) 的检测方法, 用于鉴别和量化功能饮料中非法添加的那非类新型衍生物。功能饮料样品经乙腈提取, 采用 Agilent EC-C18 色谱柱 (100 mm × 3.0 mm, 2.7 μm) 分离, 以乙腈-0.1% 乙酸水溶液为流动相进行梯度洗脱, 流速 0.3 mL/min, 柱温 35 °C, 进样量 1 μL。质谱分析采用电喷雾正离子模式 (ESI<sup>+</sup>), 在多反应监测模式 (MRM) 下进行定量检测。结果显示 4 种目标那非类衍生物在 0.1~10.0 μg/mL 范围内线性良好 ( $r>0.99$ ), 检出限为 0.015~0.018 μg/mL, 定量限为 0.045~0.055 μg/mL, 重复性良好 (RSD 均 < 4.0%)。在市场上随机采购的功能饮料样品中, 有 3 个样品检测出非法添加的那非类新型衍生物, 含量范围在 0.10~2.50 μg/mL 之间。因此, 本研究建立的 UPLC-MS/MS 检测方法具有较高的灵敏度和精确度, 能够有效检测功能饮料中的非法添加物, 为食品安全监管提供了科学依据。

**关键词:** 超高效液相色谱—三重四极杆质谱联用仪; 那非类衍生物; 功能饮料; 非法添加物; 食品安全  
**中图分类号:** TS207.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006-2513(2026)1-0141-0006  
**doi:** 10.19804/j.issn1006-2513.2026.1.017

## Determination of novel sildenafil derivatives in functional beverages using UPLC-MS/MS

ZHANG Feng

(Environmental and Food and Drug Crime Investigation Detachment, Hangzhou Municipal Public Security Bureau, Zhejiang Province, Hangzhou 310000)

**Abstract:** A method for the identification and quantification of illegally added novel sildenafil derivatives in functional beverages using ultra-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry (UPLC-MS/MS) was developed and validated. Functional beverage samples were extracted with acetonitrile and analyzed on an Agilent EC-C18 column (100 mm × 3.0 mm, 2.7 μm) under gradient elution with acetonitrile-0.1% acetic acid aqueous solution at a flow rate of 0.3 mL/min. The column temperature was maintained at 35 °C, and the injection volume was 1 μL. Mass spectrometric detection was performed using electrospray ionization in positive mode (ESI<sup>+</sup>), with quantification conducted in multiple reaction monitoring mode. The results showed that all four target sildenafil derivatives exhibited good linearity within the range of 0.1~10.0 μg/mL ( $r>0.99$ ). Limits of detection were 0.015 to 0.018 μg/mL and limits of quantification were 0.045 to 0.055 μg/mL. The method demonstrated good repeatability (RSD < 4.0%). Analysis of five commercially available functional beverage samples revealed that three contained illegally added

收稿日期: 2025-04-27

作者简介: 张峰 (1975-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 食药环类法庭科学。E-mail: 707136943@qq.com

sildenafil derivatives, with concentrations ranging from 0.10 to 2.50  $\mu\text{g/mL}$ . The developed UPLC-MS/MS method was shown to be sensitive, and reliable for detecting illegally added sildenafil derivatives in functional beverages, thereby providing strong support for food safety supervision.

**Keywords:** ultra-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry; sildenafil derivatives; functional beverages; illegal additives; food safety

功能饮料因其能够提供能量、提高运动表现和增强集中注意力等功效,近年来在全球范围内受到广泛欢迎<sup>[1-2]</sup>。然而,市场上部分功能饮料被非法添加了那非类新型衍生物(如西地那非、他达拉非等),这些化合物本用于治疗男性勃起功能障碍<sup>[3-5]</sup>。非法添加这些物质不仅违反了食品安全法规<sup>[6-7]</sup>,还对消费者健康构成严重威胁<sup>[8-9]</sup>。虽然已有检测这些非法添加物的方法,但随着化学结构不断修饰的新型衍生物出现,现有方法的适用性和检测能力受到挑战<sup>[10-11]</sup>。

近年来,超高效液相色谱-三重四极杆质谱联用仪(UPLC-MS/MS)因其高效分离、灵敏度高和定量准确等优点,广泛应用于食品安全检测领域<sup>[12-14]</sup>。UPLC-MS/MS在多种复杂基质中的应用研究表明,它能够有效鉴别和定量分析食品中的非法添加物<sup>[15-17]</sup>。文献中已有不少利用UPLC-MS/MS检测食品中非法添加那非类物质的方法,但这些方法多集中于传统的那非类化合物,对于新型衍生物的检测研究较少<sup>[18-20]</sup>。

目前的研究主要集中于检测功能饮料中常见的那非类化合物(如西地那非、他达拉非和伐地那非),但对于通过结构修饰产生的新型衍生物的检测方法仍然缺乏系统研究<sup>[4, 8]</sup>。此外,现有的检测方法在灵敏度和精密度方面仍有提升空间。因此,开发一种能够高效检测功能饮料中非法添加的那非类新型衍生物的方法具有重要意义。

本研究旨在建立一种基于UPLC-MS/MS的检测方法,用于鉴别和量化功能饮料中非法添加的那非类新型衍生物。研究内容包括:优化液相色谱和质谱条件,制定样品前处理方法,绘制标准曲线并确定线性范围,验证方法的灵敏度、精密度和准确度,并对市场上随机采购的功能饮料样品进行检测。本研究将为功能饮料中非法添加物的检测提供新的技术手段,并为食品安全监管提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与设备

Waters TQ-XS 三重四极杆液相质谱联用仪; Waters Oasis HLB 60 mg/3 mL 固相萃取柱:美国 Waters 公司; Agilent EC C18 色谱柱(100 mm  $\times$  3.0 mm, 2.7  $\mu\text{m}$ ):美国 Agilent Technologies 公司; Branson CPX1800H 超声波提取仪:美国 Branson 公司; Eppendorf 5702 低速离心机:德国 Eppendorf 公司; Organomation N-EVAP 112 氮吹仪:美国 Organomation 公司。

### 1.2 材料与试剂

目标那非类衍生物标准品,包括西地那非(CAS号:139755-83-2)、他达拉非(CAS号:171596-29-5)、伐地那非(CAS号:224785-90-4)以及二乙氨基前他达拉非,纯度均  $\geq 98\%$ :美国 Sigma-Aldrich 公司; 0.1% 乙酸水溶液(分析纯)、乙酸乙酯(纯度  $\geq 99.9\%$ ):美国 Sigma-Aldrich 公司; HPLC 级甲醇(纯度  $\geq 99.9\%$ ):美国 Thermo Fisher Scientific 公司; 乙腈(纯度  $\geq 99.9\%$ ):德国 Merck 公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 色谱条件

Agilent EC C<sub>18</sub> 柱(100 mm  $\times$  3.0 mm, 2.7  $\mu\text{m}$ ); 流动相为乙腈-0.1% 乙酸水溶液,流速为 0.3 mL/min,柱温为 35  $^{\circ}\text{C}$ ,进样量为 1  $\mu\text{L}$ 。梯度洗脱程序:0~2 min, 90% 水、10% 乙腈; 2~8 min, 0% 水、100% 乙腈; 8~10 min, 0% 水、100% 乙腈; 10~12 min, 90% 水、10% 乙腈。

#### 1.3.2 质谱条件

质谱分析采用电喷雾电离正离子模式,结合多反应监测进行定量分析。主要质谱参数设置为:碰撞电压 20 V,碰撞能量范围 10~40 V。实验中使用的氣體为高纯氮气。

### 1.3.3 样品前处理

准确量取 10 mL 功能饮料样品于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 乙腈, 超声提取 30 min 后, 以 4000 r/min 离心 10 min, 取上清液。上清液经 C18 固相萃取柱纯化, 依次进行预活化、样品加载及流出液收集。随后, 使用 5 mL 乙腈洗脱目标化合物, 收集洗脱液, 氮吹干后用 1 mL 流动相复溶, 供 UPLC-MS/MS 检测。

### 1.3.4 检测方法

利用多反应监测模式对目标化合物进行定性分析, 通过比对其保留时间及特征碎片离子峰, 确认目标化合物的存在。定量分析方面, 配制不同质量浓度的标准品溶液 (0.1、0.5、1.0、5.0、10.0  $\mu\text{g/mL}$ ), 采用 UPLC-MS/MS 进行检测, 绘制标准曲线<sup>[21]</sup>。线性范围通过实验确定标准品在 0.1 ~ 10.0  $\mu\text{g/mL}$  范围内线性良好, 相关系数  $r > 0.99$ 。

### 1.3.5 标准曲线

在本研究中, 分别配制质量浓度为 0.1、0.5、1.0、5.0 和 10.0  $\mu\text{g/mL}$  的标准品溶液, 并采用质谱法对其进行分析, 测定不同浓度标准品对应的质谱峰面积, 分别记为  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$  和  $x_5$ 。基于所得数据, 绘制标准曲线, 并采用线性回归方法建立目标化合物的浓度与峰面积之间的数学关系, 以确定其线性范围。此外, 通过计算信噪比 (S/N) 为 3 和 10 时的对应浓度, 分别确定方法的检测限 (Limit of detection, LOD) 和定量限 (Limit of quantitation, LOQ), 以评估分析方法的精密度 (RSD)。以目标化合物的质量浓度为横坐标 (X,  $\mu\text{g/mL}$ ), 质谱峰面积为纵坐标 (Y), 绘制标准曲线。

### 1.3.6 基质效应的测定

基质效应 (Matrix Effect, ME) 通过外标法 (post-extraction addition) 进行评估。具体方法为: 取已知浓度的目标那非类衍生物标准溶液 (5.0  $\mu\text{g/mL}$ ), 分别加入到经前处理的基质提取液 (不含目标物) 和纯溶剂中, 采用相同的 UPLC-MS/MS 分析条件进行检测。分别记录基质加标样品和标准溶液的峰面积, 分别记为 A 和 B, 基质效应按照以下公式计算:

$$\text{ME}/\% = \frac{A}{B} \times 100 \quad (1)$$

当 ME 值接近 100% 时, 表示基质效应较小; ME 值小于 100% 表示基质抑制效应, ME 值大于 100% 表示基质增强效应。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS26.0 软件 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) 进行统计分析。所有实验重复 3 次, 结果以均值  $\pm$  标准偏差表示。组间差异采用单因素方差分析 (ANOVA) 进行检验, 显著性水平设定为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 前处理条件的优化

本研究对样品前处理条件进行了优化, 以提高目标化合物的提取效率并减少基质干扰。回收率测定采用 4 种目标那非类衍生物的混合标准溶液 (每种 5.0  $\mu\text{g/mL}$ ) 作为加标样品, 统一进行提取并计算回收率, 以综合评估不同溶剂的提取效率。已有报道了不同有机溶剂在复杂基质中提取目标化合物的应用。例如, 在中成药非法添加物检测研究中发现, 乙腈因其较强的溶解能力和低极性干扰, 能够有效提高目标化合物的提取率, 但在高糖或高蛋白样品中可能存在萃取效率下降的问题<sup>[22-23]</sup>。此外, 在柑橘类化合物检测中采用甲醇作为萃取溶剂, 发现其在某些极性化合物中的提取效率较高, 但由于其较强的极性, 可能会带来较高的基质干扰<sup>[24-25]</sup>。在酒类和功能饮料中那非类衍生物的检测研究中尝试使用乙酸乙酯进行萃取, 发现其能够减少水溶性基质的干扰, 但对部分极性较高的目标物提取率偏低<sup>[26]</sup>。本研究在此基础上, 针对液体基质, 对甲醇、水-乙腈、乙酸乙酯和乙腈 4 种溶剂进行了比较, 结果 (表 1) 表明乙腈的回收率最高 (85%), 且基质效应最小, 因此选定乙腈作为最佳提取溶剂, 进一步验证了其在功能饮料中那非类衍生物提取中的适用性, 并为后续检测提供了可靠的前处理方案。

表 1 前处理条件的优化

提取溶剂	回收率 /%	基质效应 /%	相对偏差
乙腈	85	10	0.00
甲醇	65	40	-23.53%
水-乙腈	72	25	-15.29%
乙酸乙酯	58	18	-31.76%

## 2.2 色谱条件的优化

本研究对色谱条件进行了优化,以提高那非类新型衍生物的分离效率和检测灵敏度。实验考察了甲醇-水、乙腈-水及乙腈-0.1%乙酸水溶液3种流动相体系对目标化合物的影响。结果表明不同流动相的分离性能存在明显差异(图1)。乙腈-0.1%乙酸水溶液体系的峰形最佳,目标化合物信号响应最高,且基质效应最小,能够确保目标物的稳定保留和高效分离。乙腈-水体系虽然在峰形和信号强度方面优于甲醇-水,但在基质复杂的功能饮料样品中易受干扰,导致检测稳定性下降。甲醇-水体系的峰形较差,目标化合物的信号响应较低,且基质干扰较大,难以满足高灵敏度检测的要求。因此,最终选定乙腈-0.1%乙酸水溶液作为流动相,优化后的色谱条件显著提升了方法的分辨率和检测灵敏度,为检测提供了稳定可靠的分离系统。

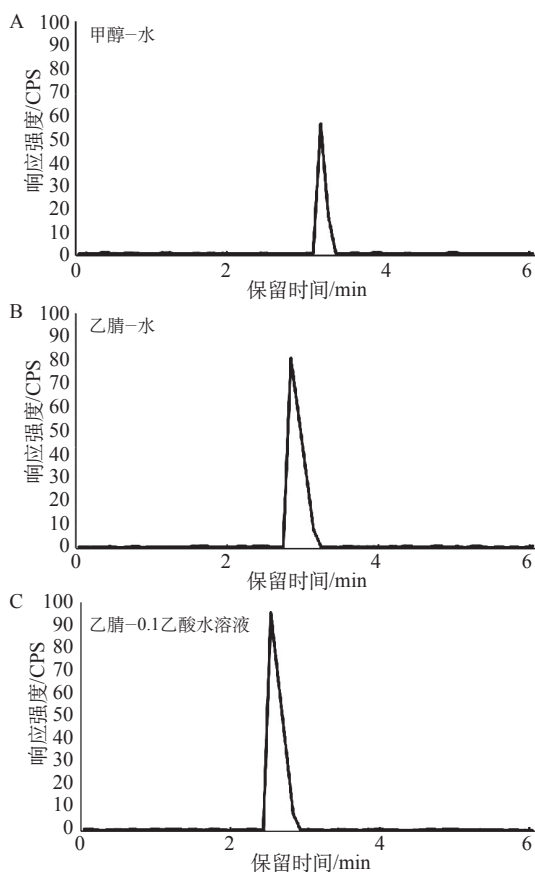


图1 不同流动相体系对目标那非类衍生物色谱行为的影响

Figure 1 Effects of different mobile phase systems on the chromatogram behavior of target sildenafil derivatives

## 2.3 标准曲线及线性范围

本研究分别测定了4种目标那非类衍生物(西地那非、他达拉非、伐地那非、二乙氨基前他达拉非)的标准曲线,并计算其线性方程及相关系数。结果显示,这4种化合物在0.1~10.0 μg/mL范围内均呈良好的线性关系( $r > 0.99$ )。但其线性方程略有不同,具体数据见表2。

表2 目标那非类衍生物的线性关系和范围  
Table 2 Linearity and range of target sildenafil derivatives

衍生物名称	标准曲线回归方程	相关系数 $r$	线性范围
西地那非	$Y=10012X+11$	0.997	0.1~10.0
他达拉非	$Y=9805X+9$	0.998	0.1~10.0
伐地那非	$Y=10230X+15$	0.996	0.1~10.0
二乙氨基前他达拉非	$Y=9950X+8$	0.999	0.1~10.0

## 2.4 目标那非类衍生物的检出限、定量限和精密度

通过研究确定了方法的检出限(LOD)和定量限(LOQ),并评估了方法的灵敏度、精密度(RSD)和准确度。结果表明,检出限为0.02 μg/mL,定量限为0.05 μg/mL,重复性良好,相对标准偏差(RSD)小于4.0%。具体数据见表3。

表3 目标那非类衍生物的检出限、定量限和精密度  
Table 3 Limits of detection, limits of quantification and precision of target sildenafil derivatives

衍生物名称	检出限/(μg/mL)	定量限/(μg/mL)	精密度/%
西地那非	0.015	0.045	3.8
他达拉非	0.018	0.055	3.5
伐地那非	0.016	0.050	3.7
二乙氨基前他达拉非	0.017	0.052	3.6

## 2.5 样品检测结果

对市场上随机采购的功能饮料样品进行了检测,结果显示,有3个样品中检出了非法添加的那非类新型衍生物,含量范围在0.10~2.50 μg/mL之间。检测的那非类衍生物及其相关信息见表4,具体检测结果见表5。

表4 检测的那非类生物及其相关信息  
Table 4 Detected sildenafil analogs and relevant information

衍生物名称	分子量 / (g/mol)	保留时间 /min	母离子 / (m/z)	子离子 / (m/z)
西地那非	474.6	7.2	475.2	58.1
他达拉非	389.4	9.1	390.1	135.1
伐地那非	488.6	8.5	489.2	151.1
二乙氨基前他达拉非	452.6	8.9	453.3	135.1

表5 功能饮料样品中那非类新型衍生物的检测结果 (均值 ± 标准误)

Table 5 Detection results of novel sildenafil analogs in functional beverage samples (Mean ± SE)

样品编号	样品名称	检测结果 / (μg/mL)	检出衍生物	LODs / (μg/mL)	LOQs / (μg/mL)
样品1	功能饮料A	0.15 ± 0.01	他达拉非	0.02	0.05
样品2	功能饮料B	2.50 ± 0.12	西地那非、伐地那非	0.02	0.05
样品3	功能饮料C	未检出	无	0.02	0.05
样品4	功能饮料D	0.10 ± 0.01	二乙氨基前他达拉非	0.02	0.05
样品5	功能饮料E	未检出	无	0.02	0.05

### 3 讨论与结论

本研究建立了一种基于UPLC-MS/MS的检测方法,用于鉴别和量化功能饮料中非法添加的那非类新型衍生物。通过系统优化前处理条件、色谱分离条件和质谱检测参数,该方法在灵敏度、准确性和稳定性方面均表现优异。主要发现包括:4种目标那非类衍生物在0.1~10.0 μg/mL范围内线性良好( $r > 0.99$ ); LOD为0.015~0.018 μg/mL, LOQ为0.045~0.055 μg/mL;重复性良好, RSD均小于4.0%;在随机采购的功能饮料样品中,有3个样品检测出非法添加的那非类新型衍生物,含量范围在0.10~2.50 μg/mL之间。

在本研究中,不同萃取溶剂对基质效应的影响显著。实验结果表明,乙腈作为提取溶剂时,基质效应最小(ME值为90%),而甲醇提取时基质效应最大(ME值为60%)。分析原因主要包括以下几个方面:首先,乙腈极性适中,能够有效

减少功能饮料基质中糖类、蛋白质及色素等极性杂质的共提取,降低基质对电喷雾电离过程的抑制作用<sup>[21]</sup>;而甲醇极性较强,易提取大量极性杂质,进入质谱系统后与目标化合物竞争电离,导致离子抑制效应增强<sup>[22]</sup>。其次,乙腈具有较低的粘度和较强的去水作用,有助于提高样品溶液的雾化效率和离子化效率,从而改善目标化合物的信号响应<sup>[21]</sup>。因此,乙腈不仅提高了目标化合物的提取回收率,还有效降低了基质效应,优化了整体检测灵敏度和准确性。本研究结果与已有文献报道一致,进一步验证了乙腈在复杂基质样品分析中的优越性<sup>[22-23]</sup>。

与现有文献相比,本研究方法在灵敏度和检测范围上有显著提升。例如,舒展等<sup>[27]</sup>采用UPLC-MS/MS检测中成药中的非法添加物,其LOD为0.021 μg/mL, LOQ为0.053 μg/mL。相比之下,本研究的检测方法在LOD和LOQ方面均有所提高。此外,伍国斌等<sup>[28]</sup>在研究中提到,UPLC-MS/MS具有较高的灵敏度和精确度,适用于多种复杂基质的分析。本研究进一步验证了该技术在功能饮料非法添加物检测中的应用潜力。

本研究的主要贡献在于开发了一种高效、灵敏且准确的UPLC-MS/MS检测方法,能够有效检测功能饮料中非法添加的那非类新型衍生物。通过优化样品前处理和质谱分析条件,本方法不仅提升了LOD和LOQ,还提高了检测的重复性和准确度。研究结果为食品安全监管提供了科学依据,有助于更好地保护消费者健康。此外,本研究揭示了市场上部分功能饮料存在非法添加那非类衍生物的问题,强调了加强市场监管和检测的重要性<sup>[29-30]</sup>。

尽管本研究在检测功能饮料中非法添加的那非类新型衍生物方面取得了显著成果,但仍存在一些局限性。首先,样品的随机采购范围较小,检测样本数量有限,不能完全代表市场上所有功能饮料的情况。其次,本研究主要针对几种特定的那非类衍生物,未来需要扩展检测范围,涵盖更多的非法添加物类型。最后,尽管本方法在实验室条件下表现优异,但在实际应用中可能面临复杂基质干扰和样品处理等问题。因此,未来的研究应进一步优化检测方法,扩大样本检测

范围,并在实际应用中验证方法的可靠性和可行性。此外,可以探讨将该方法应用于其他类型食品和药品的非法添加物检测,以提升整体食品安全水平。

综上所述,本研究成功建立了一种高效、准确的鉴别和量化功能饮料中非法添加那非类新型衍生物的方法,为食品安全检测提供了科学依据。未来研究应在扩大样品范围、优化检测流程和结合其他分析技术方面进一步探索,以提升检测方法的普适性和稳定性,确保食品安全,维护消费者的权益。

### 参考文献:

- [1] 高明有,汪超,杨丹丹,等.碳水化合物—蛋白质饮料对耐力运动员运动表现的影响[J].食品安全质量检测学报,2022,13(7):2059-2065.
- [2] 林朝霞,陈园.运动饮料对体育运动功能的影响[J].食品安全质量检测学报,2019,10(8):2300-2303.
- [3] Orhan I E, Senol F S, Skalicka-Wozniak K, et al. Adulteration and safety issues in nutraceuticals and dietary supplements: Innocent or risky? [M]//Nutraceuticals. Amsterdam: Elsevier, 2016: 153-182.
- [4] 饶雅琨,王苑桃,孙晓,等.食品中一种新型非法添加物O-丙基伐地那非的快速筛查和定量测定[J].食品安全质量检测学报,2024,15(6):228-235.
- [5] 段琼,马春艳,封淑华.保健酒及酒类制品中非法添加PDE-5抑制剂及其衍生物的监测及结果分析[J].药物分析杂志,2017,37(2):277-282.
- [6] Venhuis B J, de Kaste D. Towards a decade of detecting new analogues of Sildenafil, tadalafil and vardenafil in food supplements: A history, analytical aspects and health risks [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2012, 69: 196-208.
- [7] 钮正睿,王聪,曹进.保健食品中非法添加药物种类及其检测方法研究进展[J].食品安全质量检测学报,2019,10(18):6131-6142.
- [8] 李少元,接强,栾玉静,等.保健食品中西地那非等PDE-5i检测方法研究进展[J].刑事技术,2023,48(3):221-227.
- [9] 黄芳,邓欣,张秋炎,等.超高效液相色谱—四极杆静电场轨道阱质谱法快速筛查测定抗疲劳类保健食品中112种化学药[J].分析测试学报,2023,42(10):1221-1232.
- [10] Patel D N, Li L, Kee C L, et al. Screening of synthetic PDE-5 inhibitors and their analogues as adulterants: Analytical techniques and challenges [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2014, 87: 176-190.
- [11] 冯亭亭,孙健,张静娴,等.一种他达拉非衍生物的发现与鉴定[J].药学学报,2020,55(8):1877-1881.
- [12] Amir Ashraf S, Nazir S, Adnan M, et al. UPLC-MS: An emerging novel technology and its application in food safety [M]//Analytical Chemistry - Advancement, Perspectives and Applications. London: IntechOpen, 2021
- [13] 韩梅,侯雪,邱世婷,等.超高效液相色谱—四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱测定豆类杂粮中53种农药残留[J].食品安全质量检测学报,2020,11(8):2437-2445.
- [14] 陈克云,鞠香,梁秀清,等.气相色谱—三重四极杆串联质谱法测定肉制品中7种己二酸酯类物质残留[J].食品安全质量检测学报,2023,14(4):120-126.
- [15] Shaaban H, Mostafa A, Alqarni A M, et al. Simultaneous determination of bisphenol A and its analogues in foodstuff using UPLC-MS/MS and assessment of their health risk in adult population [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 110: 104549.
- [16] 冯婷婷,魏旭东,郑仕剑,等.基于复合萃取技术—超高效液相色谱—串联三重四极杆质谱法同时测定谷物及其制品中10种真菌毒素[J].食品安全质量检测学报,2023,14(16):196-204.
- [17] 朱佐银,郭文博,赵含珂,等.超高效液相色谱—三重四极杆质谱法测定心脏组织中腺苷含量[J].色谱,2024,42(4):345-351.
- [18] Fejős I, Neumajer G, Béni S, et al. Qualitative and quantitative analysis of PDE-5 inhibitors in counterfeit medicines and dietary supplements by HPLC-UV using Sildenafil as a sole reference [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2014, 98: 327-333.
- [19] 金绍明,宁霄,曹进,等.超高效液相色谱串联质谱法测定酒和功能饮料中3种西地那非衍生物的含量[J].食品安全质量检测学报,2019,10(1):79-83.
- [20] 李方方,丁贝贝,王媛媛,等.保健食品中非法添加化学药物检测技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2024,15(22):248-255.
- [21] Taylor P J. Matrix effects: The Achilles heel of quantitative high-performance liquid chromatography-electrospray-tandem mass spectrometry [J]. Clinical Biochemistry, 2005, 38(4):328-334.
- [22] 刘斌,包懿,郎乐,等.超高效液相色谱—四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱法快速筛查及定量分析保健品中29种非法添加物[J].食品安全质量检测学报,2019,10(6):1511-1518.
- [23] 张诚贤,陈晓平,杨红霞,等.超高效液相色谱—串联质谱法同时测定抗鼻炎中成药及保健品中19种化学药物[J].医药导报,2018,37(3):356-360.
- [24] 吴桂莘,苏学素,焦必宁,等.柑橘活性成分检测技术研究进展[J].食品与发酵工业,2006,32(9):116-121.
- [25] 刘丹,郭欢,吴笛,等.柑橘黄酮类化合物的提取新技术及生物活性研究进展[J].食品与机械,2022,38(11):217-224.
- [26] 夏金涛,吴婉琴,朱松松,等.固体饮料中一种新型卡巴地那非类似物的定性鉴别和定量分析[J].分析测试学报,2022,41(5):754-760.
- [27] 舒展,王瑄帅,应斌斌,等.高效液相色谱—高分辨四极杆—飞行时间—质谱法测定中成药中非法添加物二乙氨基他达拉非[J].中国药业,2023,32(15):67-71.
- [28] 伍国斌,陈梅斯,陈卓豪,等.超高效液相—三重四极杆质谱联用仪测定新会陈皮中柚皮苷、川陈皮素、橙皮苷、橘皮素、辛弗林的检测方法研究[J].现代食品,2024,30(5):140-145.
- [29] 曹静.食品安全快速检测技术在食品监管中的应用探究[J].现代食品,2022,28(4):87-89.
- [30] 吴芳.浅析应用快速检测技术在基层食品安全监管中的应用[J].现代食品,2024,30(8):46-48.