

doi: 10.12452/j.fxcsxb.25122603

基于便携式质谱技术测定食品中新型减肥药物

吴婉琴^{1,2,3}, 范小龙^{1,2,3*}, 邓曦⁴, 夏金涛^{1,2,3}, 朱松松^{1,2,3}, 江丰^{1,2,3},
张莉^{1,2,3}, 李涛^{1,2,3}

(1. 湖北省食品质量安全监督检验研究院, 湖北 武汉 430075; 2. 国家市场监督管理总局重点实验室(动物源性食品中重点化学危害物检测技术), 湖北 武汉 430075; 3. 湖北时珍实验室, 湖北 武汉 430065; 4. 鄂州市食品药品检验检测所, 湖北 鄂州 436001)

摘要:建立了饮料、压片糖果、蜜饯、果冻4种基质中比沙可啶环丙甲酰替代物和西布曲明二氯代异戊基替代物的便携式质谱分析方法。样品经甲醇超声提取, 取适量提取液置于专用试剂盒中进行仪器测定。2种化合物在50~2500 ng/mL范围内线性良好, 相关系数(r^2)均大于0.99, 检出限均为0.5 mg/kg, 定量下限均为2.5 mg/kg。在1、2、10倍定量下限水平下的平均加标回收率为80.2%~111%, 相对标准偏差为10%~18%。采用该法检出2批次阳性样品, 与液相色谱-串联质谱法(LC-MS/MS)进行比较, 西布曲明二氯代异戊基替代物和比沙可啶环丙甲酰替代物含量的相对偏差分别为10.6%和17.2%, 表明两种方法结果一致。虽然便携式质谱法在灵敏度、精密度及线性方面低于常规LC-MS/MS法, 但其操作简便、适于现场快速筛查, 适用于非法添加物的初筛与现场监管, 为食品安全监管提供及时有效的技术支撑。

关键词: 便携式质谱技术; 食品; 新型减肥药物

中图分类号: O657.63; TS207.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-4957(2026)06-0001-07

Determination of New Weight-loss Drugs in Food by Portable Mass Spectrometry

WU Wan-qin^{1,2,3}, FAN Xiao-long^{1,2,3*}, DENG Xi⁴, XIA Jin-tao^{1,2,3}, ZHU Song-song^{1,2,3},
JIANG Feng^{1,2,3}, ZHANG Li^{1,2,3}, LI Tao^{1,2,3}

(1. Hubei Provincial Institute for Food Supervision and Test, Wuhan 430075, China; 2. Key Laboratory of Detection Technology of Focus Chemical Hazards in Animal-derived Food for State Market Regulation, Wuhan 430075, China; 3. Hubei Shizhen Laboratory, Wuhan 430065, China; 4. Ezhou Institute for Food and Drug Test and Control, Ezhou 436001, China)

Abstract: A portable mass spectrometry method was established for the analysis of cyclopropanecarboxylic acid, 1, 1'-[(2-pyridinylmethylene)di-4, 1-phenylene] ester and chlorosipentramine in four matrices: beverages, pressed candies, preserved fruits, and jellies. Samples were extracted with methanol via ultrasonication, and an appropriate amount of the extract was placed into a dedicated reagent kit for instrumental detection. The two compounds showed good linearity within the concentration range of 50–2500 ng/mL, with correlation coefficients (r^2) all above 0.99. The limits of detection (LODs) was 0.5 mg/kg and the limits of quantification (LOQs) was 2.5 mg/kg for both. The average spiked recoveries of the two compounds at three levels (1×, 2×, and 10× LOQ) ranged from 80.2% to 111%, with relative standard deviations (RSDs) between 10% and 18%. The method was applied to actual samples, and two batches of positive samples were detected. The results from the positive samples were verified and compared with those obtained by liquid chromatography–tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). The relative deviation was 10.6% and 17.2% respectively for chlorosipentramine and cyclopropanecarboxylic acid, 1, 1'-[(2-pyridinylmethylene)di-4, 1-phenylene] ester. With relative deviations below 20%, the results from the two methods were considered essentially consistent. Although portable mass spectrometry is inferior to conventional LC-MS/MS in

收稿日期: 2025-12-26; 修回日期: 2026-04-15

基金项目: 国家市场监督管理总局科技计划项目(2024MK085); 湖北省市场监督管理局科技计划项目(Hbsejg-KJ2025003); 湖北省自然科学基金联合基金项目(2025AFD726); “十四五”国家重点研发计划项目(2023YFF1104700)

* 通讯作者: 范小龙, 高级工程师, 研究方向: 食品安全与检测, E-mail: 553503578@qq.com

terms of sensitivity, precision, and linear correlation, it offers the advantages of simple operation and suitability for on-site rapid screening. It is applicable for preliminary screening and on-site supervision of illegal additives, providing timely and effective technical support for food safety regulation.

Key words: portable mass spectrometry; food; new weight-loss drugs

当前,全球肥胖流行病已成为重大公共卫生挑战。伴随社会对体重管理与身材塑形的日益关注,宣称具有辅助减重功能的食品和保健品市场迅速扩张。然而,部分宣称“天然”的减重产品为追求速效,可能非法添加药物或药理活性成分。此类添加物常通过抑制食欲(如西布曲明)或引发腹泻(如比沙可啶)等机制发挥作用。西布曲明曾作为口服减肥处方药使用^[1-3],但因具有可能增加严重心血管事件的风险,已在中国、美国、欧盟等多地被禁止生产、销售与使用。比沙可啶为刺激性泻药^[4],常用作非处方药。西布曲明及其衍生物、比沙可啶及其衍生物具有相同或相似的核心药效基团及临床作用机制,其潜在健康危害相近,在食品中的非法添加可能严重危害消费者健康。为此,国家市场监督管理总局将其列为“有毒、有害的非食品原料”^[5-6],近期西布曲明及其衍生物被纳入非食用物质名录。

随着补充检验方法发布^[7-10]及监管力度加大,传统非法添加物逐渐被淘汰。为规避检测,不法分子转而采用现有药物的合成类似物或结构衍生物替代。例如,西布曲明二氯代异戊基替代物($C_{18}H_{27}Cl_2N$),与氯代西布曲明($C_{17}H_{25}Cl_2N$)相比多1个亚甲基,但仍保留西布曲明的核心药效基团;比沙可啶环丙甲酰替代物($C_{26}H_{23}NO_4$)则在比沙可啶($C_{22}H_{19}NO_4$)基础上,由2个环丙基取代原有2个甲基,维持与比沙可啶一致的核心药效结构。这类结构修饰使得新型非法添加物在常规检测中更难以识别,对食品安全监管体系提出了新挑战。

目前,西布曲明、比沙可啶等非法添加物的检测方法包括高效液相色谱-串联质谱法(HPLC-MS/MS)^[11-17]、气相色谱-质谱法(GC-MS)^[18]等。现有技术体系虽稳定性好、准确度高、实验数据被抽检系统广泛认可,但仪器体积庞大、价格昂贵、运行环境要求苛刻(需稳定电源、洁净实验室),且样品前处理及分析耗时,导致难以脱离实验室环境。同时,在应对突发性食品安全事件、进行市场现场快速抽检、提高食品抽检阳性发现率或在偏远地区筛查时,该方法暴露出响应迟缓、周期冗长、覆盖有限的劣势。监管人员只能查扣可疑产品后送检实验室,待数日甚至更长时间出结果后再采取行动,极大延误执法时效性,并给不法分子留下转移证据的时间窗口。

分析仪器的小型化、便携化已成为“从农田到餐桌全链条监管”的重要发展方向^[12]。便携式质谱仪通过创新集成线性离子阱、小型内置真空系统等关键部件,形成体积小(可达33 cm×20 cm×20 cm)、重量轻便(低于20 kg)的可移动式设备,实现了“将实验室带到现场”的理念^[19-22]。相较于传统方法,便携式质谱技术具有现场实时分析、快速响应、设备可移动的优势,适用于现场初步筛查与快速定性、突发食品安全事件应急响应、流通环节抽检等应用场景^[23-31]。鉴于此,本研究建立了一种便携式质谱分析方法,用于食品中非法添加的西布曲明二氯代异戊基替代物和比沙可啶环丙甲酰替代物的现场快速检测。经系统优化,该方法能够实现多种化合物的准确定性定量,有助于提升监管时效性和食品安全保障水平。

1 实验部分

1.1 试剂与材料

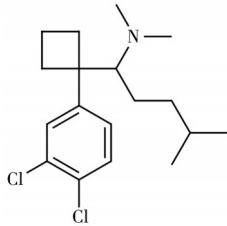
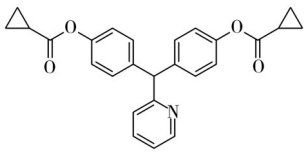
标准品:西布曲明二氯代异戊基替代物和比沙可啶环丙甲酰替代物(见表1)。甲醇、乙腈(色谱级,德国Merck公司);nESI集成纳喷针(nESI-INT-T型)、PCS开发专用试剂盒(PCS-R-R型)(清谱科技(苏州)有限公司);微孔滤膜(0.22 μm,天津津腾实验设备有限公司)。

1.2 仪器与设备

Mini π小型便携式质谱仪(北京清谱科技有限公司);AB Sciex 4500液相色谱-串联质谱仪(美国AB Sciex公司);XS204型电子分析天平(0.1 mg)、ME2002E型电子分析天平(0.01 g)(梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司);Allegra X-15R型高速离心机(美国贝克曼库尔特有限公司);超声波清洗器(宁波新芝生物科技股份有限公司)。

表1 标准品的基本信息

Table 1 Chemical information of the reference standards

Compound	CAS No.	Molecular formula	Structural formula	Molecular mass	Manufacturer	Purity /%
Chlorisipentramine (西布曲明二氯代异戊基替代物)	3058304-40-5	C ₁₈ H ₂₇ Cl ₂ N		328.32	天津阿尔塔科技术有限公司	99.1
Cyclopropanecarboxylic acid, 1, 1'- [(2-pyridinylmethylene)di-4, 1-phenyl- ene] ester(比沙可啶环丙甲酰替代物)	3040279-06-6	C ₂₆ H ₂₃ NO ₄		413.16	天津阿尔塔科技术有限公司	98.7

1.3 实验条件

1.3.1 标准溶液的配制

标准储备液: 精密称取待测物标准品各 10 mg(精确至 0.1 mg), 分别置于 10 mL 容量瓶中, 用甲醇溶解并稀释至刻度, 配制成质量浓度为 1.0 mg/mL 的单标储备溶液。

混合标准使用液: 分别精密量取标准中间液 0.1 mL 至 10 mL 容量瓶中, 用甲醇稀释至刻度, 配制成质量浓度为 10.0 μg/mL 的混合标准使用液。

混合标准工作液(便携式质谱仪): 分别精密吸取混合标准使用液 50、100、200、400、600、800 μL 至 10 mL 容量瓶中, 用甲醇稀释至刻度, 各化合物质量浓度为 50.0、100.0、200.0、400.0、600.0、800.0 ng/mL。

混合标准工作液(LC-MS/MS): 分别精密吸取混合标准使用液 10、20、50、100、200、500、1 000 μL 至 10 mL 容量瓶中, 用甲醇-水(1:1, 体积比)溶液稀释至刻度, 各化合物质量浓度为 1.0、2.0、5.0、10.0、20.0、50.0、100.0 ng/mL。

1.3.2 样品前处理

饮料、压片糖果、蜜饯: 称取样品 1.00 g 置于 50 mL 离心管中, 加入 40 mL 甲醇, 涡旋提取 1 min, 超声提取 15 min, 冷却至室温, 以 4 000 r/min 离心 5 min, 取上清液置于 50 mL 容量瓶中, 用甲醇稀释至刻度, 混匀, 取适量上清液过微孔滤膜, 待测定。若被测物质含量超出标准曲线浓度范围, 用甲醇适当稀释, 待测定。

果冻: 称取样品 1.00 g 置于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 水, 80 °C 水浴 15 min, 取出冷却至室温, 加入 30 mL 甲醇, 涡旋提取 1 min, 超声提取 15 min, 冷却至室温, 以 4 000 r/min 离心 5 min, 取上清液置于 50 mL 容量瓶中, 用甲醇稀释至刻度, 混匀, 取适量上清液过微孔滤膜, 待测定。若被测物质含量超出标准曲线浓度范围, 用甲醇适当稀释, 待测定。

1.3.3 仪器条件

1.3.3.1 便携式质谱分析条件 质谱离子化模式: 正离子模式; 喷雾电压: 4 500 V; 进样规格: 50; 扫描范围: 50~500 *m/z*; 定量模式: 响应值; 定量方法: 外标法; 扫描重复次数: 10 次。各化合物的碎片离子、碰撞能等信息见表 2。

表2 便携式质谱分析参数

Table 2 Portable mass spectrometry analytical parameters

Compound	Parent ion(<i>m/z</i>)	Product ion(<i>m/z</i>)	Collision energy/V	Ratio of product ion responses
西布曲明二氯代异戊基替代物	327.9	172.9 [*] , 186.8, 158.9	3.5, 3.5, 3.5	1, 0.53, 0.21
比沙可啶环丙甲酰替代物	413.9	251.9 [*] , 183.9	3.5, 3.5	1, 0.64

*quantitative ion

1.3.3.2 液相色谱-串联质谱条件 实际样品检测时, 若检出阳性样品, 采用液相色谱-串联质谱法进行结果验证。

色谱条件: 色谱柱: ACQUITY UPLC[®] HSS T₃ C₁₈ (2.1 mm×100 mm, 1.8 μm); 流动相: A 为 0.1% 甲酸水溶液, B 为乙腈; 流速: 0.3 mL/min; 柱温: 35 °C; 进样量: 2 μL。梯度洗脱程序: 0~1.0 min, 95% A; 1.0~3.0 min, 95%~10% A; 3.0~5.0 min, 10% A; 5.0~5.1 min, 10%~95% A; 5.1~7.0 min, 95% A。

质谱参数: 采用电喷雾正离子源(ESI⁺) 在多反应监测(MRM) 模式下进行检测。电喷雾电压(IS): 5 500 V; 离子源温度: 500 °C; 雾化气压力: 344 738 Pa; 辅助气压力: 379 212 Pa。各化合物的碎片离子、碰撞能等信息见表3。

表3 化合物的质谱参数
Table 3 MS parameters of the two compounds

Compound	Retention time/min	Parent ion(<i>m/z</i>)	Product ion(<i>m/z</i>)	Declustering potential/V	Collision energy/V
西布曲明二氯代异戊基替代物	3.7	328.2	159.0 [*] , 173.0, 123.0	100, 100, 100	38.0, 25.0, 75.0
比沙可啶环丙甲酰替代物	4.1	414.2	252.1 [*] , 184.1	100, 100	29.0, 38.0

*quantitative ion

1.3.4 测定

便携式质谱仪: 分别将混合标准工作液和上述样品提取液 30 μL 上样至 PCS 开发专用试剂盒, 插入仪器进行测定。

液相色谱-串联质谱仪: 分别将混合标准工作液和上述样品提取液过微孔滤膜后, 置于进样小瓶中进行测定。

1.4 数据处理

便携式质谱仪: PmsClientPro 数据采集软件。液相色谱-串联质谱仪: Sciex OS 数据分析软件。部分数据采用 Office Excel 进行处理。

2 结果与讨论

2.1 便携式质谱仪质谱参数优化

2.1.1 母离子及子离子优化

配制 200 ng/mL 混合标准溶液, 取适量置于 nESI 集成纳喷针中, 排空气泡, 插入仪器进行母离子及子离子优化分析, 输入通用碰撞电压 4.0 V, 重复采集 15 次, 叠加结果见图 1。由图 1 可知, 比沙可啶环丙甲酰替代物的母离子为 *m/z* 413.9, 碎片离子为 *m/z* 251.9、183.9; 西布曲明二氯代异戊基替代物的母离子为 *m/z* 327.9, 碎片离子为 *m/z* 172.9、186.8、158.9。

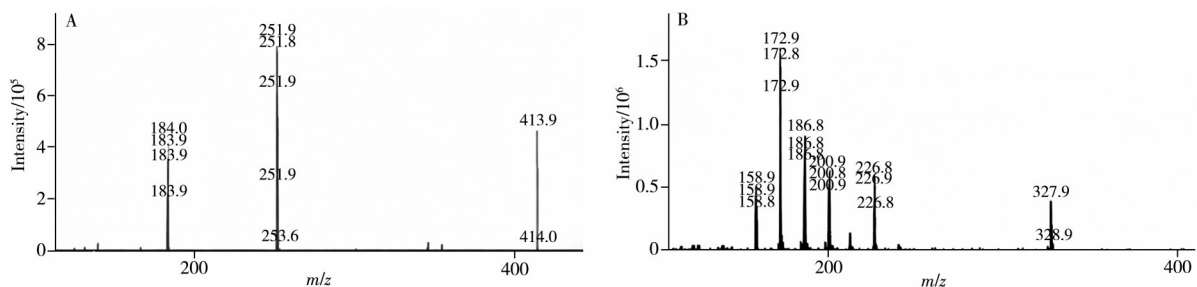


图1 比沙可啶环丙甲酰替代物(A)与西布曲明二氯代异戊基替代物的碎片离子(B)

Fig. 1 Fragment ions of cyclopropanecarboxylic acid, 1, 1'-[(2-pyridinylmethylene)di-4, 1-phenylene] ester(A) and chlorosipentramine(B)

2.1.2 子离子碰撞电压(cid_amp)的优化

配制 200 ng/mL 混合标准溶液, 取适量置于 nESI 集成纳喷针中, 排空气泡后进行仪器分析。重复采集 10 次, 收集 MS² 谱图, 采集遍历数据: 范围 0~7 V, 步长 0.5 V, 遍历 16 次; 使用 PMSFragCurve 辅助作图; 选择强度前三的子离子作为主要碎片峰; 选择各子离子强度最强的 cid_amp 作为最优值, 取每次最优值的平均数为碰撞电压。碰撞电压=(*n*-1)×0.5 V, 子离子 *m/z* 172.9、186.8、158.9、251.9、183.9 均在第 8 次遍历时响应最高, 则上述子离子对应的最佳碰撞电压均为 (8-1)×0.5=3.5 V。

2.2 基质效应考察

基质效应是样品中非目标分析物对检测过程产生干扰，导致响应信号出现增强或抑制的现象，评估该效应是确保检测结果准确性的前提^[32]。通常采用相同浓度下基质标准工作液与纯溶剂标准工作液的峰面积比值进行评价。当基质效应值 > 100% 时为基质增强作用；< 100% 则为基质抑制作用。|基质效应-1| ≤ 20% 时为弱基质效应；20% < |基质效应-1| ≤ 50% 时为中等强度基质效应；|基质效应-1| > 50% 时为强基质效应。本研究选取压片糖果和果冻2种样品，分别添加10 mg/kg的两种目标物，按“1.3.2”方法前处理后测定峰面积(A)。同时测定相同浓度(10 mg/kg)的目标物纯溶剂标准溶液，记录峰面积(B)，计算A/B值以评价基质效应。结果显示，压片糖果中西布曲明二氯代异戊基替代物和比沙可啶环丙甲酰替代物的基质效应值分别为16.9%、16.1%，果冻基质中分别为17.3%、16.7%，均呈较弱的基质效应。因此，本研究采用溶剂标准曲线进行定量分析。

2.3 线性、检出限与定量下限

分别取不同浓度混合标准工作液30 μL至PCS试剂盒中，加入洗脱剂甲醇进行检测，平行测定10次。剔除离群值后，取定量离子响应均值，以目标物的质量浓度为横坐标(x)，离子响应强度为纵坐标(y)进行线性回归分析。2种目标物在50~2 500 ng/mL范围内线性良好，西布曲明二氯代异戊基替代物的回归方程为 $y=1\,071.5x+5\,662.1$ ， $r^2=0.994\,6$ ；比沙可啶环丙甲酰替代物为 $y=607.22x-8\,753.1$ ， $r^2=0.998\,6$ 。取混合标准使用液用甲醇逐步稀释，每次取30 μL至PCS试剂盒中，加入甲醇洗脱剂进行检测。根据仪器使用要求，定量下限的碎片峰强度应大于 1×10^5 ，定量下限应大于方法检出限(3~5倍以上)，定量上限应小于仪器的检测器上限(避免出现饱和强度的峰，峰强度 $< 5 \times 10^6$)，碎片离子响应强度首次大于 1×10^5 时对应的浓度为检出限。据此确定2种目标物的检出限均为10 ng/mL，定量下限均为50 ng/mL，换算成含量则检出限为0.5 mg/kg，定量下限为2.5 mg/kg。

2.4 加标回收率实验

由于待测物质均为禁用物质，按照GB/T 27404-2026^[33]《实验室质量控制规范 食品理化检测》附录D要求，在1倍、2倍和10倍方法定量下限3个加标水平下，分别对饮料、压片糖果、蜜饯、果冻4种空白基质样品进行加标回收率实验。由表4可见，2种目标物的平均回收率为80.2%~111%，相对标准偏差(RSD)为10%~18%，满足痕量分析要求^[21-24]，可用于食品中非法添加物的日常快速筛查。

表4 各化合物在不同基质中的加标回收率实验结果(n=6)

Table 4 Spiked recovery experimental results of target compounds in different matrices(n=6)

Compound	Added/(mg·kg ⁻¹)	Beverage		Pressed candy		Preserved fruit		Jelly	
		Recovery/%	RSD/%	Recovery/%	RSD/%	Recovery/%	RSD/%	Recovery/%	RSD/%
西布曲明二氯代异戊基替代物	2.5	81.3	13	80.9	13	84.1	12	111	18
	5.0	85.6	16	81.6	14	86.7	12	93.4	12
	25.0	80.2	17	88.3	12	88.2	16	87.2	14
比沙可啶环丙甲酰替代物	2.5	81.3	12	87.4	13	87.4	14	86.8	13
	5.0	82.6	10	88.3	14	85.5	17	84.9	14
	25.0	86.3	16	89.1	11	87.3	12	85.7	14

2.5 样品测定及验证

按照“1.3.2”方法处理样品，采用便携式质谱法测定2批阳性样品，西布曲明二氯代异戊基替代物和比沙可啶环丙甲酰替代物的含量分别为65.7、35.6 mg/kg；采用LC-MS/MS的测定结果分别为59.1、42.3 mg/kg。两种方法测定结果的相对偏差分别为10.6%、17.2%，均小于20%，表明两种方法结果一致^[21-24]。由表5可见，便携式质谱仪虽然在线性相关系数、平均回收率、定量下限、灵敏度及精密度等方法学参数上逊于LC-MS/MS，但在时效性、便捷性与核查处置及时性方面具有优势。同时，由于功效与用量的构效关系，一般非法添加物含量均很高，便携式质谱仪的灵敏度完全满足需求，可提升抽检的阳性发现率。

表 5 便携式质谱与液相色谱-串联质谱的测定结果比较

Table 5 Comparison of results determined by portable mass spectrometry and LC-MS/MS

Sample	Compound	Method	LOQ/ (mg·kg ⁻¹)	(r ²)	Recovery/%	RSD/%	Instrumental detection time/s	Content/ (mg·kg ⁻¹)
压片	西布曲明二氯代异戊基替代物	LC-MS/MS	0.05	0.999 2	96.8	0.80	420	59.1
糖果		便携式质谱法	2.5	0.994 6	89.3	15	10	65.7
果冻	比沙可啶环丙甲酰替代物	LC-MS/MS	0.05	0.999 7	95.4	1.3	420	42.3
		便携式质谱法	2.5	0.998 6	85.3	18	10	35.6

3 结 论

本研究应用便携式质谱技术实现了饮料、压片糖果等复杂食品基质中新型非法添加药物(西布曲明二氯代异戊基替代物与比沙可啶环丙甲酰替代物)的快速定性定量检测。该方法展现出现场检测的显著优势,为食品安全监管提供了高效的技术手段。与标准方法(LC-MS/MS)相比,该方法检测时长缩短了数倍,对于目标化合物定量检测的相对偏差均小于20%,结果一致性良好,验证了该方法的可靠性与实用性。便携式质谱仪操作简便,无需复杂的样品前处理与实验室固定设施,可直接在执法现场快速分析可疑样品。联合应用标准实验室方法,该方法可构建“现场快速筛查-实验室精准确证”的高效监管模式,极大缩短检测周期,提升对非法添加行为的打击时效与监管覆盖面,具有重要的应用和研究价值。未来研究将聚焦于前处理设备微型化、功能化离子源开发(如吸附-富集-电离一体化)及智能数据处理系统等方面。

参考文献:

- [1] Hu W J, Ma S. *Xinhua Daily Telegraph* (胡伟杰, 马莎. 新华每日电讯), 2025-05-29(006).
- [2] Bai J, Tian R Y, Zhang L. *Light Ind. Sci. Technol.* (白捷, 田睿瑶, 张利. 轻工科技), **2024**, 40(5): 150-153.
- [3] Lin C F, Sun Y, Lin X L. *Food Ind.* (林春芳, 孙音, 林晓岚. 食品工业), **2023**, 44(4): 260-263.
- [4] Sun J, Lu J G, Lin H, Zhang C, Ding C. *Geriatr. Health Care* (孙健, 陆金根, 林晖, 张宸, 丁超. 老年医学与健康), **2023**, 29(2): 390-397.
- [5] SAMR Office Letter No.12(2025). Notice on Cracking Down on the Illegal Addition of Bisacodyl and Its Series of Derivatives in Food. State Administration for Market Regulation (市场监管总局办公厅关于打击食品中非法添加比沙可啶及其系列衍生物违法行为的通知(市监稽发[2025]12号). 国家市场监督管理总局).
- [6] SAMR Office Letter No.91(2025). Notice on Issuing the Toxic and Harmful Identification Opinions and Law Enforcement Inspection Methods for Sibutramine and Its Series of Derivatives. State Administration for Market Regulation (市场监管总局办公厅关于发布西布曲明及其系列衍生物有毒有害认定意见及执法检验方法的通知(市监稽发[2025]91号). 国家市场监督管理总局).
- [7] BJS 201701. Determination of Sibutramine and Other Compounds in Foods. State Administration for Market Regulation (食品中西布曲明等化合物的测定. 国家市场监督管理总局).
- [8] BJS 201710. Determination of 75 Illegally Added Chemical Drugs in Health Foods. State Administration for Market Regulation (保健食品中75种非法添加化学药物的检测. 国家市场监督管理总局).
- [9] BJS 202209. Determination of 19 Compounds Including Diacetyldiphenylisatin in Foods. State Administration for Market Regulation (食品中双醋酚丁等19种化合物的测定. 国家市场监督管理总局).
- [10] BJS 202504. Determination of Phenolphthalein, Dipropylphenolisatin, Bisacodyl, Bisacodyl Acetate and Phenolphthalein Dicyclopentylmethylcarboxylate in Foods. State Administration for Market Regulation (食品中酚丁、双丙酚丁、双酚沙丁、双酚沙丁醋酸酯和酚丁双环丙甲酸的测定. 国家市场监督管理总局).
- [11] Zhang Z G, Zheng X H, Chen Y, Wu M, Lin J Z, Xu D M, Lin L Y. *Chem. Anal. Meterage* (张志刚, 郑向华, 陈燕, 吴敏, 林建忠, 徐敦明, 林立毅. 化学分析计量), **2022**, 31(2): 16-20.
- [12] Wang S N, Deng Y C, Gao T L X, Ren M K, Wei H L, Zhi W L, Guo X G. *Food Mach.* (王赛楠, 邓迎春, 高天蓝星, 任梦柯, 魏华琳, 智文莉, 郭旭光. 食品与机械), **2020**, 36(4): 91-94.
- [13] Li C, Chen T Q, Wang H, Li Z, Xie F Y, Xiang J, Wang Y H, Wang L L. *J. Instrum. Anal.* (李灿, 陈同强, 汪辉, 李政, 谢芳云, 向俊, 王云昊, 王亮亮. 分析测试学报), **2025**, 44(3): 500-505.
- [14] Hong D, Xie W, Hou X B, Hu X L, Shi Y Z, Li J. *Chin. J. Chromatogr.* (洪灯, 谢文, 侯建波, 胡晓莉, 史颖珠, 李杰. 色谱), **2019**, 37(11): 1173-1178.
- [15] Huang K H, Lu X, Zhou X, Wang W F, Yang F X, Zhu G F, Sun Y. *Food Sci. Technol.* (黄康惠, 卢鑫, 周璇, 王文富, 杨福兴, 朱桂芳, 孙宇. 食品科技), **2023**, 48(6): 301-307.
- [16] Zhu L, Lu C Y, Li C H, He H L, Liu J. *Anal. Instrum.* (朱吕, 陆春燕, 厉晨皓, 贺慧琳, 刘俊. 分析仪器), **2020**, (5): 36-41.

- [17] Song X W, Liu K, Song X F, Yao K, Zhang H Y. *Food Sci. Technol.* (宋晓婉, 刘坤, 宋旭凤, 姚凯, 张洪远. 食品科技), **2020**, 45(5): 346-349.
- [18] Zhang L X. *Detection of Five Illegal Additives in the Slimming Fuction Food Using GC-MS*. Guangzhou: South China Agricultural University (张丽霞. 减肥类保健食品中五种非法添加物的GC-MS检测方法研究. 广州: 华南农业大学), **2021**.
- [19] Yu C X, Wang J D, Huang Z J, Tian D. *Chin. J. Anal. Lab.* (于承新, 王举铎, 黄泽建, 田地. 分析实验室), **2021**, 40(12): 1480-1488.
- [20] Wang Y, Zhou T T, Liu Y X, Li H L, Zuo H F, Wang S H, Jin H Y. *Mod. Chin. Med.* (王莹, 周婷婷, 刘芫汐, 李海亮, 左红芬, 王淑红, 金红宇. 中国现代中药), **2025**, 27(11): 2013-2017.
- [21] Tong L L, Hu Y H, Yang R Y, Lü Y G, Shang Y H, Lü Q, Zhang Q, Wang Q, Guo X Y. *Chin. J. Anal. Chem.* (佟丽丽, 胡艳红, 杨任游, 吕悦广, 尚宇瀚, 吕庆, 张庆, 王强, 郭项雨. 分析化学), **2025**, 53(10): 1623-1630.
- [22] Zhou T T, Liu Y X, Zhang W R, Jin H Y, Wei F, Wang Y. *J. Instrum. Anal.* (周婷婷, 刘芫汐, 张婉茹, 金红宇, 魏锋, 王莹. 分析测试学报), **2025**, 44(11): 2376-2382.
- [23] Tang M Y, Huang B Y, Liu C M, Liu X Y, Jia W, Hua Z D. *J. Forensic Med.* (唐梦瑶, 黄博宇, 刘翠梅, 刘雪燕, 贾薇, 花镇东. 法医学杂志), **2025**, 41(4): 348-354.
- [24] Lü Y G, Zhao J Y, Xue H Y, Ma Q. *Chin. J. Anal. Chem.* (吕悦广, 赵佳宇, 薛宏宇, 马强. 分析化学), **2024**, 52(6): 838-845.
- [25] Wu J H. *Study on the Rapid Detection Method of Multiple Residues in Food and Seasoning Based on Portable Mass Spectrometry*. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University (吴佳辉. 基于便携式质谱的水产食品中多残留现场快检方法研究. 杭州: 浙江工商大学), **2024**.
- [26] Cai L L, Wang B Z, Mo Q H, Li J, Xiao Z L, Yang X X, Yan Y Y, Wang S S. *Food Sci. Technol.* (蔡灵利, 王炳志, 莫秋华, 李佳, 肖昭理, 杨星星, 严义勇, 王水树. 食品科技), **2024**, 49(1): 333-339.
- [27] Shang Y H, Meng X S, Bai H, Ma Q. *Chin. J. Anal. Chem.* (尚宇瀚, 孟宪双, 白桦, 马强. 分析化学), **2023**, 51(12): 1966-1974.
- [28] Mi K, Zhang W T, Wen L H, Wang J. *Chin. J. Chromatogr.* (米琨, 章文天, 闻路红, 王进. 色谱), **2023**, 41(12): 1141-1148.
- [29] Li X H, Li Y F, Yu Z Q, Ma J G, Chen X Y. *Green Sci. Technol.* (李学辉, 李亚飞, 于志强, 马俊刚, 陈希尧. 绿色科技), **2023**, 25(22): 102-108.
- [30] Xie Y Q, Guo X Y, Zhang W P, Ouyang Z, Ma Q. *J. Chin. Mass Spectrom. Soc.* (谢以清, 郭项雨, 张文鹏, 欧阳证, 马强. 质谱学报), **2023**, 44(6): 762-769.
- [31] Mou B L. *Research on Field Detection Method of Pesticide Veterinary Drug Residues in Food Based on Carbon Quantum Dot Extractor and Portable Mass Spectrometry*. Ningbo: Ningbo University (牟炳霖. 基于碳量子点萃取和便携式质谱的农药残留现场检测方法研究. 宁波: 宁波大学), **2023**.
- [32] Liu C. *Pestic. Sci. Manag.* (刘畅. 农药科学与管理), **2025**, 46(3): 43-47, 55.
- [33] GB/T 27404-2026. Criterion on Quality Control of Laboratories-Chemical Testing of Food. National Standards of the People's Republic of China(实验室质量控制规范 食品理化检测. 中华人民共和国国家标准).

(责任编辑: 丁 岩)