

液质联用法同步测定 2 甲 4 氯丁酸和 2 甲 4 氯异辛酯

殷耀, 马晶晶, 朱一鸣, 彭军, 倪家玮, 徐美娟, 王绳芸*
(南京海关动植物与食品检测中心, 江苏 南京 210001)

摘要: 建立了一种同时测定植物源性食品中 2 甲 4 氯丁酸(MCPB)和 2 甲 4 氯异辛酯(MCPA-isooctyl)残留量的液质联用法(LC-MS/MS 方法)。样品经盐酸酸化后, 以乙腈超声提取, 氯化钠盐析分层, 上清液经 C18 吸附剂分散固相萃取净化。采用 C18 色谱柱分离, 以 2 mmol/L 乙酸铵水溶液和甲醇为流动相进行梯度洗脱, 在电喷雾正负离子切换多反应监测模式下测定, 外标法定量。两种化合物在 0.001 mg/L~0.04 mg/L 范围内线性关系良好, 决定系数大于 0.99。在 0.01、0.02、0.10 mg/kg 3 个添加水平下, 2 甲 4 氯丁酸和 2 甲 4 氯异辛酯在糙米、薄荷、胡椒中的平均回收率分别为 67.0%~108.2% 和 63.5%~112.0%, 相对标准偏差(RSD)为 1.3%~4.2%。方法定量限为 0.01 mg/kg, 满足 GB 2763-2026 的限量检测要求。建立的方法前处理简便、净化效果好、灵敏度高, 适用于谷物(糙米)和调味料(薄荷、胡椒)中这两种除草剂残留的定性和定量分析。

关键词: 2 甲 4 氯丁酸; 2 甲 4 氯异辛酯; 液质联用法; 植物源性食品; 农药残留

中图分类号: O65 **文献标识码:** A **文章编号:**

DOI: 10.13822/j.cnki.hxsj.2026.0167

Simultaneous Determination of MCPA Isooctyl Ester and MCPA Butyrate via Liquid Chromatography–Mass Spectrometry

YIN Yao, MA Jing-jing, ZHU Yi-ming, PENG Jun, NI Jia-wei, XU Mei-juan, WANG Sheng-yun (Nanjing Customs Animal, Plant and Food Testing Center, Nanjing, 210001, China)

Abstract: A liquid chromatography–tandem mass spectrometry method was developed to simultaneously determine 2-methyl-4-chlorophenoxybutyric acid (MCPB) and 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid-isooctyl ester (MCPA-isooctyl) residues in plant-derived foods. The samples were acidified with hydrochloric acid, extracted with acetonitrile under ultrasonic assistance, and phase-separated via salting with sodium chloride. The supernatant was purified via dispersive solid-phase extraction using a C18 sorbent. Chromatographic separation was performed on a C18 column with gradient elution using 2 mmol/L ammonium acetate aqueous solution and methanol as the mobile phase. Detection was performed in electrospray ionization positive–negative switching multiple-reaction monitoring mode, and quantification was performed using an external standard method. Both compounds exhibited good linearity within 0.001~0.04 mg/L, with coefficients of determination exceeding 0.99. At three spiked levels (0.01, 0.02 and 0.10 mg/kg), the average recoveries of MCPB and MCPA-isooctyl in brown rice, peppermint, and pepper were 67.0%~108.2% and 63.5%~112.0%, respectively, with relative standard deviations of 1.3%~4.2%. The quantification limit for both analytes was 0.01 mg/kg, which satisfies the requirement specified in GB 2763-2026. The established method features simple pretreatment, satisfactory purification efficiency, and high sensitivity, thus rendering it suitable for the qualitative and quantitative analyses of these two herbicide residues in cereals (brown rice) and condiments (peppermint and pepper).

Keywords: MCPB; MCPA-isooctyl; liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS); foods of plant origin; pesticide residues

除草剂在农业生产中的广泛应用, 为有效防控杂草危害、保障作物产量和品质提供了重要技术支撑。然而, 伴随其使用量的持续增长, 农药残留问题逐渐成为食品安全与国际贸易关注的焦点。2 甲 4 氯丁酸(MCPB)

和 2 甲 4 氯异辛酯(MCPA-isooctyl)作为典型的苯氧羧酸类除草剂, 因选择性好、内吸传导性强, 分别被广泛用于调味料作物(如薄荷、留兰香、胡椒)及谷物(如水稻、玉米、小麦)种植中的杂草管理。其中, 2 甲

收稿日期: 2026-07-06; **修回日期:** 2026-08-12; **接受日期:** 2026-08-17

基金项目: 海关总署科研项目(2024HK307)。

作者简介: 殷耀(1986-), 男, 江苏南京人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测领域。

通讯作者: 王绳芸, E-mail: 1158935347@qq.com。

4 氯异辛酯在高粱种植中对多种禾本科及阔叶杂草表现出优良防效^[1]，且常与其他农药复配使用，可显著拓宽除草谱并提升整体防治效果^[2]；在玉米种植中同样表现出优异的除草性能^[3]。为保障消费者健康，GB 2763-2026《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》^[4]对上述两种农药在不同食品中的最大残留限量作出了明确规定：2 甲 4 氯丁酸在薄荷和留兰香中限量为 0.2 mg/kg，在胡椒中为 0.1 mg/kg；2 甲 4 氯异辛酯在稻谷、玉米、鲜食玉米及糙米中限量为 0.05 mg/kg，在小麦中为 0.1 mg/kg。严格的限量标准对检测方法的灵敏度、准确性和适用范围提出了更高要求。

目前，国内外关于 2 甲 4 氯异辛酯的检测技术已有较多报道，主要涉及气相色谱（GC）和液相色谱（LC）等方法^[5]。例如，2025 年阮华等^[6]采用超高效液相色谱法（UPLC）对 2 甲 4 氯异辛酯原药含量测定开展了方法学建立与验证研究；许甜甜^[7]则利用超高效液相色谱-串联质谱法（UPLC-MS/MS）对玉米中该农药进行测定，但其所采用的基质较为单一；此外，亦有研究采用气相色谱-串联质谱法（GC-MS/MS）进行检测^[8-10]。针对 2 甲 4 氯丁酸，现行 SN/T 2228-2008 标准采用气相色谱-质谱法（GC-MS）进行分析^[11]，国外也有采用液相色谱法（LC）测定该物质的报道^[12]，但迄今尚无基于液相色谱-串联质谱（LC-MS/MS）的正式标准方法。值得注意的是，2 甲 4 氯异辛酯与 2 甲 4 氯丁酸在极性、溶解性和电离特性等理化性质方面存在显著差异，这为两者的同步检测带来了较大技术难度。已有研究多采取分别检测的策略，不仅增加了实验操作的复杂性，也显著提升了检测成本和时间消耗。因此，亟需开发一种能够同时适用于谷物及植物源性调味料中这两种除草剂残留测定的高效、高通量检测方法，以满足日常监管和食品安全风险监控的实际需求。

本研究基于液相色谱-串联质谱（LC-MS/MS）平台，系统优化了样品前处理条件（包括提取溶剂、提取时间、盐析体系及 pH 调节等因素）、净化方式（如固相

萃取柱类型及淋洗条件的筛选）、色谱分离条件（柱型、流动相组成、梯度洗脱程序及进样量）以及质谱参数（电离模式、去簇电压、碰撞能量等关键指标），最终建立了一种适用于植物源性食品中 2 甲 4 氯丁酸和 2 甲 4 氯异辛酯残留同步测定的高灵敏度、高选择性的分析方法，并依据相关技术规范完成了全面的方法学验证（包括线性范围、检出限、定量限、准确度、精密度及基质效应评估等）。该方法的确立，不仅有望填补国内外在该领域同步检测标准的空白，也将为植物源性食品中苯氧羧酸类除草剂残留的日常监测提供可靠的技术手段，对提升我国进出口食品安全保障能力、强化食品安全监管技术支撑体系，以及有效突破国际贸易中的技术性壁垒，具有重要的现实意义和应用价值。

1 实验部分

1.1 主要仪器与试剂

SCIEX Triple Quad 6500+型液相色谱-串联质谱仪（上海爱博才思分析仪器贸易有限公司）；MSE 125P 型分析天平（德国赛多利斯公司）；PL2002 型分析天平（瑞士梅特勒-托利多国际有限公司）；TG21KR 型离心机（长沙东旺实验仪器有限公司）；WU-861 型涡旋混合器（太仓市华利达实验设备有限公司）；KH-500B 型超声波清洗器（昆山禾创超声仪器有限公司）；EVA32 型氮吹仪（北京普立泰科仪器有限公司）。

乙腈（色谱纯）、甲醇（色谱纯）、氯化钠（650 °C 灼烧 4 h，分析纯）、盐酸（优级纯）（国药集团化学试剂有限公司）；乙酸铵（HPLC 纯，上海安谱实验科技股份有限公司）；水为 GB/T 6682 规定的一级水。2 mmol/L 乙酸铵水溶液（安谱云实验用品（上海）有限公司）；C18 吸附剂（粒径 40~60 μm）、0.22 μm 有机相微孔滤膜（天津市津腾实验设备有限公司）；2 甲 4 氯丁酸标准品（MCPB，CAS 号 94-81-5，纯度 99.2%，北京坛墨质检科技有限公司）；2 甲 4 氯异辛酯标准品（MCPA-isooctyl，CAS 号 26544-20-7，纯度 99.7%，天津阿尔塔科技有限公司）。化合物信息见表 1。

表 1 化合物信息表

Tab.1 Compound information table

化合物	CAS 号	分子式	分子量	英文全称
2 甲 4 氯丁酸 (MCPB)	94-81-5	C ₁₁ H ₁₃ ClO ₃	228.67	2-methyl-4-chlorophenoxybutyric acid
2 甲 4 氯 异 辛 酯 (MCPA-isooctyl)	26544-20-7	C ₁₇ H ₂₅ ClO ₃	312.84	2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid isooctyl ester

1.2 标准溶液配制

标准储备液：准确称取适量标准品，用乙腈配制成 1000 mg/L 的标准储备液，于-18℃避光保存。

混合标准中间液：根据需要，用乙腈稀释储备液至适当浓度。

基质匹配标准工作液：准确吸取混合标准中间液，逐级用空白基质溶液稀释成浓度为 0.001、0.002、0.004、0.01、0.02、0.04 mg/L 的系列工作液，现用现配。

1.3 样品前处理

提取：称取 2 g 试样（精确至 0.01 g）于 50 mL 塑料离心管中，加入 5 mL 盐酸（V（盐酸）:V（水）=1:99），涡旋混匀，静置 15 min。加入 10 mL 乙腈，涡旋混匀，超声提取 20

min。加入 5 g 氯化钠，立即涡旋 1 min，8000 r/min 离心 3 min，取上清液待净化，如遇样品浓度较低可以考虑取 5 mL 浓缩成 1 mL。

净化：准确吸取 1 mL 上清液至 2 mL 离心管中，加入 50 mg C18 吸附剂，涡旋混匀 1 min。静置后取上清液过 0.22 μm 微孔滤膜，滤液供液质联用仪测定。

空白基质溶液：取阴性样品，按 1.3 操作获得。

1.4 液相色谱-质谱条件

1.4.1 色谱条件：

色谱柱：Agilent Poroshell 120 EC-C18（3.0×50 mm，2.7 μm）；流动相：A 为 2 mmol/L 乙酸铵水溶液，B 为甲醇；进样量：10 μL；洗脱条件及流速见表 2。

表 2 洗脱条件及流速表

Tab.2 Elution conditions and flow rates

步骤	时间/min	A 流动相/%	B 流动相/%	流速/（mL·min ⁻¹ ）
1	0	90	10	0.5
2	1.00	90	10	0.5
3	1.50	10	90	0.5
4	5.50	10	90	0.5
5	6.50	90	10	0.5
6	7.50	90	10	0.5

1.4.2 质谱条件：

电喷雾离子源（ESI），正负离子切换扫描；多反应监测模式（MRM）；气帘气：

241.32 kPa；雾化气：379.21 kPa；脱溶剂气：379.21 kPa；离子化电压：5500 V（ESI+），-4500 V（ESI-）；质谱参数见表 3。

表 3 质谱参数

Tab.3 Mass spectrometry (MS) parameters

化合物	母离子 (<i>m/z</i>)	子离子(<i>m/z</i>)	碰撞电压/V	去簇电压/V	电离方式
2甲4氯异辛酯	330.2	155.0*	27	107	ESI+
	330.2	71.1	17	107	ESI+
2甲4氯丁酸	228.9	142.9	8	60	ESI-
	227.0	141.0*	9	60	ESI-

2 结果与讨论

2.1 前处理条件优化

2.1.1 上机溶剂选择

参考文献^[13]考察上机溶剂的选择，比较

了甲醇、乙腈、乙酸铵-水溶液作为上机溶剂对检测结果的影响。结果表明，3 种溶剂对目标物的响应无明显差异。考虑后续前处理步骤的衔接，选择提取液乙腈作为上机溶剂。

2.1.2 提取方式优化

对比了 GB 23200.121-2026^[14]前处理方法（直接乙腈提取）与经盐酸酸化后乙腈提取的效果。结果表明，经 1%盐酸水溶液酸化后乙腈提取，目标物的响应和信噪比明显优于直接乙腈提取，具体如图 1、2 所示。这是由于酸化环境有利于 2 甲 4 氯丁酸以分子形式存在，提高了在乙腈中的分配效率。因此，选择先加入 5 mL 1%盐酸水溶液溶解样品，静置 15 min 后加入乙腈提取。

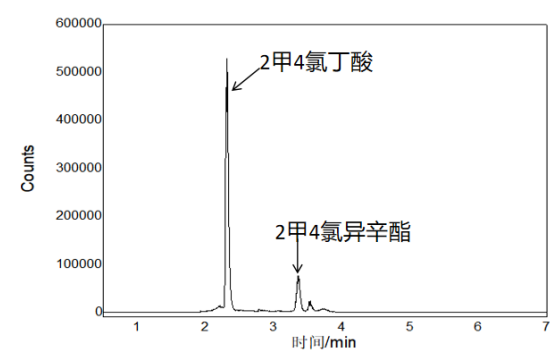


图 1 采用 GB 23200.121 的前处理后上机谱图
Fig.1 Chromatograms obtained after pretreatment according to GB 23200.121

先用 5 mL 1%盐酸水溶液进行溶解，后加入乙腈提取，氯化钠盐析后，上机谱图见图 2。

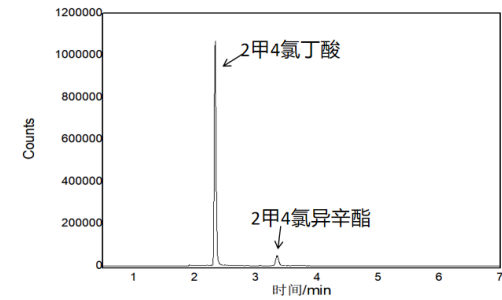


图 2 采用盐酸酸化乙腈提取的前处理上机谱图
Fig.2 Chromatograms obtained after pretreatment with hydrochloric acid-acidified acetonitrile extraction

2.1.3 净化方式选择

本研究以薄荷和糙米为研究对象，考察了固相萃取柱（HLB、NH₂-SPE）和分散固相萃取吸附剂（PSA、C18、GCB）对 2 甲 4 氯丁酸（MCPB）和 2 甲 4 氯异辛酯的净化效果。

结果发现，HLB 小柱净化后，基线噪音高，干扰峰较多；NH₂-SPE 小柱净化后，目标物附近存在较高干扰峰，均未取得理想效果。后续又继续考察了分散固相萃取的净化效果，选取 3 种吸附剂，以峰面积为评价指标，对比了 1 μg/mL 标准溶液、PSA 净化、C18 净化、GCB 净化后目标物的色谱峰面积差异，结果如表 4 所示。

在分散固相萃取方式中，PSA 对极性化合物吸附较强，导致 2 甲 4 氯丁酸回收率偏低；GCB 对色素和平面结构化合物有强吸附作用，对 2 甲 4 氯丁酸和 2 甲 4 氯异辛酯均有明显吸附，回收率严重偏低；C18 净化效果最佳，回收率与标准溶液响应接近，且图谱干扰大幅降低，基线趋于平整（结果如表 4）。因此，选择 C18 作为净化吸附剂。

表 4 采用不同的净化剂净化后目标产物峰面积表

Tab.4 Peak areas of the target product obtained after purification with different purifying agents				
化合物（离子对）	STD 响应	PSA	C18 净化	GCB
2 甲 4 氯丁酸 (227.0->141.0)	406414	100958	381739	77041
2 甲 4 氯丁酸 (228.9->142.9)	134741	33467	126922	25402
2 甲 4 氯异辛酯 (330.2->71.7)	26735	23619	25600	1937
2 甲 4 氯异辛酯 (330.2->155.0)	15661	13493	15362	436

2.2 色谱柱选择

比较了 Agilent Poroshell 120 EC-C18 (3.0×50 mm, 2.7 μm)、Polaris C18(2.0×100 mm, 2.7 μm)和 Kinetex C18(100×4.6 mm,

2.6 μm) 3 种色谱柱的分离效果, 如图 3 所示。结果表明, Agilent Poroshell 120 EC-C18 色谱柱峰形对称、灵敏度高、分离效果最佳, 故选择该色谱柱进行后续实验。

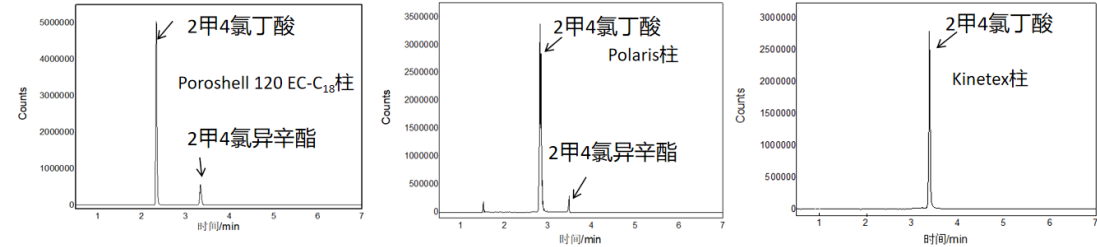


图3 不同色谱柱分离效果图

Fig.3 Separation performance using different chromatographic columns

2.3 基质效应与标准曲线

由于植物源性基质成分复杂, 存在基质效应。通过计算基质效应 (ME), 可确定基质对电信号的增强或者抑制作用, ME>0%时属于基质增强效应, ME<0%时属于基质抑制效应。其中|ME|≤20%属于弱基质效应, 20%<|ME|≤50%属于中等基质效应, |ME|>50%属于强基质效应, 计算公式为 ME(%)=(基质曲线斜率/溶剂曲线斜率-1)×100^[15]。经计算, 如表 5 所示, 2 甲 4 氯丁酸的 ME 属于中等到强基质效应, 2 甲 4 氯异辛酯的 ME 属于强基质效应。

另外还参考峰面积, 实验考察了 2 甲 4 氯丁酸和 2 甲 4 氯异辛酯两种化合物在薄荷和糙米不同基质中的基质抑制情况。以峰面积为评价指标, 对比了 1 μg/mL 标准溶液、薄荷空白基质配制的 1 μg/mL 溶液及糙米空白基质配制的 1 μg/mL 溶液的色谱峰面积差异, 结果如表 5 所示。在薄荷基质中, 2 甲 4 氯丁酸和 2 甲 4 氯异辛酯的基质抑制率分别为 76%和 89%; 在糙米基质中, 抑制率分别为 44%和 78%。为消除基质效应影响, 采用基质匹配标准曲线进行定量。

表 5 基质抑制的实验结果表

Tab.5 Experimental results for matrix suppression effects

化合物 (定量离子对)	标准点峰面积	薄荷样品峰面积	ME 值	糙米样品峰面积	ME 值
2 甲 4 氯丁酸 (227.0->141.0)	8.303×10 ⁶	2.323×10 ⁶	72.0	4.622×10 ⁶	44.3
2 甲 4 氯异辛酯 (330.2->155.0)	1.108×10 ⁶	1.222×10 ⁵	89.0	2.492×10 ⁵	77.5

2.4 定量限与检测限

本方法的定量限 (LOQ) 为 0.01 mg/kg, 在糙米和薄荷基质中, 0.01 mg/kg 添加水平

的信噪比 (S/N) 均大于 10, 满足定量要求。检出限 (LOD) 为 0.003 mg/kg。

表 6 薄荷基质中的添加回收率与相对标准偏差表

Tab.6 Spiked recoveries and relative standard deviations (RSDs) in mint matrix (n=6)

基质	MCPB			MCPA-isooctyl		
	添加水平/ (mg · kg ⁻¹)	回收率%	相对偏差 RSD%	添加水平/ (mg · kg ⁻¹)	回收率%	相对偏差 RSD%
薄荷	0.010	78.5	3.5	0.010	91.5	3.5
	0.020	78.5	2.1	0.020	83.2	3.4
	0.10	92.5	3.8	0.10	103.0	3.2

	0.010	76.5	3.4	0.010	108.0	3.5
糙米	0.020	68.0	1.3	0.020	66.4	3.8
	0.10	84.2	3.9	0.10	85.2	1.3
	0.010	84.3	3.1	0.010	72.0	4.1
胡椒	0.020	90.7	3.2	0.020	89.5	3.4
	0.10	103.0	4.2	0.10	105.9	2.5

2.5 回收率与精密度

选取糙米、薄荷、胡椒3种代表性基质，在 0.01、0.02、0.10 mg/kg 3 个添加水平下进行加标回收实验，每个水平平行测定 6 次，计算回收率和相对标准偏差（RSD），结果见表 6。

结果表明，两种化合物在不同基质中的平均回收率为 66.4%~108.0%，RSD 为 1.3%~4.2%，符合农药残留分析的方法学要求。

3 结论

本研究建立了一种同时测定植物源性食品中 2 甲 4 氯丁酸和 2 甲 4 氯异辛酯残留量的液相色谱-串联质谱方法。样品经盐酸酸化、乙腈提取、C18 分散固相萃取净化，有效降低了基质干扰。方法学验证结果表明，该方法在 0.001~0.04 mg/L 范围内线性良好，定量限为 0.01 mg/kg，加标回收率和精密度均满足 GB 2763-2026 的限量检测要求。该方法前处理简便、净化效果好、灵敏度高，可应用于谷物（糙米）和调味料（薄荷、胡椒）中这两种除草剂残留的日常监测，为食品安全监管提供了技术支持。

参考文献:

[1] Yang W, Zhang R B, Wu H B, Li J H, Su Q F. *Pestic.*, 2023, **62** (3): 231-234.
杨微, 张荣宝, 吴宏斌, 李继洪, 苏前富. 农药, 2023, **62**(3): 231-234.

[2] Zhang S Q, He F, Zhang Y M, Wang R. *World Pestic.*, 2022, **44**(7): 47-50.
张世芹, 贺芳, 张玉梅, 王睿. 世界农药, 2022, **44**(7): 47-50.

[3] GB 2763—2026. National Food Safety Standard-Maximum Residue Limits for Pesticides in Food, 2026-03-01.
GB 2763—2026. 食品安全国家标准 食品中农药

最大残留限量, 2026-03-01.

[4] Xu T T. Residue Characterization of Two Typical Phenoxycarboxylic Acid Herbicides and Its Environmental Safety Study. Hefei:Anhui Agricultural University,China,2024.
许甜甜.两种典型苯氧羧酸类除草剂残留特征及其环境安全性研究.合肥: 安徽农业大学,2024.

[5] Wang J Y, Li X D, Chen X, Li X, Long J J, Yu D M, Zhang N, Wang Y, Wang H Q. *Mod. Agrochem.*, 2025, **24**(6): 35-39.
王加友, 李晓东, 陈曦, 李欣, 龙惊惊, 于丹萌, 张楠, 王远, 王洪庆. 现代农药, 2025, **24**(6): 35-39.

[6] Ruan H, Zhang M, Qi J J, Chen J M. *Pestic.*, 2025, **64** (10): 726-729.
阮华, 张明, 戚晶晶, 陈健明. 农药, 2025, **64**(10): 726-729.

[7] Xu T T, Wang J D, Shi T Z, Wu X W, Ma X, Tang J. *Chin. J. Pestic. Sci.*, 2024, **26**(6): 1191-1200.
许甜甜, 王继东, 史陶中, 吴祥为, 马鑫, 唐俊. 农药学学报, 2024, **26**(6): 1191-1200.

[8] GB 23200.113—2026. National Food Safety Standard-Determination of 242 Pesticides and Metabolites Residues in Foods of Plant Origin-Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry Method, 2026-02-12.
GB 23200.113—2026. 食品安全国家标准 植物源性食品中 242 种农药及其代谢物残留量的测定 气相色谱—质谱联用法, 2026-02-12 .

[9] Wu C F, Wang D L, Shen Y, Sun X, Liu X J. *Jiangsu Agric. Sci.*, 2012, **40**(3): 275-277.
吴长付, 王冬兰, 沈燕, 孙星, 刘贤进. 江苏农业科学, 2012, **40**(3): 275-277.

[10] Fu M, Bi R F, Zhang W W, Deng S C, Liu Y, Chen X T. *J. Food Saf. Qual.*, 2024, **15** (11): 237-243.
付萌, 毕瑞锋, 张伟伟, 邓锁成, 刘茵, 陈祥涛. 食品安全质量检测学报, 2024, **15** (11): 237-243.

[11] SN/T 2228—2008. Determination of 31 Acid Pesticide Residues in Foods for Import and

Export—GC-MS Method, 2008-11-18.

SN/T 2228—2008. 进出口食品中 31 种酸性除草剂残留量的检测方法 气相色谱-质谱法, 2008-11-18.

[12] Meseguer-lloret S, Torres-cartas S, Catalá-icardo M, Gómez-benito C. *Appl. Spectrosc.*, 2016, **70**(2): 312-321.

[13] Li Z M, Ma C G, Li Y H, Gan Y L, Yang Z L. *Chem. Reag.*, 2026, **48** (2): 58-65.

李增明, 马春光, 李玉环, 甘瑛琳, 杨增亮. 化学试剂, 2026, **48** (2): 58-65.

[14] GB 23200.121-2026. National Food Safety Standard-Determination of 352 Pesticides and

Metabolites residues in Foods of Plant Origin Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry Method. 2026-02-12.

GB 23200.121-2026. 食品安全国家标准 植物源性食品中 352 种农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱—串联质谱联用法. 2026-02-12.

[15] Lin X, Xuan D L, Wu L Y, Peng Q, Wang X R, Shen M Y, Zhu Z H. *Chem. Reag.*, 2026, **48**(7): 59-66.

林茜, 宣栋梁, 吴琳瑛, 彭谦, 王学润, 沈慕云, 朱震海. 化学试剂, 2026, **48**(7): 59-66.