DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251219006
**引用格式**: 王登远, 马会彦, 陈僮, 等. QuEChERS结合液相色谱-串联质谱法测定生姜中3种农药残留及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(5): 344–350.
WANG DY, MA HY, CHEN T, *et al*. Determination of 3 kinds of pesticide residues in *Zingiber officinale* Rosc by QuEChERS combined with liquid chromatography-tandem mass spectrometry and dietary risk assessment [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(5): 344–350. (in Chinese with English abstract).

# QuEChERS 结合液相色谱-串联质谱法测定生姜中 3 种农药残留及膳食风险评估

王登远[1], 马会彦[2*], 陈　僮[1], 肜　菡[1]
(1. 金乡县检验检测中心, 济宁　272200; 2. 邹城市检验检测中心, 济宁　273516)

**摘　要: 目的**　建立液相色谱-串联质谱法快速分析生姜中噻虫胺、噻虫嗪和吡虫啉的残留, 并对其进行膳食风险评估。**方法**　采用 QuEChERS 法对粉碎后的生姜样品进行提取和净化, 净化后的上清液在 Agilent ZORBAX Eclipse Plus $C_{18}$ 色谱柱上进行分离, 在多重反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式下对分离后的 3 种农药进行定量分析。采用点评估法对 3 种农药开展慢性和急性膳食风险评估。**结果**　3 种农药在 0.005~0.200 mg/L 质量浓度范围内相关系数均大于 0.995。检出限和定量限分别为 0.00071~0.00280 mg/kg 和 0.00240~0.00930 mg/kg。在加标量为 0.01、0.02、0.10 mg/kg 下, 3 种农药的平均回收率在 85%~112%之间, 相对标准偏差在 0.7%~8.6%之间。3 种农药的慢性和急性膳食风险水平均远小于 100%。**结论**　本研究方法具有操作简单、准确度高、快速等优势, 可用于生姜中 3 种农药残留的分析。3 种农药的膳食风险水平较低, 风险可控。

**关键词:** QuEChERS; 液相色谱-串联质谱法; 生姜; 农药残留; 膳食风险评估

# Determination of 3 kinds of pesticide residues in *Zingiber officinale* Rosc by QuEChERS combined with liquid chromatography-tandem mass spectrometry and dietary risk assessment

WANG Deng-Yuan[1], MA Hui-Yan[2*], CHEN Tong[1], RONG Han[1]
(1. *Jinxiang County Inspection and Testing Center*, *Jining* 272200, *China*;
2. *Zoucheng Inspection and Testing Center*, *Jining* 273516, *China*)

**ABSTRACT: Objective**　To establish a method for the rapid analysis of clothianidin, thiamethoxam and imidacloprid residues in *Zingiber officinale* Rosc by liquid chromatography-tandem mass spectrometry, and conduct dietary risk assessment for them. **Methods**　The crushed *Zingiber officinale* Rosc samples were extracted and purified by QuEChERS method. The purified supernatant was separated on Agilent ZORBAX Eclipse Plus $C_{18}$

**收稿日期:** 2025-12-19
**基金项目:** 济宁市重点研发计划项目(2025JNZC149)
**第一作者:** 王登远(1989—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测与标准化。E-mail: 872245358@qq.com
***通信作者:** 马会彦(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为检验检测与质量管理。E-mail: exam0710@163.com

column. The 3 kinds of pesticides were quantitatively analyzed in multiple reaction monitoring (MRM) mode. The point assessment method was used to conduct chronic and acute dietary risk assessments for 3 kinds of pesticides. **Results** The correlation coefficients of 3 kinds of pesticides in the range of 0.005–0.200 mg/L were more than 0.995. The limits of detection of the method were 0.00071–0.00280 mg/kg, and the limits of quantitation were 0.00240–0.00930 mg/kg. The average recoveries of 3 kinds of pesticides were 85%–112% at the spiking levels of 0.01, 0.02 and 0.10 mg/kg with relative standard deviations at the range of 0.7%–8.6%. The chronic and acute dietary risk levels of 3 kinds of pesticides were significantly lower than 100%. **Conclusion** The method has the advantages of simple operation, high accuracy and high speed, and can be used for the analysis of 3 kinds of pesticide residues in *Zingiber officinale* Rosc. The dietary risk levels of 3 kinds of pesticides are relatively low, and the risks are controllable.

**KEY WORDS:** QuEChERS; liquid chromatography-tandem mass spectrometry; *Zingiber officinale* Rosc; pesticide residues; dietary risk assessment

## 0　引　言

作为生活中常见的调味料, 生姜含有多种活性成分[1–4], 如多糖、有机酸、挥发油类等。这些活性成分共同作用, 使生姜具有多种药理作用, 如抗肿瘤[5]、抗氧化[6]、调节免疫[7]、消炎镇痛[8–9]、促进消化[10]等。生姜在生长过程中, 会遇到姜螟、姜蛆、蓟马等多种虫害, 这些虫害不仅会影响生姜的产量, 还会降低其品质。农药的使用是防治虫害的有效措施, 但一些生产者为了追求经济效益, 往往使用过量甚至违规使用, 造成生姜农药残留超标的情况时有发生。文献[11–12]研究表明, 噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉是生姜中主要的超标农药。研究表明, 长期食用这 3 种农药残留超标的食物会导致身体机能下降、增加患癌风险和加重肝脏负担等多种不利影响[13–18]。

随着噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉的广泛使用, 3 种农药在生姜中不断被检出且存在残留超标问题, 尤其噻虫胺残留超标最为严重。但目前关于噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉在生姜中的膳食风险评估研究较少。为此, 本研究以生姜为研究对象, 通过优化前处理条件和仪器检测条件, 建立一种快速检测噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉的分析方法, 并用该方法对一批生姜样品进行了检测, 同时评估 3 种农药在生姜中的膳食风险, 为生姜的质量安全提供技术支持。

## 1　材料与方法

### 1.1　试　剂

乙腈、甲醇(色谱纯, 德国默克公司); 甲酸、乙酸铵(色谱纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司); 噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉标准溶液(质量浓度均为 100 mg/L, 天津阿尔塔科技有限公司); 乙二胺-N-丙基硅烷化硅胶(ethylenediamine-N- propylsilane silica gel, PSA)、十八烷基硅烷键合硅胶(octadecylsilane chemically bonded silica, $C_{18}$)、QuEChERS 盐包(含柠檬酸钠 1.0 g, 硫酸镁 4.0 g, 柠檬酸氢二钠 0.5 g, 氯化钠 1.0 g) (日本岛津实验器材有限公司)。

### 1.2　仪器与设备

WTE2204B 分析天平(精度 0.1 mg, 常州万泰天平仪器有限公司); 1290-6470 液质联用仪、Agilent ZORBAX Eclipse Plus $C_{18}$ 柱(100 mm×2.1 mm, 1.8 μm) (美国 Agilent 公司); HM-767 多功能破壁料理机(佛山市曼能达电器有限公司); Multi reax 全能型振荡器(德国海道尔夫公司); H/T16MM 高速离心机(湖南赫西仪器有限公司); LC-VortexMT 涡旋混匀仪(上海力辰邦西仪器科技有限公司)。

### 1.3　实验方法

#### 1.3.1　样品前处理

用破壁料理机将 3 kg 生姜样品粉碎, 待用。精确称取 10 g 试样于 50 mL 带盖离心管中, 先加入 10 mL 乙腈, 手动摇荡 15 s 后再加入 QuEChERS 盐包, 振荡提取 1 min, 于 5000 r/min 离心 5 min。吸取 6 mL 提取液至 15 mL 带盖离心管中(预先加入 900 mg 硫酸镁、200 mg PSA、100 mg $C_{18}$), 涡旋混匀 1 min, 于 5000 r/min 离心 5 min, 取上清液过微孔滤膜(0.22 μm), 待测定。

#### 1.3.2　基质匹配标准工作溶液

分别吸取噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉标准溶液(0.1 mL)于 10 mL 容量瓶中, 用乙腈定容, 得到混合标准储备溶液(1 mg/L), 待用。用生姜空白基质提取液配制一系列的标准工作溶液(0.005、0.010、0.020、0.050、0.100、0.200 mg/L)。

#### 1.3.3　色谱条件

色谱柱为 Agilent ZORBAX Eclipse Plus $C_{18}$ 柱(100 mm×2.1 mm, 1.8 μm); 柱温为 40 ℃; 进样体积为 3 μL; 梯度洗脱程序见表 1。

表 1 梯度洗脱程序
Table 1 Program of gradient elution

| 时间/min | 流速/(mL/min) | A(甲醇)/% | B(0.1%甲酸水)/% |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.3 | 5 | 95 |
| 1 | 0.3 | 5 | 95 |
| 2 | 0.3 | 90 | 10 |
| 5 | 0.3 | 90 | 10 |
| 7 | 0.3 | 5 | 95 |
| 8 | 0.3 | 5 | 95 |

1.3.4 质谱条件

电喷雾离子源正离子模式电离; 多重反应监测(multiple reaction monitoring, MRM); 鞘气流量和干燥气流量分别为 12 L/min 和 7 L/min; 鞘气温度和干燥气温度分别为 350 ℃和 250 ℃; 雾化气压力为 207 KPa; 3 种农药的质谱参数见表 2。

表 2 3 种农药的质谱参数
Table 2 Mass spectrum parameters of 3 kinds of pesticides

| 化合物 | 母离子(*m*/*z*) | 子离子(*m*/*z*) | 裂解电压/V | 碰撞能量/eV |
|---|---|---|---|---|
| 噻虫胺 | 250.2 | 169.1*/132 | 80 | 10/15 |
| 噻虫嗪 | 292.1 | 211*/181 | 80 | 5/20 |
| 吡虫啉 | 256.1 | 209*/175 | 80 | 10/10 |

注: *为定量离子。

1.3.5 慢性膳食风险评估

参考常巧英等[19]的方法, 以慢性暴露量(exposure chronic, EXP)与每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)的比值(%ADI)[19], 来评估 3 种农药的慢性膳食风险, 其计算见公式(1)和(2)。

$$EXP=(C\times P)/BW \quad (1)$$

$$\%ADI=(EXP/ADI)\times 100\% \quad (2)$$

式中: *C* 为农药残留的平均值, mg/kg; *P* 为生姜的日均消费量, 参考《中国药典(2020 年版)》中生姜的用量为 3~10 g, 取用量中值 6.5 g/d; BW 为成年人的平均体重(body weight), 取 60 kg。

1.3.6 急性膳食风险评估

参考常巧英等[19]的方法, 以估计短期摄入量(estimated short-term intake, ESTI)与急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)的比值(%ARfD), 来评估 3 种农药的急性膳食风险, 其计算见公式(3)和(4)。

$$ESTI=(HR\times LP)/BW \quad (3)$$

$$\%ARfD=(ESTI/ARfD)\times 100\% \quad (4)$$

式中: HR 为农药残留的最大值(highest residue), mg/kg; LP 为生姜的最大消费量(large portion), 参考《中国药典(2020 年版)》中生姜的用量为 3~10 g, 取用量最大值 10 g/d。

### 1.4 数据处理

采用安捷伦 MassHunter 10.0 软件对数据进行采集与分析, 采用 WPS Office 2019 软件对数据进行统计分析与作图表。在前处理实验中, 每组做 3 次平行试验; 在方法验证实验中, 每组做 6 次平行试验。

## 2 结果与分析

### 2.1 净化条件的优化

PSA、$C_{18}$ 和石墨化碳黑是蔬菜样品常用的净化材料[20–25], 其中 PSA 能去除生姜提取液中的有机酸、糖类等极性杂质, $C_{18}$ 能去除生姜提取液中的脂肪、挥发油等非极性杂质, 而生姜提取液中色素含量较低。因此, 本研究采用在生姜空白样品中加入 100 μg/kg 农药混标的方式对 PSA 和 $C_{18}$ 的添加量进行了优化。

首先, 固定 $C_{18}$ 的添加量为 50 mg, 考察 PSA 的添加量对 3 种农药回收率的影响, 共考察了 50、100、200 和 300 mg 这 4 个添加量, 每个添加量进行 3 次平行试验。如图 1A 所示, 当 PSA 添加量在 50~200 mg 之间时, 3 种农药的平均回收率均随着 PSA 添加量的增大而逐渐增高; 当 PSA 添加量超过 200 mg 时, 噻虫嗪的平均回收率开始下降。

其次, 固定 PSA 的添加量为 200 mg, 考察 $C_{18}$ 的添加量对 3 种农药回收率的影响, 共考察了 50、100、200 和 300 mg 这 4 个添加量, 每个添加量进行 3 次平行试验。如图 1B 所示, 当 $C_{18}$ 添加量在 50~100 mg 之间时, 3 种农药的平均回收率均随着 $C_{18}$ 添加量的增大而逐渐增高; 当 $C_{18}$ 添加量超过 100 mg 时, 3 种农药的平均回收率均开始略有下降。因此, 本研究最终用 200 mg PSA 和 100 mg $C_{18}$ 对提取液进行净化。与刘永强等[26]建立的前处理方法相比, 本研究的前处理方法不需要旋蒸浓缩和氮气吹干等复杂操作, 只需要离心、混匀等简单操作, 大大减少了样品前处理步骤和时间。

### 2.2 色谱条件的优化

与其他溶剂相比, 甲醇和乙腈因具有样品溶解性好、黏度低、安全性高等优势, 是液相色谱-质谱联用技术分析过程中常用的流动相。而在流动相中加入少量添加剂, 能明显提高一些化合物的分离效果和离子化效率。因此, 本研究比较了甲醇和乙腈分别为有机相时, 在水相中分别加入 0.1%甲酸、5 mmol/L 乙酸铵和不加入任何物质时, 对 3 种农药分离效果和检测结果的影响。当以甲醇为有机相, 在水相中加入 0.1%甲酸时, 3 种农药的质谱响应值最高, 峰形也最好。本研究同时对梯度洗脱程序也进行了优化, 8 min 可完成对 3 种农药的检测。因此, 本研究方法的检测时间较短, 3 种农药的总离子流色谱图(100 μg/kg)见图 2。

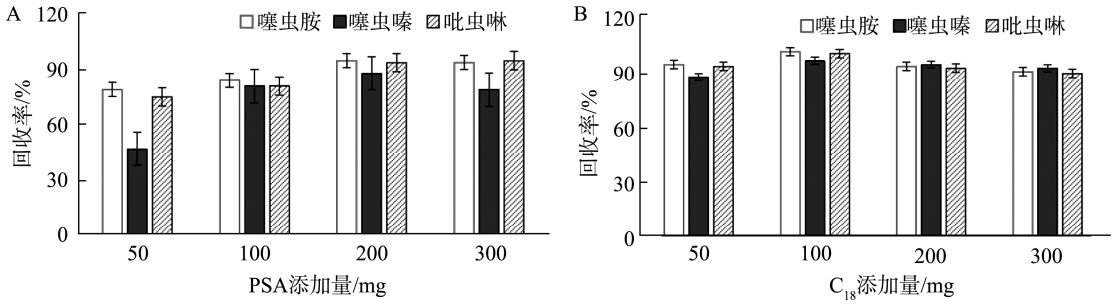



图 1　PSA (A)和 $C_{18}$ (B)添加量对 3 种农药回收率的影响($n$=3)

Fig.1　Effects of addition amounts of PSA (A) and $C_{18}$ (B) on the recovery rates of 3 kinds of pesticides ($n$=3)

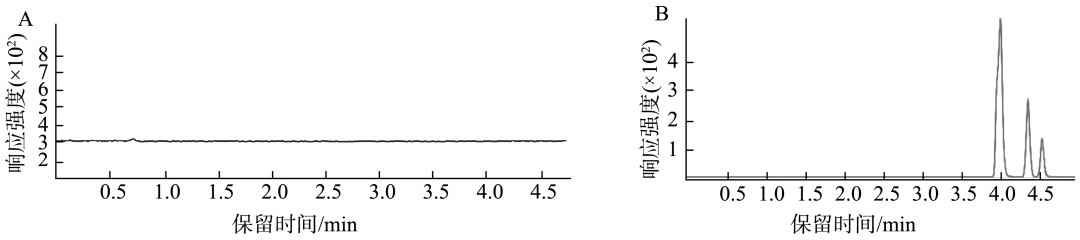



图 2　空白基质溶液(A)和 100 μg/kg 含量的 3 种农药(B)的总离子流色谱图

Fig.2　Total ion chromatograms of a blank matrix solution (A) and 100 μg/kg of 3 kinds of pesticides (B)

## 2.3　质谱条件的优化

首先分别对 3 种农药进行全扫描, 找出各自的母离子。然后将母离子碎裂成子离子, 同时进行子离子全扫描, 获取碎片离子图谱。最后选择信号最强的两个离子组成定性离子对, 其中信号最强的离子作为定量离子。本研究同时用安捷伦 MassHunter 10.0 软件中自带的 Source Optimizer 工具对雾化气压力、干燥气流速与温度等离子源参数进行了优化; 用安捷伦 MassHunter 10.0 软件中自带的 MassHunter Optimizer 工具对碰撞能量、裂解电压等 MRM 参数进行了优化, 优化后的质谱条件见 1.3.4。

## 2.4　基质效应的评价

为了评价生姜的基质效应(matrix effect, ME), 本研究以生姜空白基质匹配标准工作曲线的斜率与乙腈匹配标准工作曲线的斜率的比值[27−29], 为 ME 值。当 ME 值>1.2 时, 表示在生姜中存在基质增强效应; 当 ME 值在 0.8~1.2 之间, 表示 ME 不明显; 当 ME 值<0.8 时, 表示在生姜中存在基质抑制效应。如表 3 所示, 噻虫嗪、噻虫胺在生姜中 ME 不明显, 吡虫啉在生姜中存在基质抑制效应。为了消除 ME 的影响, 本研究通过用生姜空白基质匹配标准工作溶液的方式进行校准。

## 2.5　方法学考察

### 2.5.1　相关系数、检出限和定量限

将已粉碎的生姜空白样品按照 1.3.1 进行提取和净化, 然后按照 1.3.2 配制基质匹配标准工作溶液, 最后按照优化后的仪器条件进行测定。以定量离子的响应值为纵坐标($Y$), 相对应的质量浓度为横坐标($X$, mg/L), 用安捷伦 MassHunter 定量软件建立标准工作曲线。分别以仪器 3 倍的信噪比和 10 倍的信噪比相对应的标准物质的质量浓度作为检出限和定量限。如表 3 所示, 噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉在 0.005~0.200 mg/L 范围内线性关系均较好, $r^2$ 均大于 0.995; 噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉的检出限在 0.00071~0.00280 mg/kg 范围, 定量限在 0.00240~0.00930 mg/kg 范围, 这 3 种农药的检出限和定量限均低于钱建瑞等[30]研究中的检出限 (0.03000~0.10000 mg/kg) 和定量限 (0.10000~0.30000 mg/kg)。因此, 本方法的灵敏度较高, 可以对生姜中农药残留进行高效、准确的定性和定量分析。

**表 3　3 种农药的线性方程、相关系数、MEs、检出限和定量限**

**Table 3　Linear equations, correlation coefficients, MEs, limits of detection and limits of quantitation of 3 kinds of pesticides**

| 化合物 | 基质 | 线性方程 | 相关系数 | MEs | 检出限/(mg/kg) | 定量限/(mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 噻虫胺 | 生姜 | $Y$=32014$X$+56 | 0.9999 | 1.01 | 0.00260 | 0.00870 |
| 噻虫嗪 | 生姜 | $Y$=94280$X$+938 | 0.9952 | 1.18 | 0.00071 | 0.00240 |
| 吡虫啉 | 生姜 | $Y$=57328$X$+16 | 0.9995 | 0.63 | 0.00280 | 0.00930 |

2.5.2 回收率和精密度

对已粉碎的生姜空白样品进行了 3 个浓度(0.01、0.02、0.10 mg/kg)的加标实验，每个浓度进行 6 次平行试验。按照优化后的前处理条件和仪器条件进行分析，并通过生姜空白基质匹配标准工作溶液的方法来消除 ME。噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉的平均回收率为 85%~112%，相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)为 0.7%~8.6%(表 4)。因此，本方法的准确度和精密度均满足方法学要求，能保证检测结果的准确性和可靠性。

**表 4 3 种农药的平均回收率及 RSDs (%)**
**Table 4 Average recoveries and RSDs of 3 kinds of pesticides (%)**

| 化合物 | 0.01 mg/kg | | 0.02 mg/kg | | 0.10 mg/kg | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 回收率 | RSDs | 回收率 | RSDs | 回收率 | RSDs |
| 噻虫胺 | 97 | 6.6 | 106 | 1.3 | 102 | 2.2 |
| 噻虫嗪 | 85 | 8.6 | 112 | 4.5 | 101 | 6.9 |
| 吡虫啉 | 108 | 0.7 | 104 | 5.1 | 103 | 1.2 |

## 2.6 实际样品检测

本研究随机从济宁当地抽取了 120 批次生姜样品，然后利用本研究优化后的方法对这些生姜样品进行检测。如表 5 所示，噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉的检出率在 8.3%~30.0%范围，超标率在 2.5%~5.8%范围，其中噻虫胺的检出率和超标率均最大。因此，生姜中农药残留超标问题较为严重，尤其噻虫胺项目污染较为突出，这与张德花[11]和席金忠等[12]的研究相吻合。噻虫胺在生姜上有登记，用于防治姜蛆，但部分姜农为了快速控制姜蛆，会过量使用或未遵守采摘间隔期规定，导致了噻虫胺超标。噻虫嗪、吡虫啉在生姜上未有登记，但因这两种农药对蚜虫、蓟马等刺吸式口器害虫的防治效果较好，常被违规使用在生姜上。同时面对众多规模小且分散的种植户，监管难以全覆盖。为了有效地解决生姜中农药残留超标问题，本研究建议指导姜农科学合理使用农药，严格遵守采摘间隔期规定并定期对生姜进行检测，推广物理防治、生物防治等绿色防控技术，同时加强生姜中农药残留监管，构建从农田到餐桌的全链条安全保障体系。

## 2.7 膳食风险评估

如表 6 所示，噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉的慢性膳食风险评估结果在 0.00501%~0.00830%范围，远小于 100%；噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉的急性膳食风险评估结果在 0.0428%~0.1210%范围，远小于 100%；这表明，尽管生姜中农药残留容易超标，但膳食风险水平较低，风险可控。

**表 5 3 种农药的检测结果**
**Table 5 Detection results of 3 kinds of pesticide**

| 化合物 | 检出率/% | 超标率/% | 检出范围/(mg/kg) | 平均值/(mg/kg) | 最大值/(mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| 噻虫胺 | 30.0 | 5.8 | <0.0087~1.5400 | 0.0510 | 1.5400 |
| 噻虫嗪 | 13.3 | 1.7 | <0.0024~3.2700 | 0.0370 | 3.2700 |
| 吡虫啉 | 8.3 | 2.5 | <0.0093~2.9000 | 0.0460 | 2.9000 |

**表 6 3 种农药的膳食风险评估**
**Table 6 Dietary risk assessment of 3 kinds of pesticide**

| 化合物 | 慢性膳食风险 | | | 急性膳食风险 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | EXP /[mg/(kg·d)] | ADI /[mg/(kg·d)] | %ADI | ESTI /[mg/(kg·d)] | ARfD /[mg/(kg·d)] | %ARfD |
| 噻虫胺 | $5.52\times10^{-6}$ | 0.100 | 0.00552 | $2.57\times10^{-4}$ | 0.600 | 0.0428 |
| 噻虫嗪 | $4.01\times10^{-6}$ | 0.080 | 0.00501 | $5.45\times10^{-4}$ | 1.000 | 0.0545 |
| 吡虫啉 | $4.98\times10^{-6}$ | 0.060 | 0.00830 | $4.83\times10^{-4}$ | 0.400 | 0.1210 |

# 3 结 论

本研究通过优化净化条件、色谱条件和质谱条件，建立了生姜中噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉的检测方法。方法验证了本研究方法的关键参数，如线性关系、准确度、精密度、检出限和定量限等，均符合检测要求。本研究方法的优点是操作简便、灵敏度高、结果准确可靠，可快速分析生姜中的农药残留。此外，本研究采用点评估法对生姜中 3 种农药残留的慢性膳食风险和急性膳食风险进行了评估，均远小于 100%，风险可控。但本研究涉及的农药种类较少，需进一步将扩大研究的农药种类和数量，以全面了解生姜中农药残留的情况。

## 参考文献

[1] 于旺堂, 许明月, 唐培鑫. 低温等离子体处理对生姜汁杀菌效果及理化特性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(21): 208–215.

YU WT, XU MY, TANG PX. Effects of low-temperature plasma treatment on the sterilization effect and physicochemical properties of ginger juice [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(21): 208–215.

[2] 付琳, 王一红, 蔺子晗, 等. 生姜多糖的提纯工艺、结构及其功能活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2024, 45(1): 335–342.
FU L, WANG YH, LIN ZH, *et al*. Progress in purification technology, structure and functional activity of ginger polysaccharide [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(1): 335–342.

[3] JING Y, CHENG W, LI M, *et al*. Structural characterization, rheological properties, antioxidant and anti-Inflammatory activities of polysaccharides from *Zingiber officinale* [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2023, 78(11): 160–165.

[4] 张龙, 赵鑫淇, 任梓菲, 等. 超声联合过氧乙酸清洗对生姜品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(10): 3068–3074.
ZHANG L, ZHAO XQ, REN ZF, *et al.* Effects of ultrasonic combined with peroxide acetic acid washing on the quality of ginger [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(10): 3068–3074.

[5] 杨淼, 高利, 苏慧慧. 生姜精油 $CO_2$ 超临界提取工艺优化及其抗肿瘤活性研究[J]. 中国调味品, 2024, 49(5): 132–136.
YANG M, GAO L, SU HH. Optimization of $CO_2$ supercritical extraction process of essential oil from ginger and its antitumor activity [J]. China Condiment, 2024, 49(5): 132–136.

[6] SUHAG R, SINGH S, KUMAR Y, *et al.* Microfluidization of Ginger Rhizome (*Zingiber officinale* Roscoe) juice: Impact of pressure and cycles on physicochemical attributes, antioxidant, microbial, and enzymatic activity [J]. Food and Bioprocess Technology, 2024, 17(8): 1045–1058.

[7] SIMTOE AP, LUGENDO BR, MGAYA YD. Efficacy of aromatic plants *Zingiber officinale* and *Syzygium aromaticum* extracts as natural immunostimulants on survival, growth performance, and immune response of farmed prawn *Penaeus monodon* juveniles [J]. Aquaculture International, 2024, 32(1): 4499–4513.

[8] ARASU A, PRABHA N, DEVI D, *et al.* Antimicrobial efficacy of allium cepa and *Zingiber officinale* against the milk-borne pathogen *Listeria monocytogenes* [J]. Journal of Microbiology, 2023, 61(12): 993–1011.

[9] CHANDRA P, ROOMIKHA N, SACHAN N, *et al*. Protective effect of *Zingiber officinale* rhizomes against experimental induced ulcers in diabetic rats [J]. Pharmaceutical Chemistry Journal, 2022, 56(11): 1107–1115.

[10] 谭玉梅, 江洪波, 高梦祥, 等. 生姜现代药理学特性研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(15): 4908–4916.
TAN YM, JIANG HB, GAO MX, *et al*. Research progress on modern pharmacological characteristics of *Zingiber officinale* Rosc [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(15): 4908–4916.

[11] 张德花. 2021—2022 年吉林省食品安全监督抽检农产品姜的结果分析[J]. 食品安全导刊, 2023(17): 40–44.
ZHANG DH. Analysis of the results of agricultural product ginger sampling for food safety supervision in Jilin Province from 2021 to 2022 [J]. China Food Safety Magazine, 2023(17): 40–44.

[12] 席金忠, 张砚, 苏艾婧, 等. 2020—2022 年国家食品安全监督抽检不合格情况分析[J]. 食品工业科技, 2024, 45(12): 234–240.
XI JZ, ZHANG Y, SU AlJ, *et al*. Analysis on unqualified results of sampling inspection of national food safety supervision in 2020—2022 [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(12): 234–240.

[13] 李瑶, 涂济源, 罗可馨, 等. 生物传感器在新烟碱类农药残留检测中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(15): 316–328.
LI Y, TU JY, LUO KX, *et al.* Advances in the application of biosensors for the detection of neonicotinoid pesticide residues [J]. Food Science, 2024, 45(15): 316–328.

[14] 崔嵩, 李斐, 刘志琨. 新烟碱类杀虫剂污染特征及其毒性效应[J]. 中国环境科学, 2023, 43(1): 361–373.
CUI S, LI F, LIU ZK. Pollution characteristics and toxic effects of neonicotinoid insecticides [J]. China Environmental Science, 2023, 43(1): 361–373.

[15] 王溢, 吴琳嫕, 宣栋樑, 等. 孕期新烟碱类杀虫剂暴露对雌激素稳态的影响[J]. 中华疾病控制杂志, 2023, 27(10): 1228–1233.
WANG Y, WU LY, XUAN DL, *et al*. Effects of exposure to neonicotinoids on estrogen homeostasis in pregnant women [J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2023, 27(10): 1228–1233.

[16] ZHANG H, ZHANG R, ZENG X, *et al*. Exposure to neonicotinoid insecticides and their characteristic metabolites: Association with human liver cancer [J]. Environmental Research, 2022, 208: 112703.

[17] HAN M, WANG Y, YANG Z, *et al.* Neonicotinoids residues in the honey circulating in Chinese market and health risk on honey bees and human [J]. Environmental Pollution, 2022, 313: 120146.

[18] XU X, WANG X, YANG Y, *et al*. Neonicotinoids: Mechanisms of systemic toxicity based on oxidative stress-mitochondrial damage [J]. Archives of Toxicology, 2022, 96(6): 1493–1520.

[19] 常巧英, 杨志敏, 白若镔, 等. GC/LC-Q/TOF MS 测定当归中农药残留及膳食风险评估[J]. 分析测试学报, 2024, 43(2): 292–300.
CHANG QY, YANG ZM, BAI RB, *et al*. Analysis and risk assessment of pesticide residues in *Angelica sinensis* by GC/LC-Q/TOF MS [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2024, 43(2): 292–300.

[20] 刘耀楠, 葛苗秀, 章文天, 等. QuEChERS-液相色谱-串联质谱法测定黄瓜和苹果中 7 种农药残留量及其风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 141–150.
LIU YN, GE MX, ZHANG WT, *et al.* Determination of 7 kinds of pesticide residues in *Cucumis sativus* L. and *Malus pumila* Mill. by QuEChERS-liquid chromatography-tandem mass spectrometry and risk assessment [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 141–150.

[21] 赵宝梅, 唐俊妮, 刘俊, 等. QuEChERS-三重四极杆气相色谱-串联质谱法测定果蔬中 5 种新型农药残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(21): 47–56.
ZHAO BM, TANG JN, LIU J, *et al*. Determination of 5 kinds of new pesticide residues in fruits and vegetables by QuEChERS-triple quadrupole gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(21): 47–56.

[22] 陈璐, 赵爱平, 吴微, 等. QuEChERS-气相色谱串联质谱法同时测定茶叶中 10 种农药残留[J]. 分析试验室, 2024, 1: 1–10.
CHEN L, ZHAO AIP, WU W, *et al*. Simultaneous determination of ten pesticide residues in tea by QuEChERS combined with gas

chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2024, 1: 1–10.

[23] SANTANA MA, RODRÍGUEZ RR, HERRERA HAV, *et al*. Updated overview of QuEChERS applications in food, environmental and biological analysis (2020—2023) [J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2023, 169: 117375.

[24] AFIFY AS, ABDALLAH M, ISMAIL SA, *et al*. Development of GC-MS/MS method for environmental monitoring of 49 pesticide residues in food commodities in Al-Rass, Al-Qassim region, Saudi Arabia [J]. Arabian Journal of Chemistry, 2022, 15(11): 104199.

[25] LIU J. $Fe_3O_4$ nanoparticles as matrix solid-phase dispersion extraction adsorbents for the analysis of thirty pesticides in vegetables by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography B, 2021, 1165: 122532.

[26] 刘永强, 刘胜, 许文娟, 等. 超高效液相色谱-四极杆-飞行时间质谱法快速筛查姜和葱中 44 种农药残留[J]. 色谱, 2017, 35(9): 941–948.
LIU YQ, LIU S, XU WJ, *et al*. Rapid screening of 44 kinds of pesticide residues in ginger and scallion by ultra performance liquid chromatography coupled with quadrupole-time of flight mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2017, 35(9): 941–948.

[27] 王秀丽, 张梅超, 倪瑞敏, 等. QuEChERS-液相色谱-串联质谱法同时测定蔬菜中 7 种新烟碱类农药[J]. 农药, 2024, 63(4): 254–260.
WANG XL, ZHANG MC, NI RM, *et al*. Simultaneous determination of 7 neonicotinoid pesticides in vegetables by QuEChERS-liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Agrochemicals, 2024, 63(4): 254–260.

[28] 杨黎, 蓝嫄嫄, 黄高武, 等. QuEChERS 结合超高效液相色谱-串联质谱法测定八角中 222 种农药及其代谢物残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(19): 54–67.
YANG L, LAN YY, HUANG GW, *et al*. Determination of 222 kinds of pesticides and their metabolite residues in *Illicium verum* by QuEChERS combined with ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(19): 54–67.

[29] 张朋杰, 张宪臣, 李云松, 等. QuEChERS 结合超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱法快速测定禽畜肉中 157 种农药残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(16): 5391–5400.
ZHANG PJ, ZHANG XC, LI YS, *et al*. Rapid determination of 157 kinds of pesticide residues in livestock and poultry meat by QuEChERS combined with ultra performance liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(16): 5391–5400.

[30] 钱建瑞, 张玉芬, 李晓伟, 等. QuEChERS-LC-MS/MS 测定姜油树脂、姜精油中 8 种农药残留及膳食风险评估[J]. 质谱学报, 2024, 45(2): 281–291.
QIAN JR, ZHANG YF, LI XW, *et al*. Determination and dietary risk assessment of 8 kinds of pesticide residues in ginger oleoresin and ginger essential oil by QuEChERS-LC-MS/MS [J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2024, 45(2): 281–291.

(责任编辑: 冯东慧 蔡世佳)