

马晨, 张群, 刘春华, 等. 芒果果实中农药残留分布及慢性膳食摄入风险 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 231–239. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060231

MA Chen, ZHANG Qun, LIU Chunhua, et al. Distribution of Pesticide Residue in Mango Fruits and Chronic Dietary Risk[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 231–239. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060231

· 食品安全 ·

芒果果实中农药残留分布及慢性膳食摄入风险

马 晨, 张 群, 刘春华, 段 云

(中国热带农业科学院分析测试中心, 海南省热带果蔬产品质量安全重点实验室, 农业农村部热作产品质量安全风险评估实验室, 海南海口 571101)

摘 要:为掌握常用农药在芒果果实中的残留分布情况及其对慢性膳食摄入风险的贡献大小。采用气相色谱和超高效液相色谱-串联质谱法测定样品中 42 个常用农药残留。采用点评估方法计算检出农药对儿童和成人的慢性膳食摄入风险的贡献份额, 采用相对效能因子法计算农药的累积风险。44.1% 的全果样品和 35.5% 的果肉样品中检出农药残留。吡虫啉在全果和果肉中的检出率最高, 分别为 21.6% 和 19.6%。按照我国制定的最大残留限量标准 (MRL), 吡唑醚菌酯、噻虫胺、吡虫啉和苯醚甲环唑在全果和果肉中均存在超标现象, 在全果和果肉中的超标率分别是 6.9%/1.0%、5.9%/1.0%、3.0%/2.0%、2.0%/2.0%。不套袋品种 (台农和贵妃) 农药检出率和超标率高于套袋品种 (金煌)。所有检出农药的残留水平基本符合全果的残留量高于果肉的残留量。对于内吸性较强的农药 (如新烟碱类农药和三唑类农药等), 少部分芒果样品果肉中的残留量高于全果或者只在果肉中有检出。果肉中同时检出 4 种及以上农药的样品比例为 7.9%, 小于全果中的比例 (20.6%)。所有检出农药对成人和儿童的 %ADI 均远远小于 100%, 且三唑类和新烟碱类农药的累积风险也极小。通过芒果摄入的农药残留对慢性膳食摄入风险的贡献极低。

关键词:芒果, 全果, 果肉, 残留分布, 慢性膳食摄入风险, 累积风险

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)03-0231-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060231



本文网刊:

Distribution of Pesticide Residue in Mango Fruits and Chronic Dietary Risk

MA Chen, ZHANG Qun, LIU Chunhua, DUAN Yun

(Hainan Provincial Key Laboratory of Quality and Safety for Tropical Fruits and Vegetables, Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Tropical Products(Haikou) Ministry of Agriculture, Analysis and Testing Center, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Haikou 571101, China)

Abstract: This study aims to evaluate the distribution of pesticide residues in mango fruits and the contribution to chronic dietary exposure risks. 42 kinds of pesticides were analyzed with gas chromatography (GC) and ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). The contribution to chronic dietary exposure risks for children and adult were calculated using point assessment approach. The cumulative risks were calculated with the method of relative potency factor (RPF). 44.1% of the whole mango samples and 35.3% of the pulp samples contained one or more pesticide residues. The most frequently detected pesticide was imidacloprid, and the detection rates in whole mango and pulp were 21.6% and 19.6%, respectively. According to the MRLs in China, the exceedance rates of pyraclostrobin, clothianidin, imidacloprid and difenoconazole in whole mango and pulp were 6.9% and 1.0%, 5.9% and 1.0%, 3.0% and 2.0%, 2.0% and 2.0%, respectively. The detection rate and exceedance rate of pesticide in non-bagged mango varieties ('Tainong', 'Guifei') were much higher than those in bagged mango variety ('Jinhuang'). Pesticide residue levels in whole

收稿日期: 2021-06-29

基金项目: 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金 (1630082017003); 国家农产品质量安全风险评估重大专项 (GJFP2019013)。

作者简介: 马晨 (1986-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 热带水果质量安全研究, E-mail: mc19860112@163.com。

mango were mostly higher than those in pulp. In some mango samples, the residues of pesticides possessing strong systemic conductivity (neonicotinoid, trizoles and etc.) in pulp were higher than those in whole mango. These pesticides only detected in pulp of some mango samples. 7.9% of the pulp samples contained four or more pesticide residues, and the percentage was much higher (20.6%) in whole mango samples. The values of %ADI of all detected individual pesticides and pesticide groups (neonicotinoid and trizoles) for children and adult were far below 100%. The contribution of pesticide residues through mango to the chronic dietary risk was extremely low.

Key words: mango; whole fruit; pulp; residue distribution; chronic dietary risk; cumulative risk

芒果是我国重要的热带水果之一, 在我国的种植总面积约 25.77 万公顷, 产值超过 125 亿元, 已成为我国热区农业发展的支柱产业之一^[1]。种植区域主要分布在我国南方各省, 广西、海南、云南、四川、贵州等^[2]。其品种丰富, 上市时间可横跨全年。芒果因其风味独特、香味浓郁、营养丰富而深受消费者喜爱, 消费量与日俱增。芒果上病虫害种类繁多, 几乎在果实发育的每个关键环节都有发生, 农药是主要的防治手段^[2]。

目前, 国内外在芒果中农药残留分析与膳食评估方面文献报道较少^[3-8]。农药在芒果全果和果肉中残留情况的研究只检索到几篇文献^[9-14], 涉及到的农药有氟唑菌酰胺、吡唑醚菌酯、苯醚甲环唑、38% 啉酰菌胺·吡唑醚菌酯、噁虫嗪、乐果和联苯菊酯等, 这些研究只选取了一种或两种农药, 模拟田间或采后用药后, 测定其在果实不同部位中的残留, 无法反映生产过程中的实际用药情况。SRIVASTAVA 等^[6]研究了 162 份印度勒克瑙地区不同生长期的去皮和不去皮芒果样品中 17 种有机磷农药残留。SINGH 等^[15]测试了 8 种常用农药在 3 个采用和 3 个未采用综合防控措施基地芒果样品中的残留情况, 包括带皮生果和成熟后的果肉。这两篇文献研究的是实际生产样品中农药在芒果果实中的残留情况, 但检测的农药种类较少, 数量有限。在实际生产中, 我国芒果上使用的农药种类多样, 将多种药剂混合使用, 随意混配、增加用药量、增加使用频次等不按农药标签使用的情况时有发生^[2]。所以, 掌握农药在芒果果实不同部位的残留情况特别是可食部分, 对于科学评估农药残留膳食风险和消费引导具有重要意义。本文拟测定套袋品种(金煌)和不套袋品种(台农和贵妃)芒果全果和果肉中常用农药的残留情况, 分析不同农药在全果和果肉中的残留分布, 比较不同芒果品种间农药残留的差异, 评估通过芒果摄入的农药慢性膳食风险, 以期对芒果质量安全监管提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

42 个农药标准品 纯度 $\geq 99\%$, 农业农村部环境保护科研检测所; 乙腈、丙酮、正己烷、甲醇、甲酸 色谱纯, 美国 Fisher 公司; 氯化钠、无水硫酸镁 分析纯, 广州化学试剂有限公司。

Agilent 7890A 型气相色谱仪-电子俘获检测器 美国安捷伦公司; Thermo TSQ Quantum Access

MAX 型超高效液相色谱-串联质谱仪 美国赛默飞世尔科技有限公司; AL204 型电子天平 瑞士梅特勒-托利多公司; Laborota 4000 型真空旋转蒸发仪 德国 Heidolph 公司; XW-80A 型微型涡旋混合仪 上海沪西分析仪器厂有限公司; VS-24SMTi 型离心机 美国 VISION 公司; HR2104 型搅拌机 中国广东惠州飞利浦投资有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品采集 从海南省海口市农贸或批发市场随机采集芒果样品 102 份, 台农 38 份、贵妃 32 份、金煌 32 份。一份样品不少于 20 个果, 分别制备成芒果全果(去核)和芒果果肉两份, 采用 HR2104 搅拌机匀浆 5 min 后, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷冻保存, 待前处理和分析测定。

1.2.2 农药残留检测方法 验证芒果生产上常用农药 42 个, 包括杀虫剂 20 个(噁嗪酮、噁虫胺、噁虫嗪、吡虫啉、啉虫脒、灭多威、茚虫威、毒死蜱、虫螨腈、联苯菊酯、甲氰菊酯、氯氟氰菊酯、氯氰菊酯、哒螨灵、阿维菌素、氯虫苯甲酰胺、灭蝇胺、敌百虫、螺虫乙酯、乙基多杀菌素), 杀菌剂 18 个(氟硅唑、丙环唑、戊唑醇、腈菌唑、腈苯唑、苯醚甲环唑、烯酰吗啉、多菌灵、甲基硫菌灵、噻菌灵、啉菌酯、吡唑醚菌酯、甲霜灵、霜霉威、异菌脲、咪鲜胺、抑霉唑、百菌清)、高毒农药 4 个(克百威、丁硫克百威、水胺硫磷、氧乐果)。采用带电子俘获检测器的气相色谱仪测定联苯菊酯、甲氰菊酯、氯氟氰菊酯、氯氰菊酯、百菌清、哒螨灵和苯醚甲环唑, 其他农药采用超高效液相色谱-串联质谱仪测定, 前处理和检测方法按照《蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定: NY/T 761-2008》和《水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学品残留量的测定液相色谱-串联质谱法: GB/T 20769-2008》^[16-17]进行。按照全果/果核比例和可食率将测定的芒果全果和果肉中农药的残留量统一转化为全果(包含果核)中残留量, 依据《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量: GB2763-2021》中规定的农药最大残留限量(MRL), 判定各农药残留量是否超标^[18]。

1.2.3 慢性膳食摄入评估 按照点评估方法计算通过芒果摄入的慢性膳食风险^[19], 参照公式(1)。对检出率和超标率均较高的新烟碱类和三唑类农药进行累积风险计算。选择吡虫啉作为指示化合物, 按照相对效能因子方法(relative potency factor, RPF)和农

药的毒性参考剂量(RfD, EPA 推荐的农药每日最大口服剂量), 将其他新烟碱类农药的毒性效应与吡虫啉比较获得相应的 RPF, 再将各类农药的残留量乘以效能因子, 统一转化成以吡虫啉表示的残留量, 按照公式(2)计算新烟碱类农药的总浓度(IMF_{新烟碱类}), 将新烟碱类农药的累积风险转化为吡虫啉单一农药的膳食风险^[20]。三唑类农药以苯醚甲环唑为指示化合物, 毒性参考剂量(NOAE, no-observed adverse effect levels)参照肝脏的慢性毒性作用, 按照公式(3)计算三唑类农药的总浓度(IMF_{三唑类})^[21]。

$$\%ADI = \frac{C \times F}{bw \times ADI} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

$$IMF_{\text{新烟碱类}} = \sum_i (C_i \times RPF) = C_{\text{吡虫啉}} + C_{\text{啉虫脒}} \times 0.8 + C_{\text{噻虫胺}} \times 5.8 \quad \text{式 (2)}$$

$$IMF_{\text{三唑类}} = \sum_i (C_i \times RPF) = C_{\text{苯醚甲环唑}} + C_{\text{戊唑醇}} \times 0.05 \quad \text{式 (3)}$$

式中, %ADI 代表通过芒果摄入的农药对整个膳食暴露的贡献份额; C 为实际检测所得芒果果肉中农药的残留平均值, mg/kg; F 表示芒果消费量, WHO GEMS/Food 中规定了 G09 区 (包含中国) 芒果的平均消费量是 0.00973 kg/d^[22]; bw 表示人群平均体重, 我国成人和 1~6 岁儿童的平均体重分别为 53.23 kg 和 16.14 kg^[22]; ADI 表示每日允许摄入量, mg/kg bw^[18]。

1.3 数据处理

采用 WPS Excel 进行数据处理和作图。

2 结果与分析

2.1 芒果全果和果肉中农药检出情况

图 1 表示芒果全果和果肉中农药残留的检出率(A)和超标率(B)。44.1%的全果样品有农药检出, 共检出 22 种农药残留。全果中检出率排在前 5 位的农药分别是吡虫啉(21.6%)、噻虫啉(19.6%)、吡啶醚菌酯(12.8%)、虫螨腈(11.8%)和啉菌酯(11.8%)。35.3%的果肉样品有农药检出, 共检出 17 种农药残留。果肉中检出率排在前 7 位的农药分别是吡虫啉(19.6%)、啉虫脒(10.8%)、吡啶醚菌酯(7.9%)、烯啶吗啉(6.9%)、戊唑醇(5.9%)、多菌灵(5.9%)、噻虫胺(5.9%)。吡虫啉等新烟碱类农药和吡啶醚菌酯在全果和果肉中的检出率均较高。这两类农药均具有内吸性, 主要用于防治芒果炭疽病和蓟马、介壳虫等, 在生产中使用广泛。芒果全果中各农药的超标率分别为吡啶醚菌酯 6.9%, 噻虫胺 5.9%, 吡虫啉 3.0%, 苯醚甲环唑 2.0%, 噻啉酮 1.0%。果肉中吡虫啉和苯醚甲环唑的超标率均为 2.0%, 吡啶醚菌酯和噻虫胺的超标率均为 1.0%。噻虫啉、虫螨腈、噻苯隆、啉虫灵、茚虫威、甲基硫菌灵、丙环唑和氟硅唑只在全果中有残留, 在果肉中均未检出。我国尚缺少芒果上最大残留限量标准的农药有噻虫啉、虫螨腈、毒死蜱、

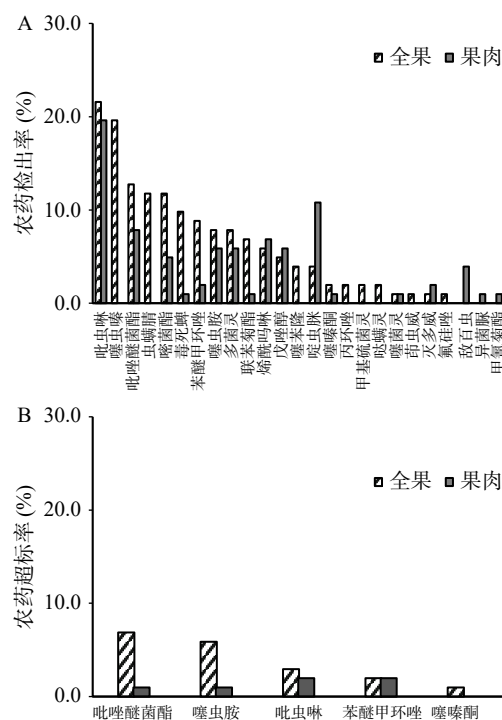


图 1 芒果全果和果肉中农药检出率(A)和超标率(B)

Fig.1 Detection rate(A) and exceedance rate(B) of pesticides in whole mango and pulp

联苯菊酯、烯啶吗啉、噻苯隆、啉虫灵、甲基硫菌灵、丙环唑、茚虫威、氟硅唑。

图 2 表示不同芒果品种(台农、贵妃、金煌)中农药检出率和超标率情况。全果中农药检出种类的多少依次为贵妃(19 种)>台农(18 种)>金煌(10 种)。吡啶醚菌酯的检出大多数来源于台农品种(台农中检出率 10.8%, 贵妃和金煌检出率均为 1.0%)。吡虫啉、啉菌酯在所有品种全果中的检出率均较高, 吡虫啉在贵妃、金煌和台农品种的检出率分别为 5.9%、4.9% 和 10.8%; 啉菌酯在贵妃、金煌和台农品种的检出率分别为 2.9%、2.9% 和 5.9%(图 2A)。果肉中农药检出种类依次为台农(13 种)>贵妃(12 种)>金煌(8 种)。吡虫啉、啉虫脒在所有品种果肉中的检出率均较高, 吡虫啉在贵妃、金煌和台农品种的检出率分别为 4.9%、5.9% 和 8.8%, 啉虫脒在贵妃、金煌和台农品种的检出率分别为 2.0%、3.9% 和 4.9%(图 2B)。全果中金煌没有超标样品。全果中吡啶醚菌酯、吡虫啉和苯醚甲环唑的超标样品均来自台农品种(超标率分别是 6.9%、4.9% 和 2.0%), 噻啉酮的超标样品来源于贵妃品种(超标率是 1.0%), 噻虫胺的超标样品在台农和贵妃品种均有(超标率分别是 3.9% 和 1.0%)(图 2C)。果肉中吡啶醚菌酯和噻虫胺的超标样品均来自贵妃品种(超标率均是 2.0%), 苯醚甲环唑的超标样品来自台农(超标率是 1.0%), 吡虫啉在金煌和台农品种均有超标样品(超标率均是 1.0%)(图 2D)。综合以上结果, 台农和贵妃品种的农药残留风险高于金煌品种。在实际生产中, 台农和贵妃通常不套袋, 受病虫害侵害几率更高, 使用的农药频次

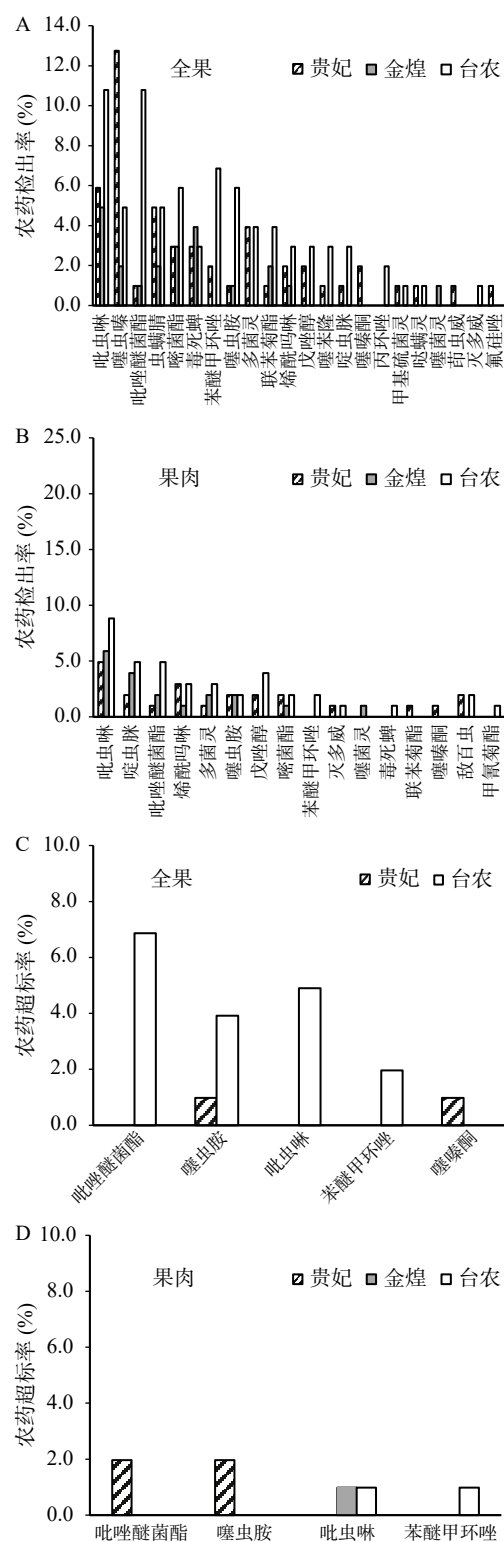


图2 三个芒果品种的全果和果肉中农药检出率和超标率
Fig.2 Detection rate and exceedance rate of pesticides in whole mango and pulp of three varieties

注: A: 全果的农药检出率; B: 果肉的农药检出率; C: 全果的农药超标率; D: 果肉的农药超标率。

较高。金煌是套袋品种,套袋后对农药形成一定的阻隔作用。有研究报道,套袋可以减少芒果上农药残留量,本文中得到的结果与其一致^[10]。

2.2 农药在全果和果肉中的残留分布情况

图3表示农药在芒果全果和果肉中的残留量分

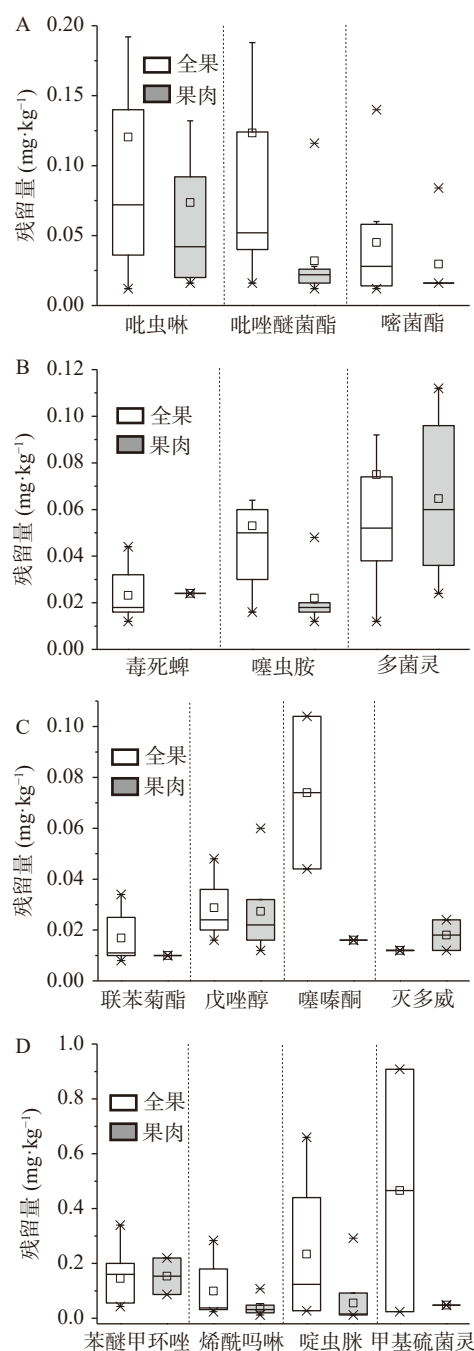


图3 农药在芒果全果和果肉中的残留分布

Fig.3 Distribution of pesticide residue in whole mango and pulp

注: 只列出果肉和全果均有检出且阳性数大于1的农药。

布情况(选择果肉和全果均有检出且阳性数大于1的农药作图)。表1列出了检出农药在全果和果肉中的残留平均值、中位值、99.5分位值。所有农药的残留分布、平均值、中位值、99.5分位值基本符合全果的残留量高于果肉的残留量。但是,多菌灵在果肉中的残留分布整体高于在全果中的分布,残留中位值高于全果(图3B);苯醚甲环唑在果肉中的残留平均值高于全果(图3D);毒死蜱、灭多威和噻菌灵在果肉中的残留中位值和平均值均高于全果(图3B、图3C、表1)。

图4表示检出农药在同一样品的全果和果肉

表 1 芒果全果和果肉样品中农药残留水平
Table 1 Pesticide residue level in whole mango and pulp

农药名称	全果残留量(mg·kg ⁻¹)			果肉残留量(mg·kg ⁻¹)		
	99.5分位值	平均值	中位值	99.5分位值	平均值	中位值
吡虫啉	0.597	0.120	0.072	0.358	0.074	0.042
噻虫嗪	0.122	0.049	0.032	—	—	—
吡啶醚菌酯	0.540	0.123	0.052	0.113	0.032	0.022
嘧菌酯	0.138	0.045	0.028	0.083	0.030	0.016
虫螨腈	0.132	0.051	0.032	—	—	—
毒死蜱	0.044	0.023	0.018	0.024	0.024	0.024
苯醚甲环唑	0.335	0.145	0.160	0.219	0.154	0.153
多菌灵	0.254	0.075	0.052	0.112	0.065	0.060
噻虫胺	0.126	0.053	0.050	0.047	0.022	0.018
联苯菊酯	0.034	0.017	0.011	0.010	0.010	0.010
烯酰吗啉	0.281	0.099	0.038	0.106	0.039	0.032
戊唑醇	0.048	0.029	0.024	0.059	0.027	0.022
噻苯隆	0.075	0.038	0.026	—	—	—
啉虫脒	0.653	0.234	0.124	0.282	0.056	0.016
噻嗪酮	0.104	0.074	0.074	0.016	0.016	0.016
哒螨灵	0.061	0.037	0.037	—	—	—
甲基硫菌灵	0.904	0.466	0.466	0.048	0.048	0.048
丙环唑	0.028	0.022	0.022	—	—	—
灭多威	0.012	0.012	0.012	0.024	0.018	0.018
茚虫威	0.024	0.024	0.024	—	—	—
噻菌灵	0.064	0.064	0.064	0.068	0.068	0.068
氟硅唑	0.024	0.024	0.024	—	—	—
敌百虫	—	—	—	0.016	0.015	0.016
甲氧菊酯	—	—	—	0.010	0.010	0.010
异菌脲	—	—	—	0.012	0.012	0.012

注:—:代表未检出。

中的残留量分布。结果表明,同一份样品中同一农药在大多数全果中的残留量高于果肉中的残留量。吡虫啉有 5 份样品在果肉中的残留量高于全果中的残留量,1 份样品只在果肉中有检出(图 4A)。嘧菌酯、噻虫胺、苯醚甲环唑、毒死蜱和联苯菊酯分别有 3 份、2 份、2 份、1 份和 1 份样品只在果肉中有检出(图 4B、D、E、F 和 H)。多菌灵有 3 份样品在果肉中的残留量高于全果的残留量(图 4G)。烯酰吗啉有 2 份样品在果肉中的残留量高于全果中的残留量,3 份样品只在果肉中检出(图 4I)。戊唑醇有 2 份样品在果肉中的残留量高于全果中的残留量(图 4J)。啉虫脒有 1 份样品在果肉中的残留量高于全果中的残留量,8 份样品只在果肉中有检出(图 4K)。其他只有 1~2 份样品检出的农药残留分布情况未列出。

农药在果实中的残留存在 2 种方式:一是附着于果实表面;二是内吸性农药通过在植物体内循环达到植株各部位。果实表面通常附有一层蜡质,具有较强的疏水性,从而能阻挡亲水性污染物进入果实内部^[23]。现有相关文献报道,田间喷施农药后,各农药在芒果全果中的残留量均高于果肉中的残留量^[9-14]。SRIVASTAVA 等^[6]和 SINGH 等^[15]发现,去皮可以降低芒果中有机磷农药(去除率 35.48%~98.86%)、

硫丹和吡虫啉的残留,果肉中残留量减少或未检出。本文的研究也发现,果皮可以阻挡一部分农药进入果肉。但是,对于内吸性较强的农药(如吡虫啉、啉虫脒、噻虫胺等新烟碱类农药,戊唑醇、苯醚甲环唑等三唑类农药等),少部分芒果样品果肉中的残留量高于全果或只在果肉中有检出。李章等^[10]研究发现,甲基硫菌灵主要富集在芒果果实表皮,吡虫啉内吸性更强,在果肉中也有大量残留。李胤均等^[24]对比了套袋前和套袋后施药芒果上吡虫啉的消解动态,发现吡虫啉在芒果上具有内吸性,药剂可以通过内吸作用达到芒果果实内部。卢海博等^[25]的研究也发现,在果实套袋情况下整株苹果树喷施新烟碱类农药,施药 72 h 后苹果果柄和果肉中农药的残留量明显高于果皮,果实中的农药主要来源于枝叶运输,经果柄进入果实后易向果肉累积。农药在果实中的分布可能受农药性质、环境条件、果实自身性质、施药方式、农艺措施等的影响^[26]。

2.3 芒果全果和果肉中农药多残留情况

芒果全果和果肉中检出农药多残留情况如图 5 所示。全果中检出 1 种以上农药的样品占 44.1%,检出 1 种和 2 种农药的样品均占 8.8%;检出 3 种及以上农药的样品占 26.5%,其中同时检出 4 种农药的样

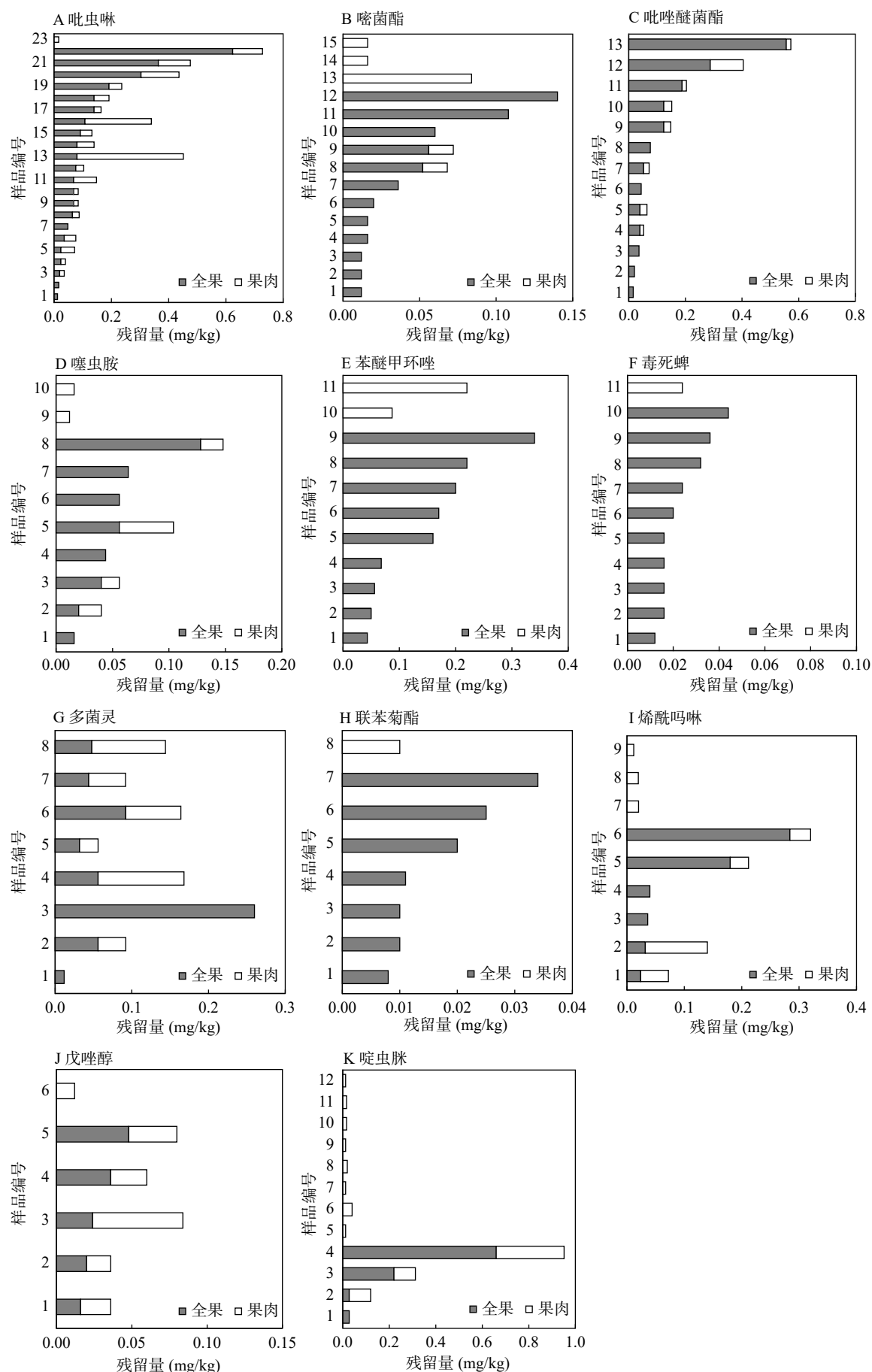


图4 检出农药在同一样品的全果和果肉中的残留量分布

Fig.4 Pesticide residue levels in whole mango and pulp of the same sample

注: 只列出果肉和全果均有检出且阳性数大于1的农药。

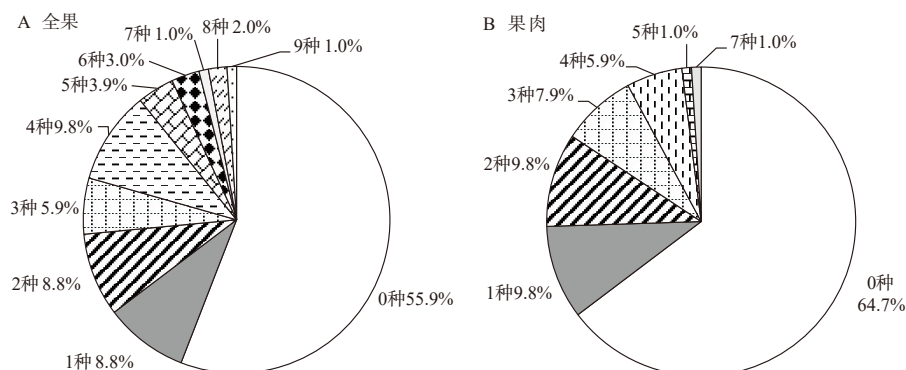


Fig.5 Percentage in whole mango and pulp of multiple residues of individual pesticide

品比例最大(9.8%),同时检出 5 种、6 种、7 种、8 种和 9 种农药残留的样品比例分别为 3.9%、3.0%、1.0%、2.0% 和 1.0%(图 5A)。果肉中检出 1 种以上农药的样品占 35.3%,检出 1 种和 2 种农药的样品均占 9.8%;检出 3 种及以上农药的样品占 15.7%,其中同时检出 3 种农药的样品比例最大(7.9%),同时检出 5 种和 7 种农药残留的样品比例均为 1.0%(图 5B)。果肉中同时检出 4 种及以上农药的样品比例小于全果,同时检出 1~3 种农药的样品比例高于全果。

2.4 慢性膳食摄入评估

儿童和成人通过芒果摄入的慢性膳食的风险贡献份额如图 6 所示。所有农药的 %ADI 均远远小于 100%，说明对于儿童和成人来说，通过芒果摄入的慢性膳食风险极小。%ADI 排在前 5 位的农药是苯醚甲环唑、敌百虫、毒死蜱、多菌灵和噻嗪酮。由于儿童的平均体重小于成人，其他数据与成人相同，所以计算得到的 %ADI 高于成人。

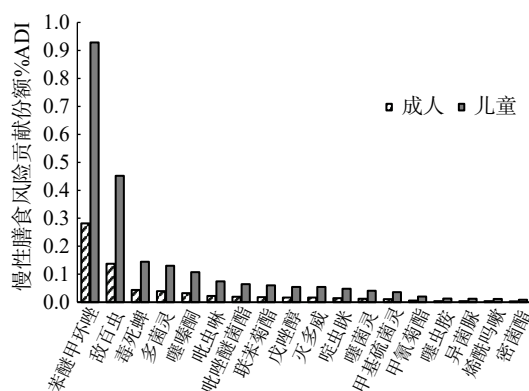


图6 芒果果肉中农药残留对成人和儿童的慢性膳食摄入风险贡献份额

Fig.6 The contribution to chronic dietary exposure risks of pesticide residue in pulp of mango for adult and children

图 7 表示新烟碱类和三唑类农药对成人和儿童的慢性累积膳食风险贡献份额。三唑类和新烟碱类农药的累积慢性膳食风险的贡献份额极小(%ADI 均远远小于 100%)。新烟碱类农药中,噻虫胺对累积风险的贡献最大 51.8%,其次为吡虫啉 30.0%,最后是啉虫脒 18.2%。三唑类农药的累积风险大多数来

源于苯醚甲环唑(99.1%),戊唑醇只占 0.9%。

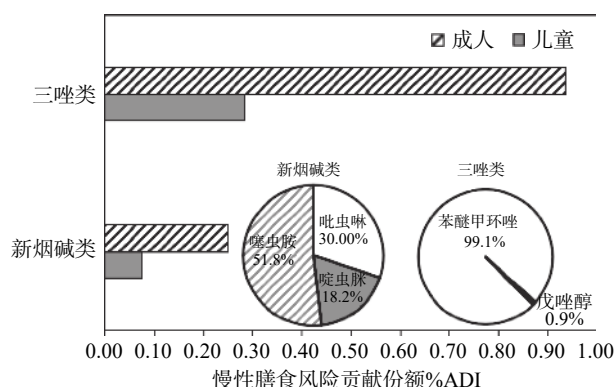


图7 新烟碱类和三唑类农药对成人和儿童慢性累积膳食风险的贡献份额

Fig.7 The contribution to chronic dietary exposure risks of neonicotinoid and trizoles for adult and children
注: 内图表示单一农药对累积风险的贡献率。

3 结论与讨论

分析了 102 份芒果中常用农药在全果和果肉中的检出率、超标率、残留水平、多残留情况以及通过芒果摄入的农药残留对慢性膳食摄入风险的贡献份额。结果表明, 芒果果肉中大多数农药的检出率和超标率低于全果, 果肉中农药多残留比例(4 种及以上) 低于全果。不套袋品种(台农和贵妃) 的农药残留风险高于套袋品种(金煌) 。所有农药的残留水平基本符合全果的残留量高于果肉的残留量。对于内吸性较强的农药(如新烟碱类农药和三唑类农药等) , 少部分芒果样品果肉中的残留量高于全果或者只在果肉中有检出。按照果肉中农药残留平均值计算芒果对慢性膳食摄入风险的贡献份额, 结果表明所有农药的 %ADI 均远远小于 100%, 且三唑类和新烟碱类农药的累积风险也极小, 所以对于成人和儿童来说, 通过芒果摄入的农药残留对慢性膳食风险的贡献极低。由于缺少我国人群芒果的大份餐数据, 故未计算急性膳食摄入风险。

农药在果实中的分布可能受农药性质、环境条件、果实自身性质、施药方式、农艺措施等的影响,是十分复杂的过程。本文研究也发现,果皮可以阻挡

一部分农药进入果肉。但是,对于内吸性较强的农药仍可进入果肉中,并超过我国最大残留限量标准,如吡唑醚菌酯、噻虫胺、吡虫啉、苯醚甲环唑。除了规范生产用药外(按农药标签用药,控制用药次数和间隔期等),还需要研究其在芒果植株中的迁移转化规律,选择合适的农艺措施和喷药部位,以将果肉中农药残留控制在安全范围内。

参考文献

- [1] 农业农村部农垦局. 全国热带、亚热带作物生产情况(2017年)[Z]. 2018. [Agricultural Reclamation Bureau, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Tropical and south subtropical crops production situation (2017yr) [Z]. 2018.]
- [2] 韩冬银, 邢楚明, 李磊, 等. 广西芒果病虫害发生情况和防治现状调查与分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(5): 994-1000. [HAN D Y, XING C M, LI L, et al. Investigation and analysis on the occurrence and current control status of mango diseases and insect pests in Guangxi[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(5): 994-1000.]
- [3] 张月, 张群, 赵方方, 等. 甲基硫菌灵及其代谢产物多菌灵在芒果上的残留测定及膳食风险评估[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(8): 140-145. [ZHANG Y, ZHANG Q, ZHAO F F, et al. Residue determination and dietary risk assessment of thiophanate-methyl and its metabolite carbendazim in mango[J]. Guizhou Agricultural Science, 2019, 47(8): 140-145.]
- [4] 段云, 李建国, 徐志. 芒果质量安全状况调查及检测分析[J]. 热带农业科学, 2013, 33(8): 62-65. [DUAN Y, LI J G, XU Z. Investigation report and analysis on quality and safety of mango[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2013, 33(8): 62-65.]
- [5] 邹冬梅, 吕岱竹, 王明月, 等. 我国芒果农药最大残留限量制定及农药残留现状分析[J]. 中国热带农业, 2012, 45(2): 16-19. [ZOU D M, LV D Z, WANG M Y, et al. Analysis on making maximum pesticides residue limits and situation of pesticides residue in mango in China[J]. Chinese Tropical Agriculture, 2012, 45(2): 16-19.]
- [6] SRIVASTAVA A K, RAI S, SRIVASTAVA M K, et al. Determination of 17 organophosphate pesticide residues in mango by modified QuEChERS extraction method using GC-NPD/GC-MS and hazard index estimation in Lucknow, India[J]. PLoS One, 2014, 9(5): e96493.
- [7] CISCATO C H P, OZAWA K S, BARBOSA C M, et al. Evaluation of pesticide residues in mango by a multi-residue analysis and GC/MS triple quadrupole[J]. Journal of Agricultural Science and Technology B, 2015, 5(8): 530-536.
- [8] JARDIM A N O, BRITO A P, VAN DONKERSGOED G, et al. Dietary cumulative acute risk assessment of organophosphorus, carbamates and pyrethroids insecticides for the brazilian population[J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 112(2): 108-117.
- [9] 刘艳萍, 王思威, 孙海滨. 田间条件下氟唑菌酰胺和吡唑醚菌酯在芒果上的残留及消解动态[J]. 农药学报, 2016, 18(4): 59-515. [LIU Y P, WANG S W, SUN H B. Residue and decline dynamics of fluxaproxad and pyraclostrobin in mango under supervised field conditions[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2016, 18(4): 59-515.]
- [10] 李章, 臧小平, 葛宇, 等. 套袋对芒果中甲基硫菌灵与吡虫啉农药残留的影响[J]. 热带作物学报, 2017, 38(2): 353-358. [LI Z, ZANG X P, GE Y, et al. Effects of fruit bagging on residual of thiophanate-methyl and imidacloprid in mango fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(2): 353-358.]
- [11] 潘晓威. 苯醚甲环唑在采后芒果中残留动态及风险评估[D]. 海口: 海南大学, 2014. [PAN X W. Study on the residue dynamic and application of difenoconazole in postharvest mango[D]. Haikou: Hannan University, 2014.]
- [12] 汤永娇. 38% 啉酰菌胺、吡唑醚菌酯水分散颗粒剂在芒果及土壤中的消解规律研究及安全评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014. [TANG Y J. Degradation dynamics and safety of 38% boscalid pyraclostrobin wdg in mango and soil[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.]
- [13] BHATTACHERJEE A K, DIKSHIT A. Dissipation kinetics and risk assessment of thiamethoxam and dimethoate in mango[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2016, 188(3): 165.
- [14] MOHAPATRA S, AHUJA A, SHARMA D. Persistence of bifenthrin residues on mango(*Mangifera indica*) fruit[J]. Pesticide Research Journal, 2007, 19(1): 110-112.
- [15] SINGH S B, MUKHERJEE I, MAISNAM J, et al. Determination of pesticide residues in IPM and non-IPM samples of mango(*Mangifera indica*)[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 2008, 43(4): 300-306.
- [16] 中华人民共和国农业部. NY/T 761-2008 蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008. [Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Pesticide multiresidue methods for determination of organophosphorus pesticides, organochlorine pesticides, pyrethroid pesticides and carbamate pesticides in vegetables and fruits: NY/T 761—2008[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2008.]
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20769-2008 水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学品残留量的测定 液相色谱-串联质谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of 450 pesticides and related chemicals residues in fruits and vegetables-LC-MS-MS method: GB/T 20769-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [18] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 中华人民共和国农业农村部. 国家市场监督管理总局. GB2763-2021 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020. [National Health Commission of the People's Republic of China. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. State Administration for Market Regulation. National food safety standard Maximum residue limits for pesticides in food: GB 2763-2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.]
- [19] 李海飞, 聂继云, 徐国锋, 等. 桃中农药残留分析及膳食暴露评估研究[J]. 分析测试学报, 2019, 38(9): 1066-1072. [LI H F, NIE J Y, XU G F, et al. Analysis of pesticide residues in peaches

- and their dietary exposure risk assessments[J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2019, 38(9): 1066–1072.]
- [20] LU C, CHANG C H, PALMER C, et al. Neonicotinoid residues in fruits and vegetables an integrated dietary exposure assessment approach[J]. *Environmental Science and Technology*, 2018, 52(5): 3175–3184.
- [21] BOON P E, VAN DONKERSGOED G, CHRISTODOULOU D, et al. Cumulative dietary exposure to a selected group of pesticides of the triazole group in different european countries according to the EFSA guidance on Probabilistic modelling[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2015, 79: 13–31.
- [22] WHO, 2015. Global Environment Monitoring System (GEMS/food) [EB/OL]. [2021-6-9]. http://www.who.int/foodsafety/areas_work/chemical-risks/gems-food/en/
- [23] 黄玉南, 张绍铃, 方金豹, 等. 吡虫啉在梨果实中的残留动态分析[J]. *果树学报*, 2010, 27(3): 453–456. [HUANG Y N, ZHANG S L, FANG J B, et al. Study on residue trends of imidacloprid in pear fruit[J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(3): 453–456.]
- [24] 李胤均, 钱程, 谢德芳. 芒果套袋前后喷施吡虫啉·噻嗪酮农药的消解动态研究[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(3): 276–278. [LI Y J, QIAN C, XIE D F. Study on the degradation dynamics of spraying imidacloprid and buprofezin before and after mango bagging[J]. *Jiangsu Agriculture Science*, 2016, 44(3): 276–278.]
- [25] 卢海博, 魏东, 龚学臣, 等. 新烟碱类杀虫剂在苹果果实不同部位中的残留[J]. *农药学报*, 2019, 21(4): 500–505. [LU H B, WEI D, GONG X C, et al. Residues of neonicotinoids insecticides in different parts of apple fruits[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2019, 21(4): 500–505.]
- [26] 张莹, 师校欣, 杜国强, 等. 毒死蜱在梨果实不同部位的残留及消解动态[J]. *农药学报*, 2017, 19(2): 2311–2317. [ZHANG Y, SHI X X, DU G Q, et al. Residue and dissipation of chlorpyrifos in different tissues of *Pyrus bretschneideri* Rehd. fruits[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2017, 19(2): 2311–2317.]