

桃加工过程中3种噻二唑类农药残留动态

陈子锐¹, 蒋文奇², 陈小龙², 宋立晓², 王冬兰², 余向阳^{1,2*}

(1. 南京财经大学食品科学与工程学院/江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心/江苏高校粮油质量安全控制及深加工重点实验室, 南京 210023; 2. 省部共建国家重点实验室培育基地-江苏省食品质量安全重点实验室, 南京 210014)

摘要: **目的** 研究桃清洗、去皮、榨汁和罐头加工过程中噻唑锌、噻菌铜和噻森铜的残留变化规律。**方法** 采用室内模拟桃加工方式, 通过高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)检测噻唑锌、噻菌铜和噻森铜在桃中的残留动态。**结果** 清洗和去皮对降低桃中噻唑锌、噻菌铜和噻森铜的残留效果显著, 清洗对3种农药的去除率分别为62%、60%和83%, 去皮对3种农药的去除率分别为80%、64%和91%。榨汁后, 3种农药在果汁中的转移率分别为17%、18%和24%, 在果渣中的转移率分别为63%、58%和54%。罐头加工过程中, KMnO₄消毒和去皮对3种农药残留去除率较高, 分别为58%~65%和30%~75%; 漂烫和加入糖水对3种农药的去除率较低, 分别为5%~13%和8%~19%。桃果汁和罐头加工后3种农药的加工因子小于1, 桃果渣加工后3种农药的加工因子大于1。**结论** 清洗和去皮可大量减少桃中噻唑锌、噻菌铜和噻森铜残留, 桃果汁和罐头加工使3种农药残留水平降低, 果渣加工使3种农药残留水平升高。此研究可为桃饮品和桃罐头的膳食风险评估及加工过程中农药残留消减提供数据参考。

关键词: 桃; 加工; 噻唑锌; 噻菌铜; 噻森铜; 农药残留; 加工因子

Residue dynamics of 3 kinds of thiadiazole derived pesticides during the processing of *Prunus persica* L.

CHEN Zi-Rui¹, JIANG Wen-Qi², CHEN Xiao-Long², SONG Li-Xiao²,
WANG Dong-Lan², YU Xiang-Yang^{1,2*}

(1. College of Food Science and Engineering/Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety/Key Laboratory of Grains and Oils Quality Control and Processing, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China; 2. State Key Laboratory Cultivation Base Built by Province and Ministry-Jiangsu Key Laboratory for Food Quality and Safety, Nanjing 210014, China)

ABSTRACT: Objective To study the residue dynamics of thiazole zinc, thiodiazole copper and thiosen copper residues in *Prunus persica* L. during cleaning, peeling, juicing and canning. **Methods** High performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS) was used to determine the residue dynamics of thiazole zinc, thiodiazole copper and thiosen copper in *Prunus persica* L. which was processed in indoor simulated method. **Results** Cleaning and peeling had significant effects on reducing thiazole zinc, thiodiazole copper and thiosen copper residues in peaches, the removal rates of 3 kinds of pesticides by cleaning were 62%, 60% and 83%,

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项基金项目(CARS-30-5-03)

Fund: Supported by the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-30-5-03)

***通信作者:** 余向阳, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: yuxy@jaas.ac.cn

***Corresponding author:** YU Xiang-Yang, Ph.D, Professor, Jiangsu Key Laboratory for Food Quality and Safety, Nanjing 210014, China. E-mail: yuxy@jaas.ac.cn

respectively, and the removal rates of 3 kinds of pesticides by peeling were 80%, 64% and 91%, respectively. After juicing, the transfer rates of 3 kinds of pesticides in juice were 17%, 18% and 24%, respectively, and the transfer rates of these 3 kinds of pesticides in pomace were 63%, 58% and 54%, respectively. During the procedures of processing canned peaches, higher rates of removing residues of these 3 kinds of pesticides could be achieved by KMnO_4 disinfection and peeling, and that were 58%–65% and 30%–75%, respectively; the rates of removing residues of these 3 kinds of pesticides by blanching and adding syrups were lower, and that were 5%–13% and 8%–19%, respectively. The processing factors of these 3 kinds of pesticides were less than 1 after processing peach juice and canned fruit, and the processing factors of these 3 kinds of pesticides were more than 1 when peaches were processed to pomace.

Conclusion The residues of thiazole zinc, thiodiazole copper and thiosen copper in peach can be greatly reduced by cleaning and peeling, the residues of 3 kinds of pesticides decrease after juice and canned fruit processing, but increase after pomace processing. This study provides basic data for the assessment of dietary risk on peach drinks and canned peaches as well as the reduction of pesticide residues in the processing procedures.

KEY WORDS: *Prunus persica* L.; processing; thiazole zinc; thiodiazole copper; thiosen copper; pesticide residues; processing factors

0 引言

桃(*Prunus persica* L.)原产于中国。1993 年至今, 中国桃的种植面积和产量一直位居世界第一, 2019 年我国桃种植面积达 89.0 万 hm^2 , 年产量为 1599.3 万 t^[1]。桃种植和生产过程中会遭受细菌性穿孔病、褐腐病和疮痂病等病害及桃蚜和山楂红蜘蛛等虫害, 严重影响桃的品质和产量^[2]。桃中病虫害的防治主要以杀菌剂和杀虫剂为主, 随着病原菌、害虫的耐药性增加, 旧一代杀菌剂和杀虫剂的防治效果逐渐降低^[3-4]。为此, 我国自主研发了噻二唑类农药, 主要代表产品有噻唑锌(图 1A)、噻菌铜(图 1B)和噻森铜(图 1C)等, 是新一代防治农作物细菌性病害的杀菌剂, 具有安全、高效的杀菌作用, 已在桃、柑橘和水稻等多种农作物中推荐使用^[5-6]。但随着这类农药使用范围逐年增大, 这些农药的不规范使用会对新鲜桃及其加工产品的食用安全性造成潜在危害^[7]。

桃采摘后, 后熟迅速且不耐贮运, 需及时食用或加工成产品^[8]。桃加工处理不仅可以延长其供应期, 还可以丰富桃产品种类、扩大桃产品市场、延伸产业链, 极大地提高了桃的附加值^[9-10]。如今, 市场上常见的加工产品有桃脯、桃罐头、桃果汁、桃干和桃脆片等^[11]。在每个加工步骤中, 都可能改变加工产品中的农药残留量, 例如清洗和去皮可有效地减少桃中的农药残留量, 干燥、浓缩等加工过程中也可能使农药残留量增加, 农药残留量的大量增加可能会对人体健康造成严重的危害^[12-13]。因此, 研究桃加工过程中的农药残留量变化具有十分重要的意义。噻唑锌、噻菌铜和噻森铜是新一代的有机杀菌剂, 有关这 3 种杀菌剂在桃加工过程中残留动态的研究鲜少报导。噻唑锌、噻菌铜和噻森铜均是噻二唑类金属络合型有机杀菌剂, 这类农药的共同代谢产物为噻二唑[5-amino-1,3,4-

thiadiazole-2(3H)-thione, AMT](图 1D)^[14]。由于噻唑锌、噻菌铜和噻森铜的熔沸点较高且难溶于大多数有机溶剂, 难以用气相色谱法和液相色谱法直接定量, 需加入 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 并加热振荡衍生生成 AMT, 并通过测定 AMT 的含量对各自母体进行间接定量分析^[15-16]。此外, 高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)具有分离能力强、灵敏度高的特点, 广泛应用于农药残留的检测, 且适用于 AMT 的残留分析^[17-18]。

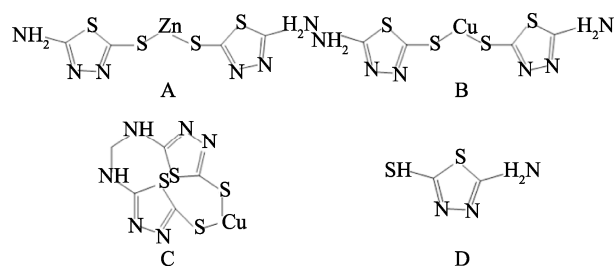


图 1 噻唑锌(A)、噻菌铜(B)、噻森铜(C)和噻二唑(D)结构式
Fig.1 Structural formulas of thiazole zinc (A), thiodiazole copper (B), thiosen copper (C) and AMT (D)

综上, 本研究采用实验室模拟加工方式, 在提取过程中将噻唑锌、噻菌铜和噻森铜 3 种农药转化成代谢产物 AMT, 并通过 HPLC-MS/MS 测定分析桃加工过程中 3 种农药的残留量, 为膳食风险评估和有效降低桃加工过程中的农药残留提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试桃品种为霞辉 9 号, 种植于江苏省农业科学院溧

水基地。

噻唑锌(20%悬浮剂, 浙江新农化工股份有限公司); 噻菌铜(20%悬浮剂, 浙江龙湾化工股份有限公司); 噻森铜(20% 悬浮剂)、噻森铜标准品(纯度 92.0%)(浙江东风化工股份有限公司); 噻唑锌标准品(纯度 99.9%)、噻菌铜标准品(纯度 90.8%)、AMT 标准品(纯度 99.0%)(天津阿尔塔科技有限公司); 乙腈(色谱纯, 德国 Merck 公司); N,N-二甲基甲酰胺、甲酸、甲酸铵(色谱纯, 上海麦克林生化有限公司); Na₂S₂O₃、HCl、NaCl、0.05% KMnO₄(分析纯, 广东西隆化工有限公司)。

1.2 仪器与设备

QTRAP 5500+液相色谱-质谱仪、AB 5500+高效液相色谱串联质谱仪(美国 AB Sciex 公司); Kinetex F5 色谱柱(100 mm×3.0 mm, 2.6 μm, 美国 Phenomenex 公司); MJ-PB80Easy215 榨汁机(广东美的生活电器制造有限公司); WT5002K 电子天平(0.01 g, 常州万泰天平仪器有限公司); SCDEALL VX-III 多管涡旋振荡器(北京安简科技有限公司); KQ-500DV 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); SHZ-A 水浴恒温振荡器(常州诺基仪器有限公司); Five Easy Plus pH 计(上海梅特勒-托利多仪器有限公司); Eppendorf AG 5805 高速离心机(德国 Eppendorf AG 公司)。

1.3 田间实验设计

实验于 2021 年 6 月 10 日在江苏省农业科学院溧水植物科学基地进行, 选取长势一致的桃树, 采用各药剂推荐最高施药量进行施药(噻唑锌、噻菌铜和噻森铜均用水稀释 300 倍后喷施), 每种药剂单独喷施 3 棵果树, 同一药剂喷施的果树为一组处理^[19]。以长势一致的未施药的果树为空白对照, 实验全程无降雨, 施药 24 h 后从果树上、中、下不同部位共采集果实 20 kg, 将采摘后的样品装入保鲜袋运至实验室进行加工实验^[20]。

1.4 清洗和去皮

随机选取采摘后的桃每组各 1 kg, 在自来水下均匀冲洗 3 min, 分别测定冲洗前后桃中 3 种农药的残留量。随机选取采摘后的桃每组各 1 kg, 将果皮和果肉分离, 分别称量果皮和果肉的质量, 分别测定果皮和果肉中 3 种农药的残留量^[21]。

1.5 桃榨汁处理

参考吴世文^[13]的方法。随机选取采摘后的桃每组各 1 kg, 进行清洗处理并自然晾干, 去除果核后放入榨汁机中以 7000 r/min 榨汁 3 min, 将榨汁后的样品过滤并分离成果汁和果渣, 分别测定果汁和果渣中 3 种农药的残留量。

1.6 桃罐头加工

桃罐头加工过程参考赵海山等^[22]的方法, 并做些许优化。随机选取采摘后的桃每组各 1 kg, 用 0.05% KMnO₄

溶液浸泡消毒 5 min。用清水冲洗高锰酸钾消毒后的桃, 放入 60℃的水中漂烫 2 min, 将漂烫后的桃取出并放入凉水中浸泡。将漂烫后的桃去除果皮并分离出果肉。取 500 g 果肉切成块, 按照果肉:糖水=3:2 (*m:m*)的比例加入 20%的糖水, 搅拌均匀, 制成桃罐头。分别取消毒、漂烫、去皮和加入糖水后的样品进行 3 种农药残留量的测定。

1.7 样品前处理

将桃、桃果渣和桃罐头果肉放入匀浆机研磨, 桃果汁直接称量, 称取 5 g(精确到 0.01 g)研磨样品和桃果汁于 50 mL 离心管中, 加入 0.5 mol/L 的 Na₂S₂O₃ 溶液 2 mL, 在 40℃恒温下振荡 30 min, 用 0.1 mol/L HCl 调节 pH 至 3, 准确加入乙腈 25 mL, 500 W 超声提取 30 min, 涡旋提取 10 min, 加入 3 g NaCl 固体, 在 5500 r/min 下离心 5 min, 取 1 mL 上清液过 0.22 μm 有机滤膜待检测^[16,23]。

1.8 HPLC-MS/MS 分析条件

采用 HPLC-MS/MS 检测, Kinetex F5 色谱柱(100 mm×3.0 mm, 2.6 μm), 流动相为 5 mmol/L 甲酸铵溶液(A)和乙腈(B), 柱温为 30℃, 进样体积为 5 μL, 梯度洗脱条件见表 1。

表 1 AMT 梯度洗脱条件
Table 1 Gradient elution conditions of AMT

时间/min	流速/(mL/min)	流动相 A/%	流动相 B/%
0	0.3	80	20
1.5	0.3	20	80
3.0	0.3	80	20
3.5	0.3	80	20

扫描模式为负电离模式, gas1 (N₂)、gas2 (N₂)为 50 psi, 离子源温度为 550℃, 喷雾电压为-4500 V, 检测方法为多重反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式。AMT 的保留时间为 1.4 min, 定量离子对为 *m/z* 132/58, 定性离子对为 *m/z* 132/90, 碰撞能为-10 V/-25 V(定量/定性), 碎裂电压为-50 V。

1.9 数据处理

农药去除率可以反映当前加工步骤对加工前样品中农药残留的去除程度, 其值越大, 表明此步骤对样品中农药残留去除的贡献越大, 农药去除率(%)=(原样中农药残留量-加工后样品中农药残留量)/原样中农药残留量×100%^[24]。农药转移率可以反映加工过程中农药转移到加工产品中的程度, 其值越大, 表明转移到加工产品中的农药比值越大, 农药转移率(%)=加工产品农药残留绝对量/桃中农药残留绝对量×100%^[25]。加工因子(Pf)可以直观地反映加工对农药残留的影响, 当 Pf<1 时, 表明加工后农药残留量降低, 且数值越小, 清除效果越好; 反之, 则表示农药残留水平升高, 加工因子

(Pf)=加工产品中农药残留量/桃鲜果中农药残留量^[26]。

实验数据通过 SCIEX OS 软件进行定性和定量分析,通过 Excel 2019 和 Origin 2021 进行数据统计和绘图。

2 结果与分析

2.1 方法学验证

在空白桃、果汁和果渣中加入噻唑锌、噻菌铜和噻森铜的标准溶液,添加水平为 0.01、0.50 和 1.00 mg/kg,每个水平重复 5 次。以最低添加浓度确定 3 种农药的定量限(limits of quantitation, LOQ)为 0.01 mg/kg,检出限(limits of detection, LOD)为 0.003 mg/kg。3 种药剂的平均回收率为 80%~101%,相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)为 0.7%~5.8%,满足农药残留分析的要求。

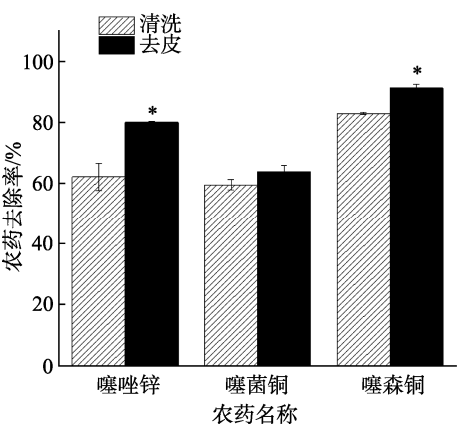
2.2 清洗和去皮对桃中 3 种农药残留的影响

分别测定清洗后的桃全果和去皮后的桃果肉中 3 种农药的残留量,与桃中的初始残留量进行比较,得到清洗和去皮过程农药的去除率如图 2 所示。清洗对噻唑锌、噻菌铜和噻森铜的去除率分别为 62%、60%和 83%,对噻森铜的去除率最高,为 83%,由此可见,清洗可以有效降低噻森铜在桃中的残留水平。去皮对噻唑锌和噻森铜的去除率可达到 80%、64%和 91%,说明噻唑锌和噻森铜主要残留在桃果皮中,去皮可以有效降低其残留水平,综上,清洗和去皮都可以有效降低桃中 3 种农药残留。清洗和去皮对噻唑锌和噻森铜的去除率差异显著($P<0.05$),对噻菌铜的去除率差异较小,主要由于噻菌铜的水溶性差、渗透性较好,比噻唑锌和噻森铜更易于渗透进果肉中^[27],较难去除。清洗只能降低桃表面的农药残留,且对水溶性差的农药去除效果低,而去皮可以降低渗入桃果皮中的残留,能有效降低目标物在桃中的残留水平^[28]。因此,去皮对桃中 3 种农药残留的去除效果更好。

2.3 榨汁过程对桃中 3 种农药残留的影响

将桃清洗并榨汁处理后,分离果汁和果渣,计算噻唑锌、噻菌铜和噻森铜在桃、桃果汁和桃果渣中的农药残留量、残留绝对量和转移率,结果见表 2。榨汁后,果渣中 3 种农药的残留量和残留绝对量都高于果汁,说明农药更多的残留在果渣中。3 种农药在果汁中的转移率为 17%~24%,在果渣中的转移率为 54%~63%。对比 3 种农药,噻森铜在

果汁中转移率最大;相反,在果渣中,噻森铜的转移率低于噻唑锌和噻菌铜。由此可见,3 种农药在果汁和果渣中的转移率相反,在果汁中转移率高的则在果渣中较低。



注: *代表与清洗组相比有显著性差异, $P<0.05$ 。

图 2 清洗和去皮过程对 3 种农药残留去除率的影响($n=5$)

Fig.2 Effects of cleaning and peeling process on the removal rates of 3 kinds of pesticide residues ($n=5$)

2.4 罐头加工过程对桃中 3 种农药残留的影响

桃罐头加工过程包括 KMnO_4 清洗消毒、60℃热水漂烫、去皮和加入糖水制成罐头 4 步,计算每个步骤的农药去除率(每个步骤以前一个加工步骤为基础),结果见表 3。在 0.05%的 KMnO_4 溶液中清洗消毒 3~5 min 后,3 种农药残留的去除率在 58%~65%之间,说明 KMnO_4 清洗消毒可有效减少黏附在桃果皮上 3 种农药的大部分残留,既起到杀菌消毒作用又减少了大部分的农药残留^[29]。60℃热水漂烫对 3 种农药的去除率为 5%~13%,说明经过清洗消毒后,加热对 3 种农药的去除率较低。去皮后,噻菌铜的残留去除率为 30%,由于噻菌铜本身的残留量较少,且进入果皮中的含量也较少,去皮对噻菌铜残留去除率相对较低;去皮对噻唑锌和噻森铜的残留去除率较高,为 54%和 75%,说明这两种农药进入果皮中较多,通过去皮可明显去除噻唑锌和噻森铜的残留。在加入糖水制成桃罐头后,噻唑锌、噻菌铜和噻森铜的去除率为 8%~19%,分析原因为加入糖水后,桃果肉中残留的 3 种农药被稀释,导致残留浓度降低,因此加入糖水也可降低 3 种农药的残留风险^[30]。

表 2 桃果汁和果渣中 3 种农药的转移率($n=5$)
Table 2 Transfer rates of 3 kinds of pesticides in peach juice and pomace ($n=5$)

农药	桃		桃果汁		转移率/%	桃果渣		转移率/%
	残留量/(mg/kg)	绝对量/mg	残留量/(mg/kg)	绝对量/mg		残留量/(mg/kg)	绝对量/mg	
噻唑锌	0.187	0.094	0.080	0.016	17	0.235	0.059	63
噻菌铜	0.076	0.038	0.035	0.007	18	0.087	0.022	58
噻森铜	0.668	0.334	0.406	0.081	24	0.716	0.179	54

表 3 桃罐头加工过程中的 3 种农药的去除率(n=5)
Table 3 Removal rates of 3 kinds of pesticides during canned peach processing (n=5)

农药	去除率/%			
	KMnO ₄ 清洗	漂烫	去皮	罐头
噻唑锌	60	12	54	11
噻菌铜	58	5	30	8
噻森铜	65	13	75	19

2.5 桃果汁、果渣和罐头加工过程中 3 种农药的加工因子

在加工成桃果汁、果渣和罐头后, 分别计算 3 种农药的加工因子, 结果见表 4。在加工成果汁和罐头后, 3 种农药的加工因子小于 1, 说明果汁和罐头加工使 3 种农药的残留水平降低; 加工成果渣后, 3 种农药的加工因子大于 1, 说明果渣加工使 3 种农药的残留水平升高。

表 4 桃果汁、果渣和罐头中 3 种农药的加工因子
Table 4 Processing factors of 3 kinds of pesticides in peach juice, pomace and can

加工产品	噻唑锌	噻菌铜	噻森铜
桃果汁	0.43	0.46	0.61
桃果渣	1.26	1.14	1.07
桃罐头	0.14	0.26	0.06

3 结 论

本研究考察了桃加工过程中噻唑锌、噻菌铜和噻森铜的残留变化规律及 3 种农药的加工因子。研究表明, 农药的理化性质和不同加工方式都会影响农药的残留水平。清洗和去皮对降低桃中 3 种农药残留效果显著。榨汁后, 3 种农药在果渣中的转移率高于果汁中。罐头加工过程中, KMnO₄ 消毒和去皮对 3 种农药残留去除率较高, 漂烫和加入糖水制成罐头对 3 种农药的去除率较低。3 种农药在果汁和罐头加工后残留水平降低, 在果渣加工后残留水平升高。本研究对噻唑锌、噻菌铜、噻森铜及其他噻二唑类金属络合型有机杀菌剂在桃加工过程中残留的研究具有一定的参考价值, 可评估不同加工方式对桃中农药残留的去除效果, 为桃果汁和桃罐头的膳食风险评估提供科学指导。因本研究是将噻唑锌、噻菌铜和噻森铜分别施药后进行检测, 且检测目标物均为代谢物 AMT, 如实际田间出现混用的情况, 将难以确定农药母体的来源, 未来可以结合金属离子的检测以期确认残留来源。

参考文献

[1] 毕金峰, 吕健, 刘璇, 等. 国内外桃加工科技与产业现状及展望[J]. 食

品科学技术学报, 2019, 37(5): 7–15.
BI JF, LV J, LIU X, *et al.* Research on techniques and industry situation and prospect for peach processing in domestic and aboard [J]. J Food Sci Technol, 2019, 37(5): 7–15.
[2] 程金金, 吴世文, 陈小龙, 等. 桃脆片加工过程中 3 种农药残留动态[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(2): 517–524.
CHENG JJ, WU SW, CHEN XL, *et al.* Dynamics of three pesticide residues during the processing of peach crisps [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2021, 37(2): 517–524.
[3] 张礼生, 刘文德, 李方方, 等. 农作物有害生物防控: 成就与展望[J]. 中国科学: 生命科学, 2019, 49(12): 1664–1678.
ZHANG LS, LIU WD, LI FF, *et al.* Crop pest control in China: Advances and perspectives [J]. Sci Sin (Vitae), 2019, 49(12): 1664–1678.
[4] DONG F, ZHANG D, ZHANG C. Research progress and prospect on prevention and control measures of sweet potato virus disease [J]. Agric Biotechnol, 2018, 7(6): 54–59.
[5] 何剑, 李永平, 魏焕志, 等. 农作物病害的科学诊断方法与关键防治技术措施[J]. 中国农技推广, 2018, 34(5): 60–63.
HE J, LI YP, WEI HZ, *et al.* Scientific diagnosis methods and key control measures of crop diseases [J]. China Agric Technol Ext, 2018, 34(5): 60–63.
[6] 龙武, 余忠林, 付如凯, 等. 1,2,3-噻二唑类化合物农药生物活性的研究进展[J]. 广州化工, 2015, 43(18): 31–32, 35.
LONG W, YU ZL, FU RK, *et al.* Research progress on pesticidal activity of 1,2,3-thiadiazole derivatives [J]. Guangzhou Chem, 2015, 43(18): 31–32, 35.
[7] 陈晓燕. 建设中国特色的食品安全监管体系研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2014.
CHEN XY. The study of the construction to food safety supervision system with Chinese characteristics [D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2014.
[8] 杜小龙, 李建龙, 刘影, 等. 水蜜桃采后防腐、保鲜与贮藏研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(9): 3295–3303.
DU XL, LI JL, LIU Y, *et al.* Research progress of antisepsis, preservation and storage of postharvest juicy peach [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(9): 3295–3303.
[9] 王策. 临沂市桃产业品牌化建设研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2019.
WANG C. Research on peach industry brand construction in Linyi City [D]. Yantai: Yantai University, 2019.
[10] MWENE-MBEJA TM. Conference paper: Green industry adapted to recycling needs of Lubumbashi City and surrounding areas in democratic republic of the Congo [J]. Green Sustain Chem, 2019, 9(1): 11.
[11] MARSOL-VALL A, BALCELLS M, ERAS J, *et al.* Development of a SBSE-TD method coupled to GC-MS and chemometrics for the differentiation of variety and processing conditions in peach juices [J]. Food Chem, 2018, 239: 119–125.
[12] NURAN Y, SEDAT VY. Effects of processing and storage on pesticide residues in foods [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2020, 60(21): 3622–3641.
[13] 吴世文. 不同加工方法对桃果中三种农药残留量的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2020.
WU SW. Effects of different processing methods on three pesticide residues in peach [D]. Nanning: Guangxi University, 2020.
[14] 陈美航, 陈大明. 具有杀菌活性的 1,3,4-噻二唑类化合物的研究进展[J].

- 铜仁学院学报, 2017, 19(12): 22–26.
- CHEN MH, CHEN DM. Review in antifungal activity of 1,3,4-thiadiazole derivatives [J]. J Tongren Univ, 2017, 19(12): 22–26.
- [15] SANG SL, LI SJ, FAN WW, *et al.* Zinc thiazole enhances defense enzyme activities and increases pathogen resistance to *Ralstonia solanacearum* in peanut (*Arachis hypogaea*) under salt stress [J]. PLoS One, 2019, 14(12): e0226951.
- [16] 赵华, 吴珉, 何红梅, 等. 高效液相色谱法测定噻唑锌在水、土壤及黄瓜中的残留[J]. 农药学学报, 2017, 19(2): 217–222.
- ZHAO H, WU M, HE HM, *et al.* Determination of zinc-thiazole residues in water, soil and *Cucumis sativus* L. by high performance liquid chromatography [J]. Chin J Pest Sci, 2017, 19(2): 217–222.
- [17] GEORGELIS N, FENCIL K, RICHAEEL CM. Validation of a rapid and sensitive HPLC/MS method for measuring sucrose, fructose and glucose in plant tissues [J]. Food Chem, 2018, 262: 191–198.
- [18] LI R, LIU T, CUI S, *et al.* Residue behaviors and dietary risk assessment of dinotefuran and its metabolites in *Oryza sativa* by a new HPLC-MS/MS method [J]. Food Chem, 2017, 235: 188–193.
- [19] 顾中言, 徐广春, 徐德进. 杀虫剂防治水稻褐飞虱的有效利用率分析[J]. 农药学学报, 2018, 20(6): 704–714.
- GU ZY, XU GC, XU DJ. Analysis of pesticide efficiency of insecticides against brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal [J]. Chin J Pest Sci, 2018, 20(6): 704–714.
- [20] LI S, YUAN X, XU Y, *et al.* Biogenic volatile organic compound emissions from leaves and fruits of apple and peach trees during fruit development [J]. J Environ Sci, 2021, 108(10): 152–163.
- [21] CAO Y, ZHANG M, DONG S, *et al.* Impact of potato pulp on the processing characteristics and gluten structures of wheat flour dough [J]. J Food Process Preserv, 2020, 44(6): e14473.
- [22] 赵海山, 曹彦清. 不同品种黄桃软罐头加工工艺的研究[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(5): 34–37.
- ZHAO HS, CAO YQ. Study on processing technology of soft can of yellow peach with different varieties [J]. Storage Process, 2013, 13(5): 34–37.
- [23] LI Y, SUN H, XU J, *et al.* Residue and dissipation of zinc thiazole in tobacco field ecosystem [J]. Int J Environ Anal Chem, 2016, 96(10): 921–928.
- [24] PAN XL, DONG FS, WU XH, *et al.* Progress of the discovery, application, and control technologies of chemical pesticides in China [J]. J Integr Agric, 2019, 18(4): 840–853.
- [25] CHIOU J, LEUNG A HH, LEE HW, *et al.* Rapid testing methods for food contaminants and toxicants [J]. J Integr Agric, 2015, 14(11): 2243–2264.
- [26] BAI A, LIU S, CHEN A, *et al.* Residue changes and processing factors of eighteen field-applied pesticides during the production of Chinese Baijiu from rice [J]. Food Chem, 2021, 359: 129983.
- [27] 秦欣, 赵改红, 杨水苗. 噻菌铜原药及悬浮剂含量分析方法[J]. 农药, 2018, 57(8): 568–569, 588.
- QIN X, ZHAO GH, YANG SM. The analytical method for content of thiodiazole-copper TC and SC [J]. Agrochemicals, 2018, 57(8): 568–569, 588.
- [28] 李云成. 柑桔及其制品中农药残留加工因子的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- LI YC. Researches on processing factors for pesticide residues of citrus products and by-products [D]. Chongqing: Southwest University, 2012.
- [29] 梁燕. 高锰酸钾和次氯酸钙对桃保鲜效果的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- LIANG Y. Study on effect of potassium permanganate and calcium hypochlorite on peach preservation [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2018.
- [30] COSTA FP, CALDAS SS, PRIMEL EG. Comparison of QuEChERS sample preparation methods for the analysis of pesticide residues in canned and fresh peach [J]. Food Chem, 2014, 165: 587–593.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

作者简介



陈子锐, 硕士研究生, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 854717091@qq.com



余向阳, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: yuxy@jaas.ac.cn