

# 葱、姜、萝卜和豇豆中戊唑醇残留检测及膳食风险评估

李萌, 许海康, 周娟, 李通, 马欢, 安莉, 吴绪金, 马婧玮\*, 汪红\*

(河南省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 郑州 450002)

**摘要: 目的** 研究葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中戊唑醇残留检测方法, 分析相同施药措施下 4 种蔬菜中残留量差异, 并对最终残留量进行长期膳食摄入和急性膳食摄入风险评估。**方法** 采用 QuEChERS 前处理方法进行样品提取, 高效液相色谱-串联质谱法检测; 运用膳食摄入风险评估模型进行急性膳食摄入和长期膳食摄入风险评估。**结果** 当添加水平是 0.01、0.10 和 1.00 mg/kg 时, 葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆的平均回收率分别为 100%~117%、101%~112%、94%~99%、102%~111%和 92%~95%, 相对标准偏差分别为 2.0%~3.8%、1.8%~7.6%、2.3%~4.3%、1.4%~7.7%和 5.7%~6.9%。2 个采收间隔期葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中戊唑醇残留量分别为<0.01~0.014、<0.01~0.042、<0.01~0.023、0.057~4.13 和<0.01~0.079 mg/kg。戊唑醇残留的普通人群国家估计每日摄入量是 0.455 mg, 占日允许摄入量的 24.1%左右。葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中戊唑醇的国家估计短期摄入量分别为 0.0337、0.000432、0.000562、0.0169、0.000532 mg/(kg·bw), 占急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)百分比分别为 0.112%、1.44%、1.87%、56.3%和 1.77%。**结论** 按该试验的施药方式进行施药时, 最终残留量差异与作物种类相关, 试验蔬菜中戊唑醇的残留量对一般人群健康风险在可接受的范围内。

**关键词:** 戊唑醇; 残留量检测; 膳食摄入风险评估

## Residue detection and dietary risk assessment of tebuconazole residues in scallion, ginger, radish and cowpea

LI Meng, XU Hai-Kang, ZHOU Juan, LI Tong, MA Huan, AN Li,  
WU Xu-Jin, MA Jing-Wei\*, WANG Hong\*

(Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the detection methods of tebuconazole residues in scallion, ginger, radish, radish leaves and cowpea, analyze the tebuconazole residue differences between 4 kinds of vegetables under the same application measures, and assess risk assessment of long-term dietary intake and acute dietary intake for the final residues. **Methods** The samples were extracted by QuEChERS pretreatment method, and detected by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, acute dietary intake and long-term dietary intake risk

\*通信作者: 马婧玮, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。E-mail: jingweima819@126.com

汪红, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。E-mail: 1052443448@qq.com

\*Corresponding author: MA Jing-Wei, Associate Professor, Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Sciences, No.116, Huayuan Road, Jinshui District, Zhengzhou 450002, China. E-mail: jingweima819@126.com

WANG Hong, Professor, Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Sciences, No.116, Huayuan Road, Jinshui District, Zhengzhou 450002, China. E-mail: 1052443448@qq.com

were assessed using dietary intake risk assessment model. **Results** The average recoveries of tebuconazole in scallion, ginger, radish, radish leaves and cowpea at 3 different addition levels of 0.01, 0.10, and 1.00 mg/kg were 100%–117%, 101%–112%, 94%–99%, 102%–111% and 92%–95%, respectively, with relative standard deviations of 2.0%–3.8%, 1.8%–7.6%, 2.3%–4.3%, 1.4%–7.7% and 5.7%–6.9%, respectively. The residue levels in scallion, ginger, radish, radish leaves, and cowpea were <0.01–0.014, <0.01–0.042, <0.01–0.023, 0.057–4.13 and <0.01–0.079 mg/kg, respectively. The national estimated daily intake of residue of tebuconazole was 0.455 mg, representing about 24.1% of the allowable daily intake. The national estimated acute dietary intake of tebuconazole in scallion, ginger, radish, radish leaves, and cowpea were 0.0337, 0.000432, 0.000562, 0.0169 and 0.000532 mg/(kg·bw), and the acute reference dose (ARfD) was calculated according to formula and found to be 0.112%, 1.44%, 1.87%, 56.3% and 1.77%, respectively. **Conclusion** According to the application method of this test, the final residue difference is related to the crop type, the residues of tebuconazole in the tested vegetables were within acceptable health risks for the general population.

**KEY WORDS:** tebuconazole; residue detection; risk assessment for dietary residue intake

## 0 引 言

戊唑醇化学名称为 1-(4-氯苯基)-3-(1H-1,2,4-三唑-1-基甲基)-4,4-二甲基戊-3-醇, 英文通用名为 tebuconazole, 分子式为  $C_{16}H_{22}ClN_3O$ 。戊唑醇是一种内吸性杀菌剂, 具有保护、治疗和铲除作用, 作用机制是抑制甾醇脱甲基化。使用后迅速被植物营养部位吸收, 主要向顶传导至各营养部位<sup>[1]</sup>。

目前, 国内外文献主要报道了戊唑醇在不同作物或作物组织中的残留消解规律、残留分析方法, 种植或烹饪方式对残留量的影响、最终残留量和风险评估等。毛江胜等<sup>[2]</sup>研究发现, 戊唑醇在玉米苗期使用后, 收获期玉米中残留量为低于定量限。戊唑醇在番茄、荔枝、洋葱上的消解符合一级动力学方程式, 半衰期在 1.30~2.62 d 之间<sup>[3]</sup>; 在西瓜中的半衰期为 5.87~6.93 d<sup>[4]</sup>。戊唑醇在苹果<sup>[5]</sup>、香蕉<sup>[6-7]</sup>、葡萄<sup>[8-10]</sup>、荔枝<sup>[11]</sup>、芒果<sup>[12]</sup>、蓝莓<sup>[13]</sup>、黄瓜<sup>[14-15]</sup>、洋葱<sup>[16]</sup>、甘蓝<sup>[17]</sup>、花椒<sup>[18]</sup>、薄荷<sup>[19]</sup>、芸香料<sup>[20]</sup>、茶<sup>[21]</sup>、人参<sup>[22]</sup>、土壤<sup>[15-16]</sup>中残留消解规律亦有报道, 但戊唑醇在作物上的膳食摄入风险评估报道较少, 仅有研究显示, 水稻中戊唑醇国家估算每日摄入量是 0.27837 mg, 占日允许摄入量分别是 14.73%<sup>[23]</sup>; 玉米中戊唑醇国家估算每日摄入量是 0.1545 mg, 占日允许摄入量分别是 8.2%<sup>[24]</sup>; 除此之外, 戊唑醇在枣<sup>[25]</sup>、葡萄<sup>[26]</sup>、番茄<sup>[27]</sup>、豇豆<sup>[28]</sup>上的膳食摄入风险评估亦有报道。但戊唑醇在葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中的残留检测方法、最终残留量及其差异性分析均未见报道。另外, 我国 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》已制定葱、萝卜、萝卜叶和菜可食豆类蔬菜中戊唑醇的最大残留限量分别为 0.5、1、10、3 mg/kg, 但未制定姜中的最大残留限量, 且戊唑醇的急性膳食摄入风险评估和长期膳食摄入风险评估均未见报道, 无法通过检测结果直接判定按本试验施药方法施药后姜中戊唑醇残留量是否存在安全风险, 因此需要检测葱、萝卜、萝卜叶和豇豆中戊唑醇残留量并进行膳食摄入风险评估。

综上, 本研究拟通过对葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中戊唑醇残留进行检测, 分析其在 4 种蔬菜中残留量差异,

并对最终残留量进行长期膳食摄入和急性膳食摄入风险评估, 为指导该农药在 4 种作物上的合理使用提供基础数据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

75%戊唑醇·啉菌酯水分散粒剂(美国世科姆公司); 99.3%戊唑醇标准品(德国 Dr. Ehrenstorfer 公司); 被试作物为葱、姜、萝卜和豇豆。

甲酸(色谱纯, 上海安谱实验科技股份有限公司); 乙腈(色谱纯, 默克股份两合公司); 氯化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); PestiCarb 石墨化碳固相萃取柱(38~120  $\mu\text{m}$ ); N-丙基乙二胺(primary secondary amine, PSA)吸附剂(40~60  $\mu\text{m}$ )(天津博纳艾杰尔科技有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

SCIEX QTRAP 4500 高效液相色谱仪三重四极杆串联质谱仪(上海爱博才思分析仪器贸易有限公司); ME204E 系列电子天平( $d=0.0001$  g, 瑞士梅特勒-托利多集团); SQP 系列电子天平( $d=0.01$  g, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司); TARGIN<sup>®</sup> VX-III 多管涡旋振荡器(北京踏锦科技有限公司); KQ-5200 超声波清洗仪(昆山市超声仪器有限公司); L-550 台式低速离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司); Milli-Q Synthesis 超纯水系统(密理博中国有限公司); R10 V. V. 食品切碎搅拌机[乐伯特(东莞)餐饮设备有限公司]; Shim-pack XR-ODSIII 色谱柱(75 mm $\times$ 2.0 mm, 1.6  $\mu\text{m}$ )(日本岛津公司)。

### 1.3 检测方法

#### 1.3.1 田间试验方案

试验时间为 2020 年, 葱、姜、萝卜和豇豆田间试验地点见表 1。试验剂量均为 168.75 g a.i./ha, 施药间隔 7 d, 施药 2 次, 葱、姜和萝卜最后 1 次施药后间隔 14 和 21 d 采样, 豇豆最后 1 次施药后间隔 7 和 10 d 采样。采样方式为随机采样, 每次每小区葱采集 24 株, 姜、萝卜和豇豆采集 12 株/个, 清除干净, 可食用部分加干冰粉碎,  $-20$   $^{\circ}\text{C}$  储藏。

表 1 葱、姜、萝卜和豇豆田间试验地点  
Table 1 Field test sites of scallion, ginger, radish and cowpea

作物	田间试验地址	作物	田间试验地址
葱	河南省新乡市平原新区王村	姜	河南省新乡市平原新区王村
	山东省青岛市即墨区龙泉镇东塔子亩村		湖南省长沙市春华镇龙王庙村
	辽宁省辽阳市太子河区东宁卫乡西八里村		贵州省贵阳市花溪区久安乡打通村
	安徽省宿州市王寨镇王寨村		安徽省宿州市萧县祖楼镇
萝卜	河南省新乡市平原新村王村	豇豆	河南省郑州市新郑市辛店镇岳庄村
	安徽省合肥市巢湖市柘皋镇何岗村		安徽省合肥市巢湖市柘皋镇何岗村
	湖南省长沙市春华镇龙王庙村		湖南省长沙市春华镇龙五庙村
	广西省南宁市江南区锦江村西平坡		广西玉林市兴业县大平山镇峨冠塘村
	辽宁省辽阳市太子河区东宁卫乡西八里村		辽宁省辽阳市太子河区东宁卫乡西八里村
	河北省石家庄市栾城区窦姬镇梅家村		河北省石家庄市栾城区窦姬镇梅家村
	海南省海口市美兰区加乐村		海南省海口市美兰区加乐村
	山西省晋中市榆次区东阳镇东阳村试验基地		山西省晋中市榆次区东阳镇东阳村

### 1.3.2 标准溶液配制

将 99.3% 戊唑醇标准品用乙腈溶解定容制成 1000 mg/L 的混合母液, 然后用乙腈及葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆空白基质溶液作为稀释溶剂, 葱、姜基质及溶剂标准溶液质量浓度为 0.01、0.02、0.05、0.10、0.50 mg/L; 萝卜基质、萝卜叶基质及溶剂标准溶液质量浓度为 0.005、0.010、0.020、0.050、0.100 mg/L; 豇豆基质及溶剂标准溶液浓度为 0.002、0.005、0.010、0.020、0.050、0.100 mg/L。

### 1.3.3 提取及净化

称试验样品 10.00 g 于 100 mL 离心管中, 分别加入 10 mL 纯水、20 mL 乙腈和 2.5 g 氯化钠, 多管涡旋振荡 10 min, 4000 r/min 离心 5 min 后, 取 1.5 mL 上清液至 2 mL 离心管中, 将 0.02 g PSA、0.03 g C<sub>18</sub> 分别加入上清液后涡旋混匀 1 min, 0.22 μm 滤膜过滤, 三重四极杆液相色谱质谱联用仪检测。

### 1.3.4 仪器条件

Shim-pack XR-ODSIII 色谱柱(75 mm×2.0 mm, 1.6 μm); 柱温为 40 °C; 流速为 0.3 mL/min; 进样量为 1 μL; 电离方式为电喷雾离子源正离子(electrospray ionization, ESI<sup>+</sup>)模式; 离子源温度为 500 °C; 雾化电压为 5500 V; 雾化气体类型为空气; 雾化气体压力为 50 psi; 碰撞气体类型为氮气; 流动相梯度洗脱条件见表 2; 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式下戊唑醇保留时间是 3.57 min, 定性离子对为 308/70 m/z 和 308/125 m/z, 定量离子对为 308/70 m/z, 碰撞电压为 49 eV。

表 2 液相色谱流动相梯度洗脱条件

Table 2 Gradient elution conditions of mobile phase in liquid chromatography

时间/min	流速 (mL/min)	流动相 B: 乙腈/%	流动相 A: 0.2% 甲 酸溶液/%
0	0.3		
0.5	0.3	10	90
3.0	0.3	10	90
5.0	0.3	95	5
5.1	0.3	95	5
5.1	0.3	10	90
6.0	停止		

## 1.4 膳食摄入评估

### 1.4.1 长期膳食摄入风险评估

依据卫生部 2002 年发布的《中国不同人群消费膳食分组食谱》中的膳食结构数据和已制定的戊唑醇最大残留限量(maximum residue limits, MRLs), 结合本研究戊唑醇残留化学评估推荐的规范残留试验中值, 按照公式(1)和(2)计算戊唑醇国家估算每日摄入量(national estimated daily intake, NEDI)<sup>[29]</sup>和每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI):

$$NEDI = \frac{\sum [STMR_i (\text{或} STMR - P_i) \times F_i]}{bw} \quad (1)$$

$$ADI\% = \frac{NEDI}{ADI} \times 100\% \quad (2)$$

式中: NEDI, mg/(kg·bw); STMR<sub>i</sub> 为第 i 类初级食用农产品的规范试验残留中值, mg/kg; STMR-P<sub>i</sub> 为第 i 类加工食用农产品的规范试验残留中值, mg/kg; F<sub>i</sub> 为第 i 类食用农产品的消费量, kg/d; bw 为人群平均体重, kg; ADI, mg/(kg·bw); ADI% 为国家估计每日摄入量占每日允许摄入量百分率。

ADI% ≤ 100% 时, 表示急性风险可以接受, ADI% 越小, 风险越小; 当 ADI% > 100% 时, 表示有不可接受的急性风险, ADI% 越大, 风险越大。

### 1.4.2 急性膳食摄入风险评估

产品单个重量低于 25 g 时, 按照公式(3)计算国家估计短期摄入量(national estimated short term intake, IESTI); 单个食品重量高于 25 g, 可食部分重量小于个体每顿饭对该食品的最大消耗量时, 按照公式(4)计算 IESTI, 超过个体每顿饭对该食品的最大消耗量时, 按照公式(5)计算 IESTI<sup>[30]</sup>, 最后, 按照公式(6)计算急性参考剂量(acute

reference dose, ARfD):

$$IESTI = \frac{LP \times HR}{bw} \quad (3)$$

$$IESTI = \frac{Ue \times HR \times v + (LP - Ue) \times HR}{bw} \quad (4)$$

$$IESTI = \frac{LP \times HR \times v}{bw} \quad (5)$$

$$\%ARfD = \frac{IESTI}{ARfD} \times 100\% \quad (6)$$

式中: IESTI, mg/(kg·bw); LP 为可涵盖 97.5% 的食用者的每天消耗食品的量, kg/d; HR (或 HR-P) 为可食部分的混合样本中的最高残留量(加工农产品的最高残留量), mg/kg; bw 同公式(1); Ue 为单个食品重量(可食部分), kg; v 为差异因子, 涵盖 97.5% 的个体食品的残留量除以平均残留量, 参照农药残留专家联席会议(Joint meeting of experts on Pesticide Residues, JMPR)建议取默认值 3; ARfD 为急性参考剂量, mg/(kg·bw); %ARfD 为占急性参考剂量的百分比。

## 1.5 数据计算

数据计算采用 Microsoft Excel 2010, 邓肯氏单因素方

差分析采用 IBM SPSS Statistics 23, 显著性水平分别为 0.05 和 0.01。基质效应(matrix effects, ME)评价时, 对纯溶剂与基质配制标准曲线的斜率进行比较, 计算方法见公式(7):

$$ME/\% = \frac{\text{纯溶剂标准曲线斜率} - \text{基质标准曲线斜率}}{\text{纯溶剂标准曲线斜率}} \times 100\% \quad (7)$$

当基质效应的绝对值为 0~20% 时为弱基质效应, 绝对值为 20%~50% 时为中等基质效应, 绝对值大于 50% 时为强基质效应

## 2 结果与分析

### 2.1 方法学考查

#### 2.1.1 标准曲线

在 1.3.4 条件下进行检测, 横坐标为标准溶液的质量浓度(X, mg/L), 纵坐标为标准溶液的峰面积(Y), 溶剂标准曲线、空白基质标准曲线、基质效应见表 3。溶剂标准曲线相关系数为 0.9994~1.0000, 基质标准曲线相关系数为 0.9998~1.0000, 基质效应绝对值为 0.8%~39.0%。本研究只有豇豆基质效应绝对值为 39.0%, 在 20%~50% 的范围内, 属于中等基质效应, 但考虑到试验结果的可比性, 本研究统一采用基质标准曲线进行定量。

表 3 戊唑醇标准曲线方程和基质效应  
Table 3 Standard curve equations and matrix effects of tebuconazole

基质	溶剂标准曲线	空白基质标准曲线	基质效应/%
葱	$Y=5960504.4411X+17057.4760$	$Y=6007258.9845X+21937.4201$	-0.8
姜	$Y=4189900.8948X-13797.8296$	$Y=4067494.7409X+11250.8147$	2.9
萝卜	$Y=21574147.8964X+38047.1278$	$Y=22279124.5955X+45961.3900$	-3.3
萝卜叶	$Y=21574147.8964X+38047.1278$	$Y=21972898.7055X+30746.3479$	-1.8
豇豆	$Y=330796564.3560X-57989.4224$	$Y=202533300.7754X+33401.7925$	39.0

#### 2.1.2 添加回收率

将不同浓度的戊唑醇标准溶液分别加入葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆空白对照样品中, 混合均匀, 静置 2 h, 按 1.3.3 进行样品的提取和净化。当添加水平是 0.01、0.10 和 1.00 mg/kg 时, 葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆的平均回收率分别为 100%~117%、101%~112%、94%~99%、102%~111% 和 92%~95%, 相对标准偏差分别为 2.0%~3.8%、1.8%~7.6%、2.3%~4.3%、1.4%~7.7% 和 5.7%~6.9%。戊唑醇在葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中的定量限均为 0.01 mg/kg。

### 2.2 4 种蔬菜中戊唑醇残留量

不同采收间隔期, 5 种基质中戊唑醇残留量差异分析见表 4。施药剂量 168.75 g a.i./ha, 施药次数 2 次, 葱、姜、萝卜和萝卜叶采收间隔期 14 d 时, 残留量分别为 <0.01、

<0.01~0.020、<0.01~0.023、0.10~4.13 mg/kg; 采收间隔期 21 d 时, 残留量分别为 <0.01~0.014、<0.01~0.042、<0.01~0.022、0.057~2.25 mg/kg。豇豆采收间隔期 7 d 时, 残留量为 0.012~0.079 mg/kg; 采收间隔期 10 d 时, 残留量为 <0.01~0.017 mg/kg, 2 次采收期采收的萝卜叶与其他 4 种基质中残留量均存在显著差异, 葱、姜、萝卜和豇豆中戊唑醇残留量无显著差异( $P<0.05$ )。

### 2.3 膳食摄入评估

本研究团队前期对芹菜(深色蔬菜)、鲜黄花菜(浅色蔬菜)、猕猴桃(水果)、向日葵(植物油)、甜菜(糖、淀粉)、枸杞(干)(食盐)和姜(酱油)等作物进行长期膳食摄入风险评估, 残留试验报告中所显示的残留中值分别为 2.28、0.33、0.52、0.12、0.022、2.11、0.015 mg/kg, 见表 5。我国规定戊唑醇 ADI 值

为 0.03 mg/(kg·bw), 我国居民的平均体重为 63 kg。根据 1.4.1 中公式进行计算, 结果见表 6, 葱、姜、萝卜、萝卜叶安全间隔期 14 d 时, 豇豆安全间隔期 7 d 时, 戊唑醇的普通人群国家估计每日摄入量是 0.455 mg, 占日允许摄入量的 24.1% 左右, 戊唑醇在葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中的残留对一般人群健康的影响是在一个可接受的风险水平。

根据 1.4.2 中公式进行计算, 结果见表 7。葱、姜、萝卜、萝卜叶安全间隔期 14 d 时, 豇豆安全间隔期 7 d 时, 葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中戊唑醇的国家估计短期摄入量分别为 0.0337、0.000432、0.000562、0.0169、0.000532 mg/(kg·bw), 占急性参考剂量百分比分别为 0.112%、1.44%、1.87%、56.3% 和 1.77%, 戊唑醇使用后不存在急性膳食风险。

表 4 蔬菜中戊唑醇的平均残留量差异分析  
Table 4 Variance analysis of tebuconazole mean residues in common vegetable

基质	168.75 g a.i./ha 施药 2 次	
	第 1 次采收/(mg/kg)	第 2 次采收/(mg/kg)
葱	0.0100±0 <sup>Aa</sup>	0.0105±0.00141 <sup>Aa</sup>
姜	0.0126±0.00366 <sup>Aa</sup>	0.0180±0.0148 <sup>Aa</sup>
萝卜	0.0129±0.00409 <sup>Aa</sup>	0.0112±0.00299 <sup>Aa</sup>
萝卜叶	0.725±1.18 <sup>Ab</sup>	0.366±0.629 <sup>Ab</sup>
豇豆	0.0277±0.0189 <sup>Aa</sup>	0.0119±0.00379 <sup>Aa</sup>

注: 不同小写字母表示同列数据差异显著,  $P < 0.05$ , 不同大写字母表示同列数据差异极显著,  $P < 0.01$ 。

表 5 不同作物食物归类及戊唑醇残留中值  
Table 5 Food classification by different crops and median residue of tebuconazole

作物	食物归类	残留中值/(mg/kg)	作物	食物归类	残留中值/(mg/kg)	作物	食物归类	残留中值/(mg/kg)
鲜黄花菜	浅色蔬菜	0.33	向日葵	植物油	0.12	枸杞(鲜)	食盐	1.05
豇豆	浅色蔬菜	0.025	猕猴桃	水果	0.52	枸杞(干)	食盐	2.11
萝卜	浅色蔬菜	0.015	枇杷(果肉)	水果	0.40	甘蔗	糖、淀粉	0.016
芹菜	深色蔬菜	2.28	枇杷(全果)	水果	0.32	葱	酱油	0.01
萝卜叶	深色蔬菜	0.42	枣(果肉)	水果	0.51	姜	酱油	0.015
甜菜	糖、淀粉	0.022	枣(全果)	水果	0.41	/	/	/

注: /表示无此项。

表 6 戊唑醇长期膳食摄入评估计算表  
Table 6 Calculation table for long-term dietary intake assessment of tebuconazole

食物种类	膳食量/kg	参考限量	限量来源	TMDI/mg	日允许摄入量/mg	风险概率/%
米及其制品	0.2399	0.5	中国	0.11995		
面及其制品	0.1385	0.05	中国	0.006925		
其他谷类	0.0233	0.05	日本	0.001165		
薯类	0.0495	0.1	日本	0.00495		
深色蔬菜	0.0915	2.28	残留中值	0.20862		
浅色蔬菜	0.1837	0.33	残留中值	0.060621	ADI×63	
水果	0.0457	0.52	残留中值	0.023764		
植物油	0.0327	0.12	残留中值	0.003924		
糖、淀粉	0.0044	0.022	残留中值	0.0000968		
食盐	0.012	2.11	残留中值	0.02532		
酱油	0.009	0.015	残留中值	0.000135		
合计	1.0286			0.455	1.89	24.1

表 7 戊唑醇急性膳食摄入评估计算表  
Table 7 National estimated acute dietary intake of azoxystrobin

作物	HR/(mg/kg)	儿童		成人	
		IESTI/[mg/(kg·bw)]	%ARfD/%	IESTI/[mg/(kg·bw)]	%ARfD/%
葱	0.014	0.00003769	0.1256	0.0337	0.112
姜	0.042	0.0004316	1.4387	0.000432	1.44
萝卜	0.023	0.00032131	1.07	0.000562	1.87
萝卜叶	4.13			0.0169	56.3
豇豆	0.079			0.000532	1.77

### 3 结论与讨论

本研究对葱、姜、萝卜和豇豆中戊唑醇进行了检测, 并对其进行了长期膳食摄入风险评估和急性膳食摄入风险评估, 发现戊唑醇的普通人群国家估计每日摄入量占日允许摄入量的 24.1% 左右, %ADI ≤ 100%, 认为戊唑醇在葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中的残留对一般人群健康的影响在一个可接受的风险水平, 根据风险评估结果可推荐戊唑醇在上述作物上使用; 5 种基质中的 %ARfD 范围为 0.112%~56.3%, 均小于 100%, 说明戊唑醇使用后不存在急性膳食风险。

值得注意的是, 戊唑醇在萝卜叶中的平均残留量明显高于其他 4 种基质, 存在显著差异。这主要是因为施药时萝卜叶直接接触药液; 萝卜叶生长比较密集, 施药时药液大部分都喷洒到叶面上, 导致单位重量上接触的药液比较多。说明在施药剂量、施药次数、施药间隔相同的条件下, 最终残留量的差异与接触药液的作物形态相关, 但本研究仅开展了戊唑醇残留量在不同作物形态中的差异, 其他农药是否也存在类似差异需进一步研究。

在施药剂量、施药次数、施药间隔相同的条件下, 最终残留量的差异与接触药液的作物形态相关。戊唑醇的普通人群国家估计每日摄入量是 0.455 mg, 占日允许摄入量的 24.1% 左右。葱、姜、萝卜、萝卜叶和豇豆中戊唑醇占急性参考剂量百分比分别为 0.112%、1.44%、1.87%、56.3% 和 1.77%。施药剂量 168.75 g a.i./ha, 施药次数 2 次, 葱、姜、萝卜、萝卜叶安全间隔期 14 d 时, 豇豆安全间隔期 7 d 时, 戊唑醇的残留量对一般人群健康风险在可接受的范围内。

#### 参考文献

- [1] 胡笑彤. 农药手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.  
HU XX. Pesticide handbook [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2015.
- [2] 毛江胜, 邵其霞, 郭长英, 等. 40%吡唑醚菌酯·戊唑醇悬浮剂在玉米及土壤中的残留与降解[J]. 农药, 2017, 56(11): 832-835.  
MAO JS, SHAO QX, GUO CY, et al. Residue and degradation of pyraclostrobin-tebuconazole 40% SC in corn and soil [J]. Agrochemicals, 2017, 56(11): 832-835.
- [3] JATIENDER KD, SURENDER KP, SAPNA K, et al. Persistence and

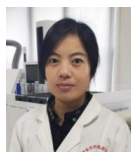
dissipation kinetics of tebuconazole in apple, tomato, chilli and onion crops of Himachal Pradesh, India [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2020, 27(10): 11290-11302.

- [4] DONG BZ, HU JY. Dissipation and residue determination of fluopyram and tebuconazole residues in watermelon and soil by GC-MS [J]. Int J Environ Anal Chem, 2014, 94(5): 493-505.
- [5] PATYAL SK, SHARMA ID, CHANDEL RS, et al. Dissipation kinetics of trifloxystrobin and tebuconazole on apple (*Malus domestica*) and soil-A multi location study from north western Himalayan region [J]. Chemosphere, 2013, 92(8): 949-954.
- [6] 朱珠. 戊唑醇在香蕉及其种植环境中的消解行为研究[D]. 海口: 海南大学, 2014.  
ZHU Z. Digestion behavior of tebuconazole in banana and cultivation environment [D]. Haikou: Hainan University, 2014.
- [7] LITORIYA NS, JOSHI MN, SINGH S, et al. Persistence and residues of a combi product of trifloxystrobin and tebuconazole on banana [J]. Pest Res J, 2017, 29(1): 35-41.
- [8] 孙明娜, 段劲生, 王梅, 等. 戊唑醇在葡萄和土壤中的残留和消解动态[J]. 农药学报, 2013, 15(1): 73-78.  
SUN MN, DUAN JS, WANG M, et al. Study on residues and dissipation of tebuconazole in grapes and soil [J]. Chin J Pest Sci, 2013, 15(1): 73-78.
- [9] MOHAPATRA S, AHUJA AK, DEEPA M, et al. Behaviour of trifloxystrobin and tebuconazole on grapes under semi-arid tropical climatic conditions [J]. Pest Manage Sci, 2010, 66(8): 910-915.
- [10] ZHANG Q, HUA XD, YANG Y, et al. Stereoselective degradation of flutriafol and tebuconazole in grape [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2015, 22(6): 4350-4358.
- [11] SAHOO SK, JYOT G, BATTU RS, et al. Dissipation kinetics of trifloxystrobin and tebuconazole on chili and soil [J]. Bull Environ Contam Toxicol, 2012, 88(3): 368-371.
- [12] SOUDAMINI M. Residue levels and dissipation behaviors for trifloxystrobin and tebuconazole in mango fruit and soil [J]. Environ Monit Assess, 2015, 187(3): 95.
- [13] MUNITZ MS, MEDINA MB, MONTTI MIT. Development and validation of an SPME-GC method for a degradation kinetics study of propiconazole I, propiconazole II and tebuconazole in blueberries in Concordia, the main production area of Argentina [J]. Food Addit Contam A, 2017, 34(5): 793-799.
- [14] 裴欣. 黄瓜中甲基硫菌灵和戊唑醇的残留检测及降解规律研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.  
PEI X. Study on residual detection and degradation rule of thiophanate-methyl and tebuconazole in cucumber [D]. Beijing: Chinese

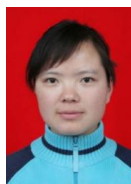
- Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [15] 李洪, 周游, 李伟声, 等. 戊唑醇在黄瓜和土壤中的检测方法及其残留动态研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(3): 1159–1164.  
LI H, ZHOU Y, LI WS, *et al.* Residue detection and degradation of tebuconazole in cucumber and soil [J]. Southwest China J Agric Sci, 2014, 27(3): 1159–1164.
- [16] MOHAPATRA S. Persistence and dissipation kinetics of trifloxystrobin and tebuconazole in onion and soil [J]. J Environ Sci Health B, 2014, 49(7): 513–520.
- [17] YADAV R, SHARMA KK, MAITRA J. Persistence, dissipation and GC-MS analysis of tebuconazole residues in/on cabbage [J]. Ann Plant Protect Sci, 2019, 27(2): 295–301.
- [18] 唐光辉, 冯超, 冯俊涛, 等. 戊唑醇在花椒体内的残留动态研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5): 124–127.  
TANG GH, FENG C, FENG JT, *et al.* Residue dynamics of tebuconazole in Chinese prickly ash tissues [J]. J Northwest Forest Univ, 2013, 28(5): 124–127.
- [19] SANDRA MG, ROBERT CM, NOEL WD. Dissipation of propiconazole and tebuconazole in peppermint crops [*Mentha piperita* (Labiatae)] and their residues in distilled oils [J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(1): 294–298.
- [20] SANDRA MG, NOEL WD, ROBERT CM. The dissipation of tebuconazole and propiconazole in boronia (*Boronia megastigma* Nees) [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(20): 6200–6204.
- [21] MARIAPPAN P, MANTHIRACHALAM D, CHELLAMUTHU S, *et al.* Dissipation kinetics and safety evaluation of tebuconazole and trifloxystrobin in tea under tropical field condition [J]. Food Addit Contam A, 2017, 34(12): 2155–2163.
- [22] WANG Y, WANG CW, GAO J, *et al.* Dissipation, residues, and safety evaluation of trifloxystrobin and tebuconazole on ginseng and soil [J]. Environ Monit Assess, 2015, 187(6): 344.
- [23] 陈燕, 蔡灵, 杨丽华, 等. 嘧菌酯和戊唑醇在水稻上的残留行为及膳食安全风险评估[J]. 农药, 2020, 59(3): 209–214, 222.  
CHEN Y, CAI L, YANG LH, *et al.* Dissipation, residues and dietary risk assessment of tebuconazole and azoxystrobin in rice [J]. Agrochemicals, 2020, 59(3): 209–214, 222.
- [24] 齐艳丽, 李晋栋, 高婧, 等. 戊唑醇及吡唑醚菌酯在玉米上的残留行为及风险评估[J]. 农药学报, 2020, 22(1): 115–121.  
QI YL, LI JD, GAO J, *et al.* Residue behavior and dietary risk assessment of tebuconazole and pyraclostrobin in corn [J]. Chin J Pest Sci, 2020, 22(1): 115–121.
- [25] YOU XW, LI YQ, WANG XG. Residue analysis and risk assessment of tebuconazole in jujube (*Ziziphus jujuba* Mill) [J]. Biomed Chromatogr, 2017, 31(7): e3917
- [26] DONG BZ, YANG YP, PANG NN. Residue dissipation and risk assessment of tebuconazole, thiophanate-methyl and its metabolite in table grape by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Chem, 2018, 260: 66–72.
- [27] SHARMA KK, TRIPATHY V, RAO CS, *et al.* Persistence, dissipation, and risk assessment of a combination formulation of trifloxystrobin and tebuconazole fungicides in/on tomato [J]. Regul Toxicol Pharm, 2019, 108: 104471.
- [28] LITORIYA NS, PATEL SH, JOSHI MN, *et al.* Dissipation kinetics, residue status and risk assessment of trifloxystrobin and tebuconazole combi-product in cowpea [J]. Pest Res J, 2017, 29(2): 196–203.
- [29] 中华人民共和国农业农村部. 中华人民共和国农业部公告第 2308 号 [EB/OL]. [2002-08-09]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/shiqi/201712/t20171219\\_6103890.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/shiqi/201712/t20171219_6103890.htm) [2021-12-23].  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Announcement No. 2308 of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China [EB/OL]. [2002-08-09]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/shiqi/201712/t20171219\\_6103890.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/shiqi/201712/t20171219_6103890.htm) [2021-12-23].
- [30] 高仁君, 王蔚, 陈隆智, 等. JMPR 农药残留急性膳食摄入量计算方法 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(4): 101–105.  
GAO RJ, WANG W, CHEN LZ, *et al.* JMPR pesticide residue acute dietary exposure assessment method [J]. Chin Agric Sci Bull, 2006, 22(4): 101–105.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

## 作者简介



李萌, 助理研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。  
E-mail: 29523844@qq.com



马婧玮, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。  
E-mail: jingweima819@126.com



汪红, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。  
E-mail: 1052443448@qq.com