

## 戊唑醇和嘧菌酯在水稻中的消解动态及累积分配特征

高 阳, 徐应明<sup>①</sup>, 秦 旭, 孙 扬, 赵立杰 (农业部环境保护科研监测所污染防治研究室, 天津 300191)

**摘要:** 利用气相色谱-质谱联用检测技术,建立了戊唑醇和嘧菌酯在水稻(*Oryza sativa*)地上各部位的残留分析方法;并通过田间试验,研究了戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的消解行为及在水稻不同部位的残留累积分配特征。在吉林、浙江和广西3地的田间试验结果表明,戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的残留消解动态规律符合一级动力学方程,在水稻植株中的消解半衰期分别为4.68~5.68和4.65~6.08 d。按推荐剂量(以有效成分计)168.8 g·hm<sup>-2</sup>和1.5倍推荐剂量253.2 g·hm<sup>-2</sup>在水稻植株上分别喷施750 g·L<sup>-1</sup>戊唑醇·嘧菌酯水分散粒剂2次和3次,戊唑醇和嘧菌酯在水稻各部位的累积分配特征显示,吉林地区2种农药在水稻植株不同部位的残留分配比由大到小依次为稻壳、茎秆和稻米,浙江和广西地区2种农药在水稻植株各部位的残留分配比由大到小依次为茎秆、稻壳和稻米。

**关键词:** 戊唑醇; 嘧菌酯; 水稻; 累积; 分配

**中图分类号:** X839.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2014)02-0246-06

**Dissipation, Accumulation and Distribution of Tebuconazole and Azoxystrobin in *Oryza sativa*.** GAO Yang, XU Ying-ming, QIN Xu, SUN Yang, ZHAO Li-jie (Pollution Control Department, Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** Field experiments were conducted in Jilin, Zhejiang and Guangxi provinces for determination of residual tebuconazole and azoxystrobin in tissues of rice (*Oryza sativa*) using GC-MS and dissipation dynamics, accumulation and distribution of tebuconazole and azoxystrobin in different parts of rice explored. Results show that dissipation dynamics of tebuconazole and azoxystrobin residues in the plants fitted the first-order kinetic equation, and dissipation half-life of tebuconazole and azoxystrobin in the plants was 4.68-5.68 and 4.65-6.08 d, respectively. When 168.8 g·hm<sup>-2</sup> (recommended dosage) and 253.2 g·hm<sup>-2</sup> (1.5 times the recommended dosage) of 750 g·L<sup>-1</sup> tebuconazole and azoxystrobin water dispersible granules were sprayed twice and thrice, respectively, the accumulation and distribution of tebuconazole and azoxystrobin in tissues of the plants was characterized by the order of husk > straw > rice in Jilin and the order of straw > husk > rice in Zhejiang and Guangxi.

**Key words:** tebuconazole; azoxystrobin; *Oryza sativa*; accumulation; distribution

我国是水稻种植大国,种植面积巨大,但同时也会导致农药施用量增加,尤其是杀菌剂的施用量与年俱增。戊唑醇<sup>[1]</sup>(tebuconazole)属于羟乙基三唑类衍生物,是甾醇脱甲基化抑制剂;嘧菌酯<sup>[2]</sup>(azoxystrobin)是最早问世且应用最广泛的甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂。两者具有低毒、杀菌活性高、杀菌谱广、内吸性强和对靶标作物安全的特点,可有效防治禾谷类作物上各类真菌性病害,广泛应用于防治水稻稻瘟病和纹枯病等多种真菌病害。农药大量施用后的残留问题是关系到稻米安全的主要问题之一,加强规范农药安全合理使用是控制稻米中农药残留的重要基础,同时也是保护生态环境的重要手段<sup>[3]</sup>。目前,我国尚未制定有关嘧菌酯在稻米中的最大残留限量标准。近年来,有关戊唑醇和嘧菌酯在水稻中的残留研究逐渐受到关注。刘军等<sup>[4]</sup>

建立了分散固相萃取-液相色谱-质谱(HPLC-MS)联用法测定水稻秸秆、糙米、稻壳和土壤中戊唑醇残留;张昌朋等<sup>[5]</sup>采用Florisil小柱净化,带氮磷检测器的气相色谱(GC-NPD)法测定了水稻中戊唑醇的消解动态;谢惠等<sup>[6]</sup>采用液液分配萃取-GC-NPD法研究了水稻中嘧菌酯的残留降解行为。

该研究通过改良的分散固相萃取方法——QuEChERS(quick, easy, cheap, effective, rugged and safe)法对水稻样品进行提取净化,采用气相色谱-质谱-选择离子监测(GC-MS-SIM)方法进行检测,研究了750 g·L<sup>-1</sup>戊唑醇·嘧菌酯水分散粒剂在吉林、浙江和广西3地水稻大田施用后,其有效成分戊

收稿日期: 2013-10-18

基金项目: 农业部农药登记残留试验项目(2012F419)

① 通信作者 E-mail: ymxu1999@126.com

唑醇和嘧菌酯在水稻中的消解动态和累积分配规律,为  $750 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  戊唑醇·嘧菌酯水分散粒剂在水稻田中的安全合理使用提供重要科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 田间试验设计

于2012年分别在吉林、浙江和广西3地开展  $750 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  戊唑醇·嘧菌酯水分散粒剂在水稻田中的降解动态试验和最终残留试验,分别设置试验区 and 对照区。试验药剂由安徽丰特农化公司提供,吉林、浙江和广西3地供试水稻品种分别为中浙优1号、两优343和Y两优087。

#### 1.1.1 消解动态试验

设置3个重复小区,每个小区面积为  $30 \text{ m}^2$ ,小区间设立保护行。在水稻拔节期后手动喷雾施药,施药剂量(按有效成分计)为  $253.2 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。距施药后2 h、1、3、7、14、21和28 d于每个小区随机采集水稻植株2 kg,经缩分后留取3个重复样品,每个样品质量为250 g,所有样品用塑料袋封装、编号,于  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  以下冰柜中保存待测。

#### 1.1.2 残留累积分配试验

设置2个施药剂量,分别为低剂量( $168.8 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ )和高剂量( $253.2 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),小区面积为  $30 \text{ m}^2$ ,重复设置3个小区,小区间设立保护行。于水稻灌浆期开始第1次施药,各设2次和3次施药处理区,2次施药间隔时间为7 d,距最后1次施药7、14和21 d于每个小区随机采集水稻茎秆和稻谷各2 kg,经缩分后各留取3个重复样,每个样品质量为250 g,所有样品用塑料袋封装、编号,于  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  以下冰柜中保存待测。

#### 1.1.3 对照试验

在远离试验区选定不施药的水稻田作为对照区,在水稻收获期采集水稻茎秆500 g和稻谷1000 g作为对照样品,样品用塑料袋封装、编号,于  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  以下冰柜中保存待测。

## 1.2 分析方法

### 1.2.1 提取和净化

称取稻米5.00 g或稻壳和茎秆各2.50 g,将粉碎后样品置于50 mL离心管中,加入10 mL超纯水,静置2 min后加入10 mL乙腈,涡旋混合2 min,加入3 g NaCl,涡旋1 min,按  $3800 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  (离心半径为21 cm)离心5 min。取1.5 mL上清液置于加入150 mg无水  $\text{MgSO}_4$  和50 mg N-丙基乙二胺(primary secondary amine, PSA)的2 mL离心管中,稻壳和茎秆需另外加入10 mg石墨化碳黑

(graphitised carbon black, GCB),涡旋1 min,按  $6000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  (离心半径为2 cm)离心1 min,移取1 mL上清液于50 mL鸡心瓶中,旋转蒸发至近干,丙酮准确定容至1 mL,移至进样瓶待测。

### 1.2.2 分析条件

气相色谱:载气为高纯  $\text{He}$  ( $\varphi=99.999\%$ ),流速为  $2 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ;柱升温程序:  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  保持1 min,然后以  $25 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  速率上升至  $255 \text{ }^\circ\text{C}$ ,保持5 min,再以  $15 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  速率上升至  $280 \text{ }^\circ\text{C}$ ,保持5 min;分流/不分流进样口温度为  $280 \text{ }^\circ\text{C}$ ,不分流进样模式,进样量为  $1 \mu\text{L}$ 。

质谱:电子轰击离子源(EI),温度为  $230 \text{ }^\circ\text{C}$ ;电子能量为70 eV;色谱-质谱接口温度为  $280 \text{ }^\circ\text{C}$ ;四级杆温度为  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ;检测方式为选择离子模式(SIM);定性离子  $m/Z$ :戊唑醇—250,163,252(相对丰度比100:55:36),嘧菌酯—344,388,372,403(相对丰度比100:40:22:20);定量离子  $m/Z$ :戊唑醇—250,嘧菌酯—344。

### 1.2.3 添加回收率与最小检出限

分别按照1.2.1节所述处理方法向空白水稻稻米和稻壳、茎秆样品中添加戊唑醇和嘧菌酯混合标准溶液,添加量分别为5、0.5、0.008  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和0.4、0.04、0.016  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,定容体积均为1 mL,每个处理平行测定5次。残留量计算公式为

$$R = \frac{Q \times S_1 \times V_z}{S_2 \times W}, \quad (1)$$

式(1)中, $R$ 为样品中农药残留浓度,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $Q$ 为标准样品浓度,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $S_1$ 为样品溶液峰面积;  $V_z$ 为样品的定容体积, mL;  $S_2$ 为标准样品的峰面积;  $W$ 为样品质量, g。

通过以上试验获得样品中戊唑醇和嘧菌酯添加回收率和最低检出浓度;同时,以3倍信噪比<sup>[7]</sup>作为戊唑醇和嘧菌酯的最小检出限。

## 2 结果与讨论

### 2.1 检测方法的评价

#### 2.1.1 工作曲线

用丙酮配制质量浓度分别为0.001、0.002、0.004、0.005、0.01、0.05、0.1、0.25、1.0和2.5  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 系列戊唑醇和嘧菌酯混合标准溶液,按1.2.2节所述条件进行测定,以溶液质量浓度( $X$ )为横坐标,以峰面积( $Y$ )为纵坐标,分别绘制戊唑醇和嘧菌酯标准曲线并进行线性相关分析, $\rho$ (戊唑醇)在0.001~2.5  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围内,回归方程为  $Y = 866062X + 5052.1$  ( $r = 0.9996$ ), $\rho$ (嘧菌酯)在

0.002~2.5  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  范围内, 回归方程为  $Y = 555.006X + 1.673.7$  ( $r = 0.9996$ ), 表明戊唑醇和嘧菌酯在设定浓度范围内质量浓度和色谱峰面积均呈良好线性关系, 可以满足定量分析的要求。

### 2.1.2 准确度和精密度

在选定的气相色谱-质谱条件下, 戊唑醇最低检出量为 0.001 ng, 在水稻稻米、稻壳和茎秆中的最低检出浓度分别为 0.004、0.008 和 0.008  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (表 1)。嘧菌酯最低检出量为 0.002 ng, 在水稻稻米、稻壳和茎秆中的最低检出浓度分别为 0.008、0.016 和 0.016  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (表 2); 加标回收率是衡量

检测方法准确度的重要指标<sup>[8-9]</sup>, 分别向空白水稻稻米、稻壳和茎秆样品中加入适量不同浓度的戊唑醇和嘧菌酯标准溶液, 每个处理平行测定 5 次, 计算加标回收率。由表 1 可知, 戊唑醇在稻米、稻壳和茎秆中的平均加标回收率分别为 78.9%~93.7%、84.3%~100.9% 和 95.1%~104.3%。由表 2 可知, 嘧菌酯在稻米、稻壳和茎秆中的平均加标回收率分别为 92.5%~101.9%、86.9%~101.9% 和 100.4%~104.0%。上述结果表明, 该方法的精密度和准确度都较好, 完全可以满足水稻稻米、稻壳和茎秆中戊唑醇和嘧菌酯的检测需要。

表 1 空白水稻样品添加戊唑醇的回收率、精密度和检测限

Table 1 Recovery, precision and limit of detection (LOD) of tebuconazole applied to blank rice sample

样品	添加量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	不同测定次序的回收率/%					平均回收率/ %	变异系数/ %	检测限/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
		1	2	3	4	5			
稻米	5	82.2	86.1	89.5	89.2	89.7	87.3	3.7	0.004
	0.5	87.8	95.0	95.9	95.5	94.5	93.7	3.6	
	0.008	79.6	78.9	79.8	79.3	77.0	78.9	1.4	
稻壳	0.4	86.8	92.3	91.5	95.1	92.5	91.6	3.3	0.008
	0.04	81.7	83.5	83.0	85.5	87.7	84.3	2.8	
	0.016	106.0	97.0	95.4	106.9	99.2	100.9	5.2	
茎秆	0.4	95.9	108.3	108.2	106.1	103.3	104.4	4.9	0.008
	0.04	102.5	100.1	90.8	99.7	97.7	98.2	4.5	
	0.016	98.8	85.4	94.9	99.3	97.0	95.1	6.0	

表 2 空白水稻样品添加嘧菌酯的回收率、精密度和检测限

Table 2 Recovery, precision, limit of detection (LOD) of azoxystrobin applied to blank rice sample

样品	添加量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	不同测定次序的回收率/%					平均回收率/ %	变异系数/ %	检测限/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
		1	2	3	4	5			
稻米	5	96.4	99.0	99.5	106.5	108.0	101.9	5.0	0.008
	0.5	96.6	102.7	103.1	104.0	102.5	101.8	2.9	
	0.008	92.8	90.3	98.6	88.8	91.9	92.5	4.0	
稻壳	0.4	101.1	101.1	100.3	104.1	102.9	101.9	1.5	0.016
	0.04	88.2	82.5	86.5	92.8	84.6	86.9	4.5	
	0.016	99.3	86.6	93.4	102.5	104.3	97.2	7.5	
茎秆	0.4	93.2	103.8	100.3	102.3	102.5	100.4	4.2	0.016
	0.04	95.2	107.5	106.6	106.4	104.5	104.0	4.9	
	0.016	95.4	101.2	97.1	103.1	109.1	101.2	5.3	

## 2.2 戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的消解动态

由表 3 可知, 施药 2 h 后, 吉林、浙江和广西 3 地水稻植株中戊唑醇原始沉积量分别为 13.72、30.38 和 8.81  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 嘧菌酯原始沉积量分别为 8.47、26.41 和 6.18  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。3 地戊唑醇原始沉积量差异较大, 主要是由于试验期间 3 个试验地区气候和环境<sup>[10-11]</sup>的较大差异所致。施药 28 d 后, 水稻植株中戊唑醇和嘧菌酯的消解率均超过 95%, 说明这 2 种农药在水稻植株中均较易降解。另外, 在

原始沉积量差异较大的情况下, 由北到南 3 个不同地域试验得到的消解率相当, 说明戊唑醇和嘧菌酯 2 种杀菌剂化学性质稳定, 其在不同施药环境中的消解率均较高。

水稻植株中戊唑醇和嘧菌酯残留量随时间的增加而逐渐降低, 消解率随时间增加逐渐升高。施药后时间与植株中农药残留量之间呈指数关系, 其消解曲线符合一级动力学模型:  $C_t = C_0 e^{-kt}$ <sup>[7]</sup>。其中,  $C_t$  为施药后时间  $t$  的残留浓度,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $C_0$  为

施药后植株原始沉积量,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $k$  为消解速率常数。3 地戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的消解方程见表 4, 消解曲线见图 1。

表 3 戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的消解动态

Table 3 Degradation dynamics of tebuconazole and azoxystrobin in *Oryza sativa* plant

地点	时间/ d	戊唑醇		嘧菌酯	
		残留量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	消解率/ %	残留量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	消解率/ %
吉林	1/12	13.72		8.47	
	1	11.49	16.27	7.94	6.25
	3	9.34	31.88	5.81	31.35
	7	2.79	79.65	1.81	78.61
	14	1.36	90.12	1.10	86.97
	21	0.78	94.35	0.62	92.63
	28	0.46	96.63	0.38	95.48
浙江	1/12	30.38		26.41	
	1	22.90	24.62	16.60	37.14
	3	18.99	37.47	13.92	47.30
	7	6.10	79.92	4.69	82.24
	14	3.30	89.15	2.86	89.18
	21	1.68	94.47	1.34	94.91
	28	1.00	96.70	0.93	96.48
广西	1/12	8.81		6.18	
	1	2.10	76.22	1.55	74.85
	3	1.16	86.89	0.76	87.62
	7	0.37	95.81	0.25	95.88
	14	0.23	97.39	0.15	97.49
	21	0.07	99.26	0.07	98.85
	28	0.09	98.97	0.05	99.26

表 4 戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的消解动态方程

Table 4 Degradation dynamic equation of tebuconazole and azoxystrobin in *Oryza sativa* plant

试验地点	农药品种	消解方程	半衰期/d
吉林	戊唑醇	$C_t = 11.047e^{-0.124t}$	5.59
	嘧菌酯	$C_t = 7.025e^{-0.114t}$	6.08
浙江	戊唑醇	$C_t = 23.412e^{-0.122t}$	5.68
	嘧菌酯	$C_t = 17.916e^{-0.117t}$	5.92
广西	戊唑醇	$C_t = 2.4935e^{-0.148t}$	4.68
	嘧菌酯	$C_t = 1.7961e^{-0.149t}$	4.65

$C_t$  为植株中农药残留浓度,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $t$  为施药后时间, d。

由表 4 和图 1 可知, 3 个不同水稻主产区戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的最长消解半衰期分别为 5.68 和 6.08 d, 其中吉林地区水稻植株中嘧菌酯消解半衰期最长, 2 种农药消解速率均相对较低, 广西地区水稻植株中 2 种农药消解均最快。主要原因是 3 个地区水稻品种不同, 水稻体内降解酶特性和活性不同。另外, 刘晓旭<sup>[12]</sup>的研究表明, 高温有助于加速嘧菌酯的水解; 而且南方地区降水量较

大<sup>[13]</sup>, 试验期间降水较多, 部分药剂由于受雨水冲刷的影响, 其消解速度加快。而北方吉林地区降水较少, 且气候干燥<sup>[14]</sup>, 试验期间温度相对较低, 导致戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的消解半衰期相对较长。

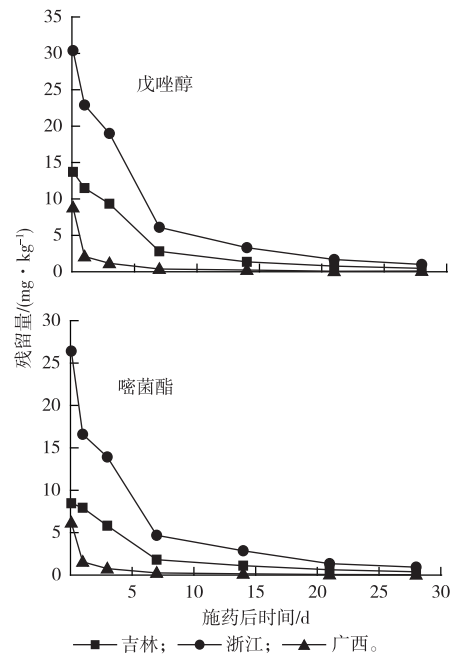


图 1 戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的消解动态曲线

Fig. 1 Dissipation dynamic curves of tebuconazole and azoxystrobin in *Oryza sativa* plant

### 2.3 戊唑醇和嘧菌酯在水稻中的累积分配特征

由图 2 可知, 除低剂量 2 次施药处理的浙江地区以及低剂量 3 次施药处理的浙江和广西地区试验以外, 其他地区其他处理试验中, 戊唑醇在水稻各部位的总含量均随施药后时间的推移而降低。吉林地区所有处理中, 水稻各部位戊唑醇最终残留量由高到低依次为稻壳、茎秆和稻米; 浙江和广西 2 地所有处理中, 水稻各部位戊唑醇最终残留量由高到低依次为茎秆、稻壳和稻米。按照 1.5 倍推荐剂量施药 3 次, 距最后 1 次施药 21 d 后, 戊唑醇在 3 个地区稻米中的残留量均低于我国规定的戊唑醇在糙米中的最大残留限量 ( $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[15]</sup>。

由图 3 可知, 除高剂量施药 3 次的广西地区以外, 3 个地区其他处理试验中, 嘧菌酯在水稻各部位的总含量均随着施药后时间的推移而降低。吉林地区所有处理中, 水稻各部位嘧菌酯最终残留量由高到低依次为稻壳、茎秆和稻米; 浙江和广西 2 地所有处理中, 嘧菌酯最终残留量由高到低依次为茎秆、稻壳和稻米。按照 1.5 倍推荐剂量施药 3 次, 距

最后1次施药21 d后,啞菌酯在3个地区稻米中的最高残留量为  $0.055 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

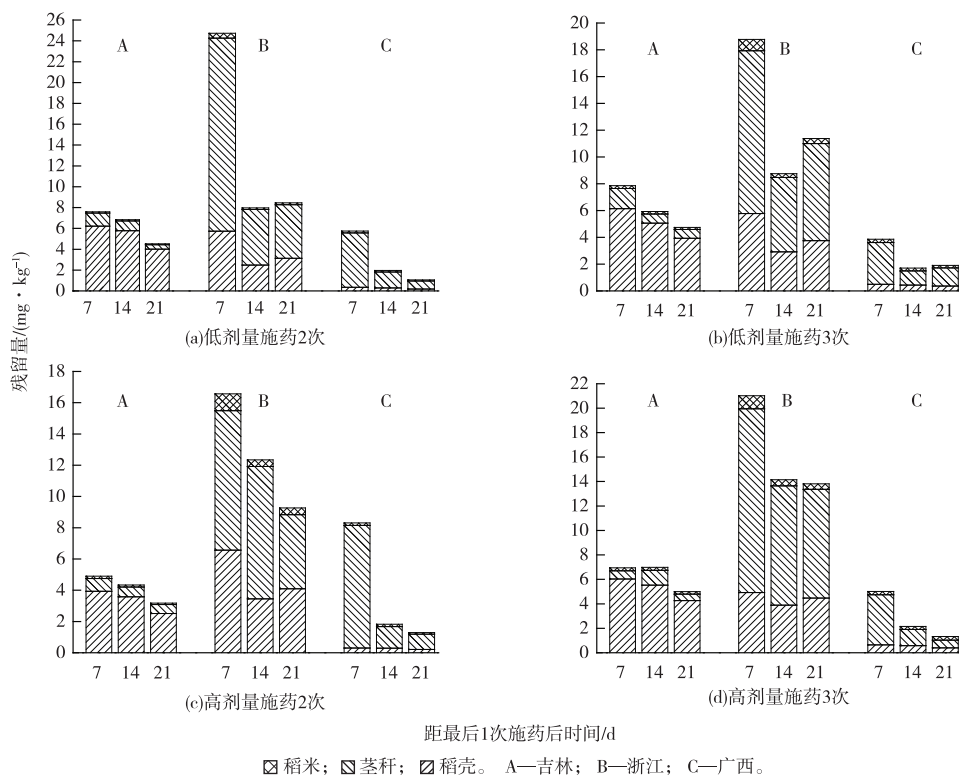


图2 不同处理戊唑醇在水稻各部位的累积分配特征

Fig. 2 Accumulation and distribution of tebuconazole in issues of *Oryza sativa* plants relative to treatment

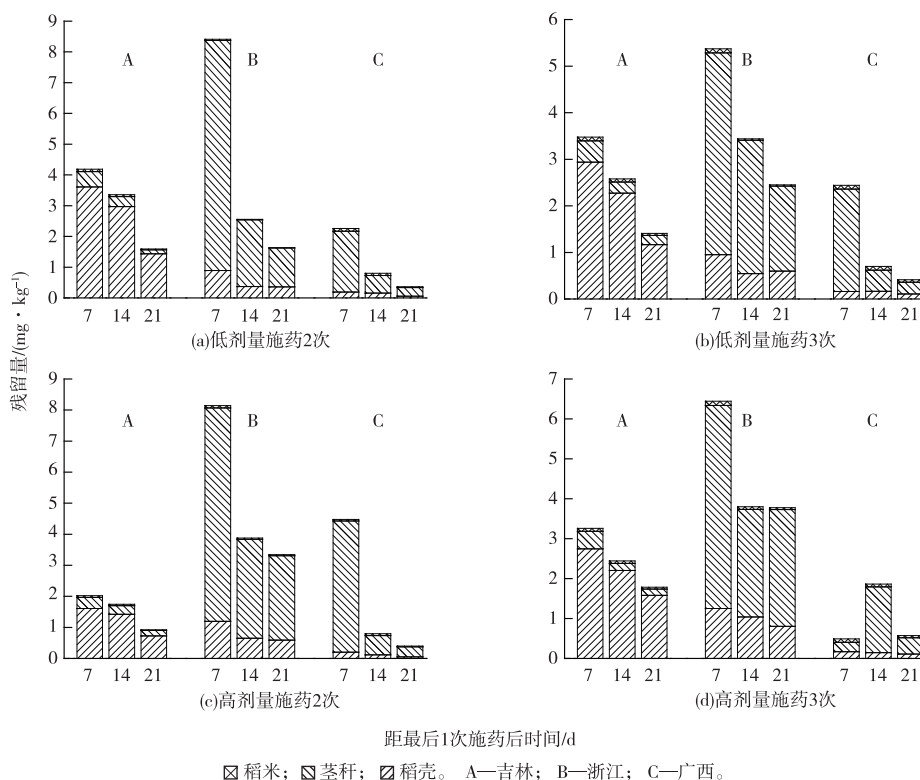


图3 不同处理啞菌酯在水稻各部位的累积分配特征

Fig. 3 Accumulation and distribution of azoxystrobin in issues of *Oryza sativa* plants relative to treatment

由于我国暂未规定糙米中嘧菌酯的最大残留限量,故参考国际食品法典委员会(CAC)以及欧盟、美国等规定的大米中嘧菌酯最大残留限量( $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。由图3可知,3地所有处理的稻米中嘧菌酯最终残留量均低于 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

吉林、浙江和广西3地试验中水稻不同部位戊唑醇和嘧菌酯残留累积量差异较大,是试验地区不同的水稻品种、环境、气候和土壤条件<sup>[16-17]</sup>等因素综合影响的结果。吉林地区供试水稻品种为中浙优1号,该地气候寒冷干燥,降水量小,试验地土壤为黑土,pH值在6.0~8.5之间;浙江地区供试水稻为两优343,气候温暖湿润,降水充足,试验地土壤为红壤,pH偏酸性;广西地区供试水稻为Y两优087,气候炎热,降水量大,试验地土壤为赤红壤,pH值多小于5.0,导致不同地域水稻对农药的吸收和代谢存在差异,而受施药后间隔时间以及施药浓度和次数的影响较小。同时,所有处理戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的残留累积量最低的部位均为稻米,且含量均远低于现有的最大残留限量值,说明按照推荐剂量在水稻中合理使用戊唑醇和嘧菌酯是安全的,不会对人体健康产生危害。

### 3 结论

建立了水稻稻米、茎秆和稻壳中戊唑醇和嘧菌酯气相色谱-质谱联用仪测定法,同时通过大田试验研究了2种农药在水稻植株中的消解行为,以及在水稻不同部位的累积分配特征。试验结果表明,戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中的消解半衰期分别为4.68~5.68和4.65~6.08 d,说明戊唑醇和嘧菌酯在水稻植株中均属于易降解农药。在吉林、浙江和广西3地田间试验结果表明,所有施药处理戊唑醇和嘧菌酯在水稻不同部位残留累积量存在一定差异,但最低残留累积量部位均为稻米,且含量均远低于现有的最大残留限量值。

#### 参考文献:

- [1] ID EL MOUDEN O, SALGHI R, ZOUGAGH M, *et al.* Pesticide Residue Levels in Peppers Cultivated in Souss Masa Valley (Morocco) After Multiple Applications of Azoxystrobin and Chlorothalonil[J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2013, 93(5): 499-510.
- [2] PATYAL S K, SHARMA I D, CHANDEL R S, *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.
- [3] LU H, SHEN Y, SUN X, *et al.* Washing Effects of Limonene on Pesticide Residues in Green Peppers[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93(12): 2917-2921.
- [4] 刘军,沈菁,刘建.分散固相萃取-高效液相色谱-质谱联用法测定水稻秸秆、糙米、稻壳和土壤中戊唑醇残留[J]. *分析科学学报*, 2010, 26(1): 55-58.
- [5] 张昌朋,赵华,蔡晓明,等.戊唑醇在水稻中的残留分析方法及消解动态[J]. *农药*, 2012, 51(9): 675-677.
- [6] 谢惠,龚道新.嘧菌酯在稻田水、土壤及水稻植株中的残留降解行为研究[J]. *湖南农业科学*, 2013(1): 80-83.
- [7] NY/T 788—2004, 农药残留试验准则[S].
- [8] 孙约兵,徐应明,孙扬,等.新型除草剂硝磺草酮在玉米和土壤中的残留及降解行为[J]. *环境化学*, 2013, 32(1): 144-149.
- [9] 李华,李丹.大豆废料中金雀异黄素含量测定方法的比较[J]. *郑州大学学报:工学版*, 2009, 30(4): 62-64.
- [10] 谢荔草,孙扬,秦旭,等.啶虫脒和仲丁威在水稻、土壤及田水中的残留消解动态[J]. *环境化学*, 2013, 32(2): 281-288.
- [11] 魏丹,孙扬,徐应明,等.杀虫单在小白菜和土壤中的残留及消解动态研究[J]. *环境化学*, 2011, 30(11): 1926-1930.
- [12] 刘晓旭.嘧菌酯的水解和光解特性研究[D]. 长春:吉林农业大学, 2013.
- [13] 周绍毅,苏志,李强.广西5个主要极端降水指数变化趋势分析[J]. *气象研究与应用*, 2012, 33(3): 8-13.
- [14] 杨俊玲,梁凤霞,王晓腾.吉林地区气候变化对农业生产的影响[J]. *吉林农业科学*, 2012, 27(2): 55-58.
- [15] GB 2763—2012, 食品中农药最大残留限量[S].
- [16] 刘鹏飞,段宾宾,韩富根,等.不同土壤类型对烤烟色素及其降解产物的影响[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2012, 40(5): 69-73.
- [17] 王琳.浙江省三个主要农业地貌区土壤与稻谷微量元素空间变异规律研究[D]. 杭州:浙江大学, 2007.

作者简介:高阳(1989—),男,山东临沂人,硕士生,主要从事农药残留检测及修复技术方面的研究。E-mail: gaoyang891101@163.com