

超高效液相色谱-串联质谱测定氟唑菌苯胺在小麦植株中的内吸传导特性

韩平¹, 胡彬², 马帅¹, 曹永松^{*3}

(1. 北京农业质量标准与检测技术研究中心, 北京 100097; 2. 北京市植物保护站, 北京 100029;
3. 中国农业大学植物保护学院, 北京 100193)

摘要: 建立了超高效液相色谱-串联质谱 (UPLC-MS/MS) 测定氟唑菌苯胺在小麦植株中内吸传导特性的方法; 定量分析了在小麦根部和叶部施药 2 种处理方式下氟唑菌苯胺进入植株后的分布和累积情况。植株样品前处理采用 QuEChERS 法, 在反相色谱柱 C₁₈(100 mm × 2.1 mm, 1.8 μm) 上, 以 0.1% 甲酸水和乙腈为流动相, 利用梯度洗脱, 正离子电离 (ESI⁺), 采用多反应离子监测模式 (MRM) 进行定性和定量。用基质匹配标准溶液外标法定量。结果表明: 在 0.5~100 μg/L 内, 氟唑菌苯胺的质量浓度与对应的峰面积间线性关系良好, 线性回归方程为 $y = 12\,808.4x + 308.518 (r = 0.999\,8)$ 。在 0.005、0.05 和 0.1 mg/kg 添加水平下, 氟唑菌苯胺在小麦植株中的回收率为 92%~126%, 相对标准偏差为 0.50%~9.1%; 以 3 倍信噪比计算, 方法检出限为 0.037 μg/kg; 最低添加浓度为 0.005 mg/kg。研究结果表明, 氟唑菌苯胺于小麦植株根部施用后, 可迅速在根部吸收并向茎部传导, 且随处理浓度增大, 药剂在不同部位的累积量增加; 随处理后时间延长, 药剂在不同部位的累积表现为先快速吸收而后缓慢平衡。其中以 0.01 mg/L 氟唑菌苯胺经根部施药 2 h 后, 药剂在根、茎和叶中含量分别为 10.4、0.6 和 0.3 μg/kg; 氟唑菌苯胺经叶部单叶片施药后, 亦可快速被叶片吸收, 并可跨叶传导至其他叶片, 进而在茎部和根部累积。随处理后时间延长, 施药叶片药剂快速下降并达到平衡, 其他植株部位药剂快速累积并达到平衡。其中以 200 mg/L 的氟唑菌苯胺经第 2 片叶施用 20 μL, 2 h 后氟唑菌苯胺在根和茎中的含量分别为 109.0 和 148.0 μg/kg, 在第 3 片叶和旗叶中的含量分别为 904.0 和 112.6 μg/kg。

关键词: 氟唑菌苯胺; 超高效液相色谱-串联质谱; 小麦植株; 内吸传导

中图分类号: O657.72; S482.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2017)06-0729-06

Evaluation of systemic properties of penflufen in wheat seedling using ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method

HAN Ping¹, HU Bin², MA Shuai¹, CAO Yongsong^{*3}

(1. Beijing Research Center for Agriculture Standards and Testing, Beijing 100097, China; 2. Beijing Plant Protection Station, Beijing 100029, China; 3. College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The transportation and the contents of penflufen accumulated in roots, stems and leaves of

收稿日期: 2017-08-14; 录用日期: 2017-09-27.

基金项目: 北京市优秀人才项目; 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJCX20170302).

作者简介: 韩平, 男, 博士, 副研究员, 主要从事农产品质量安全研究, E-mail: hanping1016@163.com; *曹永松, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 博士, 教授, 主要从事农药环境行为研究, E-mail: ysongcao@126.com

wheat seedling were determined by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method after it was applied to roots or leaves. A QuEChERS method was used for the extraction and clean-up of wheat seedling samples. Chromatographic analysis was performed on an Endeavorsil C₁₈ column (100 mm × 2.1 mm, 1.8 μm) using gradient elution with 0.1% formic acid in water and acetonitrile as mobile phase. Elutes were ionized through positive ion ionization (ESI⁺) mode. Qualitative and quantitative was conducted by multi reaction ion monitoring (MRM). The external standard method of matrix matching standard solution was used. The good linear relationship was obtained in the range of 0.5-100 μg/L and the equation was $y = 12\ 808.4x + 308.518$ ($r = 0.999\ 8$). The recovery of penflufen in wheat seedling ranged from 92% to 126%. The relative standard deviation was between 0.50% to 9.1%. The minimum detection limit was 0.037 μg/kg ($S/N = 3$) and the minimum fortified level was 0.005 mg/kg. The study indicated that penflufen had rapid intake and transportation with root application. With the increase of the treatment concentration, the accumulation of penflufen in different plant parts increased. With the extension of treatment time, the accumulation of penflufen in different parts showed rapid absorption and then slowly balanced. When wheat root was treated by 0.01 mg/L penflufen, its content in root, stem and leaf were 10.4, 0.6 and 0.3 μg/kg, respectively 2 h after treatment. In addition, penflufen was rapidly absorbed by leaves and then transported to other leaves and accumulated at stems and roots with leaves application. With the extension of the treatment time, the pesticide in the leaves decreased rapidly and eventually reached equilibrium, and other plant parts accumulated rapidly and reached equilibrium. When the 2nd leaf of wheat was treated by 20 μL penflufen aqueous solution its contents in root, stem, 3rd leaf and 1st leaf were 109.0, 148.0, 904.0 and 112.6 μg/kg, respectively.

Keywords: penflufen; ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method (UPLC-MS/MS); wheat seedling; intake and transportation

氟唑菌苯胺 (图式 1) 是拜耳公司开发的一种新型吡唑酰胺类杀菌剂, 先后在英国、美国和中国获得农药登记, 主要用于谷物、蔬菜、苜蓿、豆类及油菜等农作物种传和土传病害的防治, 包括小麦纹枯病菌 *Rhizoctonia cerealis* Vander Hoeven、水稻纹枯病菌 *R. solani* Kühn 等^[1]。目前, 氟唑菌苯胺在中国登记作物为种薯, 使用方式为种子处理剂, 22% 种子处理悬浮剂使用剂量为有效成分 1.76~2.64 g/100 kg 种薯^[2]。农药在植物体内的传导方式是影响其使用方法和防治效果的重要因素之一。其中, 杀菌剂在寄主植物体内吸收和传导行为的研究是植物病害化学防治理论与实践备受关注的问题^[3]。关于农药内吸传导活性的研究, 常采用同位素标记的方法^[4-5]。随着分析技术的发展, 研究者开始采用成本低、分析速度快的高效液相色谱法、高效液相色谱-串联质谱法、超高效液相色谱-高分辨率质谱法等^[6-9]。

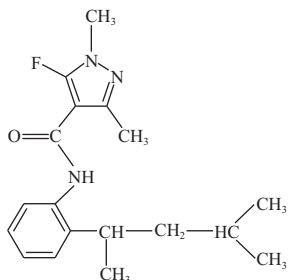
目前, 关于氟唑菌苯胺原药的分析方法以及其

在果蔬中残留的检测方法已有相关报道^[10-11], 但关于其药理学行为和环境毒理学等研究尚未见系统报道。本研究以小麦植株为研究对象, 在实验室模拟根部和叶片施药 2 种处理方式下, 采用超高效液相色谱-串联质谱法 (UPLC-MS/MS) 研究了氟唑菌苯胺在小麦植株中的吸收、传导和分布行为。

1 材料与方 法

1.1 仪器与试剂

ACQUITY 超高效液相色谱-串联质谱联用仪 (Waters 公司, 美国); 反相色谱柱 Endeavorsil C₁₈ (100 mm × 2.1 mm, 1.8 μm。迪马公司, 北京); 3K30 离心机 (Sigma 公司, 德国); BS200S 电子天平 (精度 0.01 g。Sartorius, 德国); Me204E 电子天平 (精度 0.1 mg。梅特勒, 瑞士); Vortex Genie 2 涡旋振荡器 (Scientific Industries 公司, 美国); N-EVAP 氮吹仪 (美国 Organomation 公司); BCD-195TBDZ 海尔冰箱 (中国青岛海尔股份有限公



图式 1 氟唑菌苯胺的化学结构式

Scheme 1 Chemical structure of penflufen

司); 超纯水采用 Millipore Milli-Q 系统 (Millipore Corp., Bedford, MA, USA) 制备; SHP-450 恒温培养箱 (上海精宏实验设备有限公司)。

99.3% 氟唑菌苯胺 (penflufen) 标准品 (Sigma 公司); 分析纯试剂: 无水硫酸镁、氯化钠、丙酮、吐温-80; 色谱纯试剂: 甲醇、乙腈、甲酸。

1.2 试验方法

1.2.1 标准溶液配制及标准曲线绘制 氟唑菌苯胺标准品用乙腈溶解, 配成质量浓度为 1 000 mg/L 的母液, 使用时用甲醇稀释成标准工作溶液。所有母液和工作溶液均于 -4°C 保存, 备用。用空白植株按 1.2.3 节提取方法得到的空白基质配制标准溶液, 以目标物峰面积对质量浓度绘制标准曲线。

1.2.2 氟唑菌苯胺在小麦植株中的吸收与传导

小麦种子播种于北京市农林科学院温室。于三叶期对小麦幼苗整株取样, 在室内用自来水洗净植株根部, 再用去离子水冲洗 2 次, 每 20 株为 1 个处理, 每处理设 3 次重复。

1.2.2.1 根部施药 将每 3 组幼苗根部分别浸泡在 0.01、0.1 和 1 mg/L 的氟唑菌苯胺药液中, 置于 $(24 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 70%~80%、光照强度 10 000 lx、光照时间 12 h/d 的人工气候培养箱中进行黑暗/光照交替培养。分别于培养 2、4、8、26、50、74 和 122 h 后取样, 分别用自来水、甲醇和去离子水清洗根部药液, 用吸水纸吸干。将植株根、茎、叶分开, 剪碎, 在研钵中加入液氮磨碎后于 -20°C 保存, 备用。

1.2.2.2 叶部施药 配制 200 mg/L 的氟唑菌苯胺水溶液, 加入土温-80 使其体积分数达到 0.01%, 以利于药剂在叶片上扩展。在每株小麦幼苗的第 2 片叶上施药 20 μL , 培养条件同根部施药。分别于培养 0、3、5、18、29、49 和 73 h 后取样, 分别用自来水、甲醇和去离子水清洗根部, 用吸水纸吸干。将植株根、茎、第 1 片叶、第 2 片叶和

第 3 片叶分开, 剪碎, 在研钵中加入液氮磨碎后于 -20°C 保存, 备用。

1.2.3 样品提取方法 采用 QuEChERS 样品前处理方法。准确称取 5 g 研磨均匀的小麦植株根、茎、叶样品于 40 mL 离心管中, 加入 10 mL 含 1% 乙酸的乙腈溶液, 涡旋振荡提取 2~3 min; 加入 4 g 无水硫酸镁和 1 g 氯化钠, 涡旋振荡 1 min, 于 5 000 r/min 下离心 10 min; 取 1 mL 上清液至 2 mL 离心管中, 加入 150 mg 无水硫酸镁和 10 mg 氯化钠, 涡旋振荡 1 min, 于 5 000 r/min 下离心 10 min; 取上层净化液 1 mL, 过 0.22 μm 滤膜, 待 UPLC-MS/MS 检测。

1.2.4 检测条件

色谱分析条件: Endeavorsil C_{18} 色谱柱 (100 mm \times 2.1 mm, 1.8 μm), 柱温 25°C , 样品室温度 10°C , 进样量 2 μL 。流动相 A 为 0.1% 甲酸水溶液, 流动相 B 为乙腈, 流速 0.2 $\mu\text{L}/\text{min}$ 。流动相梯度洗脱程序: 0~1 min, 10%~70% B; 1~1.5 min, 70%~95% B; 1.5~3.5 min, 95%~90% B; 3.5~4.0 min, 90%~10% B。

质谱分析条件: 电喷雾离子源, 正离子电离 (ESI⁺), 毛细管电压 3.20 kV, 离子源温度 150°C , 去溶剂温度 400°C ; 去溶剂气和锥孔气均为高纯液氮, 去溶剂气流速为 700 L/h, 锥孔气流速为 40 L/h; 碰撞气为高纯氩气; 采用多反应离子监测模式 (MRM), 用基质匹配标准溶液外标法定量。母离子 m/z 为 318.3, 子离子 m/z 分别为 234.2 和 141.1, 其中 m/z 为 234.2 的子离子作为定量离子; 碰撞能量分别为 16 eV 和 28 eV, 锥孔电压均为 30 V。

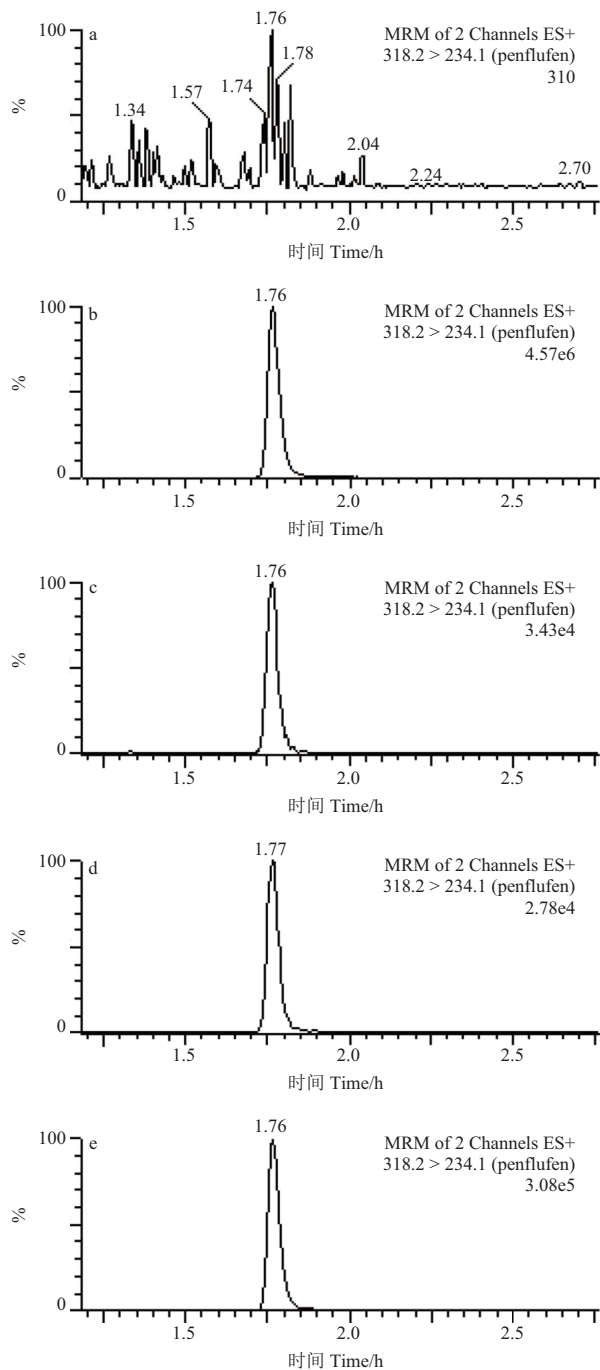
1.2.5 添加回收试验 分别取未经药剂处理的小麦植株根、茎和叶 5 g, 分别加入质量浓度为 1、10 和 20 mg/L 的氟唑菌苯胺标准工作溶液 25 μL , 使其添加水平分别为 0.005、0.05 和 0.1 mg/kg。按 1.2.3 节方法进行样品前处理, 按 1.2.4 节条件测定, 计算添加回收率和相对标准偏差。

2 结果与分析

2.1 检测方法

由图 1 可以看出: 在目标检测物保留时间附近没有其他干扰色谱峰。

在 0.5~100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 内, 氟唑菌苯胺的质量浓度与对应的峰面积间线性关系良好, 线性回归方程为



a. 植株空白; b. 氟唑菌苯胺标准溶液 (50 µg/L); c. 叶部样品 (0.1 mg/kg); d. 茎部样品 (0.1 mg/kg); e. 根部样品 (0.1 mg/kg)
a. Blank plant sample; b. Standard (50 µg/L); c. Leaf sample (0.1 mg/kg); d. Stem sample (0.1 mg/kg); e. Root sample (0.1 mg/kg).

图 1 在不同样品中添加氟唑菌苯胺后的典型色谱图

Fig. 1 Typical UPLC-MS-MS multiple reaction mode chromatograms of penflufen

$y = 12\,808.4x + 308.518$ ($r = 0.999\,8$)。以 3 倍信噪比计算, 方法检出限 (LOD) 为 $0.037\ \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

由表 1 可知: 在 0.005、0.05 和 0.1 mg/kg 添加水平下, 氟唑菌苯胺在小麦植株中的回收率为 92%~126%, 相对标准偏差为 0.50%~9.1%, 低于

表 1 氟唑菌苯胺在小麦植株中的添加回收率及相对标准偏差

Table 1 Recoveries and RSDs of penflufen in wheat plant ($n = 5$)

基质 Matrix	添加水平 Fortified level/(mg/kg)	平均回收率 Average recovery/%	RSD/%
叶 Leaf	0.005	124	7.3
	0.05	107	1.1
	0.1	92	5.8
茎 Stem	0.005	106	0.5
	0.05	126	6.9
	0.1	108	6.8
根 Root	0.005	95	9.1
	0.05	102	7.4
	0.1	94	1.7

10%。表明建立的检测方法适用于检测小麦植株样品中的氟唑菌苯胺。

2.2 氟唑菌苯胺在小麦植株中的吸收传导与分布

2.2.1 氟唑菌苯胺经根部施用后在小麦植株中的分布

结果 (表 2, 图 2) 表明: 氟唑菌苯胺经根部施药后, 能迅速被根部吸收并可通过根部向顶部传导, 且传导速度很快; 随处理浓度的增加, 药剂在不同部位的累积量增加。不同浓度的药剂处理, 随着处理时间延长, 其在小麦植株中的分布有所不同, 低浓度处理根部对药剂的吸收可快速达到最大值, 而后迅速下降并保持平衡状态, 高浓度处理根部的药剂一直保持上升累积状态。从总体趋势来看, 3 种药剂浓度处理, 叶部 (1 µg/mL 处理浓度除外) 和茎部的药剂含量均在处理 50 h 时达到最高, 随后逐渐下降并达到平衡。

2.2.2 氟唑菌苯胺经叶部施用后在小麦植株中的分布

结果 (表 3, 图 2) 表明: 叶部 (第 2 片叶) 施用 20 µL 质量浓度为 200 mg/L 的氟唑菌苯胺后, 药剂在植株中的吸收和传导速率也很快。叶片施药后 0~5 h 内, 施药叶片中氟唑菌苯胺的含量迅速下降, 而第 3 片叶中的药剂含量迅速上升并在 5 h 时达到最高值; 随后 5~73 h 施药叶片中氟唑菌苯胺的含量基本保持了平衡, 第 3 片中的药剂含量在 5~29 h 阶段处于下降趋势, 并在 29 h 后基本保持平衡状态; 旗叶中药剂含量在 18 h 达到最大, 而后缓慢下降并在 73 h 又达到最大; 根部中药剂含量在 18 h 达到最大, 而后缓慢下降; 茎部中药剂含量在处理 5 h 后基本达到平衡状态。

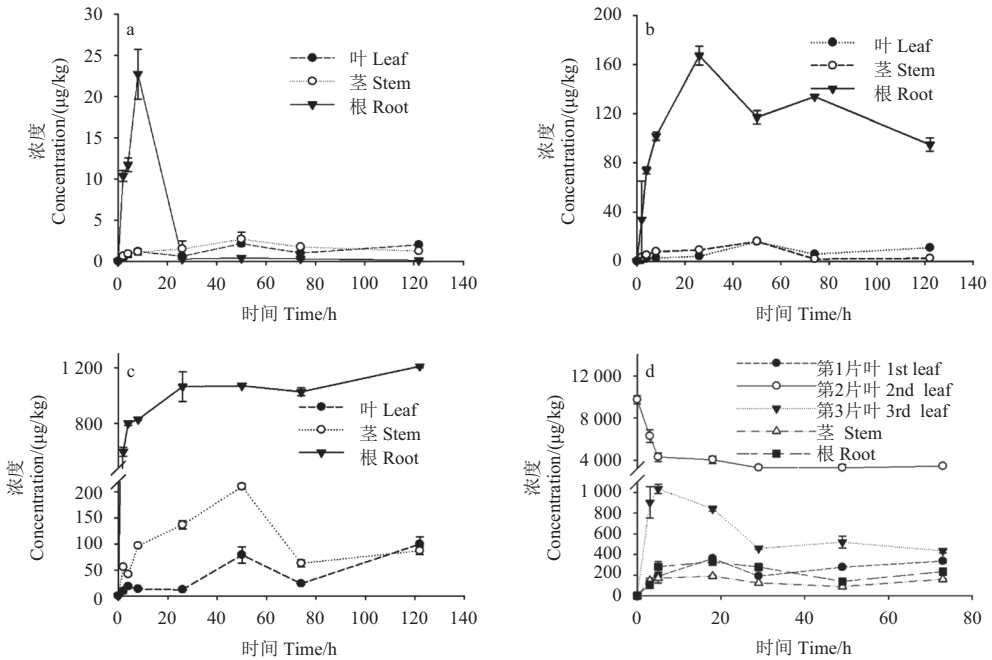
表 2 根部施用氟唑菌苯胺后其在小麦植株中的向顶传导与分布

Table 2 The acropetal transportation and distribution of penflufen in wheat plant (n = 3)

采样时间 Sampling time/h	处理浓度 Treatment conc./($\mu\text{g/mL}$)	氟唑菌苯胺含量 Distribution of penflufen/($\mu\text{g/kg}$)		
		叶部 Leaf	茎部 Stem	根部 Root
0	-	-	-	-
2	0.01	0.3 ± 0.0	0.6 ± 0.3	10.4 ± 0.6
	0.1	0.6 ± 0.1	3.1 ± 1.6	33.9 ± 3.2
	1	9.2 ± 4.2	55.5 ± 0.5	597.9 ± 32.0
4	0.01	0.8 ± 0.3	0.9 ± 0.3	11.7 ± 0.8
	0.1	1.9 ± 0.1	5.0 ± 0.7	74.0 ± 2.7
	1	18.3 ± 0.3	41.7 ± 2.4	802.5 ± 16.4
8	0.01	1.2 ± 0.2	1.1 ± 0.4	22.7 ± 3.0
	0.1	2.6 ± 0.5	7.9 ± 0.7	101.7 ± 3.5
	1	13.7 ± 1.1	96.8 ± 1.9	829.5 ± 7.3
26	0.01	0.6 ± 0.1	1.5 ± 0.9	0.3 ± 0.1
	0.1	4.0 ± 0.0	9.2 ± 0.2	167.3 ± 7.6
	1	12.1 ± 1.0	136.7 ± 7.8	1065.8 ± 106.6
50	0.01	2.1 ± 0.0	2.6 ± 0.9	0.4 ± 0.0
	0.1	15.9 ± 0.0	16.1 ± 1.2	117.0 ± 5.3
	1	78.9 ± 15.9	210.7 ± 5.4	1071.8 ± 1.6
74	0.01	1.0 ± 0.1	1.7 ± 0.2	0.3 ± 0.1
	0.1	5.8 ± 0.2	1.8 ± 0.6	133.9 ± 1.3
	1	23.5 ± 1.7	62.7 ± 6.5	1027.9 ± 27.1
122	0.01	2.0 ± 0.1	1.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0
	0.1	11.1 ± 0.6	2.4 ± 0.1	94.8 ± 5.5
	1	99.7 ± 13.8	87.1 ± 7.7	1211.7 ± 11.6

3 结论

在实验室条件下, 通过根部和叶部施药 2 种处理方式, 研究了氟唑菌苯胺向顶传导、跨叶传导和向基传导行为。结果表明: 通过根部施药, 氟唑菌苯胺能快速被小麦植株吸收, 并快速向茎部和叶部传导。根部对药剂的吸收过程首先是一个快速吸收阶段, 而后进入缓慢吸收并平衡阶段; 叶部和茎部中氟唑菌苯胺累积是缓慢累积并保持平衡。氟唑菌苯胺通过根部施药可以传导至茎部和叶部并在此累积。通过叶部单叶片施药, 氟唑菌苯胺也能快速被叶片吸收, 并可以跨叶传导至其他叶片并累积, 进而在茎部和根部累积。其中, 施药叶片中氟唑菌苯胺的含量在处理前期迅速下降, 在其下方叶片(第 3 片叶)中的氟唑菌苯胺快速累积并达到最大值后开始缓慢下降并平衡, 小麦植株的旗叶、茎部和根部中药剂的积累过程是快速吸收并保持基本平衡。氟唑菌苯胺通过叶部施药可以在叶间传导并累积, 而且可向茎部和根部传导。表明氟唑菌苯胺具有双向传导能力, 在生产实践中, 既可以通过种子处理或根部施药防治地上部病害, 也可通过地上部喷施防治根部病害。



a. 根部 0.01 mg/L 药剂处理; b. 根部 0.1 mg/L 药剂处理; c. 根部 1 mg/L 药剂处理; d. 叶部 200 mg/L 药剂处理。
a. Root treatment of 0.01 mg/L penflufen; b. Root treatment of 0.1 mg/L penflufen; c. Root treatment of 1 mg/L penflufen; d. Leaf treatment of 200 mg/L penflufen.

图 2 氟唑菌苯胺在小麦植株中的传导和分布

Fig. 2 The transportation and distribution of penflufen in wheat plant

表 3 叶部施用氟唑菌苯胺后在小麦植株中的向基传导与分布 (200 mg/L, n = 3)

Table 3 The basipetal transportation and distribution of penflufen in wheat plant (200 mg/L, n = 3)

采样时间 Sampling time/h	氟唑菌苯胺含量 Distribution of penflufen/($\mu\text{g}/\text{kg}$)				
	旗叶 (第 1 片叶) 1st leaf	第 2 片叶 2nd leaf	第 3 片叶 3rd leaf	茎部 Stem	根部 Root
0	-	9 741.5 \pm 405.7	-	-	-
3	112.6 \pm 42.3	6 279.8 \pm 626.5	904.0 \pm 152.2	148.0 \pm 22.2	109.0 \pm 7.1
5	188.8 \pm 33.9	4 285.3 \pm 408.1	1 035. \pm 45.3	171.7 \pm 49.6	280.2 \pm 49.2
18	360.3 \pm 15.4	4 028.0 \pm 354.2	841.8 \pm 24.3	190.2 \pm 7.0	327.6 \pm 1.9
29	190.2 \pm 3.2	3 267.6 \pm 188.7	458.8 \pm 8.5	124.2 \pm 4.0	277.2 \pm 15.2
49	276.4 \pm 14.7	3 261.5 \pm 317.2	519.0 \pm 57.7	89.3 \pm 13.5	138.3 \pm 10.1
73	334.7 \pm 17.7	3 432.5 \pm 64.8	434.6 \pm 20.4	160.6 \pm 3.1	233.7 \pm 15.5

参考文献 (Reference):

- [1] 顾林玲. 吡唑酰胺类杀菌剂——氟唑菌苯胺[J]. 现代农药, 2013, 12(2): 44-47.
GU L L. Penflufen, a new pyrazole—carboxamide fungicide[J]. Mod Agrochem, 2013, 12(2): 44-47.
- [2] 中国农药信息网. 农药登记数据查询系统[EB/OL]. [2017-03-26]. <http://www.chinapesticide.gov.cn/hysj/index.jhtml>.
China Pesticide Information Network. Pesticide registration data query system[EB/OL]. [2017-03-26]. <http://www.chinapesticide.gov.cn/hysj/index.jhtml>.
- [3] 朱书生, 刘西莉, 李健强, 等. 新型杀菌剂氟吗啉在黄瓜植株体内的吸收传导行为[J]. 高等学校化学学报, 2006, 27(10): 1887-1890.
ZHU S S, LIU X L, LI J Q, et al. Uptake and translocation behavior of new fungicide flumorph in cucumber plant[J]. Chem J Chin Univ, 2006, 27(10): 1887-1890.
- [4] 吴永刚, 黄诚, 施媛媛, 等. 农用杀菌剂的作用方式与分类[J]. 世界农药, 2009, 31(4): 1-6, 22.
WU Y G, HUANG C, SHI Y Y, et al. The classification of agricultural fungicides by mode of action[J]. World Pestic, 2009, 31(4): 1-6, 22.
- [5] 李健强, 刘西莉, 高黎力. ^{14}C -三唑酮在小麦幼苗上的吸收分布和影响因素[J]. 植物保护学报, 1999, 26(3): 271-276.
LI J Q, LIU X L, GAO L L. Uptake, distribution of ^{14}C -triazimefon in wheat seedling and the related interfering factors[J]. Acta Phytophylacica Sinica, 1999, 26(3): 271-276.
- [6] 王锋, 李金玉, 李宝笃. 碳标记甲霜灵在黄瓜植株体内的吸收、分布、传导以及种衣剂缓释作用的研究[J]. 植物病理学报, 1995, 25(2): 167-170.
WANG F, LI J Y, LI B D. The uptake, distribution and translocation of ^{14}C -metalaxyl in cucumber plants and the slowly releasing effect of seed coating formulation[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 1995, 25(2): 167-170.
- [7] 张龙, 刘西莉, 李健强, 等. 拟银杏杀菌剂邻烯丙基苯酚的内吸传导作用[J]. 高等学校化学学报, 2004, 25(4): 654-658.
ZHANG L, LIU X X, LI J Q, et al. Intake transportation function of Ginkgo-imitated fungicide of 2-allyl phenol[J]. Chem J Chin Univ, 2004, 25(4): 654-658.
- [8] 乔金龙, 毛晨蕾, 王珏, 等. 啶酰菌胺在黄瓜植株上的吸收与消解[J]. 农药, 2013, 52(5): 360-362.
QIAO J L, MAO C L, WANG J, et al. Uptake and degradation of boscalid in cucumber plants[J]. Agrochemicals, 2013, 52(5): 360-362.
- [9] 曲田丽, 孟昭礼, 李健强. 高效液相色谱法研究邻烯丙基苯酚在小麦植株中的向基传导和分布[J]. 分析化学, 2006, 34(7): 1023-1026.
QU T L, MENG Z L, LI J Q. Study on transportation and distribution of fungicide *O*-allylphenol from the leave to root in wheat seedling by high performance liquid chromatography-photodiode array detection[J]. Chin J Anal Chem, 2006, 34(7): 1023-1026.
- [10] 吴玉娥, 李静, 郑坤明, 等. UPLC-HRMS 法探究氯虫苯甲酰胺在水稻植株中的内吸传导特性[J]. 农药, 2017, 56(3): 176-179.
WU Y E, LI J, ZHENG K M, et al. The systemic properties of chlorantraniliprole in rice plant by UPLC-HRMS[J]. Agrochemicals, 2017, 56(3): 176-179.
- [11] 杨欢, 孙伟华, 曹赵云, 等. 改良 QuEChERS 方法快速测定果蔬中 8 种新型琥珀酸脱氢酶抑制剂类杀菌剂[J]. 色谱, 2016, 34(11): 1070-1076.
YANG H, SUN W H, CAO Z Y, et al. Determination of eight novel succinate dehydrogenase inhibitor fungicides in vegetables and fruits by modified QuEChERS[J]. Chin J Chromatogr, 2016, 34(11): 1070-1076.
- [12] 董文凯, 吴进龙, 姜宜飞, 等. 氟唑菌苯胺原药高效液相色谱分析方法研究[J]. 农药科学与管理, 2015, 36(7): 52-54.
DONG W K, WU J L, JIANG Y F, et al. Analytical method of penflufen TC by HPLC[J]. Pesti Sci Admin, 2015, 36(7): 52-54.

(责任编辑: 曲来娥)