

郭亚军,赵明,陈小军,等. 三氟苯嘧啶在稻田中的降解动态和残留分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(2):71-75,80.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.02.013

三氟苯嘧啶在稻田中的降解动态和残留分析

郭亚军¹, 赵明², 陈小军², 王晓林³, 张军⁴

(1. 江苏省扬州市江都区农业技术推广中心, 江苏扬州 225200; 2. 扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏扬州 225009;
3. 江苏省扬州市江都区大桥镇农业农村局, 江苏扬州 225211; 4. 扬州市职业大学, 江苏扬州 225012)

摘要:采用 LC-MS/MS(液相色谱-质谱/质谱)法研究了 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂中三氟苯嘧啶在江苏省扬州市、安徽省宣城市 2 地水稻田中的残留降解动态和最终残留量。研究表明,三氟苯嘧啶在稻田水稻植株、土壤和田水中降解动态符合一级动力学方程,在水稻植株、土壤和田水中的降解半衰期分别为 9.40~11.26、5.53~5.89、7.99~8.25 d。10% 三氟苯嘧啶悬浮剂分别以 225、337.5 mL/hm² 这 2 个剂量施用后,在土壤中最终残留浓度分别为 0.010~0.014、0.028~0.037 mg/kg,在稻米中最终残留浓度分别为 0.003~0.006、0.008~0.009 mg/kg。三氟苯嘧啶在大米中的残留浓度低于农药残留联席会议规定的大米中三氟苯嘧啶的残留限量标准,在此剂量下使用三氟苯嘧啶对水稻及环境是安全的。

关键词:三氟苯嘧啶;水稻;土壤;田水;降解;残留

中图分类号: S482.3; TQ450.2⁺63 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)02-0071-05

作为一类危害极重的专食性水稻害虫,稻飞虱严重地影响了我国水稻的产量和品质,严重威胁了中国的粮食安全^[1-3]。多年来,用于防治稻飞虱的农药主要有噻虫嗪、烯啶虫胺等新烟碱类杀虫剂,以及吡蚜酮、噻嗪酮等杀虫剂。然而,由于长期单一使用此类药剂,导致稻飞虱对大部分新烟碱类杀虫剂、吡蚜酮、噻嗪酮等产生了较高的抗药性^[4-6]。因此,田间防控稻飞虱时农药施药量大大增加,进而导致环境问题日益严重^[7-8],也导致对非靶标生物的毒性效应也逐渐暴露出来。前人研究表明蜜蜂种群的减少与新烟碱类农药的大量使用具有一定的关系^[9-10]。

三氟苯嘧啶(Triflumezopyrim, CAS: 1263133-33-0)是一种新型介离子类杀虫剂^[11-12]。目前,在我国取得登记的三氟苯嘧啶制剂产品主要有 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂和 23% 溴酰·三氟苯悬浮

剂、11% 阿维·三氟苯悬浮剂和 19% 氯虫·三氟苯悬浮剂^[13]。三氟苯嘧啶可以通过抑制昆虫乙酰胆碱受体上正构位点的结合来有效防治棉花、水稻等作物上的稻飞虱、叶蝉等农业害虫^[14-15]。此外,越来越多的研究表明三氟苯嘧啶防治稻飞虱表现出极好的效果。Zhu 等研究发现三氟苯嘧啶对褐飞虱的杀虫活性远高于吡虫啉^[16]。张国等研究发现三氟苯嘧啶对田间褐飞虱和白背飞虱 14 d 后的防治效果可达到 90% 以上^[17]。虽然三氟苯嘧啶同样作用于昆虫的烟碱乙酰胆碱受体,但作用机理不同于现有的新烟碱类杀虫剂^[18-19]。除此之外,目前的研究表明三氟苯嘧啶对天敌生物具有较高的选择性和安全性,如三氟苯嘧啶对传粉媒介昆虫等非靶标生物体影响较小^[19]。目前,三氟苯嘧啶施用后在稻田中的降解动态和安全性评价研究未见报道。因此,探讨三氟苯嘧啶在水稻种植环境中残留降解动态和稻米中的最终残留量,可为稻米生产中三氟苯嘧啶残留的控制和环境风险评估提供科学依据,具有一定的生产指导意义。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器设备

97% 三氟苯嘧啶原粉:由扬州大学农药研究所制备和提纯;10% 三氟苯嘧啶悬浮剂:美国杜邦公司生产;PSA(N-丙基乙二胺)和 C₁₈:国药集团化学

收稿日期:2020-10-24

基金项目:江苏省重点研发计划(编号:BE2019340、BE2018362);江苏省扬州市科技计划(编号:YZ2019139)。

作者简介:郭亚军(1975—),男,江苏扬州人,硕士,高级农艺师,主要从事植保、栽培、农药学及农产品安全监测研究。E-mail: 381896070@qq.com。

通信作者:陈小军,博士,副教授,主要从事植物保护学和农药残留分析研究,E-mail:cxj@yzu.edu.cn;张军,博士,教授,从事作物高效栽培生态生理及优质清洁生产研究。

试剂有限公司。BSA224S - CW 型电子天平(精确至 0.000 1 g);Agilent 1200 - 6460 型三重串联四极杆液相色谱 - 质谱联用仪;美国 Agilent 公司;Lyoquest - 55 型冷冻干燥机;Telstar 公司;涡旋搅拌器 MX - F;北京科博赛尔上海萌睿生物科技;台式高速离心机;湖南赫西仪器装备有限公司。

1.2 试验设计

1.2.1 降解动态试验 三氟苯嘧啶在稻田中的降解动态试验按照农业农村部农药残留试验方法进行^[20]。选择江苏省扬州市江都区小纪镇水稻田、安徽省试验地块为安徽省宣城市郎溪县水稻田为供试试验田。供试水稻品种为“南粳 9108”。试验区面积 180 m²,平均分为 2 个区,分别用于 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂处理和空白对照,每个处理面积各 90 m²。施药处理时间是水稻的分蘖高峰期。施药前田间先灌入 5 ~ 7 cm 水层,随后堵塞所有的排灌口。将 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂喷雾施用,试验用量是制剂量 225 mL/hm²,药后田水不排不灌。另设空白对照(CK),空白对照仅施氮肥,每处理重复 3 次。分别于药后 2 h 及 1、3、5、7、14、21 d,定时采集分析样本。

水稻植株样品的采集:随机抽取试验小区地表以上的植株 1.0 kg,用粉碎机粉碎,均匀混合后,用四分法取样,每份 250 g 分别装于封口袋编号,贮存于 -20 ℃ 冰柜中。

土壤样品的采集:将泥土转入瓷盆中,放入恒温箱 60 ℃ 烘干后,经粉碎机粉碎后,过 40 目筛,混匀后称量进行缩分留取 500 g,装入保鲜袋,放入 -20 ℃ 低温贮存,待处理分析。

田水样品的采集:混合均匀,沉淀过滤后量取 2 000 mL,装入胶罐中,在 -20 ℃ 保存,待处理分析。

1.2.2 最终残留试验 按照农业农村部农药残留试验方法进行^[20]。将最终残留试验区分成 3 个区,每个区组划分成 3 个小区。稻株在分蘖的高峰期施药,10% 三氟苯嘧啶悬浮剂试验剂量分别是 225.0 mL/hm²(常规剂量)和 337.5 mL/hm²(高剂量),另设空白对照,共 3 个处理,每处理 3 次重复,各个处理随机排列。将 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂稀释后喷雾施用,施药后保留水层约 7 d,以后按照水稻高产栽培技术进行正常的田间管理。于水稻完全成熟时,采集分析样本。

土壤样品的取样:将泥土转入瓷盆中,放入恒

温箱 60 ℃ 烘干后,经粉碎机粉碎后,过 40 目筛,混匀后称量进行缩分留取 500 g,装入保鲜袋,放入 -20 ℃ 低温贮存,待处理分析。

稻米样品的取样:每小区收割水稻全株约 3 kg,分别用密封袋包装好后运回实验室,脱粒,将稻谷和植株分开。稻谷在玻璃网室中自然晒干,然后进行筛选,剔除空粒和不饱满的籽粒,余下饱满的谷粒进行缩分,保留约 500 g,装保鲜袋放入 -20 ℃ 低温保存,待处理分析。

1.3 残留样品的前处理方法

1.3.1 植株和稻米样品 采用 QuEChERS 法制备、净化样品。具体方法参照文献[21],样品经前处理后,待 LC - MS/MS 分析。

1.3.2 土壤样品 采用 QuEChERS 法制备、净化样品。分别称取不同地区水稻田土壤样品 5 g 于 50 mL 离心管,每处理重复 3 次。加入 1 g 氯化钠、2 g 无水硫酸镁和 5 mL 乙腈匀浆后,6 000 r/min 离心 5 min;取上清液 2 mL,加入 50 mg 无水硫酸镁和 100 mg PSA - C₁₈(质量比 1 : 1),于 6 000 r/min 下离心 5 min;取 1 mL 上清液氮吹至干,用 1 mL 色谱纯乙腈溶解,过 0.45 μm 有机滤膜,待 LC - MS/MS 分析。

1.3.3 田水样品 采用液液萃取法制备样品。分别取经过滤后的水体样 10 mL 于 50 mL 离心管中,添加水平分别为 1、0.5 和 0.05 mg/kg,每处理重复 3 次。加入 4 mL 乙酸乙酯 - 二氯甲烷(体积比 1 : 1)混合溶液和 2 g 氯化钠,振荡 3 min,静置 2 min;取上清液 2 mL,加入适量的无水硫酸钠,摇匀振荡后取 1 mL 上清液氮吹至干,用 1 mL 色谱纯乙腈溶解,过 0.45 μm 有机滤膜过滤后,待 LC - MS/MS 分析。

1.4 三氟苯嘧啶在水稻植株、稻米、土壤及田水中的添加回收率

分别称取 5.0 g 空白植株、稻米或土壤样品于 50 mL 离心管中,各加入一定量的三氟苯嘧啶标准溶液,水稻植株、稻米、土壤中所添加的浓度水平分别为 0.02、0.05、0.10 mg/kg,田水中所添加的浓度水平分别为 0.02、0.05、0.10 mg/L,同时设置空白对照,每处理重复 3 次。计算添加回收率及标准偏差。

1.5 三氟苯嘧啶的 LC - MS/MS 检测条件

色谱检测条件:Agilent Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(150 mm × 4.6 mm,5 μm);柱温:35 ℃;进样量:

5 μL;流动相为乙腈(A)和 0.5% 甲酸水溶液(B),梯度洗脱比例为 0 min,A:B=40:60(体积比);0~3 min,A:B=90:10(体积比);3~10 min,A:B=40:60(体积比);流速:0.3 mL/min。

质谱检测条件:离子源:ESI,负离子扫描;检测模式:多反应检测模式;去簇电压:-120 V;干燥气体温度:300 ℃,干燥气体流速:10 L/min,雾化气压力:15 psi,鞘气温度:250 ℃,鞘气流速:7 L/min,毛细管电压:4 kV,喷嘴电压:500 V。三氟苯嘧啶的定性离子对 399/306、定量离子对为 399/279^[21]。

1.6 数据分析

农药降解动力学方程按一级动力学方程计算:

$$C_t = C_0 e^{-kt}, t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}。$$

式中: $t_{1/2}$ 为降解半衰期, k 为降解速率常数, C_0 为三氟苯嘧啶的初始浓度, C_t 为 t 时刻三氟苯嘧啶的残存浓度。

2 结果与分析

2.1 三氟苯嘧啶在植株、稻米、土壤和田水中的添加回收率

对水稻植株、稻米、土壤和田水等各基质中残留的三氟苯嘧啶进行定性和定量分析时,其定性离子对为 399/306、定量离子对为 399/279。在检测分析时,水稻植株、稻米、土壤和田水中三氟苯嘧啶的最低检出浓度分别是 0.003 mg/kg、0.003 mg/kg、0.003 mg/kg、0.003 mg/L。各基质中三氟苯嘧啶的

添加回收率是 82.75%~92.50%,结果(表 1)表明,各样本的添加回收率和变异系数在允许范围内,符合农药残留分析的要求^[20]。

表 1 三氟苯嘧啶在植株、稻米、土壤和田水中的添加回收率

样品	添加浓度 (mg/kg 或 mg/L)	回收率(%)		变异系数 (%)
		平均	标准差	
植株	0.02	82.75	6.15	7.44
	0.05	84.21	2.49	2.96
	0.10	92.50	2.35	2.54
稻米	0.02	89.42	3.94	4.40
	0.05	83.64	3.43	4.10
	0.10	90.31	1.30	1.43
土壤	0.02	87.60	3.46	3.95
	0.05	88.73	4.04	4.55
	0.10	89.57	2.40	2.69
田水	0.02	83.53	4.83	5.78
	0.05	89.08	4.33	4.86
	0.10	86.97	2.48	2.85

注:表内数字是 3 次重复平均值。

2.2 三氟苯嘧啶在水稻种植环境中的降解动态

2.2.1 水稻植株中三氟苯嘧啶的降解动态 三氟苯嘧啶在江苏省扬州市水稻植株中降解动力学方程为 $C_t = 5.490 1e^{-0.074 2t}$,降解半衰期为 9.34 d;三氟苯嘧啶在安徽省宣城市水稻植株上的三氟苯嘧啶的降解动力学方程为 $C_t = 5.794 7e^{-0.061 5t}$,降解半衰期为 11.26 d(表 2)。三氟苯嘧啶在 2 地水稻植株上的降解动态见图 1。

表 2 三氟苯嘧啶在水稻种植环境的降解动力学参数

水稻环境	试验地点	降解动力学方程	相关系数 r^2	速率常数 k	半衰期 (d)
水稻植株	江苏扬州	$C_t = 5.490 1e^{-0.074 2t}$	0.994 8	0.074 2	9.34
	安徽宣城	$C_t = 5.794 7e^{-0.061 5t}$	0.998 6	0.061 5	11.26
土壤	江苏扬州	$C_t = 1.917 6e^{-0.125 3t}$	0.987 2	0.125 3	5.53
	安徽宣城	$C_t = 2.104 4e^{-0.117 7t}$	0.987 9	0.117 7	5.89
田水	江苏扬州	$C_t = 0.495 0e^{-0.086 8t}$	0.987 6	0.086 8	7.99
	安徽宣城	$C_t = 0.513 2e^{-0.084 0t}$	0.990 5	0.084 0	8.25

2.2.2 土壤中三氟苯嘧啶的降解动态 三氟苯嘧啶在江苏省扬州市水稻田土壤中降解动力学方程为 $C_t = 1.917 6e^{-0.125 3t}$,降解半衰期为 5.53 d;三氟苯嘧啶在安徽省宣城市水稻田土壤中的三氟苯嘧啶的降解动力学方程为 $C_t = 2.104 4e^{-0.117 7t}$,降解半衰期为 5.89 d(表 2)。三氟苯嘧啶在 2 地水稻田土

壤中的降解动态见图 2。

2.2.3 田水中三氟苯嘧啶的降解动态 三氟苯嘧啶在江苏省扬州市稻田田水中降解动力学方程为 $C_t = 0.495 0e^{-0.086 8t}$,降解半衰期为 7.99 d;三氟苯嘧啶在安徽省宣城市稻田田水中的三氟苯嘧啶的降解动力学方程为 $C_t = 0.513 2e^{-0.084 0t}$,降解半衰期

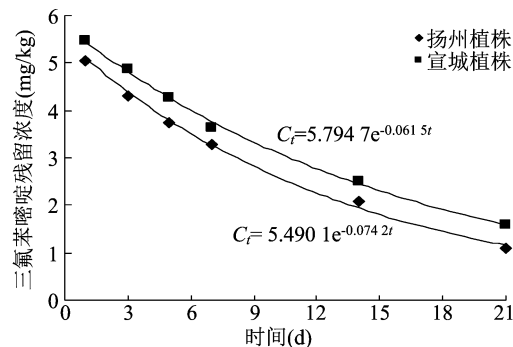


图1 三氟苯嘧啶在江苏省扬州市和安徽宣城 2 地水稻植株上的降解动态

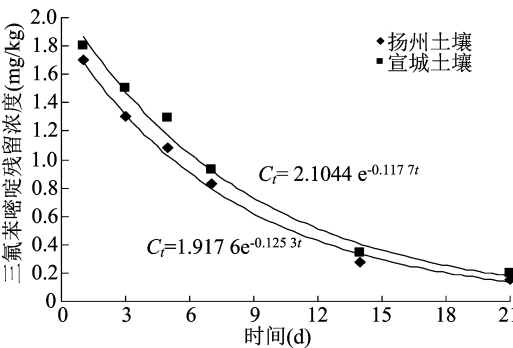


图2 三氟苯嘧啶在江苏省扬州市和安徽宣城 2 地稻田土壤中的降解动态

为 8.25 d (表 2)。三氟苯嘧啶在 2 地稻田田水中的降解动态见图 3。

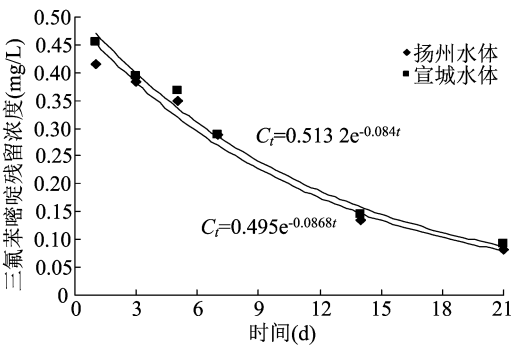


图3 三氟苯嘧啶在江苏省扬州市和安徽宣城 2 地稻田田水中的降解动态

- 2.3 三氟苯嘧啶在稻米和土壤中的最终残留量
- 2.3.1 土壤中三氟苯嘧啶的最终残留量 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂以 225.0 mL/hm² 和 337.5 mL/hm² 剂量喷雾施用后,三氟苯嘧啶在江苏省扬州市土壤中最终残留量为 0.010 ~ 0.028 mg/kg,在安徽省宣城市土壤中最终残留量为 0.014 ~ 0.037 mg/kg (表 3)。
- 2.3.2 稻米中三氟苯嘧啶的最终残留量 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂以 225.0 mL/hm² 剂量在水稻上喷雾施用后,在江苏省扬州市和安徽省宣城市 2 地稻

施药剂量 (mL/hm ²)	土壤中最终残留量 (mg/kg)	
	江苏扬州	安徽宣城
225.0	0.010	0.014
337.5	0.028	0.037
CK	—	—

注:表内数字是 3 次重复平均值。

米中残留的三氟苯嘧啶浓度分别为 0.003、0.006 mg/kg;以 337.5 mL/hm² 剂量在水稻上喷雾施用后,在江苏省扬州市和安徽省宣城市稻米中的三氟苯嘧啶的残留量分别为 0.008、0.009 mg/kg (表 4)。

施药剂量 (mL/hm ²)	稻米最终残留量 (mg/kg)	
	江苏扬州	安徽宣城
225.0	0.003	0.006
337.5	0.008	0.009
CK	—	—

注:表内数字是 3 次重复平均值。

3 讨论及结论

三氟苯嘧啶在水稻种植环境中的降解动态符合一级动力学方程,但在水稻植株、土壤、田水中降解速率是有差别的。三氟苯嘧啶在江苏省扬州市和安徽省宣城市水稻植株中的降解半衰期分别为 9.73、10.70 d,在稻田土壤中的降解半衰期分别为 5.53、5.89 d,在稻田田水中的降解半衰期分别为 7.99、8.25 d。在 2 地的降解半衰期不同主要由 2 地的土壤类型、性质、环境温度等因素引起。根据三氟苯嘧啶的化学结构及相关研究^[22],它在水稻种植环境中发生降解,其降解产物可能为 IN - R3Z91、IN - RPA16、IN - RPA19、IN - RPA47、IN - RUB93、IN - R6U70、IN - R6U71、IN - R6U72、IN - R6U73、IN - SBV06 和 IN - Y2186,其降解可能路径见图 4,在不同环境介质中的降解路径可以根据具体的降解产物进行分析和确定。

由于三氟苯嘧啶是防治水稻飞虱的有效杀虫剂,10% 三氟苯嘧啶悬浮剂在实际应用时,建议使用剂量是 225.0 ~ 337.5 mL/hm²,在此使用剂量下三氟苯嘧啶对水稻苗及环境是安全的。美国于 2017 年对三氟苯嘧啶的最大残留限量进行了规定,在去壳大米和含壳大米中的最大残留限量分别为 0.4、

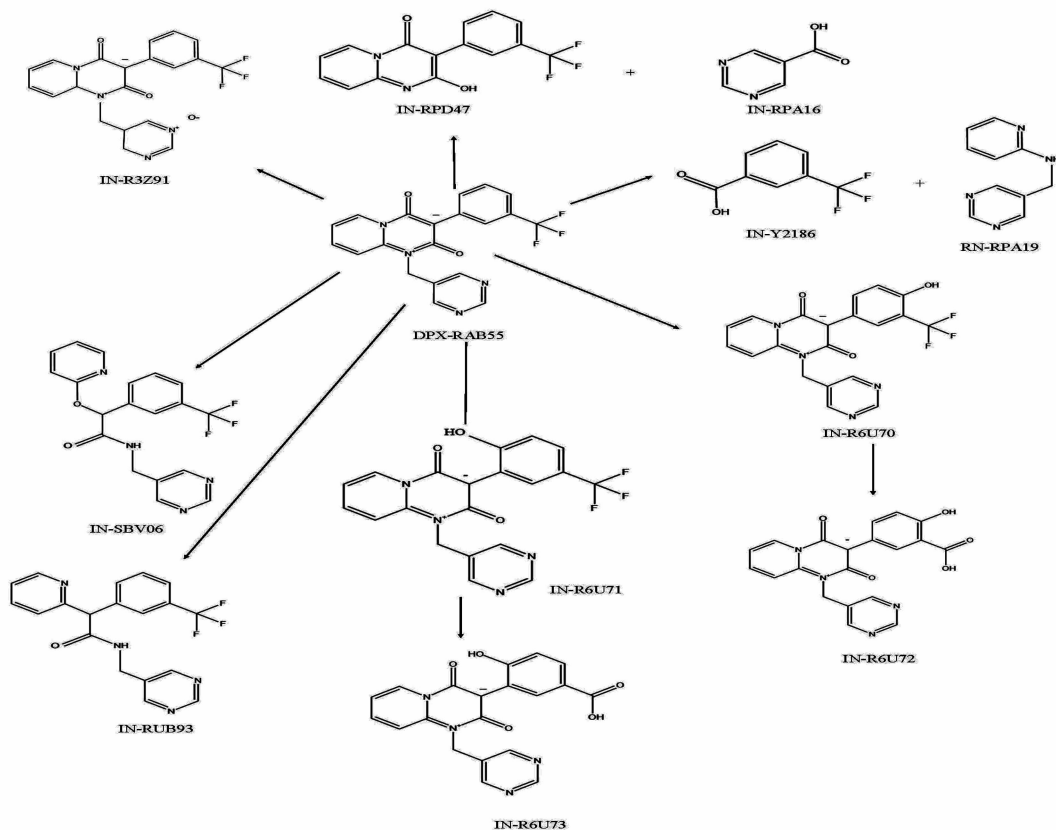


图4 三氟苯嘧啶在水稻中的可能降解路径

1.0 mg/kg;日本于 2018 年发布的大米中三氟苯嘧啶的最大残留限量为 0.01 mg/kg;加拿大卫生部发布大米中的三氟苯嘧啶最大限量为 0.2 mg/kg^[23]。农药残留联席会议和欧洲食品安全管理局建议的三氟苯嘧啶的最大残留限量,除农药残留联席会议对大米中三氟苯嘧啶的残留限量为 0.2 mg/kg 外,其余国家和地区中规定大米中三氟苯嘧啶的残留限量为 0.01 mg/kg^[23-24]。

本研究中采用 LC-MS/MS 法研究了三氟苯嘧啶在江苏省、安徽省 2 地水稻植株、土壤和田水中的残留降解动态和在稻米和土壤中的最终残留量。研究表明,三氟苯嘧啶在水稻植株、土壤和田水中降解动态符合一级动力学方程,在水稻植株、土壤和田水中的降解半衰期分别为 9.4 ~ 11.26、5.53 ~ 5.89、7.99 ~ 8.25 d;10% 三氟苯嘧啶悬浮剂以 225.0、337.5 mL/hm² 这 2 个剂量施药后,在土壤中最终残留量分别为 0.01 ~ 0.014、0.028 ~ 0.037 mg/kg,在稻米中最终残留量分别为 0.003 ~ 0.006、0.008 ~ 0.009 mg/kg,残留量低于农药残留联席会议规定的大米中三氟苯嘧啶的残留限量标准,在此使用剂量下使用三氟苯嘧啶对水稻及环境是安全的。

参考文献:

- [1] 吴利红, 姜伟平, 姚益平, 等. 水稻农业气象指数保险产品的设计——以浙江省为例[J]. 中国农业科学, 2010, 43(23): 4942 - 4950.
- [2] 刘万才, 刘振东, 黄冲等. 近 10 年农作物主要病虫害发生危害情况的统计和分析[J]. 植物保护, 2016, 42(5): 1 - 9.
- [3] Hu G, Lu M H, Tuan H A, et al. Population dynamics of rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* (Hemiptera, Delphacidae) in Central Vietnam and its effects on their spring migration to China[J]. Bulletin of Entomological Research, 2017, 107(3): 369 - 381.
- [4] 张 帅. 2014 年全国农业有害生物抗性监测结果及科学用药建议[J]. 中国植保导刊, 2015, 35(3): 65 - 69.
- [5] Liao X, Mao K K, Ali E, et al. Temporal variability and resistance correlation of sulfoxaflo susceptibility among Chinese populations of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. Crop Protection, 2017, 102: 141 - 146.
- [6] 廖 逊, 万 虎, 李建洪. 褐飞虱对杀虫剂抗性研究进展[J]. 农药学报, 2019, 21(Z1): 718 - 728.
- [7] Tanner G, Czerwenka C. LC-MS/MS analysis of neonicotinoid insecticides in honey: methodology and residue findings in Austrian honeys[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(23): 12271 - 12277.

- [4]肖 艳,黄建昌,李宏彬. 采前喷钙和萘乙酸对草莓耐贮性的影响[J]. 中国果树,1998(2):24,28,25.
- [5]Milić B, Tarlanović J, Keserović Z, et al. Bioregulators can improve fruit size, yield and plant growth of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 235: 214–220.
- [6]赵 权,高 静. NAA 和 6-BA 对山葡萄果实着色及相关品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(30):18443–18445.
- [7]徐晓峰,黄学林. TDZ:一种有效的植物生长调节剂[J]. 植物学通报, 2003, 20(2):227–237.
- [8]张宗勤,董丽芬,张 波,等. TDZ 对树莓微繁殖的影响[J]. 经济林研究, 2004, 22(4):50–52.
- [9]Famiani F, Battistelli A, Moscatello S, et al. Thidiazuron affects fruit growth, ripening and quality of *Actinidia deliciosa* [J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 1999, 74(3):375–380.
- [10]高兆银,朱 敏,李 敏,等. 喷施噻苯隆(TDZ)对芒果果实产量、品质和采后贮藏特性的影响[J]. 果树学报, 2018, 35(4):481–490.
- [11]谢 周,程媛媛,李小红,等. TDZ 对夏黑葡萄果实生长与品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2009, 37(3):188–190.
- [12]赵慧芳,王小敏,闫连飞,等. 黑莓果实中花色苷的提取和测定方法研究[J]. 食品工业科技, 2008(5):176–179.
- [13]赵慧芳,吴文龙,马 丽,等. 基于抗氧化活性分析的蓝莓多酚提取工艺[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5):251–254, 266.
- [14]陈 斓. 小浆果将成为新的经济增长点[J]. 云南农业, 2003(4):37.
- [15]郝 瑞,曲路平,夏景岐. 丹麦及联邦德国小浆果栽培考察报告[J]. 吉林农业大学学报, 1998, 10(3):37–40.
- [16]朱 敏,邓穗生,何书强,等. NAA 和爱多收对海南贵妃芒产量和果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(1):116–121.
- [17]李建国,黄旭明,黄辉白. NAA 增大荔枝果实及原因分析[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2004, 25(2):10–12.
- [18]Itai A, Tanabe K, Tamura F, et al. Synthetic cytokinins control persimmon fruit shape, size and quality[J]. Horticultural Science, 1995, 70(6):867–873.
- [19]马 玮,史玉滋,段 颖,等. 南瓜果实淀粉和可溶性固形物研究进展[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(11):1–5.
- [20]熊喜红,徐晓云,张 强,等. 湖北和云南地区蓝莓果实加工特性研究[J]. 北方园艺, 2020(2):23–31.
- [21]Lapornik B, Prosek M, Wondra A G. Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 71(2):214–222.

(上接第 76 页)

- [8]Wang P, Yang X, Wang J, et al. Multi-residue method for determination of seven neonicotinoid insecticides in grains using dispersive solid-phase extraction and dispersive liquid-liquid micro-extraction by high performance liquid chromatography[J]. Food Chemistry, 2012, 134(3):1691–1698.
- [9]Whitehorn P R, O'Connor S, Wackers F L, et al. Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production[J]. Science, 2012, 336(6079):351–352.
- [10]Guez D. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees: questioning the ecological relevance[J]. Frontiers in physiology, 2013, 4:37.
- [11]Zhang W M, Holyoke C, Pahutski T, et al. Triflumezopyrim (DuPont Pyraxalt (R)): Discovery and optimization of mesoionic pyrido[1,2-a]pyrimidinones as a novel class of insecticides[J]. Abstracts of Papers of the American Chemical Society, 2017, 254:389.
- [12]Zhang W M. Mesoionic pyrido[1,2-a]pyrimidinone insecticides: from discovery to triflumezopyrim and dicloromezotiaz[J]. Accounts of Chemical Research, 2017, 50(9):2381–2388.
- [13]刘 刚. 国内企业首次登记三氟苯嘧啶产品[J]. 农药市场信息, 2018(26):38.
- [14]杨 光. 杜邦三氟苯嘧啶将获我国首登[J]. 农药市场信息, 2016(21):37.
- [15]孙华明,陈定军,吴 波,等. 三氟苯嘧啶悬浮剂对稻飞虱田间防效试验[J]. 作物研究, 2017(增刊1):741–743.
- [16]Zhu J, Li Y, Jiang H, et al. Selective toxicity of the mesoionic insecticide, triflumezopyrim, to rice planthoppers and beneficial arthropods[J]. Ecotoxicology, 2018, 27(4):411–419.
- [17]张 国,于居龙,庄义庆,等. 三氟苯嘧啶对稻飞虱的控制效果与应用技术研究[J]. 农学学报, 2019, 9(4):32–38.
- [18]Cordova D, Benner E A, Schroeder M E, et al. Modes of action of triflumezopyrim; a novel mesoionic insecticide which inhibits the nicotinic acetylcholine receptor[J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2016, 74:32–41.
- [19]Holyoke C W Jr, Zhang W M, Pahutski T F Jr, et al. Triflumezopyrim: discovery and optimization of a mesoionic insecticide for rice[J]. Abstracts of Papers of the American Chemical Society, 2014, 248:446.
- [20]中华人民共和国农业农村部. 农作物中农药残留试验准则: NY/T 788—2018[S]. 2018.
- [21]Fan T L, Chen X J, Xu Z Y, et al. Uptake and translocation of triflumezopyrim in rice plants[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(27):7086–7092.
- [22]Triflumezopyrim (303) [EB/OL]. [2020-10-09]. http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation2017/TRIFLUMEZOPYRIM__303.pdf.
- [23]European Food Safety Authority. Scientific Support for Preparing an EU Position in the 50th Session of the Codex Committee on Pesticide Residues[EB/OL]. (2018-05-17) [2018-10-25]. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2018.5306>.
- [24]谭海军. 新型介离子嘧啶酮类杀虫剂三氟苯嘧啶及其开发[J]. 现代农药, 2019, 18(5):42–46.