

丙炔氟草胺与二甲戊灵复配的联合除草作用及对棉花的安全性

王恒智, 谭金妮, 吕学深, 赵孔平, 刘伟堂, 王金信*

(山东农业大学 植物保护学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 为明确丙炔氟草胺与二甲戊灵复配的联合除草作用及其对棉花的安全性, 采用室内生物测定方法, 研究了复配制剂的联合除草类型, 测定了其对不同品种棉花的安全性及其在棉花与杂草之间的选择性指数, 并对复配制剂进行田间药效试验。温室试验结果显示: 丙炔氟草胺与二甲戊灵按不同质量比复配后, 对供试杂草马齿苋、反枝苋和马唐均呈现加成或增效作用。其中丙炔氟草胺与二甲戊灵按质量比 1 : 10 复配后的除草活性高于二甲戊灵单剂, 其在供试棉花品种与供试杂草的选择性指数在 25.81~39.39 之间, 与两种单剂相比, 在一定程度上提高了对棉花的安全性。田间药效试验结果显示: 丙炔氟草胺与二甲戊灵复配后综合了两种单剂的优势, 对铁苋菜、反枝苋、马齿苋、藜和牛筋草均有很好的防除效果且对棉花安全。

关键词: 丙炔氟草胺; 二甲戊灵; 联合作用; 棉花; 安全性

中图分类号: S482.4; TQ450.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2018)03-0309-07

Evaluation of herbicidal activity and safety to cotton of the combination of flumioxazin and pendimethalin

WANG Hengzhi, TAN Jinni, LV Xueshen, ZHAO Kongping, LIU Weitang, WANG Jinxin*

(College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong Province, China)

Abstract: The weed control efficacy and the safety to cotton of the combination of flumioxazin and pendimethalin were evaluated. Whole-plant dose response experiments were conducted in greenhouse to evaluate the joint effect type, the safety to different cotton varieties, and the selectivity index of the mixtures. Weed control efficacy and response of cotton to the mixtures were also investigated in field experiments. The results of greenhouse study showed that the joint effect type was either additive or synergistic when flumioxazin was mixed with pendimethalin for the control of *Portulaca oleracea*, *Amaranthus retroflexus* and *Digitaria sanguinalis*. When the mass ratio was 1 : 10, the weed control efficacy of the mixtures was higher than that of pendimethalin applied alone. The selectivity index between cotton varieties and weeds tested was in the range of 25.81–39.39, which suggested the safety of the mixtures to cotton was improved compared with that of flumioxazin and pendimethalin used

收稿日期: 2017-11-29; 录用日期: 2018-05-12.

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系 (SDAIT-07-011-08); 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201303031).

作者简介: 王恒智, 男, 硕士研究生, E-mail: hengzhiwang1993@163.com; *王金信, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 教授, 主要从事除草剂毒理及应用技术研究, E-mail: wangjx@sdau.edu.cn

alone. The results of field experimensts showed that the mixtures of flumioxazin and pendimethalin had good efficacy against *Acalypha australis*, *A. retroflexus*, *P. oleracea*, *Chenopodium album* and *Eleusine indica* and was safe to cotton.

Keywords: flumioxazin; pendimethalin; joint effect; cotton; safety

棉花是中国重要的经济作物之一, 每年种植面积约 500 万 hm^2 , 超过经济作物种植总面积的 1/4^[1]。棉田杂草与棉花争地争光争养分, 传播病虫害, 同时增加了生产成本, 每年造成的损失在 14%~16%, 严重降低了棉花的产量和质量^[1]。中国棉花产地划分为长江流域棉区、黄河流域棉区和西北内陆棉区三大棉区, 虽然各棉区杂草种类和数量存在较大差异, 但是发生优势度较大的杂草大致相同, 多以阔叶杂草、禾本科杂草和莎草科杂草共同为害, 其中以马唐、稗草、反枝苋、马齿苋、牛筋草、鳢肠和香附子分布最广, 危害最大^[1-2], 单一使用某种除草剂很难满足棉田化学除草的需求。

丙炔氟草胺属 *N*-苯基肽酰亚胺类选择性触杀型除草剂^[3], 是一种原卟啉原氧化酶抑制剂, 可以被植物的幼芽和叶片吸收, 在植物体内进行传导, 抑制叶绿素的合成, 造成敏感杂草迅速凋萎, 枯死^[4]。丙炔氟草胺于播后苗前施用对棉花安全, 对马齿苋、反枝苋、鳢肠、藜和小藜等棉田常见阔叶杂草有显著防效^[5]。二甲戊灵是棉田应用较为广泛的除草剂之一, 对棉花及大多数后茬作物安全, 对棉田常见禾本科杂草马唐、牛筋草、狗尾草、稗草、千金子和画眉草有较好防效, 但对反枝苋、马齿苋和藜等阔叶杂草防效不理想^[5-8]。两者的杀草机理和作用方式不同, 杀草谱存在很强的互补性^[5], 将其合理复配可在一定程度上提高除草活性, 扩大杀草谱, 解决当前中国棉田部分阔叶杂草如反枝苋和马齿苋难以防除的问题。

目前, 关于丙炔氟草胺和二甲戊灵混用的联合除草作用及其对棉花的安全性尚未见报道。为此, 本研究采用温室盆栽法, 测定了丙炔氟草胺和二甲戊灵复配对马唐、反枝苋和马齿苋的联合除草作用, 筛选了合适的复配比例, 并就复配制剂对不同品种棉花的安全性及在棉花和杂草之间的选择性进行了研究, 最后进行了复配制剂的田间药效试验, 旨在为两种药剂复配应用于棉花田杂草防除进行可行性探索。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试药剂: 95% 丙炔氟草胺 (flumioxazin) 原药, 由济南科赛基农化工有限公司提供; 95% 二甲戊灵 (pendimethalin) 原药, 由山东华阳农药化工集团有限公司提供; 330 g/L 二甲戊灵乳油, 由江苏龙灯化学有限公司生产; 50% 丙炔氟草胺可湿性粉剂, 由日本住友化学株式会社生产。

室内试验供试杂草: 马齿苋 *Portulaca oleracea*、反枝苋 *Amaranthus retroflexus* 和马唐 *Digitaria sanguinalis*, 均采自山东省泰安市的非棉田 (未使用过除草剂)。田间药效试验杂草: 铁苋菜 *Acalypha australis*、反枝苋、马齿苋、藜 *Chenopodium album*、牛筋草 *Eleusine indica*。

室内试验供试棉花品种: 鑫秋 4 号、鲁棉研 28 号和鲁棉研 37 号, 均由山东农业大学农学院提供。田间药效试验供试棉花品种: 冀棉 863, 由山东省菏泽市农业科学院提供。

主要仪器: SPX 型智能光照培养箱, 宁波江南仪器厂; BSA-224S 型万分之一天平, 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司; ASS-4 型自动控制农药喷洒系统 (TEEJET-9503EVS 扇形喷头), 国家农业信息化工程技术中心研制, 北京盛恒天宝科技有限公司生产; MATABI-16 型背负式喷雾器 (扇形喷头), 山东卫士植保机械有限公司。

1.2 室内试验

1.2.1 药液配制 准确称取一定量原药, 以少量丙酮溶解配成高浓度母液, 使用时用含 0.1% 的吐温-80 水溶液稀释成试验所需浓度, 以不含药剂的 0.1% 吐温-80 水溶液作为空白对照。同法配制两种药剂的混剂。

1.2.2 试材培养 采用温室盆栽法^[9]。取未使用过农药的表层土壤过筛并风干备用。土壤类型为壤土, 有机质含量为 1.5%。

1.2.2.1 杂草培养 供试杂草种子用 25 °C 水浸泡 6 h, 在 28 °C 光照培养箱中黑暗催芽。选取籽粒饱满、刚刚露白的供试杂草种子播入装有筛网

干土的 180 mm × 140 mm 营养盆中, 每盆 24 粒, 覆过筛细土, 以恰好覆盖住杂草种子为宜, 置于山东农业大学可控日光温室中培养。采用盆钵底部渗灌方式保持土壤湿润。

1.2.2.2 棉花培养 供试棉籽用 98% 浓硫酸脱绒后, 用 64% 多菌灵可湿性粉剂 (WP) 稀释 1 000 倍浸种, 于 25 ℃ 光照培养箱中黑暗催芽, 用清水冲洗多次, 挑选均匀一致、露白的棉花种子播入装有过筛风干土的 230 mm × 160 mm 营养盆中, 每盆 6 粒, 覆过筛细土, 以恰好覆盖住棉种为宜, 置于山东农业大学可控日光温室中培养。采用盆钵底部渗灌方式保持土壤湿润。

1.2.3 施药方式 于播种后第 2 天, 在杂草和棉花出苗前, 采用 ASS-4 型自动控制农药喷洒系统进行土壤喷雾处理, 喷雾压力 0.275 MPa, 喷液量 600 L/hm², 喷头与营养盆之间的距离为 50 cm。

1.2.4 复配制剂的联合作用测定 试验在山东农业大学可控日光温室中进行 (自然光照, 白天 24~33 ℃, 夜间 18~24 ℃, 相对湿度 65%~79%)。丙炔氟草胺处理的有效成分含量为 4、5 和 6 g/hm², 二甲戊灵处理的有效成分含量为 40、50 和 60 g/hm², 以及两种药剂复配, 共 15 个处理^[10], 每处理重复 4 次。另设空白对照。于处理后 21 d 取样称取地上部分鲜重, 按式 (1) 计算复配后的实际鲜重抑制率 (E)。按式 (2) 计算理论鲜重抑制率 (E_0)。当 $E-E_0$ 介于 -10%~10% 时为加成作用, 当 $E-E_0 >$

10% 时为增效作用, 当 $E-E_0 < -10\%$ 时为拮抗作用^[11]。

$$\text{鲜重抑制率}/\% = \frac{\text{对照杂草鲜重} - \text{处理杂草鲜重}}{\text{对照杂草鲜重}} \times 100$$

(1)

$$E_0/\% = X + Y(100 - X)/100$$

(2)

式 (2) 中, X 、 Y 分别为丙炔氟草胺与二甲戊灵的实际鲜重抑制率。

1.2.5 复配制剂对棉花的安全性测定 试验在山东农业大学可控日光温室中进行 (自然光照, 白天 24~35 ℃, 夜间 20~26 ℃, 相对湿度 62%~76%)。选择马唐、反枝苋、马齿苋、鲁棉研 28 号、鲁棉研 37 号和鑫秋 4 号作为试材, 进行土壤喷雾处理, 以各药剂单剂作为对照。其中, 丙炔氟草胺与二甲戊灵复配的质量比为 1 : 10, 各处理施用剂量见表 1。于施药后 21 d 记录药剂对棉花和杂草的影响, 同时测定杂草、棉花地上部分鲜重, 计算鲜重抑制率。用 DPS 软件进行数据统计分析, 以鲜重抑制率值 (y) 和剂量对数值 (x) 建立回归方程 $y = a + bx$, 计算丙炔氟草胺对 3 种杂草的 GR₅₀ (herbicide rate causing 50% growth reduction of plants)、GR₉₀ (herbicide rate causing 90% growth reduction of plants) 值及 95% 置信限。以处理药剂对棉花的 GR₁₀ (herbicide rate causing 10% growth reduction of plants) 和对杂草的 GR₉₀ 值, 计算各个药剂在棉花和杂草之间的选择性指数 (GR₁₀ 棉花 / GR₉₀ 杂草)。

表 1 室内安全性试验各处理药剂及用量
Table 1 The herbicides and doses of safety experiment in greenhouse

试验药剂 Herbicide	有效成分用量 Dose, a.i./(g/hm ²)			
	马齿苋 <i>P. leracea</i>	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	马唐 <i>D. sanguinalis</i>	棉花 Cotton
丙炔氟草胺 flumioxazin	0.75, 1, 1.5, 2.3, 3.4, 5.1	0.75, 1, 1.5, 2.3, 3.4, 5.1	1.5, 2.3, 3.4, 5.1, 7.6	60, 90, 135, 202.5, 303.8
二甲戊灵 pendimethalin	25, 31.3, 39.1, 48.8, 61	25, 31.3, 39.1, 48.8, 61	20, 25, 39.1, 48.8, 61	750, 1 125, 1 687.5, 2 531.3, 3 796.9
丙炔氟草胺 + 二甲戊灵 flumioxazin + pendimethalin	12, 15, 18.8, 23.4, 29.3	12, 15, 18.8, 23.4, 29.3	9.6, 12, 15, 18.8, 23.4	500, 750, 1 125, 1 687.5, 2 531.3

1.3 田间药效试验

试验在山东省菏泽市农业科学院试验站进行。试验地块基本条件: 地势平整, 黏壤土, 有机质含量 1.3%, 铵态氮 15 mg/kg, 有效磷 21 mg/kg, 速效钾 750 mg/kg, pH 值 7.1。供试棉花品种为冀棉 863 号, 于 2016 年 4 月 17 日播种, 前后茬作物均为棉花。株距 × 行距 = 23 cm × 90 cm, 种植密度为 32 000 株/hm², 常规栽培管理。试验地块

多以禾本科杂草与阔叶杂草混生为主, 部分地块生长香附子。铁苋菜、反枝苋、马齿苋、藜、牛筋草是试验田常见杂草。

参照文献^[12], 于 2016 年 4 月 19 日进行施药。施药当天天气晴, 最高温度 21 ℃, 最低温度 12 ℃。试验期间雨水较少, 天气较干燥。施药器械采用 MATABI-16 型背负式喷雾器, 扇形喷头, 土壤喷雾处理, 喷液量 600 L/hm²。

试验小区采用随机区组排列, 共设 5 个药剂处理, 另设空白对照, 各试验小区面积 20 m², 每个处理 4 次重复, 共 24 个小区。各处理剂量分别为 50% 丙炔氟草胺可湿性粉剂有效成分 (余同) 60 g/hm², 330 g/L 二甲戊灵乳油 742.5 g/hm², 50% 丙炔氟草胺可湿性粉剂 + 330 g/L 二甲戊灵乳油 50 + 495 g/hm²、40 + 594 g/hm² 及 30 + 693 g/hm²。

杂草防效调查: 采用绝对值调查法^[12]。分别于施药后 10、20、40、60 d, 在处理小区内随机选取 4 个样点, 每个样点 0.25 m², 记录样点内存活杂草种类及其株数, 按式 (3) 计算株防效。药后 40 d 同时测定杂草株数及地上部分鲜重, 分别按式 (3) 和 (4) 计算株防效和鲜重防效。

株防效/% =
$$\frac{\text{对照区杂草株数} - \text{处理区药后杂草株数}}{\text{对照区杂草株数}} \times 100 \quad (3)$$

鲜重防效/% =
$$\frac{\text{对照区杂草鲜重} - \text{处理区药后杂草鲜重}}{\text{对照区杂草鲜重}} \times 100 \quad (4)$$

安全性调查: 分别于施药后 10、20、40、60 d 调查棉花生长情况。若有药害, 则准确描述药害症状并记录受害程度。

数据分析: 采用 DPS (V13.5) 进行数据处理, 采用邓肯氏新复极差法进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 复配制剂的联合除草活性

结果 (表 2) 显示: 丙炔氟草胺与二甲戊灵复配后对马唐、马齿苋和反枝苋实际鲜重抑制率与理论鲜重抑制率的差值在-1.3%~19.2% 之间, 说明两者复配联合作用类型均为增效或加成作用, 无拮抗作用。尤其是当丙炔氟草胺与二甲戊灵以质量比 1 : 10 混用的联合作用类型多为增效作用, 其他比例混用多为加成作用。综合室内联合作用测定结果, 建议丙炔氟草胺与二甲戊灵以质量比 1:8~12 复配使用。

2.2 复配制剂对棉花安全性及选择性指数
丙炔氟草胺、二甲戊灵单剂及复配制剂对供试杂草的 GR₅₀ 及 GR₉₀ 值见表 3, 对供试棉花的 GR₁₀ 见表 4。由此可以看出, 丙炔氟草胺与二甲戊灵以质量比 1 : 10 复配后对马齿苋、反枝苋和马唐的活性高于二甲戊灵单剂, 但对棉花的抑制作用也有所增强。

丙炔氟草胺和二甲戊灵复配制剂在 3 个棉花

表 2 丙炔氟草胺与二甲戊灵混用对马齿苋、反枝苋和马唐的联合作用评价

Table 2 The evaluation of the joint effect of flumioxazin and pendimethalin against *P. oleracea*, *A. retroflexus* and *D. sanguinalis*

试验药剂 Herbicide	试验处理剂量 (有效成分) Treatment dose, a.i./ (g/hm ²)	鲜重抑制率 Fresh weight reduction rate/%								
		马齿苋 <i>P. oleracea</i>			反枝苋 <i>A. retroflexus</i>			马唐 <i>D. sanguinalis</i>		
		<i>E</i>	<i>E</i> ₀	<i>E</i> - <i>E</i> ₀	<i>E</i>	<i>E</i> ₀	<i>E</i> - <i>E</i> ₀	<i>E</i>	<i>E</i> ₀	<i>E</i> - <i>E</i> ₀
丙炔氟草胺 flumioxazin	4	58.3	58.3	0	44.9	44.9	0	13.7	13.7	0
	5	77.3	77.3	0	63.4	63.4	0	25.1	25.1	0
	6	90.1	90.1	0	85.9	85.9	0	52.1	52.1	0
二甲戊灵 pendimethalin	40	36.0	36.0	0	33.4	33.4	0	46.1	46.1	0
	50	48.7	48.7	0	46.1	46.1	0	70.6	70.6	0
	60	63.8	63.8	0	59.8	59.8	0	87.1	87.1	0
丙炔氟草胺 + 二甲戊灵 flumioxazin + pendimethalin	4 + 40	92.5	73.3	19.2	67.6	67.6	4.3	57.2	53.5	3.7
	4 + 50	93.3	78.6	14.7	73.4	70.3	3.1	77.3	74.7	2.6
	4 + 60	93.7	84.9	8.8	79.2	77.9	1.3	87.6	88.9	-1.3
	5 + 40	89.7	85.5	4.2	76.1	75.6	0.5	63.4	59.6	3.8
	5 + 50	97.1	88.4	8.7	90.5	80.2	10.3	89.9	78.0	11.9
	5 + 60	100	91.8	8.2	89.2	85.3	3.9	93.9	90.4	3.5
	6 + 40	96.6	93.7	2.9	90.5	90.6	-0.1	81.1	74.2	6.9
	6 + 50	97.7	94.9	2.8	93.4	92.4	1.0	95.0	86.0	9.0
	6 + 60	100	96.4	3.6	96.7	94.3	2.4	100	93.8	6.2

注: *E* 和 *E*₀ 分别表示实际鲜重抑制率和理论鲜重抑制率。
Note: *E* means actual fresh weight reduction rate; *E*₀ means theoretical fresh weight reduction rate.

表 3 丙炔氟草胺、二甲戊灵及其复配制剂对杂草的生物活性

Table 3 The biological activity of flumioxazin, pendimethalin and their mixtures against weeds					
试验药剂 Herbicide	供试杂草 Trial weed	回归方程 Regression equation	相关系数 <i>r</i>	GR ₅₀ (95%CL)/ (g/hm ²)	GR ₉₀ (95%CL)/ (g/hm ²)
丙炔氟草胺 flumioxazin	马齿苋 <i>P. oleracea</i>	$y = 5.08 + 1.59x$	0.969 8	0.88 (0.76~1.03)	5.64 (4.53~7.04)
	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	$y = 5.06 + 1.71x$	0.924 8	0.91 (0.72~1.16)	5.15 (3.67~7.24)
	马唐 <i>D. sanguinalis</i>	$y = 4.42 + 2.15x$	0.977 3	1.86 (1.65~2.09)	7.36 (6.26~8.66)
二甲戊灵 pendimethalin	马齿苋 <i>P. oleracea</i>	$y = 0.63 + 3.08x$	0.986 1	26.42 (24.97~27.95)	68.96 (63.32~75.11)
	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	$y = -1.45 + 4.38x$	0.929 7	29.63 (26.58~33.04)	58.08 (49.67~67.93)
	马唐 <i>D. sanguinalis</i>	$y = 0.04 + 3.77x$	0.993 9	20.74 (19.70~21.83)	45.41 (43.60~47.30)
丙炔氟草胺 + 二甲戊灵 flumioxazin + pendimethalin	马齿苋 <i>P. oleracea</i>	$y = 1.97 + 3.16x$	0.980 3	9.07 (8.13~10.13)	23.07 (21.77~24.45)
	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	$y = 1.77 + 3.27x$	0.993 0	9.76 (9.19~10.34)	24.03 (23.17~24.93)
	马唐 <i>D. sanguinalis</i>	$y = 0.01 + 4.80x$	0.985 5	10.93 (10.31~11.57)	20.20 (19.11~21.35)

表 4 丙炔氟草胺与二甲戊灵复配制剂对棉花的生物活性

Table 4 The biological activities of mixtures of flumioxazin and pendimethalin against cottons				
试验药剂 Herbicide	供试棉花品种 Tested cotton	回归方程 Regression equation	相关系数 <i>r</i>	GR ₁₀ (95%CL)/ (g/hm ²)
丙炔氟草胺 flumioxazin	鲁棉研28 Lumianyan28	$y = 0.13 + 1.67x$	0.970 6	198.7 (163.7~241.2)
	鲁棉研37 Lumianyan37	$y = 0.60 + 1.37x$	0.978 6	191.5 (163.1~224.7)
	鑫秋4号Xinqiu4	$y = 0.14 + 1.67x$	0.942 7	203.1 (153.3~269.2)
二甲戊灵 pendimethalin	鲁棉研28 Lumianyan28	$y = -1.05 + 1.55x$	0.987 5	1 171 (1 036~1 324)
	鲁棉研37 Lumianyan37	$y = -1.20 + 1.59x$	0.996 6	1 224 (1 151~1 301)
	鑫秋4号Xinqiu4	$y = -0.52 + 1.36x$	0.977 9	1328 (1143~1544)
丙炔氟草胺 + 二甲戊灵 flumioxazin + pendimethalin	鲁棉研28 Lumianyan28	$y = 1.09 + 0.94x$	0.970 1	639.5 (509.2~803.3)
	鲁棉研37 Lumianyan37	$y = 0.30 + 1.18x$	0.925 5	795.6 (583.5~1 085)
	鑫秋4号Xinqiu4	$y = 0.60 + 1.12x$	0.977 7	620.1 (507.1~758.3)

品种(鲁棉研 28 号、鲁棉研 37 号、鑫秋 4 号)与马齿苋、反枝苋和马唐间的选择性指数见表 5。可以看出:与二甲戊灵单剂相比,复配制剂对不同杂草的选择性指数明显高于二甲戊灵单剂。表明二甲戊灵与丙炔氟草胺复配可提高二甲戊灵对棉花的安全性。与丙炔氟草胺单剂相比,复配制剂对棉花和马唐的选择性指数有较大提升,对棉花和马齿苋、反枝苋的选择性指数虽有所下降,但仍然维持在较高水平,对棉花安全。

2.3 田间药效试验

2.3.1 丙炔氟草胺与二甲戊灵复配防除棉花田杂

草效果 由表 6 可以看出,50% 丙炔氟草胺可湿性粉剂有效成分 60 g/hm² 的处理对棉田铁苋菜、反枝苋、马齿苋和藜防效好,对牛筋草防效较差;330 g/L 二甲戊灵乳油有效成分 742.5 g/hm² 的处理对棉田马齿苋和牛筋草防效较好,对反枝苋和藜防效一般,对铁苋菜较差;而两者复配后,对 5 种杂草防效均较高,且丙炔氟草胺 + 二甲戊灵 50 + 495 (质量比 1.0 : 9.9) 处理总体防效高于其他两个复配处理,这与联合除草活性测定结果一致。

施药后 20 d,丙炔氟草胺与二甲戊灵复配制剂各处理防效均较好,杂草总体株防效均大于

表 5 丙炔氟草胺与二甲戊灵复配制剂对不同棉花品种和棉田主要杂草的选择性指数

Table 5 Selectivity index of mixtures of flumioxazin and pendimethalin between different cottons and weeds									
试验药剂 Herbicide	鲁棉研 28 Lumianyan 28			鲁棉研 37 Lumianyan 37			鑫秋 4 号 Xinqiu 4		
	马齿苋 <i>P. leracea</i>	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	马唐 <i>D. sanguinalis</i>	马齿苋 <i>P. leracea</i>	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	马唐 <i>D. sanguinalis</i>	马齿苋 <i>P. leracea</i>	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	马唐 <i>D. sanguinalis</i>
丙炔氟草胺 flumioxazin	35.23	38.58	27.00	33.95	37.18	26.02	36.01	39.44	27.60
二甲戊灵 pendimethalin	16.98	20.17	25.79	17.74	21.07	26.95	19.26	22.87	29.25
丙炔氟草胺 + 二甲戊灵 flumioxazin + pendimethalin	27.72	26.61	31.66	34.49	33.11	39.39	26.88	25.81	30.70

表 6 丙炔氟草胺、二甲戊灵及其复配制剂对棉田杂草的防除效果

Table 6 The efficiency of flumioxazin, pendimethalin and their mixtures against weeds in cotton fields (%)

调查时间 Sampling time/d	药剂 Herbicide	有效成分用量 Dose, a.i./(g/hm ²)	铁苋菜 <i>A. australis</i>	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	马齿苋 <i>P. oleracea</i>	藜 <i>C. album</i>	牛筋草 <i>E. indica</i>	总体株防效 Plant control efficiency	总体鲜重防效 Fresh weight control efficiency
施药后 20 d 株防效 Plant control effect 20 days after treatment	F	60	93.1 a	92.7 ab	94.1 a	90.6 b	59.7 c	87.5 b	—
	P	742.5	48.3 b	85.5 b	97.1 a	80.5 c	98.4 a	74.1 c	—
	F + P	50 + 495	97.2 a	96.4 a	97.1 a	95.3 a	90.3 abc	95.5 a	—
		40 + 594	95.9 a	94.5 a	94.1 a	92.2 a	93.5 ab	94.1 a	—
		30 + 693	93.8 a	90.9 ab	94.1 a	92.2 a	96.8 a	93.4 a	—
施药后 40 d 株防效 Plant control effect 40 days after treatment	F	60	91.9 a	90.0 ab	93.1 a	89.4 a	57.0 b	85.6 b	—
	P	742.5	45.3 b	82.5 b	94.8 a	78.8 b	96.5 a	73.3 c	—
	F + P	50 + 495	94.2 a	93.8 a	94.8 a	92.7 a	89.5 a	93.1 a	—
		40 + 594	93.0 a	92.5 ab	91.4 a	90.7 a	91.9 a	92.0 a	—
		30 + 693	92.4 a	88.8 ab	91.4 a	90.7 a	95.3 a	91.8 a	—
施药后 40 d 鲜重药效 Fresh weight effect 40 days after treatment	F	60	92.0 a	91.1 ab	93.5 b	90.0 a	58.5 b	—	87.4 b
	P	742.5	46.7 b	84.3 b	95.4 a	79.2 b	97.0 a	—	75.5 c
	F + P	50 + 495	95.1 a	94.7 a	95.5 a	93.2 a	90.1 a	—	93.8 a
		40 + 594	94.1 a	93.7 ab	92.5 a	91.9 a	92.4 a	—	92.9 a
		30 + 693	93.0 a	89.5 ab	91.9 b	91.4 a	96.1 a	—	92.2 a

注：F = 50% 丙炔氟草胺可湿性粉剂；P = 330 g/L 二甲戊灵乳油。同列数据后不同字母者表示在 5% 水平差异显著。

Note: F = 50% flumioxazin WP; P = 330 g/L pendimethalin EC. The different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level ($P < 0.05$).

90%，显著高于两种单剂 ($P < 0.05$)；施药后 40 d，复配制剂各处理杂草总体株防效与总体鲜重防效均大于 90%，亦显著高于两种单剂 ($P < 0.05$)；药后 60 d 目测仍有较好防效，说明复配制剂持效期长，能有效控制杂草对棉苗的危害。

2.3.2 丙炔氟草胺与二甲戊灵复配对棉花安全性

丙炔氟草胺与二甲戊灵复配施用于棉花田后，各剂量处理棉花生长均正常，说明在试验剂量下对棉花安全。

3 讨论与结论

丙炔氟草胺是一种高效、低毒、高选择性的除草剂，具有杀草谱广、作用迅速和施药方式灵活等特点^[4]。丙炔氟草胺在中国已获农药登记，用于大豆田、花生田和柑橘田防除一年生阔叶杂草及部分禾本科杂草。Dario 等将丙炔氟草胺和乙草胺复配 (有效成分 100 + 1 300 g/hm²) 用于甘蔗田播后苗前处理，对臂形草和马唐有很好防效，药后 90 d 目测防效仍在 90% 以上^[13]。王建国等研究发现，丙炔氟草胺在有效成分 8~12 g/hm² 剂量下于播后苗前施用，对大豆田马齿苋和反枝苋等常见阔叶杂草有很好防效，持效期长，且对大豆安全^[4]，与乙草胺复配对大豆出苗及生长均无影响^[15]。

丙炔氟草胺与不同药剂复配使用，可以有效扩大杀草范围。如辛志梅等研究发现，在花生田于播后苗前施用丙炔氟草胺，对常见阔叶杂草有较好防效，但对禾本科杂草防效较差，而与乙草胺或者异丙甲草胺复配则对阔叶和禾本科杂草均具有很好防效，且对花生安全，有保产增产效果^[16]。

中国棉田以阔叶、禾本科和莎草科杂草共同危害为主，二甲戊灵在中国棉田应用多年，导致马齿苋和香附子等恶性杂草发生严重，已有关于杂草对二甲戊灵产生耐药性的报道^[17]。选择丙炔氟草胺与杀草谱互补且作用机制不同的二甲戊灵混用，扩大了杀草谱，降低了杂草抗性风险，提高了对棉花的安全性，对满足中国棉田杂草化学防治需求具有重大意义。本研究结果表明，丙炔氟草胺对棉田常见阔叶杂草马齿苋和反枝苋防效高，但对禾本科杂草马唐防效较低，而二甲戊灵对马齿苋和反枝苋防效较低，对马唐防效较高，将两者复配后优势互补，对阔叶杂草马齿苋、反枝苋和禾本科杂草马唐防效均较高。谭金妮等报道，丙炔氟草胺对阔叶杂草马齿苋、反枝苋和小藜的除草活性均高于二甲戊灵，杀草谱与二甲戊灵具有一定互补性^[5]。本研究的联合作用测定表明，丙炔氟草胺和二甲戊灵复配对马齿苋、反枝

菟和马唐呈现加成或增效作用, 其中复配质量比为 1:10 时多为增效作用。一般认为, 当除草剂在作物和杂草之间的选择性指数大于 2 时, 该除草剂即可在该作物田安全应用^[18]。本研究发现, 丙炔氟草胺和二甲戊灵两单剂在播后苗前使用, 在棉花和杂草之间的选择性指数较高, 对棉花安全, 这与谭金妮等^[5]的报道一致, 同时, 两种单剂复配后在棉花与杂草的选择性指数高于单剂或维持在一个较高水平, 对棉花安全。

田间药效试验结果表明, 丙炔氟草胺和二甲戊灵复配施用于棉花田, 对铁苋菜、马齿苋、反枝苋、藜和牛筋草防效均较好, 达到了两种单剂互补的目的且对棉花安全, 可以有效解决棉田部分阔叶杂草难以防除的问题, 具有良好的应用前景。但本研究田间药效试验只进行了 1 年 1 地的试验, 且试验期间降雨较少, 未出现明显药害, 而各地的气候类型、土壤类型和棉花栽培方式等各方面有所差异, 下一步应进行多年多点的大田试验, 增加试验结果的科学性和合理性, 以期对丙炔氟草胺与二甲戊灵复配在棉田推广使用提供更全面的理论支持资料。

参考文献 (Reference):

- [1] 马小艳, 马艳, 彭军, 等. 我国棉田杂草研究现状与发展趋势[J]. 棉花学报, 2010, 22(4): 372-380.
MA X Y, MA Y, PENG J, et al. Current situation and developing tendency of the weed researches in cotton field of China[J]. Cotton Sci, 2010, 22(4): 372-380.
- [2] 王兆振, 杜龙, 刁金贤, 等. 山东省棉田杂草种类及其群落结构[J]. 植物保护学报, 2014, 41(1): 103-108.
WANG Z Z, DU L, DIAO J X, et al. Species and community structure of weeds in cotton fields in Shandong Province[J]. Acta Phytophylacica Sinica, 2014, 41(1): 103-108.
- [3] BERGER S, FERRELL J, BRECKE B, et al. Influence of flumioxazin application timing and rate on cotton emergence and yield[J]. Weed Technol, 2012, 26(4): 622-626.
- [4] KWON J W, ARMBRUST K L, GREY T L. Hydrolysis and photolysis of flumioxazin in aqueous buffer solutions[J]. Pest Manag Sci, 2004, 60(9): 939-943.
- [5] 谭金妮, 李琦, 郭文磊, 等. 丙炔氟草胺除草活性及对棉花的安全性[J]. 农药学报, 2017, 19(2): 189-194.
TAN J N, LI Q, GUO W L, et al. Evaluation of herbicidal activity and safety to cotton of flumioxazin[J]. Chin J Pestic Sci, 2017, 19(2): 189-194.
- [6] 刘彦良, 慕卫, 刘峰, 等. 分散、乳化条件及成囊工艺对二甲戊灵微胶囊形成状态的影响[J]. 农药学报, 2006, 8(2): 152-156.
LIU Y L, MU W, LIU F, et al. Effect of dispersing-emulsifying measures and encapsulation parameters on the appearance of

pendimethalin microcapsule[J]. Chin J Pestic Sci, 2006, 8(2): 152-156.

- [7] NALINI K, MUTHUKRISHNAN P, CHINNUSAMY C. Evaluation of pendimethalin 38.7 EC on weed management in winter irrigated cotton[J]. Madras Agric J, 2011, 98(4-6): 165-168.
- [8] 许贤, 王贵启, 李丽珍. 二甲戊灵室内除草毒力测定[J]. 西北农业学报, 2007, 16(4): 228-230.
XU X, WANG G Q, LI L Z. Studies on the herbicidal activity of pendimethalin[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2007, 16(4): 228-230.
- [9] 宋小玲, 马波, 皇甫超河, 等. 除草剂生物测定方法[J]. 杂草科学, 2004(3): 1-6.
SONG X L, MA B, HUANGFU C H, et al. Methods for bioassay of the herbicides[J]. Weed Sci, 2004(3): 1-6.
- [10] 高爽, 赵平. 除草剂混用及其药效评价方法[J]. 农药, 2007, 46(9): 633-634.
GAO S, ZHAO P. Herbicide mixture and efficacy evaluation[J]. Agrochemicals, 2007, 46(9): 633-634.
- [11] GOWING D P. Comments on tests of herbicide mixtures[J]. Weeds, 1960, 8(3): 379-391.
- [12] 农药田间药效试验准则(二)第128部分: 除草剂防治棉花田杂草: GB/T 17980.128—2004[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
Pesticides guidelines for field efficacy trials (II)-Part 128: Herbicide against weeds in cotton: GB/T 17980.128—2004 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [13] DARIO G J A, DOURADO NETO D, MARTIN T N. Controle químico em pré-emergência das plantas daninhas em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)[C]//XVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM) I Congreso Iberoamericano de Ciencia de las Malezas, IV Congreso Nacional de Ciencia de Malezas, Matanzas, Cuba, 8 al 11 de noviembre del 2005. 2005: 384-389.
- [14] 王建国, 姜兴印, 王金信, 等. 50%丙炔氟草胺可湿性粉剂防除夏大豆田杂草田间药效试验[J]. 农药科学与管理, 2006, 27(1): 25-27.
WANG J G, JIANG X Y, WANG J X, et al. Efficacy test of flumioxazin 50% WP for control of weeds in soybean field[J]. Pestic Sci Admin, 2006, 27(1): 25-27.
- [15] 何普泉, 龚国斌, 陈克付, 等. 丙炔氟草胺(速收)及与乙草胺混配防除大豆田杂草田间药效试验[J]. 农药科学与管理, 2007, 25(2): 26-27, 54.
HE P Q, GONG G B, CHEN K F, et al. Test of flumioxazin and the combinations of flumioxazin and acetochlor on controlling weeds in soybean fields[J]. Pestic Sci Admin, 2007, 25(2): 26-27, 54.
- [16] 辛志梅, 刘甲魁. 50%丙炔氟草胺(速收)防除花生田杂草试验[J]. 山东农业科学, 2007(6): 79-80.
XIN Z M, LIU J K. Test of 50% flumioxazin on controlling weeds in groundnut fields[J]. Shandong Agric Sci, 2007(6): 79-80.
- [17] MOSS S R. Herbicide cross-resistance in slender foxtail (*Alopecurus myosuroides*)[J]. Weed Sci, 1990, 38(6): 492-496.
- [18] STREIBIG J C, KUDSK P. Herbicide bioassays[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 1993: 57-73.

(责任编辑: 曲来娥)