

氟氯吡啶酯与双氟磺草胺复配的田间除草效果 及其对作物安全性评价

李 美^{1*} 高兴祥¹ 房 锋¹ 李 健¹ 吴加军² 李茂昇²

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省植物病毒学重点实验室, 济南 250100;

2. 陶氏益农农业科技(中国)有限公司, 上海 201203)

摘要: 氟氯吡啶酯属于人工合成激素类除草剂全新类别, 是芳香基吡啶甲酸类家族的第 1 位成员, 为明确其作用特点、除草活性、与双氟磺草胺复配后的除草效果以及对小麦和后茬作物的安全性, 连续 2 年分别于小麦越冬前和返青初期施药, 在冬小麦田进行了田间试验。结果表明, 7.5 g/L 氟氯吡啶酯 EC 在 7.5 g/hm² 用量下, 对猪殃殃、播娘蒿防效较好, 2 次施药末次调查对猪殃殃防效为 96.5% 和 100%, 对播娘蒿防效为 94.1% 和 81.1%; 对麦瓶草防效较差, 末次调查为 57.1% 和 27.9%, 对麦家公无效。复配制剂 20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 在 15、20、30 g/hm² 用量下, 对猪殃殃、播娘蒿、麦瓶草防效均较好, 株防效为 90.5% ~ 100%, 对麦家公防效略差, 越冬前施药株防效为 78.8% ~ 98.6%, 返青初期施药株防效为 20.9% ~ 82.5%; 末次调查时杂草总鲜重防效为 90.1% ~ 98.2%, 2 次施药结果差异不显著。小麦田喷施该复配制剂 15 ~ 45 g/hm² 剂量, 对小麦安全, 未见任何药害症状; 且对后茬作物玉米、大豆、花生、棉花、谷子均安全。

关键词: 氟氯吡啶酯; 双氟磺草胺; 除草效果; 作物; 安全性

Weed control effect and safety to crops of a mixed formulation (halauxifen-methyl 10% + florasulam 10%)

Li Mei^{1*} Gao Xingxiang¹ Fang Feng¹ Li Jian¹ Wu Jiajun² Lee Maosheng²

(1. Shandong Key Laboratory of Plant Virology, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China; 2. Dow AgroSciences (China) Co., Ltd., Shanghai 201203, China)

Abstract: Halauxifen methyl (4-amino-3-chloro-6-(4-chloro-2-fluoro-3-methoxy-phenyl)-pyridine-2-carboxylic acid methyl ester) is a novel arylpicolinate herbicide with an auxinic mode of action. Field trials were conducted to determine its weed control effect, safety of halauxifen-methyl and halauxifen-methyl + florasulam to winter wheat and the following rotational crops in two growth seasons in Jinan, Shandong Province. The results showed that halauxifen-methyl 7.5 g/L EC alone achieved a high control effect of 96.5%–100% and 81.1%–94.1% to *Galium aparine* and *Descurainia sophia*, at the dosage of 7.5 g/hm² when applied during spring or autumn in winter wheat, but failed to control *Lithospermum arvense*, and *Silene conoidea*. The formulation halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG could well control *G. aparine*, *D. sophia* and *S. conoidea*, with a control effect of 90.5%–100% at the rates of 15, 20 and 30 g/hm² when applied during spring or autumn in winter wheat. It only achieved moderate control of *Lithospermum arvense* with a plant effect of 78.8%–98.6% and 20.9%–82.5% when applied during autumn and spring, respectively. The total fresh weight control effect was 90.1%–

98.2% in the two growth seasons, and there was no remarkable difference. No injuries to wheat and the rotational crops, including maize, soybean, peanut, cotton and millet, were observed after halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG was applied at the rates of 15–45 g/hm².

Key words: halauxifen-methyl; florasulam; weed control effect; crop; safety

氟氯吡啶酯(halauxifen-methyl)是美国陶氏益农公司新近开发投放市场的一种全新作用类型的高效除草剂(Green, 2014), 属人工合成激素类除草剂新成员芳香基吡啶甲酸类, 可用于小麦田防除多种阔叶杂草。目前关于该药剂的研究报道很少, 仅有对其分析检测方法的研究及在小麦中的残留动态报道(孙启霞等, 2013; Mukherjee et al., 2014), 其除草活性、杀草谱等均未见报道。双氟磺草胺(florasulam)是上世纪90年代美国陶氏益农公司开发的一种乙酰乳酸合成酶抑制剂, 也是一种小麦田超高效除草剂(刘长令, 2006), 可有效防除猪殃殃 *Galium aparine*、繁缕 *Stellaria media* 等阔叶杂草(苏少泉, 2001; Paterson et al., 2002)。

小麦田杂草种类繁多, 田间杂草多为几种优势杂草混合发生(李秉华等, 2013; 高兴祥等, 2014a)。除草剂单独使用时杀草谱窄, 且由于作用位点单一, 在田间长期使用易形成抗性杂草种群(Shaner, 2014)。因此, 在生产实践中多将除草剂复配施用, 如双氟磺草胺与唑啶磺草胺(flumetsulam)、2,4-滴(2,4-D)、2甲4氯复配表现为加成或增效作用, 对田间阔叶杂草有很好的防除效果(Auskalis & Kadzys, 2006; Baghestani et al., 2007; 李美等, 2013)。为有效防除小麦田杂草, 美国陶氏益农公司新推出了复配制剂20%氟氯吡啶酯·双氟磺草胺WG, 而关于氟氯吡啶酯与双氟磺草胺二者复配制剂的使用技术、杀草谱、田间除草效果、对小麦及后茬作物的安全性等未见报道。

黄淮海冬小麦田除草有2个关键时期, 一个是越冬杂草基本出齐后小麦越冬前(山东省多数地区为11月中旬), 另一个是小麦返青期(3月份)。本研究连续2个生长季分别在小麦越冬前和返青期2个喷药时期, 进行了7.5 g/L氟氯吡啶酯EC和复配制剂20%氟氯吡啶酯·双氟磺草胺WG的田间试验, 以期明确其作用特点、杀草谱、田间推荐剂量、最适喷药时间等使用技术以及对小麦的安全性等; 同时还进行了复配制剂20%氟氯吡啶酯·双氟磺草胺WG对后茬作物的安全性试验, 旨在为该药剂的科学使用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试杂草及作物: 试验杂草种类有猪殃殃 *Galium aparine*、播娘蒿 *Descurainia sophia*、麦家公 *Lithospermum arvense*、麦瓶草 *Silene conoidea*。冬小麦品种为济麦22号, 后茬作物中大豆品种为中黄56、玉米品种为郑单958、花生品种为小白沙、谷子品种为济谷14号、棉花品种为鲁棉研28, 均购自济南市种子市场。

供试药剂: 7.5 g/L 氟氯吡啶酯(halauxifen-methyl)EC、50 g/L 双氟磺草胺(florasulam)SC、20%氟氯吡啶酯·双氟磺草胺(halauxifen-methyl 10% + florasulam 10%)WG, 美国陶氏益农公司; 36%苯磺隆·唑草酮(tribenuron-methyl + carfentrazone-ethyl)WP, 美国富美实公司。

1.2 方法

1.2.1 田间药效试验

试验选择杂草分布均匀一致的小麦田进行, 设在济南市历城区张马屯村, 为玉米、小麦轮作田。试验地土壤类型为棕壤, 肥力中等, 有机质含量为1.2%, pH 7.0。20%氟氯吡啶酯·双氟磺草胺WG为10、15、20、30 g/hm², 对照药剂7.5 g/L氟氯吡啶酯EC为7.5 g/hm², 50 g/L双氟磺草胺SC为7.5 g/hm², 36%苯磺隆·唑草酮WP为27 g/hm², 另设人工除草(于冬后小麦返青初期进行)和空白对照, 共9个处理, 每处理4次重复, 共36个小区, 每个小区面积20 m², 随机区组排列。返青初期施药处理的小麦于2011年10月8日播种, 2012年3月25日进行药剂茎叶均匀喷雾处理, 喷药当天晴, 北风微风, 气温4~15℃; 试验前后10 d平均气温11.2℃, 降水量8.6 mm。越冬前施药处理的小麦于2012年10月4日播种, 2012年11月14日进行药剂茎叶均匀喷雾处理, 喷药当天晴转多云, 南风小于3级, 气温1~11℃; 试验前后10 d平均气温7.3℃, 降水量为8 mm, 但施药20 d后及整个冬天降雪偏多且降雪次数多。

小麦返青期喷药试验中, 施药前调查杂草基数,

施药后 7 d 详细记录杂草受害症状,施药后 15 d 和 30 d 进行杂草防效调查;小麦越冬前喷药试验,施药前目测杂草分布,施药后 15 d 详细记录杂草受害症状,由于降雪频繁且量大,试验田一直有积雪,所以第 1 次杂草防效调查在药后 95 d(翌年初春)进行,药后 120 d 和 150 d 各调查 1 次。杂草防效调查结束后,整个试验田剩余杂草进行人工拔除。杂草防效调查采用绝对值(数测)调查法,每个小区随机取 4 点,每点调查 0.25 m²,详细记录剩余杂草种类、株数,计算杂草株防效。最后 1 次调查时,同时称量小区内 4 点剩余杂草的鲜重,计算杂草鲜重防效。株防效(有基数) = (1 - 对照区杂草基数 × 药剂处理区药后杂草残株数 / (对照区杂草残株数 × 药剂处理区药前杂草基数)) × 100%; 株防效(无基数) = (对照区杂草株数 - 药剂处理区杂草株数) / 对照区杂草株数 × 100%; 鲜重防效 = (对照区杂草鲜重 - 药剂处理区杂草鲜重) / 对照区杂草鲜重 × 100%。

1.2.2 对当茬小麦的安全性试验

于小麦越冬前和返青期 2 次施药后,对当茬小麦的安全性调查安排在每次除草效果调查时进行,具体时间同 1.2.1。详细观察并调查记录小麦叶色、叶片数、株高以及有无药害症状等。后期小麦收获时,小区实收测产,记录小区产量,折算出每公顷产量(kg/hm²),与人工除草处理相比计算增产率。增产率 = (药剂处理区小麦产量 - 人工除草处理区小麦产量) / 人工除草处理区小麦产量 × 100%。

1.2.3 对后茬作物的安全性试验

试验地条件同 1.2.1,小麦田喷施 20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 剂量为 15、30、45 g/hm²,另设不施药空白对照,共 4 个处理,每处理 4 次重复,随机区组排列,共 16 个小区,每小区面积 20 m²。分别于 2012 年 3 月 27 日和 2012 年 11 月 14 日进行喷药处理,小麦收获后于 2012 年 6 月 9 日和 2013 年 6 月 20 日,分别在上述每个小区内播种后茬作物。2012 年为玉米、棉花、大豆和花生,每作物 2 行,玉米、棉花、花生为穴播,大豆为开沟条播,6 月 15 日全田浇水。后茬作物播种当天 6 月 9 日白天多云,夜间雷阵雨,降雨量 5.3 mm。后茬作物播种至播种后 30 d(6 月 9 日—7 月 9 日),平均气温 27.8℃,降雨 369.1 mm。2013 年后茬作物为玉米、花生、大豆和谷子,每作物 2 行,玉米、花生为穴播,大豆和谷子为开沟条播,后茬作物播种时土壤湿润,当天 6 月 20 日天气多云,东风微风。后茬作物播种至播种后 30 d(6 月 20 日—7 月 20 日),平均气温 28.2℃,降

雨 251.3 mm。播种后,调查作物始苗期、出苗期(出苗 30%)、齐苗期,齐苗后调查出苗数,大豆、谷子每行取中间 1 m 调查株数,玉米、棉花、花生调查小区内全部株数,计算相对出苗率;出苗后 3、7、15 d 时观察记录作物长势,并于播种后 20、40、60 d 在每小区取每作物 10 株,调查记录各小区作物株高、叶片数(大豆、花生调查复叶数);作物收获期进行小区实收测产。后茬作物间苗、除草等参照常规管理。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行分析,应用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同施药时期各药剂的田间杂草防效

2.1.1 小麦返青初期施药的田间杂草防效

小麦返青初期施药后 7 d 调查发现,氟氯吡啶酯处理区杂草叶片扭曲严重、略黄化;双氟磺草胺处理区麦家公、麦瓶草心叶黄化,生长受到抑制,播娘蒿、猪殃殃叶色变暗;复配制剂 20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 处理区杂草扭曲、黄化明显,生长受到严重抑制;对照药剂 36% 苯磺隆·唑草酮 WP 处理区杂草叶缘干枯、略黄化,个别小植株整株干枯。15 d 后调查发现,7.5 g/L 氟氯吡啶酯 EC 7.5 g/hm² 剂量对播娘蒿、猪殃殃、麦瓶草防效较好,对麦家公防效较差,杂草总防效为 79.9%;50 g/L 双氟磺草胺 SC 7.5 g/hm² 剂量作用速度慢,杂草多黄化,未死亡,杂草总防效较低,仅为 38.0%。20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 对播娘蒿、猪殃殃、麦瓶草防效均较好,杂草扭曲、黄化并停止生长,部分死亡,对麦家公的株防效略差,但生长抑制作用明显,10 ~ 30 g/hm² 处理对阔叶杂草总防效为 58.0% ~ 65.0%。36% 苯磺隆·唑草酮 WP 27 g/hm² 处理区对播娘蒿、麦家公、麦瓶草防效较好,对猪殃殃防效差,杂草总防效为 57.2%(表 1)。

施药后 30 d 调查发现,各药剂处理杂草总防效均有提高。7.5 g/L 氟氯吡啶酯 EC 7.5 g/hm² 剂量对播娘蒿、猪殃殃防效较好,对麦家公、麦瓶草防效差;50 g/L 双氟磺草胺 SC 7.5 g/hm² 剂量对播娘蒿防效较好,对麦家公、麦瓶草、猪殃殃株防效较差,总株防效为 58.6%,但该药对杂草的抑制作用强,鲜重防效显著高于株防效,为 86.9%。20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 10 ~ 30 g/hm² 处理对播娘蒿、猪殃殃、麦瓶草防效均好,对麦家公防效差,杂草鲜重防效为 88.8% ~ 98.0%。36% 苯磺隆·唑草酮

表1 小麦返青初期田间喷施除草剂后 15 d 时的杂草防效

Table 1 Weed control effect of 15 d after halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG applied in early turning-green wheat period

药剂处理 Herbicide	用量 Application rate (g/hm ²)	基数					总残株数	总株防效
		Plant no. before treatment (m ²)	播娘蒿 <i>D. sophia</i> (%)	猪殃殃 <i>G. aparine</i> (%)	麦家公 <i>L. arvense</i> (%)	麦瓶草 <i>S. conoidea</i> (%)	Plant no. after treatment (Plant/m ²)	Plant control effect (%)
20% 氟氯吡啶 酯·双氟磺草胺	10. 0	213. 5	56. 2 ± 3. 7 b	67. 7 ± 6. 0 ab	18. 3 ± 5. 6 e	41. 9 ± 9. 3 c	123. 2	62. 2 ± 5. 1 ab
Halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG	15. 0	211. 8	58. 8 ± 7. 9 b	61. 2 ± 5. 1 ab	23. 7 ± 2. 3 de	90. 4 ± 9. 6 ab	133. 0	58. 0 ± 4. 0 ab
	20. 0	215. 2	86. 8 ± 4. 6 a	62. 2 ± 8. 8 ab	39. 8 ± 12. 1 d	100. 0 ± 0 a	127. 0	61. 9 ± 8. 6 ab
	30. 0	260. 2	79. 6 ± 5. 2 a	65. 0 ± 7. 6 ab	77. 7 ± 3. 2 b	61. 7 ± 15. 8 bc	132. 8	65. 0 ± 7. 1 ab
7. 5 g/L 氟氯吡啶酯 Halauxifen-methyl EC	7. 5	225. 2	88. 4 ± 7. 6 a	84. 4 ± 2. 0 a	36. 3 ± 4. 1 d	87. 1 ± 9. 1 ab	65. 5	79. 9 ± 2. 0 a
50 g/L 双氟磺草胺 Florasulam SC	7. 5	289. 0	44. 7 ± 3. 1 b	36. 0 ± 12. 5 c	59. 1 ± 4. 0 c	67. 7 ± 3. 8 bc	259. 5	38. 0 ± 10. 1 b
36% 苯磺隆·唑草酮 Tribenuron-methyl + carfentrazone-ethyl WP	27. 0	179. 2	86. 2 ± 8. 6 a	45. 0 ± 3. 7 bc	96. 7 ± 3. 3 a	87. 0 ± 7. 6 ab	116. 2	57. 2 ± 3. 7 ab
对照株数或鲜重 Control (Plant (or g)/m ²)	—	263. 2	17. 5	325. 0	34. 5	4. 8	382. 0	—

表中数据为平均数 ± 标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean ± SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan’s new multiple range test.

WP 27 g/hm² 处理对播娘蒿、麦家公、麦瓶草防效好，对猪殃殃防效差，杂草鲜重防效为 83.4% (表 2)。

2.1.2 小麦越冬前施药的田间杂草防效

小麦越冬前施药后 15 d 时观察发现,由于气温低,田间猪殃殃、播娘蒿、麦家公、麦瓶草叶色变暗,氟氯吡啶酯处理区杂草叶片略扭曲,双氟磺草胺处理区杂草心叶略黄化;复配制剂 20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺处理区杂草扭曲、黄化明显;对照药剂 36% 苯磺隆·唑草酮 WP 处理区猪殃殃多干枯死亡,播娘蒿、麦家公、麦瓶草叶缘干枯,个别小植株整株干枯。药后 95 d 调查发现,7.5 g/L 氟氯吡啶酯 EC 7.5 g/hm² 处理对猪殃殃和播娘蒿防效好,剩余猪殃殃仅剩 2 叶,对麦瓶草防效略差,麦家公叶片扭曲,但无死亡,杂草总防效为 54.3%。50 g/L 双氟磺草胺 SC 7.5 g/hm² 处理对猪殃殃防效好,对播娘蒿、麦家公、麦瓶草的防效略差,处理区内大龄麦家公仅剩 2 叶,杂草总防效为 86.5%。20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 10、15、20、30 g/hm² 处理对猪殃殃防效好,对麦瓶草防效略差,最低剂量处理对播娘蒿、麦家公防效亦较差,各剂量处理下杂草总防效分别为 68.3%、89.5%、87.8%

和 92.4%。对照药剂 36% 苯磺隆·唑草酮 WP 27 g/hm²处理对猪殃殃、播娘蒿防效好,对麦家公、麦瓶草防效略差,杂草总防效为 85.3% (表 3)。

药后 120 d 调查结果(结果未附)与药后 150 d 结果基本一致(表 4),7.5 g/L 氟氯吡啶酯 EC 7.5 g/hm² 处理对麦家公和麦瓶草近无效,对播娘蒿、猪殃殃防效较好,分别为 94.1% 和 96.5%,杂草总防效较低。50 g/L 双氟磺草胺 SC 7.5 g/hm² 处理对几种杂草防效均较好,鲜重防效为 93.9%。20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 各剂量处理对几种杂草防效均有提高,15 ~ 30 g/hm² 处理杂草鲜重防效为 93.8% ~ 98.2%,10 g/hm² 处理杂草防效略低,鲜重防效为 88.8%。36% 苯磺隆·唑草酮 WP 27 g/hm² 处理防效较好,鲜重防效为 94.4%。

2.2 各药剂对当茬小麦的安全性

2 次田间施药后观察发现,各药剂处理区的小麦生长发育均正常,未见任何药害症状。收获期小麦测产结果表明(表 5),各药剂处理区与人工除草处理区(对照)相比,小麦产量基本相当,无显著差异。表明供试药剂对当茬小麦是安全的。

表 2 小麦返青初期田间喷施除草剂后 30 d 时的杂草防效

Table 2 Weed control effect at 30 d after halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG applied in early turning-green wheat period

药剂处理 Herbicide	用量 Application rate (g/hm ²)	播娘蒿 <i>D. sophia</i> (%)	猪殃殃 <i>G. aparine</i> (%)	麦家公 <i>L. arvense</i> (%)	麦瓶草 <i>S. conoidea</i> (%)	总残株数 Plant after treatment (Plant/m ²)	总株防效 Plant control effect (%)	鲜重 Fresh weight (g)	鲜重防效 Fresh weight control effect (%)
20% 氟氯吡啶酯· 双氟磺草胺	10.0	93.9 ±	100.0 ±	23.4 ±	83.5 ±	25.0	90.7 ±	54.2	88.8 ±
		3.9 ab	0 a	5.8 c	10.5 a		2.3 ab		3.0 ab
Halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG	15.0	93.7 ±	100.0 ±	20.9 ±	100.0 ±	26.2	90.3 ±	48.0	90.1 ±
		4.3 ab	0 a	4.7 cd	0 a		1.4 ab		2.3 ab
	20.0	100.0 ±	100.0 ±	26.0 ±	100.0 ±	22.0	91.9 ±	22.3	95.4 ±
		0 a	0 a	5.3 c	0 a		0.7 ab		1.9 a
	30.0	100.0 ±	100.0 ±	82.5 ±	92.7 ±	5.5	98.3 ±	9.4	98.0 ±
		0 a	0 a	3.8 a	7.3 a		0.7 a		0.8 a
7.5 g/L 氟氯吡啶酯 Halauxifen-methyl EC	7.5	81.1 ±	100.0 ±	6.6 ±	27.9 ±	40.2	86.1 ±	114.8	76.3 ±
		8.2 b	0 a	7.1 d	11.5 b		2.5 b		11.9 b
50 g/L 双氟磺草胺 Florasulam SC	7.5	82.0 ±	57.3 ±	48.5 ±	79.5 ±	146.5	58.6 ±	63.6	86.9 ±
		3.7 b	6.7 c	5.6 b	12.8 a		4.9 d		2.9 ab
36% 苯磺隆·啶草酮 Tribenuron-methyl + carfentrazone-ethyl WP	27.0	100.0 ±	70.3 ±	96.4 ±	90.1 ±	53.5	76.3 ±	80.6	83.4 ±
		0 a	5.9 b	5.9 a	5.8 a		4.4 c		7.7 ab
对照株数或鲜重 Control (Plant (or g)/m ²)	—	15.5	280.0	36.8	6.2	338.2	—	484.2	—

表中数据为平均数 ± 标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean ± SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan’s new multiple range test.

表 3 小麦越冬前田间喷施除草剂后 95 d 时的杂草防效

Table 3 Weed control effect at 95 d after halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG applied before over-wintering of wheat

药剂处理 Herbicide	用量 Application rate (g/hm ²)	播娘蒿 <i>D. sophia</i> (%)	猪殃殃 <i>G. aparine</i> (%)	麦家公 <i>L. arvense</i> (%)	麦瓶草 <i>S. conoidea</i> (%)	总残株数 Plant no. after treatment (Plant/m ²)	总株防效 Plant control effect (%)
20% 氟氯吡啶酯· 双氟磺草胺	10.0	76.5 ±	91.5 ±	33.6 ±	71.4 ±	44.8	68.3 ±
		9.6 a	2.7 a	8.6 c	11.7 a		2.6 b
Halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG	15.0	88.2 ±	95.9 ±	82.5 ±	57.1 ±	14.8	89.5 ±
		6.8 a	1.6 a	2.9 ab	18.4 a		0.2 a
	20.0	82.4 ±	88.6 ±	87.6 ±	78.6 ±	17.3	87.8 ±
		11.3 a	2.0 a	2.0 ab	13.7 a		1.7 a
30.0	94.1 ±	92.7 ±	92.2 ±	85.7 ±	10.8	92.4 ±	
	5.9 a	1.7 a	1.7 a	14.3 a		1.3 a	
7.5 g/L 氟氯吡啶酯 Halauxifen-methyl EC	7.5	82.4 ±	90.2 ±	-0.5 ±	57.1 ±	64.5	54.3 ±
		11.3 a	2.2 a	7.5 d	18.4 a		3.7 c
50 g/L 双氟磺草胺 Florasulam SC	7.5	82.4 ±	96.8 ±	72.8 ±	71.4 ±	19.0	86.5 ±
		11.3 a	3.1 a	4.8 b	16.5 a		1.4 a
36% 苯磺隆·啶草酮 Tribenuron-methyl + carfentrazone-ethyl WP	27.0	88.2 ±	94.6 ±	72.8 ±	64.3 ±	20.8	85.3 ±
		6.8 a	1.6 a	1.7 b	13.7 a		2.4 a
对照株数或鲜重 Control (Plant (or g)/m ²)	—	4.2	79.0	54.2	3.5	141.0	—

表中数据为平均数 ± 标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean ± SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan’s new multiple range test.

表 4 小麦越冬前田间喷施除草剂后 150 d 时的杂草防效

Table 4 Weed control effect at 150 d after halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG applied before over-wintering of wheat

药剂处理 Herbicide	用量 Application rate (g/hm ²)	播娘蒿	猪殃殃	麦家公	麦瓶草	总残株数	总株防效	鲜重防效	
		<i>D. sophia</i> (%)	<i>G. aparine</i> (%)	<i>L. arvense</i> (%)	<i>S. conoidea</i> (%)	Plant no. after treatment (Plant/m ²)	Plant control effect (%)	鲜重 Fresh weight (g)	Fresh weight control effect (%)
20% 氟氯吡啶酯· 双氟磺草胺	10.0	88.2 ± 11.8 a	97.3 ± 1.8 a	66.3 ± 4.1 d	85.7 ± 9.1 a	56.3	84.1 ± 1.6 a	97.2	88.8 ± 2.9 b
Halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG	15.0	94.1 ± 5.9 a	98.7 ± 0.8 a	78.8 ± 3.6 cd	90.5 ± 9.5 a	34.5	90.3 ± 1.5 a	54.0	93.8 ± 1.8 ab
	20.0	94.1 ± 5.9 a	98.6 ± 0.8 a	95.8 ± 0.9 ab	90.5 ± 5.5 a	9.8	97.2 ± 0.3 a	20.8	97.6 ± 0.4 a
	30.0	100.0 ± 0 a	97.8 ± 1.2 a	98.6 ± 0.6 a	90.5 ± 5.5 a	6.8	98.1 ± 0.3 a	15.5	98.2 ± 0.9 a
7.5 g/L 氟氯吡啶酯 Halauxifen-methyl EC	7.5	94.1 ± 5.9 a	96.5 ± 1.4 a	5.2 ± 9.2 e	19.0 ± 16.3 a	151.5	57.3 ± 4.5 b	316.2	63.7 ± 5.4 c
50 g/L 双氟磺草胺 Florasulam SC	7.5	82.4 ± 11.3 a	98.7 ± 0.8 a	81.7 ± 2.4 c	85.7 ± 9.1 a	31.0	91.3 ± 1.9 a	53.0	93.9 ± 1.3 ab
36% 苯磺隆·唑草酮 Tribenuron-methyl + carfentrazone-ethyl WP	27.0	88.2 ± 11.8 a	79.7 ± 12.2 b	84.3 ± 2.6 bc	66.7 ± 12.0 b	65.5	81.5 ± 1.7 a	49.0	94.4 ± 0.9 ab
对照株数或鲜重 Control (Plant (or g)/m ²)	—	4.2	197.2	147.8	5.2	354.5	—	871.2	—

表中数据为平均数 ± 标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean ± SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表 5 田间喷施除草剂后对当茬小麦产量的影响

Table 5 Yield of winter wheat after treated with halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG

药剂处理 Herbicide	用量 Application rate (g/hm ²)	2012			2013		
		小区产量 Yield per plot (kg)	折产量 Yield per hectare (kg/hm ²)	增产率 Yield increasing rate (%)	小区产量 Yield per plot (kg)	折产量 Yield per hectare (kg/hm ²)	增产率 Yield increasing rate (%)
20% 氟氯吡啶酯· 双氟磺草胺	10.0	12.5	6 262.5	1.0 ± 0.4 a	14.1	7 037.5	-0.7 ± 1.6 a
	15.0	12.5	6 225.0	0.4 ± 1.1 a	14.6	7 275.0	2.6 ± 1.0 a
Halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG	20.0	12.6	6 287.5	1.4 ± 0.7 a	14.5	7 237.5	2.1 ± 0.7 a
	30.0	12.5	6 250.0	0.8 ± 1.0 a	14.2	7 100.0	0.2 ± 1.0 a
7.5 g/L 氟氯吡啶酯 Halauxifen-methyl EC	7.5	12.3	6 125.0	-1.2 ± 1.9 a	14.4	7 175.0	1.2 ± 0.7 a
50 g/L 双氟磺草胺 Florasulam SC	7.5	12.1	6 050.0	-2.4 ± 1.6 a	14.2	7 100.0	0.2 ± 1.2 a
36% 苯磺隆·唑草酮 Tribenuron-methyl + carfentrazone-ethyl WP	27.0	12.7	6 350.0	2.4 ± 0.9 a	14.5	7 225.0	1.9 ± 0.8 a
人工除草 Control	—	12.4	6 200.0	—	14.2	7 087.5	—

表中数据为平均数 ± 标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean ± SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.3 复配药剂对后茬作物的安全性

麦田喷施 20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 15、30、45 g/hm² 后,于小麦收获后种植后茬作物,2012 年于药后 73 d 播种后茬作物玉米、大豆、棉花、花生,2013 年于药后 7 个月播种后茬作物玉米、大

豆、谷子、花生。后茬作物播种后调查发现,各药剂处理区和空白对照区相比,后茬作物的出苗、株高、叶色、叶片数及后期产量均基本一致,以 2013 年相对出苗率、播后 40 d 株高、小区产量为例(表 6),各处理间均无显著差异。

表 6 田间喷施除草剂对后茬作物生长及产量的影响(2013 年)
Table 6 Growth and yield of rotational crops after treated with herbicides (2013)

药剂处理 Herbicide	用量 Application rate (g/hm ²)	相对出苗率				播后 40 d 株高				增产率			
		Relative germination rate (%)				Height 40 d after planting (cm)				Yield increasing rate (%)			
		玉米 Maize	大豆 Soybean	谷子 Millet	花生 Peanut	玉米 Maize	大豆 Soybean	谷子 Millet	花生 Peanut	玉米 Maize	大豆 Soybean	谷子 Millet	花生 Peanut
20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 Halauxifen-methyl 10% + florasulam 10% WG	15	102.2 ± 4.1 a	97.2 ± 3.7 a	101.6 ± 3.1 a	105.6 ± 3.9 a	96.8 ± 2.5 a	48.7 ± 2.1 a	38.9 ± 1.4 a	25.0 ± 3.3 a	-3.7 ± 1.6 a	-0.5 ± 3.8 a	-2.3 ± 1.9 a	-3.4 ± 3.5 a
	30	98.9 ± 3.8 a	105.7 ± 3.9 a	94.0 ± 2.7 a	100.0 ± 5.5 a	94.6 ± 2.1 a	49.8 ± 1.2 a	39.0 ± 1.1 a	24.9 ± 1.9 a	-1.3 ± 4.7 a	0.5 ± 4.9 a	1.0 ± 3.5 a	1.3 ± 4.3 a
	45	98.9 ± 2.8 a	99.1 ± 2.9 a	99.2 ± 2.3 a	100.9 ± 1.8 a	95.8 ± 1.4 a	48.5 ± 0.6 a	38.9 ± 2.0 a	25.8 ± 3.1 a	1.5 ± 2.7 a	1.2 ± 5.6 a	0.6 ± 2.0 a	1.1 ± 4.4 a
空白对照 Control	—	—	—	—	—	97.3 ± 0.4 a	49.4 ± 1.3 a	39.0 ± 0.6 a	26.1 ± 2.3 a	—	—	—	—

表中数据为平均数 ± 标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean ± SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

3 讨论

植物生长素型除草剂不易被代谢,茎叶处理后几小时即可使敏感植物出现器官畸形,几天后薄壁细胞开始分裂,形成愈合组织;根端膨胀,停止伸长,并丧失吸收水分和养分的能力;韧皮部塞闭,光合作用也受到抑制;而后植物体内组织逐渐破坏,导致植物枯死(刘长令,2006)。氟氯吡啶酯也属植物生长素型除草剂,杂草着药后的受害症状与其它生长素型除草剂基本一致,本试验中春季返青初期施药,氟氯吡啶酯处理区杂草表现受害症状快,药后 7 d 杂草叶片扭曲严重、略黄化;杂草死亡速度比双氟磺草胺处理快,双氟磺草胺施药后杂草逐渐黄化,死亡速度慢;冬前低温下施药,氟氯吡啶酯处理区杂草死亡速度亦较慢,而二者复配后杂草扭曲、黄化,死亡速度较快。

我国现有耕作模式下,小麦田杂草种类繁多、群落结构复杂(李贵等,2015),播娘蒿、猪殃殃、麦家公、麦瓶草为我国冬小麦田优势杂草(姚万生等,2008)。本试验结果表明,小麦越冬前和返青初期施用氟氯吡啶酯 7.5 g/hm²,对播娘蒿、猪殃殃防效均较好,对麦家公、麦瓶草防效差或无效,小麦返青初期施用防效略好于越冬前施用;双氟磺草胺 7.5 g/hm²对供试 4 种杂草均有效,但杂草表现症状

及死亡速度慢,小麦越冬前施用效果显著好于返青初期施用;二者复配制剂 20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 越冬前和返青初期施用对这几类杂草防效均较好,2 个施药时期的防效基本相当,适宜推广用量为 15 ~ 20 g/hm²。冬小麦田杂草出齐后,越冬前或小麦返青初期喷施均可。

氟氯吡啶酯对小麦的安全性尚未见报道。侯珍等(2012)生物测定结果表明,双氟磺草胺对小麦和杂草的选择性远优于苯磺隆;李美等(2013)报道双氟磺草胺单用或与 2 甲 4 氯复配施用对小麦安全;Kieloch & Rola(2010)发现双氟磺草胺与吡氟酰草胺或 2,4-D 混用,对多个小麦品种安全。本研究结果也表明,在田间小麦越冬前或返青初期喷施氟氯吡啶酯 7.5 g/hm² 单剂或其复配制剂 20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 10 ~ 30 g/hm²,对小麦均安全。氟氯吡啶酯对小麦良好的选择性可能与该药可以被快速代谢有关,其在小麦体内的半衰期仅为 1.0 ~ 1.2 d(Mukherjee et al., 2014);复配制剂对小麦的安全性好也与小麦可快速代谢双氟磺草胺有关(de Boer et al., 2006)。本研究结果还表明,小麦田喷施 20% 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺 WG 15 ~ 45 g/hm²,对后茬作物玉米、大豆、花生、谷子和棉花出苗及生长无明显影响,安全性好,与李美等(2013)报道 43% 双氟磺草胺·2 甲 4 氯异辛酯 SE 对后茬作物玉

米、大豆、棉花和花生安全相一致。这可能与氟氯吡啶酯和双氟磺草胺二者在土壤中的半衰期均非常短,可以很快被降解失活有关(Jackson et al., 2000; Krieger et al., 2000; Mukherjee et al., 2014)。

氟氯吡啶酯单用对播娘蒿、猪殃殃防效好,对麦家公、麦瓶草防效差,与双氟磺草胺复配,可以提高防除杂草效果,扩大杀草谱,对小麦安全,对后茬作物亦安全,是一种非常具有发展前景的除草剂。另外,由于杂草对现有作用类型的除草剂均产生了不同程度的抗药性,且发生发展速度很快,已成为全球农业热点问题(Shaner, 2014)。目前,我国小麦田优势杂草如播娘蒿、荠菜、猪殃殃、麦家公等也对苯磺隆产生了普遍的抗药性(孙健等, 2010; 吴明荣等, 2013), 河北省、山东省有 50% 以上的区域,播娘蒿已对苯磺隆产生了中高水平抗性(许贤等, 2011; 高兴祥等, 2014b)。由于交互抗性,原有作用方式中新的化合物,往往不能解决生产中抗性杂草的治理问题(Busi et al., 2014),寻求新作用类型的除草剂和采用杂草综合治理的措施,是解决抗性杂草危害的重要方法(Owen et al., 2014)。氟氯吡啶酯对生产中的抗药性杂草种群的控制效果如何,有待于进一步试验研究。

参 考 文 献 (References)

- Auskalnis A, Kadzys A. 2006. Effect of timing and dosage in herbicide application on weed biomass in spring wheat. *Agronomy Research*, 4(5): 133 – 136
- Baghestani MA, Zand E, Soufizadeh S, Bagherani N, Deihimfard R. 2007. Weed control and wheat (*Triticum aestivum* L.) yield under application of 2,4-D plus carfentrazone-ethyl and florasulam plus flumetsulam; evaluation of the efficacy. *Crop Protection*, 26(12): 1759 – 1764
- Busi R, Gaines TA, Vila-Aiub MM, Powles SB. 2014. Inheritance of evolved resistance to a novel herbicide (pyroxasulfone). *Plant Science*, 217/218: 127 – 134
- de Boer GJ, Thornburgh S, Ehr RJ. 2006. Uptake, translocation and metabolism of the herbicide florasulam in wheat and broad-leaf weeds. *Pest Management Science*, 62(4): 316 – 324
- Gao XX, Li M, Fang F, Zhang YL, Sun ZW, Qi JS. 2014a. Species composition and characterization of weed community in wheat fields in Shandong Province. *Acta Prataculturae Sinica*, 23(5): 92 – 98 (in Chinese) [高兴祥, 李美, 房锋, 张悦丽, 孙作文, 齐军山. 2014a. 山东省小麦田杂草组成及群落特征防除. 草业学报, 23(5): 92 – 98]
- Gao XX, Li M, Gao ZJ, Fang F, Zhang YL, Qi JS. 2014b. Determination of flixweed (*Descurainia sophia*) resistance to tribenuron-methyl in Shandong Province. *Journal of Plant Protection*, 41(3): 373 – 378 (in Chinese) [高兴祥, 李美, 高宗军, 房锋, 张悦丽, 齐军山. 2014b. 山东省小麦田播娘蒿对苯磺隆的抗性测定. 植物保护学报, 41(3): 373 – 378]
- Green JM. 2014. Current state of herbicides in herbicide-resistant crops. *Pest Management Science*, 70(9): 1351 – 1357
- Hou Z, Xie N, Dong XX, Zhang XF, Li LX, Wang JX. 2012. Evaluation of herbicidal activity of florasulam and its safety to various wheat varieties. *Journal of Plant Protection*, 39(4): 357 – 363 (in Chinese) [侯珍, 谢娜, 董秀霞, 张晓芳, 李凌绪, 王金信. 2012. 双氟磺草胺的除草活性及对不同小麦品种的安全性评价. 植物保护学报, 39(4): 357 – 363]
- Jackson R, Ghosh D, Paterson G. 2000. The soil degradation of the herbicide florasulam. *Pest Management Science*, 56(12): 1065 – 1072
- Kieloch R, Rola H. 2010. Sensitivity of winter wheat cultivars to selected herbicides. *Journal of Plant Protection Research*, 50(1): 35 – 40
- Krieger MS, Yoder RN, Gibson R. 2000. Photolytic degradation of florasulam on soil and in water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8): 3710 – 3717
- Li BH, Wang GQ, Wei SH, Fan CQ, Huang HJ, Zhang CX. 2013. Characterization of weed community in winter wheat in Hebei Province. *Journal of Plant Protection*, 40(1): 83 – 88 (in Chinese) [李秉华, 王贵启, 魏守辉, 樊翠芹, 黄红娟, 张朝贤. 2013. 河北省冬小麦田杂草群落特征. 植物保护学报, 40(1): 83 – 88]
- Li G, Wang XL, Zhang CX, Huang HJ, Wei SH. 2015. Effects of rice-straw residues and herbicide clodinafop-propargyl on wheat and Gramineae weeds. *Journal of Plant Protection*, 42(1): 130 – 137 (in Chinese) [李贵, 王晓琳, 张朝贤, 黄红娟, 魏守辉. 2015. 水稻秸秆还田结合炔草酯对禾本科杂草和小麦生长发育的影响. 植物保护学报, 42(1): 130 – 137]
- Li M, Gao XX, Gao ZJ, Zhao W, Wu JJ, Lee MS. 2013. Weed control effect and crop response to florasulam plus MCPA. *Journal of Plant Protection*, 40(6): 557 – 563 (in Chinese) [李美, 高兴祥, 高宗军, 赵维, 吴加军, 李茂昇. 2013. 双氟磺草胺·2甲4氯联合作用及作物安全性评价. 植物保护学报, 40(6): 557 – 563]
- Liu CL. 2006. Network academic resources of pesticide; herbicide. Beijing: Chemical Industry Press, pp. 100 – 101 (in Chinese) [刘长令. 2006. 世界农药大全: 除草剂卷. 北京: 化学工业出版社, pp. 100 – 101]
- Mukherjee S, Goon A, Ghosh B, Kundu A, Chakrabarti K, Roy S, Bhattacharyya A. 2014. Persistence behaviour of a mixed formulation (florasulam 10% + halauxifen methyl 10.4% WG) in wheat. *Journal of Crop and Weed*, 10(2): 414 – 418
- Owen MJ, Martinez NJ, Powles SB. 2014. Multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum* (annual ryegrass) now dominates across the Western Australian grain belt. *Weed Research*, 54(3): 314 – 324

Paterson EA, Shenton ZL, Straszewski AE. 2002. Establishment of the baseline sensitivity and monitoring response of *Papaver rhoeas* populations to florasulam. *Pest Management Science*, 58 (9): 964 – 966

Shaner DL. 2014. Lessons learned from the history of herbicide resistance. *Weed Science*, 62(2): 427 – 431

Su SQ. 2001. Florasulam—a new herbicide belong to triazolo [1,5- α] pyrimidine-2-sulfonilide herbicide. *World Pesticides*, 23 (4): 53 – 54, 46 (in Chinese) [苏少泉. 2001. 三唑嘧啶磺酰胺类除草剂新品种—双氟磺草胺. *世界农药*, 23 (4): 53 – 54, 46]

Sun J, Wang JX, Zhang HJ, Liu JL, Bian SN. 2010. Study on mutations in ALS of resistance to tribenuron-methyl in *Galium aparine* L. *Scientia Agricultura Sinica*, 43(5): 972 – 977 (in Chinese) [孙健, 王金信, 张宏军, 刘君良, 卞圣楠. 2010. 抗苯磺隆猪殃殃乙酰乳酸合成酶的突变研究. *中国农业科学*, 43(5): 972 – 977]

Sun QX, Wang SX, Jiang YF, Guo HX. 2013. Analysis of XDE-729 methyl and florasulam by HPLC. *Pesticide Science and Administration*, 34(2): 43 – 45 (in Chinese) [孙启霞, 王胜翔, 姜宜飞, 郭海霞. 2013. 氟氯吡啶酯·双氟磺草胺20%水分散粒剂的高效液相色谱分析. *农药科学与管理*, 34 (2): 43 – 45]

Wu MR, Tang W, Chen J. 2013. Herbicide application and resistance in wheat field of China. *Agrochemicals*, 52(6): 457 – 460 (in Chinese) [吴明荣, 唐伟, 陈杰. 2013. 我国小麦田除草剂应用及杂草抗药性现状. *农药*, 52(6): 457 – 460]

Xu X, Wang GQ, Fan CQ, Li BH. 2011. Confirmation of flaxweed (*Descurainia sophia*) resistance to tribenuron-methyl in Hebei Province. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 26 (S1): 241 – 247 (in Chinese) [许贤, 王贵启, 樊翠芹, 李秉华. 2011. 河北省境内播娘蒿对苯磺隆抗药性研究. *华北农学报*, 26 (S1): 241 – 247]

Yao WS, Lei SW, Xue SP. 2008. Situation of the wheat weed and preventive countermeasures in Guanzhong wheat region. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 26(4): 121 – 124, 162 (in Chinese) [姚万生, 雷树武, 薛少平. 2008. 关中地区麦田杂草危害状况及防除对策. *干旱地区农业研究*, 26(4): 121 – 124, 162]

(责任编辑:李美娟)