

双氟磺草胺的除草活性及对不同小麦品种的安全性评价

侯 珍¹ 谢 娜¹ 董秀霞² 张晓芳³ 李凌绪¹ 王金信^{1*}

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 山东省茌平县农业局, 聊城 252100;
3. 河北省农林科学院植物保护研究所, 保定 071000)

摘要: 双氟磺草胺为三唑并嘧啶磺酰胺类除草剂, 为了明确其在我国北方麦田的应用前景, 采用室内生测法研究双氟磺草胺的杀草谱、除草活性及对不同小麦品种安全性。双氟磺草胺对麦田常见阔叶杂草活性较高, 对麦田恶性杂草播娘蒿、麦瓶草、麦家公、猪殃殃和荠菜的除草活性均高于常用除草剂苯磺隆, 毒力倍数分别为 1.56、6.26、1.65、18.27 和 22.75。济南 17 和山优 2 号 2 种小麦对双氟磺草胺的耐药性分别为苯磺隆的 2.57 倍和 11.66 倍。双氟磺草胺在小麦与 5 种杂草之间的选择性指数(11.16~49.32)远优于苯磺隆。该除草剂对小麦苗期的株高及鲜重有抑制作用, 且对不同小麦品种的影响差异显著, 其中对临麦 2 号、济宁 13 及济南 17 的株高和鲜重抑制率相对较高, 对潍麦 8 号、山农 6 号及泰山 9818 等相对较低。研究表明双氟磺草胺具有很好的应用前景。

关键词: 双氟磺草胺; 小麦; 杀草谱; 生物活性; 安全性

Evaluation of herbicidal activity of florasulam and its safety to various wheat varieties

Hou Zhen¹ Xie Na¹ Dong Xiuxia² Zhang Xiaofang³ Li Lingxu¹ Wang Jinxin^{1*}

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong Province, China;
2. Agricultural Bureau of Chiping, Liaocheng 252100, Shandong Province, China; 3. Institute of
Plant Protection, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Science,
Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: In order to demonstrate the application value of florasulam in wheat field in northern China, the spectrum of weed control, herbicidal activity and the safety to common various wheat varieties of florasulam which belonged to triazolo [1, 5-c] pyrimidine-2-sulfonanilide herbicides were studied in the laboratory. The results indicated that florasulam had a wonderful herbicidal activity to common broadleaf weeds in wheat field, and there was higher biological activity against *Descurainia sophia*, *Silene conoidea*, *Lithospermum arvense*, *Galium aparine* and *Capsella bursa-pastoris* than tribenuron-methyl with the activity ratio of 1.56, 6.26, 1.65, 18.27 and 22.75. The tolerance of Jinan 17 and Shanyou 2 to florasulam were 2.57 and 11.66 times more than tribenuron-methyl respectively. There was better selectivity to florasulam between wheat and weed (selectivity index 11.16–49.32) than tribenuron-methyl. In seedling stage, plant length and fresh weight were inhibited when wheat was treated with florasulam and the inhibition to various wheat varieties was significantly different, the inhibition ratio to Linmai 2, Jining 13 and Jinan 17 was relatively higher and the lower was Weimai 8, Shannong 6 and Taishan 9818. In

作者简介: 侯珍, 女, 1986 年生, 硕士研究生, 研究方向为农药毒理与有害生物抗药性, E-mail: cherryzhener@163.com

* 通讯作者 (Author for correspondence), E-mail: wangjx@sdau.edu.cn, Tel: 0538-8241114

收稿日期: 2012-01-04

conclusion, florasulam has an excellent application prospect.

Key words: florasulam; wheat; weed spectrum; biological activity; safety

三唑并嘧啶磺酰胺类除草剂是以磺酰脲类除草剂为先导,经过生物等排取代及结构修饰而开发成功的^[1-2],其作用机制与磺酰脲类除草剂相同,是典型的乙酰乳酸合成酶抑制剂^[3]。该类除草剂已开发的品种主要有唑嘧磺草胺(flumetsulam)、五氟磺草胺(penoxsulam)、磺草唑胺(metosulam)和双氟磺草胺(florasulam)等^[4]。其中双氟磺草胺是近年来陶氏益农公司开发的高活性除草剂,化学名称为2',6'-二氟-5-甲氧基-8-氟[1,2,4]三唑[1,5-c]嘧啶-2-磺酰苯胺。

双氟磺草胺生物活性之高、用量之低是现有任何除草剂难以比拟的。该药剂为苗后茎叶处理防除小麦田阔叶杂草的广谱除草剂,还可用于大麦、洋葱、草坪及放牧地等^[5],其施药期宽,冬前至早春均可用药,且可混性强,适宜与植物生长调节剂、其它除草剂、杀菌剂等混用。在田间条件下,双氟磺草胺单剂或与其与唑嘧磺草胺、2,4-D、唑酮草酯等药剂混用对小麦田多种阔叶杂草如猪殃殃、荠菜和播娘蒿等都具有很好的防效^[6-8],且由于小麦代谢双氟磺草胺的速率远快于杂草,因此对小麦安全^[9-11]。此外,双氟磺草胺还可与2,4-D等混用防治玉米田阔叶杂草,对玉米安全且有增产作用^[12]。土壤研究表明,双氟磺草胺半衰期为2~18天,对后茬作物安全^[13-14]。

为了明确双氟磺草胺在我国北方麦田的应用前景,作者等采用室内生测法研究该药剂的杀草谱、除草活性及对不同小麦品种的安全性。

1 材料与方法

1.1 材料

供试药剂:99%双氟磺草胺(florasulam)原药,青岛农冠农药有限责任公司提供;98%苯磺隆(tribenuron-methyl)原药,山东华阳科技股份有限公司提供。

供试杂草:播娘蒿 *Descurainia sophia*、三叶鬼针草 *Bidens pilosa*、麦瓶草 *Silene conoidea*、麦家公 *Lithospermum arvense*、猪殃殃 *Galium aparine*、荠菜 *Capsella bursa-pastoris*、牛繁缕 *Malachium aquaticum*、鳢肠 *Eclipta prostrata*、独行菜 *Lepidium apetalum*、苣荬菜 *Sonchus arvensis*、香附子 *Cyperus rotundus*、饭包草 *Commelina bengalensis*、蚤缀 *Arenaria serpyllifolia*、红

蓼 *Polygonum orientale*、苘麻 *Abutilon theophrasti*、苍耳 *Xanthium sibiricum*、裂叶牵牛 *Pharbitis nil*、马齿苋 *Portulaca oleracea*、泽漆 *Euphorbia helioscopia*、藜 *Chenopodium album*、小藜 *Chenopodium serotinum*、反枝苋 *Amaranthus retroflexus*、铁苋菜 *Acalypha australis*、决明子 *Cassia tora*、看麦娘 *Alopecurus aequalis*、牛筋草 *Eleusine indica*、多花黑麦草 *Lolium multiflorum*、马唐 *Digitaria sanguinalis*、野燕麦 *Avena fatua*、稗草 *Echinochloa crusgalli*,均采自于山东泰安周边地区。

供试小麦:潍麦8号、山农6号、泰山9818、豫麦2号、济麦20、鲁麦19、淄麦12、多丰2000、鲁麦21、聊麦18、豫66、山优2号、良星99、洲元9369、晋麦21号、济南17、枣20-28、临麦2号、烟农15、济宁13,山东农业大学农学院提供。

仪器:ASS-4型自动控制农药喷洒系统,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;SPX型智能生化培养箱,宁波江南仪器厂;GA110型万分之一电子天平,德国赛多利斯公司。

1.2 室内生物测定

1.2.1 药剂配制

准确称取一定量试验药剂,少量丙酮溶解后,配成高浓度母液,应用时用0.1%吐温80水溶液将母液稀释成试验所需剂量或系列浓度。以不含药剂的0.1%吐温80水溶液作为空白对照。

1.2.2 试材培养

挑选均匀一致的杂草或小麦种子,于生化培养箱中催芽至露白。试验采用有机质含量1.7%、pH 7.0、通透性良好、过筛的风干壤土。试验土壤定量装至盆钵的4/5处。采用盆钵底部渗灌方式,使土壤完全湿润。将催芽露白的供试杂草或小麦种子均匀播撒于土壤表面,根据种子大小覆土0.5~2.0 cm,播种后移入温室常规培养。杂草或小麦出苗后进行间苗定株,保证密度一致(总密度120~150株/m²),待阔叶杂草长至3片真叶或禾本科杂草及小麦长至3叶1心期进行喷雾处理。

1.2.3 双氟磺草胺杀草谱试验

参照《农药室内生物测定试验准则》¹⁵。双氟磺草胺处理剂量为2.5和5.0 g/hm²(有效剂量,余同),对比药剂苯磺隆处理剂量为5.625和11.25 g/hm²,喷液量450 kg/hm²,每处理4次重复,处理后置温室中常规培养。试验期间白天温度21~27℃,晚

上 14~21℃,相对湿度为 67%~80%,处理后定期观察植株生长情况,第 21 天称地上部分鲜重,计算抑制率。

鲜重抑制率(%) = [(对照杂草鲜重 - 处理杂草鲜重)/对照杂草鲜重] × 100

将供试的 30 种杂草对双氟磺草胺的反应程度按照鲜重抑制率分为极敏感(++++, >90%)、敏感(+++, 80%~90%)、中度敏感(++ , 60%~79%)、一般耐药(+ , 30%~59%)和耐药(- , <30%) 5 级。

1.2.4 双氟磺草胺对麦田主要杂草生物活性

供试杂草麦瓶草、猪殃殃、荠菜、麦家公和播娘蒿,将双氟磺草胺和对比药剂苯磺隆分别针对不同的杂草配制系列剂量,杂草茎叶处理后置于温室内培养,试验条件同 1.2.3,第 21 天测定地上部分鲜重,计算鲜重抑制率。用 DPS 统计分析软件进行数据分析,以抑制率概率值(Y)和浓度对数值(X)建立回归方程($Y = a + bX$),求出双氟磺草胺和苯磺隆对 5 种常见杂草的 IC_{50} 和 IC_{90} ,并计算双氟磺草胺对苯磺隆的毒力倍数。

毒力倍数 = IC_{50} (苯磺隆) / IC_{50} (双氟磺草胺)

1.2.5 双氟磺草胺对不同小麦品种苗期生长的影响

参照《农药室内生物测定试验准则》^[15]。以双氟磺草胺 20 g/hm² 剂量喷雾处理 3 叶 1 心期小麦,处理后置于温室内培养,试验条件同 1.2.3,定期观察植株生长情况,第 21 天测量地上部分鲜重、株高,计算鲜重和株高抑制率。

株高抑制率(%) = [(对照小麦株高 - 处理小麦株高)/对照小麦株高] × 100

鲜重抑制率(%) = [(对照小麦鲜重 - 处理小麦鲜重)/对照小麦鲜重] × 100

1.2.6 双氟磺草胺对 2 种小麦的选择性指数测定

小麦品种为济南 17 和山优 2 号,将双氟磺草胺和对比药剂苯磺隆配制系列剂量,小麦 3 叶 1 心期喷雾处理后置于温室内培养,试验条件同 1.2.3,第 21 天测定地上部分鲜重,计算鲜重抑制率。用 DPS 统计软件进行数据分析,以抑制率概率值(Y)和浓度对数值(X)建立回归方程($Y = a + bX$),求出双氟磺草胺和苯磺隆对小麦的 IC_{10} 和 IC_{50} ,并计算双氟磺草胺对苯磺隆的耐药性倍数。以药剂对小麦品种的 IC_{10} 和对杂草的 IC_{90} 值,计算双氟磺草胺和苯磺隆在小麦和杂草之间的选择性指数。

耐药性倍数 = IC_{50} (双氟磺草胺) / IC_{50} (苯

磺隆)

选择性指数 = 抑制小麦生长 10% 的剂量/抑制杂草生长 90% 的剂量

2 结果与分析

2.1 双氟磺草胺杀草谱评价

双氟磺草胺对多种阔叶杂草均有很高的防效,在 2.5 g/hm² 剂量下,对播娘蒿、三叶鬼针草、麦瓶草、麦家公、猪殃殃、荠菜、牛繁缕和鳢肠有极高的生物活性,对独行菜也表现出很好的防治效果,对苣荬菜、香附子、饭包草、蚤缀和红蓼的防效为 60%~79%,对苘麻、苍耳、裂叶牵牛、马齿苋和泽漆的防效较差,小于 60%,对其它杂草如藜、小藜、反枝苋、铁苋菜和决明子的防效很差,对禾本科杂草几乎没有抑制作用。苯磺隆在 5.625 g/hm² 剂量下对播娘蒿、三叶鬼针草、麦瓶草和麦家公的防效与 2.5 g/hm² 剂量的双氟磺草胺相近,但对鳢肠及小麦田恶性杂草猪殃殃、荠菜、牛繁缕的防效低于 2.5 g/hm² 的双氟磺草胺,对苣荬菜、藜、小藜和苘麻的防效高于 2.5 g/hm² 的双氟磺草胺。将两药剂的剂量提高 1 倍后,对杂草的防效有不同程度提高(表 1)。

2.2 双氟磺草胺对麦田主要杂草的生物活性

双氟磺草胺对麦田 5 种杂草均表现出很高的生物活性,其中对麦瓶草和猪殃殃的生物活性最高, IC_{50} 值分别为 0.0274 和 0.0971 g/hm²;其次是荠菜、麦家公和播娘蒿, IC_{50} 值分别为 0.1867、0.2091 和 0.2491 g/hm²。苯磺隆对麦瓶草、猪殃殃、荠菜、麦家公和播娘蒿的 IC_{50} 值分别为 0.1716、1.7742、4.2476、0.3450 和 0.3876 g/hm²。双氟磺草胺对 5 种杂草的毒力分别为苯磺隆的 6.26、18.27、22.75、1.65 和 1.56 倍(表 2)。

2.3 双氟磺草胺对不同小麦品种苗期生长的影响

双氟磺草胺对不同小麦品种的生长发育均有一定影响,且品种间敏感性差异很大,施药后 21 天,临麦 2 号、济宁 13 和济南 17 药害症状最明显,表现为叶片褪绿,植株矮化,生长受阻,株高抑制率在 26.46%~33.15% 之间,鲜重抑制率在 29.00%~37.87% 之间;烟农 15、良星 99 和枣 20-28 等受抑制程度较强,其它品种如鲁麦 19、山优 2 号、鲁麦 21 和淄麦 12 等也表现出轻微的药害症状,潍麦 8 号、山农 6 号和泰山 9818 的株高和鲜重抑制率相对较低,分别在 3.04%~8.14% 和 5.76%~16.99% 之间,对生长影响不大(表 3)。

表 1 双氟磺草胺对多种杂草的防除效果评价
Table 1 Herbicidal effect of florasulam to trail weeds

供试杂草 Trail weed	剂量 Dose (g/hm ²)				供试杂草 Trail weed	剂量 Dose (g/hm ²)			
	双氟磺草胺 Florasulam		苯磺隆 Tribenuron-methyl			双氟磺草胺 Florasulam		苯磺隆 Tribenuron-methyl	
	2.5	5	5.625	11.25		2.5	5	5.625	11.25
播娘蒿 <i>D. sophia</i>	++++	++++	++++	++++	苍耳 <i>X. sibiricum</i>	+	++	-	-
三叶鬼针草 <i>B. pilosa</i>	++++	++++	++++	++++	裂叶牵牛 <i>P. nil</i>	+	++	+	+
麦瓶草 <i>S. conoidea</i>	++++	++++	++++	++++	马齿苋 <i>P. oleracea</i>	+	+	+	+
麦家公 <i>L. arvense</i>	++++	++++	++++	++++	泽漆 <i>E. helioscopia</i>	+	+	+	+
猪殃殃 <i>G. aparine</i>	++++	++++	++	+++	藜 <i>C. album</i>	-	+	++++	++++
芥菜 <i>C. bursa-pastoris</i>	++++	++++	++	++	小藜 <i>C. serotinum</i>	-	+	++++	++++
牛繁缕 <i>M. aquaticum</i>	++++	++++	+	++	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	-	+	+	++
鳢肠 <i>E. prostrata</i>	++++	++++	++	++	铁苋菜 <i>A. australis</i>	-	-	-	-
独行菜 <i>L. apetalum</i>	+++	++++	+++	++++	决明子 <i>C. tora</i>	-	-	-	-
苣荬菜 <i>S. arvensis</i>	++	++++	++++	++++	看麦娘 <i>A. aequalis</i>	-	-	-	-
香附子 <i>C. rotundus</i>	++	+++	-	-	牛筋草 <i>E. indica</i>	-	-	-	-
饭包草 <i>C. bengalensis</i>	++	+++	-	+	多花黑麦草 <i>L. multiflorum</i>	-	-	-	-
蚤缀 <i>A. serpyllifolia</i>	++	++	++	+++	马唐 <i>D. sanguinalis</i>	-	-	-	-
红蓼 <i>P. orientale</i>	++	++	-	+	野燕麦 <i>A. fatua</i>	-	-	-	-
苘麻 <i>A. theophrasti</i>	+	+++	+++	+++	稗草 <i>E. crusgalli</i>	-	-	-	-

注: +++++: 抑制率 >90%; ++++: 抑制率 80% ~ 90%; ++: 抑制率 60% ~ 79%; +: 抑制率 30% ~ 59%; -: 抑制率 <30%。Note: +++++: Inhibitory rate of fresh weight >90%; ++++: inhibitory rate of fresh weight between 80% and 90%; ++: inhibitory rate of fresh weight between 60% and 79%; +: inhibitory rate of fresh weight between 30% and 59%; -: inhibitory rate of fresh weight <30%.

表 2 双氟磺草胺和苯磺隆对麦田主要杂草的生物活性

Table 2 Biological activity of florasulam and tribenuron-methyl to main weeds in wheat field

供试杂草 Trial weed	除草剂 Herbicide	回归方程 (Y =) Regression equation	IC ₅₀ (95% CL) (g/hm ²)	IC ₉₀ (95% CL) (g/hm ²)	毒力倍数 Activity ratio
麦瓶草 <i>S. conoidea</i>	双氟磺草胺 Florasulam	6.4263 + 0.9127X	0.0274 (0.0149 ~ 0.0502)	0.6941 (0.5784 ~ 0.8329)	6.26
	苯磺隆 Tribenuron-methyl	5.6765 + 0.8839X	0.1716 (0.1029 ~ 0.2864)	4.8367 (3.9845 ~ 5.8699)	1.00
	猪殃殃 <i>G. aparine</i>	6.1426 + 1.1280X	0.0971 (0.0818 ~ 0.1151)	1.3280 (1.2012 ~ 1.4681)	18.27
芥菜 <i>C. bursa-pastoris</i>	双氟磺草胺 Florasulam	4.3296 + 2.6923X	1.7742 (1.4582 ~ 2.1586)	5.3090 (3.8498 ~ 7.3215)	1.00
	苯磺隆 Tribenuron-methyl	6.0808 + 1.4831X	0.1867 (0.1250 ~ 0.2789)	1.3657 (1.1354 ~ 1.6426)	22.75
	麦家公 <i>L. arvense</i>	3.1899 + 2.8817X	4.2476 (3.3793 ~ 5.3390)	11.8267 (8.1370 ~ 17.1895)	1.00
播娘蒿 <i>D. sophia</i>	双氟磺草胺 Florasulam	6.0281 + 1.5125X	0.2091 (0.1473 ~ 0.2967)	1.4709 (1.1549 ~ 1.8733)	1.65
	苯磺隆 Tribenuron-methyl	5.6956 + 1.5050X	0.3450 (0.1961 ~ 0.6068)	2.4510 (1.9254 ~ 3.1200)	1.00
	双氟磺草胺 Florasulam	7.6508 + 4.3910X	0.2491 (0.1750 ~ 0.3544)	0.4877 (0.3741 ~ 0.6359)	1.56
猪殃殃 <i>G. aparine</i>	双氟磺草胺 Florasulam	5.5967 + 1.4497X	0.3876 (0.2720 ~ 0.5524)	2.9679 (2.3836 ~ 3.6954)	1.00
	苯磺隆 Tribenuron-methyl				

表 3 双氟磺草胺对不同小麦品种苗期生长的影响

Table 3 The development effect of various wheat varieties to florasulam in seedling stage

小麦品种 Wheat variety	株高 Plant height (cm)			鲜重 Fresh weight (g)		
	对照 CK	处理 Treatment	抑制率(%) Inhibiting rate	对照 CK	处理 Treatment	抑制率(%) Inhibiting rate
临麦 2 号 Linmai 2	27.30 ± 2.02	18.25 ± 2.05	33.15 ± 2.38 a	1.85 ± 0.37	1.15 ± 0.26	37.87 ± 4.45 a
济宁 13 Jining 13	24.36 ± 3.63	17.42 ± 3.24	28.49 ± 4.20 ab	1.24 ± 0.29	0.88 ± 0.14	29.00 ± 3.69 abc
济南 17 Jinan 17	30.84 ± 1.61	22.68 ± 2.77	26.46 ± 2.84 abc	1.21 ± 0.16	0.81 ± 0.18	33.20 ± 4.77 ab
晋麦 21 号 Jinmai 21	28.50 ± 3.19	21.29 ± 3.10	25.30 ± 3.44 abc	1.06 ± 0.12	0.85 ± 0.13	20.30 ± 3.94 cdef
烟农 15 Yannong 15	26.60 ± 1.36	20.06 ± 2.46	24.59 ± 2.92 bc	1.25 ± 0.23	0.94 ± 0.25	24.94 ± 6.21 bcde
洲元 9369 Zhouyuan 9369	28.13 ± 1.58	21.23 ± 3.09	24.54 ± 3.47 bc	1.06 ± 0.21	0.76 ± 0.11	28.37 ± 3.38 abc
良星 99 Liangxing 99	24.72 ± 1.54	19.36 ± 1.89	21.69 ± 2.42 bcd	1.23 ± 0.40	0.89 ± 0.14	28.00 ± 3.55 abcd
枣 20-28 Zao 20-28	29.98 ± 3.60	24.00 ± 1.63	19.95 ± 1.72 cde	1.40 ± 0.30	1.19 ± 0.14	15.07 ± 3.25 efgh
鲁麦 19 Lumai 19	22.47 ± 1.80	19.07 ± 0.51	15.13 ± 0.72 def	1.14 ± 0.06	0.96 ± 0.07	15.70 ± 2.02 efgh
山优 2 号 Shanyou 2	28.06 ± 3.39	24.11 ± 2.67	14.08 ± 3.01 defg	1.03 ± 0.27	0.87 ± 0.11	15.51 ± 3.39 efgh
豫 66 Yu 66	27.56 ± 2.56	23.73 ± 3.12	13.90 ± 3.58 defg	1.21 ± 0.31	0.96 ± 0.16	20.94 ± 4.07 cdef
聊麦 18 Liaomai 18	22.66 ± 1.86	19.66 ± 1.72	13.24 ± 2.40 efg	1.22 ± 0.30	0.86 ± 0.09	29.46 ± 2.43 abc
鲁麦 21 Lumai 21	25.80 ± 0.69	22.61 ± 2.75	12.35 ± 3.37 efg	0.87 ± 0.16	0.70 ± 0.13	18.99 ± 4.67 cdefg
济麦 20 Jimai 20	23.02 ± 2.51	20.60 ± 1.23	10.52 ± 1.69 fgh	0.96 ± 0.21	0.85 ± 0.08	11.46 ± 2.71 fgh
淄麦 12 Zimai 12	24.36 ± 2.24	22.00 ± 2.39	9.67 ± 3.10 fgh	0.89 ± 0.20	0.82 ± 0.05	8.38 ± 1.83 gh
多丰 2000 Duofeng 2000	23.80 ± 1.30	21.70 ± 1.39	8.82 ± 1.84 fgh	1.17 ± 0.10	0.99 ± 0.07	15.47 ± 1.79 efgh
豫麦 2 号 Yumai 2	25.14 ± 3.54	23.00 ± 2.99	8.51 ± 1.25 fgh	1.32 ± 0.12	1.01 ± 0.17	23.33 ± 4.09 bcde
泰山 9818 Taishan 9818	27.54 ± 3.10	25.30 ± 1.32	8.14 ± 1.52 fgh	1.18 ± 0.18	0.98 ± 0.11	16.99 ± 2.85 defgh
山农 6 号 Shannong 6	25.72 ± 2.87	24.20 ± 0.79	5.90 ± 0.98 gh	1.22 ± 0.25	1.03 ± 0.10	15.37 ± 2.62 efgh
潍麦 8 号 Weimai 8	28.36 ± 1.99	27.50 ± 0.62	3.04 ± 0.69 h	1.04 ± 0.15	0.98 ± 0.04	5.76 ± 1.32 h

注:表中数据为平均数 ± 标准差。同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Note: The data in the table is mean ± SD. The different letters in the same column indicate significantly different at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.4 双氟磺草胺对 2 个小麦品种的选择性指数

双氟磺草胺对济南 17 和山优 2 号的 IC_{10} 分别为 16.4220 g/hm² 和 24.0543 g/hm², 苯磺隆对 2 个小麦品种的 IC_{10} 分别为 25.0086 g/hm² 和 24.3106 g/hm², 两者相差不大; 但 IC_{50} 却有较大差异, 双氟磺草胺对济南 17 和山优 2 号的 IC_{50} 分别为 1088.2788 g/hm² 和 5990.0731 g/hm², 苯磺隆对 2 个小麦品种的 IC_{50} 仅为 422.9641 g/hm² 和 513.8369 g/hm², 2 种小麦对双氟磺草胺的耐药性分别为苯磺隆的 2.57 倍和 11.66 倍(表 4)。结合表 2 结果, 可得双氟磺草胺在济南 17 和山优 2 号 2 种小麦与 5 种杂草之间的选择性指数在 11.16 ~ 49.32 之间, 而苯磺隆在 2 种小麦与 5 种杂草之间的选择性指数在 2.06 ~ 10.20 之间, 远低于双氟磺草胺(图 1), 说明双氟磺草胺在小麦与靶标杂草间有极好的选择性, 在麦田应用的安全性优于苯磺隆。

3 讨论

植物氨基酸合成中的关键酶一直是新型除草剂研发中重要的靶标酶^[16], 在除草剂的研究和应用领域, 以乙酰乳酸合成酶 (acetolactate synthase, ALS) 为靶标设计开发新型超高效除草剂是当前除草剂研究的热点领域^[17-19]。双氟磺草胺作为三唑并嘧啶磺酰胺 ALS 抑制剂类除草剂, 可以抑制植物体内支链氨基酸的生物合成, 与目前小麦田广泛应用的磺酰脲类除草剂苯磺隆具有相同的作用机制。本研究发现, 双氟磺草胺的杀草谱较苯磺隆宽, 在试验剂量下, 双氟磺草胺对多数阔叶杂草的防效较苯磺隆好, 对麦瓶草等 5 种麦田杂草的生物活性也均高于苯磺隆。

在开发高效除草剂的过程中, 作物安全性也是综合判断除草剂优劣的重要指标^[20]。苯磺隆作为

表 4 双氟磺草胺与苯磺隆对 2 种小麦的耐药性

Table 4 The tolerance bioassay of florasulam and tribenuron-methyl to 2 varieties of wheat

小麦品种 Wheat variety	除草剂 Herbicide	回归方程 (Y =) Regression equation	IC ₁₀ (95% CL) (g/hm ²)	IC ₅₀ (95% CL) (g/hm ²)	耐药性倍数 Tolerance ratio
济南 17 Jinan 17	双氟磺草胺 Florasulam	2.8632 + 0.7036X	16.4220 (10.0128 ~ 26.9338)	1088.2788 (849.1683 ~ 1394.7190)	2.57
	苯磺隆 Tribenuron-methyl	2.2596 + 1.0434X	25.0086 (20.5814 ~ 30.3883)	422.9641 (316.9322 ~ 564.4696)	1.00
山优 2 号 Shanyou 2	双氟磺草胺 Florasulam	2.9798 + 0.5348X	24.0543 (13.7900 ~ 41.9586)	5990.0731 (2272.7643 ~ 15787.3700)	11.66
	苯磺隆 Tribenuron-methyl	2.3781 + 0.1775X	24.3106 (18.1431 ~ 32.5748)	513.8369 (324.2136 ~ 814.3655)	1.00

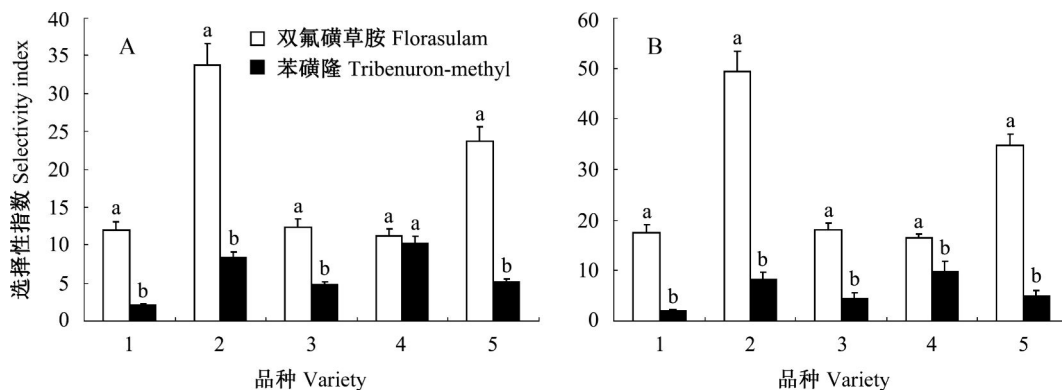


图 1 双氟磺草胺和苯磺隆在济南 17 (A)、山优 2 号 (B) 与杂草间的选择性指数

Fig. 1 The selectivity index of florasulam and tribenuron-methyl between Ji'nan 17 (A), Shanyou 2 (B) and weed

注: 1. 荠菜, 2. 播娘蒿, 3. 猪殃殃, 4. 麦家公, 5. 麦瓶草。图中不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Note: 1. *C. bursa-pastoris*, 2. *D. sophia*, 3. *G. aparine*, 4. *L. arvense*, 5. *S. conoidea*. The different letters in the figure indicate significantly different at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

我国北方麦田恶性杂草的主要防治药剂, 对于综合判断其它除草剂优劣具有一定的标尺作用。本研究发现双氟磺草胺在 2 个供试小麦品种与供试杂草之间的选择性指数均远大于苯磺隆, 因此双氟磺草胺具有更高的作物安全性。

不同作物间, 甚至是同种作物中不同品种间对 ALS 抑制剂类除草剂的耐药性均存在差异。范志金等^[21]、郭玉莲等^[22]、董晓雯等^[23]研究证明, 不同玉米品种对麦谷宁、氯嘧磺隆和烟嘧磺隆的耐药性存在差异; 刘伟等^[24]试验证明, 潍麦 8 号等 11 种小麦对苯磺隆均有较强的耐药性, 但其耐受能力有较大差异。本研究发现, 不同小麦品种对双氟磺草胺存在着耐药性差异, 在供试小麦品种中, 潍麦 8 号、山农 6 号、泰山 9818 等品种对双氟磺草胺耐药性较强, 临麦 2 号、济宁 13 及济南 17 等品种对双氟磺草胺的耐药性较弱, 说明虽然双氟磺草胺较苯磺隆安

全性更高, 但也存在着相对敏感的小麦品种, 生产中应引起高度重视。本试验仅就 20 个常规小麦品种对双氟磺草胺的耐药性差异进行评价, 但我国小麦品种众多, 针对不同的 wheat 品种, 须在广泛的安全性试验基础上应用, 并选择合适的施药时间和剂量。

综合以上分析, 双氟磺草胺具有活性高、选择性强等优点, 但由于本试验仅在温室内进行, 试验环境条件比较单一, 还有待进行田间药效试验。

参 考 文 献 (References)

- [1] 杨光富, 刘华银, 杨秀凤, 等. 以 ALS 为靶标的新型除草剂的分子设计、合成及生物活性——IX. 磺酰胺类和三唑并嘧啶-2-磺酰胺类 ALS 抑制剂的比较分子力场分析. 中国科学 B 辑, 2000, 30(2): 160-166
- [2] Kleschick W A, Costales M J, Dunbar J E, et al. New herbicidal derivatives of 1, 2, 4-triazolo [1, 5-a] pyrimidine. Pesticide Science, 1990, 29(3): 341-355

- [3] 刘长令. 三唑嘧啶磺酰胺类除草剂的创制经纬. 农药, 2002, 43(8): 45–46
- [4] 苏少泉. 三唑嘧啶类除草剂的开发. 现代农药, 2008, 7(5): 12–16
- [5] 苏少泉. 三唑嘧啶磺酰胺类除草剂新品种——双氟磺草胺. 世界农药, 2001, 23(4): 53–54
- [6] Baghestani M A, Zand E, Soufizadeh S, et al. 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, 2007, 26(12): 1759–1764
- [7] Kieloch R, Rola H. Sensitivity of winter wheat cultivars to selected herbicides. Journal of Plant Protection Research, 2010, 50(1): 35–40
- [8] Kaczmarek S, Adamczewski K, Matysiak K. Comparison of florasulam + 2, 4-D application effect in wheat, barley and oat cultivated in monocrops and in two-species mixtures. Acta Scientiarum Polonorum - Agricultura, 2010, 9(4): 29–37
- [9] De Boer G J, Thornburgh S, Ehr R J. Uptake, translocation and metabolism of the herbicide florasulam in wheat and broadleaf weeds. Pest Management Science, 2006, 62(4): 316–324
- [10] 丁海红, 朱福官, 穆兰芳, 等. 58 g/L 双氟磺草胺 + 唑嘧磺草胺 SC 对麦田阔叶杂草的防效. 杂草科学, 2010(3): 45–46
- [11] 许家春, 赵开兵, 沈维良, 等. 麦喜、使它隆及混剂防除麦田杂草试验. 杂草科学, 2003(3): 29–30
- [12] Bogdan I, Roiban G, Rusu T, et al. Researches on the effectiveness of two chemical weed control strategies in maize. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture, 2010, 67(1): 40–47
- [13] Geisel B G L, Schoenau J J, Holm F A, et al. Interactions of ALS-inhibiting herbicide residues in three prairie soils. Weed Science, 2008, 56(4): 624–627
- [14] Yarpuz-Bozdogan N. Assessing the environment and human health risk of herbicide application in wheat cultivation. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2009, 7(3/4): 775–781
- [15] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准《农药室内生物测定试验准则》. 北京: 中国农业出版社, 2007
- [16] Gaston S, Ribas-Carbo M, Busquets S, et al. Changes in mitochondrial electron partitioning in response to herbicides inhibiting branched-chain amino acid biosynthesis in soybean. Plant Physiology, 2003, 133(3): 1351–1359
- [17] Moberg W K, Cross B. Herbicides inhibiting branched-chain amino acid biosynthesis. Pesticide Science, 1990, 29(3): 241–246
- [18] Chipman D, Barak Z, Schloss J V. Biosynthesis of 2-aceto-2-hydroxy acids; acetolactate synthases and acetohydroxyacid synthases. Biochimica et Biophysica Acta, 1998, 1385(2): 401–419
- [19] Tan S Y, Evans R R, Dahmer M L, et al. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. Pest Management Science, 2005, 61(3): 246–257
- [20] 王险峰, 关成宏, 辛明远. 关于除草剂田间药效试验安全性评价方法问题的探讨. 农药, 2004, 43(1): 5–9
- [21] 范志金, 钱传范, 党宏斌, 等. 麦谷宁生测方法及其对玉米的安全性研究. 农药学报, 2000, 2(1): 63–70
- [22] 郭玉莲, 陶波, 翟喜海, 等. 不同玉米品种对氯嘧磺隆的耐药性差异及其机制. 植物保护学报, 2009, 36(4): 366–370
- [23] 董晓雯, 王金信, 毕建杰, 等. 不同玉米品种对烟嘧磺隆的敏感性差异. 植物保护学报, 2007, 34(2): 182–186
- [24] 刘伟, 王金信, 杨广玲, 等. 不同小麦品种对苯磺隆耐药性差异及其机理. 植物保护学报, 2005, 32(3): 300–304