

砒吡草唑与嗪草酮复配应用于大豆-玉米带状复合种植田的效果评价

高兴祥¹ 冯克^{2*} 张国福³ 杨素梅³ 李美¹ 李健¹ 金岩³ 张耀中³

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100; 2. 聊城市农业技术推广服务中心, 山东 聊城 252000;

3. 山东省农药检定所, 济南 250100)

摘要: 为明确小麦 *Triticum aestivum* 田新型除草剂砒吡草唑与嗪草酮复配应用于大豆 *Glycine max*-玉米 *Zea mays* 带状复合种植田的可行性, 在温室内采用 Gowing 法测定砒吡草唑与嗪草酮复配的联合作用类型, 并通过盆栽法测定两者复配制剂 80% 砒吡·嗪草酮水分散粒剂 (water dispersible granule, WDG) 的杂草防除谱以及对大豆和玉米的安全性。结果显示, 砒吡草唑与嗪草酮复配防除禾本科杂草马唐 *Digitaria sanguinalis* 和稗 *Echinochloa oryzicola* 的联合作用类型属于增效作用; 对阔叶杂草苘麻 *Abutilon theophrasti* 和龙葵 *Solanum nigrum* 的联合作用类型属于加成作用。80% 砒吡·嗪草酮 WDG 对 6 种禾本科杂草马唐、稗、牛筋草 *Eleusine indica*、狗尾草 *Setaira viridis*、虎尾草 *Chloris virgata*、大狗尾草 *Setaira faberii* 和 4 种阔叶杂草马齿苋 *Portulaca oleracea*、青葙 *Celosia argentea*、铁苋菜 *Acalypha australis*、反枝苋 *Amaranthus retroflexus* 的防除效果均很好, 其 GR₅₀ 在 6.1~21.6 g (a.i.)/hm² 之间, GR₉₀ 在 16.3~50.5 g (a.i.)/hm² 之间, 对苘麻和龙葵的防除效果略差, 其 GR₅₀ 分别为 53.3 g (a.i.)/hm² 和 25.4 g (a.i.)/hm², GR₉₀ 分别为 282.1 g (a.i.)/hm² 和 96.7 g (a.i.)/hm², 低于其田间推荐剂量 300~360 g (a.i.)/hm², 且该药剂对玉米和大豆的安全性都很高, 在玉米与马唐、稗、牛筋草、马齿苋、青葙及铁苋菜这 6 种杂草之间的选择性指数均大于 13.6, 在大豆与这 6 种杂草之间的选择性指数均远大于 28.5。表明砒吡草唑完全可与嗪草酮复配应用于大豆-玉米带状复合种植田的杂草防除。
关键词: 砒吡草唑; 嗪草酮; 联合作用类型; 大豆-玉米带状复合种植; 防除效果; 安全性

Effect of combination of pyroxasulfone and metribuzin in maize and soybean intercropping patterns

Gao Xingxiang¹ Feng Ke^{2*} Zhang Guofu³ Yang Sumei³ Li Mei¹ Li Jian¹ Jin Yan³ Zhang Yaozhong³

(1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China;

2. Liaocheng Agricultural Technology Extension Service Centre, Liaocheng 252000, Shandong Province, China;

3. Shandong Province Institute for the Control of Agrochemicals, Jinan 250100, Shandong Province, China)

Abstract: Pyroxasulfone is a new herbicide registered to be used in wheat field, but it has not been registered for use in soybean or maize field. In order to determine the feasibility of the combination of pyroxasulfone and metribuzin in maize and soybean intercropping patterns, the combined action mode of pyroxasulfone and metribuzin was determined with Gowing method in greenhouse, at the same time, the weed control spectrum of 80% pyroxasulfone·metribuzin water dispersible granule (WDG) and the safety of soybean and corn were tested in greenhouse. The results showed that pyroxasulfone+metribuzin was synergistic in controlling *Digitaria sanguinalis*, *Echinochloa oryzicola* and additive in controlling *Abutilon theophrasti*, *Solanum nigrum*. Pyroxasulfone·metribuzin 80% WDG was highly effective

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD1400502), 山东省大豆玉米带状复合种植专项(LNZZ2022055)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: 13562000660@163.com

收稿日期: 2023-06-01

against six grasses *D. sanguinalis*, *Eleusine indica*, *Ec. oryzicola*, *Setaria viridis*, *Se. faberii*, *Chloris virgata* and four broad-leaved weeds *Portulaca oleracea*, *Acalypha australis*, *Amaranthus retroflexus*, *Celosia argentea* with GR₅₀ 6.1–21.6 g (a.i.)/hm² and GR₉₀ 16.3–50.5 g (a.i.)/hm², and slightly effective against *Ab. theophrasti*, *So. nigrum* with GR₅₀ 53.3, 25.4 g (a.i.)/hm² and GR₉₀ 282.1, 96.7 g (a.i.)/hm² respectively. It had sound safety to maize and soybean, and the selectivity index was greater than 13.6 between maize and main weeds, than 28.50 between soybean and main weeds. The results indicated that pyroxasulfone could be fully applied with metribuzin in maize and soybean intercropping patterns.

Key words: pyroxasulfone; metribuzin; combined action mode; maize and soybean intercropping; control efficacy; safety

大豆 *Glycine max* 是我国重要的粮食作物和油料作物,但单一化种植大豆经济效益较低,目前85%以上的大豆依赖进口(王永青等,2022)。在全球粮食安全越来越重要的前提下,提升大豆产能对我国来说愈发重要,2020年中央一号文件就明确提出要加大对大豆高产品种和玉米 *Zea mays* 间作新农艺技术推广的支持力度(车文斌,2020)。大豆-玉米带状复合种植模式能够解决耕地面积和作物生长空间有限的问题,在保障玉米基本不减产或少量减产的情况下能够增加一季大豆的收获(孟凡凡等,2014;杨峰等,2015)。自大豆-玉米带状复合种植模式推广以来,生产中遇到急需解决的问题很多,如适宜品种(孟凡凡等,2014)、大豆-玉米最佳种植比例(赵德强等,2020)及最佳行距密度的确定(曹鹏鹏等,2018;程彬等,2021;任媛媛等,2021),播种和收获机械的选择,病虫害危害及防控(常玉明等,2021;徐丽娜等,2023)、杂草防除(王永青等,2022)以及所需肥料不一致(王晓维等,2014)等诸多问题,其中杂草统一防控问题至关重要。大豆-玉米带状复合种植田间主要杂草有马唐 *Digitaria sanguinalis*、稗 *Echinochloa oryzicola*、牛筋草 *Eleusine indica* 等禾本科杂草和马齿苋 *Portulaca oleracea*、铁苋菜 *Acalypha australis*、反枝苋 *Amaranthus retroflexus* 等阔叶杂草(王永青等,2022),而大豆和玉米分别属于双子叶作物和单子叶作物,两者对于除草剂的敏感度正好相反,这也是造成同时适用于大豆田和玉米田的除草剂种类偏少的原因。截止到目前,同时登记在大豆田和玉米田的除草剂有效成分只有14种(张玉等,2022),其中能用在黄淮海区域的更少。

砒吡草唑属于异噁唑类除草剂,是一种新型广谱高活性的播后苗前土壤封闭处理除草剂,目前登记用于小麦 *Triticum aestivum* 田杂草防除。徐洪乐等(2021)研究结果表明该药剂可以应用于大豆-玉米复合种植田,且防除谱以禾本科杂草为主,对禾本科杂草马唐、牛筋草以及部分阔叶杂草马齿苋、反枝

苋等均有很好的防除活性,对阔叶杂草苘麻 *Abutilon theophrasti* 的防除效果差。噻草酮是三氮苯酮类除草剂,主要作用于植物光合系统,通过抑制叶片的光合作用从而导致植物死亡,该药剂作为土壤封闭处理除草剂使用,主要防控田间阔叶杂草,对禾本科杂草的防除效果略差(王艳艳等,2015;刘娜等,2022),目前主要登记用于大豆、玉米、马铃薯 *Solanum tuberosum* 和甘蔗 *Saccharum officinarum* 田杂草的防除。砒吡草唑和噻草酮都可以应用于大豆-玉米复合种植田杂草的防除,且防除谱互补,理论上复配合理。本研究选择砒吡草唑和噻草酮进行复配,分析两者复配的联合作用类型、杂草防除谱以及对大豆和玉米的安全性,明确砒吡草唑和噻草酮复配应用于大豆-玉米带状复合种植田的可行性,以期为大豆-玉米带状复合种植田的除草剂应用提供新的组合药剂。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:马唐、牛筋草、稗、狗尾草 *Setaria viridis*、大狗尾草 *Setaria faberii*、虎尾草 *Chloris virgata* 共6种禾本科杂草和马齿苋、铁苋菜、苘麻、反枝苋、青葙 *Celosia argentea*、龙葵 *Solanum nigrum* 共6种阔叶杂草的种子均采自山东省玉米田。玉米品种为郑单958、浚单20和先玉335,大豆品种为中黄37、早熟1号和河北大豆王,种子均购自当地市场。

供试药剂和试剂:98%砒吡草唑(pyroxasulfone)原药、98%噻草酮(metamitron)原药、80%砒吡·噻草酮可分散粒剂,山东科赛基农生物科技有限公司;原药专用乳化剂为EL-12,市售。所用试剂均为国产分析纯。

供试土壤和仪器:温室盆栽培养土均为采自农田的地表20 cm壤土,与培养基质按照体积比3:1混合成培养土,有机质含量为20.1 g/kg,pH 6.8。ASS-4自动控制喷洒系统,国家信息化工程技术研究中心。

1.2 方法

1.2.1 砒草啞与噻草酮复配联合作用类型的测定

试验于2022年5—7月在山东省农业科学院植物保护研究所玻璃温室内进行。在直径9 cm的塑料盆中装好供试培养土,分别播种禾本科杂草马唐、稗和阔叶杂草龙葵、苘麻4种杂草种子,每盆播种20粒,覆土1~2 mm,放入搪瓷盘中,采用底部渗灌方式让水逐渐渗入盆中,播种后第2天进行土壤喷雾处理。

称取定量的砒草啞、噻草酮原药,先加入专用乳化剂EL-12溶解后,再加入2倍量的N,N-二甲苯酰胺至完全溶解,用0.1%吐温-80水溶液稀释成1%母液备用。砒草啞和噻草酮单剂根据对供试杂草的特性,剂量均设为5、10、20、40、80 g (a.i.)/hm²,2种药剂以不同剂量复配共得到25组复配组合。使用ASS-4自动控制喷雾系统进行喷雾处理,喷雾系统实际喷药面积约1.1 m²,兑水50 mL,折合每公顷用水量450 L。喷雾压力0.35 MPa,扇形喷头,流量800 mL/min。由低量至高量依次喷施。每个浓度处理重复4次,每个重复为1盆。施药处理后晾1 d即移入玻璃温室培养,每隔2 d采用底部渗灌方式灌水1次,期间玻璃温室采用自然光照,昼夜温度介于25~35 ℃之间。

施药后10、20 d分别观察并记录杂草出苗及生长期受害症状。施药后30 d,将杂草齐根剪下,称量各处理杂草地上部分鲜重,计算鲜重防效。鲜重防效=(空白对照杂草鲜重-处理区杂草鲜重)/空白对照杂草鲜重×100%。采用Gowing法评价2种药剂复配后的联合作用类型(高兴祥等,2020a)。Gowing法理论鲜重防效 E_0 计算公式为: $E_0=X+Y-X\times Y$,式中 X 、 Y 分别为2种药剂单剂的实测鲜重防效。 E 为不同配比混剂的实测鲜重防效,当 $E-E_0$ 的值介于-5.0%~5.0%之间时为加成作用,当 $E-E_0$ 的值大于5.0%时为增效作用,当 $E-E_0$ 的值小于-5.0%时为拮抗作用。

1.2.2 80%砒草啞·噻草酮WDG防除谱的测定

基于1.2.1试验结果筛选出砒草啞与噻草酮的最佳复配剂量,委托山东科赛基农生物科技有限公司按两者有效成分比例为1:1复配获得80%砒草啞·噻草酮水分散剂剂(water dispersible granule, WDG),确定其田间推荐剂量为300~360 g (a.i.)/hm²,并进一步测定该制剂的杂草防除谱。试验于2022年5—7月进行,试验地点同1.2.1。在直径为9 cm的塑料盆中装好供试培养土,将马唐、稗、牛筋草、狗尾草、虎尾草、大狗尾草、马齿苋、青苳、苘麻、铁苳菜、反枝苋和龙葵12种杂草种子分别播于盆中,每盆播种20粒,

覆土1~2 mm,放入搪瓷盘中,采用底部渗灌方式让水逐渐渗入盆中,播种后第2天进行土壤喷雾处理。将80%砒草啞·噻草酮WDG的剂量设为5.625、11.25、22.5、45、90、180 g (a.i.)/hm²。喷雾施药方式同1.2.1。施药处理后晾1 d即移入玻璃温室培养,培养方式和温室条件同1.2.1。施药后10、20 d分别观察并记录杂草出苗及生长期受害症状。施药后30 d,将杂草齐根剪下,称量各处理杂草地上部分鲜重,计算鲜重防效。用DPS 7.05软件对药剂剂量的对数值与鲜重防效的概率值进行回归分析,得到剂量-反应曲线、相关系数、抑制杂草生长50%的除草剂剂量GR₅₀及其95%置信区间、抑制杂草生长90%的除草剂剂量GR₉₀及其95%置信区间。

1.2.3 80%砒草啞·噻草酮WDG对作物的安全性测定

试验于2022年5—7月进行,试验地点同1.2.1。在上口直径为15 cm、高12 cm的塑料盆中装好供试培养土,将3个大豆品种和3个玉米品种的种子分别播于盆中,每盆播种8粒,覆土2~3 cm,放入搪瓷盘中,采用底部渗灌方式让水逐渐渗入盆中,分别在大豆和玉米播种后第2天进行1次土壤喷雾处理。80%砒草啞·噻草酮WDG剂量设为90、180、360、720、1 440 g (a.i.)/hm²。喷雾施药方式同1.2.1。施药处理后晾1 d即移入玻璃温室培养,培养方式和温室条件同1.2.1。施药后10、20 d分别观察并记录大豆、玉米出苗及生长期受害症状。施药后30 d,将大豆或玉米齐根剪下,称量各处理大豆、玉米地上部分鲜重,计算鲜重抑制率,用DPS 7.05统计软件对药剂剂量的对数值与玉米或大豆鲜重抑制率的概率值进行回归分析,计算相关系数和抑制作物生长10%时除草剂的剂量GR₁₀(高兴祥等,2020b);同时利用1.2.2所得复配制剂对各种杂草的GR₉₀值,选择其中的6种田间常见杂草马唐、稗、牛筋草、马齿苋、青苳和铁苳菜进行选择指数计算,分析80%砒草啞·噻草酮WDG对大豆和玉米的安全性。选择性指数=药剂对作物的GR₁₀/药剂对杂草的GR₉₀。

1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 13.0软件进行统计分析,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 砒草啞与噻草酮复配的联合作用类型

2.1.1 杂草防除效果

砒草啞土壤处理对禾本科杂草马唐、稗有很好的防除效果,用量在20~40 g (a.i.)/hm²时,鲜重防效介于76.7%~93.9%之间(表1);对阔叶杂草龙葵

的防除效果也较好,鲜重防效介于71.1%~82.8%之间,但对另一种阔叶杂草苘麻的防除效果差,鲜重防效介于49.4%~76.9%之间(表2)。噻草酮土壤处理对阔叶杂草苘麻的防除效果好,明显优于砒吡草唑,用量在20~40 g (a.i.)/hm²时,鲜重防效介于84.5%~86.5%之间,对另一种阔叶杂草龙葵和禾本科杂草

马唐、稗的防除效果差,鲜重防效介于4.9%~37.1%之间(表1~2)。砒吡草唑与噻草酮两者复配后杂草防除谱优势互补,对所供试禾本科杂草马唐、稗和阔叶杂草龙葵、苘麻均有很好的防除效果,两者用量均在20~40 g (a.i.)/hm²范围内复配时,鲜重防效介于76.7%~100.0%之间,明显优于2种单剂(表1)。

表1 砒吡草唑与噻草酮复配对禾本科杂草的联合作用类型

Table 1 The combined action mode of pyroxasulfone and metribuzin against grass weeds

药剂 Herbicide	剂量 Dosage/ (g (a.i.)/hm ²)	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>			稗 <i>Echinochloa oryzicola</i>		
		实测鲜重防效 Real efficacy on fresh weight (E)/%	理论鲜重防效 Theoretical efficacy on fresh weigh (E_0)/%	$E-E_0$ / %	实测鲜重防效 Real efficacy on fresh weight (E)/%	理论鲜重防效 Theoretical efficacy on fresh weight (E_0)/%	$E-E_0$ / %
砒吡草唑 Pyroxasulfone	5	67.5	-	-	25.2	-	-
	10	74.1	-	-	57.9	-	-
	20	86.8	-	-	76.7	-	-
	40	93.9	-	-	89.6	-	-
	80	96.4	-	-	96.8	-	-
噻草酮 Metribuzin	5	1.0	-	-	-0.6	-	-
	10	3.6	-	-	2.3	-	-
	20	6.1	-	-	4.9	-	-
	40	26.9	-	-	26.9	-	-
	80	72.1	-	-	43.0	-	-
砒吡草唑+ 噻草酮 Pyroxasulfone+ metribuzin	5+5	69.5	67.8	1.7	34.0	24.8	9.2
	5+10	73.1	68.7	4.4	33.0	26.9	6.1
	5+20	75.1	69.5	5.6	32.4	28.9	3.5
	5+40	83.2	76.3	7.0	49.8	45.3	4.5
	5+80	95.9	90.9	5.0	64.7	57.4	7.3
	10+5	79.2	74.4	4.8	59.5	57.7	1.9
	10+10	82.7	75.0	7.7	65.4	58.9	6.5
	10+20	81.2	75.7	5.5	63.8	60.0	3.8
	10+40	87.8	81.1	6.7	75.1	69.2	5.9
	10+80	100.0	92.8	7.2	80.6	76.0	4.5
	20+5	92.4	86.9	5.4	84.5	76.5	7.9
	20+10	97.0	87.3	9.7	81.2	77.2	4.0
	20+20	95.4	87.6	7.8	83.5	77.8	5.7
	20+40	100.0	90.4	9.6	87.4	83.0	4.4
	20+80	100.0	96.3	3.7	91.9	86.7	5.2
	40+5	100.0	94.0	6.0	95.8	89.6	6.2
	40+10	100.0	94.1	5.9	98.1	89.9	8.2
	40+20	100.0	94.3	5.7	100.0	90.1	9.9
	40+40	100.0	95.5	4.5	100.0	92.4	7.6
	40+80	100.0	98.3	1.7	100.0	94.1	5.9
	80+5	100.0	96.5	3.5	100.0	96.7	3.3
	80+10	100.0	96.6	3.4	100.0	96.8	3.2
	80+20	100.0	96.7	3.3	100.0	96.9	3.1
	80+40	100.0	97.4	2.6	100.0	97.6	2.4
	80+80	100.0	99.0	1.0	100.0	98.2	1.8

2.1.2 对禾本科杂草的联合作用类型

施药后30 d,用Gowing法计算不同复配组合的理论鲜重防效,并与实测鲜重防效进行比较,发现对马唐和稗的实测鲜重防效与理论鲜重防效的差值在1.0%~9.9%之间,均为正值,且部分大于5.0%(表

1),表明两者复配防除禾本科杂草马唐和稗的联合作用类型属于增效作用。根据两种成分复配后对禾本科杂草马唐、稗的防除效果以及联合作用类型,建议砒吡草唑的适宜复配浓度为20~80 g (a.i.)/hm²,噻草酮的适宜复配浓度为40~80 g (a.i.)/hm²,即两者按

有效成分比例1:0.5~1:4进行复配。

2.1.3 对阔叶杂草的联合作用类型

施药后30 d,用Gowing法计算不同复配组合的理论鲜重防效,并与实测鲜重防效进行比较,发现两者复配对苘麻和龙葵的实测鲜重防效与理论鲜重防效的差值在-2.8%~5.3%之间,基本在0~5.0%之间,个别小于0和大于5.0%(表2),表明两者复配防除阔叶杂草苘麻和龙葵的联合作用类型属于加成作用。根据2种成分复配后对阔叶杂草苘麻的防除效果及联合作用类型,建议砒吡草唑和噻草酮的适宜复配浓度分别为40~80 g (a.i.)/hm²和20~80 g (a.i.)/hm²,

即两者按有效成分比例1:0.25~1:2进行复配;根据2种成分复配后对阔叶杂草龙葵的防除效果及联合作用类型,建议砒吡草唑和噻草酮的适宜复配浓度分别为20~80 g (a.i.)/hm²和40~80 g (a.i.)/hm²,即两者按有效成分比例1:0.5~1:4进行复配。

综合对禾本科杂草和阔叶杂草的防除效果及联合作用类型,砒吡草唑与噻草酮复配有防除谱互补和增效的可行性,且推荐两者复配有效成分比例在1:0.5~1:2之间,本研究选择了砒吡草唑和噻草酮按有效成分比例1:1复配获得80%砒吡草唑·噻草酮WDG进行后续试验。

表2 砒吡草唑与噻草酮复配对阔叶杂草的联合作用类型

Table 2 The combined action mode of pyroxasulfone and metribuzin against broad-leaved weeds

药剂 Herbicide	剂量 Dosage/ (g (a.i.)/hm ²)	苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>			龙葵 <i>Solanum nigrum</i>		
		实测鲜重防效 Real efficacy on fresh weight (E)/%	理论鲜重防效 Theoretical efficacy on fresh weigh (E ₀)/%	$E-E_0$ / %	实测鲜重防效 Real efficacy on fresh weight (E)/%	理论鲜重防效 Theoretical efficacy on fresh weight (E ₀)/%	$E-E_0$ / %
砒吡草唑 Pyroxasulfone	5	0.4	-	-	20.3	-	-
	10	2.8	-	-	46.6	-	-
	20	49.4	-	-	71.1	-	-
	40	76.9	-	-	82.8	-	-
	80	96.0	-	-	95.7	-	-
噻草酮 Metribuzin	5	35.5	-	-	2.2	-	-
	10	78.5	-	-	0.9	-	-
	20	84.5	-	-	15.9	-	-
	40	86.5	-	-	37.1	-	-
	80	100.0	-	-	68.5	-	-
砒吡草唑+ 噻草酮 Pyroxasulfone+ metribuzin	5+5	37.8	35.7	2.1	25.0	22.0	3.0
	5+10	78.5	78.6	-0.1	18.1	20.9	-2.8
	5+20	85.3	84.5	0.7	35.8	33.0	2.8
	5+40	88.4	86.5	1.9	53.0	49.8	3.2
	5+80	100.0	100.0	0.0	76.3	74.9	1.4
	10+5	39.0	37.3	1.8	50.9	47.7	3.2
	10+10	79.7	79.1	0.6	50.9	47.0	3.8
	10+20	88.8	84.9	3.9	60.3	55.1	5.3
	10+40	90.8	86.8	4.0	69.0	66.4	2.6
	10+80	100.0	100.0	0.0	81.9	83.2	-1.3
	20+5	71.7	67.3	4.4	75.0	71.7	3.3
	20+10	92.4	89.1	3.3	76.3	71.4	4.9
	20+20	90.4	92.1	-1.7	76.7	75.7	1.0
	20+40	97.2	93.1	4.1	82.3	81.8	0.5
	20+80	99.2	100.0	-0.8	93.1	90.9	2.2
	40+5	88.4	85.1	3.4	86.6	83.1	3.5
	40+10	97.6	95.0	2.6	86.2	82.9	3.3
40+20	100.0	96.4	3.6	88.8	85.5	3.3	
40+40	96.4	96.9	-0.5	93.5	89.1	4.4	
40+80	99.2	100.0	-0.8	97.8	94.6	3.3	
80+5	100.0	97.4	2.6	98.7	95.8	2.9	
80+10	100.0	99.1	0.9	99.6	95.7	3.8	
80+20	100.0	99.4	0.6	99.6	96.4	3.2	
80+40	100.0	99.5	0.5	100.0	97.3	2.7	
80+80	100.0	100.0	0.0	100.0	98.6	1.4	

2.2 80% 砒吡·噻草酮 WDG 的杂草防除谱

施药后观察发现,80% 砒吡草唑·噻草酮 WDG 土壤处理对马唐、稗、牛筋草、狗尾草、虎尾草、大狗尾草、马齿苋、青葙、铁苋菜、反枝苋和龙葵均有很好的防除效果,对苘麻的防除效果略差。药后 30 d 进行调查,发现 80% 砒吡草唑·噻草酮 WDG 对 6 种禾

本科杂草马唐、稗、牛筋草、狗尾草、虎尾草、大狗尾草和 4 种阔叶杂草马齿苋、青葙、铁苋菜、反枝苋的防除效果均很好,其 GR_{50} 在 6.1~21.6 g (a.i.)/ hm^2 之间, GR_{90} 在 16.3~50.5 g (a.i.)/ hm^2 之间,对苘麻和龙葵的防除效果略差,其 GR_{50} 分别为 53.3、25.4 g (a.i.)/ hm^2 , GR_{90} 分别 282.1、96.7 g (a.i.)/ hm^2 (表 3)。

表 3 80% 砒吡草唑·噻草酮可分散剂对 12 种杂草的防效效果

Table 3 Control effect of 80% pyroxasulfone·metribuzin WDG on 12 weeds

杂草 Weed	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	GR_{50} / (g (a.i.)/ hm^2)	GR_{90} / (g (a.i.)/ hm^2)
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	$y=4.117+3.468x$	0.967	21.6(19.1-24.0)	50.5(45.2-57.5)
稗 <i>Echinochloa oryzicola</i>	$y=4.800+2.612x$	0.951	14.3(9.0-19.2)	44.3(34.3-61.2)
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	$y=5.372+3.977x$	0.939	9.7(7.3-11.8)	20.3(17.6-22.7)
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	$y=4.653+2.912x$	0.957	15.8(10.9-20.3)	43.6(35.0-57.0)
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	$y=5.599+2.059x$	0.982	6.7(4.4-9.0)	28.8(24.3-33.5)
大狗尾草 <i>Setaria faberii</i>	$y=5.331+2.032x$	0.949	8.3(3.0-13.4)	35.3(24.5-52.7)
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	$y=5.658+4.633x$	0.844	10.8(6.4-10.8)	16.3(13.7-18.7)
青葙 <i>Celosia argentea</i>	$y=4.986+3.368x$	0.976	12.1(9.8-14.3)	29.0(26.2-32.3)
苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	$y=3.853+1.771x$	0.927	53.3(35.0-99.7)	282.1(136.6-1 385.0)
铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	$y=5.119+2.313x$	0.952	10.7(8.3-13.0)	38.2(33.4-44.2)
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	$y=5.869+2.946x$	0.834	6.1(1.0-11.3)	16.6(7.3-23.3)
龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	$y=4.277+2.212x$	0.920	25.4(18.2-34.0)	96.7(67.2-172.4)

式中 y 表示防除效果, x 表示除草剂剂量。 y indicates control effect and x indicates dosage.

2.3 80% 砒吡·噻草酮 WDG 对玉米和大豆的安全性

在温室条件下,80% 砒吡草唑·噻草酮 WDG 对 3 个玉米品种浚单 20、郑单 958 和先玉 335 的安全性高, GR_{10} 分别为 915.4、1 024.0 和 686.5 g (a.i.)/ hm^2 , 远高于其田间推荐剂量;由 2.2 结果得出该药剂对田间常见杂草马唐、稗、牛筋草、马齿苋、青葙和铁苋菜

有很好的防除效果, GR_{90} 介于 16.3~50.5 g (a.i.)/ hm^2 之间,均远低于其田间推荐剂量(表 4)。80% 砒吡草唑·噻草酮 WDG 在 3 个玉米品种与常规杂草马唐、稗、牛筋草、马齿苋、青葙和铁苋菜之间的选择性指数均大于 13.6(表 4)。

表 4 80% 砒吡草唑·噻草酮可分散剂对玉米的安全性

Table 4 The safety of 80% pyroxasulfone·metribuzin WDG on maize

指标 Index	浚单 20 Jundan20	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	稗 <i>Echinochloa oryzicola</i>	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	青葙 <i>Celosia argentea</i>	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>
GR_{10} /(g (a.i.)/ hm^2)	915.4	-	-	-	-	-	-
GR_{90} /(g (a.i.)/ hm^2)	-	50.5	44.3	20.3	16.3	29.0	38.2
选择性指数 Selectivity index	-	18.1	20.7	45.1	56.2	31.6	24.0
指标 Index	郑单 958 Zhengdan 958	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	稗 <i>Echinochloa oryzicola</i>	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	青葙 <i>Celosia argentea</i>	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>
GR_{10} /(g (a.i.)/ hm^2)	1 024.0	-	-	-	-	-	-
GR_{90} /(g (a.i.)/ hm^2)	-	50.5	44.3	20.3	16.3	29.0	38.2
选择性指数 Selectivity index	-	20.3	23.1	50.4	62.8	35.3	26.8
指标 Index	先玉 335 Xianyu 335	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	稗 <i>Echinochloa oryzicola</i>	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	青葙 <i>Celosia argentea</i>	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>
GR_{10} /(g (a.i.)/ hm^2)	686.5	-	-	-	-	-	-
GR_{90} /(g (a.i.)/ hm^2)	-	50.5	44.3	20.3	16.3	29.0	38.2
选择性指数 Selectivity index	-	13.6	15.5	33.8	42.1	23.7	18.0

在温室条件下,80%砒草唑·噻草酮WDG对3个大豆品种早熟1号、中黄37和河北大豆王的安全性均很高,GR₁₀均大于1 440 g (a.i.)/hm²;80%砒

草唑·噻草酮WDG在大豆与杂草马唐、稗、牛筋草、马齿苋、青苳和铁苳菜之间的选择性指数均远大于28.5(表5)。

表5 80%砒草唑·噻草酮可分散粒剂对大豆的安全性

Table 5 The safety of 80% pyroxasulfone·metribuzin WDG on soybean

指标 Index	中黄37、早熟1号、河北大豆 王 Zhonghuang 37, Zaoshu 1, Hebei soybean king	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	稗 <i>Echinochloa oryzicola</i>	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	青苳 <i>Celosia argentea</i>	铁苳菜 <i>Acalypha australis</i>
GR ₁₀ /(g (a.i.)/hm ²)	>1 440	-	-	-	-	-	-
GR ₉₀ /(g (a.i.)/hm ²)	-	50.5	44.3	20.3	16.3	29.0	38.2
选择性指数 Selectivity index	-	>28.5	>32.5	>70.9	>88.3	>49.7	>37.7

3 讨论

砒草唑作为一种新型土壤封闭处理除草剂,其优势是防除谱广、用量低且活性高,在美国和澳大利亚广泛登记用于小麦、玉米、大豆、棉花 *Gossypium hirsutum* 以及花生 *Arachis hypogaea* 等作物田杂草防除,在国内也有在花生田和向日葵 *Helianthus annuus* 田的应用研究(吴希宝等,2023),但在目前只登记用于小麦田杂草防除。本试验结果表明,砒草唑对夏季常规的禾本科杂草马唐、稗、牛筋草、狗尾草以及阔叶杂草马齿苋、铁苳菜、反枝苳等均有很好的防除效果,对阔叶杂草苘麻等的防除效果略差,其中对禾本科杂草防除效果高的结论与徐洪乐等(2021)研究结果一致;对阔叶杂草苘麻等防除效果差的结论与王墨等(2021)研究结果一致。将砒草唑与噻草酮复配能够同时提升对阔叶杂草和禾本科杂草的防除效果,本试验结果也证明了这一点,砒草唑与噻草酮复配防除禾本科杂草马唐、稗的联合作用类型属于增效作用,对阔叶杂草苘麻和龙葵的联合作用类型属于加成作用。

砒草唑主要防除禾本科杂草和部分阔叶杂草,噻草酮主要防除阔叶杂草,两者优势互补,具有很好的复配前景,本试验中根据联合作用类型测定结果而配制了有效成分比例1:1的复配制剂80%砒草唑·噻草酮WDG。本试验结果表明,80%砒草唑·噻草酮WDG对6种禾本科杂草马唐、稗、牛筋草、狗尾草、虎尾草、大狗尾草和4种阔叶杂草马齿苋、青苳、铁苳菜、反枝苳的防除效果均很好,其GR₅₀在6.1~21.6 g (a.i.)/hm²之间,GR₉₀在16.3~50.5 g (a.i.)/hm²之间,对苘麻和龙葵的防除效果略差,其GR₅₀分别为53.3、25.4 g (a.i.)/hm²,GR₉₀分别282.1、96.7 g (a.i.)/hm²,但也低于其田间推荐剂量

300~360 g (a.i.)/hm²。

一种新型除草剂或者新组合能不能在作物田大面积的推广应用,作物安全性是最主要的方面。大豆-玉米带状复合种植模式存在除草剂难选择的问题,既适用于大豆田又适用于玉米田的除草剂种类很少,主要考虑对大豆和玉米同时安全。砒草唑单剂对玉米安全性好(徐洪乐等,2021),但对大豆安全性的报道很少。本试验结果表明,复配制剂80%砒草唑·噻草酮WDG对玉米和大豆的安全性都很高,在玉米与杂草马唐、稗、牛筋草、马齿苋、青苳和铁苳菜之间的选择性指数均大于13.6,在大豆和这些杂草之间的选择性指数均远大于28.5,显示出对大豆和玉米的高安全性。

本研究结果仅完成了砒草唑与噻草酮复配的联合作用类型以及复配制剂防除谱温室测定以及玉米、大豆温室安全性测定,但田间不同土壤条件以及不同草相情况下的试验仍需要进一步研究验证。

参考文献 (References)

- Cao PP, Tian YX, Gao FJ, Hua FJ, Wang LZ. 2018. Effects of different band and row spacing on growth and yield of intercropping maize and soybean. *Shandong Agricultural Sciences*, 50(7): 78-81, 87 (in Chinese) [曹鹏鹏, 田艺心, 高凤菊, 华方静, 王乐政. 2018. 玉米-大豆间作不同带距和行距对两作物生长及产量的影响. *山东农业科学*, 50(7): 78-81, 87]
- Chang YM, Zhang ZK, Zhao Y, Liu BQ, Li QY, Chen G. 2021. Effects of maize-soybean intercropping on the occurrence of major diseases, insect pests and the yield of maize. *Journal of Plant Protection*, 48(2): 332-339 (in Chinese) [常玉明, 张正坤, 赵宇, 刘宝权, 李启云, 陈光. 2021. 玉米大豆间作对玉米主要病虫害发生及其产量的影响. *植物保护学报*, 48(2): 332-339]
- Che WB. 2020. Interpretation of the No. 1 document of the central committee in 2020 with two major tasks and five tasks. *Contemporary County Economy*, (3): 8-9 (in Chinese) [车文斌. 2020.

- 两大任务五项工作: 2020年中央一号文件解读. 当代县域经济, (3): 8-9]
- Cheng B, Liu WG, Wang L, Xu M, Qin SS, Lu JJ, Gao Y, Li SX, Raza A, Zhang Y, et al. 2021. Effects of planting density on photosynthetic characteristics, yield and stem lodging resistance of soybean in maize-soybean strip intercropping system. *Scientia Agricultura Sinica*, 54(19): 4084-4096 (in Chinese) [程彬, 刘卫国, 王莉, 许梅, 覃思思, 卢俊吉, 高阳, 李淑贤, Raza A, 张熠, 等. 2021. 种植密度对玉米-大豆带状间作下大豆光合、产量及茎秆抗倒的影响. 中国农业科学, 54(19): 4084-4096]
- Gao XX, Zhang JW, Li M, Li J, Fang F. 2020b. Effect and safety of the combination of quinotriene with atrazine in sorghum fields. *Journal of Plant Protection*, 47(6): 1370-1376 (in Chinese) [高兴祥, 张纪文, 李美, 李健, 房锋. 2020b. 啶草酮与莠去津复配防除杂草效果及对高粱的安全性. 植物保护学报, 47(6): 1370-1376]
- Gao XX, Zhang Q, Li M, Li J, Fang F. 2020a. Indoor bioactivities of mixture of tembotriene and atrazine and its weed control effects in the field. *Journal of Plant Protection*, 47(2): 459-460 (in Chinese) [高兴祥, 张倩, 李美, 李健, 房锋. 2020a. 环磺酮与莠去津复配的室内活性及其田间防治效果. 植物保护学报, 47(2): 459-460]
- Liu N, Liu L, Cao X, Bai HD, Han JC, Luo DF, Li ZR. 2022. Synergistic control of weeds by metolachlor and metribuzin in potato fields. *Hunan Agricultural Sciences*, (9): 17-21 (in Chinese) [刘娜, 刘乐, 曹轩, 柏浩东, 韩进财, 罗丁峰, 李祖任. 2022. 异丙甲草胺与啶草酮复配制剂对马铃薯田杂草的防效. 湖南农业科学, (9): 17-21]
- Meng FF, Wang B, Liu BQ, Gao SQ, Meng FM. 2014. Analysis of yield and main agronomic traits of maize in maize and soybean strip intercropping system. *Crops*, (3): 101-105 (in Chinese) [孟凡凡, 王博, 刘宝泉, 高淑芹, 孟凡梅. 2014. 玉米-大豆带状间作下玉米品种产量和主要农艺性状比较分析. 作物杂志, (3): 101-105]
- Ren YY, Zhang L, Yu YC, Zhang YJ, Zhang SQ. 2021. Competitive effect of soybean density on yield formation in maize/soybean intercropping systems. *Acta Agronomica Sinica*, 47(10): 1978-1987 (in Chinese) [任媛媛, 张莉, 郁耀闯, 张彦军, 张岁岐. 2021. 大豆种植密度对玉米/大豆间作系统产量形成的竞争效应分析. 作物学报, 47(10): 1978-1987]
- Wang XW, Yang WT, Miao JQ, Xu JC, Wan JR, Nie YP, Huang GQ. 2014. Effects of maize-soybean intercropping and nitrogen fertilizer on yield and agronomic traits of maize. *Acta Ecologica Sinica*, 34(18): 5275-5282 (in Chinese) [王晓维, 杨文亭, 缪建群, 徐健程, 万进荣, 聂亚平, 黄国勤. 2014. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响. 生态学报, 34(18): 5275-5282]
- Wang YQ, Liu H, Wu JL, Chen GG. 2022. Control effects and safety of different types of herbicides on weeds in soybean-corn strip compound planting field. *Advanced Pesticide*, 21(6): 66-70 (in Chinese) [王永青, 刘华, 武进龙, 陈广刚. 2022. 不同药剂对大豆-玉米带状复合种植田块杂草防效及安全性的影响. 现代农药, 21(6): 66-70]
- Wang YY, He FL, Fan DD, Yin ZD, Zhang L, Zhao CS. 2015. Effects of metribuzin on the chlorophyll fluorescence of soybean leaves. *Plant Protection*, 41(1): 84-88 (in Chinese) [王艳艳, 何付丽, 范丹丹, 尹忠达, 张雷, 赵长山. 2015. 啶草酮对大豆叶片叶绿素荧光特性的影响. 植物保护, 41(1): 84-88]
- Wang Z, Liu YC, Wang GX, Wang HB, Zhou GF, Cao Z. 2021. Control effect of pyroxasulfone 850 g/kg WG on weeds in corn field and safety evaluation of different crops. *Agrochemicals*, 60(8): 610-613 (in Chinese) [王翌, 刘煜财, 王广祥, 王洪波, 周国峰, 曹壮. 2021. 850 g/kg 砒吡草唑 WG 对玉米田杂草防除效果及对不同作物安全性评价. 农药, 60(8): 610-613]
- Wu XB, Xu HL, Hu ZJ, Song HW, Zhuang ZG, Tang GX, Xu NN, Kong Y, Liang L, Zhuang ZX. 2023. Application and safety of novel soil-applied herbicide pyroxasulfone in peanut and sunflower fields. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 52(4): 99-106 (in Chinese) [吴希宝, 徐洪乐, 胡尊纪, 宋化稳, 庄治国, 唐广新, 徐娜娜, 孔月, 梁林, 庄占兴. 2023. 新型土壤封闭除草剂砒吡草唑在花生和向日葵田的应用及安全性. 河南农业科学, 52(4): 99-106]
- Xu HL, Su WC, Leng QL, Xue F, Sun LL, Wu RH. 2021. Herbicidal activity and safety evaluation of pyroxasulfone against corn fields weeds. *Journal of Maize Sciences*, 29(2): 157-163 (in Chinese) [徐洪乐, 苏旺苍, 冷秋丽, 薛飞, 孙兰兰, 吴仁海. 2021. 砒吡草唑对玉米田杂草的除草活性及其安全性评价. 玉米科学, 29(2): 157-163]
- Xu LN, Tong Q, Xu TT, Bi SJ, Hu BJ, Yun H, Hu F, Wang ZY. 2023. Effects of maize-soybean intercropping on the growth, development and reproduction of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Plant Protection*, 50(3): 642-650 (in Chinese) [徐丽娜, 佟强, 徐婷婷, 毕思佳, 胡本进, 云慧, 胡飞, 王振营. 2023. 玉米-大豆间作对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响. 植物保护学报, 50(3): 642-650]
- Yang F, Lou Y, Liao DP, Gao RC, Yong TW, Wang XC, Liu WG, Yang WY. 2015. Effects of row spacing on crop biomass, root morphology and yield in maize-soybean relay strip intercropping system. *Acta Agronomica Sinica*, 41(4): 642-650 (in Chinese) [杨峰, 娄莹, 廖敦平, 高仁才, 雍太文, 王小春, 刘卫国, 杨文钰. 2015. 玉米-大豆带状套作行距配置对作物生物量、根系形态及产量的影响. 作物学报, 41(4): 642-650]
- Zhang Y, Gu LL, Cao L, Zhang F. 2022. Herbicides and their application for corn-soybean strip compound planting. *China Plant Protection*, 42(7): 71-75 (in Chinese) [张玉, 谷莉莉, 曹丽, 张芳. 2022. 大豆玉米带状复合种植田除草剂的种类及其应用. 中国植保导刊, 42(7): 71-75]
- Zhao DQ, Li T, Hou YT, Yuan JC, Liao YC. 2020. Benefits and marginal effect of dry matter accumulation and yield in maize and soybean intercropping patterns. *Scientia Agricultura Sinica*, 53(10): 1971-1985 (in Chinese) [赵德强, 李彤, 侯玉婷, 元晋川, 廖允成. 2020. 玉米大豆间作模式下干物质积累和产量的边际效应及其系统效益. 中国农业科学, 53(10): 1971-1985]

(责任编辑:李美娟)